

Article citation info:

Sztwiertnia K, Guzek M. Niepewność w określaniu prędkości EES zderzenia samochodów wyznaczonej metodą eksperymentalno-analityczną. The Archives of automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji 2017; 76(7): <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL76.ART7>

Niepewność w określeniu prędkości EES zderzenia samochodów wyznaczonej metodą eksperymentalno-analityczną

Karol Sztwiertnia¹, Marek Guzek²

Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej
Politechnika Warszawska

Streszczenie

Jednym z podstawowych sposobów stosowanych przy rekonstrukcji zderzeń samochodów, wykorzystywanym w celu oszacowania ich prędkości, jest grupa tzw. metod energetycznych. W metodach tych opisuje się związek między prędkością równoważną energii *EES* (z ang. energy equivalent speed), a rozmiarem trwałego odkształcenia pojazdu. Istnieje kilka praktycznie wykorzystywanych modeli matematycznych opisujących ten związek. Zazwyczaj zakładają one liniową zależność między wspomnianym rozmiarem (głębokością) deformacji, a energią zużytą na jej powstanie (tzw. pracą deformacji). W różny sposób natomiast opisywana jest sama deformacja oraz energia deformacji. W zależności od zastosowanego modelu możemy otrzymać inne wartości poszukiwanej prędkości *EES*. W praktyce rekonstrukcji wypadków coraz istotniejszą rolę odgrywa niepewność i wiarygodność otrzymanych wyników. Przedmiotem artykułu jest niepewność oszacowania prędkości równoważnej energii *EES*. W pracy zostały przedstawione wyniki obliczeń otrzymane przy użyciu jednej z typowych metod jej określania – metody różniczki zupełnej. Obliczenia zostały wykonane dla pięciu modeli analitycznych wyznaczania pracy deformacji, na podstawie jej rozmiaru, dla kilku rzeczywistych odkształceń po zderzeniowych pojazdów. Wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej oraz wykresów, umożliwiających porównanie zarówno wartości parametru *EES*, jak i wyznaczonych dla niego niepewności bezwzględnych oraz względnych. Całość została podsumowana wnioskami odnoszącymi się do otrzymanych wartości. Mogą one być źródłem informacji na temat niepewności w wyznaczaniu prędkości *EES* w zależności od zastosowanego modelu obliczeniowego.

Słowa kluczowe: praca deformacji, metody energetyczne, rekonstrukcja wypadków, metoda różniczki zupełnej, niepewność *EES*

Keywords: deformation work, energy methods, accident reconstruction, total differentia metod, uncertainty of *ESS*

¹ Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej, Zakład Pojazdów Kołowych, ul. Okuniewska 1, 05-070 Sulejówek, e-mail: karol.sztwiertnia@witpis.eu, tel. 261-811-046

² Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Eksploatacji i Utrzymania Pojazdów, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: mgu@wt.pw.edu.pl, tel. 22 234-85-64

1. Wprowadzenie

Przy rekonstrukcji wypadków drogowych polegających na zderzeniach pojazdów, do oceny prędkości przed zderzeniowymi, często wykorzystuje się tzw. metody energetyczne. Za ich pomocą wyznacza się tzw. prędkość równoważną energii *EES* zużytej na deformację. Wartość *EES* wynika z pracy wykonanej podczas deformacji nadwozia, która szacowana jest na podstawie rozmiaru jego odkształceń.

Stosowane są różne modele matematyczne pozwalające wyznaczyć pracę deformacji. W związku z tym pojawia się pytanie: jak sam model zjawiska może wpłynąć na obliczoną prędkość *EES*. Oddzielnym zagadnieniem jest niepewność określenia tego parametru wynikającą z niepewności danych wejściowych. Oba te zagadnienia mogą być istotne z punktu widzenia poprawności przeprowadzonej analizy. Celem niniejszego artykułu jest pokazanie na wybranych przykładach, jak rodzaj zastosowanego modelu analitycznego oceny pracy deformacji oraz niepewność oceny odkształcenia nadwozia, może wpływać na uzyskany wynik *EES* oraz jego niepewność.

2. Metodyka obliczeń i pomiarów

Podstawowym założeniem metod energetycznych jest przyjęcie, że cała energia kinetyczna wytracona przez pojazd w trakcie zderzenia, jest „zużyta” na jego odkształcenie, co symbolicznie można zapisać:

$$E_d \cong \frac{m \cdot (V^2 - V'^2)}{2} = \frac{m \cdot EES^2}{2} \quad (1)$$

gdzie: E_d – energia trwałej deformacji, m – masa pojazdu, V – prędkość pojazdu przed zderzeniem, V' – prędkość pojazdu po zderzeniu.

