

УДК 621.43.058  
UDC 621.43.058

DOI: 10.33744/2308-6645-2021-3-50-067-080

## **CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH TESTÓW JEZDNYCH STOSOWANYCH W BADANIACH EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ W SPALINACH SILNIKOWYCH SAMOCHODÓW OSOBOWYCH**

*JAWORSKI Artur*, Dr Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, [ajaworsk@prz.edu.pl](mailto:ajaworsk@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0002-1599-1711](https://orcid.org/0000-0002-1599-1711)

*JAREMCIO Mirosław*, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, [mjaremcio@prz.edu.pl](mailto:mjaremcio@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0003-3683-101X](https://orcid.org/0000-0003-3683-101X)

*LEJDA Kazimierz*, Dr Hab. Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, [klejda@prz.edu.pl](mailto:klejda@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0002-5889-4006](https://orcid.org/0000-0002-5889-4006)

*MĄDZIEL Maksymilian*, Dr Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, [mmadziel@prz.edu.pl](mailto:mmadziel@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0002-3957-8294](https://orcid.org/0000-0002-3957-8294)

*WOŚ Paweł*, Dr Hab. Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, [pwos@prz.edu.pl](mailto:pwos@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0003-2730-3258](https://orcid.org/0000-0003-2730-3258)

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКРЕМИХ ДОРОЖНІХ ВИПРОБУВАНЬ З ДОСЛІДЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ**

*ЯВОРСКИ Артур*, кандидат технічних наук, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, [ajaworsk@prz.edu.pl](mailto:ajaworsk@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0002-1599-1711](https://orcid.org/0000-0002-1599-1711)

*ЯРЕМЦІО Мірослав*, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, [mjaremcio@prz.edu.pl](mailto:mjaremcio@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0003-3683-101X](https://orcid.org/0000-0003-3683-101X)

*ЛЕЙДА Казимір*, доктор технічних наук, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, [klejda@prz.edu.pl](mailto:klejda@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0002-5889-4006](https://orcid.org/0000-0002-5889-4006)

*МОНДЗІЕЛ Максиміліан*, кандидат технічних наук, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, [mmadziel@prz.edu.pl](mailto:mmadziel@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0002-3957-8294](https://orcid.org/0000-0002-3957-8294)

*ВОШ Павел*, доктор технічних наук, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, [pwos@prz.edu.pl](mailto:pwos@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0003-2730-3258](https://orcid.org/0000-0003-2730-3258)

## **CHARACTERISTICS OF SELECTED DRIVING CYCLES USED FOR EXHAUST EMISSIONS MEASUREMENT FROM PASSENGER CAR ENGINES**

*JAWORSKI Artur*, PhD in Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, [ajaworsk@prz.edu.pl](mailto:ajaworsk@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0002-1599-1711](https://orcid.org/0000-0002-1599-1711)

*JAREMCIO Mirosław*, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, [mjaremcio@prz.edu.pl](mailto:mjaremcio@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0003-3683-101X](https://orcid.org/0000-0003-3683-101X)

*LEJDA Kazimierz*, Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, [klejda@prz.edu.pl](mailto:klejda@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0002-5889-4006](https://orcid.org/0000-0002-5889-4006)

*MĄDZIEL Maksymilian*, PhD in Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, [mmadziel@prz.edu.pl](mailto:mmadziel@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0002-3957-8294](https://orcid.org/0000-0002-3957-8294)

*WOŚ Paweł*, Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, [pwos@prz.edu.pl](mailto:pwos@prz.edu.pl), [orcid.org/0000-0003-2730-3258](https://orcid.org/0000-0003-2730-3258)

### **WSTĘP**

Proces produkcji nowych pojazdów osobowych nie opiera się tylko na ich projektowaniu i wykonaniu, ale również na homologowaniu i testowaniu, zwłaszcza w zakresie emisji zanieczyszczeń spalin. Producent samochodów ma obowiązek, aby każdy nowy model poddać homologacji typu zgodnie z rozporządzeniem.

W rozporządzeniu związanym z odpowiednią dyrektywą znajduje się szereg wymogów, dotyczących między innymi emisji zanieczyszczeń w spalinach, które stawiane są nowo wyprodukowanemu pojazdowi.

Wraz z rozwojem motoryzacji zaczęto baczniej przyglądać się zanieczyszczeniom powstającym w silnikach spalinowych pojazdów. W Unii Europejskiej wprowadzono normy, pod nazwą Euro, określające limity emisji głównych zanieczyszczeń spalin. Badania wykonuje się dla wszystkich pojazdów osobowych w taki sam sposób, tzn. na hamowni podwoziowej, w komorze klimatycznej, z możliwością regulacji

temperatury oraz według ściśle określonego cyklu jezdny. Testy jezdne stworzone zostały do badań zużycia paliwa oraz emisji zanieczyszczeń w spalinach. We wrześniu 2017 roku wprowadzono nową procedurę pod nazwą Światowej Zharmonizowanej Procedury Badań Pojazdów Lekkich WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure), a w niej kilka cykli jezdnych, pod nazwą WLTC zamiennie stosowaną z nazwą głównego testu [7,18]. Wprowadzenie nowego testu spowodowane było bardzo dynamicznym rozwojem w motoryzacji - produkcją samochodów małolitrażowych, hybrydowych jak i elektrycznych. Poprzedni test nie uwzględniał kilku istotnych parametrów, takich jak moc silnika czy rodzaj napędu. Ze względu na różną specyfikę ruchu w USA opracowano inne niż w Europie testy jezdne. Badania realizowane są według procedury FTP-75 (Federal Test Procedure) [17].

Parametry testów jezdnych mają wpływ na opory ruchu [3] i warunki pracy silnika, od których zależą wartości wskaźników emisji zanieczyszczeń w spalinach [2,4,8,12]. Z uwagi na różnice laboratoryjnych cykli jezdnych z warunkami ruchu na drogach, wartości wskaźników emisji zanieczyszczeń w spalinach w badaniach drogowych różnią się od podawanych przez producentów [5,6,9,10,11,13].

W artykule porównano charakterystyczne parametry wybranych europejskich cykli jezdnych tj. WLTC, NEDC, cykli amerykańskich FTP-75 (wraz z suplementami SC03 i US06) oraz autorskiego drogowego cyklu jezdny w rejonie Rzeszowa.

### CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH CYKLI JEZDNYCH

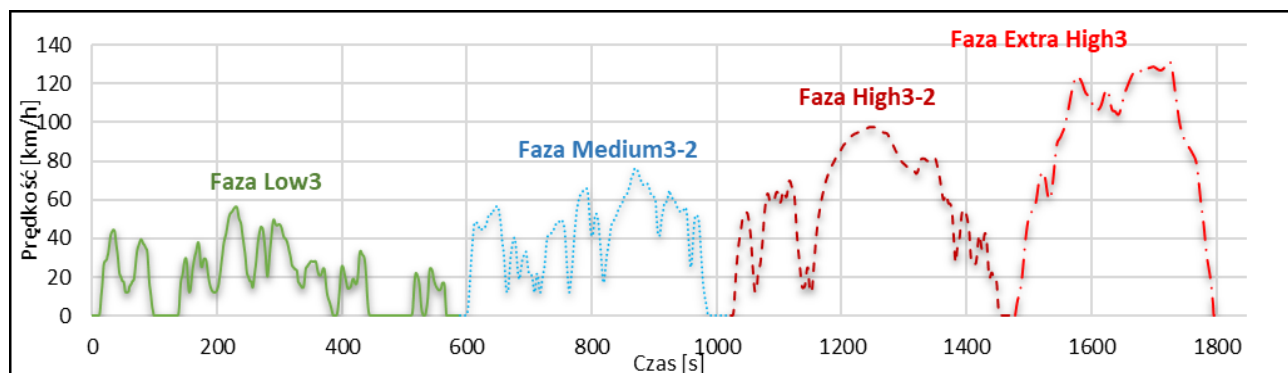
Zgodnie z procedurą WLTP, cykle jezdne WLTC, podzielone są na kilka klas w zależności od stosunku mocy znamionowej silnika badanego pojazdu do masy pojazdu gotowego do jazdy (PMR – Power to Mass Ratio) oraz jego prędkości maksymalnej. „Masa pojazdu gotowego do jazdy” oznacza masę pojazdu ze zbiornikiem(-ami) paliwa wypełnionym(-i) w co najmniej 90 % objętości, łącznie z masą kierowcy (75kg), paliwa i płynów, z zamontowanym wyposażeniem standardowym zgodnie ze specyfikacjami producenta oraz - w przypadku, gdy są zamontowane - masę nadwozia, kabiny, sprzęgu i koła zapasowego (kół zapasowych) oraz narzędzi [14]. Pojazdy według tego kryterium dzielimy na 3 klasy, natomiast klasę 3 dzieli się na dwie podklasy w zależności od maksymalnej prędkości jazdy  $V_{max}$ . Podział na klasy przedstawiono w tabeli 1. Czasy trwania poszczególnych faz oraz ich wybrane parametry zawiera tabela 2. Dodatkowo w tabeli 2 zamieszczono wartości parametrów dla drogowego cyklu jezdny (RDE) wyznaczonego na obszarze Rzeszowa.

