

Donata GIERCZYCKA-ZBROŹEK, Maciej ZWIERZCHOWSKI

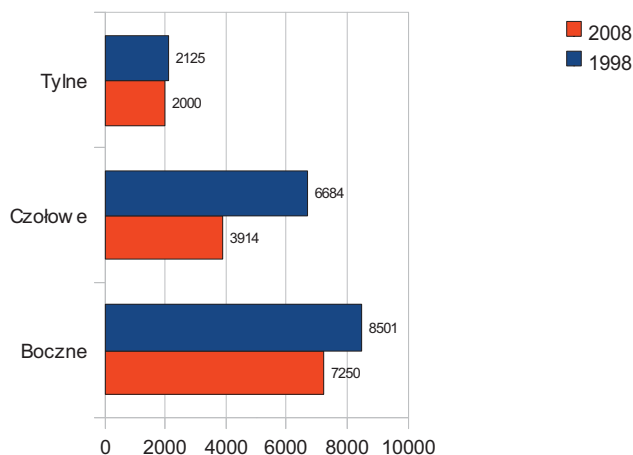
PRZESŁANKI DO UDOSKONALANIA SYSTEMÓW ZABEZPIECZEŃ BIERNYCH W ZDERZENIACH BOCZNYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienia, jakim są zderzenia boczne. Zwrócono uwagę na wyjątkowo wysoki odsetek osób powyżej 65 roku życia powodujących tego typu wypadki. Podjęto próbę wyjaśnienia możliwych przyczyn powszechnego występowania tego typu kolizji wśród osób starszych oraz zasygnalizowano tendencje demograficzne, mogące mieć wpływ na zwiększenie się zakresu problemu. W pracy przedstawiono istniejące rozwiązania z zakresu bezpieczeństwa biernego, mające na celu zminimalizowanie obrażeń w zderzeniach bocznych.

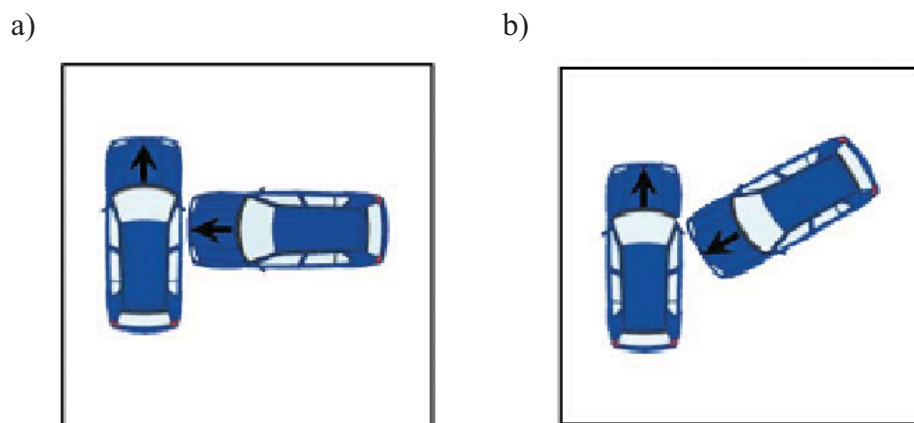
WSTĘP

Wypadki drogowe są obecnie drugą co do częstotliwości przyczyną przedwczesnej śmierci. Wśród konfiguracji kolizji mających śmiertelne skutki szczególnie duży odsetek stanowią zderzenia boczne. Odpowiedzialne są one aż za jedną trzecią wszystkich przypadków śmiertelnych w wypadkach drogowych. Podczas gdy liczba ofiar śmiertelnych w zderzeniach czołowych spada, w bocznych utrzymuje się na wysokim poziomie [27]. Oznacza to konieczność zwrócenia szczególnej uwagi na tę konfigurację wypadków (rys. 1).



Rys. 1. Liczba przypadków śmiertelnych – w tysiącach rocznie – w najczęściej spotykanych rodzajach kolizji, na podstawie statystyk NHTSA (National Highway Safety Transport Administration - Stany Zjednoczone). Porównanie lat 1998 i 2008 [27].