W literaturze dotyczącej rekonstrukcji wypadków (np. [1, 2, 4, 8]), różnica kwadratów prędkości $V^2 - V'^2$ jest zapisywana jako kwadrat *EES*, a samo *EES* nazywane jest prędkością równoważną energii (zużytej na deformację) – z ang. Energy Equivalent Speed. *EES* nie jest tożsama ze zmianą prędkości pojazdu w czasie zderzenia (co wynika wprost ze wzoru (1)), aczkolwiek ma z nią bezpośredni związek, który jest wykorzystywany do określenia prędkości przed wypadkowymi pojazdami. Wartość *EES* wyznaczona ze wzoru (1) ma postać:

$$EES = \sqrt{\frac{2 \cdot E_d}{m}} \quad (2)$$

Na podstawie doświadczeń empirycznych formułuje się związek między rozmiarem odkształcenia a energią deformacji. Spotyka się różne opisy formalne tych związków (można je znaleźć w literaturze dotyczącej rekonstrukcji zderzeń pojazdów, np. [1, 2, 5, 6, 7, 8]). W efekcie mamy zależność między deformacją nadwozia, a prędkością pojazdów w chwili zderzenia, którą pośrednio można otrzymać poprzez zastosowanie parametru *EES*.

W niniejszym artykule zostaną przedstawione przykładowe wyniki obliczeń, oszacowujących wartość prędkości *EES* oraz jej niepewności, dla kilku rzeczywistych pojazdów uczestniczących w zderzeniu czołowym. Obliczenia te przeprowadzono metodą różniczki zupełnej, a jako modele analizowanego zjawiska wykorzystano pięć metod analitycznych wyznaczenia wartości nominalnych E_d lub *EES*, oznaczonych jako metoda:

- uproszczona,
- Campbella,
- McHenry'ego,
- CRASH3,
- stosowana w programie symulacyjnym PC-CRASH.

Same metody nie zostaną tu przedstawione szczegółowo - ich opis można znaleźć w literaturze [1, 2, 5, 6, 7, 8]. Celem niniejszego opracowania jest zaprezentowanie efektów ich zastosowania odnoszącego się tylko i wyłącznie do wyznaczania niepewności. Podstawowe wzory wykorzystywane w powyższych metodach to:

- Metoda uproszczona

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot K \cdot C_{sr}^2 = \frac{1}{2} \cdot w_d \cdot h_d \cdot C_{sr}^2 \cdot k^* \quad (3)$$

gdzie: K – współczynnik sztywności nadwozia, C_{sr} – średnia trwała głębokość deformacji, w_d – średnia szerokość deformacji, h_d – średnia wysokość deformacji, k^* – współczynnik sztywności jednostkowej nadwozia.

- Metoda Campbella (podstawowa)

$$V = b_0 + b_1 \cdot C_{sr} \quad (4)$$

gdzie: V – prędkość pojazdu uderzającego czołowo w sztywną barierę, b_0 – prędkość powyżej której powstają trwałe odkształcenia nadwozia, b_1 – współczynnik kierunkowy liniowej charakterystyki $V = V(C_{sr})$.

Ze względu na definicję prędkości V można przyjąć, że w przybliżeniu jest ona równa EES .

- Metoda McHenry'ego

$$E_d = w_d \cdot \left(A \cdot C_{sr} + \frac{B \cdot C_{sr}^2}{2} + G \right) \quad \text{oraz} \quad G = \frac{A^2}{2B} \quad (5)$$

gdzie: A – współczynnik określający jednostkową siłę graniczną, powyżej której dochodzi do plastycznego odkształcenia

$$A = \frac{m \cdot b_0 \cdot b_1}{w_d}, \quad B - \text{współczynnik sztywności nadwozia, który określa jednostkową}$$

sztywność wzdłużną $B = \frac{m \cdot b_1^2}{w_d}$, G – energia odkształcenia sprężystego.

Jeśli podstawimy powyższe zależności na A , B , G do wzorów (5) oraz (2) można wykazać, że metody Campbella i McHenry'ego są tożsame. Ponieważ dla każdej z nich można znaleźć w literaturze "niezależne" zestawy danych (tzn. zalecane wartości b_0 , b_1 dla metody Campbella oraz zalecane wartości współczynników A , B dla metody McHenry'ego), w dalszych obliczeniach potraktowano je jako oddzielne metody.

- Metoda CRASH3

$$E_d = \frac{w_d}{n-1} \left(\frac{A\alpha}{2} + \frac{B\beta}{6} + (n-1)G \right) \quad (6)$$

gdzie: α , β – stałe deformacji w i -tym punkcie (patrz rys. 1), n – liczba punktów pomiaru głębokości deformacji.

