



**Krzysztof  
Wach**

## Teoretyczna analiza wpływu systemu aktywnej pokrywy komory silnika na obliczenia prędkości kolizyjnej samochodu, który potrącił pieszego

### Streszczenie

Celem pracy była analiza wpływu systemu aktywnej pokrywy komory silnika na obliczenia prędkości kolizyjnej samochodu, który potrącił pieszego. Jednym z coraz częściej stosowanych tego typu systemów jest tak zwana aktywna pokrywa komory silnika (ang. *Active Hood, Pop-up Bonnet*). Po wykryciu kontaktu przedniej części nadwozia z pieszym, sterownik systemu generuje sygnał inicjujący uniesienie pokrywy, najczęściej jej tylnej części. Działanie to zapewnia zwiększenie dystansu pomiędzy pokrywą a twardymi elementami znajdującymi się w komorze silnika, redukując obrażenia pieszego (zwłaszcza głowy). Zmiana położenia pokrywy w trakcie zderzenia może mieć wpływ na wartość zmierzonego na samochodzie zasięgu wrzucenia oraz rozwinięcia pieszego, czyli wielkości wykorzystywanych do szacowania prędkości kolizyjnej samochodu. W artykule dokonano teoretycznej analizy wpływu zadziałania systemu na wartość przyrostu rozwinięcia pieszego, a w konsekwencji na szacowaną wartość minimalnej prędkości uderzenia. Uzyskane wyniki wskazują, iż w niektórych przypadkach uniesienie pokrywy komory silnika może nieznacznie wpływać na szacowaną wartość prędkości kolizyjnej, nie powinno to mieć jednak istotnego wpływu na rezultaty prowadzonej analizy.

### Słowa kluczowe

Aktywna pokrywa komory silnika, potrącenie, prędkość kolizyjna, przyrost rozwinięcia.

Otrzymano 27 czerwca 2022 r., zatwierdzono do druku 1 października 2022 r.

DOI: 10.4467/15053520PnD.22.011.16960

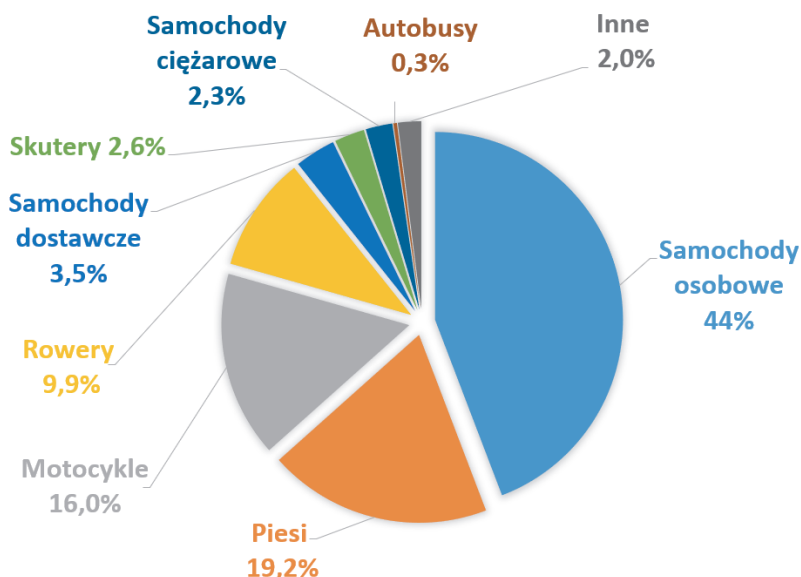
### 1. Wstęp

Piesi stanowią ponad 19% wszystkich ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w Europie (ryc. 1) [6]. W Polsce w roku 2021 odnotowano 4755 potrąceń,

---

Dr inż. Krzysztof Wach, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, ORCID: 0000-0002-8914-1496.

w których śmierć poniosły 572 osoby, a 4304 zostały ranne. Stanowi to 23,5% wszystkich ofiar śmiertelnych wypadków oraz 16,3% rannych [11].



