

ZATWIERDZAM

.....
Kierownik Projektu

SPRAWOZDANIE

Z REALIZACJI UMOWY O DZIEŁO

8/32-274/2022 z dnia 01.08.2022

Temat pracy: Analiza możliwości zwiększonej ochrony starszych kierowców i pasażerów pojazdów samochodowych w czasie wypadku drogowego w aspekcie wyposażania pojazdów w nowe lub dodatkowe rozwiązania.

DO ZADANIA NR 1

pt.: Prowadzenie działalności centrum wiedzy o dostępności

za okres od 01.VIII.2022. do 30.XI.2022.

Autor dzieła: ppłk dr inż. Zdzisław Hryciów

**CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)**

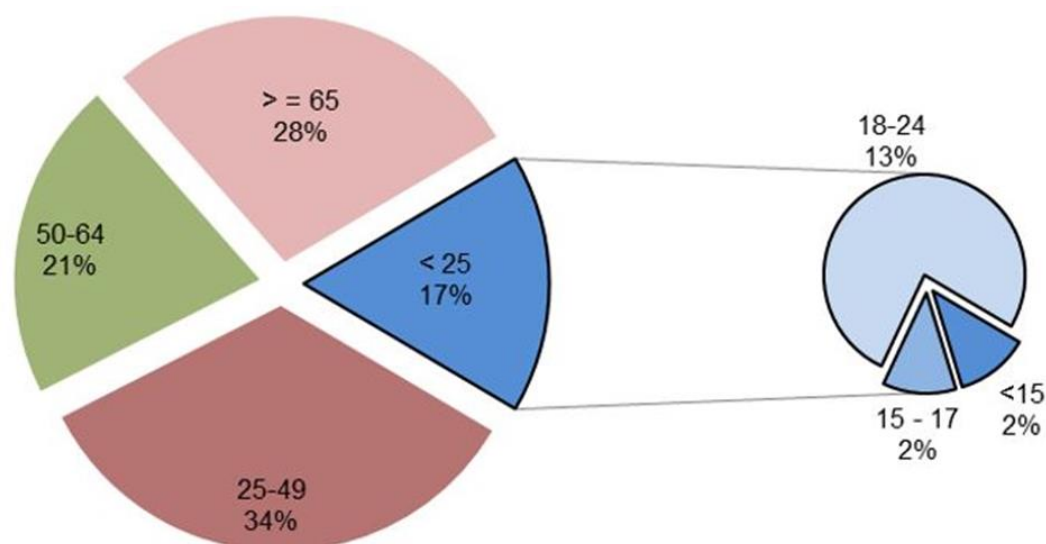
Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Systemy bezpieczeństwa biernego	7
2.1. Testy zderzeniowe	7
2.2. Pasy bezpieczeństwa	8
2.3. Poduszki gazowe	14
3. Zaawansowane systemy wspomagania kierowcy (ADAS).....	18
4. Podsumowanie.....	22
5. Literatura.....	24

1. Wstęp

Urazy w ruchu drogowym niosą ze sobą wysoki wskaźnik śmiertelności i urazów dla wszystkich grup wiekowych [1]. Jedną z najważniejszych grup wiekowych w tym zakresie są jednak ludzie starsi. Ze względu na problemy z układem mięśniowo-szkieletowym oraz spowolnione czynności i reakcje osoby starsze nie są w stanie właściwie zareagować podczas wypadku samochodowego. Z drugiej strony, z powodu chorób przewlekłych, takich jak osteoporoza, wzrasta liczba złamań kości i hospitalizacji, co zwiększa ryzyko śmiertelności wśród osób starszych.

Publikowane statystyki wypadków wskazują, że prawie 14% osób zabitych na drogach UE jest w wieku od 18 do 24 lat, podczas gdy tylko 8% populacji należy do tej grupy wiekowej. Młodzi ludzie są znacznie bardziej narażeni niż jakkolwiek inna grupa wiekowa [6]. Jednakże, ze względu na zmiany demograficzne w społeczeństwach europejskich w ostatnich latach wzrósł również odsetek ofiar śmiertelnych wśród osób starszych (22% w 2010 r. do 27% w 2017 r.).

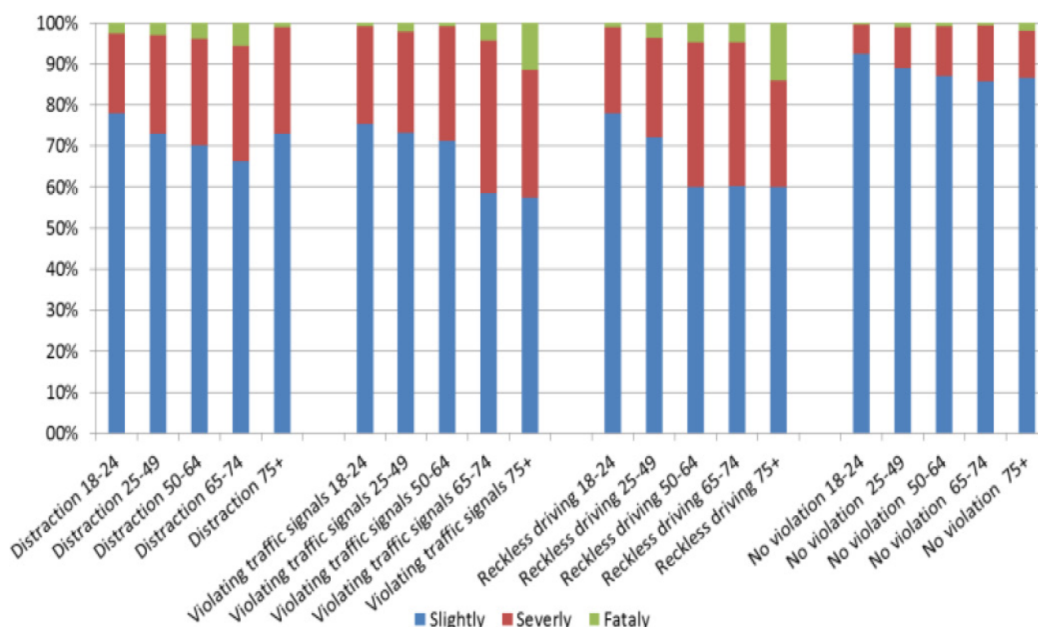


Rys. 1.1. Ofiary śmiertelne wypadków drogowych w UE w poszczególnych grupach wiekowych [6]

Wzrastający odsetek osób starszych sprawi, że w przyszłości wypadki drogowe z udziałem osób starszych będą prawdopodobnie stanowić coraz większy problem [13].

