Piotr Ciępka

Badania dynamiki wzdłużnej pojazdów na potrzeby rekonstrukcji wypadków drogowych

Streszczenie
W artykule przedstawiono wyniki prób przyspieszania i hamowania samochodu Toyota Rav4 AWD, zarejestrowane z wykorzystaniem czterech urządzeń mogących służyć do pomiaru dynamiki wzdłużnej pojazdów: opóźnieniomierza XL-Meter, rejestratora VBox Sport, kamery sportowej GoPro Hero10 i zainstalowanej na smartfonie aplikacji TESTEK Expert. Otrzymane wyniki porównano w zakresie obliczonych wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania, czasu przyspieszania do 100 km/h i zmian prędkości. Uzyskane wyniki wskazują, że każde z tych urządzeń daje możliwość ustalenia średniego pełnego rozwiniętego opóźnienia hamowania z dokładnością wystarczającą w rekonstrukcji przebiegu wypadku. Aplikacja TESTEK Expert oblicza wartości MFDD porównywalne do uzyskanych przy pomiarze urządzeniem XL-Meter i może służyć do wiarygodnych pomiarów w badaniach powypadkowych. Do pomiarów prędkości, w szczególności czasu osiągnięcia jej konkretnej wartości, zaleca się jednak wykorzystywanie urządzeń rejestrujących prędkość, ponieważ wartości prędkości uzyskane poprzez numeryczne całkowanie przebiegu przyspieszenia wzdłużnego mogą być obarczone znacznym błędem.

Słowa kluczowe
Badania powypadkowe, dynamika, hamowanie, przyspieszanie, opóźnienie, opóźnieniomierz, XL-Meter, VBox Sport, GoPro, TESTEK Expert.

Otrzymano 9 grudnia 2025 r., zatwierdzono do druku 15 grudnia 2025 r.
DOI 10.4467/15053520PnD.25.008.22999

1. Wstęp

Biegli i rzeczoznawcy zajmujący się rekonstrukcją wypadków drogowych, a szczególnie badaniami powypadkowymi pojazdów, niejednokrotnie stają przed problemem zbadania opóźnienia hamowania lub możliwości osiągnięcia przez pojazd prędkości na określonym odcinku drogi albo w określonej sytuacji

Mgr inż. Piotr Ciępka, Instytut Ekspertyz Sądowych w Krakowie, ORCID 0000-0001-5833-4618.

drogowej. Obliczanie opóźnienia hamowania na podstawie próby hamowania wykonanej bez użycia urządzeń mierzących parametry ruchu pojazdu niesie za sobą ryzyko popełnienia dużego błędu. Jeśli efektem badań ma być wartość opóźnienia hamowania, jakie mógł uzyskać samochód biorący udział w wypadku, to próby powinny być wykonane na miejscu, w którym doszło do zdarzenia, z rejestracją parametrów za pomocą stosownego oprzyrządowania [1]. Takich prób powinno wykonać się co najmniej trzy. Z punktu widzenia oceny skuteczności hamowania samochodu w danych warunkach drogowych najcenniejsze są oczywiście wyniki hamowania pojazdem biorącym udział w zdarzeniu, wykonane na tym samym odcinku drogi, przy takim samym stanie nawierzchni jezdni [3]. Gdy nie ma możliwości wykonania prób pojazdem biorącym udział w zdarzeniu, wówczas należy wykonać próby hamowania innym, w miarę możliwości podobnym, pojazdem albo pojazdem uczestniczącym w wypadku na innej, ale podobnej nawierzchni.

