

**POLITECHNIKA OPOLSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

KATEDRA POJAZDÓW

*Streszczenie rozprawy doktorskiej*

*mgr inż. Krystian Hennek*

***STEROWANIE MOCĄ SILNIKA SPALINOWEGO  
W WARUNKACH ZMIENNEGO OBCIĄŻENIA***

***Promotor:***

*prof. dr hab. inż. Jarosław Mamala*

***Promotor pomocniczy:***

*dr inż. Mariusz Graba*

*Opole 22. 11. 2023*

**Spis treści**

1.	Uzasadnienie wyboru tematu pracy.....	3
2.	Część teoretyczna .....	3
3.	Teza, cel i zakres pracy.....	4
4.	Identyfikacja układu napędowego .....	5
5.	Wyznaczanie ekonomicznej linii sterowania .....	6
6.	Charakterystyka zespolona linii sterowania .....	8
6.1.	Ocena dynamiki ruchu samochodu.....	9
7.	Wnioski ogólne.....	10
8.	Wnioski utylitarne .....	11
9.	Wnioski perspektywiczne.....	11

## **1. Uzasadnienie wyboru tematu pracy**

Od pewnego czasu prognozowany jest zmierzch silników spalinowych używanych do napędu samochodów osobowych, jednak według innych szacunków jeszcze do roku 2050 będą one w większości wykorzystywane jako podstawowe jednostki napędowe. Spalinowe układy napędowe nadal będą dominującymi środkami transportu, wypełniającymi założenia zrównoważonego transportu tj. spełniającymi wymagania użytkowników przy równoczesnym osiągnięciu stabilności ekonomicznej i ekologicznej czy zasięgu, czego oczekuje się od obecnie produkowanych samochodów. W następnych latach przewiduje się jego dalsze udoskonalenie, co znajduje odzwierciedlenie w trendach rozwojowych, wśród których występuje idea kontrolowanej zmiany objętości skokowej określana mianem rightsizing'u (z ang. dosłownie „właściwy rozmiar”), który jest zmodyfikowaną postacią powszechnie znanego downsizing'u.

W ślad za tymi działaniami zmianie ulega bilans energetyczny samochodu osobowego, którego jednym ze składników jest energochłonność poszczególnych faz ruchu, a w szczególności najbardziej energochłonnej fazy przyspieszania. Niezależnie od typu jednostki napędowej, czy to spalinowej, czy elektrycznej, od fazy przyspieszania głównie zależna jest energochłonność ruchu. Proces przyspieszania samochodu zawsze realizowany jest w warunkach zmiennego obciążenia, dlatego w przyszłości pozostanie nadal aktualnym problemem badawczym, ponieważ to kierowca decyduje o intensywności przyspieszania i jest ostatnim ogniwem w procesie sterowania mocą w układzie napędowym samochodu osobowego. To przez jego subiektywne decyzje wyznaczany jest chwilowy punkt pracy jednostki napędowej, który często jest niekorzystny z punktu widzenia ekonomicznego czy ekologicznego. Dlatego we współczesnym świecie na znaczeniu zyskują coraz bardziej wyrafinowane sposoby ograniczania możliwości bezpośredniego oddziaływania kierowcy na układ napędowy samochodu, jak na przykład przez stosowanie w samochodach elektronicznie sterowanej przepustnicy czy zautomatyzowanego układu przeniesienia napędu. Wówczas istotności nabiera odpowiednia metoda sterowania mocą w układzie napędowym samochodu, przy czym ta zaproponowana w niniejszej pracy ma zapewnić dobrą dynamikę przy ograniczonym zużyciu energii, co pozytywnie przekłada się na efekty środowiskowe oraz niezawodność elementów układu napędowego.

Wszystkie te wątki zostały poruszone w rozprawie doktorskiej. Kompleksowe podejście do sterowania mocą w układzie napędowym pozwoliło na obiektywną ocenę zdolności przyspieszania samochodu osobowego podczas rozpędzania lub w próbie elastyczności.