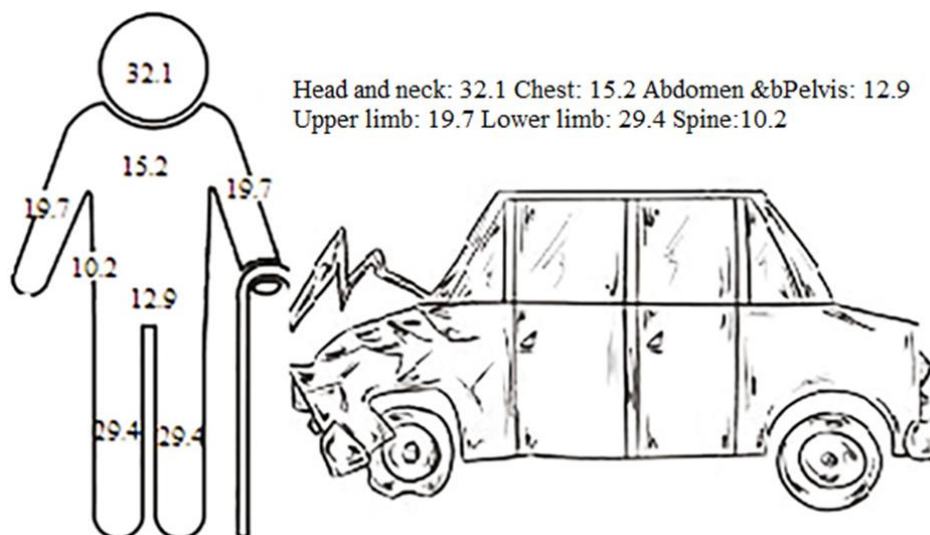
W pracy [9] zestawiono wpływ przyczyn wypadków (rozproszenie uwagi, lekceważenie sygnalizacji świetlnej, lekkomyślna jazda) z ciężkością powstałych w ich wyniku obrażeń. Analiza wykazała, że ciężkość obrażeń w wypadkach samochodowych wśród kierowców naruszających przepisy ruchu drogowego wzrasta wraz z wiekiem kierowców. Ale również w trakcie wypadków, w których kierowca nie naruszył przepisów ruchu drogowego, ciężkość obrażeń wykazuje ten sam trend.

CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)



Rys. 1.2. Ciężkość obrażeń na skutek wypadków spowodowanych różnymi przyczynami w poszczególnych grupach wiekowych [9]

W pracy [1] przedstawiono rozkład obrażeń wśród starszych kierowców. Analiza dostępnych wyników wykazała, że najczęściej uszkodzonymi częściami ciała są odpowiednio głowa i szyja (32,1%), kończyny dolne (29,4%), kończyny górne (19,7%) oraz klatka piersiowa (15,2%). Wyniki różnych badań wskazują, że ryzyko urazu klatki piersiowej znacząco rośnie wraz z wiekiem. Występowanie dużych obrażeń klatki piersiowej (głównie złamania żeber i mostka) stanowią najbardziej znaczącą różnicę między starszymi i młodszymi pasażerami pojazdów [4].



Rys. 1.3. Rozkład obrażeń wśród starszych kierowców (powyżej 60 lat) [1]

Problemy starszych kierowców wpływające na bezpieczeństwo

Ograniczone widzenie

Zadanie prowadzenia pojazdu ma w dużej mierze charakter wzrokowy, a pogorszenie wzroku wiąże się ze zwiększonym dyskomfortem kierowcy i ryzykiem wypadku. Szacuje się, że oko 65-latkę może przepuszczać w warunkach słabego oświetlenia tylko jedną trzecią światła oka osoby 20-letniej [2]. Zmiany te, w połączeniu z zaburzonymi procesami neuronowymi odpowiedzialnymi za adaptację do ciemności i światła, sprawiają, że jazda nocą jest dla starszych kierowców szczególnym wyzwaniem. Dodatkowo, choroby oczu, które nasilają się gwałtownie w późnym wieku, takie jak zaćma, jaskra i zwyrodnienie plamki żółtej mogą poważnie pogorszyć ostrość widzenia. Poprawę w tym zakresie dla starszych kierowców mogą przynieść systemy noktowizyjne. Niektóre choroby oczu mogą zakłócać zdolność osób starszych do skupiania wzroku peryferyjnego lub mogą powodować dodatkową wrażliwość na światło, problemy z widzeniem w ciemności lub niewyraźne widzenie [37]. Osoby starsze w ciemnościach jeżdżą wolniej, a także mogą mieć zawężone pola widzenia podczas prowadzenia samochodu. Jaskra jest chorobą, której częstość występowania wzrasta z wiekiem, a jednym z objawów są trudności w widzeniu w jednej części pola widzenia. Pacjenci z jaskrą prowadząc samochód mają zwiększone prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku [31].

Problemy ze słuchem

Obniżenie słuchu jest jednym z typowych objawów starzenia się. Równocześnie prawidłowy słuch i właściwie funkcjonowanie ucha (związane z zachowaniem równowagi) są bardzo ważne podczas kierowania samochodem. Kierowcy z zaburzonym słyszeniem mogą nie zauważyć (lub zauważyć z dużym opóźnieniem) ważnych sygnałów dźwiękowych, takich jak syreny alarmowe czy klaksony. Może to być bezpośrednią przyczyną wypadków [37].

Obniżona reakcja

Reakcja to wywołane sygnałami nerwowymi reagowanie mięśni na bodźce zewnętrzne. Czas reakcji zwiększa się wraz z wiekiem. Z jednej strony pogarszający się wzrok powoduje problemy z właściwą oceną sytuacji na drodze, a dodatkowo starsi kierowcy mają trudności z reagowaniem na zaistniałe zdarzenia. W przypadku, kiedy potrzebna jest szybsza reakcja na nagłą sytuację, np. gdy samochód nagle zmienia pas ruchu, osobie starszej trudno jest zareagować wystarczająco szybko, aby uniknąć kolizji [31]. Typowym zachowaniem starszych osób, kiedy zauważają u siebie takie problemy jest znaczne ograniczenie prędkości jazdy. Nie zawsze poprawia to poziom bezpieczeństwa. Niekiedy jazda ze zbyt niską prędkością prowokuje innych kierowców do gwałtownych i niebezpiecznych zachowań (np. wyprzedzania w nieodpowiednich warunkach lub jazda w bardzo bliskiej odległości za poprzedzającym pojazdem).

Zaburzenia poznawcze

Zaburzenia poznawcze definiuje się jako pogorszenie w co najmniej jednej z następujących domen: pamięć krótkotrwała, uwaga, orientacja, osąd i umiejętność rozwiązywania problemów oraz zdolności wzrokowo-przestrzenne. Podczas kierowania samochodem, śledzenie wielu znaków drogowych, sygnałów i oznaczeń, jak również wszystkich innych uczestników ruchu drogowego i pieszych, może być trudne dla osoby starszej. Starsi kierowcy często nie zauważają na czas ważnych informacji (np. kierunkowskazów czy zjazdów), przez to gubią się lub z opóźnieniem reagują (np. zmieniając pas ruchu czy skręcając) [8].

Stan zdrowia osób starszych jest wyraźnym powodem, dla którego starsi kierowcy mogą mieć wyższy wskaźnik wypadków śmiertelnych niż inne grupy wiekowe. Należy jednak podkreślić, że w wielu sytuacjach, pogarszający się stan zdrowia nie musi dyskwalifikować osób starszych jako kierowców. Rozwijające się nowe technologie, mogą pomóc im w zachowaniu zdolności do prowadzenia samochodów [31]. Ich powstawanie i testowaniu musi się jednak odbywać z udziałem osób starszych. Skupianie się tylko na kierowcach młodych i zdrowych może doprowadzić do sytuacji, w której systemy wspomagania kierowcy nie tylko nie będą właściwie wykorzystywane ale dodatkowo mogą nieść ryzyko dla wielu starszych kierowców.

2. Systemy bezpieczeństwa biernego

2.1. Testy zderzeniowe

Przeprowadzane przez przemysł motoryzacyjny testy bezpieczeństwa nie uwzględniają obecnie wyraźnych różnic fizycznych pomiędzy starszymi i młodszymi kierowcami. Używane do testów zderzeniowych manekiny dobrze odwzorowują osoby w wieku 20-65 lat. Oznacza to, że wiele urządzeń i elementów wyposażenia zaprojektowanych w celu zwiększenia bezpieczeństwa samochodów potencjalnie nie jest w stanie zapewnić optymalnej ochrony grupie osób starszych, która obecnie stanowi prawie jedną piątą populacji w Europie [13]. Mięśnie osób starszych nie są tak silne, a przed i w trakcie wypadku poruszają się w inny sposób. Różnice kostne, geometryczne i wagowe sprawiają, że systemy bezpieczeństwa muszą być dostosowane do potrzeb osób starszych, aby lepiej je chronić.