Mówiąc o zderzeniu bocznym rozważamy konfigurację, w której samochód uderzany jest z kierunku prostopadłego do swojej osi lub nieco skośnie (rys. 2). Z kierunkiem prostopadłym wiążą się zwykle obrażenia brzucha, klatki piersiowej i miednicy, ze skośnymi – obrażenia głowy [1-3, 7, 11, 13-15, 20, 26, 29].

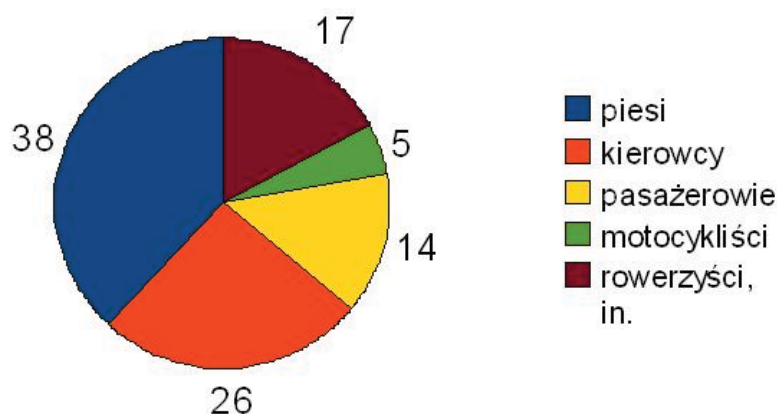


Rys. 2. Schemat konfiguracji zderzenia bocznego a) prostopadłego oraz b) skośnego [25]

Systemy zabezpieczeń biernych w tej konfiguracji kolizji mają bardzo ograniczoną przestrzeń działania – odległość między drzwiami bocznymi a pasażerem to zaledwie kilkanaście centymetrów – stąd zagadnienie to jest dużym wyzwaniem dla projektantów.

1. OSOBY STARSZE

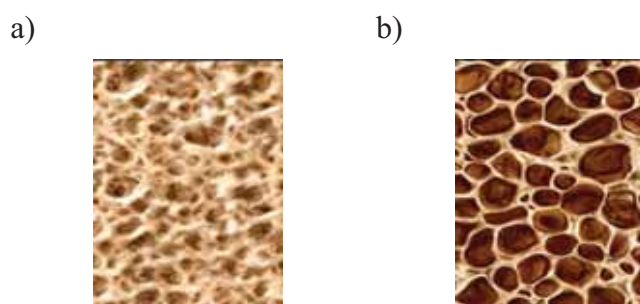
Wśród śmiertelnych ofiar zderzeń bocznych spory odsetek stanowią osoby starsze, tutaj rozumiane jako osoby powyżej 65 roku życia. Ogólnie, osoby powyżej 65 roku życia stanowią aż jedną piątą śmiertelnych ofiar wypadków drogowych [6], stąd poprawa ich bezpieczeństwa jest bardzo istotnym zagadnieniem (rys. 3).



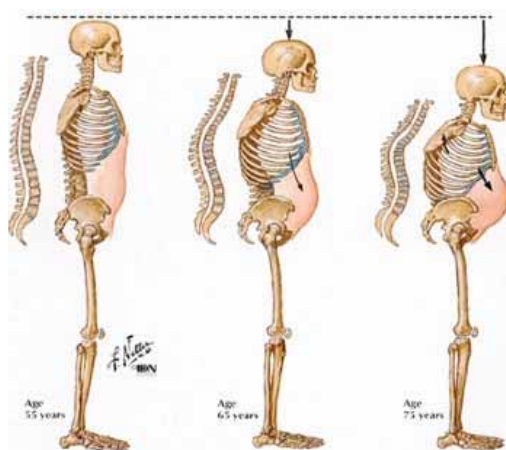
Rys. 3. Procentowy podział wypadków ze skutkiem śmiertelnym z udziałem osób starszych, na podstawie statystyk europejskich [5, 6].

