

**Roman Mikulec**

Badania dynamiki poprzecznej i podłużnej samochodów Škoda Fabia III i Škoda Superb III

Streszczenie

Przeprowadzenie kompleksowej analizy wypadków drogowych i możliwości zapobiegania im jest uzależnione od przyjęcia prawidłowych zmiennych wejściowych, wykorzystywanych przy obliczeniach. W artykule przedstawione są wyniki badań testowych, przeprowadzonych z wykorzystaniem samochodów Škoda Fabia III i Škoda Superb III. Celem testów było określenie wartości przyspieszenia poprzecznego pojazdów, osiągniętych przy manewrach unikowych, oraz określenie długości drogi niezbędnej do ich realizacji. Wartości przyspieszenia mierzono za pomocą opóźniomierza XL Meter oraz równoległe, z wykorzystaniem sygnału GPS, celem określenia wartości przyspieszenia poprzecznego, z pominięciem wpływu przechyłu nadwozia pojazdu. Przeprowadzono również testy hamowania, celem ustalenia osiągniętych wartości opóźnienia pojazdu.

Słowa kluczowe

Przyspieszenie poprzeczne, opóźnienie hamowania, opóźniomierz, samochód, manewr omijania.

* * *

1. Wstęp

W artykule przedstawione są częściowe wyniki pomiarów przeprowadzonych w związku z pracą doktorską autora, poświęconą kwestii dynamiki przemieszczenia poprzecznego nowoczesnych samochodów przy pogorszonych warunkach przyczepności. Przy analizie wypadków drogowych, z problemem poprzecznego przemieszczenia się samochodu można spotkać się przy analizie manewrów podejmowanych w celu uniknięcia wypadku. Dla rozwiązania problemu istotne jest poznanie granicznych prędkości, czyli maksymalnych prędkości, z jakimi można przejechać wyznaczonym torem ruchu bez utraty stateczności, dla nowoczesnych pojazdów, w zależności od warunków przyczepności.

2. Cel badań

Niniejszy artykuł jest poświęcony granicznym prędkościom przy podwójnej zmianie pasa ruchu na przykładzie dwóch samochodów osobowych, na suchej, bitumicznej nawierzchni. Praca jest także poświęcona:

- porównaniu urządzeń pomiarowych, wykorzystanych przy jazdach testowych,
- ocenie czasu odpowiedzi pojazdu na wymuszenie skrętu, na podstawie zapisu wideo,
- wartościom przyspieszenia poprzecznego, osiąganym podczas wykonywania manewrów skrętu, oraz
- wartościom opóźnienia pojazdu, osiąganym w przypadku gwałtownego hamowania.

3. Wykonane testy

3.1. Urządzenia pomiarowe

Pomiary przeprowadzono przy użyciu samochodów Škoda Fabia III oraz Škoda Superb III. Kierowcy starali się w czasie testów osiągnąć możliwie największą prędkość przejazdu odcinka testowego, bez utraty stabilności pojazdu.

Tabela 1. Parametry testowanych samochodów

samochód	<i>Škoda Fabia III</i>	<i>Škoda Superb III</i>
silnik	1.4 TDI (wysokoprężny)	2.0 TDI (wysokoprężny)
skrzynia biegów	5-stopniowa, manualna	6-stopniowa, manualna
model rok	2015	2015

W przypadku obu samochodów, pomiędzy poszczególnymi seriami przejazdów symulującymi manewr unikowy, zmieniano ciśnienie w oponach. W przypadku samochodu Škoda Superb wybrano wartości ciśnienia: 3,0; 2,6; 2,2; 1,8 i 1,4 bara (2,2 bara to ciśnienie nominalne dla tego pojazdu); w przypadku samochodu Škoda Fabia wybrano wartości ciśnienia: 3,2; 2,4 oraz 1,5 bara (a zatem ciśnienie wyższe, nominalne oraz wyraźnie niższe od nominalnego).

