

DYNAMIC LOADS OF POWER UNIT DURING CAR IMPACT

Leon Prochowski
Andrzej Żuchowski

Military University of Technology
ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Poland
tel.: +48 22 6837454, fax: +48 22 6839230
e-mail: a.zuchowski@wme.wat.edu.pl

Abstract

An analysis of dynamic loads, which act onto power unit placed in engine compartment during frontal car impact into rigid barrier were done in this paper. An influence of power unit position on crush progress and range of frontal car body area were considered. Basing on impact tests results, relations between impact velocity and crush zone length, and also level of dynamic loads, observed in several zones of car body were presented. There were shown also in what way position of power unit can influence on crush displacement progress and length. There were confirmed that power unit position influences not only on car body stiffness characteristic but also on dynamic loads acting on human body in collision. Car measurements during crush tests, crush displacement of frontal car area after impact into rigid barrier (Ford Escape), power unit displacement Mercedes Class A during frontal impact into barrier, deceleration in several car body zones during frontal impact into rigid barrier (Toyota Corolla), maximum deceleration of car power unit, occurring during car body crushing at velocity 56 km/h, maximum deceleration of car power unit, occurring during car body crushing at velocity 56 km/h are presented in the paper.

Keywords: vehicle safety, car crash tests, accident reconstruction

OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE BLOKU NAPĘDOWEGO PODCZAS ZDERZENIA SAMOCHODU

Streszczenie

W pracy dokonano analizy obciążeń dynamicznych, które działają na blok napędowy w komorze silnikowej podczas czołowego zderzenia samochodów osobowych ze sztywną przeszkodą. Rozważono wpływ położenia bloku napędowego na przebieg i zasięg zgniotu przedniej części nadwozia. Na podstawie testów zderzeniowych przedstawiono relacje pomiędzy prędkością zderzenia a zasięgiem stref zgniotu oraz poziomem obciążeń dynamicznych, obserwowanych w różnych obszarach nadwozia. Pokazano, w jaki sposób położenie bloku napędowego może wpływać na przebieg i zasięg deformacji przedniej części samochodu. Potwierdzono, że jego umiejscowienie wpływa nie tylko na charakterystykę sztywności nadwozia, ale także na obciążenia dynamiczne działające na osoby jadące samochodem. W szczególności pomiary samochodu podczas testów zderzeniowych, deformacja przedniej części nadwozia samochodu po uderzeniu w sztywną barierę (Ford Escape), przemieszczenie bloku napędowego Mercedesa klasy A podczas czołowego uderzenia w barierę, opóźnienie występujące w różnych miejscach samochodu podczas zderzenia czołowego ze sztywną barierą (Toyota Corolla), maksymalne opóźnienie bloku napędowego, występujące podczas uderzenia w barierę przy prędkości 56 km/h, Przyspieszenie mierzone na bloku silnika są przedstawione w artykule.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo bierne, zderzenia samochodów, rekonstrukcja wypadków

1. Wstęp

Do najważniejszych czynników wpływających na skutki zderzenia należą prędkość i masa samochodu, które decydują o energii kinetycznej jadącego pojazdu. W konstrukcji nadwozi dąży się do tego, aby w szerokim zakresie wartości prędkości zderzenia kabina pasażerska pozostała nienaruszona. Osiąga się to poprzez stosowanie bardzo sztywnej konstrukcji nośnej kabiny

i specjalnie ukształtowanych elastycznych stref energochłonnych (ulegających znacznym deformacjom), które otaczają ją ze wszystkich stron. Są one tak zaprojektowane, aby podczas kolizji ulegały odpowiednio zaprogramowanej deformacji i rozpraszaly energię zderzenia, a tym samym nie dopuszczały do naruszenia przestrzeni wewnątrz kabiny. Przy zderzeniu czołowym i prędkości powyżej 40-50 km/h uszkodzeniu ulega m.in. pas dolny i zderzak, podłużnice i nadkola, elementy umieszczone w komorze silnikowej. Blok napędowy zwykle odrywa się od jego mocowania do podłużnic i napiera na przegrodę silnikową, płytę podłogową i wzmocnienia za nadkolami. Część z wymienionych elementów nadwozia jest zbudowana w sposób przystosowany do znacznych odkształceń i tworzy strefę kontrolowanego zgniotu, która ma za zadanie pochłoniąć jak najwięcej energii kinetycznej podczas wypadku.