Tabela 1 – Klasy pojazdów dla testu WLTC [14,15,16]

Table 1 – Vehicle classes for the WLTC test

Klasa	PMR- stosunek mocy do masy pojazdu gotowego do jazdy	Fazy cyklu jezdny	Prędkość maksymalna $V_{max}$
Pojazdy klasy 1	$PMR \leq 22$	faza małej prędkości (Low1) + faza średniej prędkości (Medium1)+ faza małej prędkości (Low1)	-
Pojazdy klasy 2	$22 < PMR \leq 34$	faza małej prędkości (Low2) + faza średniej prędkości (Medium2)+ faza dużej prędkości (High2) + faza bardzo dużej prędkości (Extra High2)	-
Pojazdy klasy 3a	$PMR > 34$	faza małej prędkości (Low3) + faza średniej prędkości (Medium3-1)+ faza dużej prędkości (High3-1) + faza bardzo dużej prędkości (Extra High3)	$V_{max} < 120 \text{ km/h}$
Pojazdy klasy 3b		faza małej prędkości (Low3) + faza średniej prędkości (Medium3-2)+ faza dużej prędkości (High3-2) + faza bardzo dużej prędkości (Extra High3)	$V_{max} \geq 120 \text{ km/h}$

Do dalszych analiz wybrano cykl, który najczęściej będzie wykorzystywany w Europie, tj. WLTC 3b (rysunek 1). Test ten obejmuje także grupę pojazdów hybrydowych, elektrycznie doładowywanych z zewnętrznego źródła (OVC-HEV) i pojazdów elektrycznych (BEV), czyli pojazdów, które coraz częściej pojawiają się na rynku motoryzacyjnym. Biorąc pod uwagę parametry techniczne samochodów ze średniego segmentu, większość będzie spełniać kryterium  $PMR > 34$ . Również samochody z pozostałych segmentów spełniające to kryterium, będą poddawane testom według cyklu WLTC 3b.



Rysunek 1 – Przebieg prędkości w funkcji czasu dla cyklu jezdny WLTC klasa 3b

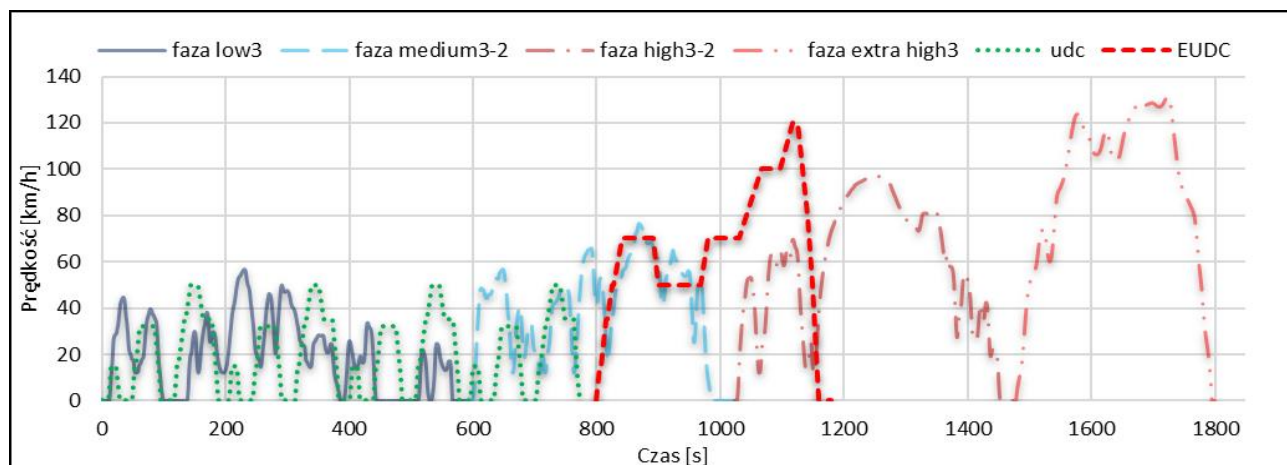
Figure 1 – Speed versus time for WLTC Class 3b driving cycle

Tabela 2 – Porównanie wybranych parametrów europejskich cykli jezdnych WLTC 3b i NEDC z drogowym rzeszowskim testem jezdny RDE [1, 7]

Table 2 – Comparison of selected parameters of the European WLTC 3b and NEDC driving cycles with the Rzeszow RDE road test [1, 7]

Parametr	WLTC 3b				W całym teście WLTC 3b	NEDC		W całym teście NEDC	W drogowym rzeszowskim teście RDE
	faza Low3	faza Medium3-2	faza High3-2	faza Extra high3		UDC	EUDC		
Średnia prędkość [km/h]	18,88	39,54	56,66	92,00	46,5	18,18	62,6	33,6	49,39
Średnia prędkość bez postoju [km/h]	20,06	44,47	60,66	94,03	54,81	21,88	63,89	42,88	55,8
Dystans [km]	3,12	4,77	7,18	8,28	23,36	4,09	7,07	11,15	39,47
Czas postoju [s]	144	47	29	6	226	240	40	280	330
Czas jazdy [s]	445	386	426	317	1574	540	360	900	2546
Czas całkowity [s]	589	433	455	323	1800	780	400	1180	2876
Wskaźnik procentowy udziału postoju [%]	24,45	10,85	6,37	1,86	43,53	30,77	10	23,7	11,4
Prędkość maksymalna [km/h]	56,5	76,6	97,4	131,3	131,3	50	120	120	140
Maksymalne przyspieszenie [m/s <sup>2</sup> ]	1,61	1,61	1,67	1,06	1,67	1,04	0,83	1,04	2,16
Maksymalne opóźnienie [m/s <sup>2</sup> ]	-1,50	-1,50	-1,50	-1,44	-1,5	-0,99	-1,39	-1,39	-2,76

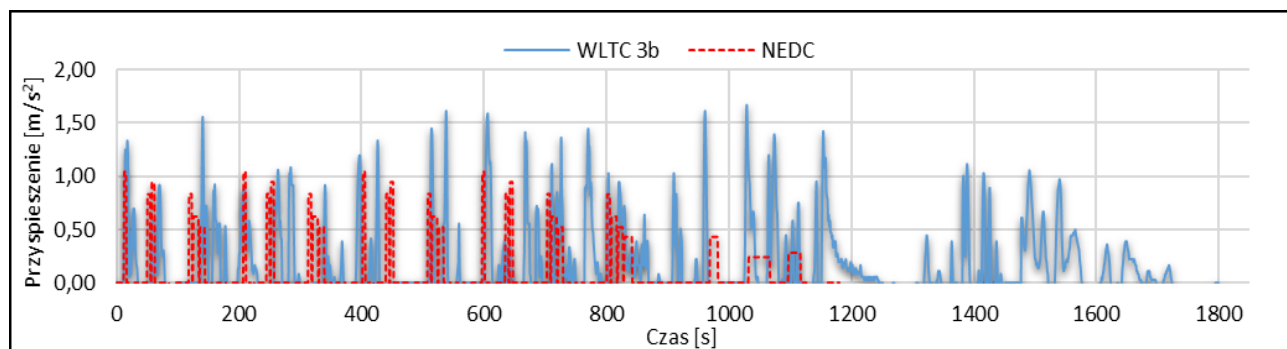
Na rysunku 2 widoczne jest porównanie cyklu WLTC 3b z cyklem, który został przez niego zastąpiony, tj. NEDC - New European Driving Cycle. Cykl NEDC składa się z dwóch faz: fazy miejskiej (UDC – Urban Driving Cycle) oraz fazy pozamiejskiej/autostradowej (EUDC – Extra Urban Driving Cycle). Cykl NEDC został opracowany na podstawie warunków jazdy w miastach takich jak Paryż lub Rzym. Charakteryzuje się on względnie niskim obciążeniem silnika.