Tabela 2. Opony zamontowane w testowanych samochodach

samochód	<i>Škoda Fabia III</i>				<i>Škoda Superb III</i>			
opony	Dunlop SP Sport 01, rok produkcji 2014				Continental Contipremium Contact 5, rok produkcji 2014			
koło	LP	PP	LT	PT	LP	PP	LT	PT
głębokość bieżnika [mm]	6,9	6,2	6,9	6,9	6,6	6,7	7,4	7,4

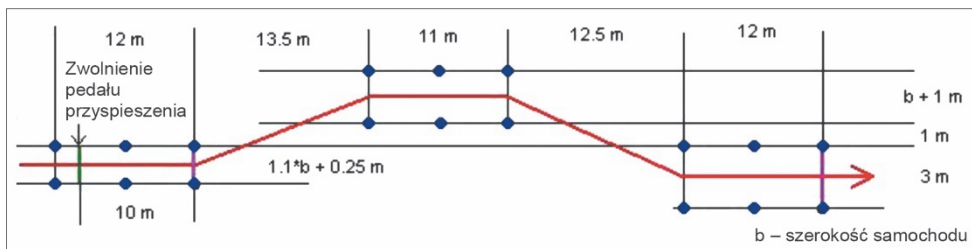
Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano dwa urządzenia, działające na różnych zasadach. Pierwszym z nich był opóźniomierz *XL Meter™ Pro Gamma* (dalej nazywany *XL Meter™*), którego zintegrowany system pomiarowy umożliwia pomiary przyspieszenia dodatniego oraz ujemnego. Drugim wykorzystanym urządzeniem był *VBOX Video HD2* (dalej nazywane *VBOX*), które zaliczane jest do tzw. *video data loggers* – a zatem do urządzeń, które w czasie rzeczywistym synchronizują zapis wideo z rejestrowanymi wielkościami. Urządzenie to wyposażone jest w dwie kamery oraz – dla odbioru sygnału *GPS*, dzięki któremu zapisuje dane o położeniu, prędkości i przyspieszeniu pojazdu – w antenę, którą można za pomocą magnesu umieścić na zewnątrz pojazdu (ryc. 1).



Ryc. 1. Rozmieszczenie aparatury pomiarowej w samochodach: a) Škoda Superb III, b) Škoda Fabia III.

3.2. Miejsce realizacji testów

Jazdy testowe zostały przeprowadzone na płycie lotniska, w pobliżu gminy Boršice, na suchej, bitumicznej nawierzchni. Schemat toru testowego przedstawia rycina 2, a jego obraz – rycina 3. Jazdy te polegały na wykonaniu serii manewrów, zgodnie z normą ISO 3888-2 – „Manewr omijania”. Prędkości osiągnięte przy poszczególnych przejazdach mieściły się w zakresie od 45 do 68 km/h.



Ryc. 2. Schemat toru testowego.



Ryc. 3. Obraz toru testowego.