## **2. Część teoretyczna**

W pracy opisano główne czynniki mające wpływ na energochłonność ruchu samochodu w warunkach rzeczywistych. Wśród nich wyróżniono elementy współzależnego układu KSOK (Kierowca-Samochód-Otoczenie-Komunikacja), a także te, które związane są z konstrukcją samochodu. Wyróżniono kilka najpopularniejszych rozwiązań stosowanych w budowie silników spalinowych

w celu poprawy wskaźników ich pracy oraz zapewnienia możliwości dopasowania ich charakterystyki do chwilowych warunków obciążenia. Poruszono również aspekt wpływu tzw. stylu jazdy kierowcy na zużycie paliwa oraz emisję dwutlenku węgla w spalinach. Zwrócono uwagę na wysoką energochłonność ruchu miejskiego oraz szereg rozwiązań stosowanych w celu jej obniżenia. Wskazano na niedomagania procesu homologacyjnego wynikające ze stosowania testowych cykli jezdnych o niskim stopniu odwzorowania rzeczywistych warunków ruchu.

Na podstawie badań własnych wyznaczono procentowe udziały faz ruchu w homologacyjnym cyklu NEDC i w rzeczywistym miejskim cyklu jezdnym wzorowanym na danych z Opoła, w rozróżnieniu od typu zastosowanej w samochodzie skrzyni przekładniowej oraz dla trzech sposobów jazdy (dynamicznego, zrównoważonego i ekonomicznego). Opisano metody porównania energochłonności ruchu samochodów z uwzględnieniem hybrydowych i elektrycznych źródeł napędu. Wymieniono również najpopularniejsze sposoby porównania dynamiki ruchu samochodów zwracając uwagę na ich brak obiektywizmu, związany z pominięciem energochłonności przyspieszania.

Scharakteryzowano główne zadania realizowane przez strategie sterowania układem napędowym jako minimalizację energochłonności możliwie niskim kosztem dynamiki ruchu samochodu. Opisano charakterystykę ogólną silnika spalinowego. Przedstawiono terminologię ekonomicznej linii sterowania. Przytoczono wyniki własnych badań symulacyjnych nad wpływem: sposobu sterowania układem przeniesienia napędu, parametrów ruchu przepustnicy oraz strategii sterowania uchyleniem przepustnicy na zużycie paliwa. Wyznaczono również najczęściej wykorzystywane w tych warunkach obszary charakterystyki prędkościowej momentu obrotowego silnika spalinowego. Na tej podstawie opisano problem statystycznie najczęstszego wykorzystania silników spalinowych w obszarach ich charakterystyk, w których cechują się one niską sprawnością ogólną. Zdefiniowano pojęcie sprawności ogólnej jednostki napędowej. Scharakteryzowano bilans energetyczny ruchu samochodu wraz z podstawowymi jego składnikami.

### **3. Teza, cel i zakres pracy**

Współczesne zagadnienia dotyczące ochrony środowiska naturalnego, nowych preferencji kierowców i pasażerów czy wręcz nowoczesnych trendów w technice wymuszają prowadzenie prac naukowych w zakresie zmian konstrukcyjnych i badań w różnych warunkach ruchu. W badaniach na pierwszy plan wysuwają się testy w warunkach zmiennego obciążenia.

Głównym celem niniejszej pracy jest ocena własności ruchowych samochodu przy aktywnym sterowaniu mocą silnika spalinowego w warunkach zmiennego obciążenia, ze szczególnym uwzględnieniem energochłonności i dynamiki procesu rozpędzania. Na tej podstawie sformułowano następującą tezę rozprawy:

*istnieje możliwość wyboru takich punktów pracy jednostki napędowej, które pozwolą na uzyskanie poprawy wskaźników pracy układu napędowego samochodu w warunkach zmiennego obciążenia.*

Dodatkowym celem użytecznym rozprawy jest opracowanie obiektywnego wskaźnika dynamiki samochodu w fazie jego przyspieszania od założonej prędkości początkowej do prędkości końcowej, ponieważ dochodzi wtedy do ekstremalnego obciążenia układu napędowego maksymalną mocą silnika spalinowego. Istotne znaczenie ma wymiar fizyczny wskaźnika dynamiki, który łączy ze sobą czas rozpędzania, moc silnika spalinowego i zużycie paliwa. Czas rozpędzania jest uzależniony od mocy doprowadzonej z silnika do układu przeniesienia napędu w warunkach zmiennego obciążenia, a zużycie paliwa wynika z masy i konstrukcji samochodu poruszającego się na zadanym odcinku drogi. Taki wskaźnik ma łączyć w sobie własności energetyczne i dynamiczne samochodu.