Przebieg deformacji samochodu podczas zderzenia czołowego zależy od konstrukcji przedniej części nadwozia oraz zabudowanych w komorze silnikowej zespołów. Ważne znaczenie ma tu ułożenie (poprzeczne, wzdłużne) oraz sposób mocowania silnika oraz skrzyni biegów do nadwozia. Istotne znaczenie ma sposób przemieszczania się bloku napędowego. Ta bryła o bardzo dużej sztywności w widoczny sposób wpływa na przebieg procesu deformacji nadwozia. Może w sposób negatywny lub pozytywny wpływać na bezpieczeństwo osób jadących.

Celem pracy jest ocena wpływu bloku napędowego na energochłonność przedniej części samochodu. Poszukuje się m.in. relacji pomiędzy ustawieniem silnika a deformacją samochodu podczas uderzenia w barierę. Uwagę skupiono na zderzeniu samochodu ze sztywną barierą. W pracy wykorzystano wyniki testów zderzeniowych, przeprowadzonych przez Amerykańską Administrację Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) [3].

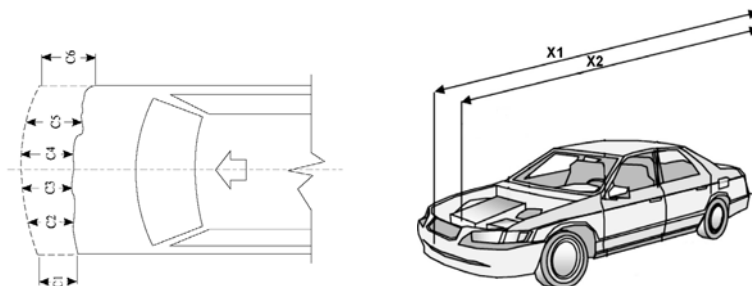
Wykorzystywane w pracy pojęcie blok napędowy odnosi się do trwałego połączenia silnika ze sprzęgłem i skrzynią biegów. Ten zespół podczas zderzenia przemieszcza się zwykle jako całość, po oderwaniu od elementów jego zawieszenia na ramie lub podłużnych wzmocnieniach nadwozia w komorze silnikowej.

2. Deformacja samochodu podczas zderzenia czołowego

Bezpieczeństwo osób w samochodzie podczas zderzenia w dużym stopniu zależy od efektywności rozpraszania energii kinetycznej samochodu w jego strefach zgniotu. Im więcej energii zostanie pochłonięte (rozproszone), tym mniejsze opóźnienia będą działały na osoby znajdujące się wewnątrz samochodu. Podczas testów zderzeniowych zwykle są mierzone wielkości podane na rysunku 1. Pomiary wykonywane są przed i po uderzeniu w barierę. Wymiary C1, C2,...C6 służą do oceny rozmiarów deformacji nadwozia. Oddzielne znaczenie mają wymiary X1 i X2, które mierzone są w wzdłużnej płaszczyźnie symetrii nadwozia, względem pionowej płaszczyzny stycznej do tylnej części samochodu. Można je wykorzystać do obliczenia następujących wielkości:

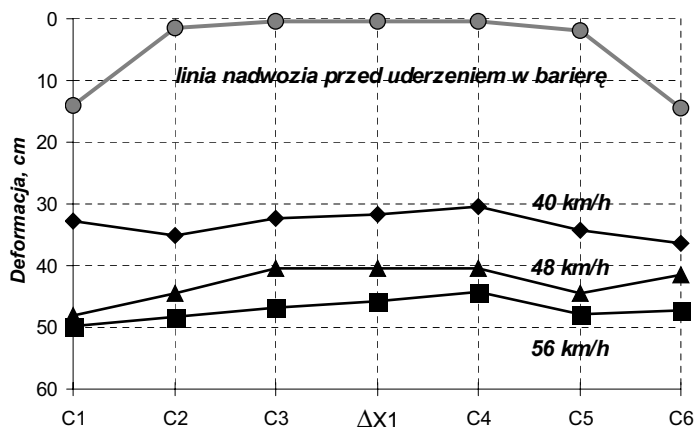
- $\Delta X1 = X1_{przed} - X1_{po}$ - głębokość deformacji w przedniej, centralnej części samochodu,
- $\Delta X2 = X2_{przed} - X2_{po}$ - przemieszczenie silnika podczas zderzenia,
- $S = X1_{przed} - X2_{przed}$ - odległość silnika od zderzaka.