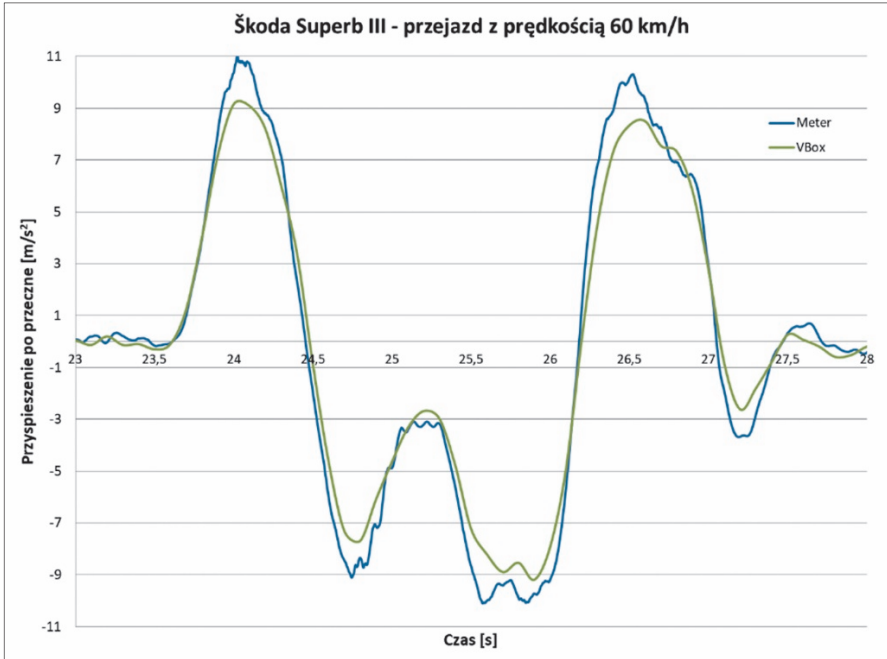
4. Analiza wyników

Pierwszy etap analizy stanowiło porównanie obydwu wykorzystywanych urządzeń pomiarowych, celem ustalenia, czy wystarczające jest wykorzystywanie urządzenia *VBOX*, którego częstotliwość próbkowania wynosi 10 Hz (w porównaniu z częstotliwością próbkowania urządzenia *XL MeterTM*, która wynosi 200 Hz). Założono, że dane uzyskane za pomocą urządzenia *VBOX* nie będą zniekształcone w związku z przechyłami nadwozia pojazdu.

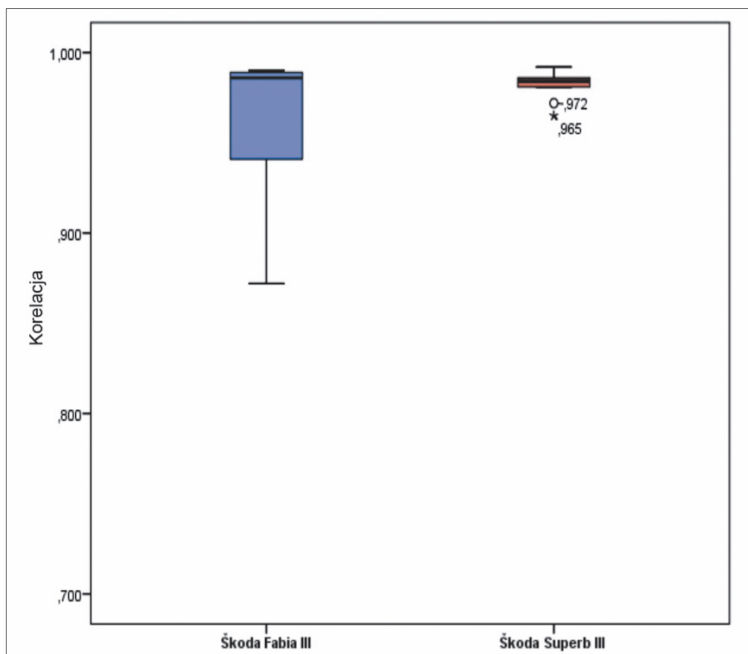
Z poszczególnych pomiarów (odrębnych dla każdego z samochodów) wybrano w sposób losowy dziesięć przejazdów, i porównano wyniki uzyskane z obu urządzeń pomiarowych. Wykorzystano w tym celu oprogramowanie statystyczne *IBM® SPSS Statistics®*.

Celem analizy danych było ustalenie, czy mają one rozkład normalny, a to dla potrzeb dalszych badań oraz wyboru odpowiedniego typu testu. Wykorzystano w tym celu *test Kolmogorowa-Smirnowa*. Ponieważ wykazano (patrz pozycja [6] bibliografii), iż uzyskane dane nie miały rozkładu normalnego, przeto dla porównania urządzeń konieczne było przeprowadzenie nieparametrycznego *testu Wilcoxon*. Za jego pomocą sprawdzono, na ile pomiary dokonywane przez obydwa urządzenia są podobne (tzn. czy urządzenia „mierzą tak samo”).