Ryc. 1. Ofiary śmiertelne wypadków drogowych w roku 2020 w Europie w zależności od rodzaju pojazdu [6].

Współczesne samochody wyposażane są w szereg rozwiązań oraz systemów, których zadaniem jest ochrona pieszych. Rozwiązania te dotyczą zarówno bezpieczeństwa czynnego (np. system autonomicznego hamowania), jak i bezpieczeństwa biernego (odpowiednia konstrukcja przedniej części nadwozia, aktywna pokrywa komory silnika, zewnętrzne poduszki gazowe [3]). W zakresie bezpiecznej konstrukcji przedniej części nadwozia stosowane są takie rozwiązania jak absorbujące energię uderzenia zderzaki, zawiasy pokrywy komory silnika, mocowania wycieraczek i błotników. Mocowania reflektorów projektowane są w taki sposób, aby doszło do ich zerwania pod wpływem odpowiednio dużej siły [4], [9].

## 2. System aktywnej pokrywy komory silnika

Zadaniem systemu aktywnej pokrywy komory silnika (ang. *Active Hood Lift System*, AHLS) jest redukcja ryzyka wystąpienia poważnych obrażeń głowy pieszego powstałych na skutek kontaktu z przednią częścią nadwozia samochodu. Odbywa się to poprzez uniesienie tylnej części pokrywy komory silnika na wysokość od kilku do kilkunastu centymetrów. Dzięki temu powstaje dodatkowa przestrzeń pomiędzy pokrywą, a twardymi elementami znajdującymi się w komorze silnika, co skutkuje obniżeniem wartości przyspieszenia działającego na głowę pieszego,

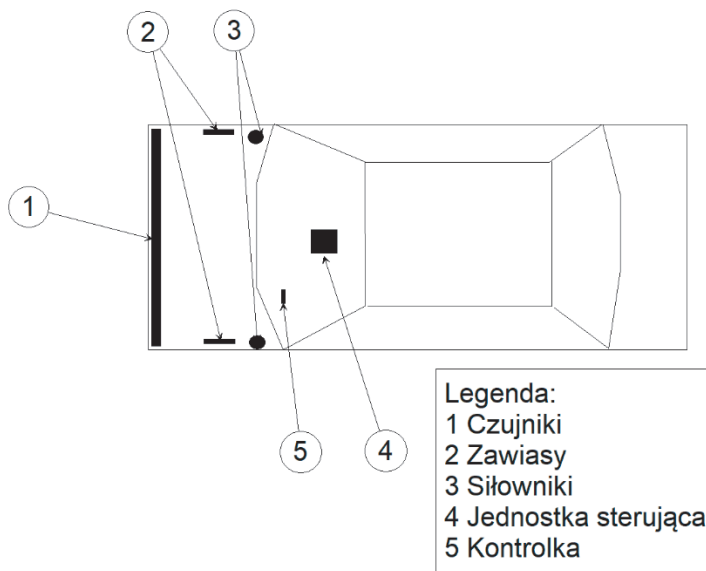
a tym samym wyznaczanego na jego podstawie kryterium obrażeń głowy *HIC* (*Head Injury Criterion*, wzór (1)) [2].

$$HIC = \max\left\{\left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt\right]^{2,5} \cdot (t_2 - t_1)\right\} \quad (1)$$

gdzie:

- $a(t)$  [g] – przyspieszenie (opóźnienie) głowy,
- $t_1$  [s] – początkowa chwila kontaktu głowy z przeszkodą,
- $t_2$  [s] – końcowa chwila kontaktu głowy z przeszkodą.

System składa się z umieszczonych w zderzaku czujników, których zadaniem jest wykrycie kontaktu z kończynami dolnymi pieszego, sterownika, mechanizmów unoszących pokrywę komory silnika oraz zawiasów o specjalnej konstrukcji [7], [8]. W niektórych przypadkach sterownik korzysta również z danych pochodzących z czujników typu radar, czy lidar. Ogólny schemat rozmieszczenia elementów wspomnianego systemu w pojeździe został pokazany na ryc. 2.