Rozmiary deformacji nadwozia podczas czołowego zderzenia ze sztywną przeszkodą są tym większe, im wyższa jest wartość prędkości początkowej zderzenia. Pokazano to w sposób przykładowy na rysunku 2. Charakterystyczne tu jest, że deformacja nadwozia nie zwiększa się proporcjonalnie do zwiększania prędkości uderzenia w barierę. Przy deformacji o głębokości w przedziale 30-50 cm zwykle progresywnie narasta charakterystyka sztywności nadwozia. Taki charakter procesu zgniatania nadwozia zależy od sposobu zabudowania bloku napędowego w komorze silnikowej.



Rys. 1. Pomiary samochodu podczas testów zderzeniowych
 Fig. 1. Car measurements during crush tests

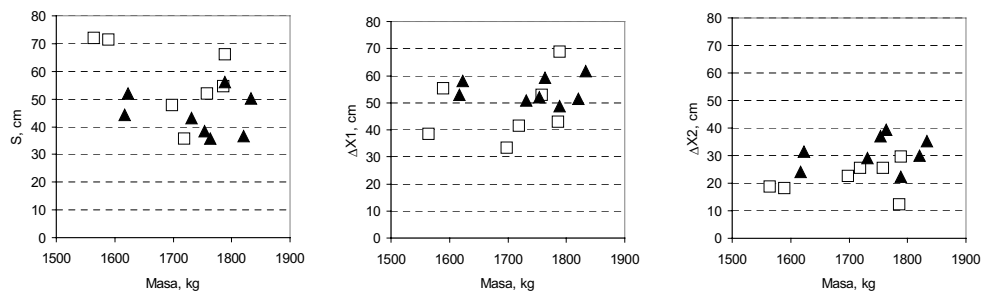
Możliwość przemieszczania się bloku napędowego w komorze silnikowej ma istotny wpływ na przebieg i zakres deformacji przedniej części nadwozia. Ta wiedza jest coraz częściej wykorzystywana w celu zwiększenia efektywności rozpraszania energii zderzenia. Udział procesu przemieszczania bloku napędowego w kształtowaniu charakterystyk strefy zgniotu jest szczególnie istotny w małych samochodach. Z tego powodu w nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych dąży się do tego, aby w czasie zderzenia czołowego, blok napędowy miał możliwość przemieszczania się w komorze silnikowej. Kierunek tych przemieszczeń nie jest w stronę wnętrza samochodu, lecz powinien zsuwać się ukośnie do dołu, pod płytę podłogową przedziału pasażerskiego (rys.4).



Rys. 2. Deformacja przedniej części nadwozia samochodu po uderzeniu w sztywną barierę (Ford Escape)
 Fig. 2. Crush displacement of frontal car area after impact into rigid barrier (Ford Escape)

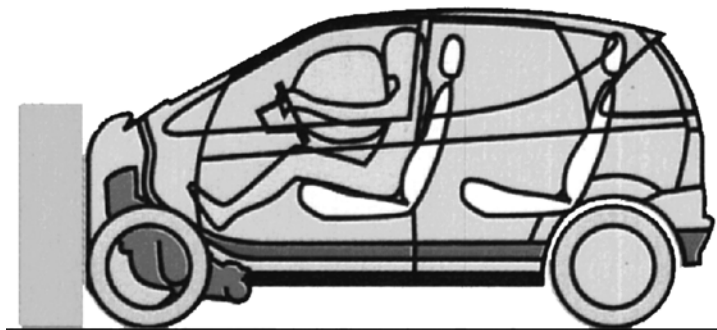
Przy ustalonej prędkości uderzenia głębokość deformacji środkowej części nadwozia $\Delta X1$ zależy głównie od jego konstrukcji, ale także od odległości bloku napędowego od belki przedniej (podzderzakowej) S . Wszystkie te czynniki łącznie wpływają na wartość przemieszczenia $\Delta X2$. Powstaje pytanie, czy możliwe jest ustalenie relacji pomiędzy ustawieniem bloku napędowego a przebiegiem procesu deformacji nadwozia? Na rysunku 3 pokazano wyniki pomiarów kilkunastu samochodów osobowych średniej wielkości, o podobnej masie całkowitej, z nadwoziem typu sedan, z silnikiem ustawionym poprzecznie i wzdłużnie. Oszacowano, że początkowa odległość silnika od zderzaka przedniego S najczęściej wynosi 35-55 cm. Podczas testu zderzenia czołowego przy prędkości 56 km/h głębokość deformacji w przedniej, centralnej części samochodu $\Delta X1$, niezależnie od ustawienia silnika w samochodzie, zawiera się w granicach 40-60 cm. Przemieszczenie bloku napędowego $\Delta X2$ zawierają się w granicach 20... 40 cm, przy czym średnie przemieszczenie silnika w samochodach z silnikiem ustawionym poprzecznie wynosi około 22