Metoda ta jest zmodyfikowaną metodą McHenry'ego. Różni się innym sposobem odwzorowania odkształcenia. Współczynniki α i β mają postać:

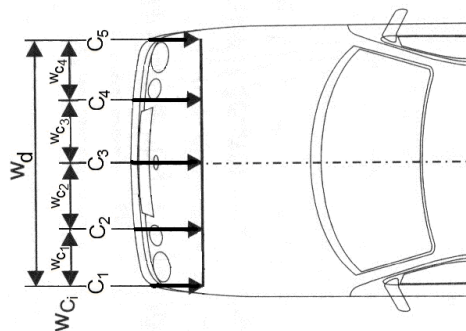
$$\alpha = C_1 + C_n + 2 \sum_{i=2}^{n-1} C_i, \quad \beta = C_1^2 + C_n^2 + 2 \sum_{i=2}^{n-1} C_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} C_i C_{i+1} \quad (7)$$

- Wzór z programu PC-CRASH

$$E_d = \sum_{i=1}^{i=n-1} w_{ci} \cdot \left[\frac{A}{2} (C_{i+1} + C_i) + \frac{B}{6} \frac{C_{i+1}^3 - C_i^3}{C_{i+1} - C_i} + G \right] \quad (8)$$

gdzie: w_{ci} – szerokość pomiędzy kolejnymi punktami pomiaru głębokości deformacji (patrz rys. 1).

W programie PC-CRASH zastosowana jest metoda CRASH3 ze zmienionym sposobem wprowadzania profilu odkształcenia, umożliwiającym stosowanie różnych wartości w_{ci} .



Rys. 1. Schemat ilustrujący parametry określające rozmiar deformacji nadwozia

Szczegółowy opis sposobu oraz wyniki pomiarów deformacji nadwozia są przedstawione w [3]. Rozmiar deformacji oceniano na podstawie wymiarów geometrycznych, poprzez pomiar w kilku punktach – patrz rysunek 1. Średnią głębokość deformacji (odkształcenia) obliczano według wzoru:

$$C_{sr} = \left(\frac{C_1}{2} + \sum_{i=2}^{i=n-1} C_i + \frac{C_n}{2} \right) / (n-1) \quad (9)$$

gdzie: C_i – głębokość deformacji w i -tym punkcie pomiarowym, n – liczba punktów pomiarowych (w pomiarach $n = 5$ lub 6).

W opracowaniu przyjęto, że jedynym źródłem niepewności jest pomiar wielkości geometrycznej opisującej odkształcenie. Do wyznaczenia niepewności zastosowano metodę różniczki zupełnej w ogólnej postaci:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right| \quad (10)$$

gdzie: Δy – niepewność poszukiwanej wielkości (ΔEES), Δx_i – niepewność znanych parametrów x_i (C_i), $\partial y / \partial x_i$ – wartość współczynnika wrażliwości pierwszego rzędu y względem x_i dla nominalnej wartości x_i .

Wartości nominalne EES obliczano za pomocą opisanych zależności (wzory (3) ÷ (8)). Do określenia niepewności wykorzystano metodę różniczki zupełnej pierwszego rzędu (MRZ). W pracy badano wpływ oceny deformacji nadwozia, zatem przyjęto, że jedynym źródłem niepewności jest tylko sam pomiar wielkości geometrycznych, opisujących dane odkształcenie.

3. Dane do obliczeń

Obliczenia przeprowadzono przykładowo dla ośmiu pojazdów uczestniczących w zderzeniach czołowych, których wyniki pomiarów rozmiaru deformacji przedstawiono w tabeli 1. Pomiarów dokonano za pomocą dalmierza laserowego. Przyjęto, że niepewność pomiaru wielkości geometrycznych (Δx_i) jest równa 0,02 m. W tabeli 2 zawarto wartości pozostałych parametrów niezbędnych do dalszych obliczeń. Wartości tych parametrów (k^* , b_0 , b_1) przyjęto na podstawie zaleceń zawartych w literaturze [1, 6] – stosownie do typu pojazdu i rodzaju zderzenia. Wartości współczynników A i B obliczono według podanych wcześniej zależności dla przyjętych b_0 , b_1 . W tabeli 3 i 4 przedstawiono fotografie ilustrujące zakres deformacji rozpatrywanych pojazdów.

Tabela 1. Parametry geometryczne ilustrujące rozmiar deformacji ośmiu rozpatrywanych pojazdów

parametr	Citroen Berlingo	Mercedes Benz kl. C	Opel Combo	Opel Vectra
w_d [m]	$1,40 \pm 0,02$	$1,35 \pm 0,02$	$1,00 \pm 0,02$	$0,80 \pm 0,02$
h_d [m]	$0,83 \pm 0,02$	$0,89 \pm 0,02$	$0,93 \pm 0,02$	$0,78 \pm 0,02$

w_{ci} [m]	$0,28 \pm 0,02$	$0,27 \pm 0,02$	$0,25 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,02$
C_1 [m]	$0,43 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,02$	$0,65 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,02$
C_2 [m]	$0,37 \pm 0,02$	$0,24 \pm 0,02$	$0,52 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,02$
C_3 [m]	$0,26 \pm 0,02$	$0,26 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,02$
C_4 [m]	$0,29 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,02$
C_5 [m]	$0,24 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$
C_6 [m]	$0,16 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,02$	-	-
parametr	Skoda Octavia	Suzuki Splash	Toyota Corolla	VW Golf IV
w_d [m]	$1,40 \pm 0,02$	$1,50 \pm 0,02$	$1,50 \pm 0,02$	$1,40 \pm 0,02$
h_d [m]	$1,05 \pm 0,02$	$0,76 \pm 0,02$	$0,82 \pm 0,02$	$0,87 \pm 0,02$
w_{ci} [m]	$0,28 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,02$
C_1 [m]	$0,31 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$
C_2 [m]	$0,26 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,02$	$0,31 \pm 0,02$
C_3 [m]	$0,24 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,02$
C_4 [m]	$0,09 \pm 0,02$	$0,24 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,02$
C_5 [m]	$0,05 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,02$	$0,26 \pm 0,02$	$0,31 \pm 0,02$
C_6 [m]	$0 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,02$	$0,02 \pm 0,02$	$0,27 \pm 0,02$

