

Karol MARCINIAK¹, Jakub GŁOWACKI², Piotr CZECH³,
Mariola SATERNUS⁴, Henryk KANIA⁵, Robert OWSIAŃSKI⁶

Opiekun naukowy: Piotr CZECH⁷, Mariola SATERNUS⁸, Henryk KANIA⁹,
Robert OWSIAŃSKI¹⁰

WYZNACZENIE ENERGOCHŁONNOŚCI SAMOCHODÓW OSOBOWYCH W 35% ZDERZENIACH OFFSETOWYCH PRZY WYKORZYSTANIU DANYCH Z EDR

Streszczenie: Celem artykułu było określenie zakresu energii deformacji pojawiającej się w 35% zderzeniach offsetowych. W artykule przeanalizowano kilka zarejestrowanych przypadków zderzeń samochodów osobowych. W analizach wykorzystano dane z EDR udostępnione przez Amerykański Urząd ds. Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (NHTSA).

Słowa kluczowe: kolizja drogowa, energia deformacji, EDR

DETERMINING THE ENERGY CONSUMPTION OF PASSENGER CARS IN OFFSET COLLISIONS WITH THE USE OF EDR DATA

Summary: The aim of the article was to determine the range of the deformation energy that occurs in 35% of offset collisions. The article analyzes a few registered cases of passenger car collisions. The analyzes used data from the EDR provided by the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).

Keywords: road collision, deformation energy, EDR

¹ Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, kierunek: automatyka i robotyka, specjalność: systemy pomiarowe i informacyjne

² Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, kierunek: automatyka i robotyka, specjalność: systemy pomiarowe i informacyjne

³ Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, email: piotr.czech@polsl.pl

⁴ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, email: mariola.saternus@polsl.pl

⁵ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, email: henryk.kania@polsl.pl

⁶ Biuro Usług Rzecznawczych, Gorzów Wielkopolski, email: robert.owsianski@gmail.com

⁷ Prof. dr hab. inż., Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, email: piotr.czech@polsl.pl

⁸ Prof. dr hab. inż., Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, email: mariola.saternus@polsl.pl

⁹ Dr hab. inż., Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, email: henryk.kania@polsl.pl

¹⁰ Dr inż., biegły sądowy, rzeczoznawca techniki motoryzacyjnej i ruchu drogowego, ekspert ds. wypadków drogowych, email: robert.owsianski@gmail.com

1. Wprowadzenie

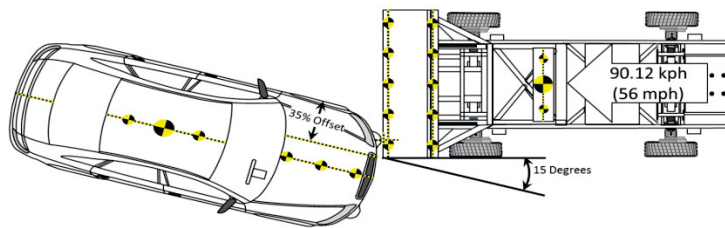
Codziennie na drogach całego świata dochodzi do kolizji i wypadków drogowych. Wielokrotnie po zaistnieniu tego typu zdarzeń zachodzi potrzeba określenia prędkości przedzderzeniowej pojazdów biorących udział w zdarzeniu. Do tego celu można wykorzystać różne metody, jak również różnego typu dowody [2, 3]. Najbardziej miarodajnymi dowodami są te natury materialnej, do których należą trwałe odkształcenia nadwozia. To za ich pomocą możliwe jest określenie energii deformacji, a w konsekwencji odpowiadającej jej prędkości jazdy [4, 9]. W praktyce rzeczoznawczej często wykorzystuje się metodę CRASH3 [6, 10]. W założeniach tej metody, będące wynikiem zdarzenia drogowego skrócenie nadwozia samochodu przebiega liniowo. Jak równocześnie wiadomo nie jest to prawdą. Jest tak tylko na odcinkach rzędu kilkudziesięciu centymetrów przodu nadwozi. Następnie spada odporność załamanych podłużnic i szkieletu nadwozia, a znaczącą rolę odgrywa nieodkształcalny zespół napędowy wgniatający przegrodę czołową i klatkę pasażerską. Stąd można wnioskować, że przy znacznych deformacjach współczynniki sztywnościowe użyte w metodzie CRASH3 powinny być inne od tych, jakie są wyliczane na podstawie płaskiego uderzenia ze standardową prędkością. Należy również pamiętać, że współczesne konstrukcje pojazdów wykonane z nowoczesnych materiałów w postaci stali, lekkich materiałów, czy wytrzymałych kompozytowych materiałów wzmacniających nadwozia, będą miały znaczący wpływ na odporność na deformację[8].