cm, a w samochodach z silnikiem ustawionym wzdłużnie – około 30 cm. To pierwsze praktyczne zróżnicowanie wartości przemieszczenia bloku napędowego, zależnie od jego ustawienia w komorze silnikowej, będzie miało istotne znaczenie do dalszych analiz.



Rys. 3. Odległość umiejscowienia bloku napędowego od zderzaka S , głębokość deformacji w przedniej, centralnej części samochodu $\Delta X1$ i przemieszczenie silnika $\Delta X2$ po uderzeniu samochodu w sztywną barierę, prędkość uderzenia 56 km/h, (\square - silnik ustawiony poprzecznie, \blacktriangle - silnik ustawiony wzdłużnie)

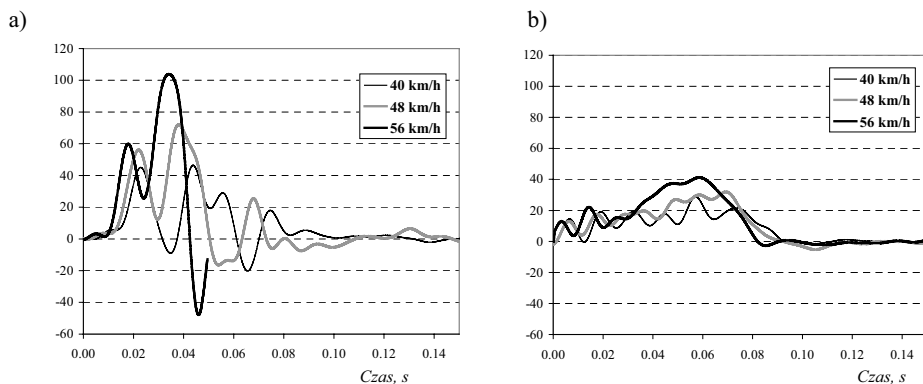
Fig. 3. Distance between power unit and car bumper S , crush displacement in frontal, central area of car body $\Delta X1$ and engine displacement $\Delta X2$ after impact into rigid barrier, impact velocity 56 km/h (\square - transverse engine placement, \blacktriangle - longitudinal engine placement)



Rys. 4. Przesunięcie bloku napędowego Mercedesa klasy A podczas czołowego uderzenia w barierę
Fig. 4. Power unit displacement Mercedes Class A during frontal impact into barrier

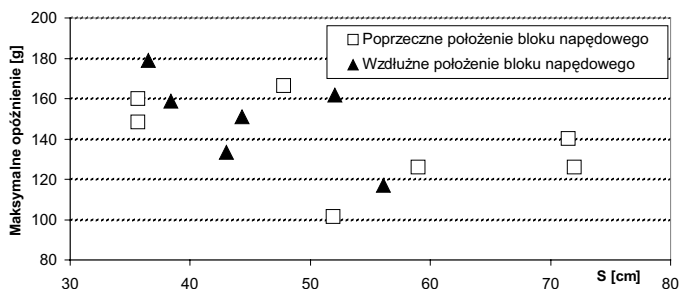
3. Obciążenia dynamiczne bloku napędowego

Obciążenia dynamiczne powstające w nadwoziu podczas zderzenia są tym mniejsze, im dalej od strefy zgniotu są mierzone. Podczas zderzenia czołowego z prędkością powyżej 40 km/h blok napędowy należy do zespołów, które podlegają największym obciążeniom dynamicznym. Realizacje opóźnienia działającego na blok napędowy i w tylnej części kabiny pasażerskiej podano na rysunku 5. Przebiegi zmian opóźnienia przy poszczególnych wartościach prędkości zderzenia są podobne, a lokalne wartości maksymalne wynikają z charakterystyki sztywności podczas zgniatania kolejnych elementów struktury nadwozia i zespołów w komorze silnikowej. Wcześniejsze rozważania, dotyczące roli bloku napędowego podczas zderzenia, znajdują pełne potwierdzenie na rysunku 6. Pokazano tam, że obciążenia dynamiczne, przejmowane przez blok napędowy, są tym większe im jest on położony bliżej przedniej krawędzi samochodu.



Rys. 5. Opóźnienie występujące w różnych miejscach samochodu podczas zderzenia czołowego ze sztywną barierą (Toyota Corolla), a) górna część silnika, b) tylna część kabiny pasażerskiej (wartości opóźnienia podano w jednostkach g)

Fig. 5. Deceleration (g) in several car body zones during frontal impact into rigid barrier (Toyota Corolla), a) upper part of engine, b) rear part of passenger cabin



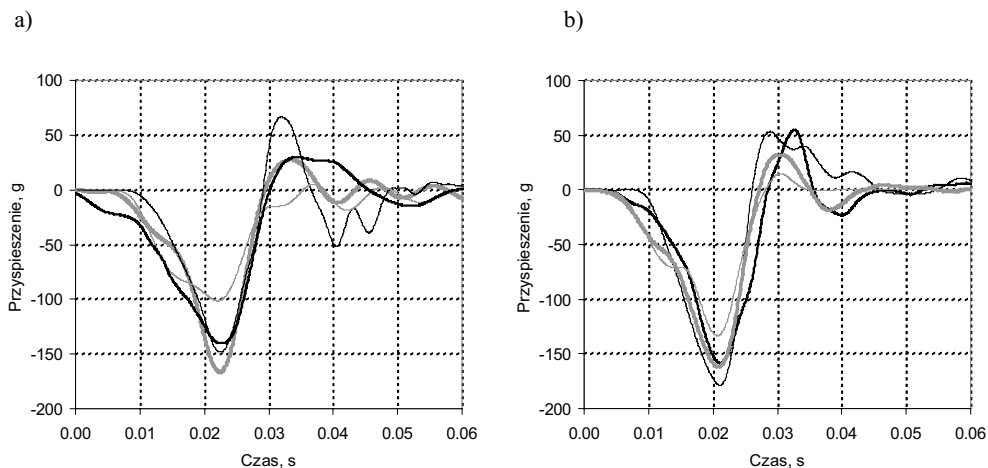
Rys. 6. Maksymalne opóźnienie bloku napędowego, występujące podczas uderzenia w barierę przy prędkości 56 km/h
Fig. 6. Maximum deceleration of car power unit, occurring during car body crushing at velocity 56 km/h

Na rysunku 7 pokazano realizacje przyspieszenia, zmierzone na bloku napędowym w czterech samochodach z silnikiem ustawionym poprzecznie (rys.7a) i czterech z silnikiem ustawionym wzdłużnie (rys.7b). Realizacje zestawiono w taki sposób, aby wartość minimalna przyspieszenia (maksymalne opóźnienie) wystąpiła w tej samej chwili czasu dla każdej realizacji. Takie rozmieszczenie realizacji umożliwia wskazanie różnic w przebiegu zderzenia z barierą samochodów z silnikiem umieszczonym poprzecznie i wzdłużnie. Różnice te są pozornie niewielkie: mniejsze opóźnienie i dłuższy czas występowania opóźnienia w samochodach z blokiem napędowym umieszczonym poprzecznie. Istotność tych różnic zostanie dodatkowo rozważona w dalszej części pracy, na podstawie wyników badań energochłonności czołowych stref zgniotu samochodów.