Wyniki *testu Wilcoxon* pokazały, że dane uzyskane za pomocą urządzenia *XL MeterTM* oraz urządzenia *VBOX* były porównywalne. Korelacja uzyskanych wartości wykazała zgodność pomiędzy obydwooma urządzeniami – patrz rycina 4. Mediana korelacji danych wyniosła 98,6 % w przypadku samochodu Škoda Fabia III i 98,4 % w przypadku samochodu Škoda Superb III [6].



Ryc. 4. Przykładowy przebieg przyspieszenia poprzecznego, uzyskany za pomocą obu urządzeń pomiarowych.



Ryc. 5. Wykres pudełkowy dla obu przyrządów stosowanych w pojazdach.

4.1. Analiza zapisu wideo

Jedna z kamer wykorzystanych przy pomiarach została umieszczona w taki sposób, aby podczas manewrów możliwe było śledzenie ruchu kierownicy, co było konieczne dla określenia wartości czasu odpowiedzi pojazdu na wymuszenie – tj. czasu pomiędzy pierwszym ruchem kierownicy, a pierwszą zarejestrowaną zmianą trajektorii pojazdu, w postaci pojawienia się pierwszej niezerowej wartości przyspieszenia poprzecznego

W tabeli 3 przedstawiono wyniki analizy zapisu wideo, zarówno dla samochodu Škoda Fabia III, jak i Škoda Superb III, uzyskane w czasie badań pilotażowych oraz badań przeprowadzonych na płycie lotniska. Przy ocenie zmian wartości przyspieszenia poprzecznego wykorzystano zapis z urządzenia *XL MeterTM*, a to z uwagi na jego wyższą częstotliwość próbkowania.

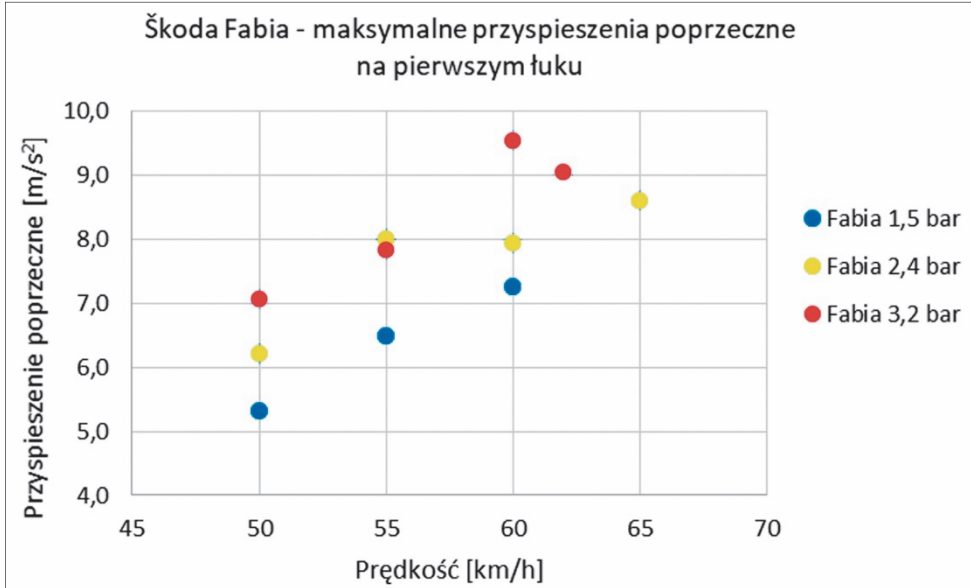
Tabela 3. Czasy odpowiedzi samochodu na wymuszenie skrętu

samochód	Škoda Fabia III					Škoda Superb III				
ciśnienie w oponach [bar]	1,5	1,9	2,4	2,8	3,2	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0
w badaniach pilotażowych [s]	0,39	0,42	0,42	0,42	0,41	0,44	0,40	0,40	0,38	0,40
w badaniach na lotnisku [s]	0,45	–	0,40	–	0,40	0,36	0,38	0,38	0,45	0,43