Rysunek 2 – Przebieg prędkości w funkcji czasu dla cykli jezdnych WLTC klasa 3b i NEDC

Figure 2 – Speed versus time for WLTC Class 3b and NEDC driving cycles

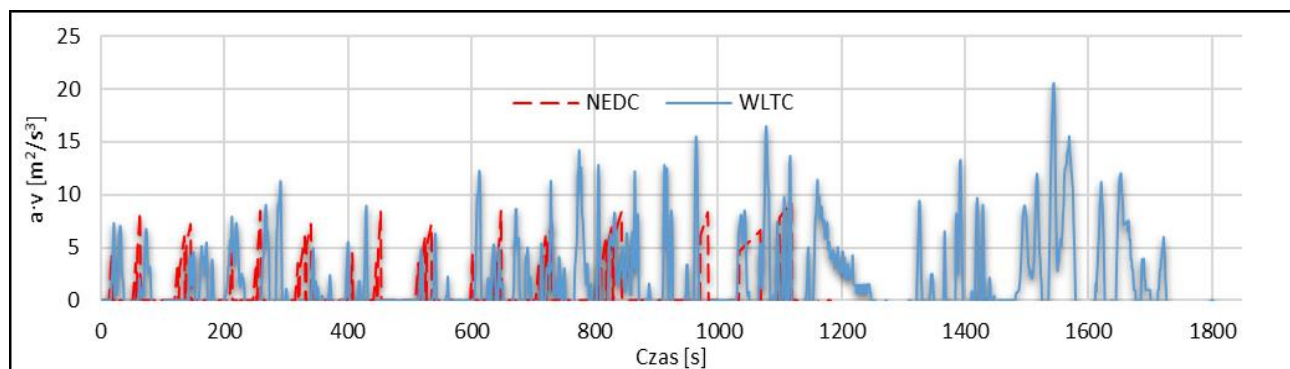
Jak można zauważyć na rysunku 2, test NEDC w porównaniu do WLTC charakteryzuje się bardziej liniową zmianą prędkości. W fazie miejskiej testu NEDC ujęty jest, czterokrotnie powtarzany profil niskiej prędkości (ECE15), co w warunkach rzeczywistych w ruchu miejskim jest nierealne. Porównując dane zawarte w tabeli 2 nasuwają się kolejne wnioski np. faza Low3 i UDC mają podobną prędkość średnią tj. 18,88 km/h i 18,18 km/h oraz maksymalne prędkości jazdy, które wynoszą: 56,5 km/h dla Low3 i 50 km/h dla UDC. Pomimo tych zbliżonych wartości, różnią się znacznie przebiegiem prędkości. Jeżeli chodzi o fazę EUDC to można ją porównać do fazy High3-2. Średnie prędkości tych faz wynoszą 54,76 km/h dla EUDC i 56,66 km/h dla High3-2. Czas testu WLTC jest o ok. 52 % dłuższy od testu NEDC. Średnia prędkość w teście WLTC wynosi 51,77 km/h i jest o 29,5 % wyższa w porównaniu do testu NEDC. Analizując zmiany dodatniego przyspieszenia, przedstawione na rysunku 3, widoczne są większe wartości przyspieszeń w teście WLTC 3b, a co za tym idzie wymagana prędkość musi być osiągnięta w krótszym czasie. W związku z tym silnik podczas testu musi pracować w szerszym zakresie prędkości obrotowej i obciążenia w zależności od konfiguracji ze skrzynią biegów. O większej dynamice dla testu WLTC 3b w porównaniu z NEDC świadczy iloczyn prędkości i dodatniego przyspieszenia, które przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 3 – Przebieg przyspieszenia dodatniego dla testów WLTC 3b i NEDC

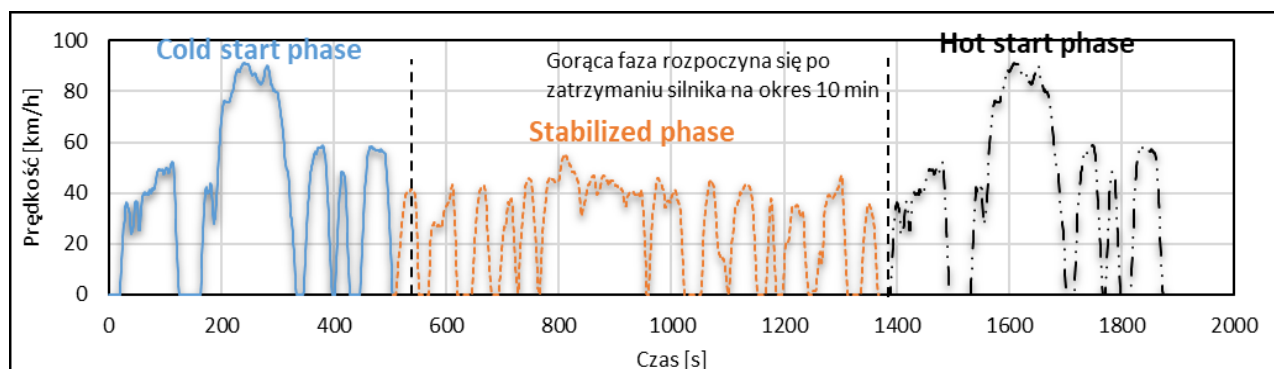
Figure 3 – Positive acceleration versus time for WLTC 3b and NEDC tests

Badania według amerykańskiego testu FTP-75, składają się z cykli jezdnych: fazy zimnej, fazy stabilizacji oraz fazy gorącej, której rozpoczęcie realizowane jest po ok. 10 minutach od zakończenia fazy stabilizacji. Rysunek 5 ilustruje fazy cyklu FTP-75. W tabeli 3 przedstawiono wybrane parametry cyklu WLTC3b oraz FTP-75, natomiast na rysunkach 6÷8 porównano profile prędkości, dodatnie przyspieszenia oraz iloczyny prędkości i dodatniego przyspieszenia cykli WLTC 3b i FTP-75.



Rysunek 4 – Przebieg iloczynu prędkości i dodatniego przyspieszenia w cyklach WLTC 3b oraz NEDC  
Figure 4 – The product of speed and positive acceleration in WLTC 3b and NEDC cycles.

Analizując parametry cyklu FTP-75 oraz porównując przebiegi wybranych wielkości na rysunkach w relacji do cyklu WLTC 3b widoczne są różnice, szczególnie w zakresie dużych prędkości jazdy. W zakresie badań emisji zanieczyszczeń cykl FTP-75 został uzupełniony o suplement SFTP (Supplemental Federal Test Procedure) obejmujący test SC03, realizowany w wysokiej temperaturze, oraz fazę dużych prędkości US06. Szczegóły dotyczące tych cykli można znaleźć w źródłach [1, 17, 18].



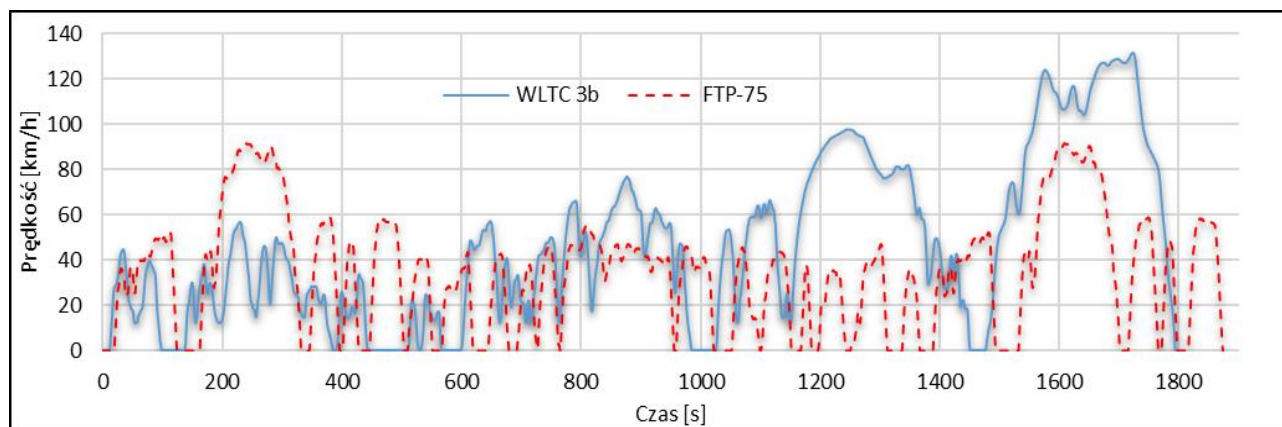
Rysunek 5 – Amerykański test jezdny FTP-75  
Figure 5 – U.S. FTP-75 driving cycle.