Pomocne w procesie rekonstrukcyjnym zdarzenia drogowego mogą okazać się wyniki testów zderzeniowych opracowane i udostępnione przez Amerykański Urząd ds. Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (NHTSA) [11]. Jednym z rodzajów przeprowadzonych testów są testy w ukośnej konfiguracji z niepełnym pokryciem. Wózek badawczy o masie 2486 kg uderza z prędkością 90 km/h w stojący samochód pod kątem 15° oraz z pokryciem 35%. Z przodu wózka znajduje się odkształcalny aluminiowy „plaster miodu”. Składa się on z dwóch warstw, każda o grubości 30 cm. Ich wytrzymałość na ściskanie wynosi odpowiednio 0,74 MPa i 1,71 MPa. W udostępnianych raportach podawany jest parametr ΔV (ang. *total change of velocity*), będący skokową zmianą prędkości na kierunku działania impulsu siły uderzenia. W anglosaskiej praktyce to właśnie ten parametr decyduje o ciężkości wypadków drogowych. Wyznaczony parametr ΔV umożliwia obliczenie energii zaabsorbowanej na odkształcenia plastyczne jako sumaryczną pracę deformacji. Zaabsorbowana energia dotyczy pracy sił deformacji "plastra miodu" i nadwozia samochodu. Parametr ΔV można pozyskać jako daną z rejestratorów wypadków EDR (ang. Event Data Recorder), tzw. „czarnych skrzynek” [1].

Należy zauważyć, że w praktyce zderzenia offsetowe występują znacznie częściej niż czołowe z pełnym pokryciem. Jak wskazano w [7], współczynniki sztywnościowe obliczone zgodnie z zasadami CRASH3 [5] różnią się od tych obliczonych na podstawie offsetowego testu. Dlatego też niezwykle istotnym wydaje się zwrócenie na ten fakt uwagi wszystkich osób korzystających z metod energetycznych w trakcie przeprowadzania procesu rekonstrukcyjnego zdarzenia drogowego.

2. Sposób postępowania w trakcie analiz testów zderzeniowych pod kątem wyznaczania energochłonności samochodów

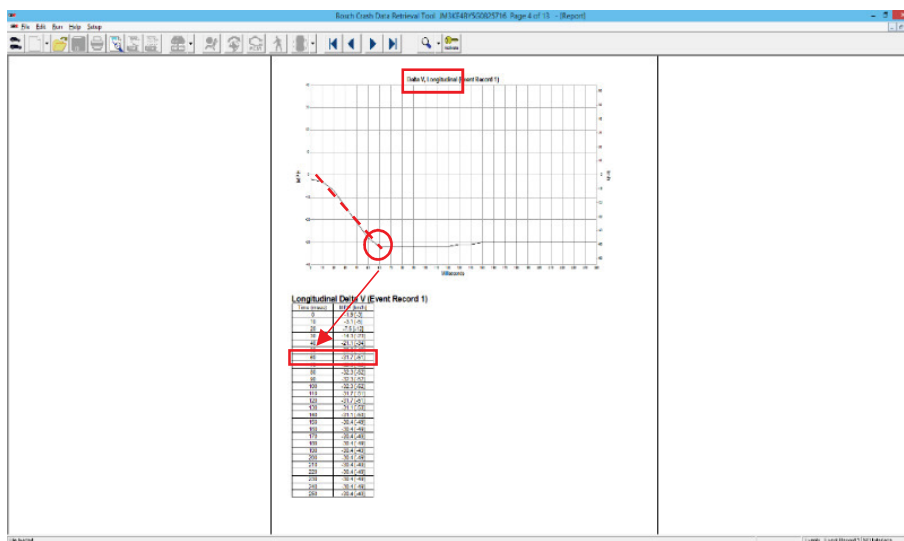
Przeprowadzone badania miały na celu analizę energochłonności wybranych samochodów osobowych, bazując m.in. na danych pochodzących z EDR zarejestrowanych podczas przeprowadzonych testów zderzeniowych. Wykorzystane raporty z danymi zostały udostępnione przez NHTSA. Do badań wybrano 35% zderzenie offsetowe pokazane na rysunku 1.