Cele główny i użyteczny wymagają analizy i rozwiązania następujących zagadnień:

1. Ocenę bieżącego stanu techniki oraz przedstawienie problemu zmiennego obciążenia jednostki napędowej w warunkach rzeczywistego ruchu drogowego.
2. Analizę możliwości kontroli punktów pracy silnika w układzie napędowym pojazdu oraz analizę czynników mających wpływ na jego moc.
3. Propozycję zmian w przygotowaniu linii sterowania dla wybranego układu napędowego pojazdu w oparciu o badania stanowiskowe na hamowni podwoziowej.
4. Opracowanie metodyki badań pozwalających na ocenę procesu rozpędzania.
5. Ocenę procesu rozpędzania samochodu w warunkach symulowanego obciążenia układu napędowego wynikającego ze zmiennych warunków obciążania.
6. Analizę wskaźnika dynamiki procesu rozpędzania samochodu.

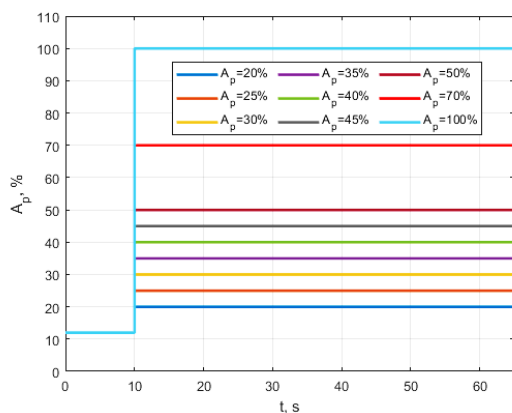
#### **4. Identyfikacja układu napędowego**

Do pomiaru parametrów trakcyjnych testowanego samochodu osobowego wykorzystano podwoziową hamownię jednorolkową MAHA MSR 500/2 4WD. Hamownia pełniła rolę pomiarową oraz obciążającą układ napędowy samochodu w próbach elastyczności. Parametry pracy układu napędowego badanego samochodu osobowego, które były mierzone za pomocą hamowni podwoziowej, to: siła napędowa, prędkość pojazdu, prędkość obrotowa wału korbowego silnika spalinowego oraz moment obrotowy. Pośrednio natomiast wyznaczane były wyniki dotyczące mocy silnika spalinowego.

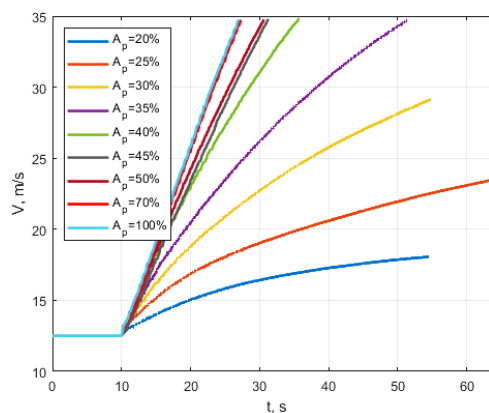
Do pomiaru parametrów jednostki napędowej pojazdu badawczego wykorzystano jego fabryczne czujniki i elementy wykonawcze. Sygnały elektryczne z tych elementów doprowadzono do karty pomiarowej National Instruments cDAQ-9174, której dodatkowy moduł wyjściowy wykorzystano do sterowania obciążeniem silnika spalinowego. Do akwizycji danych z karty pomiarowej oraz realizowania programu sterującego obciążeniem silnika wykorzystano komputer klasy PC wyposażony w oprogramowanie LabView. Tak przygotowane stanowisko pomiarowe umożliwiło dokonywanie pomiarów w próbie elastyczności. W tym przypadku wybrano zakres prędkości od 12,5 m/s (45 km/h) do 35 m/s (125 km/h) z włączonym czwartym przełożeniem skrzyni przekładniowej.

