

doi:10.15199/48.2025.02.12

Analiza porównawcza wybranych homologacyjnych testów zasięgu pojazdów

Streszczenie: Celem pracy jest porównanie warunków prowadzenia testów homologacyjnych samochodów osobowych w zakresie procedur zasięgu i w stosunku do pojazdów napędzanych elektrycznym. Jako punkt odniesienia pokazano test NLDC, a następnie przedstawiono EPA, WLTP, i CLTC. Oprócz porównań pomiędzy procedurami zestawiono zasięgi rzeczywistych pojazdów mierzone w różnych warunkach. W części końcowej pokazano różnice pomiędzy wskazaniami prognozy zasięgu pojazdu w zimowych warunkach drogowych, oraz wskazania drogomicza.

Abstract. The aim of the paper is to compare the conditions for conducting homologation tests for passenger cars, but only in terms of range procedures and in relation to electric vehicles. The NLDC test is shown as a point of reference, followed by EPA, WLTP and CLTC. In addition to the comparisons between these procedures, the ranges of real vehicles measured in various conditions were contrasted. The final part shows the differences between the vehicle range forecast indications in winter road conditions and the odometer readings. (**Comparative analysis of selected vehicle range approval tests**)

Słowa kluczowe: Procedura testowa pojazdów, zmniejszenie emisji CO₂, homologacyjny test zasięgu, zużycie energii.

Keywords: Vehicles test procedure, reducing CO₂ emissions, approval test range, energy consumption.

Wstęp

Wobec ogromnej różnorodności pojazdów oferowanych na rynku samochodowym, od dawna istnieje konieczność korzystania z miar pozwalających na obiektywne porównanie ich właściwości. Klasyfikacja pojazdów pod kątem obciążenia środowiska umożliwia realizację polityki krajowej, a także organizacji międzynarodowych. Temat testowania pojazdów samochodowych, jako całości jest pozornie odległy od zagadnień elektrotechniki, jednak mając na uwadze dążenia do zamiany podstawowego medium energetycznego z paliw kopalnych na źródła odnawialne ma on istotne znaczenie dla przetwarzania energii, jej dystrybucji i zachowania ciągłości dostaw.

W Europie, a dokładniej w krajach Unii Europejskiej, pomijając całą historię zmian uregulowań obowiązujących od 01 stycznia 2020 roku (Regulation (EU) 2019/631) przepisy zmierzające do redukcji emisji CO₂ pochodzącej od osobowych pojazdów samochodowych oraz van. Z założeniem osiągnięcia stanu 0 g/km dla pojazdów nowoprodukowanych po 2035 roku. Drogą do tego celu mają być coraz ostrzejsze normy emisji dla pojazdów spalinowych i masowa zamiana napędu spalinowego w transporcie na elektryczny. W podtekście przyjmowane jest, że energia elektryczna będzie pochodzić ze źródeł odnawialnych. Temat realności tych założeń nie jest przedmiotem tego artykułu.

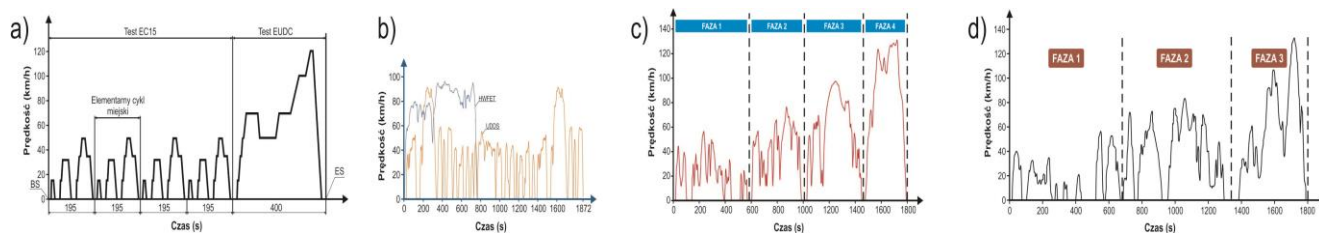
Zakres tematyczny przepisów homologacyjnych dotyczących pojazdów jest ogromny, stąd w niniejszej pracy zostaną przedstawione jedynie wybrane elementy zasad prowadzenia testów emisji oraz opartych na nich testów zasięgu pojazdów elektrycznych przyjętych w dokumentach międzynarodowych.