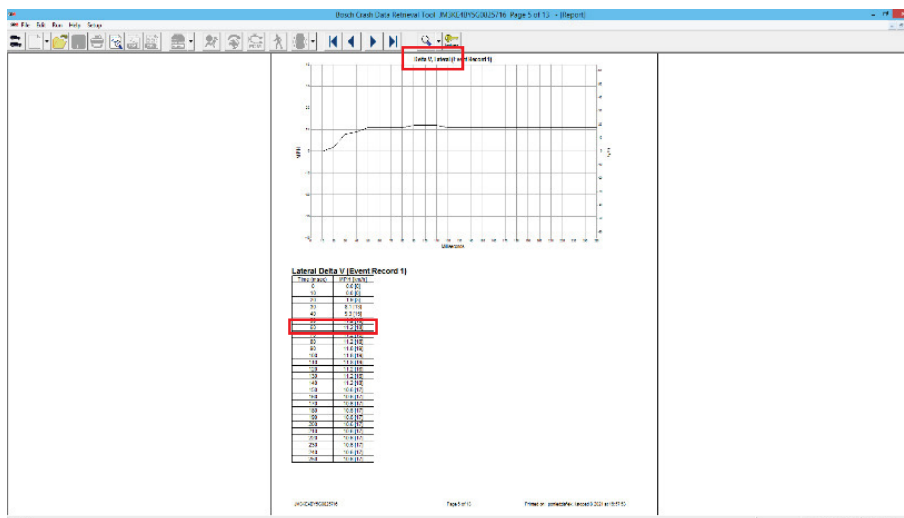
Rysunek 1. Wybrany do analiz test NHTSA [11]

Na podstawie danych z EDR (rys. 2 i 3) wyznaczono parametr ΔV_i samochodu na kierunku działania impulsu:

$$(\Delta V_x)^2 + (\Delta V_y)^2 = (\Delta V_i)^2 \quad (1)$$

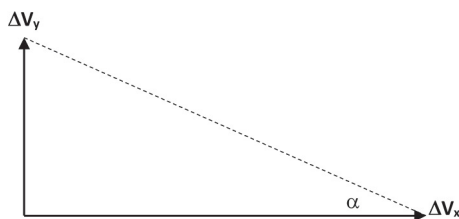


Rysunek 2. ΔV_x na kierunku wzdłużnym = 51 [km/h]



Rysunek 3. ΔV_y na kierunku poprzecznym = 18 [km/h]

Następnie wyznaczono kąt działania impulsu siły zgodnie z rysunkiem 4.