4. Wpływ położenia bloku napędowego na energochłonność przedniej części nadwozia

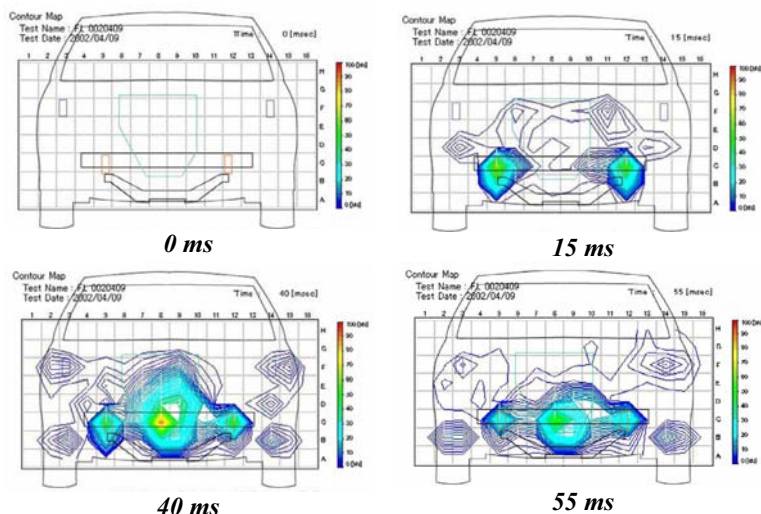
Podczas zderzenia energia kinetyczna samochodu zostaje zamieniona na pracę deformacji w strefach zgniotu. Można ją wyznaczyć na podstawie przebiegu siły zgniatającej i deformacji nadwozia [2]. Do pomiaru siły zgniatającej wykorzystywane są specjalne bariery pomiarowe. Ich płaszczyzna czołowa wykonana jest z wielu segmentów, w których zabudowano czujniki siły. Wykorzystując przebiegi siły działającej na poszczególne segmenty, przy znanym ustawieniu samochodu względem bariery, można wnioskować o obciążeniu poszczególnych obszarów nadwozia. Na tej podstawie można określić energię pochłoniętą w danym obszarze nadwozia.

Na rysunku 8 pokazano jak zmienia się rozkład obciążeń działających na przednią część samochodu podczas uderzenia w sztywną, płaską barierę. Wykorzystano tu barierę złożoną ze 128 czujników siły. Na sylwetkę samochodu i bariery naniesiono wartości siły, obciążającej poszczególne elementy bariery. W czasie do 15 ms maksymalne wartości siły występują w obszarze zgniatanych początkowych odcinków podłużnic nadwozia. W miarę postępu deformacji największe wartości obciążeń działających na nadwozie ujawniają się w obszarze silnika (40 ms) a także w obszarze wnek kół i progów płyty podłogowej (55 ms).



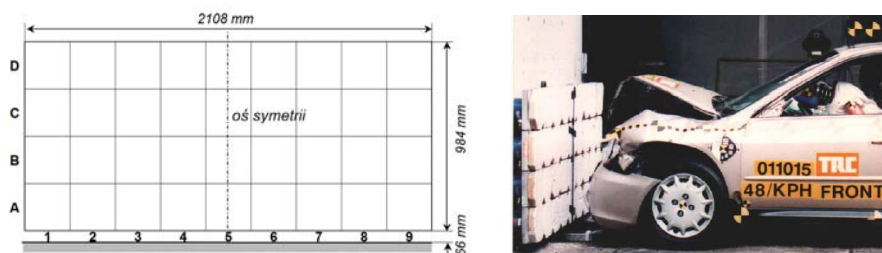
Rys. 7. Przyspieszenie mierzone na bloku silnika, a) silnik ustawiony poprzecznie b) silnik ustawiony wzdłużnie (prędkość uderzenia samochodu w przeszkodę 56 km/h, masa samochodów 1700-1800 kg)

Fig. 7. Acceleration measured on engine block, a) transverse engine placement, b) longitudinal engine placement (impact velocity 56 km/h, mass of cars 1700-1800 kg)



Rys. 8. Obciążenie samochodu podczas uderzenia w sztywną barierę przy prędkości 56 km/h [1]
Fig. 8. Car load during impact into rigid barrier, impact velocity 56 km/h [1]

Wyniki pomiarów siły działającej na poszczególne elementy bariery wykorzystano do oceny wpływu położenia bloku napędowego na energochłonność przedniej części nadwozia. W tym celu wykorzystano barierę typu 36 LCRB (Load Cell Rigid Barrier), pokazaną na rysunku 9. Jej powierzchnia czołowa zbudowana jest z 36 segmentów z czujnikami siły, które umieszczone są w czterech rzędach (A, B, C, D) i dziewięciu kolumnach (1, 2, ..., 9). Porównano energochłonność samochodów osobowych z nadwoziem typu sedan, o zbliżonej charakterystyce masowo-wymiarowej (tablica 1). Samochody Honda Accord i Suzuki Verona mają silnik ustawiony poprzecznie i napędzane przednie koła. Samochody BMW 325 (napędzane koła tylne) i Audi A4 (napędzane wszystkie koła) mają silnik ustawiony wzdłużnie.