Manewry opisywane jako szczególnie trudne dla starszych kierowców to skręt, zmiana pasa ruchu, włączanie się do ruchu. Często nie przestrzegane są znaki STOP [4]. Wiąże się z tym ściśle typ wypadków podawany jako najczęstszy scenariusz powstały z winy starszych kierowców – kolizje na skrzyżowaniach. Badania wykazują, że uderzenie z boku, od strony kierowcy, podczas skrętu w lewo jest typową konfiguracją wypadku powodowanego przez seniorów [7, 11, 19].

Zgodnie z badaniami statystycznymi, w Europie osoby powyżej 65 roku życia stanowią obecnie około 17% społeczeństwa. W roku 2030 stanowiąc będą już co najmniej 25% populacji [6]. Seniorzy staną się zatem – w jeszcze większym stopniu – ważnym zagadnieniem dla bezpieczeństwa w ruchu drogowym, ważnym również ze względu na ponoszone przez społeczeństwo koszty (rehabilitacja po wypadku, niezdolność do pracy czy działania samodzielnie). Osoby powyżej 65 roku życia często cierpią na chroniczne dolegliwości, obniżające ogólną sprawność organizmu, jego zdolność do regeneracji oraz odporność na przeciążenia. Wiek oraz tryb życia wpływają znacznie na osłabienie kości jako tkanki (rys. 4) oraz osłabienie struktury kostnej poprzez deformację szkieletu (rys. 5), co ma znaczenie dla odporności na bodźce biomechaniczne. Prawdopodobieństwo poważnego urazu klatki piersiowej przy tym samym obciążeniu jest trzy razy większe dla osoby starszej, niż młodego człowieka [7].



Rys. 4. a) kość zdrowa, b) kość osteoporotyczna [17].



Rys. 5. Zmiana sylwetki z wiekiem: od 55 do 75 roku życia [18].

Nakładające się na siebie skutki uboczne medykamentów lub przewlekłe choroby wieku podeszłego powodować mogą senność, rozkojarzenie, wydłużenie czasu reakcji lub jej brak w przypadku określonych bodźców [4]. Osoby starsze mają kłopot z postrzeganiem i reakcją na czerwone światła stopu – ważne w sytuacjach drogowych [16]. Skojarzenie bodźców pochodzących z różnych źródeł (światło, dźwięk, znaki drogowe, komunikaty GPS), podjęcie decyzji i sprawna reakcja, przerastają nierzadko możliwości starszych kierowców. Im bardziej złożona sytuacja drogowa, tym większe prawdopodobieństwo spowodowania wypadku przez osobę w podeszłym wieku.

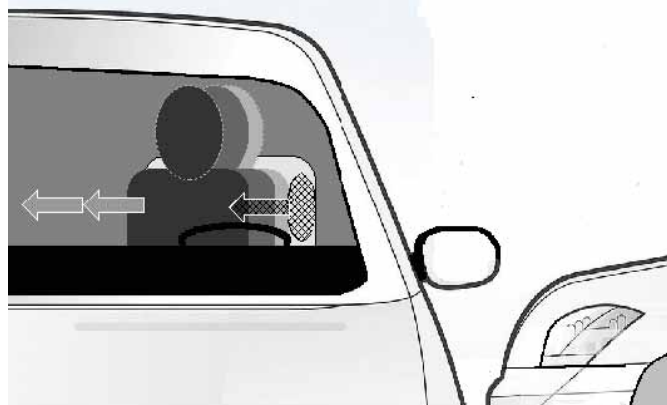
Ze względu na zwiększoną wrażliwość starzejącego się organizmu na obciążenia udarowe, zidentyfikowanie zderzenia bocznego jako jednego z najbardziej typowych scenariuszy wypadków w przypadku starszych kierowców oraz stopniowy wzrost procentowego udziału seniorów w społeczeństwie, prace nad poprawą bezpieczeństwa biernego w zderzeniach bocznych, uwzględniające specyfikę tej grupy wiekowej wydają się niezbędne.

