PROJEKTOWANIE Z MYŚLĄ O RÓWNEJ OCHRONIE OSÓB W POJEŹDZIE – WNIOSKI Z PRZESZŁOŚCI I DALSZY ROZWÓJ

Lotta Jakobsson[1,2], Thomas Broberg[1]
[1] Volvo Cars, Szwecja
[2] Chalmers University of Technology, Szwecja

Numer artykułu ESV26-196

STRESZCZENIE

W niniejszym opracowaniu przedstawiony został oparty na rzeczywistych warunkach proces opracowywania rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa osób podróżujących samochodem, wdrożony ponad 50 lat temu, oraz przedstawiono analizy danych dotyczących wypadków z pięciu dekad, które pokazują jego skuteczność w zapewnianiu równej ochrony osób w pojeździe. W szczególności obejmuje to oparty na danych proces ciągłego uczenia się, stosowany w pracach nad bezpieczeństwem biernym w samochodach osobowych marki Volvo.

W bazie danych wypadków drogowych Volvo Cars, obejmującej kolizje z udziałem samochodów marki Volvo w Szwecji od 1970 r., odfiltrowano dane dotyczące osób w pojeździe korzystających z pasów bezpieczeństwa i pogrupowano je według pięciu dekad modeli samochodów, od lat 70. poprzedniego wieku do lat 2010. Ryzyko obrażeń MAIS2+ na przestrzeni lat zostało dla zilustrowania i lepszego zrozumienia kluczowych obszarów tego procesu zwanego „Circle of Life" przedstawione w kontekście działań mających na celu poprawę bezpieczeństwa samochodów.

Dane wskazują na stały spadek ryzyka odniesienia obrażeń MAIS2+, zarówno przez kobiety, jak i mężczyzn, a także przez zajmujących różne miejsca w pojeździe oraz uczestniczących w różnych rodzajach wypadków. Przykładami są wczesne rozwiązania dotyczące bezpieczeństwa na tylnych siedzeniach, dzięki którym znajdujący się tam pasażerowie byli traktowani na równi z osobami na przednich siedzeniach, znaczne zmniejszenie liczby urazów MAIS2+ w zderzeniach samochodów z dużymi zwierzętami oraz ulepszenia w zakresie ochrony przed zderzeniami bocznymi wprowadzone w latach 90., które znacznie zmniejszyły ryzyko urazów MAIS2+ zarówno u osób po stronie zderzenia, jak i po stronie przeciwnej. Na przestrzeni lat nastąpiła zmiana: wcześniej największy względny udział w urazach o stopniu ciężkości MAIS2+ miały zderzenia czołowe i boczne, natomiast ostatnio największy udział mają wypadki wielokrotne.

Wykazano skuteczność modelu „Circle of Life" – opartego na rzeczywistych warunkach i zorientowanego na człowieka – którego celem jest zrozumienie mechanizmów powstawania urazów, określenie zasad ochrony oraz skupienie się na najbardziej narażonych grupach, w połączeniu ze zrozumieniem rozkładu ryzyka i narażenia. Dzięki temu, że omawiany proces roboczy stanowi odpowiedź na jeszcze większe wymagania dotyczące odporności, wynikające z przyszłych wyzwań związanych z coraz bardziej nietypowymi przypadkami, złożonymi wypadkami i rosnącą różnorodnością osób podróżujących pojazdami, może on stanowić wsparcie w dalszych działaniach.

Słowa kluczowe: ochrona osób w samochodzie, rzeczywiste wypadki, proces opracowywania rozwiązań bezpieczeństwa, analiza wypadków, równa ochrona

WPROWADZENIE

Ochrona osób w samochodach osobowych uległa znacznej poprawie w ciągu ostatniego półwiecza. Wraz z pojawieniem się nowszych roczników modeli samochodów zmniejszyło się ryzyko zgonu [1–3], a także ryzyko obrażeń o różnym stopniu ciężkości [4, 5]. Za jeden z kilku czynników przyczyniających się do ogólnego zmniejszenia ryzyka uznano udoskonalenie pojazdów [3, 5, 6].

Ochrona osób w samochodach polega na zapewnieniu bezpieczeństwa zróżnicowanej grupie osób, które mogą być narażone na różnego rodzaju wypadki, zajmując dowolne miejsce w pojeździe i przyjmując różne pozycje ciała. Przeprowadzone na przestrzeni lat badania dotyczące zróżnicowania w odniesieniu do sytuacji wypadkowych, zajmowanego siedzenia i cech osób w pojazdach dostarczają m.in. informacji na temat względnych różnic między

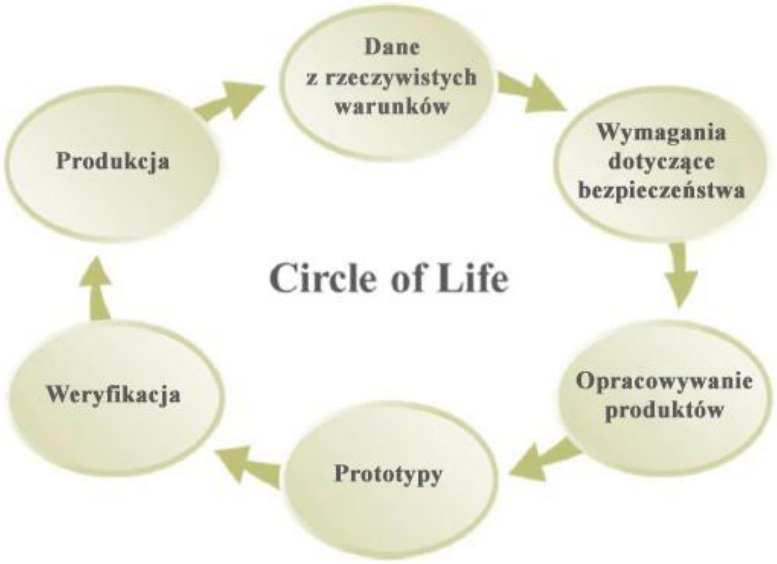
kobietami a mężczyznami. Na podstawie danych FARS dotyczących modeli samochodów z lat 1960–2020 [2] zaobserwowano wyższe ryzyko śmiertelności wśród kobiet, choć ryzyko to systematycznie maleje wraz z pojawianiem się nowszych modeli pojazdów i uzależnione jest od rodzaju wypadku, wieku osoby, a także od użycia pasów bezpieczeństwa i dostępnych systemów poprawiających bezpieczeństwo. Forman i in. [4] przeprowadzili badania dotyczące osób z zapiętymi pasami bezpieczeństwa podczas zderzeń czołowych i stwierdzili, że kobiety były bardziej narażone na urazy AIS2+ i AIS3+ w porównaniu z mężczyznami. Brumbelow i Jermakian [7] uwzględnili rodzaje pojazdów i zastosowali udoskonaloną metodę szacowania stopnia ciężkości wypadków, co doprowadziło ich do wniosku, że różnica w ryzyku jest mniejsza niż wykazano w [4]. Brumbelow [8] w swoich badaniach podkreślił, że przy próbie porównania względnego ryzyka odniesienia obrażeń przez kobiety i mężczyzn bardzo ważne jest uwzględnienie różnic typów pojazdów oraz charakteru wypadków. Biorąc pod uwagę szeroki zakres rodzajów wypadków, zmienne związane z sytuacją przed wypadkiem i samym wypadkiem oraz charakterystykę osób w pojeździe, autorzy [9] doszli do wniosku, że nie ma jednej odpowiedzi na pytanie o zwiększone lub zmniejszone prawdopodobieństwo odniesienia obrażeń przez kobiety w porównaniu z mężczyznami, ponieważ zależało ono od kilku czynników związanych z rodzajem obrażeń i ich ciężkością. Ponadto niektóre czynniki, które mogą wpływać na rzeczywisty poziom ochrony osób w pojeździe, takie jak pozycja ciała podczas siedzenia w momencie zderzenia, zazwyczaj nie są uwzględnione w dużych zbiorach danych statystycznych.

Zapewnienie kompleksowej ochrony osób w samochodzie stanowi duże wyzwanie. Bohlin i in. [10] sformułowali to w następujący sposób: „*Chociaż osoby w samochodzie stanowią grupę, każdą z nich należy jednak traktować indywidualnie, uwzględniając jego/jej określone cechy. Zadaniem projektanta układu wnętrza pojazdu (packaging) jest zatem — w ramach jednej koncepcji — zapewnienie nie tylko wszystkim osobom w samochodzie, ale także każdemu z nich z osobna optymalnie bezpiecznego i wygodnego środowiska podróży*”. Takie zorientowane na człowieka podejście podkreśla, że podstawą ochrony osób w samochodzie jest ich poziom tolerancji urazów. Jakobsson i in. [11] wyjaśnili ponadto, że podejście to uwzględnia potrzeby osób w pojeździe w zależności od tego, kim są, w jakiej pozycji siedzą i jakie siły na nie oddziałują. Równa ochrona osób oznacza, że uwzględnia się osoby o różnych gabarytach, w różnym wieku i różnej płci, zajmujące różne miejsca w pojeździe, przyjmujące różne pozycje siedzące oraz narażone na różnorodne sytuacje wypadkowe. Wypadki w rzeczywistych warunkach z natury rzeczy obejmują bardzo szeroki wachlarz różnych rodzajów kolizji i indywidualnych różnic, co z kolei w naturalny sposób może stanowić bogate źródło wiedzy i motywację do zapewnienia równej ochrony osób w samochodzie.

Celem badania było przeanalizowanie istniejącego procesu roboczego w oparciu o dotychczasowe doświadczenia oraz ocena jego przydatności w przyszłości; miało ono na celu przedstawienie i omówienie, w jaki sposób ten zorientowany na człowieka i oparty na rzeczywistych warunkach proces opracowywania rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa w samochodzie może zapewnić równą ochronę wszystkim osobom w pojeździe. Osiągnięto to poprzez zbadanie wpływu ochrony osób na przestrzeni lat w kontekście postępów w dziedzinie bezpieczeństwa samochodów, wykorzystując pewną próbę modeli samochodów, w przypadku których postępy w zakresie projektowania systemów bezpieczeństwa są dobrze znane, a dane dotyczące zderzeń gromadzono w spójny sposób przez 50 lat.

METODY

W 1970 r. utworzono ustrukturyzowaną bazę danych dotyczącą samochodów marki Volvo, które uczestniczyły w wypadkach w Szwecji [12]. W tym samym czasie firma Volvo wdrożyła proces opracowywania rozwiązań z zakresu bezpieczeństwa samochodów o nazwie „Circle of Life”, charakteryzujący się całościowym podejściem opartym na wiedzy zdobytej podczas rzeczywistych wypadków [13]. Proces „Circle of Life” (Cykl życia) stanowi nieprzerwany obieg informacji pochodzących z rzeczywistych wypadków, przekształcanych w wymagania bezpieczeństwa i metody badawcze, który jest wykorzystywany począwszy od procesu projektowania pojazdów poprzez tworzenie prototypów, weryfikację i produkcję, aż po dane z rzeczywistych warunków użytkowania, rysunek 1. Od tamtej pory trwa gromadzenie danych i realizacja procesu roboczego.



Rysunek 1. „Circle of Life" – proces opracowywania rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa samochodów, charakteryzujący się całościowym podejściem opartym na wiedzy zdobytej na podstawie rzeczywistych wypadków.