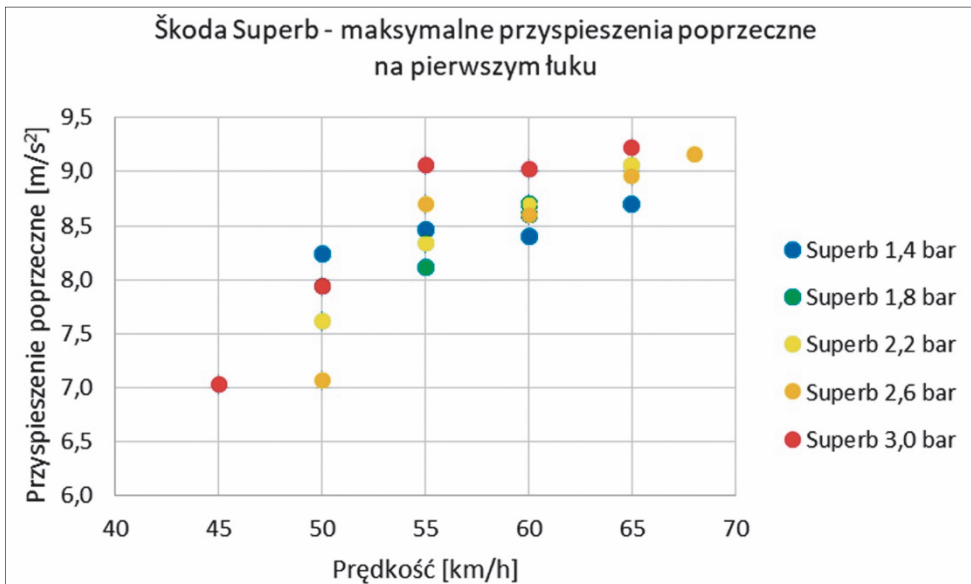
Średni czas odpowiedzi na wymuszenie skrętu dla samochodu Škoda Fabia wynosił 0,42 s w badaniach pilotażowych i 0,40 s w badaniach na płycie lotniska. W przypadku samochodu Škoda Superb średni czas odpowiedzi wynosił 0,40 s w badaniach pilotażowych i 0,38 s w badaniach na płycie lotniska.

4.2. Pomiary przyspieszenia poprzecznego

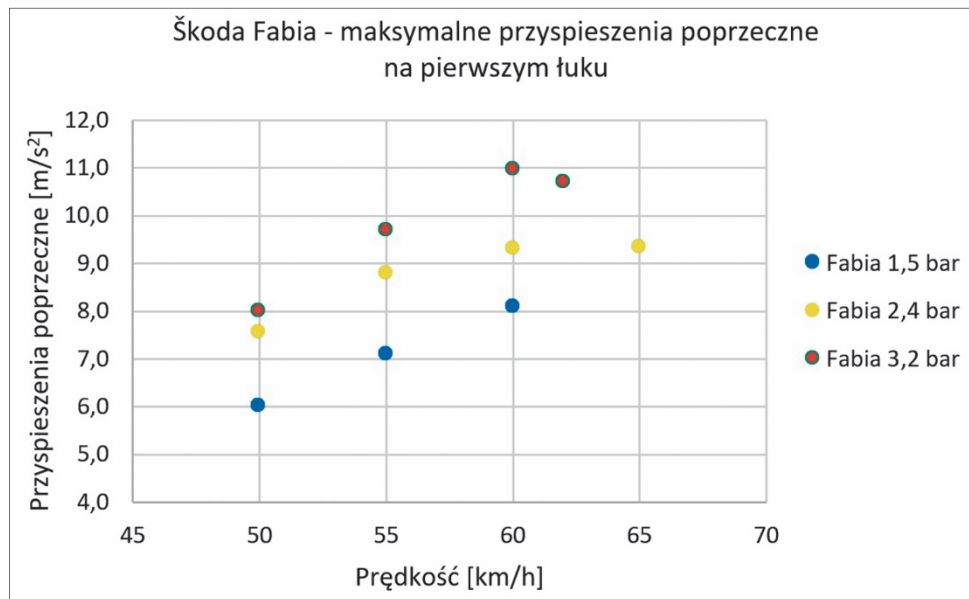
Spośród przeprowadzonych przejazdów testowych wybrano te, w przypadku których nie doszło do utraty stateczności pojazdu ani do uderzenia w pacholki drogowe, którymi wyznaczono trasę przejazdu testowego. Dla wyeliminowania błędów urządzeń pomiarowych, uzyskane wartości zostały skorygowane o średnią ruchomą. Maksymalne wartości przyspieszenia poprzecznego przy przejeździe pierwszego łuku, zarejestrowane przez obydwa urządzenia, z uwzględnieniem wpływu ciśnienia opon, są przedstawione na rycinach 6–9.