2. ISTNIEJĄCE ROZWIĄZANIA

Wiodące na rynku firmy dostarczające urządzenia z zakresu czynnego i biernego, poświęcają bardzo wiele uwagi ochronie pasażerów w zderzeniach bocznych [28, 30, 32]. W samochodach montowane są kurtyny rozwijające się na bocznej szybie, kurtyny powietrzne zasłaniające drzwi od wewnątrz, poduszki powietrzne rozwijające się na wysokości klatki piersiowej, klatki piersiowej i głowy bądź klatki piersiowej i miednicy. Moduły poduszek umieszczane są w drzwiach lub oparciu fotela. Kształt poduszki dopasowywany jest do anatomii człowieka i określonego regionu ciała [21-23]. Oprócz poduszek powietrznych, w samochodach stosowane są również inne rozwiązania.

SIPS – *Side Impact Protection System* (system ochrony w zderzeniu bocznym), wprowadzony przez Volvo [24] – rozprowadza większość energii zderzenia równomiernie po wzmocnionych elementach nadwozia (wzmocnieniach drzwi, kolumnach i dachu). Samochody Volvo mają stalowe zbrojenia przebiegające w poprzek osi pojazdu pod podłogą, połączone klamrą między siedzeniami. W drzwiach montowane są profile stalowe. Zgodnie z założeniami systemu, klatka pojazdu zachowuje w czasie zderzenia swój kształt, chroniąc życie pasażerów. Ważną częścią systemu SIPS są poduszki i kurtyny boczne, chroniące szczególnie klatkę piersiową i głowę.

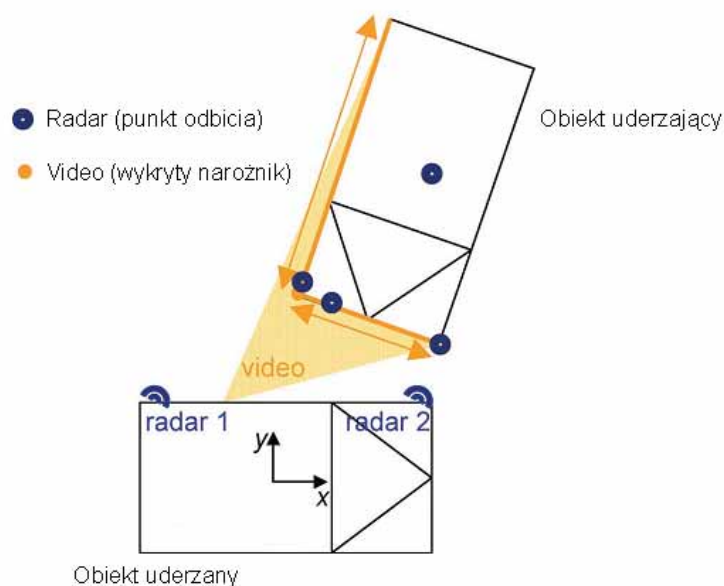
PRE-SAFE Pulse opracowany przez Daimler Chrysler [12] należy do grupy urządzeń prewencyjnych (rys. 6). W przypadku wykrycia zderzenia bocznego, którego nie da się uniknąć, system wypełnia powietrzem komory w bocznej części oparcia fotela. Oparcie odpycha tors pasażera w kierunku środka pojazdu, oddalając go tym samym od drzwi bocznych. Impuls jest w stanie przesunąć pasażera nawet o 50mm, co jest bardzo istotnym dystansem przy zderzeniu bocznym. Pasażer zaczyna przemieszczać się w kierunku, w którym poruszał się będzie dalej w czasie zderzenia, co ogranicza przeciążenia działające na jego organizm. Działanie urządzenia jest całkowicie odwracalne. Oznacza to redukcję kosztów, gdyż system nie ulega trwałemu uszkodzeniu podczas wypadku i można go wykorzystać wiele razy.



Rys. 6. Schemat działania systemu PRE-SAFE Pulse [12].

Opracowana przez Daimler Chrysler nadmuchiwana struktura metaliczna, PRE-SAFE Structure to nowy kierunek rozwoju dalszych badań nad bezpieczeństwem. W normalnych warunkach zwinięta metalowa poduszka ukryta jest w drzwiach. W razie potrzeby, gdy zderzenia bocznego nie da się uniknąć, struktura zostaje napełniona gazem do ciśnienia wewnętrznego 10-20 bar, w ciągu ułamków sekund. Wzrasta stabilność drzwi bocznych, punkt pierwszego zderzenia odsuwa się od pasażera, tym samym rośnie szansa na zminimalizowanie obrażeń.