Zgodnie z regulaminem nr 13 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) [6] wielkością opisującą opóźnienie hamowania jest tzw. średnie pełne rozwinięte opóźnienie MFDD (*Mean Fully Developed Deceleration*), które jest obliczane z pominięciem faz narastania opóźnienia i końcowego zatrzymywania się pojazdu.

$$\mathrm{MFDD} = \frac{v_\mathrm{B}^2 - v_\mathrm{A}^2}{25{,}92 \cdot (S_\mathrm{A} - S_\mathrm{B})} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right] \tag{1}$$

gdzie:
$v_\mathrm{B} = 0{,}8\ v_0$ w [km/h],
$v_\mathrm{A} = 0{,}1\ v_0$ w [km/h].
v_0 – prędkość początkowa w [km/h],
$S_\mathrm{A} - S_\mathrm{B}$ – droga w [m], przejechana podczas hamowania od prędkości v_B do v_A.

Jednostki naukowo-badawcze dysponują specjalistycznymi urządzeniami do pomiaru dynamiki ruchu pojazdów. Cena takich urządzeń jest jednak najczęściej zbyt duża, aby osoby zajmujące się indywidualnie takimi badaniami mogły sobie pozwolić na ich zakup bez nadwyrężania budżetu. Poza specjalistycznymi urządzeniami do pomiaru dynamiki ruchu pojazdów istnieją jednak powszechnie dostępne urządzenia i aplikacje, których koszt zakupu jest znacznie mniejszy. Współczesne urządzenia oparte są na systemach nawigacji satelitarnych GNSS (*Global Navigation Satellite System*), ale również niejednokrotnie wyposażane są w akcelerometry, co daje możliwość pomiaru prędkości i/lub przyspieszeń.

2. Urządzenia pomiarowe

2.1. Opóźnieniomierz XL-Meter

Przedstawienie urządzeń dających możliwość pomiaru parametrów dynamiki wzdłużnej pojazdu wypada rozpocząć od opóźnieniomierza XL-Meter, choćby

tylko dlatego, że – spośród opisywanych – jest to urządzenie najdłużej funkcjonujące w naszym kraju. Jego bezdyskusyjną zaletą jest obliczanie wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania i wyświetlanie wyniku na ciekłokrystalicznym wyświetlaczu bezpośrednio po zakończeniu próby (ryc. 1). Opóźnieniomierz ten cechują: prostota obsługi, odpowiednio długi czas rejestracji pojedynczej próby i duża częstotliwość próbkowania. Plik zapisywany przez ten opóźnieniomierz jest plikiem tekstowym, a więc z zarejestrowanych wartości chwilowego przyspieszenia można skorzystać również w innym oprogramowaniu. Parametry opóźnieniomierza XL-Meter wykorzystanego w badaniach przedstawiono w tab. 1.

Ryc. 1. Opóźnieniomierz XL-Meter.

Tabela 1. Parametry opóźnieniomierza XL-Meter wykorzystanego w badaniach.

GPS	Częstotliwość	–
	Dokładność rejestracji	–
IMU	Częstotliwość próbkowania	200 Hz
	Dokładność rejestracji	1%

2.2. Rejestrator danych VBox Sport

Drugim urządzeniem stosowanym od dłuższego czasu w nieskomplikowanych badaniach ruchu pojazdów jest rejestrator danych GPS – VBox Sport (ryc. 2). Urządzenie, zależnie od daty jego produkcji, może rejestrować zmiany prędkości w zależności od czasu (tab. 2) z częstotliwością 10, 20 lub 25 Hz. Obliczanie prędkości odbywa się przy wykorzystaniu efektu Dopplera, co zwiększa dokładność pomiaru.

Atutami tego urządzenia są: łatwość obsługi, małe wymiary i relatywnie niewielka cena. Jedynym utrudnieniem jest brak możliwości odczytu opóźnienia hamowania bezpośrednio z urządzenia. W celu ustalenia wartości opóźnienia hamowania należy plik z zarejestrowanymi danymi otworzyć w odpowiednim programie (np. VBox Test Suite) i dokonać stosownej analizy. Podkreślić należy, że zarejestrowane prędkości dają nie tylko możliwość ustalenia średniego pełnego opóźnienia hamowania, ale także przyspieszania oraz prędkości, jaką mógł osiągnąć pojazd na danym odcinku drogi lub w określonej sytuacji drogowej. Dysponując ciągłą rejestracją prędkości, możliwe jest ustalenie zwyczajowej lub maksymalnej prędkości, z jaką dany pojazd może przejechać np. po łuku drogi. Urządzenie pomiarowe VBox Sport spełnia wymagania, jakie stawiane są przez biegłych sądowych i rzeczoznawców w odniesieniu do urządzeń służących do pomiaru parametrów dynamiki podłużnej pojazdów [2].