Wychodząc naprzeciw problemom związanym z odpornością osób starszych na obciążenia w trakcie zderzeń samochodów został opracowany manekin do testów zderzeniowych (ATD Elderly) reprezentujący 70-letnią starszą kobietę o wzroście 161 cm i wskaźniku BMI wynoszącym 29. Antropometria manekina została opracowana częściowo dzięki wykorzystaniu badań nad rzeczywistymi obrażeniami powstałymi w wyniku zderzenia, przeprowadzonych przez International Center for Automotive Medicine (ICAM) oraz University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI).



Rys. 2.1. Manekin starszej kobiety [23]

W latach 2015-2018 realizowany był w krajach UE projekt o nazwie SENIORS [38], w ramach którego opracowano manekina do testów zderzeniowych, który prawidłowo

CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)

odwzorowuje ciało osób starszych. Manekin bazował na ATD Elderly i stanowił jego rozwinięcie. W ramach projektu zbadano i oceniono możliwość zmniejszenia urazów poprzez opracowanie innowacyjnych i odpowiednich metod badań oraz pasywnych systemów bezpieczeństwa pojazdów, ukierunkowanych na ochronę osób starszych jako pieszych lub rowerzystów oraz pasażerów samochodów uczestniczących w zderzeniach pojazdów. Do głównych korzyści z realizacji projektu jego autorzy zaliczyli: poprawę ochrony starszych użytkowników dróg; zrozumienie wpływu wieku na dynamikę ciał pasażerów przed zderzeniem i podczas zderzenia; zrozumienie antropometrii i mechanizmów powstawania obrażeń u osób starszych i z nadwagą; opracowanie i optymalizację narzędzi badawczych, procedur i metod oceny, jak również przekazanie wiedzy i wyników zainteresowanym ekspertom, organom regulacyjnym, podmiotom konsumenckim itp. [12].

Poprawa ochrony osób starszych w trakcie wypadków drogowych może być osiągnięta poprzez wprowadzenie systemów obejmujących pasy bezpieczeństwa z adaptacyjnym ogranicznikiem siły napięcia, czteropunktowe pasy bezpieczeństwa czy technologie adaptacyjnych poduszek powietrznych. Te systemy mogą być również stosowane na tylnych siedzeniach, na których często siedzą osoby starsze.

Zaawansowane systemy powstrzymywania osób starszych mogą być skuteczne tylko wtedy, gdy systemy te otrzymają informacje dotyczące wieku i stanu zdrowia pasażerów. Dzięki tym dodatkowym informacjom można dostosować odpowiedni limit obciążenia pasów, wydajność poduszek powietrznych, a nawet schemat ich uruchamiania. Prowadzone są próby instalowania w pojazdach dodatkowych czujników mierzących m.in. gęstość kości, wzrost pasażera i jego pozycję w fotelu. Wszystko to może umożliwić dostosowanie systemu bezpieczeństwa do odpowiedniej reakcji w oparciu o stan zdrowia pasażera i stopień ciężkości zderzenia.

2.2. Pasy bezpieczeństwa

Statystyki wypadków pozwalają na stwierdzenie, że starsi pasażerowie pojazdów są bardziej narażeni na powstawanie obrażeń podczas wypadku, a ponadto doznają poważniejszych obrażeń przy podobnym poziomie działających obciążeń [5]. W [33] autorzy przeanalizowali surowe dane z baz NASS-CDS z lat 1992-2002. Na ich podstawie stwierdzili, że aż połowa starszych kierowców doznała obrażeń śmiertelnych, które skutkowałyby przeżyciem, gdyby zostały odniesione przez młodszych kierowców.

W wielu pracach bardzo często podnoszony jest problem zwiększonych obrażeń klatki piersiowej i związanej z nimi śmiertelności u osób starszych. Złamania są najczęstszym rodzajem poważnych obrażeń klatki piersiowej w przypadku zderzeń czołowych, a osoby starsze są bardziej podatne na urazy układu kostnego spowodowane obciążeniem wywołanym pasami bezpieczeństwa [5]. Zmiany w kształcie i właściwościach materiałowych struktur żeber wraz ze starzeniem się zmniejszają zdolność do wytrzymania działającego obciążenia. W wielu przypadkach samo złamanie żeber u osób starszych było bezpośrednią przyczyną śmierci ofiar

CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)

wypadków drogowych. Powyższe wskazuje na potrzebę poprawy ochrony oferowanej przez obecne systemy pasów bezpieczeństwa dla starszych użytkowników pojazdów.

W Europie charakterystyki urządzeń przytrzymujących są zazwyczaj optymalizowane w celu zapewnienia najlepszej ochrony przeciętnego młodego człowieka przy użyciu manekina średniej wielkości mężczyzny (wzrost = 175 cm, wskaźnik BMI = 24,3) w badaniu zderzenia czołowego EuroNCAP [5].

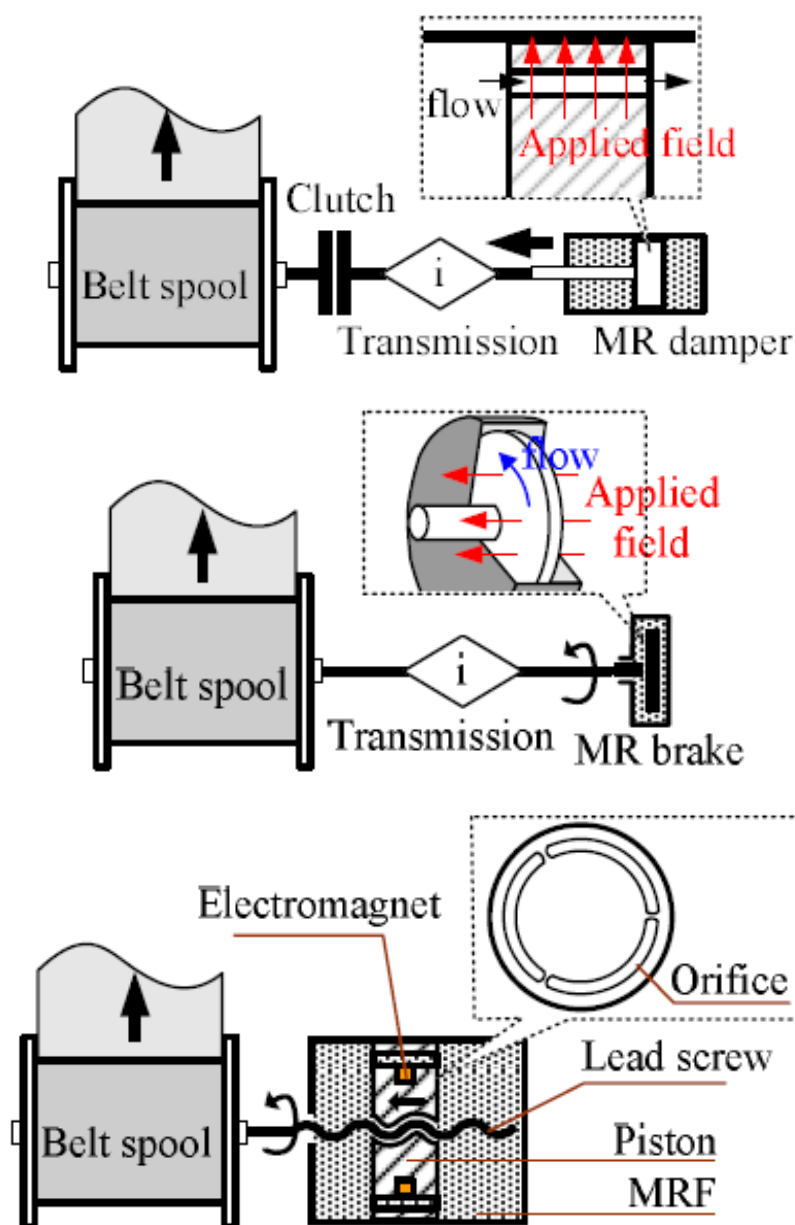
Większość nowoczesnych urządzeń przytrzymujących jest zaprojektowana w taki sposób, że ich uruchomienie następuje przy pewnej z góry określonej wartości (zazwyczaj poziomie przyspieszenia, zgodnie z algorytmem umieszczonym w module sterowania urządzeniami przytrzymującymi lub określonym obciążeniu pasa bezpieczeństwa). Optymalizacja systemów bezpieczeństwa do jednego konkretnego rodzaju testu zderzeniowego i jednego konkretnego rodzaju pasażerów przyniosła poprawę bezpieczeństwa, ale systemy nie zapewniają podobnych poziomów skuteczności, gdy warunki zderzenia różnią się w zależności od procedury badania, lub gdy mamy do czynienia z realną sytuacją drogową. Istnieje zatem potrzeba rozwiązania problemu jednakowego poziomu ochrony przed zderzeniami dla szerszej grupy pasażerów, zwłaszcza dla osób starszych, których liczba szybko rośnie.