Ryc. 2. Ogólny schemat rozmieszczenia elementów systemu aktywnej pokrywy komory silnika w pojeździe.

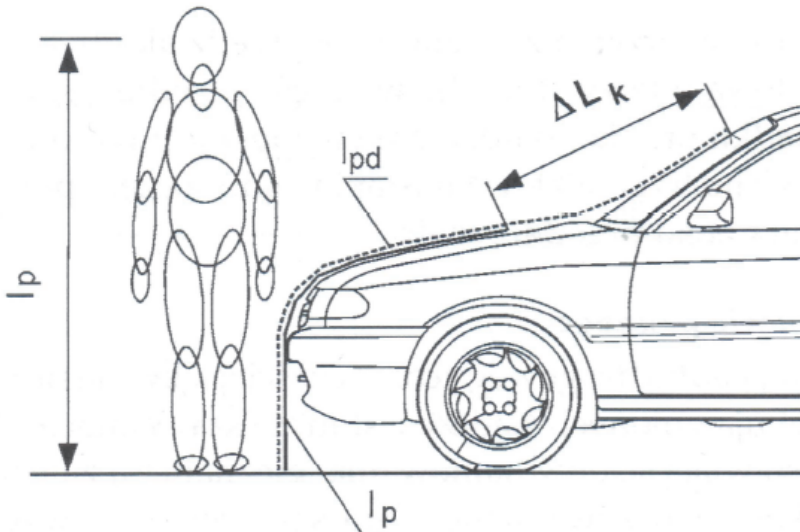
W omawianym systemie stosowane są różnego typu czujniki, najczęściej przyspieszenia, ciśnienia, światłowodowe lub pojemnościowe [1]. Mechanizmy odpowiedzialne za uniesienie pokrywy komory silnika, w zdecydowanej większości rozwiązań, oparte są na siłownikach pirotechnicznych. Istnieją jednak również rozwiązania mechaniczne, wykorzystujące energię sprężyn śrubowych.

Wysokość, na jaką podnoszona jest pokrywa oraz zakres prędkości, w jakich system ma zadziałać, różnią się pomiędzy pojazdami. Uzależnione jest to, w głównej mierze, od odległości pomiędzy twardymi elementami w komorze silnika a pokrywą w położeniu nominalnym. Zakres prędkości zadziałania systemu znajduje się w przedziale od około 20 km/h do około 50 km/h, natomiast wysokość, na jaką podnoszona jest tylna część pokrywy, to około od 50 mm do 150 mm.

### 3. Teoretyczna analiza wpływu aktywnej pokrywy komory silnika na szacowaną wartość prędkości kolizyjnej

Uniesienie pokrywy komory silnika może mieć wpływ na położenie punktu, w którym głowa uderza o nadwozie pojazdu, a w konsekwencji na wielkości takie jak: rozwinięcie pieszego [5], zasięg wrzucenia czy przyrost rozwinięcia. W niniejszym rozdziale przeprowadzona została teoretyczna analiza wpływu podniesienia pokrywy komory silnika na wartość przyrostu rozwinięcia oraz na szacowaną na jego podstawie minimalną prędkość kolizyjną.

Przyrost rozwinięcia  $\Delta L_k$  definiowany jest jako różnica rzeczywistego rozwinięcia  $l'_{pd}$  i odległości środka głowy pieszego od podłoża  $l_p$  (ryc. 3, wzory (2)–(4)) [10].