Następnie zostaną przedstawione przykłady wyników testów uzyskane w trakcie laboratoryjnych badań homologacyjnych bądź w warunkach rzeczywistych przeprowadzonych przez instytucje niezależne i ich porównania.

Testy zasięgu

Problem metodycznego testowania pojazdów był początkowo związany z zagadnieniami emisji spalin. Wówczas istotne były przede wszystkim normy emisji CO₂, węglowodorów, oraz tlenków azotu. Z czasem rozszerzono te testy o badanie emisji pyłów. W celu ustandaryzowania badań przyjęto, że będą one prowadzone w warunkach laboratoryjnych na hamowniach, pozwalających w dużej mierze odwzorować warunki rzeczywiste. Ponadto przyjęto że wraz z pomiarami emisji będzie odbywał się pomiar zużycia paliwa. Wraz z masowym pojawieniem się pojazdów elektrycznych ustalono, że ich testy zasięgu będą odbywały się według tych samych procedur testowych jak pojazdów spalinowych. Narzucono jednocześnie pewne dodatkowe warunki związane z pomiarem zużycia energii elektrycznej i ładowaniem akumulatorów. Procedury testowe były tworzone na różnych kontynentach oddzielnie. Głównym parametrem zmienianym w trakcie przebiegu testów jest symulowana prędkość. Charakterystyki zmian prędkości w poszczególnych omawianych poniżej testach zostały przedstawione na rysunku 1.

W USA uzyskał przewagę test opracowany przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (U.S. Environmental Protection Agency) EPA [1]. Zasadniczo test ten składa się z dwóch cykli: UDSS (Urban Dynamometer



Rys. 1. Wykres prędkości w funkcji czasu w teście: a) NLTC, b) EPA, c) WLTP, d) CLTC

Driving Schedule) – dla ruchu miejskiego oraz autostradowej jazdy ekonomicznej HWFEDT (Highway Fuel Economy Driving Test).

Przebieg procedury testowej obejmuje: ładowanie akumulatora do pełna w przeddzień badań, systematyczne powtarzanie cykli UDDS i HWFEDT w proporcji 55% do 45%, aż do całkowitego wyczerpania akumulatora. W celu dostosowania do wartości rzeczywistych przebieg uzyskany w pomiarach mnożony jest przez współczynnik korekcyjny 0,7. Następnie ponownie jest ładowany akumulator do pełna i w trakcie tego ładowania mierzone jest zużycie energii.

W Europie przyjęto w 1997 roku cykl NEDC (New European Driving Cycle) powstały z czterech cykli ECE15- (zwany też UDC – Urban Driving Cycle – pochodzący z 1970 roku), oraz jednego EUDC (Extra Urban Driving Cycle) opracowanego kilka lat później. Opis szczegółowy jest zawarty w UN ECE Regulations 83 i 101 [2]. W praktyce pojawiło się wiele zastrzeżeń co do adekwatności tego cyklu do warunków rzeczywistych. Pod auspicjami ONZ wprowadzono stopniowo w przepisach normalizacyjnych, homologacyjnych oraz związanych z ochroną klimatu cykl testowy WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure) [3]. Jest on obowiązującym od 2018 roku i stosowany aktualnie.

W Chinach w roku 2020 wprowadzono własny standard CLTC zastępujący przejściowy test CATC będący cyklem opartym na teście NEDC. Cykl CLTC składa się z trzech części z których pierwsza obejmuje siedem przejazdów i odpowiada próbom przy niskiej prędkości. Część druga składa się z trzech przejazdów odbywających się z prędkościami średnimi. Ostatnia trzecia część to pojedynczy przejazd przy prędkościach najwyższych.

