

Wybrane metody oraz cel badań zderzaków samochodowych w aspekcie testów zderzeniowych przeprowadzanych przy niskich prędkościach

Some selected methods and purpose of the low speed tests for estimation of the vehicle bumpers vulnerability to damage

TOMASZ HINZ
RYSZARD LEWKOWICZ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.5-6.62>

Zaprezentowano stosowane na świecie metody badań zderzaków samochodowych w nawiązaniu do testów zderzeniowych przeprowadzanych przy niskich prędkościach. Określono ich cel oraz przedstawiono podstawowe warunki badań. Opisano przeprowadzone przez autorów stanowiskowe badania zderzaków samochodowych, będące alternatywą wobec badań pełnozakresowych.

SŁOWA KLUCZOWE: zderzak samochodowy, uderzenie, niska prędkość

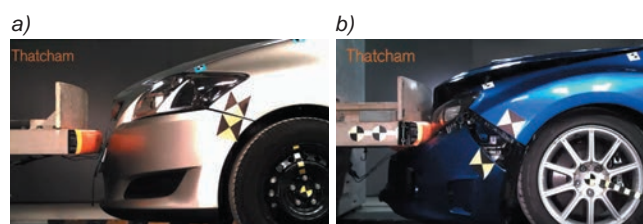
Presented are the worldwide applied methods of tests to vehicle bumpers under low speed impact conditions. Identified are the purpose of such tests with essential requirements to be met in their performance procedure specified. Also described is rig test to the car bumpers as an alternative issue to the most popular procedures.

KEYWORDS: vehicle bumper, impact, low speed

Testy zderzeniowe przeprowadzane na pojazdach samochodowych kojarzą się z badaniami mającymi na celu określenie poziomu bezpieczeństwa użytkowników pojazdu lub uczestników ruchu drogowego. Obraz pojazdu poruszającego się z dużą prędkością, a następnie uderzającego w nieruchomą przeszkodę niemal wszystkim przypomina testy organizacji Euro NCAP. Niewiele osób zdaje sobie sprawę, że istnieje zbliżona weryfikacja, dokonywana przy niewielkiej prędkości pojazdu [10]. Jakie znaczenie mają takie testy? Okazuje się, że ogromne. Przeprowadzone na terenie Stanów Zjednoczonych przez firmę Insurance Institute for Highway Safety statystyki wykazały, że np. w roku 2000 miało miejsce 16,4 miliona wypadków samochodowych, z czego 82% stanowiły kolizje drogowe niestwarzające ryzyka dla pasażerów. Podkreślono, że 70% kosztów napraw związanych jest z kolizjami następującymi przy małej prędkości pojazdu.

Elementem, który w pojazdach samochodowych jako pierwszy ma kontakt z przeszkodą podczas uderzeń przednich oraz tylnych, jest zewnętrzny element zderzaka. W dzisiejszych czasach wykonywany jest on z tworzywa sztucznego, w przeszłości natomiast był to stalowy element tłoczony. Badania obejmujące wycenę szkód powypadkowych będących następstwami kolizji występujących przy małej prędkości pojazdów wskazują, że koszty naprawy nadwozi mogą się różnić nawet ponad pięciokrotnie w zależności od ich odporności na uszkodzenia mechaniczne. Tworzony w ten sposób kosztorys uwzględniany jest przez firmy ubezpieczeniowe podczas wyceny wysokości stawki ubezpieczeniowej. Warto podkreślić, że testy zderzeniowe prowadzone przy niskich prędkościach to również element homologacji pojazdów.

Co interesujące, brakuje uniwersalnej standaryzacji w zakresie interpretacji testów zderzeniowych przeprowadzanych przy małych prędkościach. Wynikiem tego jest nie tylko różna prędkość badanego pojazdu (lub bariery), ale także odmienny schemat badania. Z tego powodu warto przeanalizować dostępne na rynku procedury badawcze.



Rys. 1. Przykładowy test porównawczy uderzenia czołowego przy prędkości 6 mph wykonany przez firmę Thatcham. Do testu użyto bariery uderzeniowej oraz procedur testowych zdefiniowanych przez firmę RCAR. Testowane pojazdy: a) Toyota Auris, której koszty naprawy powypadkowej oszacowano na 810 dolarów; b) Subaru Impreza, którego koszty naprawy wyniosły 4150 dolarów (źródło: Thatcham)

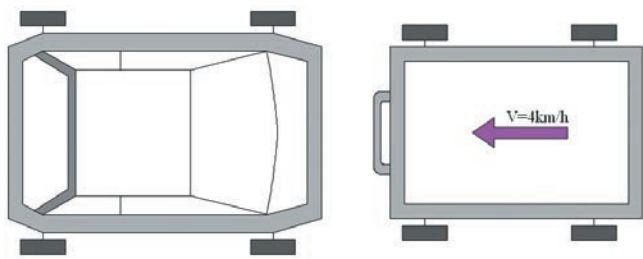
W uczelnianych warunkach laboratoryjnych rzadko istnieje możliwość przeprowadzania takich testów zderzeniowych. Dlatego warto zwrócić uwagę na alternatywne badania stanowiskowe, z których przeprowadzaniem mogą się wiązać pewne wątpliwości, warte omówienia.

ECE R42

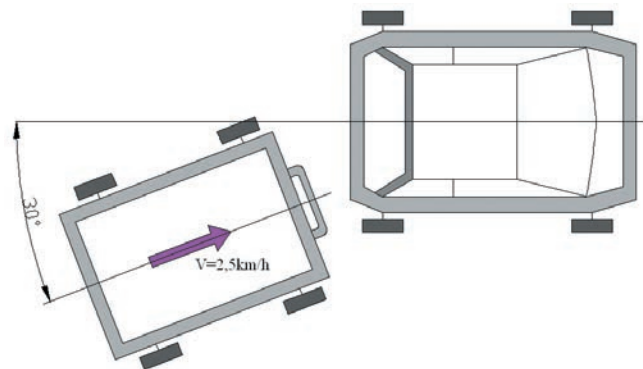
ECE R42 to jeden z regulaminów znajdujących się na międzynarodowej (europejskiej) liście testów homologacyjnych. Pełny tytuł regulaminu to: „Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to their front and rear protective devices (bumpers, etc.)” [8]. Regulamin zakłada, że ochrona pojazdu samochodowego jest zapewniana przede wszystkim przez elementy zewnętrzne mające bezpośredni kontakt z napotkaną przez pojazd przeszkodą. Test ma na celu zobrazowanie potencjalnych zniszczeń, będących wynikiem kolizji przy małej prędkości. Wszystkie elementy pojazdu powinny dobrze znosić wstrząsy powstałe na skutek przeprowadzanych badań. Niedozwolone jest też wystąpienie poważnej szkody, która uniemożliwiłaby dalszą eksploatację pojazdu.

Element uderzający może być zamontowany na poruszającym się poziomo układzie pomocniczym lub stanowić część wahadła. Regulamin określa dwa rodzaje testu: czołowy oraz narożnikowy. Test czołowy obejmuje dwa uderzenia w zderzak przedni oraz dwa uderzenia w zderzak tylny. Jedno z uderzeń odpowiada pojazdowi nieobciążonemu, drugie – obciążonemu. Testowany pojazd powinien zostać uderzony przy prędkości 4 km/h. W przypadku testu narożnikowego uderzenie przeprowadza się na obu stronach pojazdu. Powinno ono nastąpić pod kątem 30° przy prędkości 2,5 km/h.

* Dr inż. Tomasz Hinz (tomekhinz@wp.pl), dr hab. inż. Ryszard Lewkowicz prof. PK (ryszard.lewkowicz@tu.koszalin.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej



Rys. 2. Schemat uderzenia – test czołowy według ECE R42



Rys. 3. Schemat uderzenia – test narożnikowy według ECE R42

FMVSS 581

Zdefiniowany przez FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) regulamin homologacyjny nr 581 „Bumper Standard” to amerykański odpowiednik europejskiego testu ECE R42 [9]. Trzeba jednak mieć świadomość różnic pomiędzy tymi testami. W przeciwieństwie do regulaminu ECE R42 regulamin FMVSS 581 nakazuje wprowadzenie w ruch pojazdu, który następnie porusza się już tylko siłami bezwładności. Typowe jest holowanie. Gdy wszystkie szeroko zdefiniowane warunki testu zostaną spełnione, pojazd rozpędzony do prędkości 2,3 mph powinien uderzyć w ustawioną naprzeciwko przeszkodę. Zaleca się również wykonanie uderzeń bocznych z prędkością 1,3 mph. Alternatywnie testy zderzeniowe mogą być przeprowadzane z wykorzystaniem systemu wahała [3].



Rys. 4. Stanowisko badawcze w postaci wahała, służące do przeprowadzania testów homologacyjnych ECE R42 oraz FMVSS 581 (źródło: A&G Technology)

RCAR

Działania prowadzone przez organizację RCAR już od 1972 r. mają na celu wymuszenie na producentach pojazdów samochodowych poszerzenia prac konstruktorskich z zakresu rozwoju systemu zderzaków oraz ich układów

energochłonnych. Chodzi m.in. o wyeliminowanie uszkodzeń powstałych na skutek kolizji, do których nie musiało dojść. Zawsze krytycznie podchodzono do redukcji kosztów produkcji nadwozia samochodowego, jeśli objawiała się ona ingerencją w najbardziej popularny system zderzaka i eliminowała np. belkę poprzeczną, zastępując ją mniej wytrzymałymi rozwiązaniami.

Podstawowy test uderzenia czołowego obejmuje holowanie samochodu, rozpędzenie go do prędkości 10 km/h oraz uderzenie w sztywno zamocowaną przeszkodę [4,6]. Test boczny natomiast przeprowadzany jest jako dodatkowy, niemniej jego wyniki są równie ważne. Wyniki testów oraz oględzin pojazdów dowodzą, że producenci pojazdów samochodowych często nie stosują żadnych systemów, które mogłyby poprawić ochronę bocznych stref pojazdu podczas kolizji następujących przy małych prędkościach. Miękkie konstrukcje przyczyniają się niestety nierzadko do uszkodzeń elementów znajdujących się tuż za okładziną zderzaka, błotników, lamp, chłodnic oraz pokrywy komory silnika. Charakterystyczne dla tego testu jest to, że badany obiekt tylko w 15% pokrywa się z ustawioną naprzeciw przeszkodą. Uderzenie odbywa się przy prędkości 5 km/h.

Coraz większy nacisk kładzie się również na to, by wszystkie produkowane pojazdy samochodowe miały zderzaki osadzone na tej samej wysokości. Na skutek różnic w wysokości zderzaków znacznie wzrastają koszty naprawy pojazdów po wzajemnym zderzeniu [1, 5].



Rys. 5. Kompletnie stanowisko badawcze wyposażone w system bariery oraz układ holowniczy pojazdu (źródło: RCAR)



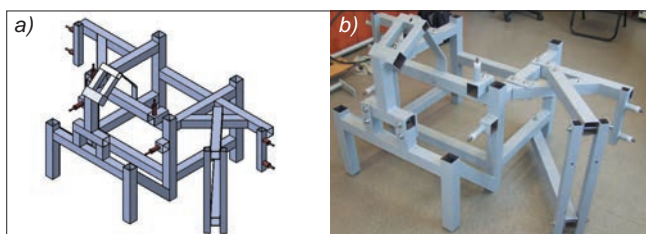
Rys. 6. Różna wysokość zderzaków w samochodach osobowych i terenowych jest istotną przyczyną wzrostu kosztów naprawy pojazdów po ich wzajemnych zderzeniach (źródło: RCAR [7])

TABLICA I. Raport organizacji IIHS: koszty naprawy wybranych pojazdów samochodowych poddanych testowi uderzenia RCAR z prędkością 10 km/h w przypadku uderzenia czołowego i 5 km/h w przypadku uderzenia narożnego (źródło: IIHS)

Marka, model, okres produkcji	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Chevrolet Aveo 2007–2011	1071 dol.	1437 dol.	1370 dol.	612 dol.
Honda Fit 2007–2013	1124 dol.	1216 dol.	3648 dol.	999 dol.
Hyundai Accent 2006–2011	3476 dol.	839 dol.	2057 dol.	831 dol.
Kia Rio 2006–2011	3701 dol.	1758 dol.	3148 dol.	773 dol.
Mini Cooper 2006–2013	2291 dol.	2637 dol.	929 dol.	743 dol.
Smart ForTwo 2008–2013	1480 dol.	663 dol.	631 dol.	507 dol.
Toyota Yaris 2007–2012	1688 dol.	1167 dol.	3345 dol.	474 dol.
Ford Escort 1981	86 dol.	0 dol.	383 dol.	0 dol.