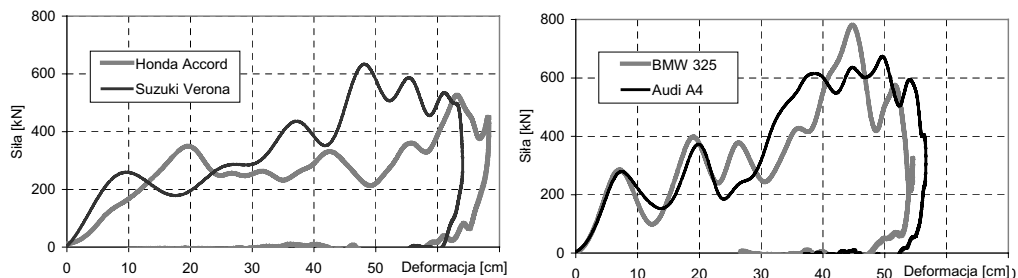


Rys. 9. Bariera sztywna 36 LCRB
Fig. 9. 36 Load Cell Rigid Barrier

Tab. 1. Charakterystyka samochodów
Tab. 1. Character of vehicles

Marka, model	Model z roku	Masa	Napęd	Ustawienie silnika	Pojemność silnika	Liczba cylindrów	Długość	Szerokość	Rozstaw osi	Zwis przedni	S	ΔX_2
		kg	-	-	dm ³	-	mm				cm	
Honda Accord	2001	1589	FWD	poprzeczne	2,3	4	4800	1780	2713	975	71,5	18,1
Suzuki Verona	2005	1758	FWD	poprzeczne	2,5	6	4777	1800	2691	964	51,9	25,6
BMW 325	2002	1731	RWD	wzdłużne	2,5	6	4467	1732	2727	brak danych	43,0	29,0
Audi A4	2002	1820	4WD	wzdłużne	1,8	4	4571	1733	2620	914	36,5	30,0

Mimo podobieństwa samochodów w zakresie masy i wymiarów, charakterystyki sztywności przy ich zgniataniu są różne (rys.10). Sposób obliczeń charakterystyki sztywności nadwozia podano w [2]. W przypadku samochodów z silnikiem umieszczonym poprzecznie siła zgniatająca osiąga niższe wartości niż w samochodach z silnikiem ustawionym wzdłużnie. Zakres deformacji jest większy w samochodach z silnikiem umieszczonym poprzecznie. Te podstawowe informacje pozwalają wskazać konstrukcję samochodów z silnikiem umieszczonym poprzecznie jako bardziej korzystną w kształtowaniu obciążeń działających na ludzi w samochodzie. Ze względu na złożoność czynników wpływających na proces zderzenia, podane wyżej wnioski można, na obecnym etapie pracy, odnieść wyłącznie do samochodów wymienionych w tablicy 1.