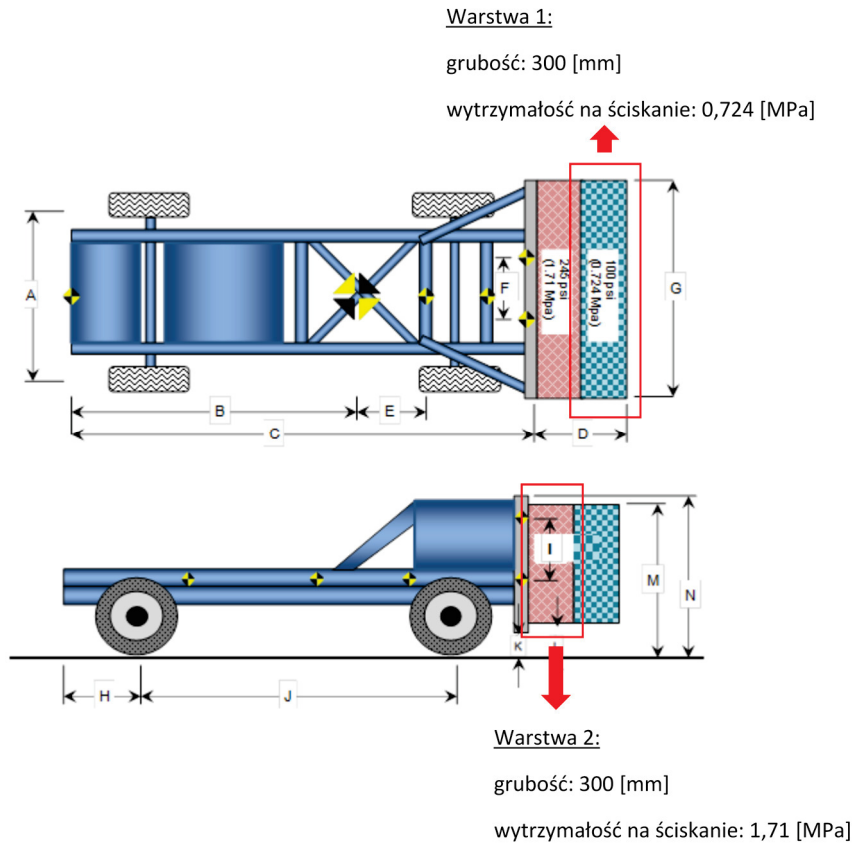


Rysunek 4. Kierunek działania impulsu siły

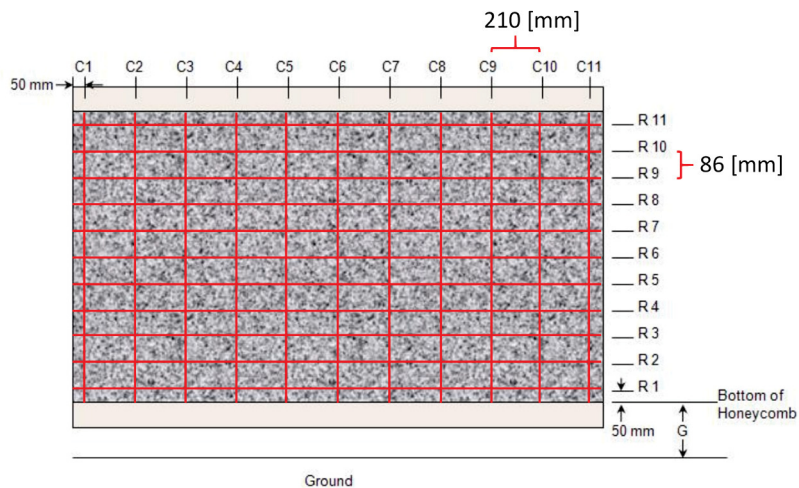
Z raportu NHTSA wyznaczono przestrzenne odkształcenie „plastra miodu” MDB, umieszczonego z przodu sztywnego wózka uderzającej w stojący samochód (rys. 5 i 6). Do wyznaczenia odkształcenia całej powierzchni „plastra miodu” MDB, wyznaczono odkształcenia występujące w jego poszczególnych częściach pokazanych na rysunku jako siatka. Po stworzeniu przestrzennej siatki deformacji MDB, obliczono energię straconą na deformację E_{dMDB} . Wzięto przy tym pod uwagę uszkodzenia obu warstw składowych deformowanego elementu. Następnie obliczono moment bezwładności wózka badawczego oraz uderzanego samochodu (I_1), korzystając z zależności:

$$I_2 = 0,1269 \cdot \text{rozstaw osi wózka} \cdot \text{całkowita długość wózka} \cdot \text{masa wózka} \quad (2)$$

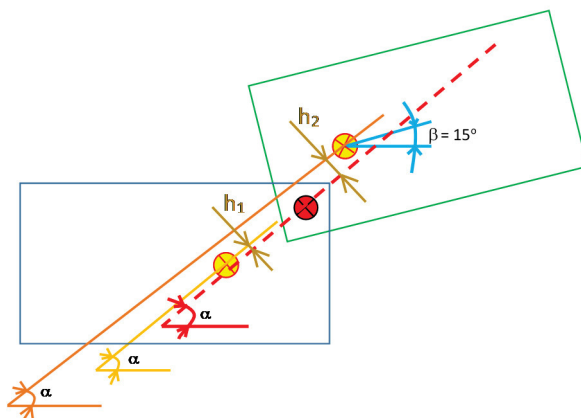
Kolejnym krokiem było narysowanie szkicu obrazującego chwilę kompresji zderzenia wózka z samochodem (rys. 7). Na podstawie pozyskanych danych stworzono wykres przedstawiający zarys sylwetki samochodu wraz z występującym uszkodzeniem. W środku wspólnej strefy uszkodzenia przyjęto punkt przyłożenia impulsu siły uderzenia wózka w samochód. Na bazie stworzonego szkicu wyznaczono ramiona impulsu siły uderzenia h_1 i h_2 .