Obciążenie silnika samochodu badawczego na hamowni podwoziowej realizowano według schematu przedstawionego na rysunku 4.1. Jako wynik prób przyspieszania przy stałym uchyleniu

pedału przyspieszenia uzyskano m. in. profile prędkości, które przedstawiono na rysunku 4.2. Uchylenie pedału przyspieszenia do 20%, 25% i 30% nie pozwalało na osiągnięcie wymaganej prędkości maksymalnej.



Rys. 4.1. Zadane uchylenia pedału przyspieszenia ( $A_p$ ) podczas pomiaru dla różnych intensywności przyspieszania



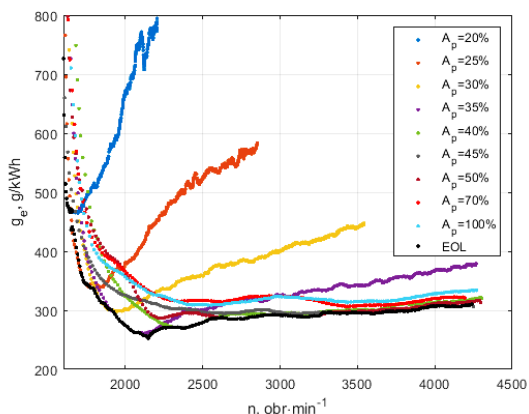
Rys. 4.2. Profil prędkości pojazdu wynikający z obciążenia silnika zadanymi uchyleniami pedału przyspieszenia ( $A_p$ )

Najwyższą chwilową sprawność ogólną układu napędowego (rys. 5. 1) uzyskano przy uchyleniu pedału przyspieszenia na 35% i prędkości obrotowej wału korbowego około  $2100 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ . Wyniosła ona około 32%.

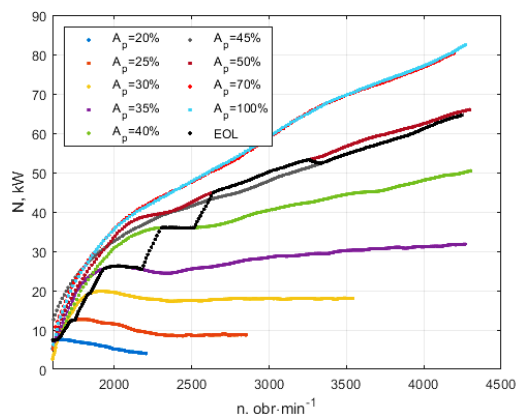
## 5. Wyznaczanie ekonomicznej linii sterowania

Rozpatrywaną w pracy ekonomiczną linię sterowania wyznaczono w oparciu o badania stanowiskowe przeprowadzone na hamowni podwoziowej w warunkach zmiennego obciążenia układu napędowego, wynikającego z próby elastyczności przy ustalonym wymuszeniu pedałem przyspieszenia ( $A_p$ ). Warunki te opisano w 5 rozdziale rozprawy. Wskaźnikiem silnika spalinowego, który wykorzystano jako miarę ekonomiczności jego pracy, jest jednostkowe zużycie paliwa. W celu uzyskania referencyjnej linii sterowania wyznaczono na wykresie zbiorczym tego parametru, zamieszczonym na rysunku 5.1, przebieg linii minimalnego jednostkowego zużycia paliwa dla każdego wymuszenia. Krzywą tą opisano skrótem EOL. Przenosząc linię EOL na wykres mocy częściowych (rys. 5.2) uzyskano teoretyczny przebieg mocy w układzie napędowym podczas obciążania układu według EOL.

W ten sposób oznaczono minimalne jednostkowe zużycie paliwa w zakresie zmian prędkości obrotowej wału korbowego silnika, który wynika z przyjętego zakresu prędkości samochodu. Uzyskaną w ten sposób krzywą scharakteryzowano w zależności uchylenia pedału przyspieszenia od prędkości obrotowej wału korbowego.