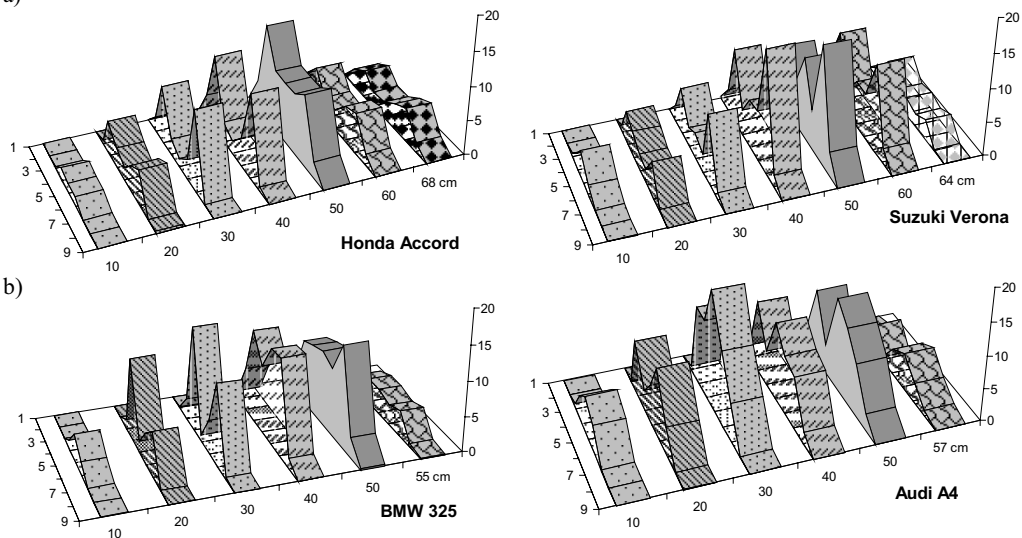


Rys. 10. Charakterystyka sztywności samochodów przy zgniataniu
Fig. 10. Force displacement curve

Na rysunku 11 pokazano rozkład pracy deformacji samochodów wzdłuż szerokości i głębokości strefy zgniotu. Szerokość strefy zgniotu opisano tu przez podanie numeru kolumny (1,2,...9) bariery 36 LCRB (patrz rys.9). Takie zestawienie ukazuje mechanizm zgniatania nadwozia. W początkowym okresie deformacji (zakres do około 10 cm) energia zderzenia pochłaniana jest przez belkę poddzierzakową. Następnie energię zderzenia przejmują podłużnice i blok napędowy, co na rysunku 10 widoczne jest jako wzrost wartości pracy siły deformacji w centralnym obszarze przedniej części nadwozia. W samochodzie Audi A4, który spośród wymienionych w tabelicy 1 samochodów ma silnik położony najbliżej zderzaka, oddziaływanie bloku napędowego ujawnia się najwcześniej (przy deformacji około 30 cm).

Silnik poprzecznie ustawiony w samochodzie położony jest zwykle dalej od zderzaka, niż w przypadku jego ustawienia wzdłużnego (patrz odległość S w tabelicy 1). Dlatego w początkowym okresie zderzenia jego udział w rozpraszaniu energii jest ograniczony (rys.11a). W samochodach z silnikiem umieszczonym poprzecznie, na centralną część strefy zgniotu przypada około 40 % pracy deformacji, a w samochodach z silnikiem umieszczonym wzdłużnie – około 60 %. Potwierdza to istotny wpływ ustawienia bloku napędowego w samochodzie, na przebieg zgniatania przedniej części nadwozia.

a)



Rys. 11. Rozkład pracy deformacji (w kJ) wzdłuż szerokości (1...9) i głębokości (10, 20, 30 cm,...) strefy zgniotu,

a) silnik ustawiony poprzecznie, b) silnik ustawiony wzdłużnie

Fig. 11. Deformation work distribution (kJ) along width (1...9) and depth (10, 20, 30 cm,...) of crush zone, a) transverse engine placement, b) longitudinal engine placement

5. Podsumowanie

Blok napędowy w widoczny sposób wpływa na przebieg deformacji samochodu podczas zderzenia czołowego. Szczególne znaczenie ma sposób i zakres przemieszczania się bloku napędowego podczas zgniatania przedniej części samochodu. W pracy poszukiwano relacji pomiędzy ułożeniem bloku napędowego w komorze silnikowej a procesem zgniatania przedniej części nadwozia. Wykazano, że ułożenie bloku napędowego może istotnie wpływać na poziom obciążeń dynamicznych w samochodzie. Oceniono wpływ ułożenia bloku napędowego na rozkład energii pochłanianej podczas czołowego uderzenia samochodu w przeszkodę. Podane w pracy przykładowe rozkłady pracy deformacji, potwierdzają różnice w procesie zgniatania przedniej części samochodów z silnikiem umieszczonym poprzecznie i wzdłużnie.

Literatura

- [1] Mizuno, K., Tateishi, K., Arai, Y., *Research on vehicle compatibility in Japan*, 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, NHTSA, Nagoya, Japonia 2003.
- [2] Prochowski, L., Żuchowski, A., *Właściwości nadwozia w zakresie pochłaniania energii podczas uderzenia samochodu w sztywną przeszkodę*, V Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych”, str. 49-66, Kielce 2006.
- [3] www.nhtsa.dot.gov