Ważnym elementem procesu „Circle of Life" jest określenie mechanizmów powstawania obrażeń oraz ustalenie zasad bezpieczeństwa na podstawie wniosków wyciągniętych w oparciu o dane z rzeczywistych wypadków. Stanowi to podstawę działań mających na celu poprawę bezpieczeństwa samochodów. Kolejnym obszarem jest możliwość powiązania danych z rzeczywistych wypadków z danymi laboratoryjnymi przy użyciu metod uwzględniających narażenie [14,15]. Metody te zapewniają kompleksową perspektywę i pomagają ustalić priorytety w oparciu o największy potencjał ograniczenia liczby urazów. Isaksson Hellman i Norin [16] przedstawili niektóre efekty wdrożenia tego procesu, podsumowując dane z pierwszych trzydziestu lat. Dane wskazują na zmniejszenie w tym okresie obrażeń MAIS2+ wśród kierowców z zapiętymi pasami bezpieczeństwa o dwie trzecie.

W niniejszym badaniu analizowany jest wpływ ochrony osób w pojeździe na przestrzeni pięciu dekad w kontekście postępów w rozwiązaniach projektowych w zakresie bezpieczeństwa samochodów, opierając się na modelach samochodów marki Volvo z lat 1970–2019, dla których znane są postępy w zakresie rozwiązań projektowych oraz dla których zebrano w spójny sposób dane dotyczące rzeczywistych wypadków drogowych.

Działania projektowe mające na celu poprawę bezpieczeństwa samochodów

Zgodnie z koncepcją procesu „Circle of Life" podjęto działania projektowe mające na celu poprawę bezpieczeństwa samochodów poprzez analizę mechanizmów powstawania obrażeń oraz zrozumienie najbardziej narażonej kombinacji cech osoby i cech wypadku. Analizy te zostały wsparte przez metody uwzględniające narażenie, które uwzględniają i oceniają różnice w ciężkości wypadku oraz charakterystyce osób znajdujących się w samochodzie. Taka metodologia pozwala przewidywać rzeczywiste osiągi różnych systemów i konfiguracji już na wczesnym etapie procesu projektowania, umożliwiając prognozowanie rzeczywistych wyników, a także uwzględnienie zróżnicowanej populacji. Pomaga to przy określaniu charakterystyk układów ochronnych i elementów wyścielających, tak aby rozwiązania były dostrojone do sytuacji, na które osoby są najbardziej narażone, i dawały największą korzyść w rzeczywistych wypadkach. Działania mające na celu poprawę bezpieczeństwa samochodów, na których skupiono się w niniejszym badaniu, stanowią przykłady ulepszeń konstrukcyjnych oraz rozwoju systemów bezpieczeństwa.

Ochrona pasażerów na tylnych siedzeniach. W samochodach marki Volvo ochrona pasażerów na tylnych siedzeniach od dawna opiera się na praktycznej wiedzy zdobytej w rzeczywistych warunkach. Trzypunktowe pasy bezpieczeństwa zostały wprowadzone jako wyposażenie standardowe na skrajnych miejscach siedzących w 1972 r., a na środkowym miejscu siedzącym w latach 1986–1992. Od 1982 roku dostępne były modele siedzeń wyposażone w wypukły profil zapobiegający zsuwaniu się osoby (profil antynurkowy). Systemy ochrony przed zderzeniami bocznymi (SIPS), wprowadzone w 1991 roku, a następnie kurtyny powietrzne (IC) w 1998 roku, przyczyniły się do zwiększenia bezpieczeństwa pasażerów siedzących na tylnych siedzeniach w przypadku zderzeń bocznych. Pasy bezpieczeństwa na tylnych siedzeniach były na przestrzeni lat udoskonalane – w 1998 roku wprowadzono napinacze jako wyposażenie standardowe, a 10 lat później – dwustopniowy ogranicznik siły napięcia, dostosowujący się do masy pasażera i intensywności zderzenia. Żadne z tych nowych rozwiązań nie wynikało z wymogów prawnych ani innych bodźców

wynikających z niezależnych testów. Wszystkie te rozwiązania wynikały z rzeczywistych potrzeb.

Zderzenia z dużymi zwierzętami Głównymi mechanizmami urazów w zderzeniach samochodów z dużymi zwierzętami, np. podczas zderzenia z łosiem, są urazy głowy, szyi i kończyn górnych spowodowane kontaktem z odkształconymi elementami dachu lub samym zwierzęciem. Ponadto drobne rany szarpane głowy, twarzy i kończyn górnych powstają często głównie w wyniku uderzenia odłamkami szkła [17]. Najbardziej narażone są osoby na przednich siedzeniach. W latach 80. opracowano metodę badawczą wykorzystującą manekiny dużych zwierząt [18]. Za pomocą tej metody badawczej można symulować typowe zderzenia samochodów z dużymi zwierzętami. Mechanizmy powstawania obrażeń u osób w pojeździe można badać poprzez ocenę właściwości konstrukcyjnych, takich jak maksymalna penetracja dynamiczna, w połączeniu z kinematyką i reakcjami w manekinie testowym. W kolejnych dziesięcioleciach właściwości konstrukcyjne poprzeczki dachowej i słupków A zostały jeszcze bardziej poprawione, a efekt ten wykazano w pracy [17], w której porównano dwie generacje pojazdów.

Zderzenia czołowe Postępy w zakresie bezpieczeństwa przy zderzeniach czołowych obejmują konstrukcję przedniej części pojazdu, udoskonalone technologie pasów bezpieczeństwa, wprowadzenie i udoskonalenie poduszek powietrznych, bezpieczne (składane) konstrukcje kolumn kierowniczych oraz udoskonalone konstrukcje siedzeń. Przednie poduszki powietrzne wprowadzono pod koniec lat 80., a do 1994 r. niemal każdy model samochodu był wyposażony w poduszkę powietrzną kierowcy [16]. Składane kolumny kierownicze wprowadzono w 1973 roku, a rok później pojawiła się ich udoskonalona wersja wielostopniowa. Pasy bezpieczeństwa były nieustannie udoskonalane – w 1987 roku wprowadzono napinacz pierwszej generacji, a na przestrzeni lat wyposażenie to było dalej udoskonalane. W latach 70. i 80. włożono wiele wysiłku w udoskonalenie elementów konstrukcyjnych przedniej części samochodu [13]. W nowych modelach samochodów z lat 90. wprowadzono zmiany konstrukcyjne mające wpływ na bezpieczeństwo przy zderzeniach czołowych z niewielkim pokryciem (obrysowych) [19]. Dwadzieścia lat później w pracy [20] podsumowano rzeczywisty poziom ochrony zapewniany przez poszczególne generacje samochodów wyposażonych w te udoskonalone rozwiązania konstrukcyjne oraz pozbawionych ich, przedstawiając dane dotyczące zmniejszenia liczby urazów o stopniu ciężkości MAIS2+ zarówno w przypadku zderzeń czołowych z pełnym pokryciem (pełną szerokością), jak i zderzeń czołowych z mniejszym pokryciem. Takie udoskonalenia konstrukcyjne pomagają ograniczyć penetrację elementów konstrukcyjnych do przestrzeni na stopy, a tym samym zapobiegają jednemu z mechanizmów powstawania urazów kończyn dolnych. Jednak pod koniec lat 80. urazy kończyn dolnych AIS2+ nadal występowały stosunkowo często, w związku z czym na podstawie rzeczywistych wypadków zbadano mechanizmy powstawania tych urazów, a wytyczne dotyczące ochrony zostały podsumowane i uwzględnione w samochodach nowej generacji. Określono ogólne wytyczne projektowe dotyczące następujących obszarów: geometrii, przyspieszenia, pedałów oraz penetracji [21]. Systemy bezpieczeństwa zgodne z tymi wytycznymi zaczęto wprowadzać w modelach z lat 90. i późniejszych. Niedawno podsumowano rzeczywistą skuteczność ochrony zapewnianej przez poszczególne generacje samochodów, zarówno wyposażone w te rozwiązania, jak i bez nich, wykazując zmniejszenie ryzyka urazów AIS2+ stóp, kostek i nóg o około 60% [22].

Zderzenia boczne Działania mające na celu poprawę bezpieczeństwa oraz przesłanki stosowania systemów ochrony osób przed skutkami zderzeń bocznych w samochodach marki Volvo zostały opisane w kilku opracowaniach. Pierwszym etapem, zgodnie z koncepcją „Circle of Life", było określenie mechanizmów powstawania obrażeń poprzez analizę rzeczywistych wypadków [23]. Wśród zastosowanych rozwiązań znajduje się specjalna konstrukcja chroniąca przed zderzeniami bocznymi, zwana SIPS – Side Impact Protection System, wprowadzona w 1991 r. [24], wprowadzona w 1994 roku pierwsza w świecie boczna poduszka powietrzna chroniąca tułów, zwana SIPSbag [25], oraz pierwsza kurtyna powietrzna (IC) w 1998 r. [26].

Działania mające na celu poprawę bezpieczeństwa były nakierowane głównie na osoby znajdujące się po stronie uderzenia (stronie bliższej). Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na powstawanie urazów oraz wytycznymi zapewnienia bezpieczeństwa były: zmniejszenie prędkości uderzenia w osobę w pojeździe, zapewnienie równomiernego rozłożenia sił oddziałujących na ciało oraz skuteczne podparcie głowy, a także zminimalizowanie samej penetracji elementów konstrukcyjnych [23, 24]. W rezultacie opracowano konstrukcję, w której obciążenia rozkładane są wokół pasażera, a energia pochłaniana jest w innych miejscach (SIPS), przy czym dodatkowy efekt amortyzujący zapewnia poduszka SIPSbag, a obszar oddziaływania potłuczonego szkła szyby zasłania kurtyna powietrzna (IC), co pomaga utrzymać głowę i kończyny wewnątrz pojazdu oraz amortyzować ewentualne uderzenia głową o elementy z przeciwnej strony.

Udoskonalenia konstrukcyjne dotyczyły również bezpieczeństwa osób po stronie nieobjętej uderzeniem (po przeciwnej stronie), głównie poprzez uwzględnienie jednego z głównych mechanizmów powodujących u nich obrażenia, jakim są

uderzenia we wnikającą do wewnątrz (penetrującą) konstrukcję.

W ostatnich latach osiągnięto dalszy postęp w oparciu o nowe badania danych z rzeczywistych zdarzeń, mające na celu zidentyfikowanie dodatkowych mechanizmów powstawania urazów, które należy uwzględnić. Efektem tego są m.in. ulepszone czujniki pozwalające na aktywowanie kurtyny powietrznej (IC) w szerszym zakresie zderzeń bocznych po stronie bliższej, tzw. zderzeń bocznych typu L [27].

Analiza danych rzeczywistych wypadków

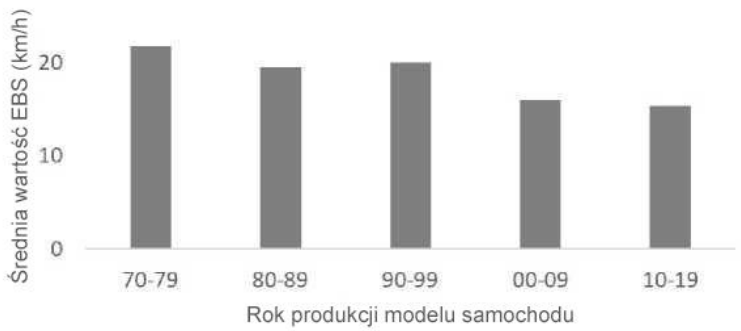
Baza danych wypadków drogowych Volvo Cars (VCTAD) zawiera dane dotyczące wypadków drogowych, do których doszło w Szwecji z udziałem samochodów marki Volvo od 1970 roku. Obecnie zbiór danych obejmuje wypadki, które miały miejsce do 2021 roku, w których uczestniczyło łącznie 50 950 samochodów, a liczba osób znajdujących się w pojazdach wynosiła 83 840.