Ryc. 3. Definicja przyrostu rozwinięcia pieszego [10].

$$\Delta L_k = l'_{pd} - l_p \quad (2)$$

$$l'_{pd} = l_{pd} - \Delta h_s \quad (3)$$

$$l_p = h_p - \Delta h_p - r_p \quad (4)$$

gdzie:

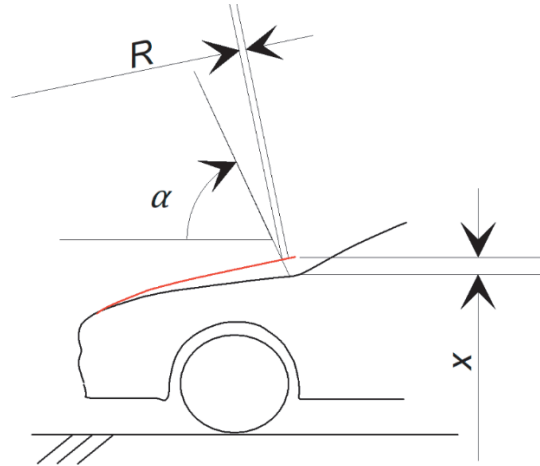
- $\Delta L_k$  – przyrost rozwinięcia,
- $l'_{pd}$  – rzeczywiste rozwinięcie,
- $l_p$  – odległość od podłoża do środka głowy pieszego,
- $l_{pd}$  – rozwinięcie mierzone na samochodzie,
- $\Delta h_s$  – obniżenie przodu samochodu wywołane odkształceniem elementów zawieszenia,
- $h_p$  – wzrost pieszego,
- $\Delta h_p$  – zmiana wysokości pieszego uzależniona od charakteru ruchu,
- $r_p$  – promień głowy pieszego.

Obliczenia zostały wykonane dla osoby dorosłej oraz dziecka, w każdym z przypadków uwzględniono różne typy poruszania się (normalny krok, szybki krok oraz bieg). Wartości przyjęte w obliczeniach, zostały zestawione w tabeli 1.

*Tabela 1. Zestawienie wartości przyjętych w obliczeniach.*

$l_{pd}$	200 cm
$\Delta h_s$	5 cm
$h_p$	175 cm – osoba dorosła 150 cm – dziecko
$r_p$	10 cm
$\Delta h_p$	3 cm – normalny krok 5 cm – szybki krok 10 cm – bieg

Analizę przeprowadzono dla trzech różnych wysokości uniesienia pokrywy komory silnika  $x$ . Przyjęte wysokości to odpowiednio: 8 cm, 10 cm i 15 cm. Założono kąt uderzenia głowy o nadwozie  $\alpha$  równy  $65^\circ$  dla osoby dorosłej oraz  $50^\circ$  dla dziecka. Przyjmując wartość rozwinięcia mierzonego na samochodzie dla standardowej (STD) pokrywy komory silnika  $l'_{pd} = 200$  cm (patrz tabela 1), a następnie korzystając z prostych zależności trygonometrycznych, oszacowano wartości różnic  $R$  pomiędzy rozwinięciem zmierzonym na samochodzie wyposażonym w system aktywnej pokrywy komory silnika i bez tego systemu. Omawiane wielkości zdefiniowane zostały na rycinie 4.



Ryc. 4. Wielkości przyjęte w obliczeniach:  $x$  – założona wysokość, na jaką uniesiona została pokrywa komory silnika,  $\alpha$  – kąt uderzenia głowy pieszego,  $R$  – różnica pomiędzy rozwinięciem zmierzonym na samochodzie dla standardowego położenia pokrywy komory silnika oraz dla przypadku jej podniesienia na wysokość  $x$ .

W tabeli 2 zestawiono obliczone wartości różnic  $R$  przy uwzględnieniu trzech różnych wysokości podniesienia pokrywy komory silnika  $\alpha$ .

Tabela 2. Obliczone wartości różnic  $R$ .

	Dorosły	Dziecko
$\alpha$	65°	50°
$R$ (dla $x = 8$ cm)	3 cm	6 cm
$R$ (dla $x = 10$ cm)	4 cm	7 cm
$R$ (dla $x = 15$ cm)	6 cm	10 cm

Uwzględniając zestawione wyżej różnice  $R$ , na podstawie wzorów (2)–(4), wyznaczone zostały wartości przyrostu rozwinięcia  $\Delta L_k$  dla każdego z rozważanych przypadków. Następnie, korzystając ze znanych z literatury zależności (wzory (5) i (6)), oszacowano minimalne prędkości kolizyjne. Obliczenia wykonano dla nadwozia trapezowego i pontonowego [10]:

$$V_k = \frac{\Delta L_k + 27,0}{1,8251} \quad (\text{nadwozie trapezowe}) \quad (5)$$

$$V_k = \frac{\Delta L_k + 43,75}{1,908} \quad (\text{nadwozie pontonowe}) \quad (6)$$

gdzie:

- $\Delta L_k$  – przyrost rozwinięcia [cm],
- $V_k$  – minimalna prędkość kolizyjna [km/h].

