

## MOŻLIWOŚCI OPTYMALIZACJI PRZEDNIEJ CZĘŚCI SAMOCHODU W KIERUNKU ZMNIĘSZENIA OBRAŹEŃ PIESZYCH

### Streszczenie

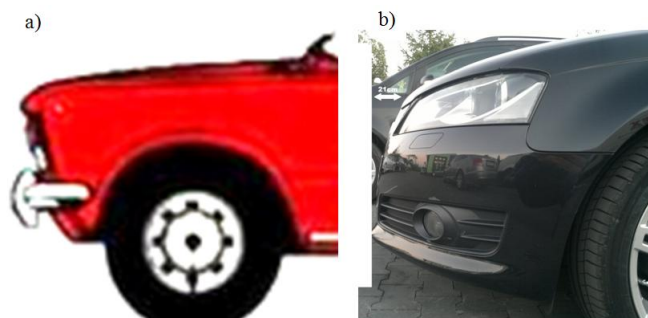
W artykule omówiony został problem możliwości ograniczenia obrażeń pieszych w kolizjach z pojazdami poprzez optymalizację zespołu zderzaka i przedniej pokrywy silnika.

### WSTĘP

Jak wynika ze statystyk na drogach UE w 2014 roku zginęło 25,7 tys. ludzi z tego ok. 22% to piesi. W Polsce w 2014 roku zginęło 3200 osób z tego ponad 1100 pieszych co stanowi ponad 34% ogółu. Wypadki z udziałem pieszych stanowią 26% wszystkich wypadków. Duże różnice parametrów fizycznych takich jak: masy, prędkości zderzeniowe oraz sztywności między człowiekiem a pojazdem - działające na niekorzyść człowieka wydają się uzasadniać bezcelowość wszelkich prób ochrony ze strony pojazdu. Jednak większość kolizji pojazd – człowiek następuje przy prędkościach  $V \leq 40$  km/h i są to w większości kolizje czołowe centralne lub skośne. Jak wynika z analiz rzeczywistych wypadków oprócz prędkości na wielkość obrażeń wpływają także inne czynniki jak: rodzaj pojazdu, własności antropometryczne pieszego, itp. Adekwatnie do tego producenci od dłuższego czasu skupili się na ulepszaniu przednich części samochodu w kierunku ochrony pieszych. Zaczęto minimalizować wystające elementy pojazdu, wprowadzać składane lusterka, chowane klamki, itp. W latach 90-tych ub. wieku zaczęto wprowadzać coraz więcej przepisów dotyczących bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego w tym także ochrony pieszych. W 2005 roku wprowadzono Europejską Dyrektywę Ochrony Pieszych w zastosowaniu do nowych pojazdów. Takie elementy samochodu jak zespół zderzaka, krawędzie czołowe pokryw silnika, poszycia pokryw silnika zaczęto optymalizować pod kątem zmniejszenia stopnia obrażeń nóg, miednicy i głowy dorosłych oraz dzieci. Systemy testowania ochrony pieszych zaczęły wprowadzać takie organizacje jak: EEFEC, ISO, IHRA, EuroNCAP.