Tabela 2. Przyjęte wartości parametrów dla ośmiu rozpatrywanych pojazdów

parametr	Citroen Berlingo	Mercedes Benz klasy C	Opel Combo	Opel Vectra
m [kg]	1225	1450	1290	1270
k^* [(N/m)/m ²]	$17 \cdot 10^5$	$7,65 \cdot 10^5$	$17 \cdot 10^5$	$11 \cdot 10^5$
b_0 [m/s]	1,34	3,35	1,34	3,35
b_1 [(m/s)/m]	23,76	15,84	23,76	15,84
A [N/m]	27 859	56 995	41 072	84 239
B [N/m ²]	493 970	269 491	728 254	398 313
parametr	Skoda Octavia	Suzuki Splash	Toyota Corolla	VW Golf IV
m [kg]	1275	1075	1140	1185
k^* [(N/m)/m ²]	$20 \cdot 10^5$	$20 \cdot 10^5$	$17 \cdot 10^5$	$17 \cdot 10^5$

b_0 [m/s]	3,35	1,34	1,34	1,34
b_1 [(m/s)/m]	15,84	23,76	23,76	23,76
A [N/m]	48 326	22 818	24 197	26 949
B [N/m ²]	228 503	404 585	429 049	477 841

Tabela 3. Ilustracje odkształceń pojazdów uczestniczących w zderzeniu czołowym

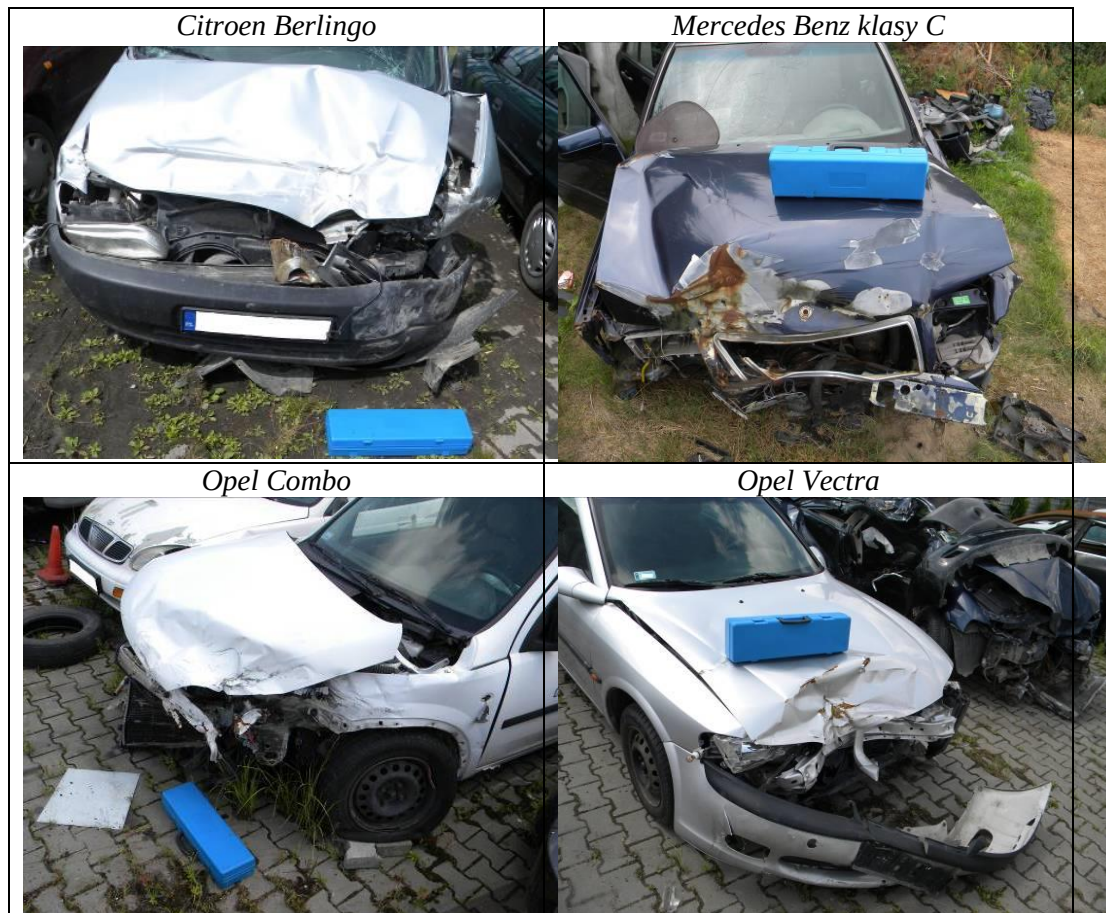


Tabela 4. Ilustracje odkształceń pojazdów uczestniczących w zderzeniu czołowym

Skoda Octavia



Suzuki Splash



Toyota Corolla



VW Golf IV



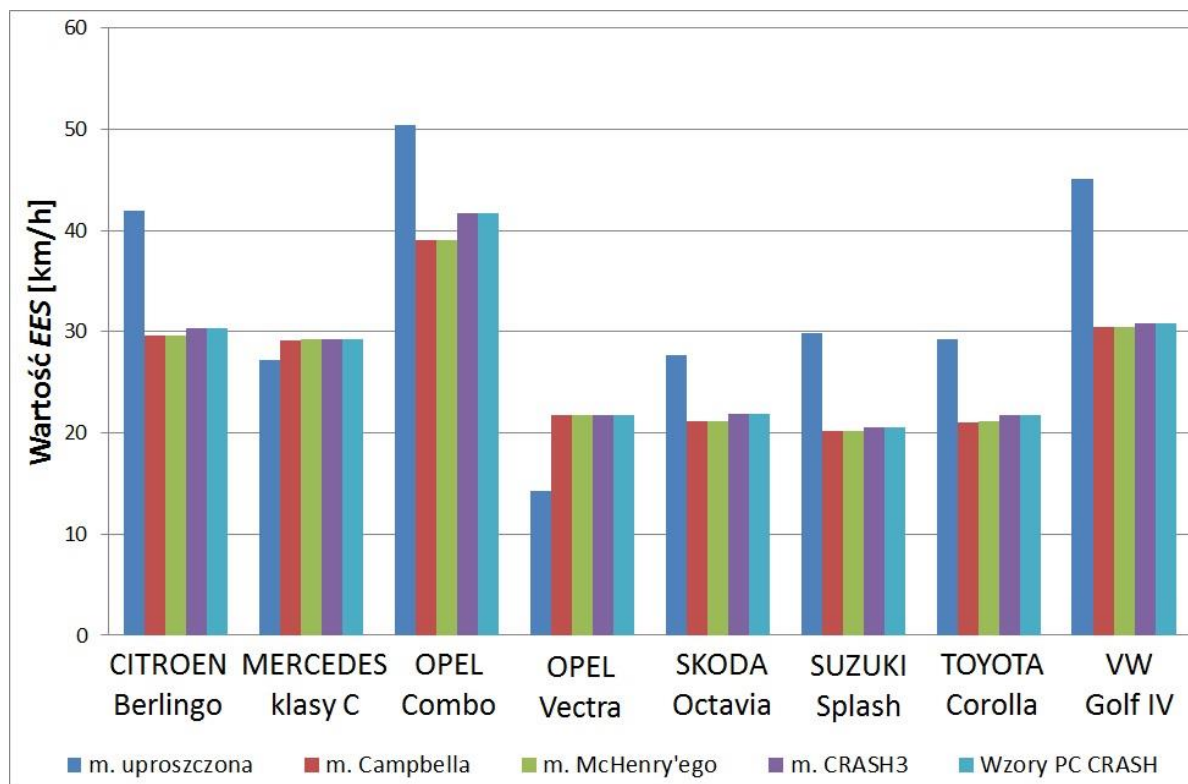
<i>Pojazd</i>	<i>Metoda</i>	<i>EES [km/h]</i>	<i>Niepewność bezwzględna ΔEES [km/h]</i>	<i>Niepewność względna $\Delta EES/EES$ [%]</i>