Volvia (If P&C Insurance) przekazuje powiadomienia dotyczące samochodów uczestniczących w wypadkach, w przypadku których szacunkowe koszty naprawy przekraczają określony próg. Wszystkie samochody marki Volvo są ubezpieczone w firmie Volvia co najmniej przez pierwsze trzy lata od daty rejestracji. Zdjęcia i dane techniczne samochodów są przekazywane Zespołowi ds. badań wypadków firmy Volvo Cars. Zespół firmy Volvo Cars wysyła do właściciela samochodu szczegółowy kwestionariusz w celu zebrania informacji dotyczących wypadku, samochodu oraz osób znajdujących się w pojeździe. Informacje te obejmują okoliczności wypadku, np. warunki pogodowe, stan drogi, obowiązujące ograniczenia prędkości, przebieg zdarzeń oraz obiekty, z którymi doszło do zderzenia. Przykładowe dane dotyczące osób znajdujących się w pojeździe obejmują wiek, płeć, wzrost, wagę, pozycję siedzenia, używanie pasów bezpieczeństwa oraz status obrażeń. Odsetek odpowiedzi zmieniał się na przestrzeni lat; obecnie wynosi około 30%. Ponadto dane dotyczące przypadków obejmujących ofiary śmiertelne uzupełniono o informacje pochodzące z dochodzeń rządowych.

Po uzyskaniu zgody poszkodowanych osób znajdujących się w pojeździe lekarz z zespołu Volvo Cars prosi o dostęp do ich dokumentacji medycznej i dokonuje jej kodowania. Początkowo obrażenia były klasyfikowane zgodnie z wewnętrznym systemem podziału na obszary ciała oraz skalą ciężkości obrażeń. W miarę możliwości stosowano kodowanie skali ciężkości obrażeń według skróconej skali (AIS) z 1985 r. [28], również retrospektywnie. Od roku wypadkowego 2014 wszystkie przypadki są kodowane zgodnie z podręcznikiem kodów AIS z 2015 r. [29].

Na podstawie zdjęć uszkodzonego samochodu oraz informacji dotyczących wypadku zawartych w kwestionariuszu eksperci z zespołu Volvo Cars klasyfikują odkształcenia pojazdu zgodnie z normą SAE J224 Collision Deformation Classification [Klasyfikacja odkształceń powypadkowych] [30].

Limit kosztów naprawy stosowany przy doborze i uwzględnianiu przypadków był na przestrzeni lat dostosowywany, aby odzwierciedlić stopień dotkliwości skutków i ułatwiać ich porównanie. W przypadku zderzeń czołowych poziom intensywności zderzenia szacuje się na podstawie równoważnej prędkości zderzenia ze ścianą (Equivalent Barrier Speed, EBS) [31]. Dane kodowania CDC dotyczące każdego przypadku są przekształcane w macierz energii dla zderzenia czołowego, opracowaną na podstawie wyników testów zderzeniowych dla każdego modelu samochodu. Wartość EBS oblicza się następnie na podstawie całkowitego rozproszenia energii. Na rysunku 2 przedstawiono rozkład średnich wartości EBS w podziale na roczniki modeli samochodów.



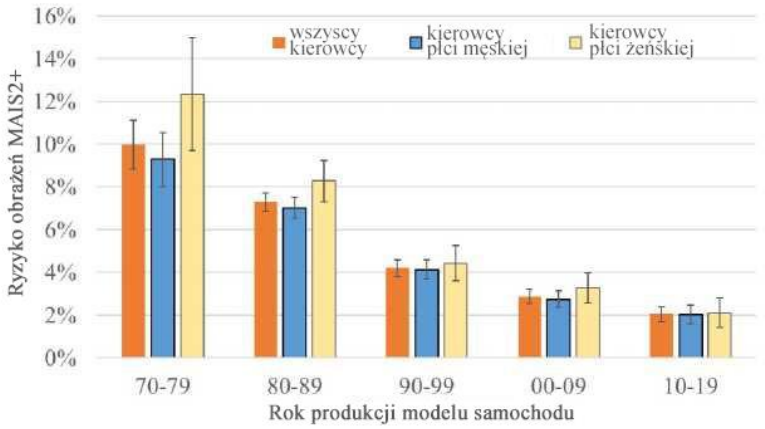
Rysunek 2. Średni poziom intensywności zderzenia, EBS (km/h), w zderzeniach czołowych w podziale na roczniki modeli samochodów.

Na potrzeby tego badania osoby znajdujące się w pojeździe podzielono na pięć grup na podstawie roku produkcji modelu samochodu. Grupy roczników modeli samochodów odpowiadają dekadom: 1970–1979, 1980–1989, 1990–1999, 2000–2009 oraz 2010–2019. Próba była ograniczona i obejmowała osoby znajdujące się w pojeździe, w wieku 13 lat lub starsze, które miały zapięte pasy bezpieczeństwa. Całkowity zbiór danych wybrany do analizy obejmował 41 620 kierowców, 12 949 pasażerów na przednich siedzeniach oraz 5 076 pasażerów na tylnych siedzeniach. Szczegółowe dane dotyczące łącznej liczby przypadków w podziale na dekady modeli samochodów, na kobiety i mężczyzn, pozycje na siedzeniach oraz rodzaje wypadków znajdują się w załączniku.

Analiza obrażeń opierała się na maksymalnym wskaźniku AIS dla poszczególnych osób lub poszczególnych obszarów ciała, odpowiadającym obrażeniom o nasileniu co najmniej umiarkowanym, określanym jako MAIS2+. Ryzyko obrażeń definiuje się jako liczbę osób z obrażeniami MAIS2+ podzieloną przez całkowitą liczbę osób znajdujących się w pojeździe, dla których znany jest wynik zdarzenia w rozpatrywanej grupie. 95-procentowe przedziały ufności przedstawiono na wykresach jako uzupełnienie analizy oraz w celu wskazania statystycznie istotnych różnic między wartościami ryzyka obrażeń. Efekt ograniczenia obrażeń (skuteczność) definiuje się jako stosunek ryzyka odniesienia obrażeń w grupie modeli samochodów z nowszych roczników do ryzyka odniesienia obrażeń w grupie starszych modeli, z granicami ufności (C_L, C_U) na poziomie 95%.

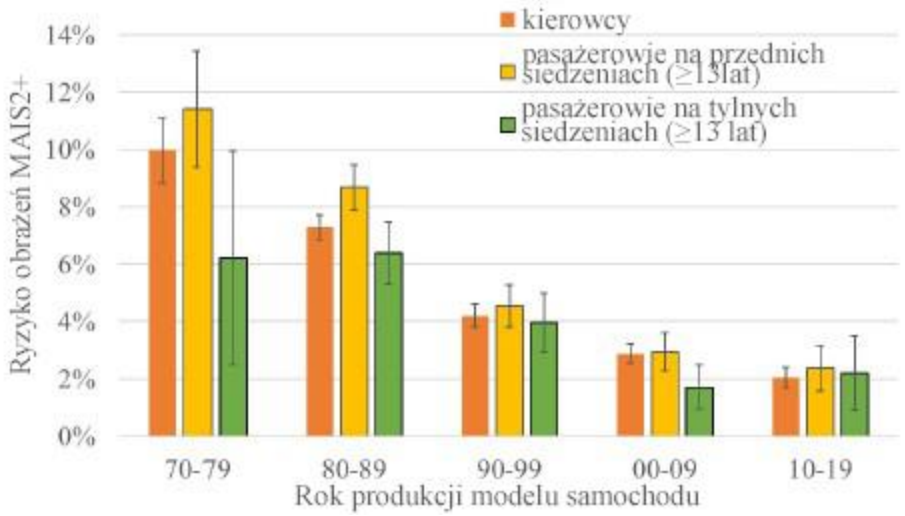
WYNIKI

Na rysunku 3 przedstawiono ryzyko odniesienia obrażeń MAIS2+ wśród kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady poszczególnych modeli samochodów. Ogólnie rzecz biorąc, w ciągu pięciu dekad odnotowano wyraźny spadek ryzyka obrażeń MAIS2+. Statystycznie istotne różnice dla wszystkich etapów obserwuje się zarówno w ujęciu ogólnym, jak i osobno w przypadku mężczyzn. Wskaźniki ryzyka obrażeń MAIS2+ dla kobiet i mężczyzn wykazują tę samą tendencję i są zbieżne, zwłaszcza dla trzech ostatnich dekad. Porównując ostatnią dekadę (2010–2019) z pierwszą (1970–1979), dla wszystkich kierowców ogólna skuteczność w ograniczaniu ryzyka obrażeń MAIS2+ wyniosła 79%, przy granicach ufności (C_L, C_U)=(75%, 83%). Odnośne wskaźniki skuteczności dla kierowców płci męskiej i żeńskiej wynoszą odpowiednio 78% (C_L, C_U)=(72%, 83%) oraz 88% (C_L, C_U)=(75%, 88%).



Rysunek 3. Ryzyko obrażeń MAIS2+, z przedziałami ufności na poziomie 95%, dla pięciu dekad modeli samochodów, dla wszystkich kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa oraz oddzielnie dla kierowców płci żeńskiej i męskiej, dla wszystkich rodzajów wypadków.
Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A1.

Na rysunku 4 porównano ryzyko obrażeń MAIS2+ w przypadku kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa oraz pasażerów na przednich i tylnych siedzeniach w wieku 13 lat i starszych, korzystających z pasów bezpieczeństwa. Ta sama tendencja mniejszej liczby obrażeń, którą zaobserwowano w przypadku kierowców, występuje również w przypadku obu grup pasażerów, jednak z większymi przedziałami ufności ze względu na mniejszą liczebność próby. Chociaż próby były niewielkie ze względu na niskie wykorzystanie pasów bezpieczeństwa na tylnych siedzeniach w pierwszych dekadach, z rysunku 4 wynika, że pasażerowie na tylnych siedzeniach, którzy mieli zapięte pasy bezpieczeństwa, cieszyli się podobnym (lub lepszym) poziomem ochrony jak osoby siedzące z przodu. Wskazuje to, że rozwiązania ochronne wprowadzone na tylnych siedzeniach od lat 70. do 90. okazały się skuteczne.

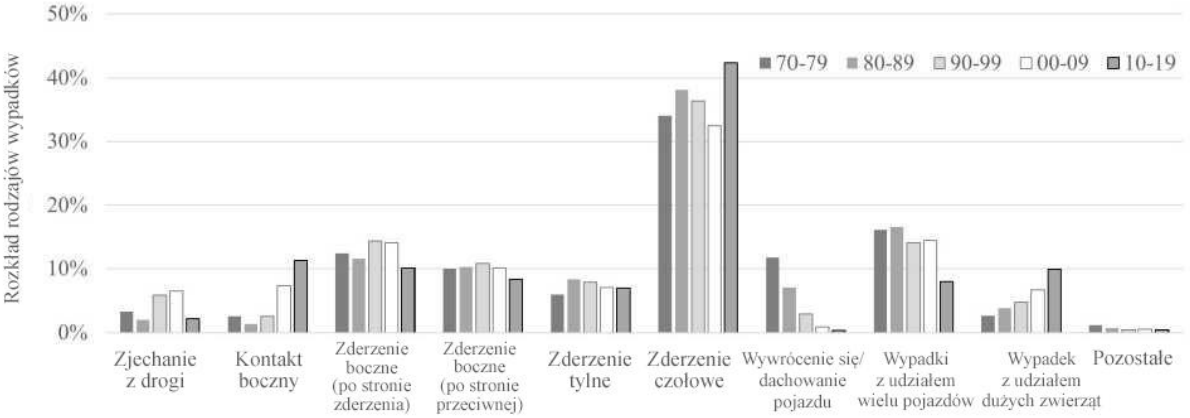


Rysunek 4. Ryzyko obrażeń MAIS2+, z przedziałami ufności na poziomie 95%, dla pięciu dekad modeli samochodów, dla wszystkich kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa oraz dla pasażerów na przednich i tylnych siedzeniach (w wieku 13 lat i starszych), we wszystkich rodzajach wypadków. Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A2.