Badania stanowiskowe

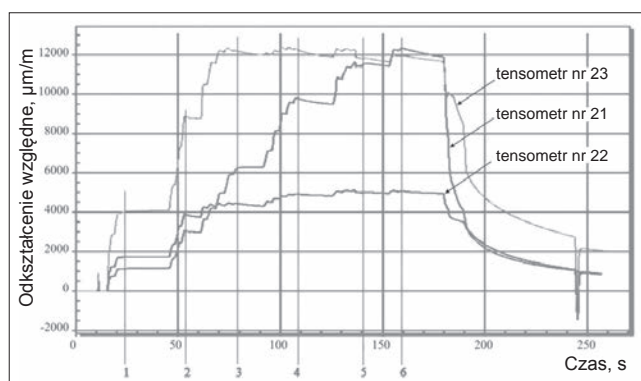
Badania stanowiskowe można przeprowadzać w sytuacji, gdy niemożliwe jest wykonanie testów tradycyjnych. Nierzadko wykorzystywane są na uczelniach technicznych oraz w laboratoriach badawczych, również tych mających powiązania z przemysłem motoryzacyjnym. W przypadku testów wytrzymałościowych zderzaków samochodowych możliwe jest zbudowanie stacjonarnego stanowiska badawczego, które przy odpowiedniej konfiguracji może służyć do analizy kilku różnych modeli badawczych (podczas badań mogą być one montowane z zastosowaniem elementów pośrednich). Niemniej wiąże się to z uwzględnieniem badanych konstrukcji jeszcze na etapie projektowania stanowiska w środowisku CAD. Kompletny projekt stanowiska badawczego powinien uwzględniać wybraną aparaturę pomiarową oraz układy wymuszające obciążenie.



Rys. 7. Projektowanie stanowiska badawczego: a) w środowisku CAD, b) w warunkach laboratoryjnych



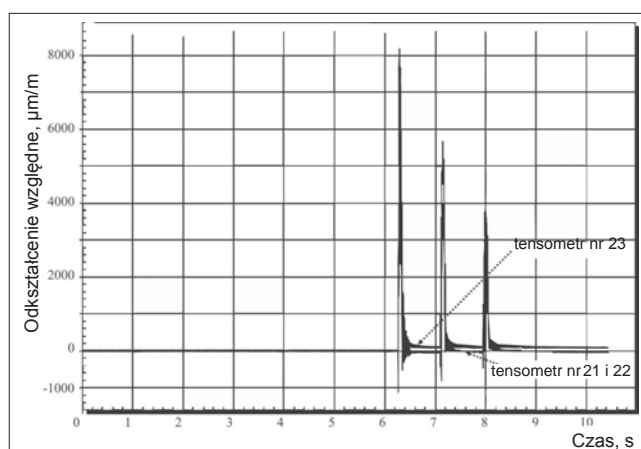
Rys. 8. Wykorzystanie siłownika hydraulicznego do obciążenia zderzaka samochodowego na stacjonarnym stanowisku badawczym



Rys. 9. Przykładowe wyniki odkształceń względnych uzyskanych metodą tensometrii oporowej w badaniu z obciążaniem układu o charakterze statycznym

TABLICA II. Wartości działającej siły oraz wybrane wartości obliczeniowe dla odkształceń względnych zaprezentowanych na rys. 9