Porównanie testów

Poza charakterystyką ruchu tj. czasów postoju w trakcie testu i zmian prędkości jakie powinny występować w trakcie prowadzenia testu na hamowni istotne są dodatkowe obostrzenia odnośnie sterowaniem pojazdem. Są one bardzo rozbudowane i dotyczą np. prędkości przy których winny być zmieniane przełożenia skrzyni biegów, temperatury otoczenia w trakcie badań i zastrzeżenia że powinny być prowadzone przy bezwietrznej pogodzie. Wprowadzenie badań na hamowniach wymusiło stosowanie maszyn elektrycznych symulujących wpływ oporu powietrza.

Niektóre z parametrów są pokazane na rysunku 2.

CYKL TESTOWY		PRĘDKOŚĆ ŚREDNIA	
NEDC	WLTP	NEDC	WLTP
faza miejska 66% faza poza miejska 34%	dwie fazy miejskie 52% dwie fazy poza miejskie 48%	34,0 km/h	46,5 km/h
CZAS CYKLU		ZMIANA BIEGÓW	
20 minut	30 minut	unormowane prędkości	dowolnie dopasowane do samochodu
DLUGOŚĆ DROGI		WPLYW WYPOSAŻENIA ZEWNĘTRZNEGO PRZY BADANIACH ZASIĘGU I EMISJI CO ₂	
11,0 km	23,25 km	Niewzględniany	Uwzględniany za pomocą współczynników korygujących na podstawie dodatkowego testu RPE
PRĘDKOŚĆ MAKSYMALNA		TEMPERATURA POMIARÓW	
120 km/h	131 km/h	20 - 30°C	23°C dla testu emisji CO ₂ 14°C w teście RPE

Rys. 2. Główne różnice pomiędzy cyklem NLTC i WLTP

Rysunek ten ilustruje zmiany zmierzające do lepszego odwzorowania warunków rzeczywistych w procedurach testowych. Dotyczą one ewolucji parametrów pomiędzy procedurami NEDC i WLTP

Kształty krzywych prędkości były opracowywane na podstawie badań statystycznych dla ruchu pojazdów na obszarach dla których tworzono testy z uwzględnieniem zwyczajów kierowców. Wg założeń powinny one odwzorowywać zużycie paliwa, lub energii dla pojazdów w trakcie ruchu rzeczywistego.

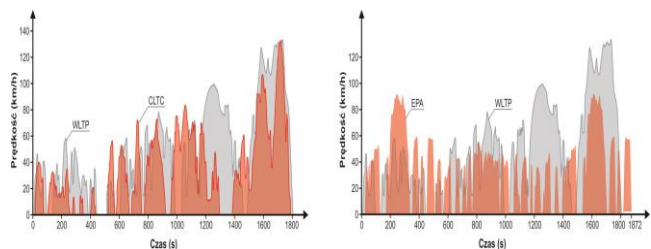
Zestawienie uśrednionych parametrów granicznych aktualnie obowiązujących testów zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie porównawcze parametrów testów

Parametr	WLTP	EPA	CLTC
Liczba faz	4	5 i 2	3
Czas trwania testu (s)	1800	1874+765	1800
Symulowana długość trasy (km)	23,25	17,77+16,14	14,48
Czas postojów wyrażony w sekundach (s)	234	358+0	398
Czas postoju jako ułamek czasu całkowitego (%)	13	13,6	22,1
Prędkość średnia (km/h)	46,5	34,2 77,7	37,18
Prędkość max. (km/h)	131	96,6	114
Temperatura (°C)	23	24 (-7)	23 (-7)

Na rysunku 3 pokazano nałożone przebiegi prędkości dla Testu EPA i CLTC na wykres prędkości w przebiegu WLTP.

Daje to obraz jak różnią się prędkości w testach prowadzonych w Europie od prowadzonych w Ameryce Północnej oraz Chinach.