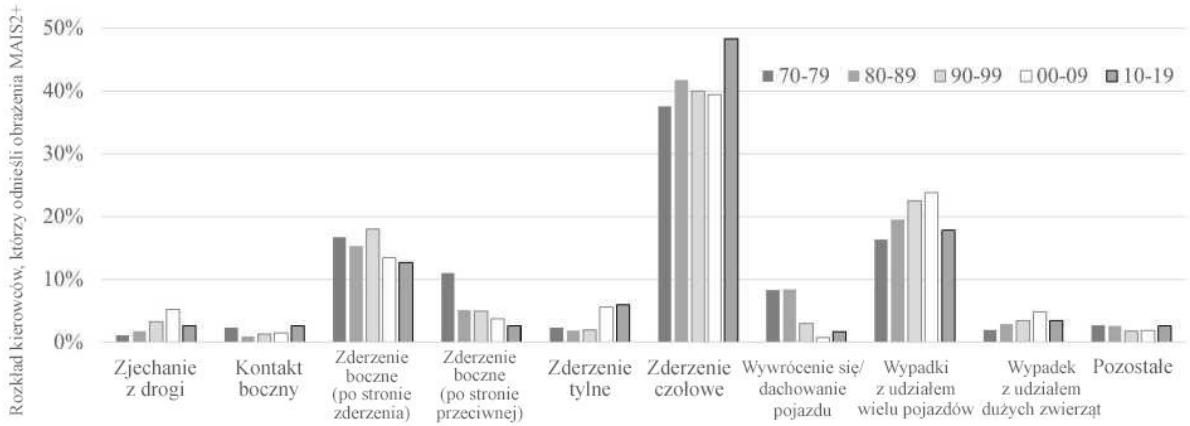
Rodzaje wypadków

Rozkład rodzajów wypadków wśród kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa w ciągu pięciu dekad przedstawiono na rysunku 5a, natomiast odpowiadający mu rozkład kierowców z obrażeniami MAIS2+ przedstawiono na rysunku 5b. Zderzenia czołowe, a także zderzenia boczne po stronie zderzenia i po stronie przeciwnej – rozpatrywane łącznie – stanowią najczęstsze rodzaje wypadków. Zderzenia czołowe i boczne również powodują stosunkowo duży odsetek obrażeń MAIS2+, przy czym tuż za nimi plasują się wypadki wielokrotne. W ostatnich dekadach najwyższe ryzyko obrażeń MAIS2+ odnotowuje się w przypadku wypadków wielokrotnych (Załącznik, Tabela A4). Za wypadki wielokrotne uznaje się dwie kolizje lub więcej albo przypadki dachowania lub wywrócenia się pojazdu połączone z jedną lub kilkoma kolizjami.

Rysunek 5a pokazuje, że odsetek wypadków z wywróceniem się pojazdu i dachowaniem znacznie się zmniejszył, natomiast w przypadku wypadków z udziałem dużych zwierząt obserwuje się odwrotną tendencję. Tendencja dotycząca wyłącznie wywrócenia się pojazdów i dachowań jest zgodna z ogólną tendencją [32] i wynika prawdopodobnie z ulepszeń podwozia, a także z późniejszego wprowadzenia systemów kontroli stabilności. Wzrost odsetka wypadków z udziałem dużych zwierząt odpowiada utrzymującemu się wysokiemu ryzyku wystąpienia takich wypadków w Szwecji. Nie obserwuje się jednak podobnego wzrostu odsetka osób z obrażeniami MAIS2+ w tego typu wypadkach (rys. 5b). Ryzyko obrażeń MAIS2+ w tych wypadkach zmieniło się z 7,0% w latach 70. do 5,4%, a następnie do 3,0% i 2,1%, aż do 0,7% w przypadku modeli z lat 10. (Załącznik, Tabela A4). To mniejsze ryzyko odniesienia obrażeń w wypadkach z udziałem dużych zwierząt odpowiada ulepszeniom w zakresie ochrony pasażerów wprowadzonym w odpowiednich rocznikach modeli samochodów.



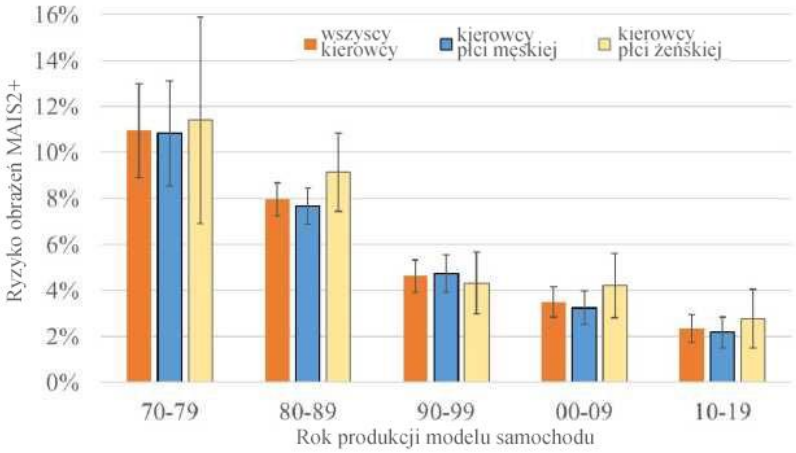
Rysunek 5a. Rozkład rodzajów wypadków (w przeliczeniu na kierowcę) dla pięciu dekad modeli samochodów. Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A3.



Rysunek 5b. Rozkład rodzajów wypadków wśród kierowców z obrażeniami MAIS2+ w podziale na pięć dekad modeli samochodów.
Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A3.

Zderzenia czołowe

Ryzyko obrażeń MAIS2+ u kierowców, którzy mieli zapięte pasy bezpieczeństwa podczas zderzeń czołowych wykazuje te same tendencje, co w przypadku uwzględnienia wszystkich rodzajów wypadków. Na rysunku 6 przedstawiono stały spadek ryzyka obrażeń MAIS2+ na przestrzeni pięciu dekad – zarówno w ujęciu ogólnym, jak i osobno dla kobiet i mężczyzn. Podobnie jak w przypadku wszystkich rodzajów wypadków (rys. 3), ogólna skuteczność w ograniczaniu ryzyka obrażeń MAIS2+ w zderzeniach czołowych dla wszystkich kierowców wynosi 79%, przy granicach ufności (C_L, C_U)=(71%, 84%), przy porównaniu ostatniej dekady (2010–2019) z pierwszą (1970–1979). Odnośne wskaźniki skuteczności dla kierowców płci męskiej i żeńskiej wynoszą odpowiednio 80% (C_L, C_U)=(71%, 86%) oraz 76% (C_L, C_U)=(56%, 87%).

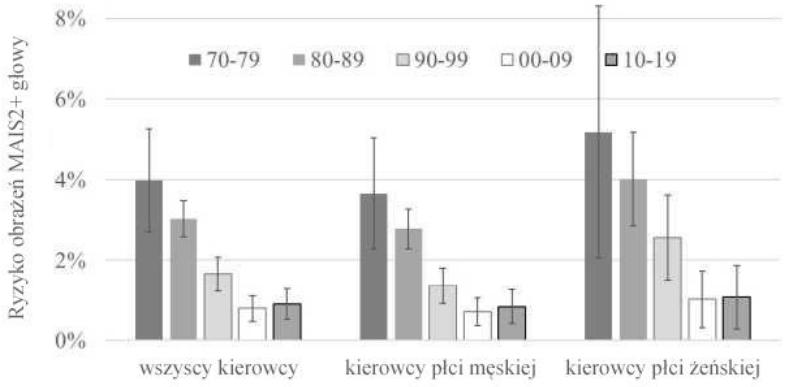


Rysunek 6. Ryzyko obrażeń MAIS2+, z przedziałami ufności na poziomie 95%, dla pięciu dekad modeli samochodów, dla wszystkich kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa oraz oddzielnie dla kierowców płci żeńskiej i męskiej, dla zderzeń czołowych.
Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A5.

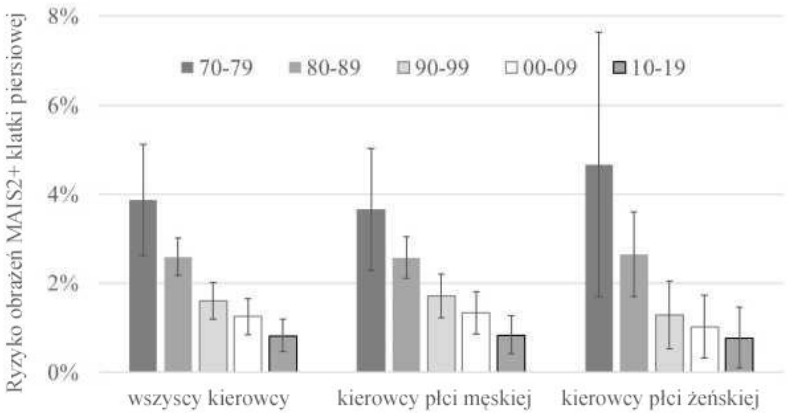
Jak widać na rysunku 6, między modelami z lat 80. a modelami z lat 90. nastąpiła statystycznie istotna zmiana. W ujęciu poszczególnych obszarów ciała wynik ten jest statystycznie istotny dla wszystkich obszarów z wyjątkiem brzucha, kręgosłupa i kończyn górnych. Na rysunkach 7a–c przedstawiono rozkład obrażeń MAIS2+ dla głowy, klatki piersiowej i kończyn dolnych u kierowców z zapiętymi pasami bezpieczeństwa podczas zderzeń czołowych.

Ulepszenia konstrukcyjne oraz poduszka powietrzna kierowcy wraz z kolumną kierownicy pochłaniającą energię to wczesne etapy rozwoju, które miały wpływ na zmniejszenie liczby obrażeń MAIS2+ głowy i klatki piersiowej w latach 70. i 80. (rys. 7a–b).

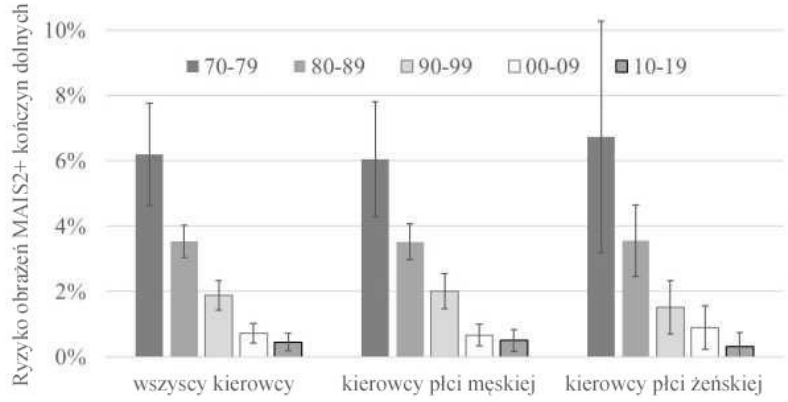
Zderzenia niewielką częścią przodu samochodu wiążą się z wysokim ryzykiem penetracji przestrzeni na nogi. Rozwiązania te, obok działań wynikających z wytycznych dotyczących obrażeń stóp, kostek i nóg [21], znajdują odzwierciedlenie na rysunku 7c w postaci spadku ryzyka obrażeń MAIS2+ kończyn dolnych między modelami samochodów z lat 80. a 2000. Dotyczy to obu płci. Kwestia ta została szerzej omówiona w [22].