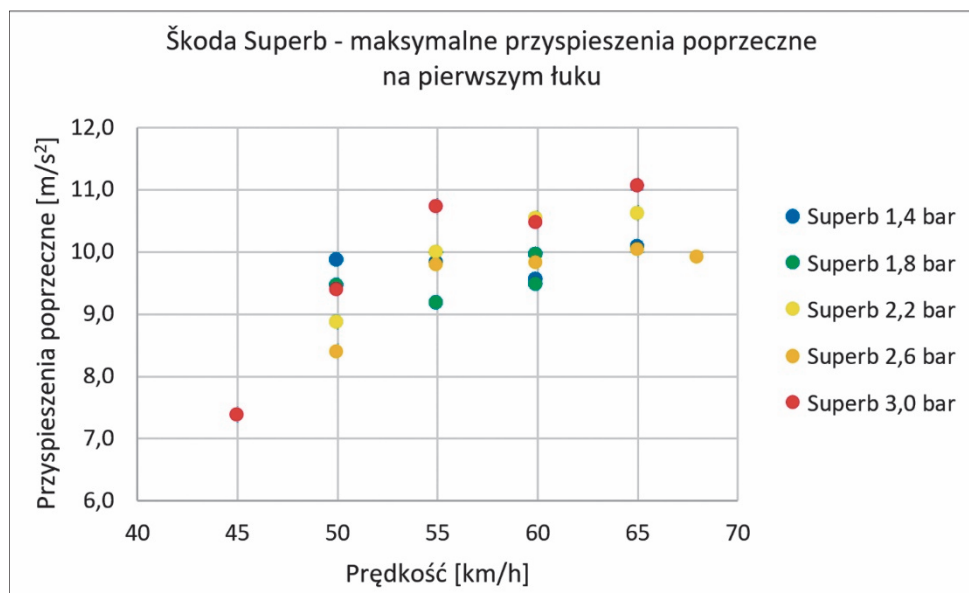
Ryc. 6. Wartości przyspieszenia poprzecznego zmierzone przez urządzenie V BOX.



Ryc. 7. Wartości przyspieszenia poprzecznego zmierzone przez urządzenie V BOX.



Ryc. 8. Wartości przyspieszenia poprzecznego zmierzone przez urządzenie XL Meter™.



Ryc. 9. Wartości przyspieszenia poprzecznego zmierzone przez urządzenie XL Meter™.

4.3. Próby hamowania

Przeprowadzono również testy hamowania, podczas których ciśnienie w oponach w obu pojazdach miało wartość nominalną (2,2 bara dla samochodu Škoda Superb III oraz 2,4 bara dla samochodu Škoda Fabia III). Do obliczeń opóźnienia wykorzystano następujący, znany wzór:

$$a = \frac{v^2}{2s} [m/s^2] \tag{1}$$

gdzie:

v – prędkość samochodu w chwili osiągnięcia pełnego opóźnienia hamowania,
 s – droga przebyta przez samochód od chwili osiągnięcia pełnego opóźnienia hamowania do chwili zatrzymania.

Uwaga: dane dotyczące drogi i prędkości określono za pomocą urządzenia *V BOX*.