<i>Citroen Berlingo</i>	Uproszczona	41,9	3,7	8,8
	Campbella	29,6	1,7	5,8
	McHenry'ego	29,6	1,9	6,5
	CRASH3	30,3	0,5	1,8
	Program PC- CRASH	30,3	6,2	20,6
<i>Mercedes Benz klasy C</i>	Uproszczona	27,2	2,3	8,5
	Campbella	29,2	1,1	3,9
	McHenry'ego	29,2	1,4	4,7
	CRASH3	29,3	0,7	2,4
	Program PC- CRASH	29,3	5,2	17,7
<i>Opel Combo</i>	Uproszczona	50,4	3,6	7,1
	Campbella	39	1,7	4,4
	McHenry'ego	39	2,1	5,2
	CRASH3	41,7	0,7	1,6
	Program PC- CRASH	41,7	6,6	15,8
<i>Opel Vectra</i>	Uproszczona	14,2	2	14,3
	Campbella	21,8	1,1	5,2
	McHenry'ego	21,8	1,4	7,1
	CRASH3	21,8	0,9	4,3
	Program PC- CRASH	21,8	4,7	21,6
<i>Skoda Octavia</i>	Uproszczona	27,7	3,9	14,2
	Campbella	21,2	1,1	5,4
	McHenry'ego	21,2	1,3	6,1
	CRASH3	21,9	0,8	3,7
	Program PC- CRASH	21,9	4,6	20,9
<i>Suzuki Splash</i>	Uproszczona	29,8	3,9	13,1
	Campbella	20,2	1,7	8,5
	McHenry'ego	20,2	1,9	9,2
	CRASH3	20,5	0,6	3
	Program PC- CRASH	20,5	5,4	26,3
<i>Toyota Corolla</i>	Uproszczona	29,3	3,6	12,4
	Campbella	21,1	1,7	8,1
	McHenry'ego	21,1	1,9	8,8
	CRASH3	21,8	0,6	2,7
	Program PC- CRASH	21,8	5,4	24,9
<i>VW Golf IV</i>	Uproszczona	45,2	3,9	8,5
	Campbella	30,5	1,7	5,6
	McHenry'ego	30,5	1,9	6,3
	CRASH3	30,8	0,5	1,8
	Program PC- CRASH	30,8	6,3	20,5

4. Wyniki obliczeń

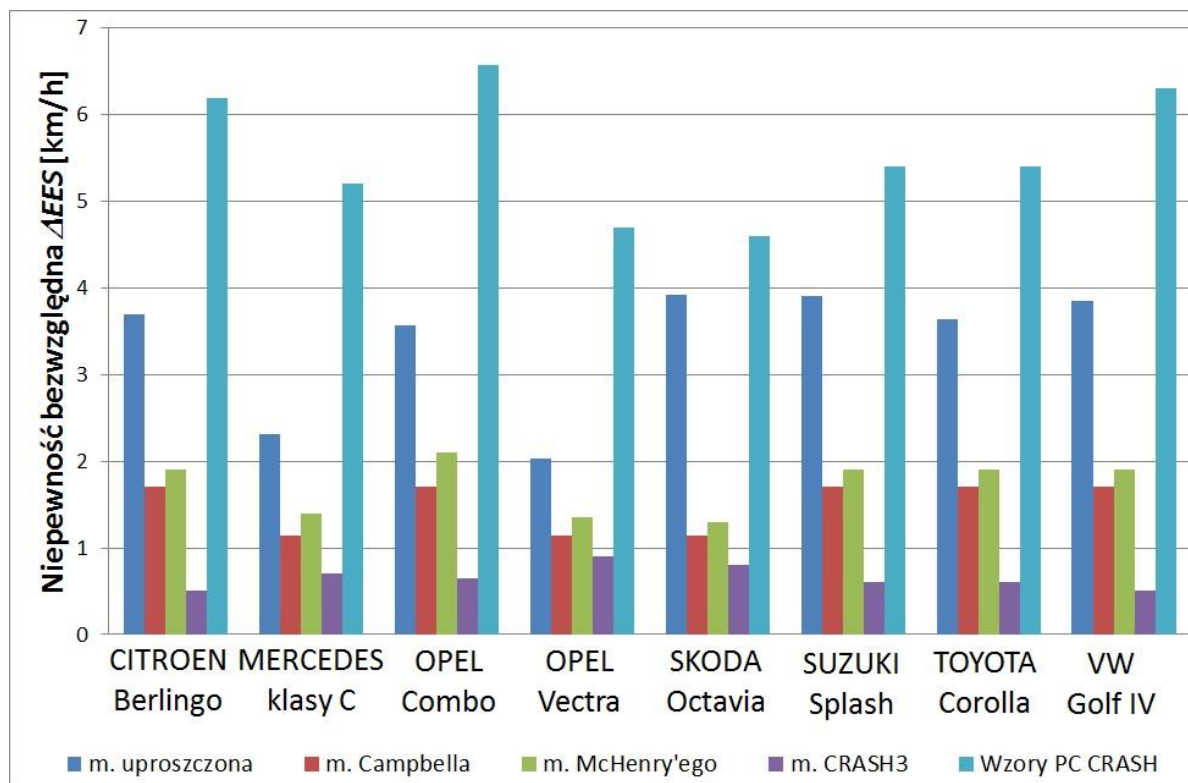
Wyniki obliczeń w postaci wartości nominalnych uzyskanych prędkości *EES* oraz niepewności ich oszacowania, w formie bezwzględnej i względnej, zostały przedstawione

w tabeli 5 oraz w postaci wykresów słupkowych na rysunkach od 2 do 4. Rysunek 2 dotyczy uzyskanych nominalnych wartości parametru *EES*, zaś rysunek 3 i 4 - niepewności bezwzględnej i względnej *EES*.