Rysunek 7a. Ryzyko obrażeń MAIS2+ głowy, z przedziałami ufności na poziomie 95%, dla pięciu dekad modeli samochodów, dla wszystkich kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa oraz oddzielnie dla kierowców płci żeńskiej i męskiej, dla zderzeń czołowych.
Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A6.



Rysunek 7b. Ryzyko obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej, z przedziałami ufności na poziomie 95%, dla pięciu dekad modeli samochodów, dla wszystkich kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa oraz oddzielnie dla kierowców płci żeńskiej i męskiej, dla zderzeń czołowych.
Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A7.

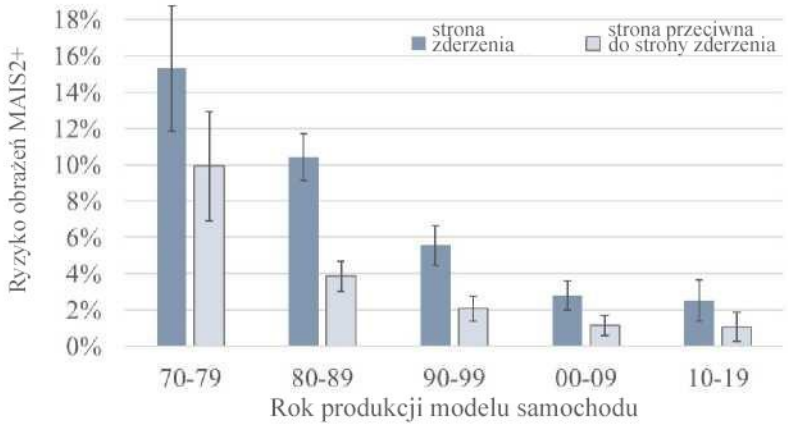


Rysunek 7c. Ryzyko obrażeń MAIS2+ kończyn dolnych, z przedziałami ufności na poziomie 95%, dla pięciu dekad modeli samochodów, dla wszystkich kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa oraz oddzielnie dla kierowców płci żeńskiej i męskiej, dla zderzeń czołowych.
Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A8.

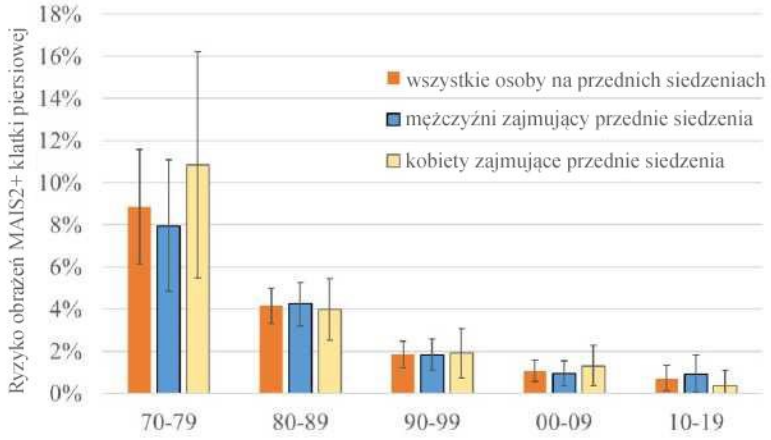
Zderzenia boczne

W analizie zderzeń bocznych, kierowców i pasażerów na przednich siedzeniach traktuje się łącznie jako osoby zajmujące przednie siedzenia i analizuje się pod kątem tego, czy w momencie zderzenia siedzieli po stronie po której nastąpiło zderzenie (po stronie zderzenia) czy po stronie przeciwnej (dalszej). Ryzyko odniesienia obrażeń MAIS2+ dla tych dwóch grup przedstawiono na rysunku 8 dla pięciu dekad modeli samochodów. W obu przypadkach na przestrzeni lat obserwuje się ogólny spadek ryzyka wystąpienia obrażeń. Porównując ostatnią dekadę (2010–2019) z pierwszą (1970–1979), dla osób zajmujących siedzenia przednie po stronie zderzenia odnotowano ogólny spadek ryzyka obrażeń MAIS2+ o 84% (73% - 90%), a dla osób zajmujących siedzenia przednie po stronie przeciwnej do strony zderzenia o 89% (76% - 95%). Na przestrzeni dekad konsekwentnie obserwuje się, że ryzyko odniesienia obrażeń jest mniejsze w przypadku osób siedzących po stronie przeciwnej do strony zderzenia, w porównaniu z osobami siedzącymi po stronie zderzenia.

W odniesieniu do zderzeń bocznych od strony zderzenia rysunek 9 przedstawia ryzyko obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej dla pięciu dekad modeli samochodów, dla wszystkich osób siedzących na przednich siedzeniach oraz osobno dla kobiet i mężczyzn. Zmniejszenie liczby obrażeń klatki piersiowej odpowiada ulepszeniom wprowadzonym w latach 90. i wyraża się istotnym spadkiem ryzyka między modelami z lat 80. a 2000.



Rysunek 8. Ryzyko obrażeń MAIS2+, z przedziałami ufności na poziomie 95%, dla pięciu dekad modeli samochodów, dla osób zajmujących siedzenia przednie, dla zderzeń bocznych odpowiednio po stronie zderzenia i po stronie przeciwnej.
Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A9.



Rysunek 9. Ryzyko obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej, z przedziałami ufności na poziomie 95%, dla pięciu dekad modeli samochodów, dla wszystkich osób zajmujących siedzenia przednie, oddzielnie dla mężczyzn i kobiet, dla zderzeń bocznych po stronie zderzenia.
Dane podstawowe w Załączniku, Tabela A10.

OMÓWIENIE

Aby zapewnić równy poziom ochrony osób podróżujących samochodami, należy uwzględnić i zająć się kwestią zróżnicowanej populacji osób oraz różnorodności wypadków. W niniejszym opracowaniu uwzględniono różne rodzaje wypadków (takie jak zderzenia czołowe, boczne oraz zderzenia samochodu z dużym zwierzęciem), pozycje siedzeń (przednie i tylne siedzenia, strona zderzenia i strona przeciwna pojazdu) oraz charakterystykę podróżujących osób, tj. płeć. Podejście takie uzasadniają podane przykłady różnych aspektów, ilustrujące wykonalność modelu „Circle of Life", prowadząc do ogólnego postępu w zakresie ochrony osób podróżujących na przestrzeni kolejnych roczników modeli samochodów, czego przykładem jest ryzyko odniesienia przez kierowcę obrażeń MAIS2+ przedstawione na rysunku 3.

Zasady modelu „Circle of Life" nie są wyjątkowe. Proces roboczy opiera się na zasadach cyklu PDSA (plan, do, study, act), zwanego również cyklem Deminga, wprowadzonego przez Edwardsa Deminga sto lat temu. Jest to proces ciągłego doskonalenia, powszechnie stosowany w branżach zajmujących się rozwojem produktów w celu poprawy jakości, z naciskiem na znaczenie badań konsumenckich jako wytycznych przy przeprojektowywaniu produktów lub usług. W kontekście ogólnych prac nad bezpieczeństwem samochodów, a w szczególności nad ochroną osób nimi podróżujących, kluczowe znaczenie ma zrozumienie mechanizmów powstawania obrażeń oraz określenie zasad ochrony opartych na tej wiedzy. Dzięki takiemu podejściu zorientowanemu na człowieka, opartemu na modelu „Circle of Life", można znaleźć nowatorskie rozwiązania i w pełni wykorzystać potencjał kolejnej generacji samochodów – w znacznie większym stopniu niż w przypadku zwykłej realizacji standardowych celów określonych w badaniach prawnych lub przeprowadzanych przez niezależne podmioty.

Z zamiarem wyciągnięcia wniosków z przeszłości i dalszego rozwoju, celem niniejszego badania było przedstawienie i omówienie procesu roboczego, który może zapewnić równą ochronę osób znajdujących się w samochodzie. Mechanizmy powstawania obrażeń oraz zasady ochrony wyprowadzone z rzeczywistych wypadków w naturalny sposób uwzględniają zróżnicowanie osób podróżujących i ich miejsc siedzących. Przykładem decyzji, do podjęcia której niezbędne było zrozumienie rzeczywistej sytuacji, było umiejscowienie bocznej poduszki powietrznej SIPSbag. Decyzja o umieszczeniu jej z boku oparcia siedzenia, a nie w panelu drzwiowym, wynikała z tego, że dzięki temu znajdowałaby się ona w lepszym miejscu dla większej liczby podróżujących o różnych rozmiarach ciała i przy wybranych przez nie ustawieniach siedzenia [25]. Dzięki takiemu zrozumieniu i podejściu można zapewnić równy poziom ochrony osób podróżujących samochodami, co ilustrują porównywalne poziomy ryzyka obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej u kobiet i mężczyzn przedstawione na rysunku 9. Podobne tendencje dotyczące kobiet i mężczyzn widać również na rysunkach 3, 6 i 7, co stanowi przykład na to, że proces oparty na danych dotyczących rzeczywistych wypadków i zorientowany na człowieka, taki jak model „Circle of Life", może w reprezentatywny sposób uwzględniać populację osób podróżujących samochodami.

Znaczny i istotny statystycznie spadek liczby obrażeń MAIS2+ w wyniku zderzeń bocznych po stronie zderzenia, odnotowany w okresie od lat 80. do lat 2000., wynika ze stopniowego wprowadzania systemów SIPS, SIPSbag i IC w latach 90. Obecne badanie może nie wykazać wpływu tych etapów wprowadzania na zmniejszenie liczby obrażeń, ponieważ dobór danych opiera się na dekadach modeli. Zamiast tego należy porównać jednorodne grupy modeli samochodów z poszczególnych generacji, które odpowiadają wprowadzonym systemom ochrony przed zderzeniami bocznymi. Uwzględniono to w [33], gdzie wykazano, że w porównaniu z sytuacją wyjściową (modele samochodów tuż przed wprowadzeniem systemu SIPS), efekt zmniejszenia liczby obrażeń MAIS2+ wynikający z zastosowania systemu SIPS wyniósł 54%, a po połączeniu systemów SIPS i SIPSbag – 61%, natomiast w przypadku pierwszej generacji samochodów wyposażonych w IC wraz z udoskonalonymi systemami SIPS i SIPSbag – 72%. System SIPS najprawdopodobniej przyczynił się również do statystycznie istotnego zmniejszenia ryzyka odniesienia obrażeń MAIS2+ przez osoby znajdujące się w samochodzie po stronie przeciwnej do strony zderzenia porównując modele samochodów z lat 80. i lat 2000. Głównymi mechanizmami powstawania obrażeń u tych osób są uderzenia o elementy wnętrza pojazdu. Szczególnie w przypadku modeli samochodów sprzed wprowadzenia systemu SIPS podczas zderzeń bocznych obserwowano znaczne odkształcenia po stronie zderzenia, co wiązało się również ze zwiększonym ryzykiem dla osoby znajdującej się po stronie przeciwnej. Inne rozwiązania dotyczące bezpieczeństwa obejmują uruchamianie napinaczy pasów bezpieczeństwa w przypadku zderzeń bocznych. Jednakże niedawne wprowadzenie poduszek powietrznych umieszczonych między przednimi fotelami nie może zostać ocenione na podstawie zbioru danych uwzględnionego w niniejszym badaniu.