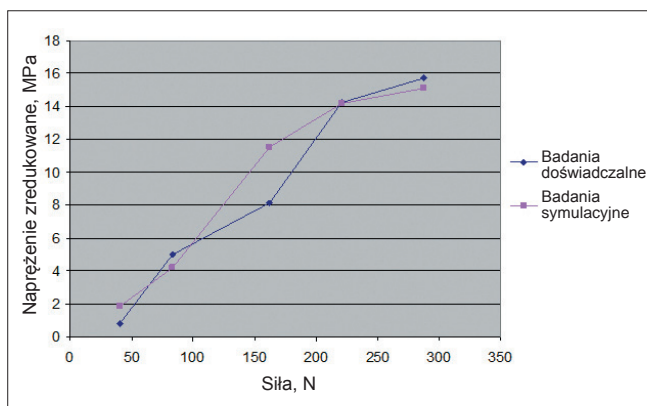
Próba	Czas próby, s	Wartość działającej siły, N	Maksymalne odkształcenie podczas obciążenia, $\mu\text{m/m}$			Naprężenie główne σ_1 , MPa	Naprężenie główne σ_2 , MPa	Naprężenie zredukowane według hipotezy Hubera-Misesa, MPa
			Tensometr 21	Tensometr 22	Tensometr 23			
1	23,5	40	1123	1719	3997	3,86	0,43	3,66
2	54,4	83	3023	3868	814	8,76	1,63	8,07
3	79,9	162	6253	4428	12161	12,61	3,50	11,27
4	109,6	221	9744	4908	12209	14,66	7,44	12,69
5	141,1	287	11534	5019	11831	15,67	9,29	13,65
6	159,4	305	12334	5068	11974	16,36	9,89	14,27



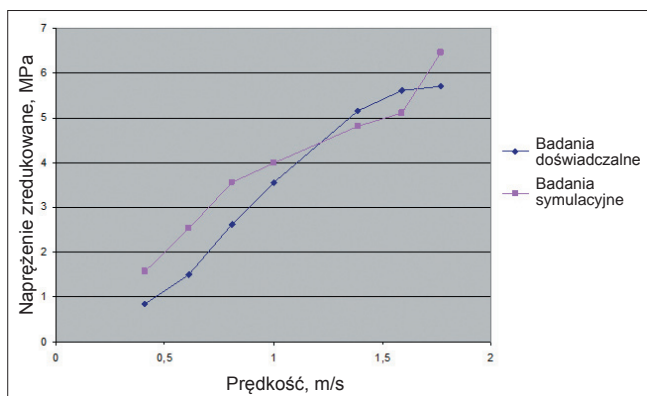
Rys. 10. Przykładowe wyniki odkształceń względnych uzyskanych metodą tensometrii oporowej w badaniu z obciążaniem układu o charakterze dynamicznym

TABLICA III. Prędkości uderzającego ciężarka oraz wybrane wartości obliczeniowe dla odkształceń względnych zaprezentowanych na rys. 10

Próba	Prędkość uderzającego ciężarka, m/s	Maksymalne odkształcenie podczas uderzenia, $\mu\text{m/m}$			Naprężenie główne σ_1 , MPa	Naprężenie główne σ_2 , MPa	Naprężenie zredukowane według hipotezy Hubera-Misesa, MPa
		Tensometr 21	Tensometr 22	Tensometr 23			
1	0,41	227	495	741	0,81	0,28	0,71
2	0,81	1229	1963	2598	3,11	1,70	2,70
3	1,20	1620	3144	3138	4,30	2,88	3,80
4	1,59	2244	3933	4068	5,51	3,80	4,89
5	1,96	2724	4247	4870	6,30	4,21	5,56
6	2,32	3856	4345	5447	7,09	5,28	6,38
7	3,28	7762	4013	8182	10,84	6,92	9,51



Rys. 11. Porównanie krzywych wyników doświadczalnych oraz symulacyjnych naprężenia zredukowanego zarejestrowanego dla przykładowych badań o charakterze statycznym



Rys. 12. Porównanie krzywych wyników doświadczalnych oraz symulacyjnych naprężenia zredukowanego zarejestrowanego dla przykładowych badań o charakterze dynamicznym

Sposób obciążania wybranych konstrukcji zależy przede wszystkim od charakteru zaplanowanych badań. W przypadku badań statycznych doskonale sprawdzają się wszelkiego rodzaju siłomierze. Alternatywnym rozwiązaniem wobec siłomierzy są układy hydrauliczne lub pneumatyczne. Do badań o charakterze dynamicznym w nawiązaniu do badań homologacyjnych polecane są różne odmiany wahadeł. Ich konstrukcja różni się przede wszystkim kształtem elementu uderzającego.

Prócz standardowego pomiaru przemieszczeń badania warto rozszerzyć o pomiar odkształceń z zastosowaniem tensometrii oporowej. Pozwala to na wnikliwą obserwację reakcji elementu na zadane obciążenie. Tak zebrane informacje mogą posłużyć w przyszłości do zaproponowania zmian konstrukcyjnych, mających na celu zwiększenie wytrzymałości badanego elementu, lub zmiany materiału.