Rysunek 5. Uderzający wózek



Rysunek 6. „Plaster miodu” MDB



Rysunek 7. Szkic z chwili uderzenia wózka w samochód

Wyznaczone parametry pozwoliły na obliczenie sumarycznej energii straconej zderzenia E_{sk} w końcowej fazie kompresji według wzoru:

$$E_{sk} = \frac{(\Delta V_1)^2 \cdot m_1 \cdot \left(\frac{\frac{I_1}{m_1}}{1 + \frac{\frac{I_2}{m_2}}{\frac{I_1}{m_1} + (h_1)^2}} \right)}{2 \cdot \frac{\frac{I_1}{m_1}}{\frac{I_1}{m_1} + (h_1)^2}}$$

Tak obliczona wartość nie uwzględnia fazy restytucji, w której odzyskuje się część energii. Współczynnik restytucji dla tego typu zderzeń przyjęto na podstawie wyników wielu badań na 0,07. Stąd skorygowana energia stracona w zderzeniu jest obliczona według wzoru:

$$E_s = 0,93\% \cdot E_{sk} \quad (4)$$

Na podstawie wykonanych obliczeń wyznaczono pracę sił deformacji samochodu W_{def} . Jest ona równa energii straconej w trakcie zderzenia E_s pomniejszonej o całkowitą energię deformacji „plastra miodu” E_{dMDB} .

$$W_{def} = E_s - E_{dMDB} \quad (5)$$

Na kolejnym etapie, bazując na wyliczonej energii deformacji samochodu W_{def} obliczono jego wskaźnik EES (*Energy Equivalent Speed*):

$$(EES)^2 = (2 \cdot W_{def}) : m_1 \quad (6)$$

3. Wyniki badań

3.1. Toyota Highlander SUV 2015

Parametry pojazdu:

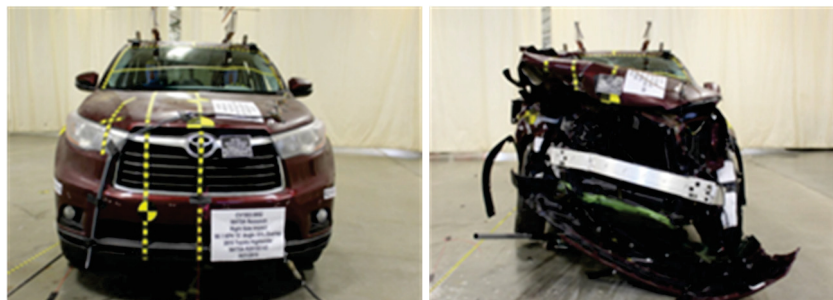
- rozstaw osi samochodu: 2793 [mm],
- całkowita długość samochodu: 4856 [mm],
- masa samochodu: 2317 [kg],
- moment bezwładności: 3987,84 [kg·m²].

Parametry wózka badawczego:

- grubość „plastra miodu” – część zewnętrzna: 300 [mm],
- grubość „plastra miodu” – część wewnętrzna: 305 [mm],
- wysokość „plastra miodu”: 947 [mm],
- szerokość „plastra miodu”: 2205 [mm],
- rozstaw osi: 2589 [mm],
- całkowita długość: 4598 [mm],
- masa: 2519 [kg],
- moment bezwładności: 3805,32 [kg·m²].

Parametry ze zderzenia:

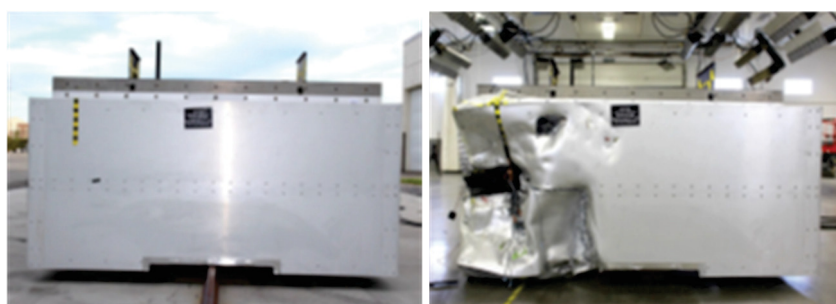
- ΔV_I pojazdu na kierunku wzdłużnym: 41,4 [km/h],
- ΔV_I pojazdu na kierunku poprzecznym: 10 [km/h],
- wypadkowa ΔV_I : 11,83 [m/s],
- kąt działania impulsu siły uderzenia: 0,24 [rad],
- ramię impulsu siły uderzenia – samochód: 0,062 [m],
- ramię impulsu siły uderzenia – wózek: 0,962 [m],
- sumaryczna energia stracona w zderzeniu E_{sk} : 403106,64 [J],
- energia stracona w zderzeniu po uwzględnieniu restytucji E_s : 374889,17 [J],
- energia deformacji elementu E_{dMDB} : 109092,11 [J],
- praca deformacji nadwozi W_{def} : 265797,07 [J],
- wskaźnik EES : 54,5 [km/h],
- średnia głębokość odkształcenia pojazdu: C_{AV} : 0,31 [m].