Jednym ze sposobów zwiększenia możliwości pasów bezpieczeństwa byłoby dostosowanie progu ogranicznika siły w zależności od potrzeb zderzenia. Obniżenie siły nacisku odcinka barkowego pasa może zmniejszyć ryzyko obrażeń klatki piersiowej. Problemem jest jednak ustalenie kiedy i w jaki sposób zmieniać nastawy ogranicznika w rzeczywistych zderzeniach, tak aby osiągnąć najlepsze zmniejszenie obrażeń klatki piersiowej bez uszczerbku dla ochrony innych obszarów ciała.

Większość obecnych technologii ograniczników siły napięcia pasów bezpieczeństwa umożliwia zastosowanie nie więcej niż trzech ustalonych wzorców siły w pasie. Jednakże badania pokazują, że aby lepiej realizować adaptacyjną ochronę różnych osób w różnych sytuacjach zderzenia, należy zastosować płynnie i w czasie rzeczywistym regulowany ogranicznik. Koncepcja ta może być szczególnie korzystna dla pasażerów podatnych na zagrożenia, takich jak kobiety o niskim wzroście i osób starszych.

Jedną z możliwości kształtowania adaptacyjnych ograniczników siły w pasach bezpieczeństwa jest wykorzystanie cieczy magnetoreologicznej. Przykładowo, w pracy [40] przedstawiono koncepcje takiego rozwiązania, ocenę możliwości ich realizacji oraz ustalono podstawowe wytyczne dla rozwoju prototypów.





Rys. 2.2. Koncepty ogranicznika wykorzystującego tłumik MR [40]

Element magnetoreologiczny (tłumik lub hamulec) zintegrowany jest ze zwijaczem pasów bezpieczeństwa, w którym siła napięcia pasów bezpieczeństwa może być kontrolowana poprzez zmianę natężenia pola magnetycznego. Przedstawione rozwiązania posiadają zastrzeżenia patentowe, jednakże autorzy opisali jedynie ich modele numeryczne i zaprezentowali wykonane przy ich użyciu wyniki analiz. Na obecnym etapie rozwoju podstawowymi wadami/ograniczeniami są rozmiary elementów, które byłyby w stanie wygenerować odpowiednio duże wartości sił.

**CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)**

Technologię samoadaptacyjnego ograniczania siły w pasach bezpieczeństwa, wprowadziła na rynek firma TRW. W jej rozwiązaniu ogranicznik dostosowuje nastawy do różnych rozmiarów ciała pasażerów. Zaletą systemu Self-Adaptive Load Limiter (SALL) polega na tym, że działa on bez konieczności stosowania różnorodnych czujników. Rozwiązanie to wprowadzono w obecnej generacji Mercedesa E-Klasse dla pasażerach tylnych siedzeń [21]. Samoadaptacyjne ograniczniki siły w pasach bezpieczeństwa firmy TRW dostosowują poziom siły do ilości rozwiniętej taśmy, którą wykorzystuje pasażer podczas zapinania pasów. System identyfikuje rozmiar pasażera i klasyfikuje go na dwie kategorie. W przypadku zderzenia, ogranicznik pozwala na zastosowanie niskiego lub wyższego poziomu obciążenia.



Rys. 2.3. System Self-Adaptive Load Limiter [21]

W literaturze spotyka się również prace, w których opisuje się brak zdecydowanej poprawy lub niewielką poprawę bezpieczeństwa osób starszych ze względu na stosowanie ograniczników siły napięcia pasów bezpieczeństwa. W raporcie NHTSA [32] przeanalizowano skuteczność działania napinaczy pasów bezpieczeństwa i ograniczników siły w różnych rodzajach pojazdów. Wyniki porównano ze skutkami zderzeń pojazdów, w których nie były stosowane te urządzenia. Analizy były wykonywane na podstawie statystyk wypadków z lat 1986 do 2011. Generalnie można stwierdzić, że stosowanie napinaczy pasów w połączeniu z ogranicznikami siły zwiększa skuteczność działania pasów. Szacuje się, że w samochodach osobowych ryzyko śmierci kierowcy lub pasażera siedzącego z prawej strony jest o 12,8% niższe, jeśli pas jest wyposażony w napinacz i ogranicznik siły. Przeprowadzone w pracy [32] analizy dostępnych danych nie wykazały jednak ich istotnego wpływu w większych samochodach (pickupach czy dużych vanach). Analizy były prowadzone także w podziale na grupy wiekowe, płeć, wzrost czy wagę kierowców i pasażerów.

**CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)**

W przypadku samochodów osobowych wyniki badań wskazywały na niewielką poprawę wynikającą z zastosowania napinaczy i ograniczników siły napięcia w odniesieniu do starszych kierowców w porównaniu z młodszymi. W raporcie stwierdzono, że skuteczność pasów z napinaczami i ogranicznikami siły wzrasta o 5% dla kierowców poniżej 55 lat i o 9% dla kierowców w wieku 55 lat i starszych. Jednak dla pasażerów na przednim siedzeniu skuteczność jest już podobna. Wzrasta o 11% w przypadku młodszych pasażerów i o 9% w przypadku pasażerów starszych. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku większych samochodów. Zaobserwowano spadek skuteczności pasów bezpieczeństwa o około 5% dla młodszych kierowców i pasażerów, podczas gdy dla osób starszych wzrosła ona o 5-10%.

Kolejnym kierunkiem rozwoju pasów bezpieczeństwa i ograniczenia sił działających na pasażerów są systemy pasów zawierających poduszkę powietrzną. Rozwiązanie polega na zwiększeniu szerokości pasów w trakcie zaistnienia wypadku.