Największe różnice pomiędzy przyrostem rozwinięcia, a w konsekwencji pomiędzy szacowanymi wartościami minimalnej prędkości kolizyjnej, otrzymano dla pokrywy komory silnika uniesionej na wysokość  $x = 15$  cm. Wyniki uzyskane dla nadwozia pontonowego oraz trapezowego, dla tej wysokości, przedstawiono w tabelach 3 i 4. W tabeli 5 zestawiono natomiast wyniki uzyskane dla trzech rozważanych wysokości  $x$  oraz dwóch typów nadwozia.

Tabela 3. Wyniki obliczeń – nadwozie pontonowe.

Tempo ruchu	$\Delta L_k$ [cm]			$V_{k\ min}$ [cm]		
	STD	AHLS	Różnica	STD	AHLS	Różnica
<i>Dorośli</i>						
Normalne	33	27	-6	40	37	-3
Szybkie	35	29	-6	41	38	-3
Bieg	40	34	-6	43	40	-3
<i>Dzieci</i>						
Normalne	58	48	-10	53	48	-5
Szybkie	60	50	-10	54	49	-5
Bieg	65	55	-10	56	51	-5

Tabela 4. Wyniki obliczeń – nadwozie trapezowe.

Tempo ruchu	$\Delta L_k$ [cm]			$V_{k\ min}$ [cm]		
	STD	AHLS	Różnica	STD	AHLS	Różnica
<i>Dorośli</i>						
Normalne	33	27	-6	33	30	-3
Szybkie	35	29	-6	34	31	-3
Bieg	40	34	-6	37	33	-4
<i>Dzieci</i>						
Normalne	58	48	-10	47	41	-6
Szybkie	60	50	-10	48	42	-6
Bieg	65	55	-10	50	45	-5

Tabela 5. Różnice bezwzględne w [km/h] pomiędzy wartością minimalnej prędkości kolizyjnej otrzymaną dla standardowej oraz podniesionej pokrywy komory silnika.

Tempo ruchu	Nadwozie pontonowe			Nadwozie trapezowe		
	$x = 8$ cm	$x = 10$ cm	$x = 15$ cm	$x = 8$ cm	$x = 10$ cm	$x = 15$ cm
<i>Dorośli</i>						
Normalne	-2	-2	-3	-2	-2	-3
Szybkie	-2	-2	-3	-2	-2	-3
Bieg	-1	-2	-3	-2	-2	-4
<i>Dzieci</i>						
Normalne	-3	-4	-5	-4	-4	-6
Szybkie	-3	-4	-5	-4	-4	-6
Bieg	-3	-3	-5	-3	-3	-5

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzona w pracy analiza teoretyczna wskazuje, iż w przypadku zadziałania systemu AHLS, miejsce kontaktu głowy z nadwoziem może znajdować się kilka centymetrów bliżej przedniej części nadwozia, niż w przypadku tradycyjnej pokrywy komory silnika. W konsekwencji może zostać nieznacznie zaniżona, szacowana na podstawie dostępnych w literaturze zależności, minimalna prędkość kolizyjna. Wyliczone bezwzględne różnice w wartościach prędkości wyniosły maksymalnie 5–6 km/h, co w konsekwencji nie powinno mieć istotnego wpływu na wynik prowadzonych rozważań.