Rysunek 8. Obiekt badań – widok z przodu [11]



Rysunek 9. Obiekt badań – widok z boku [11]



Rysunek 10. Wózek badawczy – „plaster miodu” [11]

Tabela 1. Głębokość odkształcenia „plastra miodu” [mm]

Wysokość plastra miodu	Szerokość plastra miodu											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	[mm]	200	401	601	802	1002	1203	1403	1604	1804	2005	2205
10	947	67	62	27	100	70	1	1	0	0	0	0
9	852	162	150	172	110	112	1	1	0	0	0	0
8	758	322	264	240	70	150	1	1	0	0	0	0
7	663	270	247	210	80	80	1	1	0	0	0	0
6	568	435	351	216	40	69	1	1	0	0	0	0
5	474	405	401	375	210	30	1	1	0	0	0	0
4	379	250	246	107	30	2	1	1	0	0	0	0
3	284	208	206	90	30	2	1	1	0	0	0	0
2	189	145	138	116	80	2	1	1	0	0	0	0
1	95	44	44	23	7	2	1	1	0	0	0	0

3.2. Toyota Prius 2016

Parametry pojazdu:

- rozstaw osi samochodu: 2699 [mm],
- całkowita długość samochodu: 4534 [mm],
- masa samochodu: 1622 [kg],
- moment bezwładności: 2518,82 [kg·m²].

Parametry wózka:

- grubość „plastra miodu” – część zewnętrzna: 300 [mm],
- grubość „plastra miodu” – część wewnętrzna: 305 [mm],
- wysokość „plastra miodu”: 947 [mm],
- szerokość „plastra miodu”: 2205 [mm],
- rozstaw osi: 2589 [mm],
- całkowita długość: 4598 [mm],
- masa: 2536 [kg],
- moment bezwładności: 3830,99 [kg·m²].

Parametry ze zderzenia:

- ΔV_l pojazdu na kierunku wzdłużnym: 54,1 [km/g],
- ΔV_l pojazdu na kierunku poprzecznym: 10 [km/g],
- wypadkowa ΔV_l : 15,28 [m/s],
- kąt działania impulsu siły uderzenia: 0,18 [rad],
- ramię impulsu siły uderzenia – samochód: 0,056 [m],
- ramię impulsu siły uderzenia – wózek: 1,064 [m],
- sumaryczna energia stracona w zderzeniu E_{sk} : 401728,26 [J],
- energia stracona w zderzeniu po uwzględnieniu restytucji E_s : 373607,29 [J],
- energia deformacji elementu E_{dMDB} : 66615,62 [J],
- praca deformacji nadwozi W_{def} : 306991,67 [J],
- wskaźnik EES : 70,04 [km/h],
- średnia głębokość odkształcenia pojazdu C_{AV} : 0,28 [m].



Rysunek 11. Obiekt badań – widok z przodu [11]



Rysunek 12. Obiekt badań – widok z boku [11]



Rysunek 13. Wózek badawczy – „plaster miodu” [11]

Tabela 2. Głębokość odkształcenia „plastra miodu” [mm]

Wysokość plastra miodu	Szerokość plastra miodu											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	[mm]	200	401	601	802	1002	1203	1403	1604	1804	2005	2205
10	947	0	0	0	0	0	13	25	40	0	0	0
9	852	0	0	0	0	0	0	150	40	117	165	215
8	758	0	0	0	0	0	0	160	40	200	210	240
7	663	0	0	0	0	0	0	130	150	273	225	270
6	568	0	0	0	0	0	0	52	200	270	185	250
5	474	0	0	0	0	0	0	7	103	165	150	174
4	379	0	0	0	0	0	0	27	70	100	83	122
3	284	0	0	0	0	0	0	5	50	10	20	75
2	189	0	0	0	0	0	0	10	20	5	5	37
1	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3. Toyota Scion IA 2016

Parametry pojazdu:

- rozstaw osi samochodu: 2565 [mm],
- całkowita długość samochodu: 4362 [mm],
- masa samochodu: 1333 [kg],

- moment bezwładności: 2892,63 [kg·m²].

Parametry wózka:

- grubość „plastra miodu” – część zewnętrzna: 300 [mm],
- grubość „plastra miodu” – część wewnętrzna: 305 [mm],
- wysokość „plastra miodu”: 947 [mm],
- szerokość „plastra miodu”: 2205 [mm],
- rozstaw osi: 2589 [mm],
- całkowita długość: 4598 [mm],
- masa: 2536 [kg],
- moment bezwładności: 3830,99 [kg·m²].