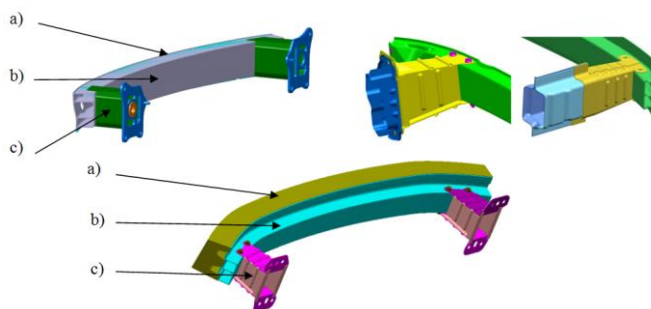
### 1. OPTYMALIZACJA ZESPOŁU ZDERZAKA

Większość kolizji człowiek-pojazd to uderzenia w obszarze przedniej części pojazdu. Przeważnie pierwsze uderzenie następuje poprzez kontakt nogi ze zderzakiem. Na kinematykę ruchu potrąconego pieszego i ewentualne jego obrażenia ma wpływ cały szereg czynników. Jednym z podstawowych są kształty zespołu zderzaka jak i rozkład jego sztywności względem osi pionowej jak i jego długości i szerokości. Konstrukcja i kształt zderzaka w poszczególnych dekadach produkcji samochodu związane były ze stylizacją całego nadwozia. Pojawienie się w latach 70-tych ub. wieku wymogów związanych z obniżeniem zużycia paliwa spowodowało poszukiwania w kierunku obniżenia masy samochodu i współczynnika oporu powietrza. Coraz częściej konstruowano zderzaki z pokrywami z tworzyw sztucznych z jednoczesnym gładkim przejściem ze zderzaka do krawędzi pokrywy silnika (rys.1)



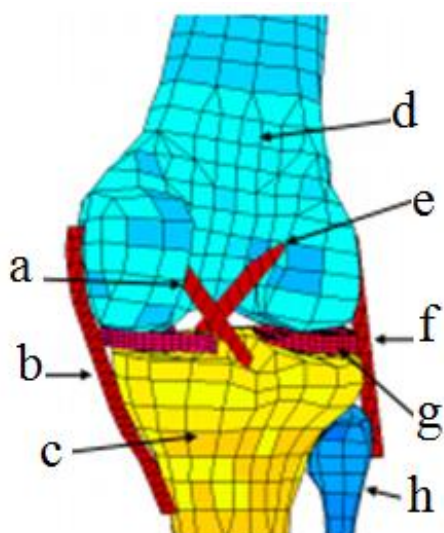
Rys. 1. Porównanie zarysu przednich części samochodu: a) lata 70-te, b) współczesny

Jednocześnie zaczęto zwracać uwagę na obniżenie kosztów napraw. Wymóg odpowiedniej absorpcji energii uderzenia w sztywną przeszkodę przy prędkości 5 km/h spowodował pojawienie się konstrukcji zespołu zderzaka składającego się z pokrywy z tworzywa sztucznego, belki poprzecznej i crash box-ów przykręcanych do przednich podłużnic (rys.2).



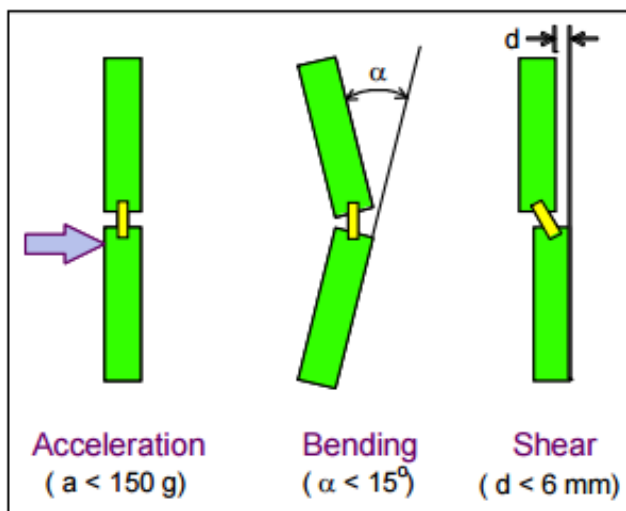
Rys. 2. Zespół zderzaka: a) tworzywo piankowe, b) belka poprzeczna, c) crash box

Z analizy urazów w rzeczywistych wypadkach dotyczących złamań kończyn i urazów kolan zauważono że złamania kości piszczelowych, kości strzałkowych jak i trzonów kości udowych powodowane są głównie wysokimi przyspieszeniami pojawiającymi się na skutek sił uderzenia co potwierdzono w testach nóg. Redukcja tych obciążeń to amortyzacja uderzenia poprzez zastosowanie m.in. piankowego materiału na pokrycie belki zderzaka (rys 2a). Uszkodzenia tkanek miękkich i twardych kolan w tym więzadeł (rys.3) w znacznym stopniu zależą od obciążeń zginających i ścinających w obszarze kolan.