W ramach programu APROSYS (Advanced PROtection SYStems) opracowany został złożony system, składający się z kamery stereowizyjnej, radaru oraz układu uzbrajającego dodatkowo drzwi boczne w razie wykrycia nie dającej się uniknąć kolizji (rys. 7).



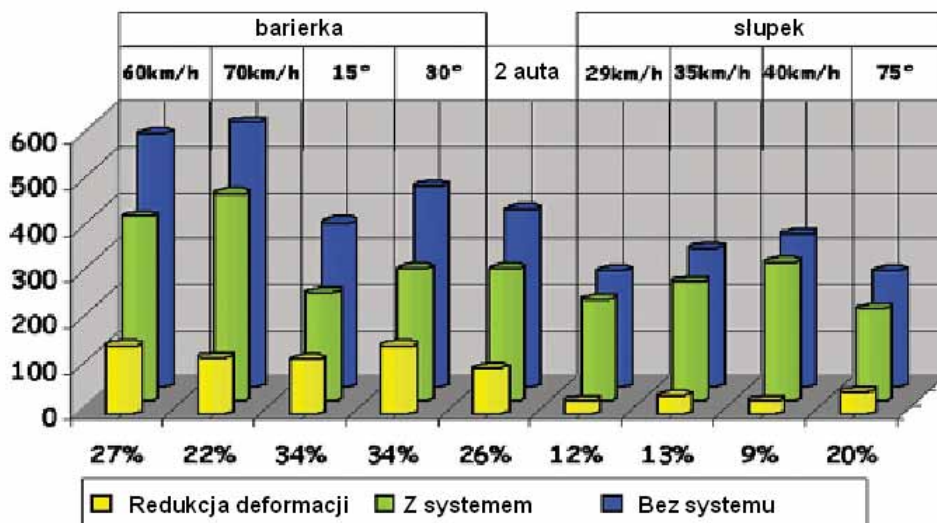
Rys. 7. Schemat działania systemu złożonego z kamery stereowizyjnej (video) i dwóch radarów, opracowanego w programie APROSYS. W razie wykrycia nie dającej się uniknąć kolizji, uzbrojony zostaje system dodatkowo wzmacniający drzwi boczne [25].

Urządzenie wzmacnia drzwi boczne, umożliwiając przeniesienie energii zderzenia na elementy nadwozia, których deformacja nie stwarza zagrożenia dla życia kierowcy. Zmniejszenie przemieszczenia drzwi bocznych nawet o 200 mm (rys. 8) zostawia pole do działania dla poduszek powietrznych czy kurtyn, zwiększając tym samym szanse na przeżycie i redukcję obrażeń. W układzie uzbrajającym wykorzystane są stopy z pamięcią kształtu [25].



Rys. 8. Wyniki symulacji numerycznych. Kolor niebieski – auto referencyjne, bez dodatkowego wzmocnienia drzwi bocznych. Kolor czerwony – auto wyposażone w opisywany system [25].

Urządzenie testowano w różnych konfiguracjach zderzenia bocznego – z barierką, słupem (*pole impact*), przy uderzeniu prostopadłym i skośnym oraz w rzeczywistej kolizji dwóch samochodów. Uzyskane wyniki potwierdziły skuteczność układu w każdym przypadku, przy czym dla zderzenia dwóch samochodów uzyskano aż 26% redukcji wgniecenia drzwi bocznych (rys. 9).



Rys. 9. Wyniki uzyskane podczas testów opracowanego systemu, w różnych konfiguracjach kolizji. Wyraźny spadek deformacji drzwi bocznych, zwiększający szanse pasażera na przeżycie. Deformacja mierzona od strony drzwi kierowcy, na wysokości klatki piersiowej (w mm) [25].

Spadek deformacji drzwi bocznych pozwala na wygospodarowanie niezbędnej dla zadziałania kurtyn i poduszek powietrznych przestrzeni. Zwiększa to szanse na redukcję obrażeń osoby w pojeździe.