Parametry ze zderzenia:

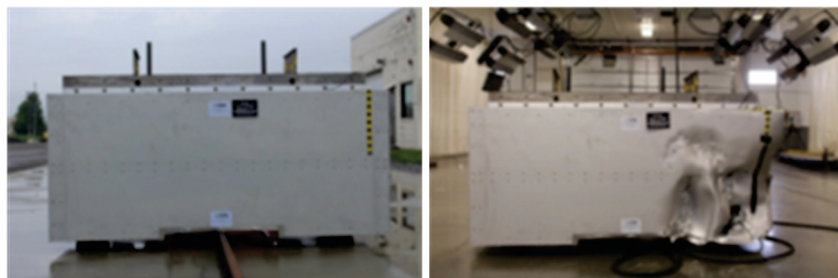
- ΔV_I pojazdu na kierunku wzdłużnym: 56 [km/g],
- ΔV_I pojazdu na kierunku poprzecznym: 20 [km/g],
- wypadkowa ΔV_I : 16,52 [m/s],
- kąt działania impulsu siły uderzenia: 0,34 [rad],
- ramię impulsu siły uderzenia – samochód: 0,156 [m],
- ramię impulsu siły uderzenia – wózek: 0,737 [m],
- sumaryczna energia stracona w zderzeniu E_{sk} : 314918,95 [J],
- energia stracona w zderzeniu po uwzględnieniu restytucji E_s : 292874,63 [J],
- energia deformacji elementu E_{dMDB} : 50146,83 [J],
- praca deformacji nadwozi W_{def} : 242727,79 [J],
- wskaźnik EES : 68,70 [km/h],
- średnia głębokość odkształcenia pojazdu C_{AV} : 0,29 [m].



Rysunek 14. Obiekt badań – widok z przodu [11]



Rysunek 15. Obiekt badań – widok z boku [11]



Rysunek 16. Wózek badawczy – „plaster miodu” [11]

Tabela 3. Głębokość odkształcenia „plastra miodu” [mm]

		Szerokość plastra miodu											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
[mm]		200	401	601	802	1002	1203	1403	1604	1804	2005	2205	
Wysokość plastra miodu	10	947	0	0	0	0	0	0	40	87	20	17	20
	9	852	0	0	0	0	0	0	30	120	200	200	215
	8	758	0	0	0	0	0	0	30	100	110	218	237
	7	663	0	0	0	0	0	0	25	63	160	180	265
	6	568	0	0	0	0	0	0	0	26	180	200	270
	5	474	0	0	0	0	0	0	0	0	30	80	194
	4	379	0	0	0	0	0	0	1	24	18	47	137
	3	284	0	0	0	0	0	0	0	23	1	5	56
	2	189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23
	1	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3

3.4. Chevrolet Malibu

Parametry pojazdu:

- rozstaw osi samochodu: 2735 [mm],
- całkowita długość samochodu: 4871 [mm],
- masa samochodu: 1836 [kg],
- moment bezwładności: 3103,91 [kg·m²].

Parametry wózka:

- grubość „plastra miodu” – część zewnętrzna: 300 [mm],
- grubość „plastra miodu” – część wewnętrzna: 300 [mm],
- wysokość „plastra miodu”: 947 [mm],
- szerokość „plastra miodu”: 2205 [mm],
- rozstaw osi: 2589 [mm],
- całkowita długość: 4593 [mm],
- masa: 2519 [kg],
- moment bezwładności: 3801,18 [kg·m²].

Parametry ze zderzenia:

- ΔV_I pojazdu na kierunku wzdłużnym: 51 [km/g],
- ΔV_I pojazdu na kierunku poprzecznym: 22 [km/g],
- wypadkowa ΔV_I : 16,52 [m/s],
- kąt działania impulsu siły uderzenia: 0,41 [rad],
- ramię impulsu siły uderzenia – samochód: 0,356 [m],
- ramię impulsu siły uderzenia – wózek: 0,624 [m],
- sumaryczna energia stracona w zderzeniu E_{sk} : 435205 [J],
- energia stracona w zderzeniu po uwzględnieniu restytucji E_s : 404741 [J],
- energia deformacji elementu E_{dMDB} : 70447 [J],
- praca deformacji nadwozi W_{def} : 334294 [J],
- wskaźnik EES : 68,70 [km/h],
- średnia głębokość odkształcenia pojazdu C_{AV} : 0,236 [m].