**Rys. 3.** Model nogi w strefie kolana: a-więzadło krzyżowe tylne, b-więzadło poboczne piszczelowe, c-kość piszczelowa, d-kość udowa, e-więzadło krzyżowe przednie, f-więzadło poboczne strzałkowe, g-łąkotka, h-kość strzałkowa

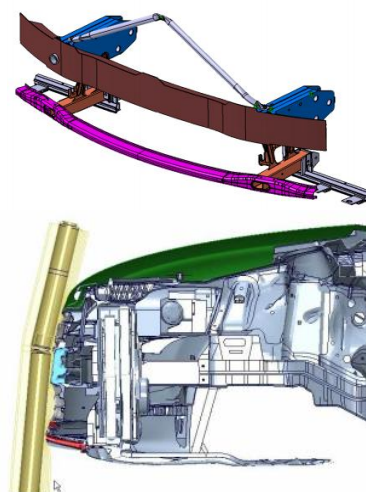
Wpływ na te obciążenia ma położenie siły uderzenia względem podłoża zależne od kształtu zderzaka, jego wysokości jak i rozkładu sztywności. Adekwatnie do wyników badań wprowadza się kryteria biomechaniczne oraz odpowiednie zmiany konstrukcji zespołu zderzaka w celu ich spełnienia. Na rysunku 4 przedstawiono biomechaniczne wymagania dotyczące kończyn dolnych przy uderzeniu z prędkością  $V \leq 40$  km/h



**Rys. 4.** Biomechaniczne kryteria kończyn dolnych i obszaru kolana

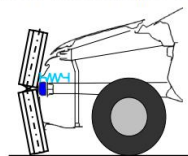
Maksymalne przyspieszenia działające na kość piszczelową nie powinny przekraczać 150 g, maksymalne obciążenia zginające nie powinny powodować większego kąta zgięcia niż  $15^\circ$  między kością udową a piszczelową, maksymalne obciążenia ścinające nie powinny powodować przemieszczenia większego niż 6mm przy prędkościach uderzenia nie większych niż 40 km/h. Na głównej części nogi maksymalny moment zginający określa się na 300 Nm, a całkowitą siłę na 5kN.

Po roku 2000 zaczęto wprowadzać w zespole zderzaka dodatkową dolną belkę wsparcia tydki co zmieniło położenie siły uderzenia zmniejszając obciążenia zginające kolana. Dodatkowo dolne belki posiadają także własności absorpcji energii uderzenia (rys.7, rys.8, rys.9).

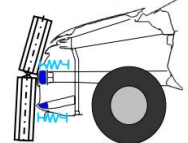


**Rys. 5.** Elementy zespołu zderzaka z dolną belką zabezpieczającą pieszego

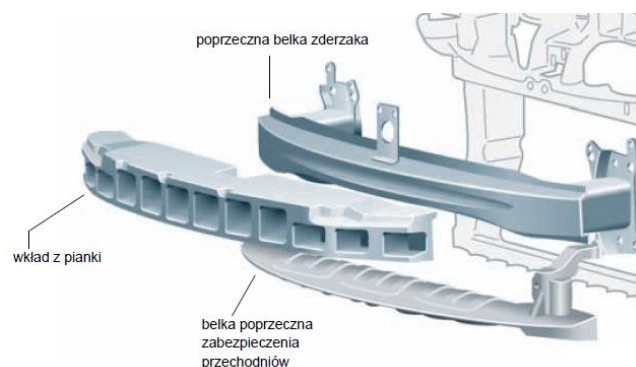
Without Lower Bumper Stiffener



With Lower Bumper Stiffener



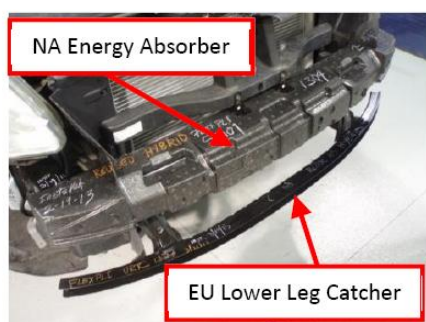
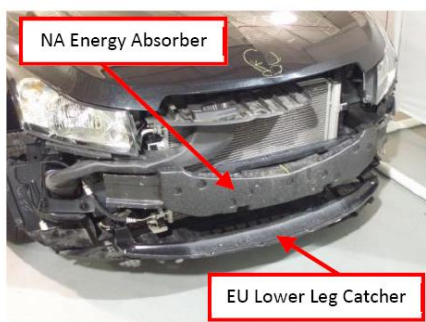
**Rys. 6.** Wpływ dolnego zderzaka na kąty zgięcia