Rys. 3. Porównanie wykresów przebiegu prędkości w funkcji czasu: a) CLTC vs WLTP, b) WLTP vs EPA

Przedstawione zestawienia wynikają z dokumentów normalizacyjnych opisanych w [1,2,3] oraz 4.

Zwraca uwagę fakt, że jazda z prędkościami rzędu 100km/h jest obecna w bardzo małym stopniu, dominuje natomiast poruszanie się w sposób charakterystyczny dla ruchu miejskiego z dużą ilością zmian prędkości oraz znaczącym udziałem czasu postoju. Oznacza to, już z samej definicji charakterystyki, że w trakcie poruszania się po autostradach lub drogach szybkiego ruchu, zasięg będzie znacząco niższy niż deklarowany.

Porównanie Wyników testów

Przedstawione w poprzednim akapicie porównanie testów dotyczy warunków ich przeprowadzania oraz zakładanych obciążeń, dla użytkownika jednak najbardziej istotną informacją jest jednak konkretna wartość zasięgu jaką może uzyskać dla danego typu marki i przy określonym wyposażeniu pojazdu.

Tabela 2. Porównanie zasięgów deklarowanych przez producentów wg różnych procedur

Pojazd	EPA (km)	Δ EPA/WLTP (%)	WLTP (km)	CLTC (km)	Δ CLTC/WLTP (%)
1	2				
Tesla 3 Long Range	518	-23	678	713	5,1
Nio E17 100kWh	b.d	b.d	513	620	20,8
Volvo EX30 Performance	426	-7,3	460	540	17,3
BMW i3 / 66,1 kWh	428	-11,1	481	526	9,3
Ford Mustang Mach-E ER	505	-7,8	548	619	11,4
Średnia odchyłka		-12,3			12,7

W szczególności dla pojazdów elektrycznych (EV) nawet w ramach tego samego typu bardzo istotna jest pojemność baterii, masa oraz obecność wybranych elementów wyposażenia takiego jak np. pompa ciepła, rodzaj klimatyzacji czy ilość i moc silników.

Niestety producenci nie publikują zestawionych danych zmierzonych przy różnych testach tym bardziej, że ten sam model pojazdu może być na różnych rynkach oferowany z różnym wyposażeniem i pod różnymi nazwami marketingowymi. W tabeli 2 zestawiono wyniki testów dla kilku typów pojazdów dla których uzyskano wartości wynikowe jednocześnie dla przynajmniej dwóch testów, przy takiej samej specyfikacji kompletacji. Pozwalają one ocenić jak wpływa na deklarowany zasięg sposób prowadzenia testów.

Zestawienie wyników pomiarów zasięgu rzeczywistego kilku pojazdów daje obraz rozbieżności między wartościami otrzymanymi według algorytmów EPA, WLTP, CLTC.

W tabeli 2 w kolumnach 3 i 6 pokazano, że uzyskane wyniki różnią się od -23% do +20,8 % w zależności od modelu pojazdu w odniesieniu do zasięgu wg WLTP przyjętego jako bazowy. Dla porównania według wyliczeń autorów [5] wyniki CLTC są zawyżone w porównaniu do EPA o około 35%. Natomiast wyniki EPA są niższe od WLTP o około 20%. Z kolei autorzy [6] wykazują, że wyniki według EPA są również niższe niż według WLTP i procentowa różnica wynosi 11%. Odchyłka pomiędzy CLTC a WLTP zawiera się w granicach pomiędzy 15 a 25%. Reasumując można przyjąć, że procedury testowe dają wyniki różniące się znacząco między sobą i odchyłka wartości zasięgów deklarowanych wynosi od 11 do 20% w dół dla EPA oraz od 12,7 do 35% dla CLTC w górę. Oznacza to, że wyniki uzyskane przy różnych testach są wzajemnie mało porównywalne.

Jednakże użytkownik oprócz deklaracji producenta i sprzedawcy musi się zmierzyć z realną wartością w postaci rzeczywistego zasięgu praktycznego. Niestety wartość ta znacząco różni się w zależności od chociażby stylu jazdy kierowcy. Ponadto utrzymanie warunków takich jak chociażby temperatura otoczenia, czy wiatr szczególnie w okresie zimowym jest nie do osiągnięcia. W związku z tym warto spróbować ocenić jak bardzo zasięg bywa ograniczony mając jednocześnie świadomość, że otrzymany wynik nie stanowi gwarancji jego regularnego uzyskiwania.

Testy NEDC, WLTP, CLTC oraz standardowy EPA są prowadzone w temperaturze otoczenia 23°C. W praktyce zmiana temperatury zarówno w dół jak i w górę wiąże się z uruchomieniem ogrzewania bądź klimatyzacji, rzutuje to na zużycie energii mierzonej w Wh/km.

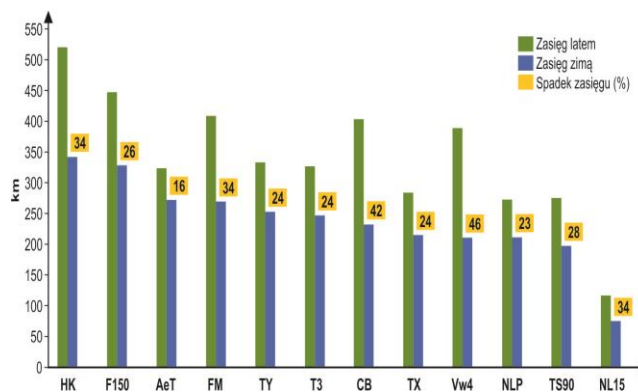
Ponadto własności akumulatora również się zmieniają w szerokim zakresie w funkcji temperatury. Cenne wyniki dotyczące wpływu temperatury pokazano w [6], gdzie porównano zasięg zimowy z zasięgiem letnim. Testy zimowe prowadzono w styczniu 2021 r. przy temperaturze -10°C dla siedmiu wybranych modeli pojazdów. Tabela 3

jest ilustracją zależności zmierzonego zasięgu zimowego w porównaniu do zasięgu deklarowanego przez producenta wg testu EPA. W tabeli tej zawarto również dane charakterystyczne dla badanych wersji modelowych pojazdów. Ostatnie cztery kolumny tabeli pozwalają na porównanie deklarowanych wartości zużycia energii ΔE (Wh/km) do rzeczywistego w warunkach zimowych

Tabela 3. Zasięg deklarowany vs rzeczywisty w warunkach zimowych (styczeń 2021 temp -10°C)

Typ	Charakterystyka pojazdu				Dane producenta		Dane testowe	
	Akum. kWh	Masa kg	Moc KM	V_{max} km/h	ΔE Wh/km	Zasięg km	ΔE Wh/km	Zasięg km
DS3 Crossback E-Tense	45	1625	136	150	183	320	220	200
Hyundai Kona Electric	64	1685	204	167	147	484	195	320
Kia E-Niro	64	1737	204	167	159	455	237	270
Mazda MX-30 Enso	32	1645	145	145	145	200	250	120
Nissan Leaf	58	1707	157	157	185	385	265	220
Peugeot 2008 GT Pack	45	1548	136	150	178	320	236	190
Volkswagen ID.3	58	1794	204	160	161	411	250	230

Nieco innym porównaniem jest zestawienie rzeczywistych zasięgów mierzonych w warunkach letnich oraz w warunkach zimowych. Wykres słupkowy pokazany na rysunku 4 ilustruje te zależności. Liczba nad słupkiem zimowym wskazuje o ile procent zasięg zimowy jest niższy od letniego.