Tabela 3. – Wybrane parametry cyklu jezdny FTP-75 [1, 17, 18]

Table 3. – Selected parameters of the FTP-75 driving cycle [1, 17, 18]

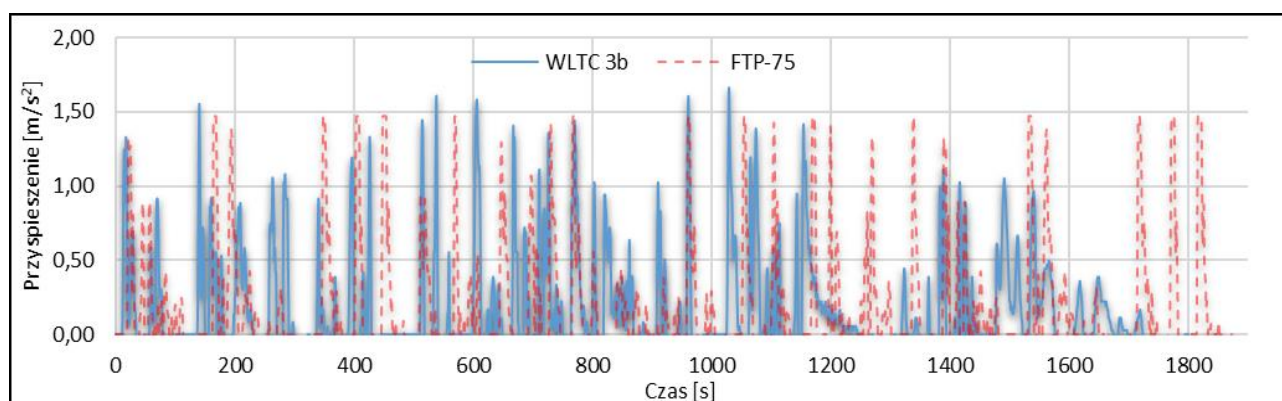
Parametr	Fazy cyklu FTP-75			W całym teście FTP-75
	CSP	SP	HSP	
Średnia prędkość [km/h]	41,1	25,7	41,1	34,12
Średnia prędkość bez postoju [km/h]	51,2	31,7	51,2	42,1
Dystans [km]	5,78	6,21	5,78	17,77
Czas postoju [s]	100	162	100	362 (+600)
Czas jazdy [s]	405	702	405	1513
Czas całkowity [s]	505	864	505	1874
Wskaźnik procentowy udziału postoju [%]	19,80	18,75	19,80	19,26
Maksymalna prędkość [km/h]	91,2	55,2	91,2	91,2
Maksymalne przyspieszenie [m/s²]	1,48	1,48	1,48	1,48
Maksymalne opóźnienie [m/s²]	-1,48	-1,48	-1,48	-1,48





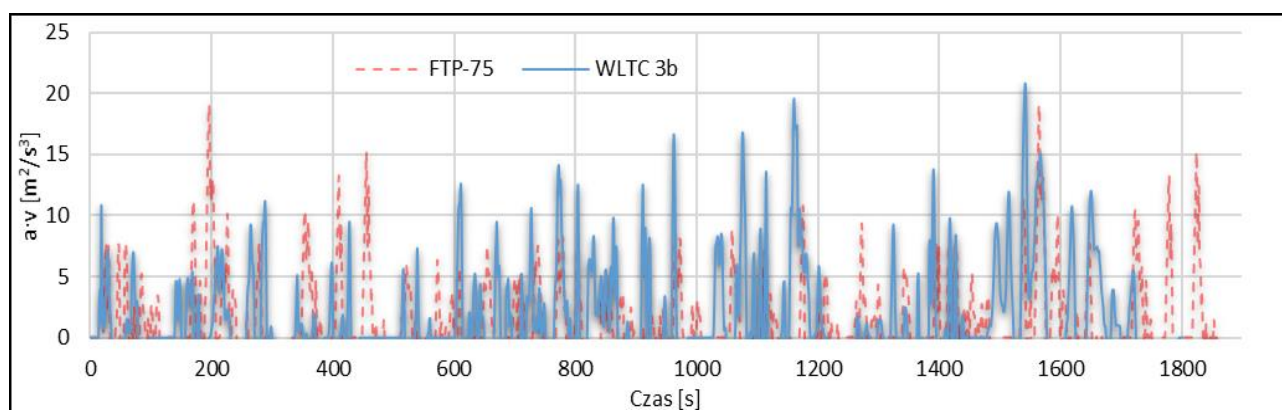
Rysunek 6 – Przebieg prędkości dla cykli WLTC 3b oraz FTP-75

Figure 6 – speed changes for WLTC 3b and FTP-75 cycles



Rysunek 7 – Przebieg przyspieszeń w cyklach WLTC 3b oraz FTP-75

Figure 7 – The course of accelerations in WLTC 3b and FTP-75 cycles



Rysunek 8 – Iloczyn prędkości i dodatniego przyspieszenia w cyklach WLTC 3b oraz FTP-75

Figure 8 – Velocity times positive acceleration in WLTC 3b and FTP-75 cycles

Wielkościami, które charakteryzują dynamikę cyklu jezdny są wartości przyspieszeń oraz iloczynów prędkości i przyspieszenia. Do oceny dynamiki testu, w tym także podczas badań w warunkach drogowych (RDE), używa się wartości tzw. względnego dodatniego przyspieszenia (RPA-relative positive acceleration), którą wyznacza się z wzoru [14]:

$$RPA = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot v_i \cdot \Delta t}{s} \quad [\text{m/s}^2] \quad (1)$$

gdzie:

$a_i$  – przyspieszenie w czasie  $i$  (uwzględnia się tylko  $a_i > 0$ ),  $[\text{m/s}^2]$ ,

$v_i$  – prędkość samochodu w czasie  $i$ ,  $[\text{m/s}]$ ,

$\Delta t$  – przyrost czasu (=1) [s],

$s$  – dystans całkowity [m].

Wartości iloczynu prędkości i przyspieszenia związane są z mocą oporów bezwładności, która zależna jest także od masy pojazdu. Dla każdej sekundy  $j$ , moc na kołach wymaganą do pokonania mocy oporów bezwładności, oblicza się z wzoru [14]:

$$P_{bj} = \frac{\delta \cdot a_j \cdot v_j \cdot TM}{1000} \text{ [kW]} \quad (2)$$

gdzie:

$\delta$  – współczynnik uwzględniający masy w ruchu obrotowym (w obliczeniach można przyjąć dla samochodów osobowych średnią wartość tego współczynnika na poziomie  $\delta=1,03$ ),

$a_j$  – przyspieszenie w czasie  $j$  (uwzględnia się tylko  $a_j > 0$ ) [ $\text{m/s}^2$ ],

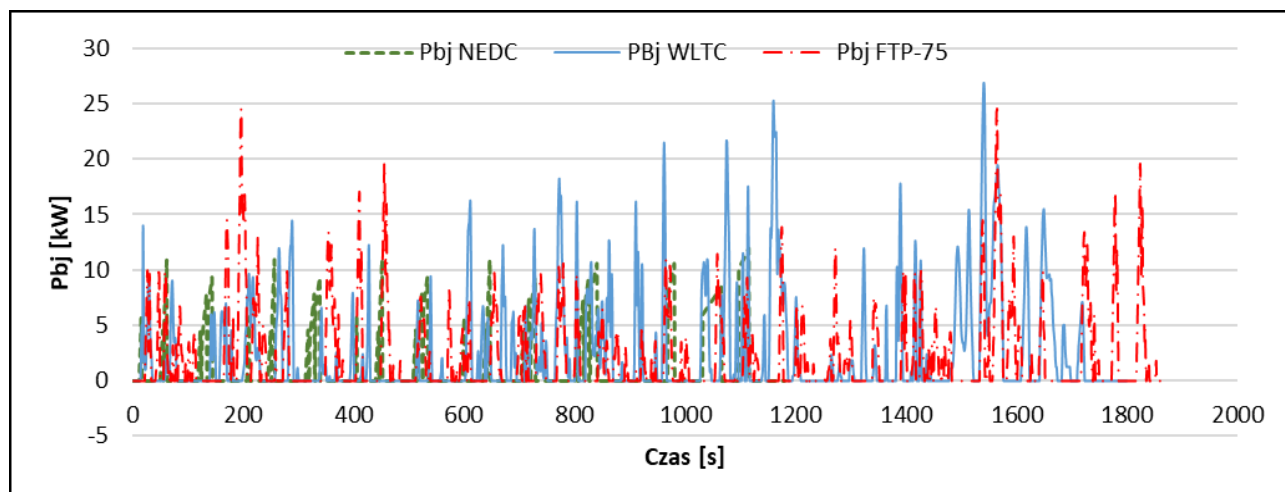
$v_j$  – prędkość samochodu w czasie  $j$ , [ $\text{m/s}$ ],

$TM$  – masa testowa samochodu [kg].