Firma Autoliv wraz z Mercedes-Benz opracowała wspólnie rozwiązanie o nazwie Belt Bag. Jest to połączenie pasa bezpieczeństwa i poduszki powietrznej. Gdy czujniki zderzenia wykryją zderzenie o odpowiednio dużej intensywności, jednostka sterująca poduszką powietrzną aktywuje Belt Bag. Generator znajdujący się przy armaturze pasa napełnia dwuwarstwowy pas, który podwaja swoją szerokość. To zwiększenie szerokości pasa rozkłada nacisk na większą powierzchnię, zmniejszając tym samym ryzyko obrażeń. Jest to szczególnie korzystne dla starszych pasażerów, których żebra cechują się mniejszą elastycznością. Objętość napompowanego pasa Belt Bag wynosi około czterech litrów. Konstruktorzy uważają, że Belt Bag przyniesie największe korzyści w tylnej części samochodu, gdzie nie można zainstalować konwencjonalnych poduszek powietrznych [15].



Rys. 2.4. System Belt Bag [11]



**CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)**

Rozwiązanie polegające na nadmuchiwanie pasa oferuje także firma Ford. Podczas kolizji rurowa poduszka powietrzna napęnia się zwiększając szerokość pasów bezpieczeństwa w okolicy klatki piersiowej pasażera. Nadmuchiwane pasy bezpieczeństwa mają dwie zalety. Po pierwsze, rozkładają siłę zderzenia na większy obszar ciała, potencjalnie zmniejszając ryzyko obrażeń klatki piersiowej. Po drugie, uruchomienie poduszki napina pas, ograniczając ruch do przodu i zmniejszając ryzyko urazu głowy.

W odróżnieniu od poprzedniego rozwiązania, pasy napęalniane są za pomocą sprężonego gazu przechowywanego w małym zasobniku. Jest to podstawowa różnica w stosunku do zasady działania poduszek gazowych, w których wykorzystuje się ładunki pirotechniczne. W pasie, niewielki ładunek służy jedynie do aktywowania procesu napęalniania. Poduszka jest zaprojektowana w taki sposób, aby pozostała napompowana przez około 6 sekund. Dzięki temu nadmuchiwany pas wykazuje również zalety podczas dłuższej trwających wypadków, np. takich jak przewrócenie się pojazdu. Nadmuchiwany pas jest o około dwa do trzech razy grubszy niż tradycyjny pas bezpieczeństwa. W odróżnieniu od tradycyjnych pasów, w systemie Forda istnieją oddzielne pasy biodrowe i barkowe przymocowane do specjalnie zaprojektowanej płytki zatrzasku. Pas barkowy i pas biodrowy mają swój własny system zwijający.



Rys. 2.5. Połączenie odcinka biodrowego i barkowego [22]



Rys. 2.6. Napęczniony pas barkowy [22]

2.3. Poduszki gazowe

Poduszki gazowe stanowią bardzo istotny element w systemach bezpieczeństwa biernego. W nowoczesnych pojazdach ich liczba ciągle rośnie. Pomimo tego ich użyteczność, oprócz testów zderzeniowych, jest słabo udowodniona w rzeczywistych sytuacjach drogowych. Najlepiej przebadane są poduszki czołowe (ze względu na ich największą liczbę i najszybsze wprowadzenie do pojazdów). Wyniki analiz obrażeń spowodowanych przez poduszki powietrzne przy zderzeniach czołowych, szczególnie pasażerów zajmujących miejsce obok kierowcy, doprowadziły do opracowania poduszek powietrznych drugiej generacji cechujących się mniej agresywnym działaniem [4]. Są one powszechnie stosowane w pojazdach (późniejsze modele zawierają również opcję wyłączenia poduszki powietrznej po stronie pasażera – np. podczas przewożenia dziecka).

Istotne jest także prowadzenie prac mających na celu określenie potencjalnych zagrożeń osób starszych wynikających z zadziałania poduszek powietrznych. Kontynuacja badań w celu zrozumienia, w jaki sposób urządzenia bezpieczeństwa biernego w przypadku zderzeń bocznych mogą być zoptymalizowane pod kątem osób starszych są uzasadnione. Podobnie jak w przypadku pasów bezpieczeństwa, w większości przypadków projektowanie i testowanie poduszek gazowych nie opiera się na antropometrii osób starszych. Choć potrzeba zastosowania czołowej i bocznej poduszki powietrznej (piersiowej i kurtyny bocznej) w przypadku zderzenia wydaje się oczywista dla starszych pasażerów, to dopuszczalne wartości referencyjne oceny

**CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)**

obrażeń stosowane w testach zderzeniowych z udziałem manekinów zakładają jeden ich poziom [3]. Należy go zróżnicować biorąc pod uwagę efekty starzenia i związanego z nim osłabienia ciała.

Postęp w dziedzinie poduszek gazowych związany jest z zastosowaniem różnego typu czujników. Przykładowo, zgodnie z normą FMVSS 208 w nowych modelach pojazdów jako część systemu poduszek gazowych instalowane są specjalne czujniki. Przy ich użyciu identyfikowana jest waga pasażera i jego wzrost a na tej podstawie sterownik odpowiednio dobiera sposób napełniania poduszki, dodatkowo uwzględniając prędkość zderzenia.

W wielu modelach samochodów (szczególnie wyższych klas) są już obecnie instalowane poduszki adaptacyjne. Przykładowo, firma Mercedes-Benz instaluje poduszki gazowe, które są aktywowane w dwóch etapach w zależności od ocenionej siły uderzenia. Planuje się, że przyszłe generacje tego systemu bezpieczeństwa będą nie tylko uwzględniać ciężkość wypadku, ale także dostosowywać się do poszczególnych pasażerów pojazdu (Size Adaptive Airbags) [14]. Ich działanie polega na automatycznym dostosowaniu swojej objętości do rozpoznanej przez czujniki pozycji i postury pasażera z przodu. To, czy mały pasażer z przodu jest pochylony blisko deski rozdzielczej, czy też wysoki pasażer z przodu ma fotel przesunięty daleko do tyłu, ma wpływ na działanie ochronne poduszki powietrznej. Ważna jest również waga pasażera z przodu, a tym samym siły działające na poduszkę powietrzną podczas wypadku. Dzięki adaptacyjnym poduszkom gazowym kontakt pasażera z poduszką zachodzi w ściśle określonym czasie.

W rozwiązaniu Mercedesa pojemność poduszki po stronie pasażera może się zmieniać od 90 do 150 litrów. Dla porównania, konwencjonalne poduszki powietrzne dla pasażerów z przodu mają pojemność około 120 litrów. System wykorzystuje trzy taśmy oporowe, za pomocą których kontury poduszek powietrznych są regulowane w celu ograniczenia objętości. Taśmy oporowe są zamontowane na elektrycznie napędzanych szpulach. W momencie aktywacji poduszki powietrznej uwalniana jest tylko taka długość pasów, jaka została obliczona przez sterownik na podstawie danych z czujników pozycji i wagi pasażera.

Pierwszym na świecie rozwiązaniem tego typu, montowanym seryjnie od roku 2006 w samochodach GM była technologia poduszek Dual Depth Frontal Airbag. Czołowa poduszka powietrzna, ma możliwość rozwinięcia się w dwóch różnych rozmiarach i przy różnym ciśnieniu wewnętrznym, w zależności od pozycji pasażera na przednim siedzeniu, użycia pasów bezpieczeństwa i ciężkości zderzenia.



Rys. 2.7. Poduszka gazowej firmy GM [20]

Podobne rozwiązanie opracowała firma TRW Automotive Holdings. Czołowa poduszka gazowa dla pasażerów umożliwia dostosowanie wartości ciśnienia w poduszce, jak i jej rozmiaru w zależności od wielu zmiennych występujących podczas kolizji (m.in. wielkości pasażera, prędkości i siły zderzenia, pozycji pasażera, czy nawet zapiętego lub niezapiętego pasa). Oprócz wprowadzenia dwustopniowych zespołów napełniających zawiera ona dodatkowy aktywny system wentylacji, regulujący sposób wypływania gazów z poduszki, regulując tym samym jej sprężystość [25].

Opatentowany przez firmę Tesla system jest w stanie rozróżnić osoby (np. dziecko od osoby dorosłej) i odpowiednio dostosować działanie poduszki powietrznej w razie wypadku [18]. Generalną wadą poduszek gazowych jest to, że są one zaprojektowane tak, aby optymalnie chronić osoby siedzące w ściśle określony sposób (tak jak w czasie testów zderzeniowych). Według Tesli, opracowany przez nich system może również wykryć sposób w jaki sposób siedzą pasażerowie. Pozwala to na jeszcze dokładniejszą optymalizację sposobu, w jaki poduszki powietrzne są uruchamiane.





Rys. 2.8. Schemat systemu poduszki gazowej Tesli [18]

3. Zaawansowane systemy wspomagania kierowcy (ADAS)

W ostatnich latach bardzo gwałtownie rozwijają się technologie zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy. Są one dedykowane wszystkim kierowcom, jednakże wiele z nich może stanowić szczególną pomoc dla najstarszych użytkowników samochodów. Podstawą prawidłowego stosowania systemów ADAS i wykorzystywania w pełni ich możliwości jest zrozumienie funkcjonowania systemów i ich prawidłowa obsługa. Wiele z nich obsługiwana jest za pomocą ekranów dotykowych czy przycisków wielofunkcyjnych. Może to stanowić poważną barierę dla najstarszej grupy kierowców. Paradoksalnie, to starsi kierowcy są pierwszymi nabywcami najnowszych technologii. Zazwyczaj w pierwszej kolejności pojawiają się one w samochodach klasy premium, których nabywcami są w większości osoby po 50 roku życia.

Najbardziej krytycznym wymaganiem dla kierowców w starszym wieku jest bezpieczeństwo, ze względu na ich mniejszą odporność na ewentualne obrażenia. Technologie wykorzystywane do łagodzenia ryzyka obrażeń, tworzone są dla ogółu kierowców, a nie tylko do grupy starszych kierowców. Stąd, mogą pojawić się rozbieżności pomiędzy oczekiwaniami tej grupy kierowców a wdrażanymi rozwiązaniami. Dlatego, aby skutecznie uwzględnić potrzeby osób starszych w procesie rozwoju systemów, należy przeprowadzać wywiady, badania i ich testowanie z udziałem tych kierowców [36].

W literaturze spotyka się wiele prac, w których autorzy przedstawiają wyniki badań użyteczności systemów ADAS w odniesieniu do starszych kierowców [28]-[35].

W 2015 roku w USA The Hartford Center for Mature Market i MIT AgeLab wykonali badania identyfikujące, które technologie są szczególnie korzystne dla starszych kierowców [27]. W ich trakcie oceniono również komfort i pewność kierowców w korzystaniu z tych technologii. Poniżej przedstawiono 10 systemów, które zostały najwyżej ocenione. Zostały one uszeregowane w kolejności od najlepiej ocenianego przez starszych kierowców [28].

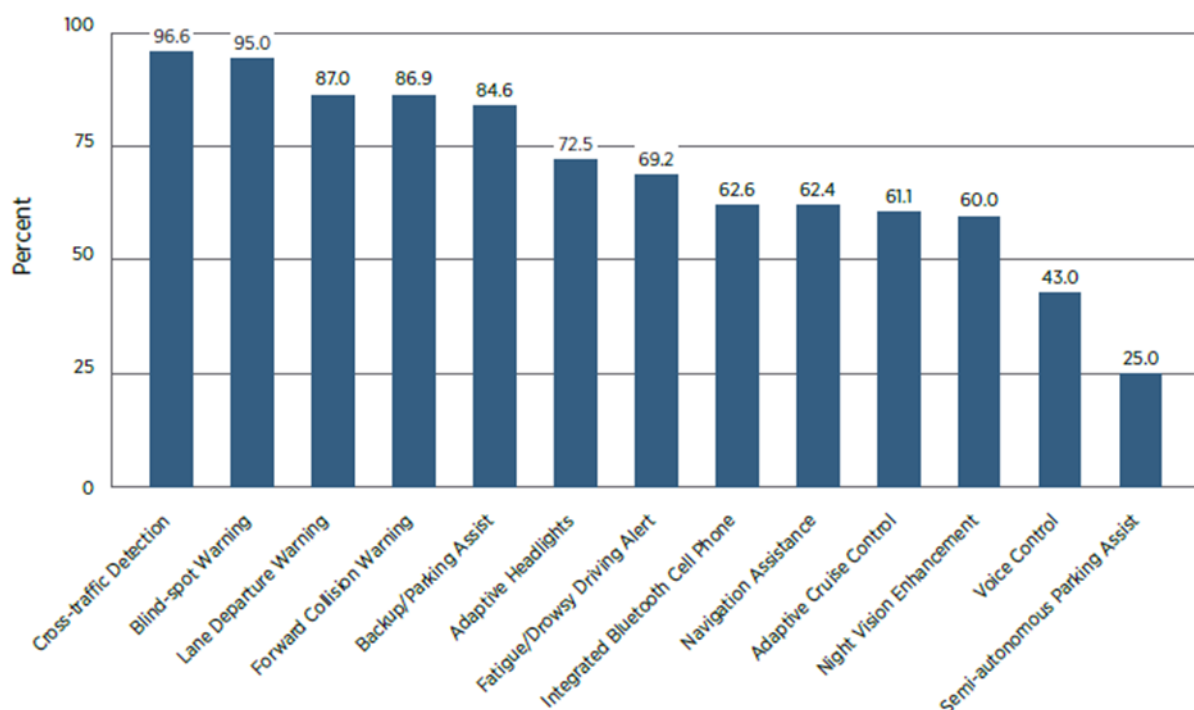
1. Inteligentne reflektory (adaptive headlights).
2. Systemy reagowania w sytuacjach awaryjnych (emergency response systems).
3. System kamery cofania (reverse monitoring systems).
4. Systemy ostrzegania o martwym polu (blind-spot warning systems).
5. System ostrzegania o opuszczeniu pasa ruchu (lane departure warning systems).
6. Systemy stabilizacji toru pojazdu (vehicle stability control).
7. Systemy wspomagania parkowania (assistive parking systems).
8. Systemy aktywowane głosem (voice-activated systems).
9. Systemy łagodzenia skutków kolizji (crash mitigation systems).
10. Alerty dla sennych kierowców (drowsy driver alert).

**CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)**

Przedstawione powyżej systemy odpowiadają najczęściej występującym ograniczeniom i problemom zdrowotnym, z którymi borykają się starsi kierowcy. Są nimi przede wszystkim problemy z widzeniem (szczególnie w nocy), szybką reakcją na zmieniające się sytuacje a także ograniczona ruchliwość (np. skrętu ciała).

W pracy [39] przedstawiono wyniki badań prowadzonych w ramach projektu Longitudinal Research on Aging Drivers (LongROAD). Przeanalizowano w nich systemy ADAS posiadane i używane przez starszych kierowców w USA. W badaniu LongROAD wzięło udział 2 990 uczestników, w wieku od 65 do 79 lat. Dane zebrane w ramach badania obejmowały informacje uzyskane z przeglądów pojazdów, ankiet wypełnionych przez uczestników oraz dane dotyczące stanu zdrowia uczestników ankiet.

Wyniki pokazały, że ogólnie ponad połowa (57,2%) uczestników miała co najmniej jeden z systemów w swoim pojeździe. Uczestnicy najczęściej zgłaszali posiadanie zintegrowanego systemu Bluetooth (47,4%), systemu wspomagania parkowania (40,1%) oraz systemu nawigacji (27,7%). Większość (70%) uczestników, którzy posiadali jeden lub więcej z tych systemów, stwierdziła, że technologie te czynią ich bezpieczniejszymi kierowcami. Na poniższym rysunku przedstawiono odsetek osób, którzy ocenili daną technologię za zwiększającą ich poziom bezpieczeństwa (przyczyniającą się do tego, że postrzegają się bezpieczniejszymi kierowcami).



Rys. 3.1. Odsetek osób oceniających, że dana technologia powoduje zwiększenie bezpieczeństwa [39]

Pomimo tego, że użyteczność nie wszystkich systemów została uporządkowana tak samo jak w poprzednim badaniu, zauważa się jednak duże ich podobieństwo.

CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)

Ponownie, najwyżej oceniane są systemy kompensujące istniejące deficyty starszych kierowców w zakresie możliwości podejmowania szybkiej reakcji, wyraźnego widzenia, a także zmniejszonej ruchliwości i obserwacji otaczającego środowiska.

Rozwój czujników

Rozwój nowoczesnych systemów nie jest możliwy bez pozyskiwania różnorodnych danych o specyficznych warunkach panujących na drodze, ale także o cechach kierowców i stanie psychofizycznym. W tym celu w nowoczesnych pojazdach stosuje się coraz szerszą gamę czujników. W oparciu o oryginalne pomysły na rozwój czujników, mogą być tworzone systemy bardziej użyteczne dla starszych kierowców (ich stan zdrowia wpływa na bezpieczeństwo jazdy bardziej niż w innych grupach wiekowych). Informacje te mogą być automatycznie wykorzystywane przez adaptacyjne systemy pojazdów, pomagając kierowcy lepiej radzić sobie podczas jazdy. Poniżej krótko scharakteryzowano grupy czujników, których użycie rozważa się w pojazdach.

Czujniki noszone bezpośrednio na ciele człowieka (np. w postaci opasek) znalazły szerokie zastosowanie w naukach medycznych, sporcie i obszarach związanych z bezpieczeństwem. Czujniki mogą wykrywać nieprawidłowe i nieprzewidziane sytuacje, a także monitorować fizjologiczne parametry poprzez trackery [29]. Umożliwiają monitorowanie np. temperatury ciała, tętna, aktywności mózgu, ruchów mięśni i innych. Czujniki takie można praktycznie wykorzystać do zwiększenia bezpieczeństwa prowadzenia pojazdów przez osoby starsze. Sygnały z mierzonych wielkości mogą być przekazywane do systemu pojazdu, wywołując ich interakcję. Przykładowo, gdy osoba starsza znajduje się w złej kondycji, czujniki mogą wykryć taki stan i poinformować system pojazdu. Następnie system pojazdu może przekazać informację zwrotną do kierowcy, aby unikała ona jazdy lub doradzić jej ostrożne poruszanie się po drodze.

Czujnik rozpoznawania wyrazu twarzy jest w stanie zidentyfikować lub zweryfikować osobę na podstawie obrazu cyfrowego. Jednym ze sposobów jest porównanie wybranych cech twarzy z bazą danych twarzy. Czujniki tego typu mogą być również wykorzystane w systemach poprawiających bezpieczeństwo jazdy wśród osób starszych. Gdy osoba czuje się źle lub jest chora, może to być widoczne w wyrazie twarzy. Jeśli czujnik zarejestruje emocje użytkowników i poinformuje o nich system pojazdu, może on wpłynąć na zmniejszyć obciążenie kierowcy (np. ograniczając liczbę komunikatów do niezbędnego minimum) [31].

Podobną użyteczność mogą mieć systemy monitorowania stanu mózgu (EEG). Mogą one dostarczać informacji o stanie psychofizycznym kierowcy, monitorować jego zmęczenie i oceniać zdolność do podejmowania decyzji. Jednakże prowadzone badania wśród starszych kierowców wskazują, że są one społecznie nieakceptowalne i wprowadzają duży stres podczas noszenia ich na głowie.

**CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)**

Ocenia się, że systemy rozpoznawania wyrazu twarzy może w największym stopniu pomóc starszym kierowcom. One też mają największą szansę na wprowadzenie do nowoczesnych samochodów [31]. Również czujniki noszone na ciele stwarzają duży potencjał wspomagania starszych kierowców. Nie przynosi on jednak korzyści w odniesieniu do osób starszych, które mają problemy ze wzrokiem.

4. Podsumowanie

Publikowane statystyki coraz wyraźniej wskazują na wydłużający się czas czynnego użytkowania samochodów przez osoby starsze. Związana jest z tym zwiększająca się liczba wypadków, w których uczestniczą osoby starsze. Niekiedy podnoszona jest kwestia większego prawdopodobieństwa powodowania przez nich wypadków. Publikowane prace nie potwierdzają jednoznacznie tej tezy.

Bezspornym jest jednak fakt odnoszenia przez osoby starsze (zarówno kierowców jak i pasażerów) poważniejszych obrażeń. Publikowane dane dowodzą, że przy takim samym typie wypadku osoby starsze doznają rozleglejszych obrażeń, częściej także w ich wyniku umierają. Związane jest to z ogólnym osłabieniem organizmu, a w szczególności układu szkieletowo-mięśniowego.

Do czynników, które w negatywny sposób wpływają na możliwości prowadzenia samochodów, można zaliczyć pogorszenie wzroku, słuchu, obniżony czas reakcji i zmniejszoną możliwość przyswajania i analizy różnego typu bodźców. Ocenia się, że te deficyty osób starszych mogą kompensować nowoczesne systemy wspomagania kierowcy.

Utrzymanie bezpiecznej mobilności starszych kierowców wymaga ciągłej oceny wykorzystania i akceptacji nowych technologii, analizy czynników związanych z wypadkami z udziałem starszych użytkowników dróg oraz bardziej szczegółowego zrozumienia zakresu możliwości działania nowatorskich technologii.

Obecnie, w większości projektowanie pojazdów i znajdujących się w nich systemów wspomagania, odbywa się przy uwzględnieniu potrzeb wybranej grupy kierowców. Tak jest przykładowo w projektowaniu i testowaniu systemów bezpieczeństwa biernego. Ich konstrukcja jest ukierunkowana na spełnienie specyficznych wymagań prób zderzeniowych. Nie są w nich uwzględniane możliwości osób starszych w zakresie dopuszczalnych obciążeń. W tym zakresie powinny być stosowane zasady projektowania uniwersalnego, uwzględniające wymagania wszystkich użytkowników samochodów.

Z publikowanych prac i raportów wynika konieczność zwiększenia wysiłków na rzecz opracowania wytycznych związanych z czynnikiem ludzkim w celu dostosowania do potrzeb starszych kierowców oraz produkcji systemów adaptacyjnych, które mogą dopasowywać działanie systemu do różnych cech kierowców. Niezbędna jest w tym zakresie wymiana informacji pomiędzy zaangażowanymi podmiotami. Jeśli producenci nie wchodzi w interakcję z docelowymi klientami to w wyniku prac rozwojowych często powstają rozwiązania, z których osoby starsze nie będą korzystać.

W miarę postępu technicznego w przyszłości w pojazdach może być instalowanych wiele systemów ostrzegawczych. Już teraz pojazdy wyposażone są w kombinacje aktywnego tempomatu i systemów ostrzegania (np. przed kolizją). Nadmiar napływających z nich informacji może powodować, że starsi kierowcy będą czuli się dezorientowani i rozproszeni. Problemy te można zminimalizować poprzez odpowiednie zastosowanie projektowania zorientowanego na możliwości percepcji

**CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)**

poszczególnych grup osób. Prowadzone są liczne badania w tym zakresie. Ocenia się, że doprowadzą one do sformułowania zaleceń dotyczących skutecznej i akceptowalnej integracji wielu systemów ostrzegawczych.