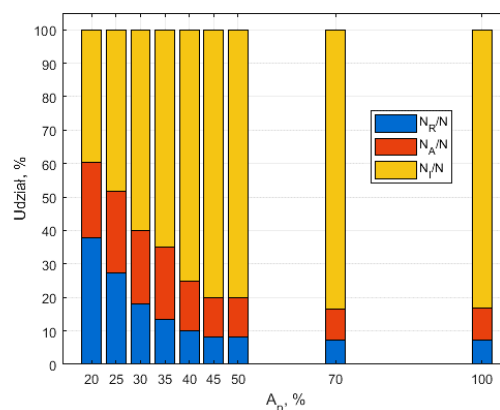
Rys. 5.1. Krzywe jednostkowego zużycia paliwa wyznaczone w próbie elastyczności przy stałych uchyleniach pedału przyspieszenia ( $A_p$ ) oraz dla referencyjnej ekonomicznej linii sterowania (EOL)



Rys. 5.2. Krzywe mocy wyznaczone w próbie elastyczności przy stałych uchyleniach pedału przyspieszenia ( $A_p$ ) oraz dla referencyjnej ekonomicznej linii sterowania (EOL)

Na potrzeby interpretacji bilansu energetycznego wyznaczono średni udział procentowy podstawowych składników oporu ruchu samochodu podczas prób. Na rysunku 5.3 zamieszczono ich skumulowany wykres.

Rys. 5.3. Skumulowany średni udział procentowy składników oporu ruchu w trakcie prób;  
 $N$  – całkowite opory ruchu,  $N_R$  - opory toczenia,  
 $N_A$  - opory powietrza,  $N_I$  - opory bezwładności



Wraz ze wzrostem intensywności przyspieszania udział oporu toczenia maleje od około 38% do około 7%. Podobny trend zauważyć można w przypadku oporu aerodynamicznego, z tą różnicą, że pomiędzy dwoma najmniejszymi uchyleniami pedału przyspieszenia odnotowano jego wzrost. Zakres zmian wielkości udziału  $N_A$  zawiera się pomiędzy około 24% a około 9%. Najistotniejszym pod względem wielkości liczbowej składnikiem jest opór bezwładności, zawierający się w zakresie od około 39% do ponad 83%. Dodatkowo jego udział w całkowitym oporze ruchu charakteryzuje się tendencją do wzrostu wraz ze wzrostem dynamiki jazdy. Największe zmiany we wzajemnym udziale składników oporu ruchu widoczne są w zakresie  $20\% \leq A_p \leq 40\%$ . Przy uchyleniu pedału przyspieszenia do 45% i powyżej wielkości kolejnych składowych utrzymują się na zbliżonym poziomie.

## 6. Charakterystyka zespolona linii sterowania

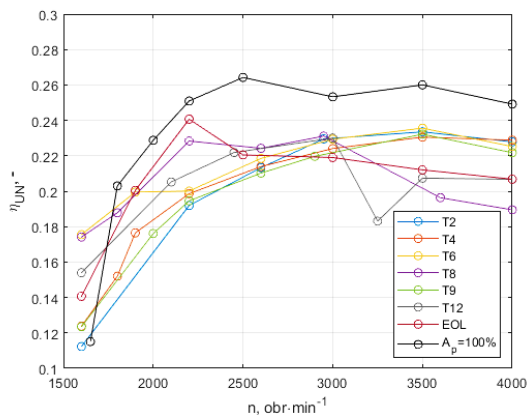
W pierwszej kolejności po opracowaniu przebiegu referencyjnej ekonomicznej linii sterowania należało zaimplementować ją do oprogramowania LabView, którego zadaniem we współpracy z kartą pomiarowo-sterującą National Instruments, było symulowanie działania pedału przyspieszenia według tej linii. Poszukując rozwiązania z wykorzystaniem linii EOL postanowiono dodatkowo opracować kilka alternatywnych krzywych sterowania mocą silnika, zbliżonych do ekonomicznej linii sterowania. Charakterystyki krzywych powstałych na bazie linii EOL zamieszczono w pracy. Dla każdej z alternatywnych linii sterowania przeprowadzono kilka przejazdów w próbie elastyczności od zadanej prędkości 12,5 m/s. Próby te oznaczano literą T oraz kolejnymi cyframi. Z pozyskanych wyników wybrano po jednym przejeździe dla każdej z linii, kierując się kryterium najwyższej sprawności ogólnej układu napędowego.