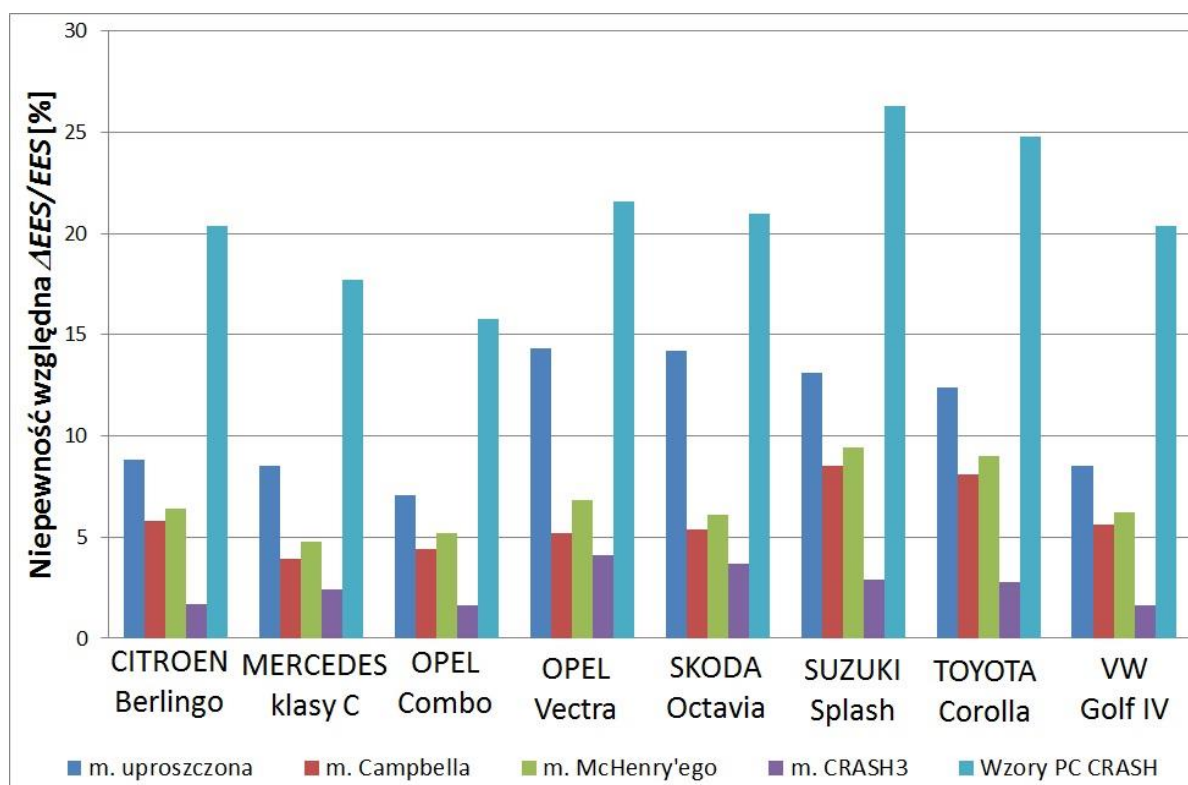
Tabela 5. Wartości nominalne uzyskanych prędkości *EES* oraz niepewność bezwzględna i względna jej oszacowania



Rys. 2. Wartości nominalne prędkości *EES* dla rozważanej grupy pojazdów



Rys. 3. Niepewność bezwzględna w ocenie prędkości EES w zależności od metody oceny pracy deformacji podczas zderzenia



Rys. 4. Niepewność względna w ocenie prędkości EES w zależności od metody oceny pracy deformacji podczas zderzenia

Oceniając uzyskane wartości nominalne EES, należy wskazać, że najwyższe wartości otrzymano dla metody uproszczonej. Jedynie w przypadku pojazdu drugiego (Mercedes Benz klasy C) i czwartego (Opel Vectra) wynik uzyskany tą metodą był niższy niż w przypadku pozostałych metod. Różnice są dość znaczące i sięgają od kilku (np 2,1 km/h w przypadku pojazdu Mercedes Benz klasy C) do kilkunastu km/h

(np. 14,3 km/h w przypadku pojazdu Volkswagen Golf IV). W wartościach względnych daje to różnice na poziomie od 7,8 do 31,7%.

Jednocześnie należy zauważyć wyraźne podobieństwo wyników uzyskanych metodami Campbella, McHenry'ego, CRASH3 oraz PC-CRASH. Jest to zrozumiałe, jeśli przeanalizuje się ich modele matematyczne. Jak już wspomniano wcześniej metody Campbella i McHenry'ego są tożsamymi. Natomiast metody CRASH3 i PC-CRASH wywodzą się z metody McHenry'ego, ale inaczej jest w nich odwzorowywany profil odkształcenia (w metodzie McHenry'ego stosowane jest uśrednione odkształcenie C_{sr}). Wartości EES w metodach CRASH3 i PC-CRASH są takie same, gdyż stosowany jest w nich dokładnie taki sam sposób określenia deformacji, stosując w obu identyczne wartości w_{ci} (patrz rys. 1).