Wartość mocy oporów bezwładności związana jest z zapotrzebowaniem na energię niezbędną do przyrostu energii kinetycznej w fazach przyspieszania samochodu, którą dla całego cyklu można wyrazić wzorem:

$$E_b = \sum_{i=1}^n P_{bi} \cdot \Delta t \text{ [kJ]} \quad (3)$$

Porównanie wartości obliczonej mocy na pokonanie mocy oporów bezwładności oraz skumulowanych wartości zapotrzebowania na energię w fazach przyspieszania w cyklach NEDC, WLTC 3b i FTP-75, do zwiększenia energii kinetycznej samochodu o masie 1250 kg przedstawiono na rysunkach 9 i 10. Dodatkowo, na rysunku 10 przedstawiono wartości skumulowane zapotrzebowania na energię dla drogowego cyklu jezdny (RDE) wyznaczonego w Rzeszowie. Zmiany prędkości w funkcji czasu dla cyklu RDE oraz zapotrzebowanie na moc do pokonania mocy oporów bezwładności przedstawiono na rysunku 11. Cykl ten składa się z faz realizowanych w warunkach jazdy miejskiej, pozamiejskiej i autostradowej. Porównanie wybranych parametrów cyklu drogowego i cykli jezdnych WLTC 3b oraz NEDC zawiera tabela 4.



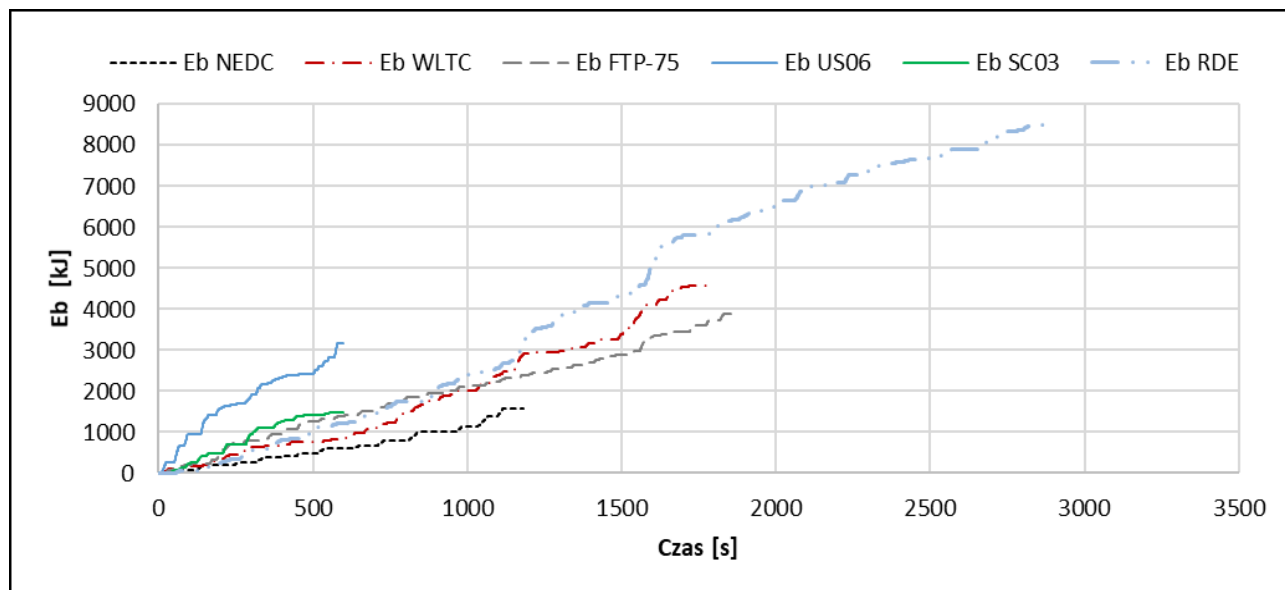
Rysunek 9 – Zapotrzebowanie na moc na kołach związaną z pokonaniem mocy oporów bezwładności samochodu o masie 1250kg w testach NEDC, WLTC 3b oraz FTP-75

Figure 9 – Power demand on wheels to overcome the inertia drag of a 1250kg car in NEDC, WLTC 3b and FTP-75 tests cycles

Analizując wykres mocy na kołach wymaganej do pokonania mocy oporów bezwładności dla samochodu o masie 1250 kg, można zauważyć, iż testy WLTC i FTP-75 mają charakterystyki bardziej dynamiczne i wymagają wyższych wartości mocy niż w teście NEDC. W teście WLTC wartości mocy potrzebnej do pokonania mocy oporów bezwładności dochodzą do ok. 27 kW, w teście FTP-75 do ok. 25 kW, natomiast NEDC ok. 12 kW. W przypadku drogowego rzeszowskiego testu jezdny (rysunek 11) zapotrzebowanie na moc do pokonania mocy oporów bezwładności osiąga maksymalnie wartość ok 32 kW.

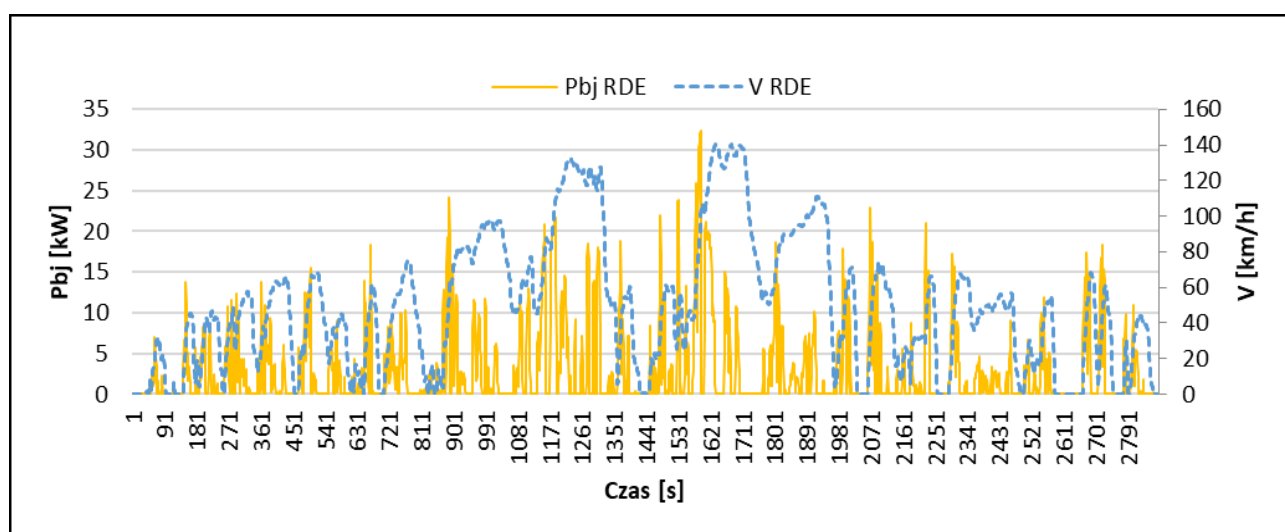
Rysunek 10 dla zapotrzebowania na energię związaną z przyrostem energii kinetycznej samochodu ukazuje, że cykl US06 charakteryzuje się najbardziej progresywną charakterystyką. Dla tego testu, całkowite zapotrzebowanie na energię do pokonania oporów bezwładności osiąga w 576 s wartość 3000 kJ. W tym samym czasie dla pozostałych cykli zapotrzebowanie na tę energię wynosi od ok. 500 do ok. 1500 kJ. Największy wzrost zapotrzebowania na energię związaną z przyrostem energii kinetycznej samochodu dla testu WLTC występuje w jego końcowej fazie.