W niniejszym opracowaniu kwestia ewolucji na wypadek zderzeń czołowych została omówiona jedynie pokrótce, przy czym wskazano kilka istotnych etapów rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa i ulepszeń konstrukcyjnych. Jest to prawdopodobnie rodzaj wypadku, na który największy wpływ mają wymogi prawne oraz wyniki badań przeprowadzanych przez niezależne podmioty. Ocena tego stopnia wpływu wykracza poza zakres niniejszego opracowania. Jednak przykładem procesu „Circle of Life" jest wprowadzenie już w latach 90. rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa dotyczących zderzeń niewielką częścią przodu samochodu [19], podczas gdy dopiero 20 lat później taka znormalizowana metoda została wdrożona przez amerykański Insurance Institute of Highway Safety w ramach niezależnych testów. Ma to wpływ na ryzyko obrażeń MAIS2+ przedstawione na rysunku 6, a także na ryzyko obrażeń kończyn dolnych pokazane na rysunku 7c w przedziale od lat 80. do lat 90. Kolejnym przykładem jest dalsza koncentracja na obrażeniach stóp, kostek i nóg oraz wprowadzanie szeregu rozwiązań dotyczących bezpieczeństwa w celu realizacji zasad ochrony wymienionych w [21], potwierdzonych w [22], a także widocznych na rysunku 7c w odniesieniu do okresu przejściowego między latami 90. a 2000.

Jak widać na rysunku 4, wczesne wprowadzenie rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa dla tylnych siedzeń – bez wpływu czynników zewnętrznych – pomogło utrzymać poziom ochrony pasażerów na tylnych siedzeniach na równi z poziomem ochrony osób na przednich siedzeniach, w przypadku których występowało więcej czynników zewnętrznych, takich jak wymogi prawne i oceny przeprowadzane przez niezależne podmioty. Kwestia braku czynników zewnętrznych zapewniających ochronę pasażerów na tylnych siedzeniach została omówiona w [34]. Na podstawie danych NASS autorzy [34] porównali osoby podróżujące na przednich i tylnych siedzeniach korzystające z pasów bezpieczeństwa i obliczyli stosunkowo wyższe ryzyko odniesienia obrażeń MAIS3+ wśród osób na tylnych siedzeniach (w wieku 16–50 lat) dla modeli samochodów z lat 1997–2007, natomiast dla modeli z lat 1990–1996 ryzyko to było równe, co sugeruje, że poziom ochrony pasażerów na tylnych siedzeniach nie nadążał za postępem w zakresie bezpieczeństwa osób na przednich siedzeniach.

Kolejnym przykładem ochrony pasażerów wykraczającej poza ramy znormalizowanych testów są zderzenia samochodów z dużymi zwierzętami. Szczególnie w niektórych regionach Ameryki Północnej, północnej Azji i północnej Europy często dochodzi do kolizji z dużymi zwierzętami, takimi jak łosie, jelenie i duże gatunki jeleniowatych. Istnieją również inne duże zwierzęta, takie jak konie, bydło i wielbłądy, co sprawia, że tego typu wypadki mają znaczenie w skali globalnej. W niniejszym badaniu najczęstszym rodzajem kolizji z dużymi zwierzętami były zderzenia z łosiami. Charakterystyczną cechą łosia jest wysoko położony środek ciężkości wynikający z długich i smukłych nóg. Nogi te będą miały ograniczony kontakt z przednią częścią samochodu. W związku z tym spadek prędkości jest bardzo niewielki, a większość masy ciała łosia uderza w obszar poprzeczki dachowej i słupka A. Ten szczególny przypadek obciążenia oraz potencjalne skutki urazów głowy, szyi i kończyn górnych spowodowane zderzeniem z wpadającymi do wnętrza elementami konstrukcji dachowej lub bezpośrednim zderzeniem ciała łosia z wnętrzem kabiny zostały zidentyfikowane we wczesnych badaniach opartych na danych z rzeczywistych warunków eksploatacyjnych. Od tego czasu w samochodach marki Volvo stale ulepszano właściwości konstrukcyjne poprzeczki dachowej i słupków A, a także opracowano metody badań dotyczące dużych zwierząt [17]. Postępy te znajdują odzwierciedlenie w spadku ryzyka odniesienia obrażeń według wskaźnika MAIS2+, odnotowanym w ciągu pięciu dekad, obejmujących kolejne roczniki samochodów – od 7% w latach 70. do poniżej 1% w latach 10. (Załącznik, Tabela A4).

Jednym z atutów niniejszego badania jest dostęp do zbioru danych dotyczących wypadków, gromadzonego w sposób spójny przez wszystkie te lata, obejmującego dokładnie kontrolowane modele samochodów. Na przestrzeni lat różnice między równolegle oferowanymi modelami Volvo były niewielkie. Mogą się one nieco różnić pod względem rozmiarów, masy i wysokości, ale wszystkie spełniają podobne wewnętrzne normy bezpieczeństwa, co oznacza, że wnioski z dotychczasowych doświadczeń są wdrażane w nowych modelach, niezależnie od ich wielkości czy typu.

Ograniczenia obejmują trudności związane z gromadzeniem porównywalnych danych w tak długim okresie. Jako kryterium wyboru przyjęto limit kosztów naprawy, aby odzwierciedlić stopień uszkodzeń, co umożliwiło porównanie ryzyka odniesienia obrażeń. Oczywiście z biegiem czasu dostosowanie limitu kosztów naprawy do stopnia uszkodzeń staje się coraz trudniejsze, zwłaszcza w ostatnich latach, gdy wprowadzono bardziej zaawansowane technologie, których naprawa w razie uszkodzenia może być kosztowna. Ponadto zmiany w częstotliwości występowania różnych rodzajów wypadków na przestrzeni lat zniekształcają ogólny wskaźnik stopnia uszkodzeń, czego przykładem jest spadek liczby wypadków z przewróceniem się pojazdu i dachowaniem. Wyzwaniem jest również brak dobrych wskaźników stopnia uszkodzeń dla wszystkich rodzajów wypadków w tak długim okresie, w związku z czym jedyne możliwe porównanie dla wszystkich tych lat dotyczyło zderzeń czołowych z wykorzystaniem wskaźnika EBS (rysunek 2). Jak widać, w ostatnich latach obserwuje się nieznaczny trend w kierunku zmniejszenia stopnia uszkodzeń w wyniku zderzeń czołowych, co należy uwzględnić w analizie.

Dane dotyczą wyłącznie jednej marki samochodów i wypadków, do których doszło wyłącznie w jednym kraju. W związku z tym trudno jest uogólnić wyniki na podstawie wykresów opartych na danych z rzeczywistych sytuacji. Warunki drogowe w Szwecji mogą różnić się od warunków drogowych w innych krajach. Ponadto w ciągu 50 lat, których dotyczą dane wykorzystane w niniejszym badaniu, zmieniła się również sytuacja na drogach. W związku z tym ogólna poprawa bezpieczeństwa systemu ruchu drogowego może częściowo wyjaśniać spadek liczby obrażeń odnotowany na przestrzeni lat, jednak trudno to oszacować na podstawie wykresów, ponieważ lata, w których miały miejsce wypadki, nie pokrywają się z rocznikami modeli samochodów. W niniejszym badaniu nie przedstawiono uogólnionych wniosków dotyczących bezpieczeństwa całej floty samochodowej. Z tej perspektywy można to postrzegać jako ograniczenie, jednak biorąc pod uwagę cel i zakres niniejszego badania, dobrze kontrolowany zestaw modeli samochodów stanowił warunek konieczny.

Kolejnym ograniczeniem jest to, że wyniki niniejszego badania trudno porównać z innymi zbiorami danych, ponieważ obejmują one okres ponad 50 lat oraz specyficzną konfigurację uwzględniającą konkretne modele samochodów i kraj. Korzystając z ogólnokrajowego zbioru danych ze Szwecji, autorzy [5] mogli zaobserwować podobne tendencje spadkowe w zakresie liczby urazów w niektórych okresach objętych niniejszym badaniem. Jednak, jak wspomniano w [5], duży udział samochodów marki Volvo w rynku szwedzkim, a co za tym idzie – dane dotyczące tych pojazdów, mogły mieć wpływ na wyniki.

W ciągu 50 lat objętych niniejszym badaniem podjęto istotne działania mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa pasażerów w rzeczywistych warunkach. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zakresu opracowywania i wdrażania znormalizowanych testów zderzeniowych. Jednak testy znormalizowane odzwierciedlają jedynie ograniczoną część całego spektrum sytuacji wypadkowych, charakterystyki osób znajdujących się w pojeździe oraz mechanizmów

powstawania obrażeń. Same w sobie nie wyjaśniają one znacznego i szerokiego zmniejszenia ryzyka urazów zaobserwowanego w niniejszym badaniu. Zamiast tego proces „Circle of Life", skoncentrowany na człowieku i oparty na rzeczywistych wypadkach, pomógł uwzględnić zróżnicowanie populacji oraz różnorodność wypadków. Osiągnięto to poprzez analizę mechanizmów powstawania obrażeń, a także poprzez zrozumienie i skupienie się na najbardziej narażonej kombinacji cech pasażerów i wypadku. Analizy zostały wsparte przez metody uwzględniające narażenie, które uwzględniają i oceniają różnice stopnia uszkodzeń oraz charakterystyki osób znajdujących się w pojazdach [14, 15]. Dzięki uwzględnieniu tych kombinacji oraz przestrzeganiu określonych zasad bezpieczeństwa uwzględniono również pozostałe kombinacje, co przyczyniło się do zapewnienia jednakowego poziomu ochrony pasażerów.

Dane dotyczące wypadków z ostatnich pięciu dekad wykazały stały spadek ryzyka odniesienia obrażeń o stopniu ciężkości MAIS2+, zarówno w ujęciu ogólnym, jak i osobno dla kobiet i mężczyzn. Na przykładzie działań mających na celu poprawę bezpieczeństwa samochodów oraz kontekstu, w jakim zostały one podjęte, wykazano skuteczność modelu „Circle of Life". Postępy te wynikały ze zrozumienia mechanizmów powstawania urazów oraz określenia zasad ochrony, a ich ocena została przeprowadzona przy użyciu różnorodnych metodologii.