Oceniając wyniki niepewności ΔEES , to w zależności od metody energetycznej uzyskiwano wartości bezwzględne od ok. 0,5 do ok. 7 km/h, a w wartościach względnych - od 2% do 26%. Zdecydowanie najmniejsze niepewności otrzymano dla metody CRASH3 (od 0,5 do 0,9 km/h, a w wartościach względnych od 2 do 4%). W drugiej kolejności są metody Campbella i McHenry'ego, dla których uzyskane niepewności są na zbliżonym poziomie (od 1,1 do 2 km/h, a w wartościach względnych od 4 do 9%). W metodzie uproszczonej uzyskano niepewności bezwzględne od 2,2 do blisko 4 km/h (względnie od 8 do 14%). Zdecydowanie największe niepewności otrzymano stosując wzór z programu PC-CRASH. Tu niepewność bezwzględna waha się w zależności o pojazdu od ok. 4,5 do ponad 6 km/h. Niepewność względna mieści się w granicach 14-26%, przy czym najczęściej w pobliżu 20%. Przyczyn tych wysokich wartości niepewności należy poszukiwać w postaci modelu matematycznego (wzór (8)). Występujące w tym modelu sumowanie, dla poszczególnych punktów pomiaru deformacji, powoduje sumowanie się składowych niepewności wynikających z pomiaru odkształcenia. W pozostałych rozważanych metodach nie ma takiego efektu (ze względu na zastosowanie uśrednionego odkształcenia przy określaniu energii deformacji).

5. Podsumowanie i wnioski

Po dokonaniu serii przykładowych obliczeń, na podstawie rzeczywistych pomiarów deformacji powypadkowych pojazdów, można stwierdzić, że nie jest możliwym dokładne oszacowanie prędkości EES dysponując tylko wartościami trwałego odkształcenia nadwozia. Prędkość równoważna energii jest zależna od wielu czynników, w tym w szczególności od sposobu pomiaru, przyrządu pomiarowego, metody służącej do wyznaczenia jej wartości itp. Czynniki te powodują, że jej wartość obarczona jest błędem, którego zakres określa omawiana w niniejszej publikacji niepewność oszacowania.

Na podstawie analizy przedstawionych wyników sformułowano następujące wnioski:

- Uzyskane wartości nominalne EES są zazwyczaj najwyższe w przypadku metody uproszczonej, zaś dla pozostałych metod osiągają zbliżoną wartość.
- Najmniejsze niepewności, od 2 do 4% w każdym z rozpatrywanych przypadków, osiągnięto stosując metodę CRASH3, a nieco większe od 9 do 14% w przypadku metody uproszczonej.
- Największe niepewności, na poziomie około 20%, uzyskiwane są dla metody stosowanej w programie PC-CRASH.
- W żadnej z wyznaczonych wartości prędkości równoważnej energii niepewność względna nie osiągnęła poziomu 30%.

Należy podkreślić, że przeprowadzone obliczenia uwzględniały tylko niepewność związaną z pomiarem odkształcenia nadwozia. Nie rozważano tu wpływu niepewności innych czynników np. sztywności nadwozia i wartości innych współczynników modeli matematycznych. Przedstawione wyniki i wnioski mogą jednak być wykorzystane jako źródło wiedzy na temat niepewności jaką można

otrzymać
w zależności od zastosowanej metody określenia *EES*.

W przyszłości należy spodziewać się zwiększonego zainteresowania metodami energetycznymi. Połączenie ich z nowoczesnymi metodami pomiaru odkształceń, np. trójwymiarowym skanowaniem wraz z odpowiednim oprogramowaniem komputerowym, dysponującym zweryfikowaną bazą parametrów technicznych pojazdów, pozwoli uzyskiwać w szybki sposób wartości prędkości *EES* oraz ograniczać niepewność ich oszacowania.

The full text of the article is available in Polish online on the website
<http://archiwummotoryzacji.pl>

Tekst artykułu w polskiej wersji językowej dostępny jest na stronie
<http://archiwummotoryzacji.pl>

Literatura

- [1] Campbell K L. Energy basis for collision severity. SAE 740565, 1974.
- [2] Prochowski L, Unarski J, Wach W, Wicher J. Pojazdy samochodowe. Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych. Wydawnictwo WKŁ. Warszawa 2008.
- [3] Sztwiertnia K. Niepewność oszacowania prędkości przed zderzeniowej pojazdu na podstawie jego deformacji. Magisterska praca dyplomowa pod kierownictwem dr inż. Marka Guzka. Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2013.
- [4] Tomasch E. Accident Reconstruction Guidelines. Graz University of Technology. Graz 2004.
- [5] Unarski J, Zębala J. Zbiór podstawowych wzorów i równań stosowanych w analizie wypadków drogowych. Wydanie 2. Wydawnictwo IES. Kraków 2012.
- [6] Wach W. PC-Crash. Program do symulacji wypadków drogowych. Poradnik użytkownika. Wydawnictwo IES. Kraków 2001.
- [7] Wach W. Symulacja wypadków drogowych w programie PC-Crash. Wydawnictwo IES. Kraków 2009.
- [8] Wierciński J., Reza A. (red.): Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego. Wydanie 2. Wydawnictwo IES. Kraków 2011.