Z uwagi na różne wartości dystansu poszczególnych cykli jezdnych, celem porównania zapotrzebowania na energię związaną z dynamiką ruchu i przyrostem energii kinetycznej samochodu o masie 1250 kg, obliczono wartości średniego zapotrzebowania na energię dla analizowanych testów, które przedstawiono na rysunku 12.



Rysunek 10 – Wartości skumulowane zapotrzebowania na energię związaną z przyrostem energii kinetycznej samochodu o masie 1250 kg w wybranych cyklach jezdnych

Figure 10 – Cumulative values of energy demand associated with kinetic energy gain of a car of mass 1250 kg in selected driving cycles



Rysunek 11 – Wykres zapotrzebowania na moc do pokonania oporów bezwładności oraz przebieg zmian prędkości w czasie dla drogowego rzeszowskiego cyklu jezdnych

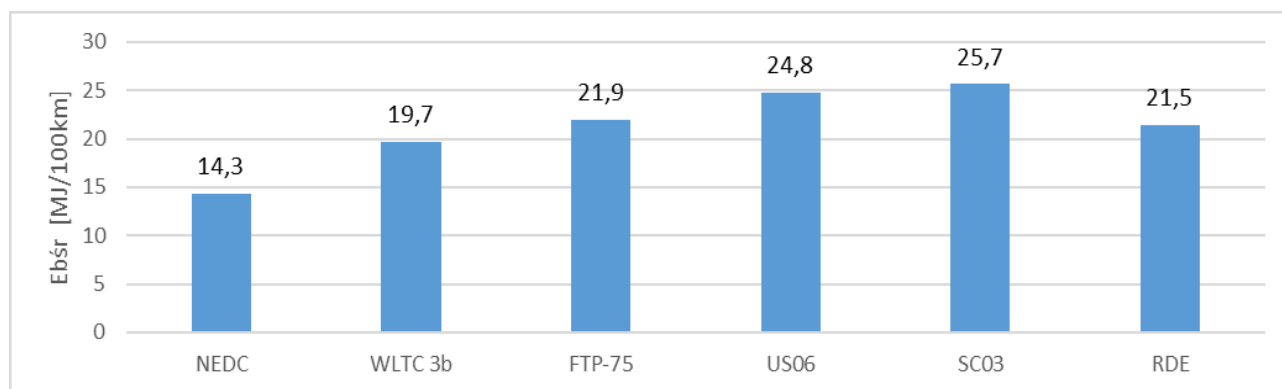
Figure 11 – Plot of power demand to overcome losses of inertia and the time course of speed changes for the Rzeszow road driving cycle

Tabela 4 – Porównanie wybranych parametrów cykli WLTC, NEDC i RDE

Table 4 – Comparison of selected parameters of WLTC, NEDC and RDE cycles

Parametr	W cyklu WLTC 3b	W cyklu NEDC	W cyklu FTP-75	W rzeszowskim teście RDE
Względne przyspieszenie dodatnie (RPA) [m/s <sup>2</sup> ]	0,153	0,112	0,17	0,162
Średni iloczyn prędkości i dodatniego przyspieszenia [m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	4,63	5,13	4,11	4,39
Maksymalny iloczyn prędkości i dodatniego przyspieszenia [m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	20,57	9,33	19,08	25,15





Rysunek 12 – Średnie zapotrzebowanie na energię związane z przyrostem energii kinetycznej samochodu o masie 1250 kg dla wybranych cykli jezdnych

Figure 12 – Average energy demand associated with kinetic energy gain of a 1250 kg car for selected driving cycles

Analizując wartości średniego zapotrzebowania na energię do przyrostu energii kinetycznej samochodu o masie 1250 kg w analizowanych cyklach jezdnych widoczne jest, że największe zapotrzebowanie dotyczy cyklu SC03, dla którego  $E_{bśr}$  wynosi ok. 25,7 MJ/100km. W przypadku cyklu WLTC 3b wartość tej energii wynosi ok 19,7 MJ/100km i jest o ok. 5 MJ/100 km większa niż w cyklu NEDC, natomiast w teście RDE wyniosła ok. 21,5 MJ/100km.

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować następujące wnioski:

1) Testy laboratoryjne nigdy nie odzwierciedlają w 100% takiego samego profilu prędkości jak podczas jazdy w warunkach drogowych. Jednak nowy test WLTC ma przewagę nad jego poprzednikiem, gdyż wydaje się być bardziej dopasowany do warunków rzeczywistych, co czyni go bliższym realnym warunkom jazdy. Jego większe średnie prędkości jazdy, dłuższe postoje, dłuższa przebyta droga oraz większa maksymalna prędkość są bardziej realne aniżeli w teście NEDC.

2) Porównując wybrane parametry uzyskane w przykładowym drogowym teście jezdym z parametrami analizowanych cykli widoczne jest, że najbliższym cyklem do drogowego jest WLTC 3b. Dotyczy to w szczególności parametrów świadczących o dynamice cyklu, jak: względne dodatnie przyspieszenie (dla WLTC 3b wynosi ok.  $0,153 \text{ m/s}^2$ , dla RDE= $0,162 \text{ m/s}^2$ ), średni iloczyn prędkości i przyspieszenia (dla WLTC 3b wynosi ok.  $4,63 \text{ m}^2/\text{s}^3$ , dla RDE= $4,39 \text{ m}^2/\text{s}^3$ ) oraz maksymalny iloczyn prędkości i dodatniego przyspieszenia (dla WLTC 3b wynosi ok.  $20,57 \text{ m}^2/\text{s}^3$ , dla RDE= $25,15 \text{ m}^2/\text{s}^3$ ). Są to wartości bardzo odmienne dla stosowanego poprzednio cyklu NEDC.

3) Wartość średniej energii niezbędnej do przyrostu energii kinetycznej samochodu o masie 1250 kg, jest także znacznie bliższa w przypadku cyklu WLTC 3b (19,7 MJ/100km) do testu drogowego RDE (21,5 MJ/100km). Dla poprzedniego cyklu europejskiego NEDC wartość tej energii wyniosła 14,3 MJ/100 km.

4) Wartości mocy potrzebnej do pokonania mocy oporów bezwładności w cyklu WLTC 3b dochodzą do ok. 27 kW, w teście FTP-75 do ok. 25 kW, natomiast NEDC ok. 12 kW. W przypadku testu drogowego RDE maksymalna wartość tej mocy wyniosła ok. 32 kW.

5) Patrząc na rynek motoryzacyjny i duży wzrost liczby samochodów, który przyczynia się do zwiększenia ruchu nie tylko na drogach miast, ale również poza nimi, wiąże się z coraz większymi postojami w przemieszczaniu się z punktu A do B. Nowo powstająca infrastruktura drogowa w miastach, taka jak np. dodatkowe sygnalizacje świetlne, nie ułatwiają osiągnięcia deklarowanego przez producenta w cyklach jezdnych w warunkach laboratoryjnych, zużycia paliwa i emisji  $\text{CO}_2$ .

6) Testy homologacyjne i opracowywane cykle jezdne powinny wyprzedzać zmiany jakie zachodzą w przepisach dotyczących emisji spalin. Wraz ze zmianą standardów emisji spalin należy również aktualizować cykle jezdne i dostosowywać je do zmieniających się warunków rzeczywistych występujących na drogach.