3. ISTNIEJĄCE ROZWIĄZANIA

Analiza literatury i istniejących rozwiązań wskazuje, że są jeszcze obszary, które istotnie mogą wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa kierowców i pasażerów w zderzeniach bocznych. Dotyczy to zwłaszcza podniesienia absorpcji energii przez nadwozie samochodu, poprzez zastosowanie nowych rodzajów materiałów, kształtów profili oraz metod łączenia [8-10]. Zagadnienie jest istotne ze względu na niewielką przestrzeń, jaką deformujące się drzwi pojazdu pozostawiają dla typowych systemów zabezpieczeń biernych, jak na przykład kurtyny i poduszki powietrzne.

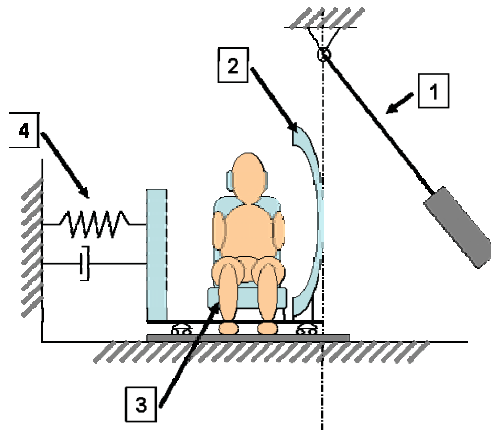
W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej od wielu lat prowadzone są badania nad podnoszeniem energochłonności konstrukcji nadwozi. Do badanych elementów należą między innymi profile cienkościenne o zmiennej sztywności (produkowane z blach o różnych własnościach wytrzymałościowych i różnych stałych materiałowych, łączonych za pomocą spawania laserowego), profile cienkościenne wypełniane pianką oraz łączone różnymi metodami – w tym poprzez klinczowanie (łączenie mechaniczne przez przetłaczanie). Kryterium wyboru optymalnej metody wytwarzania profili to stosunek pochłoniętej przez badany profil energii do jego masy, w określonym czasie dynamicznego odkształcania.

Uzyskane w poprzednich latach wyniki badań nad energochłonnością konstrukcji cienkościennych stanowią dobry punkt wyjścia do dalszych badań, zorientowanych na konkretną konfigurację jaką jest zderzenie boczne.

Obecnie w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej powstaje stanowisko pomiarowe do testów dynamicznych, umożliwiające testowanie elementów nadwozia w warunkach możliwie zbliżonych do rzeczywistego zderzenia bocznego. Urządzenie oparte jest na schemacie wahadła. Na stanowisku modelować będzie można różne rodzaje zderzeń, zróżnicowane ze względu na punkt uderzenia, kształt elementu uderzającego oraz energię zderzenia – służy temu ramię o regulowanej długości oraz wymienny bijak. Za-

stosowanie wtopionej w podstawę uniwersalnej płyty montażowej pozwoli na wykorzystanie wahadła do testowania różnych komponentów, również w zderzeniach czołowych czy udarowego testowania próbek na potrzeby innych badań. Założeniem było opracowanie jak najbardziej uniwersalnego stanowiska, mogącego służyć do szerokiego zakresu eksperymentów.

Na powstającym stanowisku testowane będą nowe elementy nadwozia wykonane z nowoczesnych stali, w konfiguracji modelującej zderzenie boczne (rys. 10). Instytut dysponuje manekinem EuroSID, dedykowanym do zderzeń bocznych. Manekin jest złożonym urządzeniem pomiarowym, umożliwiającym rejestrowanie przebiegów przyspieszeń, momentów oraz sił podczas uderzenia.



Rys. 10. Schemat konfiguracji modelującej zderzenie boczne. 1 – wahadło z bijakiem. 2 – drzwi samochodu. 3 – manekin EuroSID na fotelu samochodowym. 4 – hamulec [31].