Dosyć często stosowaną praktyką jest przeprowadzanie symulacji wytrzymałościowych jeszcze przed rozpoczęciem badań laboratoryjnych. Wbrew pozorom nie mają one na celu zastąpienia badań laboratoryjnych, a jedynie służą do stworzenia ogólnego obrazu badań. Dzięki nim można nie tylko zoptymalizować stanowisko badawcze w oparciu o np. przewidywane przemieszczenia, ale również rozmieścić czujniki tensometryczne, tak by znajdowały się w miejscach, które warto badać [2]. Wyniki badań laboratoryjnych i symulacyjnych wykazują między sobą różnice, co może wynikać choćby z budowy modeli materiałowych oraz poziomu ich uproszczenia w środowisku wirtualnym, niestałości właściwości materiałowych w całym zakresie objętości badanego materiału czy dokładności wykonania modelu numerycznego.

Wnioski

Procedury badań wytrzymałości pojazdów samochodowych w aspekcie ich odporności na uderzenia przeprowadzanych z niską prędkością pojazdów nie są ostatecznie ustandaryzowane. Można natomiast założyć, że opisują je dwie grupy badań. Pierwszą z nich są badania homologacyjne, gdzie prędkość, przy której zachodzi uderzenie, jest równa 4 km/h w uderzeniu czołowym oraz 2,5 km/h w uderzeniu bocznym. Druga grupa to badania mające na celu oszacowanie kosztów naprawy pojazdów. W tym przypadku na świecie stosuje się zazwyczaj prędkość 10 km/h. Podobnie można pogrupować samą procedurę przeprowadzania testów zderzeniowych. W badaniach homologacyjnych pojazd najczęściej uderzany jest przez wahadło lub ruchomą barierę. Natomiast w przypadku pozostałych grup docelowo stosowane jest holowanie pojazdu w kierunku unieruchomionej przeszkody.

Badania stanowiskowe prawdopodobnie nigdy w pełni nie zastąpią testów, w których bierze udział cały pojazd samochodowy, ale znajdują zastosowanie tam, gdzie wymagana jest analiza wytrzymałościowa pojedynczego elementu. W kontekście przeprowadzonych badań nad zewnętrznym elementem zderzaka warto podkreślić, że zarejestrowany w ten sposób obraz przemieszczeń i odkształceń może umożliwić sporządzenie dokładnego rejestru szkód powstałych w wyniku ustalonych wcześniej obciążeń, co bezpośrednio nawiązuje do idei testów zderzeniowych przeprowadzanych przy niskich prędkościach. Tak uzyskane wyniki są cennym źródłem wiedzy nie tylko o potencjalnych zniszczeniach, ale także o kosztach ich naprawy. Mimo że zastosowanie tej metody do elementów produkcyjnych da prawdopodobnie w pewnym sensie znane już wyniki, takie badanie prototypów otwiera dostęp do wiedzy, która może być wykorzystana, zanim dany element czy układ uzna się za konstrukcyjnie gotowy.

LITERATURA

1. Insurance Institute for Highway Safety. *Huge cost of mismatched bumpers*. Arlington: 2010.
2. Marzbanrad J., Alijanpour M., Kasat M.S. "Design and analysis of an automotive bumper beam in low speed frontal crashes". *Thin-Walled Structures*. 47 (2009).
3. Microsys. *Bumper Pendulum, the best solution for bumper impact testing*. Mississauga: 2012.
4. RCAR. *Bumper test. Issue 2.0*. 2010.
5. RCAR. *Informational Document regarding Effects of the Introduction of the RCAR Bumper Test. Version 1.0*. 2016.
6. RCAR. *Low speed structural crash test protocol. Issue 2.2*. 2011.
7. Research Council for Automobile Repairs. *Newsletter January 2011*. Manitoba: 2011.
8. United Nations Economic Commission for Europe. *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to their front and rear protective devices (Bumpers, etc.)*. Regulation No. 42. Genewa: 1980.
9. U.S. Department of Transportation. *Laboratory test procedure for bumper standard regulation part 581*. 1990.
10. WorldAutoSteel. *Overview of Worldwide Regulations Legislative/Consumer Crash Regulations and Insurance Ratings in Europe, USA, Japan*. 2015.