## LITERATURA

1. Barlow T.J., Latham S., McCare I.S., Boulter P.G.: A reference Book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. Project report PPR354. Transport Research Laboratory. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/4247/ppr-354.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/4247/ppr-354.pdf) (dostęp: 10.03.2021)
2. Chłopek, Z. et al. Comparative examination of pollutant emission from an automotive internal combustion engine with the use of vehicle driving tests. *Combustion Engines*. 2016, 164(1), 56-64. ISSN 2300-9896.
3. Jaworski A., Kuszewski H., Ustrzycki A.: Wyznaczanie współczynników symulacji oporów ruchu w badaniach na hamowni podwoziowej. *Logistyka*, 4/2015.
4. Jaworski A., Mądziel M., Kuszewski H., Lejda K., Balawender K., Jaremcio M., Jakubowski M., Woś P., Lew K.: The Impact of Driving Resistances on the Emission of Exhaust Pollutants from Vehicles with the Spark Ignition Engine Fuelled by Petrol and LPG. SAE Technical Paper 2020-01-2206.
5. Jaworski A., Lejda K., Lubas J., Mądziel M.: Comparison of exhaust emission from Euro 3 and Euro 6 motor vehicles fueled with petrol and LPG based on real driving conditions. *Combustion Engines (Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych)*, 3/2019 (178) - CE-2019-318.
6. Jaworski A., Lejda K., Mądziel M., Ustrzycki A.: Assessment of the emission of harmful car exhaust components in real traffic conditions. 2018, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, t.421, s.1-9, ISBN/ISSN: 1757-8981 doi:10.1088/1757-899X/421/4/042031.
7. Marotta, A., Pavlovic, J., Ciuffo, B., Serra, S., Fontaras, G., 2015. Gaseous emissions from light-duty vehicles: moving from NEDC to the new WLTP test procedure, *Environ. Sci. Technol.* <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b01364>.
8. J. May, C. Favre, D. Bosteels, Emissions from Euro 3 to Euro 6 light-duty vehicles equipped with a range of emissions control technologies, *Internal Combustion Engines: Performance, Fuel Economy and Emissions*, Woodhead Publishing, 2013, <https://doi.org/10.1533/9781782421849.2.55>.
9. Merkisz, J., Pielecha J., Jasiński R., (2017) Ocena emisji spalin pojazdów kategorii Euro 6 w testach drogowych. Poznań. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej* z.115.
10. Merkisz, J., Pielecha J., Jasiński R., (2015) Ekologiczna ocena samochodów osobowych w drogowych testach emisyjnych. *Technika Transportu Szynowego* 12/2015 Instytut Naukowo-Wydawniczy "TTS".
11. Pielecha, J., Merkisz, J., Kurtyka, K., Skobiej, K. (2019) Cold start emissions of passenger cars with gasoline and diesel engines in Real Driving Emissions tests. *Combustion Engines*. 179(4), 160-168.
12. Tzirakis E., Pitsas K., Zannikos F., Stournas S. (2006) Vehicle emission and driving cycles: comparison of the Athens driving cycle (ADC) with ECE-15 and European Driving Cycle (EDC). *Global NEST Journal*, Vol 8, No 3, pp 282-290, 2006
13. Wiśniowski P. (2018) Metoda syntezy laboratoryjnego testu emisji spalin z silników samochodowych na podstawie badań drogowych. Praca doktorska, promotor M. Ślęzak, Biblioteka Politechniki Lubelskiej.
14. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) 2017/1151 z dnia 1 czerwca 2017 r. uzupełniające 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, zmieniające dyrektywę 2007/46/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, rozporządzenie Komisji (WE) nr 692/2008 i rozporządzenie Komisji (UE) nr 1230/2012 oraz uchylające rozporządzenie Komisji (WE) nr 692/2008,
15. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) 2016/427 z dnia 10 marca 2016 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 692/2008 w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń pochodzących z lekkich pojazdów pasażerskich i użytkowych (Euro 6)
16. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (WE) nr 692/2008 z dnia 18 lipca 2008 r. 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
17. United States Environmental Protection Agency | US EPA.
18. Strona internetowa dotycząca silników oraz standardów emisji spalin <https://dieselnet.com/>. Dostęp na dzień 15.04.2021.

## STRESZCZENIE

JAWORSKI Artur, Charakterystyka wybranych testów jezdnych stosowanych w badaniach emisji zanieczyszczeń w spalinach silnikowych samochodów osobowych. / Artur JAWORSKI, Mirosław JAREMCIO, Kazimierz LEJDA, Maksymilian MĄDZIEL, Paweł WOŚ.// Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2021. – № 3 (50).

W artykule przedstawiono porównanie testów jezdnych NEDC, WLTC 3b, FTP-75 oraz testu drogowego przeprowadzonego na obszarze Rzeszowa. Dokonano analizy wybranych parametrów cykli jezdnych. Zwrócono uwagę na wskaźniki charakteryzujące dynamikę cykli jezdnych, a także obliczono wartości mocy i zapotrzebowania na energię związanych z oporami bezwładności w fazach przyspieszania dla samochodu o masie 1250 kg. Analiza wykazała, że parametry cyklu jezdnego WLTC 3b są znacznie bardziej zbliżone do drogowego cyklu RDE, niż w przypadku poprzedniego cyklu NEDC.

## РЕФЕРАТ

Яворські А. Характеристики окремих дорожніх випробувань з дослідження шкідливих викидів двигунів внутрішнього згорання легкових автомобілів / А. Яворські, М. Яремціо, К. Лейда, М. Мондзієл, П. Вош // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3 (50).

Процес виробництва нових пасажирських транспортних засобів базується не тільки на їх розробці та виготовленні, але також на затвердженні та випробуваннях, особливо у галузі викидів вихлопних газів. Виробник автомобіля зобов'язаний затвердити тип кожної нової моделі відповідно до регламенту. Регламент, пов'язаний з відповідною директивою, включає низку вимог, включаючи викиди забруднюючих речовин у відпрацьованих газах, які накладаються на нещодавно виготовлені транспортні засоби.

Разом з розвитком автомобільної промисловості дедалі більше уваги приділялося забрудненню, яке утворюється в двигунах внутрішнього згорання транспортних засобів. В Європейському Союзі введені стандарти, відомі як «ЄВРО», для визначення меж викидів основних забруднювачів вихлопних газів. Випробування проводяться для всіх пасажирських автомобілів однаково: на динамометричному стенді, в кліматичній камері (з можливістю регулювання температури) та відповідно до визначеного циклу руху. Дорожні випробування призначені для перевірки споживання палива та обсяг викидів відпрацьованих газів.

У вересні 2017 року було запроваджено нову процедуру під назвою Всесвітня гармонізована процедура випробувань легких транспортних засобів (WLTP), що включає кілька циклів руху під назвою WLTC. Впровадження нового тесту було викликане дуже динамічним розвитком в автомобільній промисловості гібридних та електромобілів. Попередній тест NEDC не враховував декілька важливих параметрів, таких як потужність двигуна або тип приводу. Через різну специфіку дорожнього руху в США, були розроблені власні дорожні випробування на відміну від європейських. Випробування проводяться згідно з FTP-75 (Федеральна процедура випробувань). Параметри випробувань враховують стійкість руху та умови роботи двигуна, від яких залежать значення показників викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах.

Через різницю в лабораторних циклах водіння, за умовами дорожнього руху, значення показників викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах при дорожніх випробуваннях відрізняються від тих, що надаються виробниками. У статті порівнюються характерні параметри випробувань згідно WLTC, NEDC, американських циклів FTP-75 (з доповненнями SC03 та US06) та власного дорожнього циклу водіння в Жешувській області.

На основі проведеного аналізу встановлено, що лабораторні тести ніколи не будуть на 100% відображати ті умови руху, що і водіння по дорозі. Однак тест WLTC має перевагу, оскільки більше відповідає реальним умовам. Його вищі середні швидкості їзди, довші зупинки, більша пройдена відстань і вища максимальна швидкість є більш реалістичними, ніж у тесті NEDC.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВИПРОБУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ, ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГУ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИХ, ВСЕСВІТНЯ ГАРМОНІЗОВАНА ПРОЦЕДУРА ВИПРОБУВАНЬ ЛЕГКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, НОВИЙ ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ЦИКЛ ВОДІННЯ, ФЕДЕРАЛЬНА ПРОЦЕДУРА ВИПРОБУВАНЬ.

## ABSTRACT

Jaworski A., Jaremcio M., Lejda K., Mądziel M., Woś P., Characteristics of selected driving cycles used for exhaust emissions measurement from passenger car engines. Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport

University, 2021. – Issue 3 (50).

The manufacturing process for new passenger vehicles is based not only on their design and manufacture, but also on validation and testing, especially in the area of exhaust emissions. The car manufacturer is obliged to approve the type of each new model in accordance with the regulations. The regulation associated with the relevant directive includes a number of requirements, including the emissions of pollutants in the exhaust gas, which are imposed on newly manufactured vehicles.