W tabeli 6.1 zamieszczono uzyskane w próbie elastyczności wyniki drogi oraz czasu przyspieszenia od prędkości 12,5 m/s do 35 m/s. Kolorem zielonym zaznaczono najlepsze, a kolorem czerwonym najgorsze wyniki pod względem czasu i odległości prób rozpędzania.

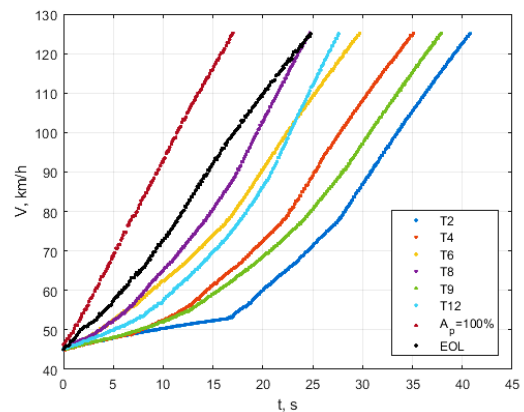
Tab. 6.1. Wyniki prób elastyczności w warunkach zmiennego obciążenia jednostki napędowej

Oznaczenie pomiaru	T2	T4	T6	T8	T9	T12	$A_p = 100\%$	EOL
t, s	40,8	35,1	29,7	24,7	37,9	27,6	17	24,8
s, m	918	791	669	556	853	621	405	560

Sugerując się wynikami parametrów kinematycznych, jakie zawarto w tabeli 6.1, a także wyznaczoną sprawnością (rys. 6.1) i jednostkowym zużyciem paliwa, spośród proponowanych linii sterowania mocą silnika spalinowego w warunkach zmiennego obciążenia, jako najlepszą wskazać należy linię T8, tylko nieznacznie odbiegającą od teoretycznej linii wyznaczonej na podstawie badań stanowiskowych. Zgodnie z prezentowanymi wynikami zapewnia ona przede wszystkim najniższe zużycie paliwa, a dodatkowo najwyższą dynamikę ruchu, co przedstawiono na rysunku 6.2.



Rys. 6.1. Krzywe sprawności układu napędowego w próbie elastyczności przy zmiennym obciążeniu



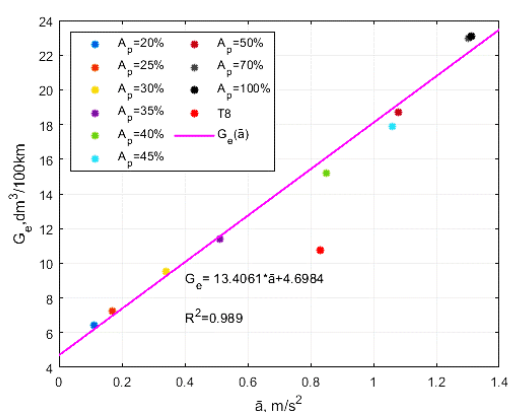
Rys. 6.2. Prędkość samochodu badawczego w warunkach zmiennego obciążenia



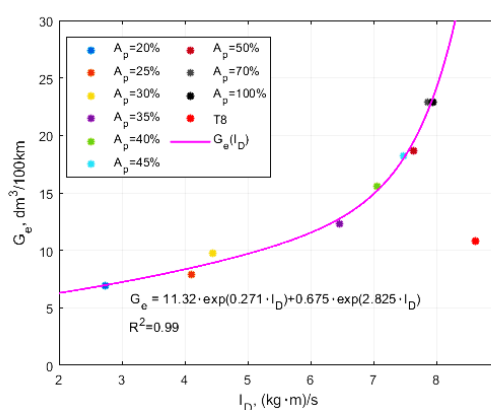
## 6.1. Ocena dynamiki ruchu samochodu

Na rysunku 6.3 zamieszczono średnie wielkości przebiegowego zużycia paliwa w korelacji ze średnim przyspieszeniem na odcinku 400 metrów przy stałym uchyleniu pedału przyspieszenia. Wielkości średniego przyspieszenia są wprost proporcjonalne do przebiegowego zużycia paliwa, o czym świadczy wielkość współczynnika dopasowania krzywej.