#### Bibliografia

- [1] Ames, E., Martin, P. (2015). *Pop-Up Hood Pedestrian Protection*. Materiały 24 Międzynarodowej Konferencji ESV. Pobrane z: <http://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/24/isv7/main.htm> (dostęp: 24.06.2022 r.).
- [2] Fredriksson, R., Håland, Y., Yang, J. (2001). *Evaluation of a new pedestrian head injury protection system with a sensor in the bumper and lifting of the bonnet's rear part*. Materiały 17 Międzynarodowej Konferencji ESV. Pobrane z: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv17/proceed/00089.pdf> (dostęp: 24.06.2022 r.).
- [3] Jakobsson, L., Broberg T., Karlsson, H., Fredriksson, A., Gråberg, N., Gullander, C., Lindman, M. (2013). *Pedestrian airbag technology – a production system*. Materiały 23 Międzynarodowej Konferencji ESV. Pobrane z: <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/23/files/23ESV-000447.pdf> (dostęp: 24.06.2022 r.).
- [4] Kerkeling, C., Schäfer, J., Thompson, G. M. (2005). *Structural hood and hinge concepts for pedestrian protection*. Materiały 19 Międzynarodowej Konferencji ESV. Pobrane z: <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/19/05-0304-W.pdf> (dostęp: 24.06.2022 r.).



- [5] Yuan, Q., Guo, R., Li, Y. (2017). Connecting impact speed with wrap-around distance of pedestrian-vehicle accidents. *Advances in Automotive Engineering*. Vol. 1, No. 1, 13-23. DOI:10.12989/aae.2017.1.1.013.
- [6] Dane Eurostat. Pobrane z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road\\_accident\\_fatalities\\_-\\_statistics\\_by\\_type\\_of\\_vehicle#of\\_persons\\_killed\\_were\\_passenger\\_car\\_occupants.2C\\_while\\_19.2\\_.25\\_were\\_pedestrians\\_in\\_2020](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_accident_fatalities_-_statistics_by_type_of_vehicle#of_persons_killed_were_passenger_car_occupants.2C_while_19.2_.25_were_pedestrians_in_2020) (dostęp: 21.06.2022 r.).
- [7] Materiał informacyjny firmy BOSCH. Pobrane z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/driving-safety/pedestrian-protection/> (dostęp: 24.06.2022 r.).
- [8] Materiały informacyjne firmy ITOPS Automotive. Pobrane z: [http://www.itops.co.kr/en/inc\\_html/sub2\\_1.html](http://www.itops.co.kr/en/inc_html/sub2_1.html) (dostęp: 24.06.2022 r.).
- [9] Materiały informacyjne firmy Nissan. Pobrane z: <https://www.nissan-global.com/EN/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/PPE/> (dostęp: 24.06.2022 r.).
- [10] Wierciński, J., Reza, A. (red.). (2011). *Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądownego*. Kraków: Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych.
- [11] Raport KG Policji *Wypadki drogowe w Polsce*. Pobrane z: <https://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,wypadki-drogowe-raporty-roczne.html> (dostęp: 21.06.2022 r.).

\* \* \*

## Theoretical analysis of the active hood system effect on the calculation of the impact speed of a car hitting a pedestrian

### Abstract

The aim of the work was an analysis of the currently used solutions that ensure pedestrian protection at the time of collision. Selected systems from the area of external passive safety of a car are presented. One of the increasingly used systems of this type is the so-called Active Hood (Pop-up Bonnet). As a result of detecting the contact of the front part of the car body with a pedestrian, the system controller generates a signal initiating the lifting of the engine cover (usually its rear part) upwards. This increases the distance between the bonnet and the hard components in the engine compartment, reducing the severity of injuries to pedestrians (especially the head). The change of the position of the engine cover during a crash may have an impact on the value of wrap around distance. This quantity is used to estimate the collision speed of the car. The article presents a theoretical analysis of the impact of the Active Hood safety system on the value of the pedestrian wrap around distance increment and, consequently, on the estimated value of the minimum impact velocity. The obtained results indicate that in some cases the lifting of the bonnet may have a slight influence on the estimated value of the collision velocity, however, this should not have significant influence on the results of the analysis.

### Key Words

Active Hood, pedestrian crash, impact speed, increase of wrap around distance.