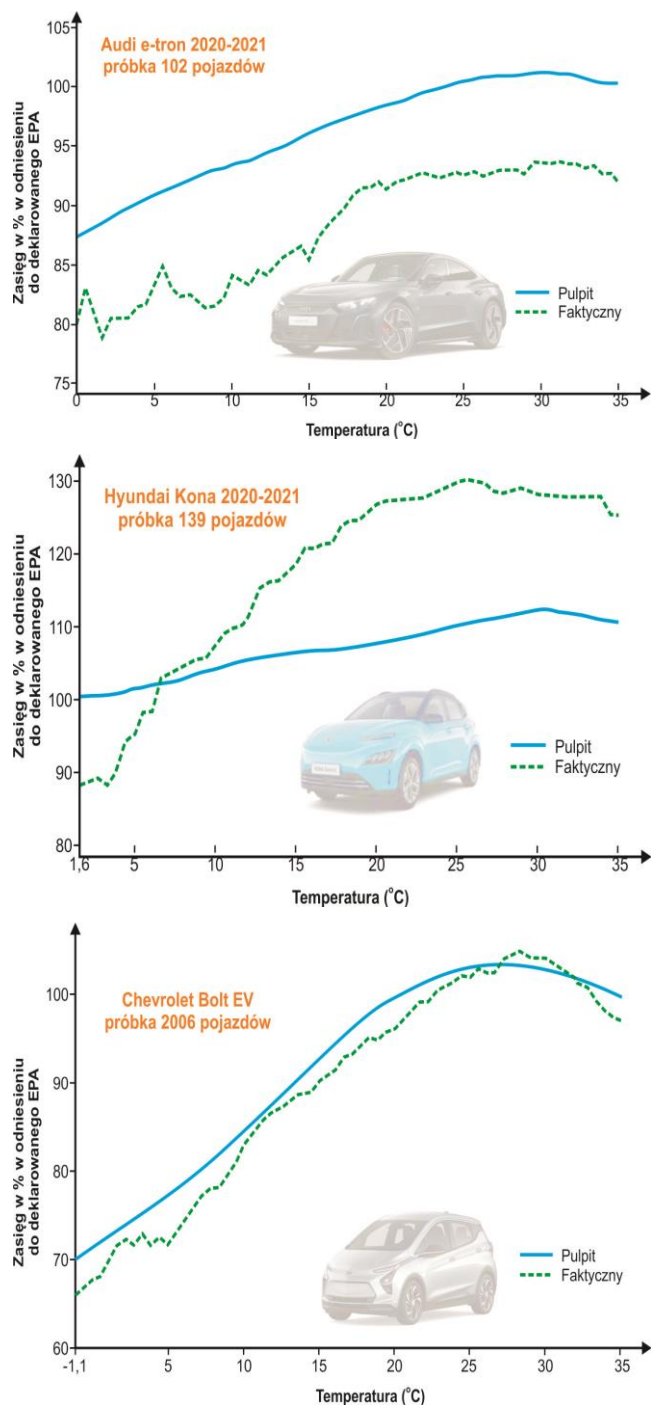


Rys. 4. Zestawienie zasięgu zimowego i letniego: **HK** - Hyundai Kona, **F150** - Ford F-150 Lightning, **AeT** - Audi e-Tron, **FM** - Ford Mustang Mach-E, **TY** - Tesla Model Y, **T3** - Tesla Model 3, **CB** - Chevrolet Bolt, **TX** - Tesla Model X, **Vw4** - Volkswagen ID.4, **NLP** - Nissan Leaf (2019), **TS90** - Tesla Model S, **NL15** - Nissan Leaf (2015)

Na wykresach tych można zauważyć że największa odnotowana różnica wynosi 46% z kolei wartość najmniejsza różnica to 16% i dotyczy Audi E-Tron.

Warto zauważyć, że pojazd ten był wyposażony w pompę ciepła co w okresie gdy były prowadzone badania (2021 rok) nie było szczególnie częste. Widoczne jest znaczące zmniejszenie strat energii na tle innych pojazdów. Kolejnym interesującym aspektem porównań prognoz zasięgu dla samochodów elektrycznych jest zestawienie wykresów wartości wskazywanej na pulpicie pojazdu wyliczanej w trakcie jazdy przez układ sterujący pojazdu i drugiego wykresu wartości odległości przejechanej rzeczywiście. Oba wykresy są funkcją temperatury otoczenia.