Obliczono również wartość średniego pełnego opóźnienia hamowania (MFDD) z danych uzyskanych za pomocą urządzenia VBOX. Wyniki są podane w tabelach 7 i 8. Średnie pełne opóźnienie hamowania (MFDD) obliczane jest ze znanego wzoru:

$$MFDD = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92(s_e - s_b)} [m/s^2] \tag{2}$$

gdzie:

v_0 – prędkość początkowa pojazdu [km/h],
 v_b – prędkość pojazdu przy 0,8 v_0 [km/h],
 v_e – prędkość pojazdu przy 0,1 v_0 [km/h],
 s_b – droga przejechana pomiędzy prędkościami v_0 i v_b [m],
 s_e – droga przejechana pomiędzy prędkościami v_0 i v_e [m].

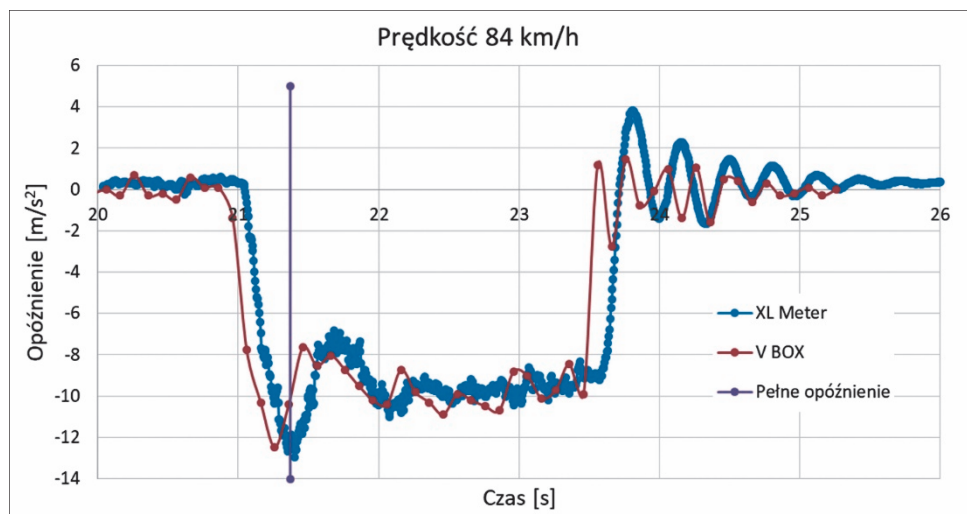
Wyniki obliczonych opóźnień przedstawione są w tabelach 4 i 5, natomiast na rysunku 10 przedstawiono przykładowe przebiegi opóźnienia hamowania zarejestrowane dwoma urządzeniami w czasie próby hamowania samochodu Škoda Superb III.

Tabela 4. Wyniki testów hamowania samochodu Škoda Fabia III

prędkość [km/h]	45	62	82
opóźnienie [m/s ²]	8,8	8,6	9,4
MFDD [m/s ²]	9,0	8,6	9,6

Tabela 5. Wyniki testów hamowania samochodu Škoda Superb III

prędkość [km/h]	43	61	84
opóźnienie [m/s ²]	9,4	9,9	9,6
MFDD [m/s ²]	10,5	10,5	9,5



Ryc. 10. Przebieg opóźnienia hamowania z zaznaczeniem początku pełnego opóźnienia dla samochodu Škoda Superb III.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawione są dane uzyskane podczas testów samochodów Škoda Fabia III i Škoda Superb III, w szczególności maksymalnych wartości przyspieszenia poprzecznego, uzyskane podczas wykonywania manewrów skrętu na suchej nawierzchni. Mierzono również opóźnienie tych samochodów osiągame w kierunku wzdłużnym przy gwałtownym hamowaniu. Wykorzystano przy tym dwa urządzenia pomiarowe, przy czym zwrócono uwagę na korzyści wynikające z wykorzystania urządzenia, które uzyskuje dane dotyczące jazdy przy użyciu sygnału GPS, bowiem uzyskane w ten sposób dane nie są zniekształcone poprzez przechyl nadwozia pojazdu.