Wśród wyzwań, jakie nas czekają, oprócz zmian demograficznych, takich jak starzenie się społeczeństwa i tendencja do wzrostu wskaźnika BMI, należy wymienić jeszcze większy nacisk na bardziej złożone wypadki, a także na bardziej nietypowe kombinacje [11]. Potwierdzają to dane przedstawione na Rysunku 5b dotyczące ostatnich dziesięcioleci, które wskazują, że kwestia ochrony pasażerów w wypadkach wielokrotnych nie była traktowana na równi z innymi rodzajami wypadków. Jest to bardzo zróżnicowana grupa wypadków, których wspólnym mianownikiem jest narażenie na więcej niż jedno uderzenie lub zdarzenie. To sprawia, że są one złożone, zróżnicowane i trudno je ocenić za pomocą pojedynczych testów. Oznacza to, że optymalizacja pod kątem kilku konkretnych rozmiarów osób w określonych pozycjach siedzących i sytuacjach wypadkowych, takich jak większość obecnych znormalizowanych testów zderzeniowych, może nie przyczynić się do postępu w dziedzinie bezpieczeństwa samochodów. Wzrost liczby nietypowych przypadków wynika ze skutecznych działań w zakresie bezpieczeństwa prowadzonych na przestrzeni lat. Aby to uwzględnić, potrzebne są narzędzia i metody pozwalające odtworzyć szerszą gamę cech charakterystycznych wypadków oraz zróżnicowanie pasażerów. Ponadto szybkie wdrażanie technologii ograniczających skutki kolizji wymaga metod i narzędzi uwzględniających całość zdarzeń związanych z wypadkami, w tym manewry oraz zdarzenia wielokrotne. To jednak zwiększa złożoność oceny bezpieczeństwa samochodów. Na szczęście informacje te można znaleźć w danych z rzeczywistych zdarzeń, a dzięki zastosowaniu zasad „Circle of Life" można stopniowo zajmować się bardziej złożonymi wypadkami w ramach prac nad bezpieczeństwem samochodów. W przyszłości, mając na celu zaspokojenie jeszcze szerszych potrzeb w zakresie solidnej ochrony różnych grup osób w różnych pozycjach siedzących i podczas różnych rodzajów wypadków, za właściwe uznaje się proces opracowywania rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa samochodowego, które wykorzystuje dane z rzeczywistych warunków.

PODZIĘKOWANIA

Szczególne podziękowania kierujemy do Hansa Norina, który w 1970 roku stworzył bazę danych VCTAD i przez kilka dziesięcioleci sprawował nad nią nadzór. Wyrażamy ogromną wdzięczność wszystkim współpracownikom, którzy przez te wszystkie lata zajmowali się gromadzeniem danych i zapewnianiem ich jakości. W odniesieniu do najnowszych opublikowanych danych wyrażamy głęboką wdzięczność za pracę Pauli Ek, Palomy Días Fernández, Uli Sandersa, Carla Perssona i ich współpracowników. Ponadto wyrażamy ogromną wdzięczność firmie Volvia za jej cenny wkład w postaci regularnego przekazywania informacji o wypadkach samochodów marki Volvo przez wszystkie te lata.

ŹRÓDŁA

[1] Kahane, C.J., „Injury vulnerability and effectiveness of occupant protection technologies for older occupants and women", Raport Narodowej Agencji Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (NHTSA) nr: DOT HS 811 766, Waszyngton, DC, USA, 2013 r.

[2] Noh, E.Y., Atwood, J.R.E., Lee, E. i Craig, M., "Female crash fatality risk relative to males for similar physical impacts," Raport Narodowej Agencji Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (NHTSA) nr: DOT HS 813 358, Waszyngton, DC, USA, 2022 r.

[3] Farmer, C.M. i Lund, A.K., "Trends over time in the risk of driver death: What if vehicle designs had not improved?" Traffic Injury Prevention 7(4), 2006:335-342, DOI: 10.1080/15389580600943369

[4] Forman, J., Poplin, G.S., Shaw, C.G., McMurry, T.L. i in., "Automobile injury trends in the contemporary fleet: Belted occupants in frontal collisions," Traffic Injury Prevention, 20(6), 2019:607-612, DOI:10.1080/15389588.2019.1630825

[5] Kullgren, A., Stigson, H. i Axelsson, A., “Developments in car crash safety since the 1980s,” IRC-20-14, IRCOBI Conf., 2020.

[6] Ryb, G.E., Dischinger, P.C., McGwin, G. i Griffin, R., “Crash-related mortality and model year: are newer vehicles safer?” Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine, 55, 2011:113–21.

[7] Brumbelow, M.L., i Jermakian, J.S., “Injury risks and crashworthiness benefits for females and males: Which differences are physiological?” Traffic Injury Prevention, 23(1), 2022:11-16, DOI: 10.1080/15389588.2021.2004312

[8] Brumbelow, M.L., “Sex-related vehicle and crash differences and their potential to confound relative injury risk analyses,” IRC-23-34, IRCOBI Conf., Cambridge, UK, 2023.

[9] Craig, M.J., Liu, C., Zhang, F. i Enriquez, J., “Sex-based differences in odds of motor vehicle crash injury outcomes,” Accident Analysis & Prevention, 195, 2024, 10710080. ISSN 0001-4575, DOI:10.1016/j.aap.2023.107100.

[10] Bohlin, N., Hallen, A., Runberger, S. i Asberg, A., “Safety and comfort - Factors in Volvo occupant compartment packaging,” Artykuł SAE nr 780135, Kongres i wystawa SAE, Detroit, stan Michigan, USA, 1978 r.

[11] Jakobsson, L., Bohman, K., Svanberg, B. i Victor, T., “Occupant protection for AD cars - The paradigm shift in crash safety?” Artykuł nr 19-0281, materiały z 26. Międzynarodowej Konferencji ESV, Eindhoven, Niderlandy, 2019 r.

[12] Asberg, A., Bohlin, N., Norin, H. i Andersson Å., “A statistical traffic accident analysis,” materiały z 4. Międzynarodowej Konferencji ESV, Kioto, Japonia. 1973:359-391.

[13] Almqvist, R., Mellander, H. i Koch, M., “Frontal crash protection in a modern car concept,” materiały z 9. Międzynarodowej Konferencji ESV, Kioto, Japonia. 1982:154-163.

[14] Korner, J., “A method for evaluating occupant protection by correlating accident data with laboratory test data,” Artykuł SAE nr 890747, Międzynarodowy Kongres i Wystawa SAE International, Detroit, MI, USA. 1989 r.

[15] Norin, H. i Isaksson-Hellman, I., “Injury potential prediction of a safety design feature: A theoretical method based on simulations and traffic accident data,” Safety Science 19(1), 1995:45-56. https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00058-B

[16] Isaksson-Hellman, I. i Norin, H., “How thirty years of focused safety development has influenced injury outcome in Volvo cars,” Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine, 49, 2005:63-77.

[17] Jakobsson, L., Lindman, M., Carlsson, H., Axelson, A. i in., “Large animal crashes: the significance and challenges,” IRC-15-42, IRCOBI Conf., Lyon, Francja, 2015

[18] Lövsund, P., Nilson, G., Svensson, M.Y. i Terins, J.G., “Passenger car crash worthiness in moose-car collisions,” Artykuł nr 89-2A-W-019, materiały z 12. Międzynarodowej Konferencji ESV, Göteborg, Szwecja, 1989:410–415.

[19] Planath, I., Norin, H. i Nilsson, S., “Severe frontal collisions with partial overlap - Significance, test methods and car design,” Artykuł SAE nr 930636, Kongres i wystawa SAE International. Detroit, MI, USA, 1993 r.

[20] Jakobsson, L., McInally, G., Axelson, A., Lindman, M i in., “Severe frontal collisions with partial overlap - Two decades of car safety development,” Artykuł SAE nr 2013-01-0759, Światowy Kongres i Wystawa SAE, Detroit, USA, 2013 r.

[21] Forssell, J., Jakobsson, L., Lund, Åse i Tivesten, E., “Foot and leg injuries in frontal car collisions,” Artykuł nr 96-S3-O-05, Materiały z 15. Międzynarodowej Konferencji ESV, Melbourne, Australia, 1996: 422–437.

[22] Jakobsson, L, “Lower extremity injuries in car crashes, focusing the foot, ankle and leg,” IRC-25-105, konferencja IRCOBI, Wilno, Litwa, 2025 r.

[23] Norin, H., Nilsson-Ehle, A. i Gustafsson, C., “Volvo traffic accident research systems as a tool for side impact protection and development,” Materiały z 9. Międzynarodowej Konferencji ESV, Kioto, Japonia, 1982:439–448.

[24] Mellander, H., Ivarsson, J., Korner, J. i Nilsson, S., “Side Impact Protection System - A description of the technical solutions and statistical and experimental tools,” Materiały z 12. Międzynarodowej Konferencji ESV, Göteborg, Szwecja, 1989: 969–976.

[25] Pilhall, S., Korner, J. i Ouchterlony, B., “SIPSBAG - A new, seat-mounted side impact airbag system,” Artykuł nr 94-S6-O-13, Materiały z 14. Międzynarodowej Konferencji ESV, Monachium, Niemcy, 1994: 1026–1034.

[26] Öhlund, A., Palmertz, C., Korner, J., Nygren, M., et al., “The Inflatable Curtain (IC) - A new head protection system in side impacts,” Artykuł nr 98-S8-W-29, Materiały z 16. Międzynarodowej Konferencji ESV, Windsor, Kanada, 1998: 1846–1857.

[27] Hardå, P., Lindman, M., Svanberg, B., Axelson, A., i in., “Inflatable Curtain (IC) activation in L-type side impacts,” Artykuł SAE nr 2010-01-1156, Światowy Kongres i Wystawa SAE. Detroit, MI, USA, 2010 r.

[28] Stowarzyszenie na rzecz Rozwoju Medycyny Motoryzacyjnej (AAAM), “Abbreviated Injury Scale 1985 Revision,” Arlington Heights IL, USA, 1985 r.

[29] Stowarzyszenie na rzecz Rozwoju Medycyny Motoryzacyjnej (AAAM), “The Abbreviated Injury Scale, 2015 Revision,” Chicago IL, USA, 2015 r.

[30] Norma techniczna SAE International, Klasyfikacja odkształceń powypadkowych, norma SAE J224_202205, wydana w styczniu 1971 r., potwierdzona w maju 2011 r., zaktualizowana w maju 2022 r. https://doi.org/10.4271/J224_202205.

[31] Mackay, M. i Ashton, S., “Injuries in collisions involving small cars in Europe,” Artykuł SAE nr 730284, Stowarzyszenie Inżynierów Motoryzacyjnych (SAE), Warrendale, Pensylwania, USA, 1973 r.

[32] Riexinger, L., Sherony, R. i Gabler, H., “Has electronic stability control reduced rollover crashes?” Artykuł SAE nr 2019-01-1022, 2019, DOI:10.4271/2019-01-1022

[33] Jakobsson, L., Lindman, M., Svanberg, B. i Carlsson, H., “Real world data driven evolution of Volvo cars' side impact protection systems and their effectiveness,” Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine, 54, 2010:127-136.

[34] Bilston, L.E., Du, W. i Brown, J., “A matched-cohort analysis of belted front and rear seat occupants in newer and older model vehicles shows that gains in front occupant safety have outpaced gains for rear seat occupants,” Accident Analysis & Prevention 42(6), 2010:1974-1977, DOI: https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.06.002

ZAŁĄCZNIK A

Tabela A1.
Dane do rysunku 3. Liczba kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady poszczególnych modeli samochodów oraz powiązane ryzyko odniesienia obrażeń o stopniu MAIS2+ (95-procentowe przedziały ufności) w %.