Wstępem do testów będzie zbudowanie numerycznego modelu stanowiska w środowisku Madymo. Przeprowadzone zostaną symulacje, mające na celu wyłonienie najbardziej obiecującego rozwiązania minimalizującego kryteria obrażeń (przyspieszenie głowy, przyspieszenie klatki piersiowej manekina) przy zderzeniu bocznym. Po skonstruowaniu prototypów, wybrane rozwiązania przetestowane zostaną na stanowisku badawczym. Wyniki testów mechanicznych posłużą jako punkt wyjścia do symulacji zderzenia bocznego w pakiecie LS-Dyna, w konfiguracji zbliżonej do rzeczywistego wypadku drogowego (dwa zderzające się ze sobą samochody). Madymo i LS-Dyna są powszechnie stosowanymi w branży motoryzacyjnej pakietami obliczeniowymi.

Celem testów jest porównanie funkcjonalności i skuteczności istniejących rozwiązań z zakresu bezpieczeństwa biernego oraz próba opracowania własnego systemu pomagającego zredukować niekorzystny trend wysokiej śmiertelności wśród ofiar wypadków w wieku 65 lat i więcej. Grupa docelowa zawężona jest do kierowców oraz zderzeń bocznych, jako konfiguracji powodującej najcięższe obrażenia. Szczególną uwagę zwrócono na klatkę piersiową, jako strukturę u osób starszych bardzo wrażliwą, chroniącą ważne organy wewnętrzne.

Planuje się, że ostatecznym wynikiem badań będzie zaproponowanie nowego własnego systemu ochrony przy zderzeniu bocznym.

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono konsekwencje zderzeń bocznych z uwzględnieniem osób powyżej 65 roku życia. Omówione zostały najważniejsze możliwe przyczyny zwiększonej podatności osób starszych na obrażenia, w tym zmiany charakterystyki kości jako tkanki i jako struktury, związane ze starzeniem się. Przedstawiono najważniejsze systemy ochrony przy zderzeniach bocznych. Zwrócono uwagę na skuteczność modyfikacji energochłonności nadwozia samochodu w ograniczaniu intruzji drzwi bocznych w czasie zderzenia, a przez to

zwiększenie przestrzeni dla systemów zabezpieczeń biernych, dające szansę na redukcję obrażeń. Skrótowo opisano aktualnie prowadzone w Instytucie Technologii Maszyn i Automatyki Politechniki Wrocławskiej badania nad podnoszeniem energochłonności konstrukcji nadwozi oraz plany związane z budową nowego stanowiska badawczego.

BIBLIOGRAFIA

1. Bazarian J.J., Fisher S.G., Flesher W., Lillis R., Knox K.L., Pearson T.A.: *Lateral automobile impact and the risk of traumatic brain injury*. Annals of Emergency Medicine 2004; 44(2): 142-152.
2. Carlson E.J., Tominaga Y., Ivancic P.C., Panjabi M.M.: *Dynamic vertebral artery elongation during frontal and side impacts*. The Spine Journal 2007; 7: 222-228.
3. Dawson J.M., Khmelniker B.V., McAndrew M.P.: *Analysis of the structural behavior of the pelvis during lateral impact using the finite element method*. Accid. Anal. And Prev. 1999; 31: 109-119.
4. Dobbs A.R., Heller R.B., Schopfloch D.: *A comparative approach to identify unsafe older drivers*. Accid. Anal. And Prev. 1998; 3(3): 363-370.
5. ETSC PIN Flash 6. <http://www.etsc.eu>.
6. ETSC PIN Flash 9. <http://www.etsc.eu>.
7. Farmer C.M., Braver E.R., Mitter E.L.: *Two vehicle side impact crashes: the relationship of vehicle and crash characteristics to injury severity*. Accid. Anal. And Prev. 1997; 29(3): 399-406.
8. Grajcar A., Opiela M., Fojt-Dymara G.: *The influence of hot-working conditions on a structure of high-manganese steel*. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2009; 9(3): 49-58.
9. Gronostajski Z., Polak S.: *Quasi-static and dynamic deformation of double-hat thin-walled element of vehicle controlled body crushing zones joined by clinching*. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2008; 8(2): 57-66.
10. Kuziak R., Kawalla R., Waengler S.: *Advanced high strength steels for automotive industry*. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2008; 8(2): 103-118.
11. Laberge-Nadeau C., Bellavance F., Messier S., Vezina L., Pichette F.: *Occupant injury severity from lateral collisions: a literature review*. Journal of Safety Research 2009; 40: 427-435.
12. Materiały promocyjne Mercedes Benz ESF 2009: http://www.mercedesbenz.com/Jun09/10_001666_The_Mercedes_Benz_ESF_2009_Experimental_Safety_Vehicle_General_Overview.html
13. Mikhail J.N.: *Side impact motor vehicular crashes: patterns of injury*. International Journal of Trauma Nursing 1995; 1: 64-69.
14. Miltner E., Salwender H.J.: *Injury severity of restrained front car occupants in car-to-car side impacts*. Accid. Anal. And Prev. 1995; 27(1): 105-110.
15. Newgard C.D., Lewis R.J., Kraus J.F., McConnell K.J.: *Seat position and the risk of serious thoracoabdominal injury in lateral motor vehicle crashes*. Accid. Anal. And Prev. 2005; 37: 668-674.
16. Nishida Y.: *Driving characteristics of the elderly: risk compensation of the elderly driver from the viewpoint of reaction behavior*. JSAE Review 1999; 20: 375-380.
17. Osteoporoza - <http://www.healthjockey.com>
18. Osteoporoza u mężczyzn - <http://4pack.wordpress.com/>
19. Ryan G.A., Legge M., Rosman D.: *Age related changes in drivers' crash risk and crash type*. Accid. Anal. And Prev. 1998; 30(3): 379-387.
20. Schiff M.A., Tencer A.F., Mack C.D.: *Risk factor for pelvic fractures in lateral impact motor vehicle crashes*. Accid. Anal. And Prev. 2008; 40: 387-391.