**Rys. 7.** Zestawienie zespołu zderzaka z dolną belką zabezpieczającą pieszego



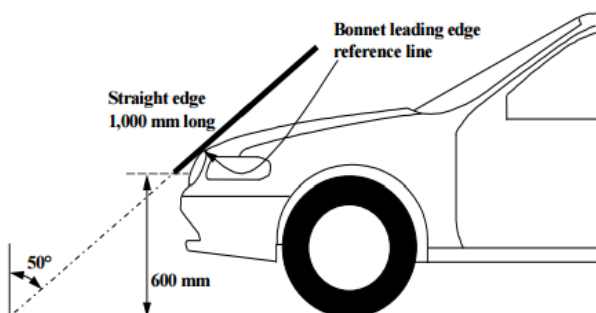
**Rys. 8.** Przykładowy zespół zderzaka



Rys. 9. Zespoły zderzaków z rozbudowaną ochroną pieszego w przykładowych samochodach

## 2. WPŁYW KRAWĘDZI POKRYWY SILNIKA NA BEZPIECZEŃSTWO PIESZEGO

Na skutek złagodzenia kształtu wielu elementów nadwozi współczesnych samochodów np. zderzaków, pokryw, błotników, itp. istnieje potrzeba identyfikacji pewnych punktów jak i linii odniesienia. Na rys.10 przedstawiono sposób identyfikacji przedniej krawędzi pokrywy silnika.



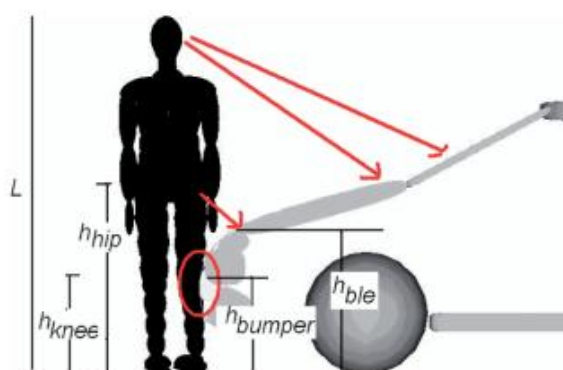
Rys. 10. Identyfikacja przebiegu krawędzi pokrywy silnika

Położenie przedniej krawędzi pokrywy silnika identyfikuje się za pomocą liniału o długości 1m przyłożonego do przedniej krawędzi pokrywy silnika pod kątem 50° do pionu z dolnym końcem zaczyna-

jącym się na wysokości 0,6 m. Z testów badawczych przeprowadzanych na manekinach wynika, że takie parametry jak: wysokość krawędzi pokrywy silnika poniżej 0,75m, zaokrąglenie przedniej części pokrywy o promieniu większym niż 0,25m, wysunięcie zderzaka ponad krawędź pokrywy większe od 0,15m oraz wysokość zderzaka większa od 0,49m znacznie ograniczają złamanie miednicy i kości udowej w kolizji z 50-cio centylowym męskim manekinem przy prędkości mniejszej od 40 km/h. Zaokrąglenia przedniej krawędzi mają jeszcze większe znaczenie w ograniczaniu urazów dla pojazdów o większych wysokościach krawędzi pokrywy. O ile dla samochodów osobowych wysokość krawędzi pokrywy wynosi p[przeważnie poniżej 0,75m tak dla VAN-ów ok. 0,85m a dla SUV nawet ponad 1m. Przy większych wysokościach dochodzi do kontaktu z pojazdem nie tylko biodra pieszego ale także korpusu. W przedniej części nadwozia problem stanowi zbyt duża sztywność elementów związana z mocowaniem zamka, zawinięciem poszycia na krawędzi pokrywy. Niebezpieczne są zderzenia przednie niecentralne ze względu na sztywność mocowań okolic reflektorów jak i okolic przejścia krawędzi przejścia krawędzi pokrywy w błotnik i nadkole. Ze względu na te trudności producenci skupiają się na optymalizacji zderzaków i pozostałych obszarów pokrywy silników.