Uzyskane wyniki potwierdzają powiązanie pomiędzy obniżeniem zdolności do przyspieszania samochodu a zmniejszeniem zużycia energii/paliwa. Jednoznaczna ocena wyników jest utrudniona z powodu różnic w dynamice procesu przyspieszania samochodu spowodowanych zmianami w ilości energii dostępnej w układzie napędowym.



Rys. 6.3. Aproxymacja zależności przebiegowego zużycia paliwa od średniego przyspieszenia



Rys. 6.4. Aproxymacja zależności przebiegowego zużycia paliwa od indeksu dynamiki

Na rysunku 6.3 zaznaczono dodatkowo punkt wynikający z zastosowania linii T8. W wyniku działania T8 uzyskano przyspieszenie o niemal podwójnej wielkości (z około 0,43 m/s do 0,83 m/s) przy podobnym zużyciu paliwa. Dane te można również interpretować pod względem prezentowanego na osi rzędnych zużycia paliwa, które uległo obniżeniu o 46% (z około 15,8 dm<sup>3</sup>/100 km do około 10,8 dm<sup>3</sup>/100 km) przy tym samym przyspieszeniu samochodu.

Biorąc pod uwagę energochłonność jednostkową ( $E_j$ , J/(kg·m)), bazującą na mocy jednostki napędowej ( $N$ , kW), istnieje możliwość określenia wskaźnika dynamiki jako nowego parametru opisującego energochłonność ruchu (równanie 1). Indeks dynamiki ( $I_D$ , (kg·m)/s) jest obiektywną miarą łączącą zużycie energii oraz dynamikę ruchu samochodu. Określa ilość energii potrzebnej do przyspieszenia 1 kilograma masy pojazdu na odległość 1 metra w czasie 1 sekundy:

$$I_D = \frac{N}{E_j} \quad (1)$$

W odniesieniu do położenia linii sterowania T8 względem krzywej indeksu dynamiki (rys. 6.4), określonych dla układu napędowego samochodu bez wprowadzania w nim zmian, należy stwierdzić, że zapewnia ona większy stosunek mocy do energochłonności jednostkowej, niż pozostałe punkty. Obniżenie przebiegowego zużycia paliwa o 50,3% w stosunku do wyników przyspieszania

z maksymalną intensywnością przy wydłużeniu czasu przyspieszania od prędkości początkowej 12,5m/s do chwili pokonania 400 m o 19,2% świadczy o tym, że proponowana linia sterowania mocą silnika w warunkach zmiennego obciążenia spełnia swoje założenia. Natomiast indeks dynamiki jako nowe zagadnienie wymaga weryfikacji kolejnymi badaniami. Należy również sprawdzić jego przydatność do zastosowania w ocenie dynamiki pojazdów z napędem elektrycznym i hybrydowym.

## **7. Wnioski ogólne**

Na podstawie przeprowadzonych prac badawczych oraz analizy wyników sformułowano następujące wnioski ogólne:

1. Oceniono bieżące warunki pracy układu napędowego samochodu, wskazując na dominujące użytkowanie jednostek napędowych w obszarach ich niskiej efektywności energetycznej.
2. Potwierdzono, że na dynamikę samochodu osobowego ma wpływ zarówno bezpośredni sposób sterowania mocą w układzie napędowym, jak i rodzaj zastosowanego układu przeniesienia napędu.
3. Opisano zaawansowane metody sterowania mocą silnika w warunkach zmiennego obciążenia.
4. Potwierdzono, że możliwe jest wyznaczenie ekonomicznej linii sterowania w oparciu o analizę charakterystyki trakcyjnej układu napędowego samochodu osobowego na hamowni podwoziowej.
5. Potwierdzono, że sterowanie mocą w układzie napędowym w oparciu o chwilowe punkty pracy silnika wyznaczające jego linię sterowania umożliwia zachowanie dobrej dynamiki przy zmniejszeniu zużycia paliwa.
6. Stwierdzono, że zaproponowany sposób sterowania obniża wartości uchyleń przepustnicy w kolektorze dolotowym.
7. Stwierdzono, że analiza ekonomiczna dla wybranej linii sterowania samochodu badawczego umożliwia osiągnięcie korzyści ekonomicznych.
8. Stwierdzono, że zaproponowany wskaźnik dynamiki procesu rozpędzania pozwala na obiektywną ocenę tego procesu.