Spośród uzyskanych wyników interesujące są szczególnie wartości przyspieszenia poprzecznego pojazdów, które mieściły się w zakresie 5,3 do 9,5 m/s². Wykonane pomiary wykazały również zależność pomiędzy osiąganym przyspieszeniem a ciśnieniem w oponach pojazdu – większe wartości ciśnienia w oponach były związane z możliwością osiągnięcia większych wartości przyspieszenia.

Średnia wartość opóźnienia samochodów w testach hamowania, wyliczona zgodnie z ogólnym wzorem, mieściła w zakresie od 8,6 do 9,9 m/s², natomiast przy obliczaniu średniego pełnego opóźnienia hamowania (MFDD) uzyskano wartości w zakresie 8,6 do 10,5 m/s². W przypadku samochodu Škoda Superb III stwierdzono wartości opóźnienia nieznacznie wyższe w porównaniu z samochodem Škoda Fabia III.

Przeprowadzono również analizę przydatności zapisu wideo dla ustalenia czasu odpowiedzi samochodu na wymuszenie skrętu, która dla obu samochodów wynosiła 0,4 s. Dla bardziej precyzyjnego określenia czasu odpowiedzi należałoby wykorzystać dokładniejsze urządzenie pomiarowe.

* * *

Wyniki przedstawionych badań były prezentowane na Międzynarodowej Konferencji Naukowej *Expert Forensic Science 2018*. Przedstawione w niniejszym artykule wyniki prób hamowania zostały zmodyfikowane, ponieważ wyniki tych prób opublikowane na *Expert Forensic Science* obarczone są metodycznym błędem obliczeniowym.

* * *

Bibliografia

1. Bradáč, A. *et al.* (1997). *Soudní inženýrství*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, ISBN: 80-7204-057-X.
2. Bradáč, A. (2003). *Příčné přemístění vozidel při analýze silniční nehody*, dizertační práce. Brno: VUT v Brně, ÚSI.
3. ČSN ISO 690-2 (01 0197) *Informace a dokumentace. Bibliografické citace – Část 2: Elektronické dokumenty nebo jejich části*. Český normalizační institut, Praha, 2000.
4. ISO 3888-2 *Passenger cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre. Part 2, Obstacle avoidance*. 2nd ed. Geneva: ISO copyright office, 2011.
5. Mareš, P., Rabušic, L., Soukup, P. (2015). *Analýza sociálněvědních dat (nejen) v SPSS*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-6362-4.
6. Mikulec, R. (2017). *Srovnání měřicích přístrojů*. In *9. odborná konference doktorského studia Junior Forensic Science Brno 2017*. ISBN: 978-80-214-5486-6.
7. *Návod k použití: přístroj XL Meter™ Pro Gama* [online], 43 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.nehodar.cz/docs/XLMPUSRCZ.pdf>
8. Panáček, V., *et al.* (2016). *Impact of usable coefficient of adhesion between tyre and road surface by modern vehicle on its dynamics while driving and braking in the curve*. *Transport*, 31.2: 142-146.
9. *Technical specification: VBOX VIDEO HD2* [online], 6 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: https://www.racelogic.co.uk/_downloads/vbox/Datasheets/Data_Loggers/VBOX_VIDEO_DATA.pdf

* * *

Lateral and longitudinal dynamics tests of the Škoda Fabia III and Škoda Superb III cars

Abstract

Complex analyses of traffic accidents and the answer to the question of the possibility of avoiding them depend on the knowledge of the correct input variables used in the calculations. The present article lists the results of road tests conducted with Škoda Fabia III and Škoda Superb III vehicles. The lane change manoeuvres were performed to determine the values of the vehicle lateral acceleration achieved during the evasive manoeuvres and the overall distance necessary to perform these manoeuvres. The acceleration values were measured with both the decelerometer and the GPS signal evaluation in order to determine the lateral acceleration values disregarding the vehicle's tilt. The vehicle braking tests were carried out to determine the achieved deceleration.

Key words

Lateral acceleration, longitudinal deceleration, decelerometer, car, evasive manoeuvre.