Rysunek 17. Obiekt badań – widok z przodu [11]



Rysunek 18. Obiekt badań – widok z boku [11]



Rysunek 19. Wózek badawczy – „plaster miodu” [11]

Tabela 4. Głębokość odkształcenia „plastra miodu” [mm]

Wysokość plastra miodu	Szerokość plastra miodu											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	[mm]	200	401	601	802	1002	1203	1403	1604	1804	2005	2205
10	947	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4	1	2,5
9	852	0	0	0	0	0	0	0	0,74	7,04	2,06	20,84
8	758	0	0	0	0	0	0	30	35,81	14,85	12,58	45,99
7	663	0	0	0	0	0	0	59,65	50,11	66,59	64,27	73,61
6	568	0	0	0	0	0	0	0	66,65	92,88	108,63	100,97
5	474	0	0	0	0	0	0	44,18	58,3	245,42	337,9	280,8
4	379	0	0	0	0	0	0	135,65	14,95	251,72	323,12	276,34
3	284	0	0	0	0	0	0	164,87	3,75	191,03	193,63	214,04
2	189	0	0	0	0	0	0	150,03	3,73	222,5	269,67	231,96
1	95	0	0	0	0	0	0	79,77	19,95	181,78	244,73	225,48

4. Podsumowanie

W trakcie analizy kolizji i wypadków drogowych konieczne jest ustalenie związków występujących pomiędzy prędkościami pojazdów, właściwościami sprężystymi i wytrzymałościowymi pojazdów, ruchem pozderzeniowym obiektów, a widocznymi skutkami. Staramy się przy tym pominąć dowody niepewne i wątpliwe, a jak najszerszej wykorzystujemy dowody materialne. Do tej grupy niewątpliwie należą trwałe odkształcenia nadwozi pojazdów uczestniczących w zdarzeniu drogowym. Należy mieć jednak świadomość, że w zależności od wybranej metody obliczeniowej, uzyskiwane wyniki mogą się różnić. Warto tutaj pamiętać o ograniczeniach i założeniach jakie mają poszczególne metody. W niniejszym artykule przedstawiono obliczenia bazujące na trwałych odkształceniach samochodów. Obiektem badań były 4 samochody osobowe. W badaniach wykorzystano m.in. dane zarejestrowane przez EDR w trakcie testów zderzeniowych przeprowadzonych i udostępnionych przez amerykańską organizację NHTSA. Wszystkie analizowane testy bazowały na zderzeniach ukośnych z 35% pokryciem. Uzyskane wyniki potwierdzają tezę o konieczności zwrócenia szczególnej uwagi na dobór wykorzystywanej metody obliczeń straconej energii i parametrów EES dla konkretnego analizowanego przypadku deformacji.

LITERATURA

1. BARBAT S., XIAOWEI L.: NHTSA proposed frontal oblique impact test protocol analyses and evaluation. *SAE International Journal of Transportation Safety*, 5(2)(2017), 217-226.
2. BURG H., MOSER A.: *Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation*. Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.
3. DIUPERO T., PAWELEC K.: *Rekonstrukcja wypadku i zdarzenia drogowego*. Wolters Kluwer, 2006.
4. KONCZYKOWSKI W.: *Odtwarzanie i analiza przebiegu wypadku drogowego*. Info-Ekspert, Warszawa 1993.
5. MCHENRY B.G. *The algorithms of CRASH*. McHenry Software Inc., 2001.
6. PROCHOWSKI L., UNARSKI J., WACH W.: *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych. Pojazdy samochodowe*. WKŁ, Warszawa 2014.
7. OWSIAŃSKI R.: Obliczanie EES dla zderzeń samochodów z dużymi prędkościami na podstawie danych z testów i parametrów odczytanych z EDR. *Paragraf na drodze*, 1(2021), 55-66.
8. WICHER J.: *Pojazdy samochodowe. Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. WKŁ, Warszawa 2012.
9. WIERCIŃSKI J. (red.): *Wypadki drogowy – elementy analizy i technika opiniowania*. WKŁ, Warszawa 1985.
10. WIERCIŃSKI J., REZA A. (red.): *Wypadki drogowy. Vademecum biegłego sądowego*. IES, Kraków 2002.
11. Testy opracowane i udostępnione przez NHTSA.

Badania zrealizowano w ramach projektu „Politechnika Śląska jako Centrum Nowoczesnego Kształcenia opartego o badania i innowacje POWR-03.05.00-00-Z098/17-00”.