Na rysunku 5 przedstawiono wykresy powyższych zależności dla trzech różnych modeli pojazdów.



Rys. 5. Wpływ temperatury na zasięg wskazywany na pulpicie oraz faktyczny odczytywany z drogomierza

Wnioski

Deklarowany zasięg pojazdu podawany przez producenta jest różny w zależności od tego jakie procedury testowe zostały zastosowane. Rozbieżność pomiędzy wynikami będąca skutkiem tylko innej zastosowanej procedury może być nawet rzędu 30%. Zależnie od przyjętej metodologii następuje mniejsze lub większe zawyżenie tej wartości w stosunku do wartości

uzyskiwanych w próbach drogowych. Wynika to również z przyjętego algorytmu pomiarów.

Dodatkowe czynniki wpływające na obniżenie zasięgu rzeczywistego to temperatura otoczenia i jej wpływ na akumulator oraz uruchomione wyposażenie dodatkowe. Wartość zasięgu podawana przez producenta jest wartością hipotetyczną osiągalną jedynie w bardzo sprzyjających okolicznościach ruchu drogowego i warunków zewnętrznych. W niektórych badaniach daje się zauważyć znaczący korzystny wpływ pompy ciepła, o ile pojazd jest w nią wyposażony i to w zarówno w razie wysokich temperatur otoczenia jak i niskich.

W trakcie ruchu pojazdu elektrycznego dla jego kierowcy najważniejszymi danymi jakie otrzymuje od systemu pokładowego jest chwilowe zużycie energii oraz prognozowany zasięg. Wartości te wyliczane są dynamicznie w trakcie przejazdu i zależą od aktualnego ruchu drogowego, naładowania akumulatora, dynamiki jazdy oraz warunków zewnętrznych. Oczywiście wpływ tak wielu czynników powoduje dużą trudność dokładnego oszacowania prognozy, a dodatkową komplikacją jest zmiana temperatury otoczenia. Pokazane na rysunku 5 krzywe ilustrują wielkość niezgodności prognozy z uzyskanym zasięgiem w warunkach rzeczywistych wynikający z wpływu temperatury.

Wnioski wynikające z artykułu są nieco bardziej dalekosiężne niż ewentualna satysfakcja z zakupu nowego pojazdu elektrycznego lub jej brak u indywidualnego konsumenta. Problemem znacznie bardziej istotnym w skali gospodarki kraju jest znacznie większe zapotrzebowanie na energię niż wynikałoby ono z szacowania zużycia energii za pomocą średniego przebiegu i wartości zużycia jednostkowego energii wynikającego z testów zasięgu. Problem ten jest multiplikowany w sezonie zimowym oraz letnim gdy działają w pojazdach systemy komfortu. Wywołuje to dużą zmienność zapotrzebowania zarówno w skali doby jak i sezonowo w zależności od czynników klimatycznych. Poza samym zapotrzebowaniem istotna jest wydolność dystrybucji energii za pomocą linii przesyłowych i stacji ładowania. W Polsce analiza tych problemów jest właściwie w początkowym stadium rozwoju.

Autorzy: dr inż. Andrzej Erd, Uniwersytet Radomski Wydział Transportu Elektrotechniki i Informatyki, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, E-mail: a.erd@uthrad.pl;
Dr hab. inż. Tomasz Ciszewski prof. UR, Uniwersytet Radomski Wydział Transportu Elektrotechniki i Informatyki, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, E-mail: t.ciszewski@uthrad.pl;

LITERATURA

- [1] Environmental Protection Agency (EPA) <https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide>.
- [2] [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42006X1227\(06\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42006X1227(06))
- [3] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0631-20210301>
- [4] <https://evkx.net/guides/understandingrange/cltc/>
- [5] <https://insideevs.com/features/710920/ev-range-epa.wltp.html>
- [6] <https://insideevs.com/news/704318/ev-winter-range-loss-vs-ideal-conditions>
- [7] <https://licarco.com/en/ev-range-tests-explained-comparison-between-epa-ratings-wltp-nedc-and-cltc/>