Along with the development of the automotive industry, more and more attention has been paid to the pollution that forms in the internal combustion engines of vehicles. The European Union has introduced standards known as "EURO" to define emission limits for the main pollutants in exhaust gases. The tests are carried out for all passenger cars in the same way: on a dynamometer, in a climatic chamber (with the possibility of temperature adjustment) and in accordance with a certain driving cycle. Road tests are designed to check fuel consumption and exhaust emissions.

In September 2017, a new procedure was introduced called the World Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP), which includes several driving cycles called WLTC. The introduction of the new test was driven by the very dynamic development in the automotive industry of hybrid and electric vehicles. The previous NEDC test did not take into account several important parameters such as motor power or drive type. Due to the different specifics of road traffic in the United States, their own road tests were developed, in contrast to European ones. Tests are conducted in accordance with FTP-75 (Federal Testing Procedure). The test parameters take into account driving stability and engine operating conditions, on which the values of pollutant emissions in the exhaust gases depend.

Due to the difference in laboratory driving cycles, according to traffic conditions, the values of pollutant emissions in the exhaust gases during road tests differ from those provided by the manufacturers. The article compares the characteristic test parameters according to WLTC, NEDC, American FTP-75 cycles (with additions SC03 and US06) and own road driving cycle in the Rzeszow region.

Based on the analysis carried out, it was established that laboratory tests will never 100% reflect those driving conditions and driving on the road. However, the WLTC test has the advantage of being more realistic. Its high average ride speeds, longer stops, long distance traveled and higher top speed are more realistic than the NEDC test.

**KEY WORDS:** VEHICLE TESTING, EFFECTIVE Emissions, WORLD HARMONIZED PASSENGER VEHICLE TEST PROCEDURE, NEW EUROPEAN DRIVING CYCLE, FEDERAL TESTING PROCEDURE.

#### РЕФЕРАТ

Яворски А. Характеристики отдельных дорожных испытаний по исследованию вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей / А. Яворски, М. Яремцю, К. Лейда, М. Мондзиел, П. Вош // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2021. – Вып. 3 (50).

Процесс производства новых пассажирских транспортных средств базируется не только на их разработке и изготовлении, но также на утверждении и испытаниях, особенно в области выбросов выхлопных газов. Производитель автомобиля обязан утвердить тип каждой новой модели в соответствии с регламентом. Регламент, связанный с соответствующей директивой, включает ряд требований, включая выбросы загрязняющих веществ в отработанных газах, которые накладываются на недавно изготовленные транспортные средства.

Вместе с развитием автомобильной промышленности все больше внимания уделялось загрязнению, которое образуется в двигателях внутреннего сгорания транспортных средств. В Европейском Союзе введены стандарты, известные как «ЕВРО», для определения границ выбросов основных загрязнителей выхлопных газов. Испытания проводятся для всех пассажирских автомобилей одинаково: на динамометрическом стенде, в климатической камере (с возможностью регулировки температуры) и в соответствии с определенным циклом движения. Дорожные испытания предназначены для проверки потребления топлива и объем выбросов отработанных газов.

В сентябре 2017 была введена новая процедура под названием Всемирная гармонизированная процедура испытаний легких транспортных средств (WLTP), включающий несколько циклов движения под названием WLTC. Внедрение нового теста было вызвано очень динамичным развитием в автомобильной промышленности гибридных и электромобилей. Предыдущий тест NEDC не

учитывал несколько важных параметров, таких как мощность двигателя или тип привода. Из-за разной специфики дорожного движения в США, были разработаны собственные дорожные испытания в отличие от европейских. Испытания проводятся в соответствии с FTP-75 (Федеральная процедура испытаний). Параметры испытаний учитывают устойчивость движения и условия работы двигателя, от которых зависят значения показателей выбросов загрязняющих веществ в отработанных газах.

Из-за разницы в лабораторных циклах вождения, по условиям дорожного движения, значения показателей выбросов загрязняющих веществ в отработанных газах при дорожных испытаниях отличаются от предоставляемых производителями. В статье сравниваются характерные параметры испытаний согласно WLTC, NEDC, американских циклов FTP-75 (с дополнениями SC03 и US06) и собственного дорожного цикла вождения в Жешувской области.

На основе проведенного анализа установлено, что лабораторные тесты никогда не будут на 100% отражать те условия движения, и вождение по дороге. Однако тест WLTC имеет преимущество, поскольку больше соответствует реальным условиям. Его высокие средние скорости езды, длиннее остановки, большая пройденное расстояние и выше максимальная скорость более реалистичными, чем в тесте NEDC.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ИСПЫТАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ веществ, ВСЕМИРНАЯ гармонизированных ПРОЦЕДУРА ИСПЫТАНИЙ ЛЕГКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, НОВЫЙ ЕВРОПЕЙСКИЙ ЦИКЛ ВОЖДЕНИЯ, ФЕДЕРАЛЬНАЯ ПРОЦЕДУРА ИСПЫТАНИЙ.

#### **AUTORZY:**

JAWORSKI Artur, dr inż., Politechnika Rzeszowska, adiunkt, Katedra Pojazdów Samochodowych i Inżynierii Transportu, e-mail: ajaworsk@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1506, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-1599-1711.

JAREMCIO Mirosław, mgr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Pojazdów Samochodowych i Inżynierii Transportu, e-mail: mjaremcio@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1506, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0003-3683-101X.

LEJDA Kazimierz, Prof. dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Pojazdów Samochodowych i Inżynierii Transportu, e-mail: klejda@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1506, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-5889-4006.

MĄDZIEL Maksymilian, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Katedra Pojazdów Samochodowych i Inżynierii Transportu, adiunkt, e-mail: mmadziel@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1506, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-3957-8294.

WOŚ Paweł, dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Kierownik katedry, Katedra Pojazdów Samochodowych i Inżynierii Transportu, e-mail: pwos@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1355, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0003-2730-3258.

#### **АВТОРИ:**

ЯВОРСЬКІ Артур, кандидат технічних наук, Жешувська Політехніка, доцент, кафедра автомобільного транспорту та транспортної інженерії, e-mail: ajaworsk@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1506, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-1599-1711.

ЯРЕМЦІО Мірослав, магістр, Жешувська Політехніка, кафедра автомобільного транспорту та транспортної інженерії, e-mail: mjaremcio@prz.edu.pl, тел.: +48 17 865 1506, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0003-3683-101X.

ЛЕЙДА Казимір, професор, доктор технічних наук, Жешувська Політехніка, професор кафедри, кафедра автомобільного транспорту та транспортної інженерії, e-mail: klejda@prz.edu.pl, тел.: +48 17 865 1506, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-5889-4006.

МОНДЗИЄЛ Максиміліан, кандидат технічних наук, Жешувська Політехніка, доцент, кафедра автомобільного транспорту та транспортної інженерії, e-mail: mmadziel@prz.edu.pl, тел.: +48 17 865 1506, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-3957-8294.



WOŚ Павел, професор, доктор технічних наук, Жешувська Політехніка, завідувач кафедри, кафедра автомобільного транспорту та транспортної інженерії, e-mail: pwos@prz.edu.pl, тел.: +48 17 865 1355, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0003-2730-3258.

#### **AUTHORS:**

JAWORSKI Artur, PhD in Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, associate professor, Department of Automotive Vehicles and Transport Engineering, e-mail: ajaworsk@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1506, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-1599-1711.

JAREMCIO Mirosław, MSc, Rzeszow University of Technology, Department of Automotive Vehicles and Transport Engineering, e-mail: mjaremcio@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1506, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0003-3683-101X.

LEJDA Kazimierz, Prof., Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, professor, Department of Automotive Vehicles and Transport Engineering, e-mail: klejda@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1506, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-5889-4006.

MAŁDZIEL Maksymilian, PhD in Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, associate professor, Department of Automotive Vehicles and Transport Engineering, e-mail: mmadziel@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1506, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-3957-8294.

WOŚ Paweł, Prof., Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, head of the department, Department of Automotive Vehicles and Transport Engineering, e-mail: pwos@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1355, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0003-2730-3258.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Якубовські Мірослав, кандидат технічних наук, доцент, Жешувська політехніка, доцент кафедри автомобільного транспорту та транспортного машинобудування, Жешув, Польща.

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

#### **REVIEWERS:**

Jakubowski Mirosław, PhD in Technical Sciences, associate professor, Rzeszow University of Technology, associate professor of the motor vehicles and transport engineering department, Rzeszow, Poland.

Gutarevych Yu.F., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, Head of the Engines and Heating Engineering Department, Kyiv, Ukraine.