	Wszyscy kierowcy		**Kierowcy płci męskiej**		**Kierowcy płci żeńskiej**	
	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+
lata 70.	2647	10,0 (± 1,14)	2047	9,3 (± 1,26)	600	12,3 (± 2,63)
lata 80.	14185	7,3 (± 0,43)	11065	7,0 (± 0,48)	3120	8,3 (± 0,97)
lata 90.	9642	4,2 (± 0,40)	7266	4,1 (± 0,46)	2376	4,4 (± 0,83)
lata 00.	9381	2,9 (± 0,34)	6931	2,7 (± 0,38)	2450	3,3 (± 0,70)
lata 10.	5765	2,0 (± 0,37)	4153	2,0 (± 0,43)	1612	2,1 (± 0,70)
Ogółem	**41620**		**31462**		**10158**	

Tabela A2.
Dane do rysunku 4. Liczba kierowców, pasażerów na przednich i tylnych siedzeniach, korzystających z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady poszczególnych modeli samochodów oraz ryzyko odniesienia obrażeń o stopniu MAIS2+ (95-procentowe przedziały ufności) w %.

	Kierowcy		**Pasażerowie na przednich siedzeniach**		**Pasażerowie na tylnych siedzeniach**	
	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+
lata 70.	2647	10,0 (± 1,14)	955	11,4 (± 2,02)	161	6,2 (± 3,73)
lata 80.	14185	7,3 (± 0,43)	4903	8,7 (± 0,79)	1942	6,4 (± 1,09)
lata 90.	9642	4,2 (± 0,40)	3034	4,5 (± 0,74)	1416	4,0 (± 1,02)
lata 00.	9381	2,9 (± 0,34)	2618	2,9 (± 0,65)	1057	1,7 (± 0,78)
lata 10.	5765	2,0 (± 0,37)	1439	2,4 (± 0,78)	500	2,2 (± 1,29)
Ogółem	**41620**		**12949**		**5076**	

Tabela A3.
Dane do rysunków 5a i 5b. Liczba wypadków oraz liczba poszkodowanych z obrażeniami o stopniu MAIS2+ wśród kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady modeli samochodów i rodzaje wypadków.

	lata 70. Ogółem	Obrażenia MAIS2+	**lata 80.** Ogółem	Obrażenia MAIS2+	**lata 90.** Ogółem	Obrażenia MAIS2+	**lata 00.** Ogółem	Obrażenia MAIS2+	**lata 10.** Ogółem	Obrażenia MAIS2+
Zjechanie z drogi	88	3	288	18	561	13	611	14	128	3
Kontakt boczny	69	6	194	9	252	5	688	4	652	3
Zderzenie boczne (po stronie zderzenia)	331	44	1653	158	1393	73	1336	36	586	15
Zderzenie boczne (po stronie przeciwnej)	266	29	1470	53	1052	20	955	10	484	3
Zderzenie tylne	159	6	1182	19	759	8	663	15	401	7
Zderzenie czołowe	908	99	5432	431	3521	162	3070	106	2449	57
Wywrócenie się/dachowanie pojazdu	313	22	1005	87	283	12	83	2	20	2
Wypadki wielokrotne	431	43	2368	201	1367	91	1367	64	460	21
Z udziałem dużych zwierząt	71	5	551	30	462	14	631	13	573	4
Pozostałe	32	7	99	27	42	7	47	5	28	3
Ogółem	**2668**	**264**	**14242**	**1033**	**9692**	**405**	**9451**	**269**	**5781**	**118**

Tabela A4.
Ryzyko odniesienia obrażeń MAIS2+ (95-procentowe przedziały ufności) w % dla kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa, w podziale na dekady modeli samochodów i rodzaje wypadków; te same przypadki, co w Tabeli A3.

	lata 70.	**lata 80.**	**lata 90.**	**lata 00.**	**lata 10.**
Zjechanie z drogi	3,4 (± 3,79)	6,3 (± 2,80)	2,3 (± 1,25)	2,3 (± 1,19)	2,3 (± 2,62)
Kontakt boczny	8,7 (± 6,65)	4,6 (± 2,96)	2,0 (± 1,72)	0,6 (± 0,57)	0,5 (± 0,52)
Zderzenie boczne (po stronie zderzenia)	13,3 (± 3,66)	9,6 (± 1,42)	5,2 (± 1,17)	2,7 (± 0,87)	2,6 (± 1,28)
Zderzenie boczne (po stronie przeciwnej)	10,9 (± 3,75)	3,6 (± 0,95)	1,9 (± 0,83)	1,0 (± 0,65)	0,6 (± 0,70)
Zderzenie tylne	3,8 (± 2,96)	1,6 (± 0,72)	1,1 (± 0,73)	2,3 (± 1,13)	1,7 (± 1,28)
Zderzenie czołowe	10,9 (± 2,03)	7,9 (± 0,72)	4,6 (± 0,69)	3,5 (± 0,65)	2,3 (± 0,60)
Wywrócenie się/dachowanie pojazdu	7,0 (± 2,83)	8,7 (± 1,74)	4,2 (± 2,35)	2,4 (± 3,30)	10,0 (± 13,15)
Wypadki wielokrotne	10,0 (± 2,83)	8,5 (± 1,12)	6,7 (± 1,32)	4,7 (± 1,12)	4,6 (± 1,91)
Z udziałem dużych zwierząt	7,0 (± 5,95)	5,4 (± 1,89)	3,0 (± 1,56)	2,1 (± 1,11)	0,7 (± 0,68)

Tabela A5.

Dane do rysunku 6. Liczba kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady poszczególnych modeli samochodów oraz powiązane ryzyko odniesienia obrażeń w zderzeniach czołowych o stopniu MAIS2+ (95-procentowe przedziały ufności) w %.

	Wszyscy kierowcy		**Kierowcy płci męskiej**		**Kierowcy płci żeńskiej**	
	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+
lata 70.	904	11,0 (± 2,04)	711	10,8 (± 2,28)	193	11,4 (± 4,48)
lata 80.	5414	8,0 (± 0,72)	4319	7,7 (± 0,79)	1095	9,1 (± 1,71)
lata 90.	3503	4,6 (± 0,70)	2646	4,7 (± 0,81)	857	4,3 (± 1,36)
lata 00.	3037	3,5 (± 0,65)	2254	3,2 (± 0,73)	783	4,2 (± 1,41)
lata 10.	2441	2,3 (± 0,60)	1793	2,2 (± 0,68)	648	2,8 (± 1,27)
Ogółem	**15299**		**11723**		**3576**	

Tabela A6.

Dane do Rysunku 7a. Liczba kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady poszczególnych modeli samochodów oraz powiązane ryzyko odniesienia obrażeń głowy w zderzeniach czołowych o stopniu MAIS2+ (95-procentowe przedziały ufności) w %.

	Wszyscy kierowcy		**Kierowcy płci męskiej**		**Kierowcy płci żeńskiej**	
	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ głowy	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ głowy	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ głowy
lata 70.	904	4,0 (± 1,27)	711	3,7 (± 1,38)	193	5,2 (± 3,13)
lata 80.	5414	3,0 (± 0,46)	4319	2,8 (± 0,49)	1095	4,0 (± 1,16)
lata 90.	3503	1,7 (± 0,42)	2646	1,4 (± 0,44)	857	2,6 (± 1,06)
lata 00.	3037	0,8 (± 0,31)	2254	0,7 (± 0,35)	783	1,0 (± 0,70)
lata 10.	2441	0,9 (± 0,37)	1793	0,8 (± 0,42)	648	1,1 (± 0,80)
Ogółem	**15299**		**11723**		**3576**	

Tabela A7.

Dane do rysunku 7b. Liczba kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady poszczególnych modeli samochodów oraz powiązane ryzyko odniesienia obrażeń klatki piersiowej w zderzeniach czołowych o stopniu MAIS2+ (95-procentowe przedziały ufności) w %.

	Wszyscy kierowcy		**Kierowcy płci męskiej**		**Kierowcy płci żeńskiej**	
	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej
lata 70.	904	3,9 (± 1,26)	711	3,7 (± 1,38)	193	4,7 (± 2,97)
lata 80.	5414	2,6 (± 0,42)	4319	2,6 (± 0,47)	1095	2,6 (± 0,95)
lata 90.	3503	1,6 (± 0,42)	2646	1,7 (± 0,49)	857	1,3 (± 0,75)
lata 00.	3037	1,3 (± 0,40)	2254	1,3 (± 0,47)	783	1,0 (± 0,70)
lata 10.	2441	0,8 (± 0,36)	1793	0,8 (± 0,42)	648	0,8 (± 0,67)
Ogółem	**15299**		**11723**		**3576**	

Tabela A8.

Dane do rysunku 7c. Liczba kierowców korzystających z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady poszczególnych modeli samochodów oraz powiązane ryzyko odniesienia obrażeń kończyn dolnych (LX) w zderzeniach czołowych o stopniu MAIS2+ (95-procentowe przedziały ufności) w %.

	Wszyscy kierowcy		**Kierowcy płci męskiej**		**Kierowcy płci żeńskiej**	
	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ kończyn dolnych	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ kończyn dolnych	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ kończyn dolnych
lata 70.	904	6,2 (± 1,57)	711	6,0 (± 1,75)	193	6,7 (± 3,54)
lata 80.	5414	3,5 (± 0,49)	4319	3,5 (± 0,55)	1095	3,6 (± 1,10)
lata 90.	3503	1,9 (± 0,45)	2646	2,0 (± 0,53)	857	1,5 (± 0,82)
lata 00.	3037	0,7 (± 0,30)	2254	0,7 (± 0,34)	783	0,9 (± 0,66)
lata 10.	2441	0,5 (± 0,27)	1793	0,5 (± 0,33)	648	0,3 (± 0,43)
Ogółem	**15299**		**11723**		**3576**	

Tabela A9.

Dane do rysunku 8. Pasażerowie na przednich siedzeniach korzystający z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady poszczególnych modeli samochodów oraz powiązane ryzyko odniesienia obrażeń w zderzeniach bocznych o stopniu MAIS2+ (95-procentowe przedziały ufności) w %.

	Pasażerowie na przednich siedzeniach po stronie zderzenia		**Pasażerowie na przednich siedzeniach po stronie przeciwnej do zderzenia (dalszej)**	
	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+
lata 70.	418	15,3 (± 3,45)	383	9,9 (± 2,99)
lata 80.	2121	10,4 (± 1,30)	2098	3,9 (± 0,82)
lata 90.	1730	5,5 (± 1,08)	1543	2,1 (± 0,71)
lata 00.	1605	2,8 (± 0,81)	1397	1,1 (± 0,56)
lata 10.	717	2,5 (± 1,15)	656	1,1 (± 0,79)
Ogółem	**6591**		**6077**	

Tabela A10.

Dane do rysunku 9. Pasażerowie na przednich siedzeniach po stronie zderzenia korzystający z pasów bezpieczeństwa w podziale na dekady poszczególnych modeli samochodów oraz powiązane ryzyko odniesienia obrażeń klatki piersiowej w zderzeniach bocznych o stopniu MAIS2+ (95-procentowe przedziały ufności) w %.

	Pasażerowie na przednich siedzeniach po stronie zderzenia		**Mężczyźni**		**Kobiety**	
	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej	N	Ryzyko obrażeń MAIS2+ klatki piersiowej
lata 70.	418	8,9 (± 2,72)	289	8,0 (± 3,12)	129	10,9 (± 5,37)
lata 80.	2121	4,1 (± 0,85)	1440	4,2 (± 1,04)	681	4,0 (± 1,47)
lata 90.	1730	1,8 (± 0,63)	1205	1,8 (± 0,76)	525	1,9 (± 1,17)
lata 00.	1605	1,1 (± 0,50)	1066	0,9 (± 0,58)	539	1,3 (± 0,96)
lata 10.	717	0,7 (± 0,61)	440	0,9 (± 0,89)	277	0,4 (± 0,71)
Ogółem	**6591**		**4440**		**2151**	