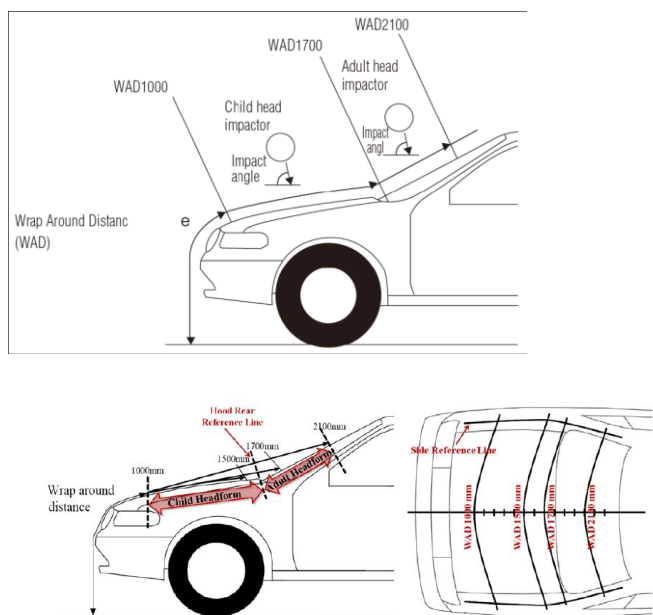
## 3. OPTYMALIZACJA POKRYWY SILNIKA

Optymalizacja zderzaka i krawędzi pokrywy silnika umożliwia ograniczenie urazów kończyn dolnych, miednicy czy korpusu. W zależności od prędkości samochodu, wzrostu pieszego i charakteru jego ruchu w momencie potrącenia, jak i kształtu i własności energochłonnych przedniej części samochodu może wystąpić uderzenie głowy w maskę (rys.11).



Rys. 11. Możliwe uderzenia części ciała człowieka w przednie obszary samochodu

Szacuje się że przy potrąceniu osoby dorosłej przez samochód osobowy średniej klasy dla prędkości w zakresie od 30 do 40 km/h może wystąpić uderzenie głowy w pokrywę silnika. Przy prędkości uderzenia między 40 a 60 km/h może wystąpić uderzenie głowy w szybę, powyżej prędkości 60 km/h w krawędź dachu a powyżej 80 km/h przerzucenie pieszego nad dachem. Miejsce uderzenia głowy w maskę identyfikuje się za pomocą takich parametrów jak: zasięg wrzucenia i długość rozwinięcia pieszego – odległość od podłoża do pierwszego kontaktu głowy z pojazdem (rys.12).



Rys. 12. Odległości rozwinięcia pieszego dla dziecka (zakres 1000-1700mm) i osoby dorosłej(1700-2100mm)

Podstawową kwestię ograniczenia urazów głowy podczas uderzenia w maskę próbuje się rozwiązać poprzez redukcję energii uderzenia jak i przedłużenie czasu uderzenia co powinno skutkować obniżeniem wskaźnika urazów głowy HIC

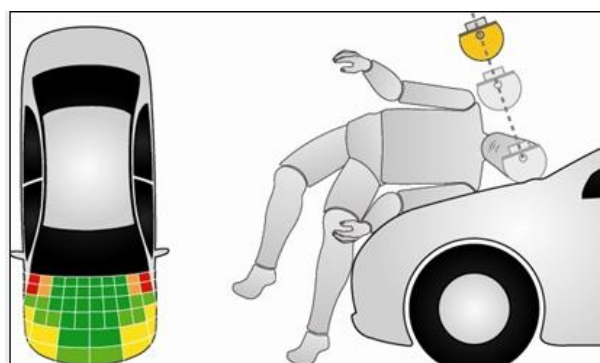
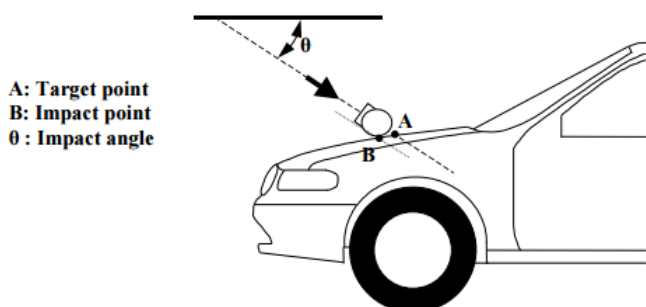
$$HIC = \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1)$$

gdzie:

a – opóźnienie działające na mózg (wielokrotność g)

$t_2 - t_1 \leq 15ms$  – przedział czasu pomiaru i zapisu okresu dla którego wartość HIC jest maksymalna

Przeprowadza się testy badawcze uderzenia modelu głowy osoby dorosłej i dziecka w pokrywę silnika wyznaczając punkty o określonej wartości HIC (rys.13).