Powyższe wnioski ogólne oraz realizacja zadań szczegółowych umożliwiają stwierdzenie, że zrealizowano główny cel pracy, a także potwierdzono założoną tezę pracy.

Należy zaznaczyć, że maksymalizacja korzyści wynikających ze zmiany sposobu sterowania mocą w układzie napędowym samochodu osobowego w warunkach zmiennego obciążenia jest opłacalna nie tylko pod względem ekonomicznym czy ekologicznym, ale również eksploatacyjnym. W przypadku tak prowadzonego procesu rozpędzania nie są generowane maksymalne obciążenia w układzie napędowym przy nieznacznie pogorszonej dynamice. Uzyskane wyniki wskazują na duży potencjał ekologiczny testowanego rozwiązania w aspekcie redukcji emisji związków toksycznych z samochodów osobowych, ale także możliwość opracowania dedykowanych linii sterowania w oparciu

o badanie stanowiskowe na hamowni podwoziowej. Tym samym wyznaczenie takiej linii dla dowolnej jednostki napędowej nie wymaga jej demontażu i czasochłonnych badań na hamowni silnikowej.

Główną zaletą badanego rozwiązania jest możliwa powszechność jego zastosowania dla samochodów osobowych niezależnie od zastosowanej jednostki napędowej, gdyż nie wiąże się z przeróbkami technologicznymi w układzie napędowym czy kwestią zgodności technologicznej. Sterowanie względem linii wymaga tylko zmiany stylu jazdy kierowcy i jest alternatywą do stosowanego sposobu jazdy - ekodriving'u.

## **8. Wnioski utylitarne**

Celem utylitarным osiągniętym w pracy jest opracowanie obiektywnego wskaźnika pozwalającego na ocenę dynamiki procesu rozpędzania samochodu. Taki wskaźnik wiąże własności energetyczne i dynamiczne samochodu. Łączy w sobie obiektywizm metody oceny procesu rozpędzania samochodu osobowego z praktycznym jego zastosowaniem do kategoryzacji jego zdolności do przyspieszania (dynamiki). Istotne znaczenie ma tutaj wymiar fizyczny wskaźnika, łączący ze sobą czas rozpędzania, moc silnika spalinowego i zużycie paliwa. Czas jest pochodną mocy doprowadzonej z silnika do układu przeniesienia napędu, a zużycie paliwa wynika z masy i konstrukcji pojazdu poruszającego się na zadanym odcinku drogi.

Po drugie celem utylitarным jest metodyka wyznaczania linii sterowania, nie w oparciu o czasochłonne badanie jednostki napędowej na hamowni silnikowej, a o badania wybranego samochodu na hamowni podwoziowej. Skraca to nie tylko czas, ale pozwala poznać zalety i wady zastosowanej jednostki napędowej w danym samochodzie osobowym, przez rozpoznanie choćby jego wskaźnika elastyczności.

## **9. Wnioski perspektywiczne**

Prowadzone prace badawcze oraz analityczne nie wyczerpują całości zagadnienia kompleksowej analizy ekonomicznej i dynamicznej samochodu osobowego poruszającego się przy zmiennym obciążeniu. Dalsze prace związane z tym zagadnieniem będą ukierunkowane na następujące obszary badawcze:

1. Wykorzystanie opracowanej linii sterowania do bezpośrednich jazd drogowych w warunkach nie symulowanego, ale rzeczywistego obciążenia układu napędowego.
2. Integracja opracowanej linii sterowania mocą w układzie napędowym samochodu do zaproponowanych zaawansowanych sposobów sterowania silnikiem w warunkach zmiennego obciążenia.
3. Opracowanie aplikacji usprawniającej proces sterowania mocą w układzie napędowym, a także pozwalającej na ocenę dynamiki samochodu osobowego.
4. Ocena ogólnie pojętego komfortu jazdy samochodem osobowym w oparciu o linię sterowania.
5. Poszukiwanie interpretacji dobrej dynamiki i zmniejszonego zużycia paliwa dla linii sterowania.