Ryc. 2. Rejestrator danych VBox Sport.

Tabela 2. Parametry rejestratora VBox Sport wykorzystanego w badaniach.

GPS	Częstotliwość	20 Hz
	Dokładność rejestracji	1 km/h
IMU	Częstotliwość próbkowania	–
	Dokładność rejestracji	–

2.3. Kamera sportowa GoPro

Wydawać by się mogło, że pomiar prędkości i opóźnienia za pomocą kamery to rzecz niemożliwa, jednak nie w przypadku kamer sportowych GoPro (ryc. 3). Począwszy od modelu Hero5 (za wyjątkiem niektórych modeli Hero7) urządzenia te są wyposażane w odbiornik GPS oraz blok bezwładnościowy IMU (*Inertial Measurement Unit*), czyli mają akcelerometry i żyroskopy. Nagranie materiału wideo za pomocą takiej kamery daje więc możliwość pozyskania nie tylko obrazu i dźwięku, ale także chwilowych wartości prędkości i przyspieszeń. Blok bezwładnościowy IMU rejestruje przyspieszenia z częstotliwością 200 Hz, natomiast

odbiornik GPS rejestruje prędkość z częstotliwością 18 Hz, a od wersji oprogramowania 1.46 – 10 Hz (tab. 3). Zarejestrowane wartości można wyekstrahować z pliku filmowego, np. za pomocą programu PC-Crash.

Ryc. 3. Kamera GoPro Hero10.

Tabela 3. Parametry kamery GoPro Hero10 wykorzystanej w badaniach.

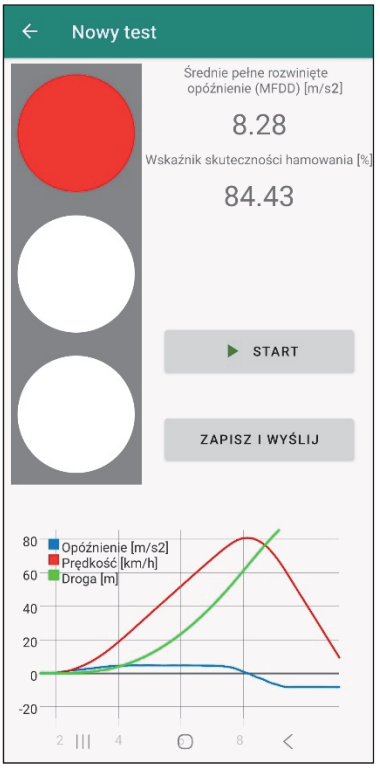
GPS	Częstotliwość	10 Hz
	Dokładność rejestracji	b.d.
IMU	Częstotliwość próbkowania	200 Hz
	Dokładność rejestracji	b.d.

Wykorzystanie wartości przyspieszeń zarejestrowanych kamerą GoPro pociąga niestety za sobą konieczność wykonania transformacji [8], co nie jest prostą czynnością. Zarejestrowane wartości prędkości, szczególnie pozyskane kamerą rejestrującą dane GPS z częstotliwością 18 Hz, można jednak wykorzystać bezpośrednio do obliczenia MFDD, np. za pomocą dowolnego arkusza kalkulacyjnego, i/lub ustalenia prędkości, do jakiej mógł przyspieszyć pojazd na zadanym odcinku drogi, bądź prędkości z jaką może przejechać np. po łuku drogi.

2.4. Smartfon z aplikacją

Najnowszym osiągnięciem w dziedzinie prostych sposobów pomiaru opóźnienia jest zastosowanie smartfonów wyposażonych w akcelerometry. Pierwsze próby zastosowania smartfonów miały miejsce dekadę temu [4]. W tamtym czasie zalecano stabilne mocowanie smartfonu i ustawienie go w pionie (np. poprzez wykorzystanie aplikacji Best Level), użycie aplikacji do rejestrowania danych (np. Accelerometer Analyzer) i wykorzystanie kolejnego programu do analizy zarejestrowanych wartości i obliczenia opóźnienia hamowania. Sytuacja ta uległa uproszczeniu po pojawieniu się w 2021 r. aplikacji TESTEK Expert, która mierzy składowe przyspieszenia wzdłuż trzech osi (x, y, z) i samodzielnie oblicza przyspieszenie wzdłużne pojazdu [5]. Dla uzyskania dokładnego pomiaru przyspieszenia muszą być spełnione dwa warunki: stabilne przymocowane smartfonu do pojazdu oraz wykonanie próby na płaskim i prostoliniowym odcinku drogi. Wykorzystanie do obliczeń składowych przyspieszeń w trzech osiach sprawia, że nie jest konieczne wcześniejsze poziomowanie smartfonu, ponieważ korekta obliczeniowa odbywa

się automatycznie przed rozpoczęciem ruchu pojazdu. Bezdyskusyjną zaletą aplikacji TESTEK Expert jest wyświetlanie wartości MFDD bezpośrednio po zakończonej próbie (ryc. 4). W przypadku aplikacji TESTEK Expert częstotliwość i dokładność rejestracji zależy od użytego smartfonu. Na potrzeby artykułu próby hamowania wykonano przy wykorzystaniu smartfonu Xiaomi Redmi Note 8T (tab. 4).



Ryc. 4. Zrzut ekranu z aplikacji TESTEK Expert po próbie hamowania.

Tabela 4. Parametry smartfonu wykorzystanego w badaniach.

GPS	Częstotliwość	1 Hz
	Dokładność rejestracji	b.d.
IMU	Częstotliwość próbkowania	400 Hz
	Dokładność rejestracji	b.d.

Aplikacja TESTEK Expert stanowi dobry zamiennik dla jednofunkcyjnych urządzeń do pomiaru opóźnienia pojazdów, ponieważ przewyższa je pod względem funkcjonalności i wygody użytkowania. Aktualnie korzystanie z aplikacji mobilnej

TESTEK Expert bez przesyłania danych na serwer jest bezpłatne, natomiast korzystanie z aplikacji internetowej, która pozwala na zapisanie wyników oraz ich analizę i wydruk jest płatne.

3. Obiekt badań

Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu samochodu Toyota Rav4 AWD z napędem hybrydowym (ryc. 5). Był to pojazd stosunkowo nowy (rok prod. 2023), wyposażony w opony Bridgestone Alenza w rozmiarze 225/60R18.

Ryc. 5. Toyota RAV4 AWD.

W samochodzie tym zamontowano do przedniej szyby za pomocą przyssawek wszystkie cztery badane urządzenia, tj. opóźnieniomierz XL-Meter, rejestrator VBox Sport, smartfon z programem TESTEK Expert oraz – na ramieniu uchwytu mocującego smartfon – kamerę GoPro Hero 10 (ryc. 6).

Ryc. 6. Urządzenia zamontowane w samochodzie.

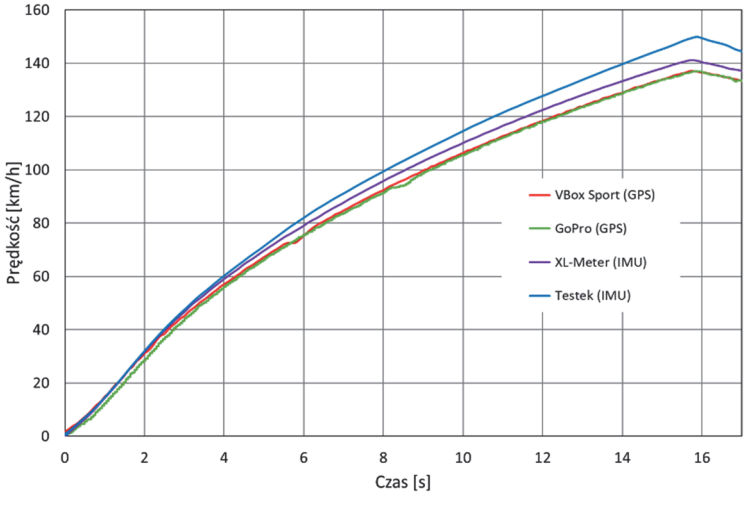
4. Warunki badań

Próbę przyspieszania wykonano na autostradowej obwodnicy Krakowa, natomiast próbę hamowania na mało uczęszczanej drodze dojazdowej do obiektów publicznych. Asfaltowe nawierzchnie jezdni były poziome i utrzymane w bardzo dobrym stanie technicznym. W czasie badań były czyste, gładkie i suche. Temperatura powietrza w czasie badań wynosiła +20°C.

5. Wyniki badań

5.2. Próba przyspieszania

Próba przyspieszania polegała na intensywnym rozpędzaniu samochodu do prędkości ok. 140 km/h. Na ryc. 7 przedstawiono zmiany prędkości w zależności od czasu uzyskane ze wszystkich czterech urządzeń. Wartości prędkości z rejestratora VBox Sport i kamery GoPro pochodzą bezpośrednio z tych urządzeń, natomiast wartości prędkości dla opóźnieniomierza XL-Meter i smartfonu z programem TESTEK Expert uzyskano poprzez całkowanie przebiegów $a(t)$. W tab. 5 przedstawiono porównanie wyników czasu przyspieszania do 100 km/h, natomiast w tab. 6 zestawiono maksymalne prędkości uzyskane w próbie przyspieszania.



Ryc. 7. Przebiegi prędkości w zależności od czasu dla próby przyspieszania.

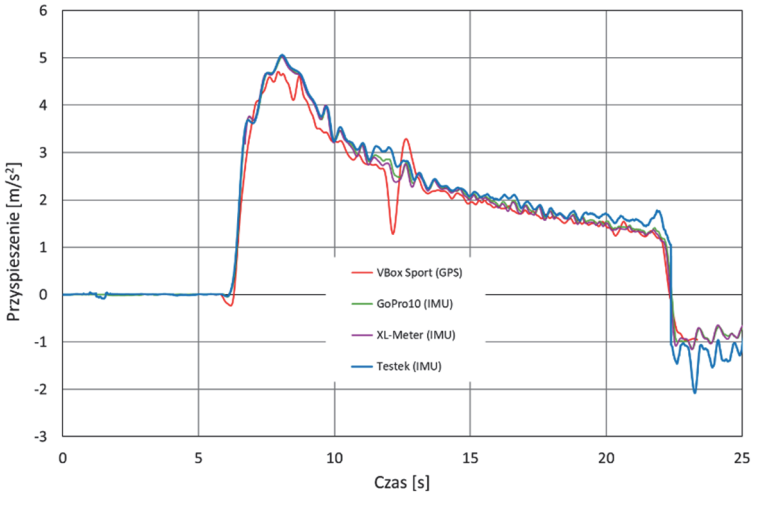
Tabela 5. Czas osiągnięcia prędkości 100 km/h. W nawiasach podano względny błąd czasu odniesiony do pomiaru urządzeniem VBox Sport.

VBOX Sport	**GoPro Hero 10**		**XL-Meter**		**TESTEK Expert**	
t [s]	t [s]	Δt [s]	t [s]	Δt [s]	t [s]	Δt [s]
9,1	9,2	0,1 (1%)	8,6	0,5 (6%)	8,2	0,9 (10%)

Tabela 6. Maksymalna wartość prędkości po przyspieszaniu. W nawiasach podano względny błąd prędkości odniesiony do pomiaru urządzeniem VBox Sport.

VBOX Sport	**GoPro Hero 10**		**XL-Meter**		**TESTEK Expert**	
V [km]	V [km]	ΔV [km]	V [km]	ΔV [km]	V [km]	ΔV [km]
137	137	0	141	4 (3%)	150	13 (9%)

Na ryc. 8 przedstawiono przebiegi przyspieszeń uzyskane bezpośrednio z kamery GoPro, opóźnieniomierza XL-Meter i smartfonu z aplikacją TESTEK Expert oraz dodatkowo obliczone z prędkości zarejestrowanych przez VBox Sport. Przyspieszenia zarejestrowane przez GoPro, XL-Meter i obliczone z prędkości zarejestrowanych przez VBox Sport zostały przefiltrowane filtrem CFC.

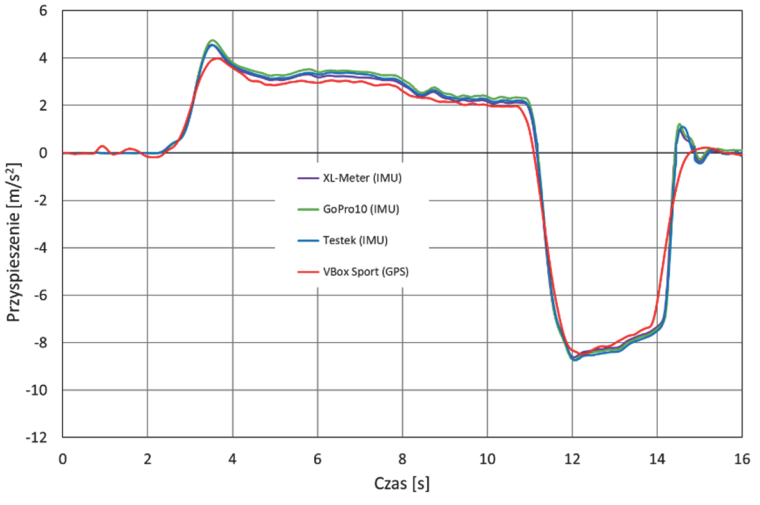


Ryc. 8. Przebiegi przyspieszeń w zależności od czasu dla próby przyspieszania.

5.2. Próba hamowania

Próba hamowania polegała na rozpędzeniu samochodu do prędkości ok. 80 km/h i gwałtownym hamowaniu do zatrzymania. Na ryc. 9 przedstawiono przebiegi przyspieszeń w zależności od czasu dla próby hamowania. W czasie 3–11 s widoczne jest przyspieszanie, natomiast od 11 s intensywne hamowanie. Wartości przyspieszeń zapisane zostały bezpośrednio przez opóźnieniomierz XL-Meter, kamerę GoPro i smartfon z programem TESTEK Expert, natomiast dla rejestratora VBox Sport są efektem obliczeń. Tak jak w próbie przyspieszania przebiegi $a(t)$ zarejestrowane przez GoPro, XL-Meter i obliczone z prędkości zarejestrowanych przez VBox Sport zostały przefiltrowane filtrem CFC. W tab. 7 przedstawiono porównanie wartości MFDD obliczonych na podstawie zarejestrowanych lub obliczonych danych. W przypadku porównywania wartości MFDD przyjęto, że przyrządem

wzorcowym jest opóźnieniomierz XL-Meter, który został zaprojektowany do pomiarów opóźnienia, aczkolwiek nie można zapominać, że wyniki pomiarów mogą nieco odbiegać od wyników uzyskanych urządzeniami laboratoryjnymi wysokiej klasy dokładności (np. Correvit [7]).

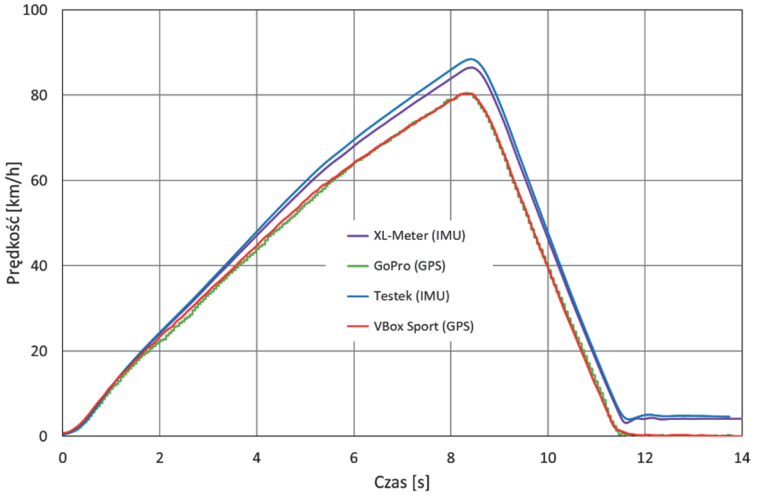


Ryc. 9. Przebiegi przyspieszeń w zależności od czasu dla próby hamowania.

Tabela 7. Wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania.

Urządzenie	**XL-Meter**	**TESTEK Expert**	**GoPro Hero 10**		**VBox Sport**
			IMU	**GPS**	
MFDD [m/s^2]	8,2	8,4	8,0	7,9	8,1
Różnica [m/s^2]	–	0,2	–0,2	–0,3	–0,1
Różnica [%]	–	2%	–2%	–4%	–1%

Na ryc. 10 przedstawiono przebiegi prędkości uzyskane w sposób bezpośredni z rejestratora VBox Sport i kamery GoPro oraz obliczone na podstawie wartości opóźnień zarejestrowanych przez opóźnieniomierz XL-Meter i aplikację TESTEK Expert.



Ryc. 10. Przebiegi prędkości w próbie hamowania.

4. Dyskusja wyników

Zmiany prędkości w zależności od czasu (ryc. 7 i 10), zarejestrowane przez urządzenia rejestrujące prędkość (VBox Sport i GoPro) są niemal identyczne. Nieco bardziej wygładzony przebieg pochodzący z rejestratora VBox jest efektem zastosowania w tym urządzeniu pomiaru prędkości przy wykorzystaniu efektu Dopplera. Obliczanie prędkości na podstawie wartości opóźnień zarejestrowanych przez opóźnieniomierz XL-Meter lub aplikację TESTEK Expert prowadzi do zawyżenia wyników w zakresie maksymalnych wartości, natomiast ustalenie czasu, w jakim jest możliwe osiągnięcie określonej wartości prędkości, skutkuje zaniżeniem tych czasów. Tego rodzaju analiza, choć możliwa, nie jest zalecana.

Uzyskane w próbie hamowania wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania wskazują, że jeśli przyjąć za wzorcowe opóźnienie otrzymane z opóźnieniomierza XL-Meter, to opóźnienia obliczone na podstawie przyspieszeń pochodzących z urządzeń rejestrujących ten parametr (TESTEK Expert, GoPro) nie różniły się o więcej niż 2%. Obliczanie wartości MFDD na podstawie danych pochodzących z urządzeń rejestrujących prędkość może prowadzić do nieznacznego zaniżenia wyniku.

Zgodnie z zależnością (1) średnie pełne rozwinięte opóźnienie hamowania zależy od prędkości i drogi. Zarówno opóźnieniomierz XL-Meter, jak i aplikacja TESTEK Expert nie mierzą bezpośrednio ani prędkości jazdy, ani drogi przebytej przez pojazd, lecz obliczają prędkość poprzez numeryczne całkowanie przyspieszenia wzdłużnego, a drogę przez całkowanie uzyskanego przebiegu prędkości. Wyniki całkowania są obarczone pewnym błędem, ale uzyskane wartości MFDD są akceptowalne w rekonstrukcji wypadków, tym bardziej że prawidłowe podejście

do tych zagadnień wymaga uwzględnienia niepewności przyjmowanych wartości opóźnienia, która nie powinna być mniejsza niż ±0,5 m/s^2.

5. Wnioski

1. Każde z urządzeń wykorzystanych w badaniach daje możliwość ustalenia średniego pełnego rozwiniętego opóźnienia hamowania z dokładnością wystarczającą w rekonstrukcji przebiegu wypadków.
2. Do pomiarów prędkości, w szczególności czasu osiągnięcia jej konkretnej wartości, zaleca się wykorzystywanie urządzeń rejestrujących prędkość, ponieważ wartości prędkości uzyskane poprzez numeryczne całkowanie przebiegu przyspieszenia wzdłużnego mogą być obarczone błędem.
3. Aplikacja TESTEK Expert oblicza wartości MFDD porównywalne do uzyskanych przy pomiarze urządzeniem XL-Meter i może służyć do wiarygodnych pomiarów w badaniach powypadkowych pojazdów.

Podziękowanie

Autor składa podziękowanie firmie Toyota Dobrygowski Kraków za udostępnienie samochodu do badań.

Bibliografia

1. Ciępka, P. (2020). Protokół oględzin pojazdu. Próba hamowania i obliczanie opóźnienia na podstawie jej wyników. *Paragraf na Drodze*, (2).
2. Ciępka, P., Janczur, R. (2019). Urządzenie VBox Sport w praktyce biegłego i rzeczoznawcy samochodowego. *Paragraf na Drodze*, (4), 63–73.
3. Janczur, R., Zawałeń, J. (2021). Wybrane aspekty badania stanu technicznego układu hamulcowego samochodu osobowego po zdarzeniu drogowym. *Kwartalnik Policyjny*, (2).
4. Kohút, P., Jurina, R. Ondruš J. (2016). *Deceleration of current generation of road vehicles during intensive braking and conditionality of accident quantities with respect to this parameter*. Proceedings 25th Annual Congress EVU.
5. Matej, J., Rybianský, M., Ondrejka, P., Ťapák, P. (2025). Wykorzystanie aplikacji mobilnej TESTEK Expert w praktyce biegłego. W: P. Ciępka (red.), *Paragraf na Drodze. Wydanie specjalne 2025*. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych.
6. Regulamin nr 13 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów kategorii M, N i O w zakresie hamowania [2016/194]. https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/regulamin-nr-13-europejskiej-komisji-gospodarczej-organizacji-narodow-68613980
7. Reza, A., Zębala, J. (2000). Pomiary opóźnienia hamowania za pomocą przyrządu XL-Meter. *Paragraf na Drodze*, (6), 48–52.
8. Wach, W. (2018). *Reconstruction of vehicle kinematics by transformations of raw measurement data*, XI International Scientific and Technical Conference Automotive Safety. https://doi.org/10.1109/AUTOSAFE.2018.8373324

* * *

Investigation of Longitudinal Vehicle Dynamics for Road Traffic Accident Reconstruction

Abstract
The article presents the results of acceleration and braking tests of a Toyota RAV4 AWD vehicle. The tests recorded by four devices capable of measuring vehicle longitudinal dynamics: XL-Meter decelerometer, VBox Sport GPS data logger, GoPro Hero10 action camera and TESTEK Expert application installed on a smartphone. The obtained results were compared in terms of calculated values of the mean fully developed deceleration (MFDD), acceleration time to 100 km/h and speed changes. The findings indicate that each of the tested devices enables the determination of the mean fully developed braking deceleration with an accuracy sufficient for traffic accident reconstruction. However, for speed measurements, particularly for determining the time required to reach a specific speed value, it is recommended to use devices that directly record speed, since speeds obtained by numerical integration of the longitudinal acceleration signal may be subject to error. The TESTEK Expert application calculates MFDD values comparable to those obtained with the XL-Meter device and can be used for reliable measurements in post-accident investigations.

Key words
Post-accident investigations, dynamic, braking, acceleration, deceleration, decelerometer, XL-Meter, VBox Sport, GoPro, TESTEK Expert.