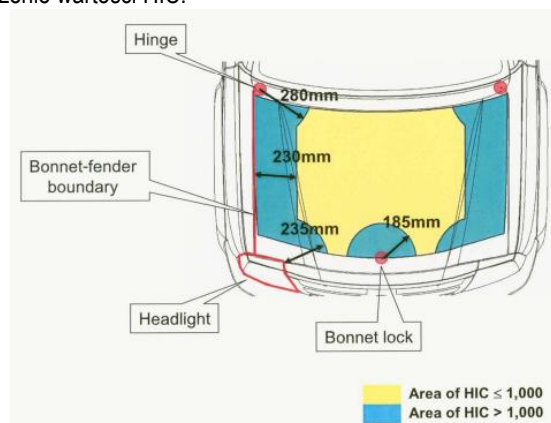
Rys. 13. Test uderzenia głowy w pokrywę silnika: A – punkt docelowy, B – punkt uderzenia,  $\theta$  - kąt uderzenia

Szansa na przeżycie istnieje dla  $HIC < 1000$ . Np. w testach EU-RO NCAP wyznacza się na powierzchni pokrywy silnika kolorami przedziały wartości HIC w następujący sposób:  $HIC < 650$  – zielony,  $650 < HIC < 1000$  – żółty,  $1000 < HIC < 1350$  – pomarańczowy,  $1350 < HIC < 1700$  – brązowy,  $HIC > 1700$  - czerwony (rys.14).



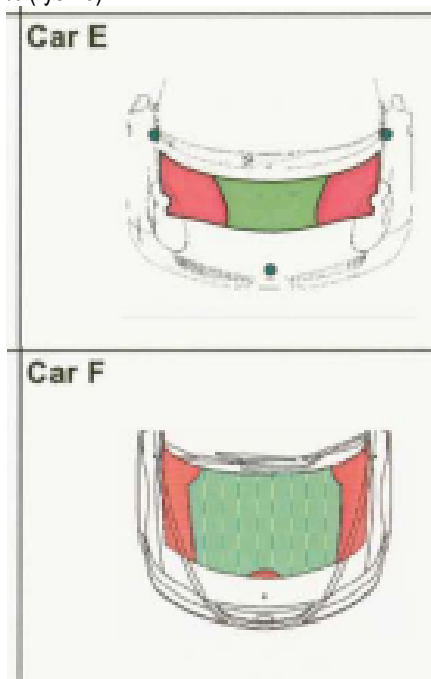
Rys. 14. Schemat testów i wyników HIC pokrywy silnika

Bada się obszary pokrywy silnika głównie w zakresie HIC poniżej 1000 i powyżej 1000. Na rysunku 15 pokazano obszary gdzie występują przesztwywnienia pokrywy silnika jak np. okolice zawiasów, zamka, krawędzi, zabudowy reflektorów gdzie trudno uzyskać obniżenie wartości HIC.



Rys. 15. Powierzchnia pokrywy silnika z wartościami:  $HIC \leq 1000$  – żółty obszar,  $HIC > 1000$  – niebieski obszar

Dąży się do takiego skonstruowania pokrywy aby uzyskać obszar o  $HIC \leq 1000$  powyżej 2/3 powierzchni całej pokrywy a nawet powyżej 75% (rys.16)





**Rys. 16.** Pokrywy silnika przykładowych samochodów których powierzchnie wykazują wartości  $HIC \leq 1000$  – zielone,  $HIC > 1000$  czerwone (samochód E – 54%, samochód F – 42%, samochód G – 28%; udziały procentowe  $HIC > 1000$ )

Pokrywa silnika na skutek deformacji po uderzeniu głowy aby mogła pochłonąć energię wymagany jest prześwit między pokrywą a górnymi wystającymi elementami silnika (rys.17).