21. Strona Autoliv Inc.: <http://www.autoliv.com>
22. Strona Takata Corporation: <http://www.takata.com>
23. Strona TRW Automotive: <http://www.trw.com>
24. Strona Volvo Cars: <http://www.volvocars.com>
25. Tandler J., Zimmerman E., Muntean V., Seipel B., Koch T., Willersinn D., Grinberg M., Mayer C., Diez M.: *A new pre-crash system for side impact protection*. International Journal of Crashworthiness 2008; 13 (6): 679-692.
26. Tencer A.F., Kaufman R., Mack C., Mock C.: *Factors affecting pelvic and thoracic forces in near-side impact crashes: a study of US-NCAP, NASS and CIREN data*. Accid. Anal. And Prev. 2005; 37: 287-293.
27. Traffic Safety Facts Data, DOT HS 811 162. NHTSA 2008. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811162.PDF>.
28. Wang D., Dong G., Zhang J., Huang S.: *Car side structure crashworthiness in pole and moving deformable barrier side impacts*. Tsinghua Science and Technology 2006; 11(6): 725-730.
29. Wang X., Abdel-Aty M.: *Analysis of left turn crashes injury severity by conflicting pattern using partial proportional odds model*. Accid. Anal. And Prev. 2008; 40: 1674-1682.
30. Winning J., Culemann U., Sonnhalter M., Pohlemann T., Rensing H.: *Wenn Sicherheit zur Gefahr wird. Petetrierendes Trauma durch Seitenaufprallschutz*. Anaesthesist 2005; 54: 679-683.
31. www.freepatentsonline.com/6990845.html
32. Yoganandan N., Pintar F.A., Zhang J., Gennarelli T.A.: *Lateral impact injuries with side airbags deployments – A descriptive study*. Accid. Anal. And Prev. 2007; 39: 22-27.

MOTIVATIONS FOR IMPROVING PASSIVE SAFETY SYSTEMS FOR SIDE CRASHES

Abstract

The paper gives a short overview of the problem of side crashes. Special attentions is focused on elderly drivers, frequently involved at-fault in this type of collisions. A description of possible reasons of causing such crashes by elderly is given and demografical tendencies, possibly increasing the range of the problem, are presented. The existing passive safety solutions minimizing injuries during side crashes and research plans of Wrocław University of Technology are also explained.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Marek Opielak

Autorzy:

mgr inż. Donata GIERCZYCKA-ZBROŹEK - Politechnika Wrocławska
dr inż. Maciej ZWIERZCHOWSKI - Politechnika Wrocławska