W pracy przedstawiono wybrane technologie mające na celu poprawę bezpieczeństwa osób starszych. Należy mieć jednak świadomość gwałtownego rozwoju tych systemów. Na rynku motoryzacyjnym stale pojawiają się nowe rozwiązania. Niektóre z nich mogą potencjalnie pomóc zarówno starszym, jak i młodszym kierowcom. Mogą one jednak być nieskuteczne, jeśli nie zostaną zaprojektowane tak, aby były zgodne z możliwościami i ograniczeniami starszych kierowców. Większość rozwiązań korzystnych dla starszych kierowców jest również korzystna dla młodszej grupy. Niestety, twierdzenie odwrotne nie jest już tak często prawdziwe.

5. Literatura

- [1] Azami-Aghdash S, Aghaei MH, Sadeghi-Bazarghani H. Epidemiology of Road Traffic Injuries among Elderly People; A Systematic Review and Meta-Analysis. Bull Emerg Trauma. 2018;6(4):279-291. doi: 10.29252/beat-060403.
- [2] Boot WR, Stothart C, Charness N. Improving the safety of aging road users: a mini-review. Gerontology. 2014; 60(1):90-6. DOI: 10.1159/000354212.
- [3] Brian N. Fildes (2008) Future Directions for Older Driver Research, Traffic Injury Prevention, 9:4, 387-393, DOI: 10.1080/15389580802272435.
- [4] Eby DW, Molnar LJ, Has the Time Come for Older Driver Vehicle? Report No. UMTRI-2012-5 February 2012.
- [5] Ekambaram Karthikeyan, Frampton Richard & Bartlett Lisa (2015) Improving the Chest Protection of Elderly Occupants in Frontal Crashes Using SMART Load Limiters, Traffic Injury Prevention, 16:sup2, S77-S86, DOI: 10.1080/15389588.2015.1064528.
- [6] European Commission, 2017 road safety statistics: What is behind the figures? Brussels, 10 April 2018
- [7] European Commission, Older Drivers, European Commission, Directorate General for Transport, February 2018.
- [8] F Alvarez, I Fierro. Older drivers, medical condition, medical impairment and crash risk. Accident Analysis and Prevention, 2008, 40: 55-60.
- [9] Fornells, A., Parera, N., Ferrer, A., & Fiorentino, A. (2017). Senior Drivers, Bicyclists and Pedestrian Behavior Related with Traffic Accidents and Injuries. SAE Technical Paper Series. doi:10.4271/2017-01-1397
- [10] Highway Design Handbook for Older Drivers and Pedestrians (FHWA-RD-01-103)
- [11] <https://carbiketech.com/belt-bag/>
- [12] <https://cordis.europa.eu/project/id/636136/reporting>
- [13] <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/crash-test-dummies-based-older-bodies-could-reduce-road-fatalities>
- [14] <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Size-Adaptive-Airbags-tailor-made-airbags.xhtml?oid=9361696>
- [15] <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Belt-Bag-a-clever-combination-of-a-seat-belt-and-airbag.xhtml?oid=9361685>
- [16] <https://highways.dot.gov/public-roads/mayjun-2006/road-users-can-grow-old-gracefully-some-help>
- [17] <https://highways.dot.gov/public-roads/novdec-2007/senior-mobility-series-article-8-new-vehicle-technologies-may-help-older>

CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)

- [18] <https://www.actualidadmotor.com/en/tesla-adaptive-airbag-patent/>
- [19] <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/adaptive-front-lighting-systems-afs/>
- [20] <https://www.auto123.com/en/news/gm-introduces-worlds-first-dual-depth-frontal-airbag/42920/>
- [21] <https://www.autoevolution.com/news/trw-introduces-self-adaptive-seat-belt-load-limiter-21190.html>
- [22] <https://www.businessinsider.com/how-fords-inflatable-seatbelt-works-2012-8?IR=T#you-could-pinch-the-seat-belt-and-feel-the-airbag-like-cushion-inside-3>
- [23] <https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/vulnerable/elderly-atd>
- [24] <https://www.iihs.org/topics/older-drivers>
- [25] <https://www.itsinternational.com/news/trw-unveils-new-generation-adaptive-airbags>
- [26] <https://www.nissan-global.com/EN/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/AFS/>
- [27] <https://www.thehartford.com/resources/mature-market-excellence/vehicle-technology>
- [28] In The Driver's Seat, A Guide to Vehicle Safety Technology, The Hartford Center for Mature Market Excellence, November 2015 The Hartford Financial Services Group.
- [29] J A Healey, R W Picard. Detecting stress during real world driving tasks using physiological sensors. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(2): 156-166.
- [30] Jennifer Oxley, Judith Charlton, David Logan, Steve O'Hern, Sjaan Koppel & Lynn Meuleners (2019): Safer vehicles and technology for older adults, Traffic Injury Prevention, DOI: 10.1080/15389588.2019.1661712.
- [31] Jung, S., Meng, HY. & Qin, SF. Exploring Challenges in Developing a Smart and Effective Assistive System for Improving the Experience of the Elderly Drivers. Chin. J. Mech. Eng. 30, 1133–1149 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10033-017-0165-6>
- [32] Kahane, C. J. (2013, November). Effectiveness of pretensioners and load limiters for enhancing fatality reduction by seat belts. (Report No. DOT HS 811 835). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- [33] Kent R, Henary B, Matsuoka F. On the fatal crash experience of older drivers. Annu Proc Assoc Adv Automot Med. 2005;49:371-91. PMID: 16179160; PMCID: PMC3217450.
- [34] Lord, D., van Schalkwyk, I., Chrysler, S., & Staplin, L. (2007). A strategy to

CENTRUM WIEDZY O DOSTĘPNOŚCI DO TRANSPORTU I MOBILNOŚCI OSÓB O SZCZEGÓLNYCH POTRZEBACH
(POWR.03.05.00-00-CW07/20)

- reduce older driver injuries at intersections using more accommodating roundabout design practices. Accident Analysis & Prevention, 39(3), 427–432. doi:10.1016/j.aap.2006.09.011
- [35] Maryam Zahabi, Ashiq Mohammed Abdul Razak, Ashley E. Shortz, Ranjana K. Mehta, Michael Manser, Evaluating advanced driver-assistance system trainings using driver performance, attention allocation, and neural efficiency measures, Applied Ergonomics, Volume 84, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.103036>.
- [36] National Research Council 2004. Technology for Adaptive Aging. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10857>.
- [37] Saisan J, White M, Robinson L. Older driver safety. http://www.helpguide.org/elder/senior_citizen_driving.htm.
- [38] SENIOR Safety Enhanced Innovations For Older Road Users European Commission Eighth Framework Programme HORIZON 2020
- [39] Villavicencio, L.I., Kelley-Baker, T. (2020). Older Drivers and Advanced Driver Assistance Systems. (Research Brief.) Washington, D.C.: AAA Foundation for Traffic Safety.
- [40] Wang, Cong and Qing Zhou. "Concept Study of Adaptive Seatbelt Load Limiter Using Magnetorheological Fluid." (2009).
- [41] Zhonghao Bai, Binhui Jiang, Feng Zhu & Libo Cao (2014) Optimizing the Passenger Air Bag of an Adaptive Restraint System for Multiple Size Occupants, Traffic Injury Prevention, 15:6, 556-563, DOI: 10.1080/15389588.2013.842232

.....
Podpis Autora dzieła

.....
Data

.....
Podpis Lidera Zespołu