**Rys. 17.** Prześwit między pokrywą silnika a silnikiem: A – model głowy, B - prześwit

Stosuje się prześwity w granicach od 0.08 do 0.1 m (rys. 18 i rys.19)



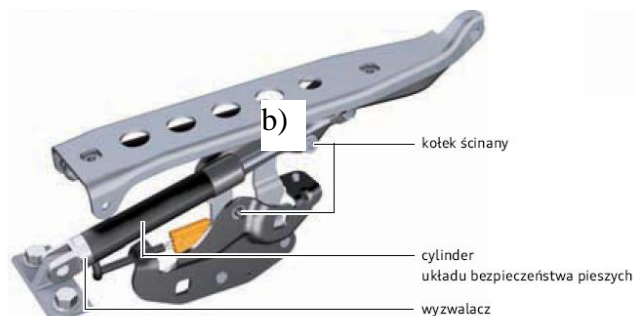
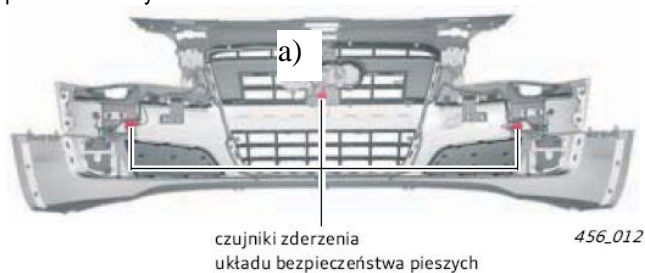
**Rys. 18.** Prześwity między maska a silnikiem w przykładowych samochodach

Mniejsze prześwity są możliwe w przypadku aktywnych masek silnika (rys.19)



**Rys. 19.** Aktywna maska pokrywy silnika

Przykładowe rozwiązanie konstrukcyjne aktywnej maski silnika pokazano na rys.20.



**Rys. 20.** Rozwiązanie konstrukcyjne aktywnej maski w samochodzie Audi A8: a) rozmieszczenie czujników rozpoznania zderzenia z pieszym, b) rozwiązanie mechanizmu unoszenia maski

Czujniki po rozpoznaniu zderzenia z pieszym (umieszczone na tylnej stronie osłony zderzaka poprzez sterownik uaktywniają wyzwalacze (pirotechniczne) które unoszą pokrywę na ok. 40mm i przesuwają do tyłu na ok. 33m. Zwiększa to prześwit między pokrywą a elementami silnika.

Dla zapewnienia bezpieczeństwa głowy pieszych w kontakcie z belką podszycia i słupkami przednimi próbuje się wprowadzać poduszki powietrzne w połączeniu z aktywną maską (rys.21).



**Rys. 21.** Poduszka ochrony pieszych w samochodzie VOLVO

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wybrane możliwości ograniczenia urazów pieszych na skutek zderzenia z pojazdem. Opisano główne rodzaje urazów pieszych, kryteria biomechaniczne oraz stosowane przez producentów pojazdów sposoby optymalizacji zespołu zderzaka i pokrywy silnika.

## BIBLIOGRAFIA

1. European Aluminum Association – version 2013 (auto@aaa.be).
2. A. Wüst : Optimization Techniques in the Development of a Lower Bumper Stiffener for Pedestrian Protection. EHWTC, Berlin 2007.
3. J.Hu, K.D. Klinich: Toward Designing Pedestrian – Friendly Vehicles. UMTRI July 2012.
4. EuroNCAP – Assessment Protocol – Pedestrian Testing Protection – June 2015.
5. Materiały serwisowe Audi, VOLVO, Peugeot. Opel.

## CAPABILITIES TO OPTIMIZE THE FRONT PART OF THE CAR IN THE DIRECTION OF REDUCING INJURIES TO PEDESTRIAN

### *Abstract*

*The paper presents some aspects related to the capabilities to reduce pedestrian injuries as a result of a collision with a vehicle. It describes the main types of pedestrian injuries, biomechanical criteria and methods used by manufacturers for optimizing the bumper and hood in the direction of reduced injuries to pedestrians.*

Autorzy:

dr inż. **Bogdan Pawłowski** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn