

JACKOWSKI Jerzy, WIECZOREK Marcin, ŻMUDA Marcin

BADANIA OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH KIEROWCY POJAZDU PODCZAS ZDERZENIA CZOŁOWEGO

Streszczenie

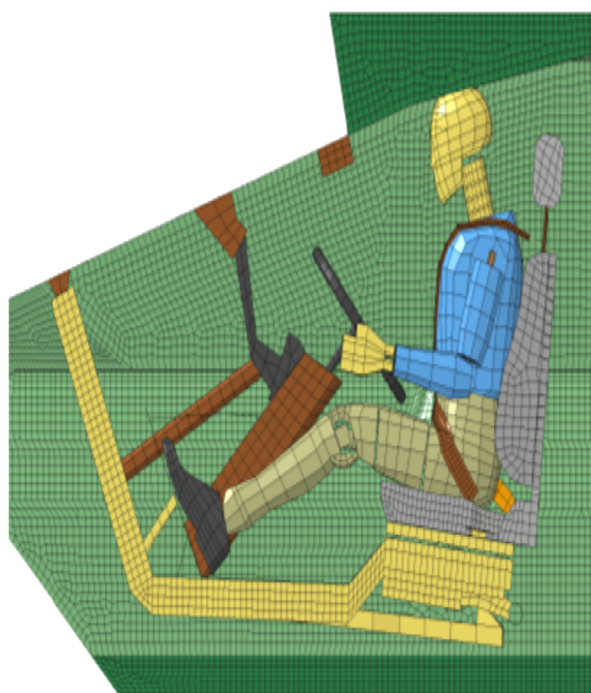
W pracy przedstawiono obecny sposób zabezpieczenia pasem bezpieczeństwa kierowcy pojazdu wojskowego oraz oceniono wpływ zastąpienia pasa dwupunktowego pasem trzypunktowym na stan przemieszczeń i obciążeń kierowcy podczas pokonywania przeszkód terenowych. Dokonano analizy wskazań z czujnika napięcia pasa oraz filmu z kamery do zdjęć szybkich. Zestawiono przemieszczenie poszczególnych części ciała kierowcy wywołanego ruchem opóźnionym pojazdu.

WSTĘP

Obecnie konflikty zbrojne w Iraku i Afganistanie kojarzone są z działaniami asymetrycznymi, tzn. że we współczesnych konfliktach walczące wojska nie stają naprzeciw siebie w walce. Aktualnie przeważają różnego rodzaju zasadzki a działania (patrole) prowadzone są najczęściej w obszarze zurbanizowanym. Bardzo często powoduje to konieczność taranowania (przy małej prędkości jazdy) przeszkód doraźnie utworzonych na drodze, spychanie samochodów ograniczających przejezdność oraz pokonywanie innych umocnień (bramy, ogrodzenia, barykady). Dochodzi też może do różnych innych kolizji, w tym najechania na pojazd poruszający się w kolumnie. W samochodach osobowych podczas zderzeń czołowych istotną funkcję ochronną kierowcy pełni strefa kontrolowanego zgniotu. W opancerzonych pojazdach wojskowych nie buduje się takiej strefy. Wówczas, praktycznie cała energia uderzenia pojazdu w przeszkodę przenosi się na członków załogi [7,9]. Zderzenia pojazdu wojskowego z przeszkodą, mimo niewielkiej prędkości, są więc źródłem dodatkowych znacznych obciążeń przenoszonych na kierowcę. To z kolei może skutkować niezamierzonym przemieszczaniem się ciała a następnie uderzeniem w znajdujące się w bezpośredniej bliskości elementy wyposażenia. Dodatkowo, w pojazdach wojskowych, ze względu na potrzebę większej mobilności kierującego (związaną z dostępem do różnego rodzaju dodatkowego wyposażenia) stosowane są dwupunktowe bezwładnościowe pasy bezpieczeństwa (rys. 1) a nie trzypunktowe, jakie powszechnie spotykane się w samochodach „cywilnych”. Na rys. 2 przedstawiono przestrzeń, jaką kierowca ma przed sobą po zajęciu miejsca na fotelu (dla pojazdu KTO Rosomak). Ruch kierowcy do przodu ograniczony jest przez koło kierownicy, ale widać także, że jego głowa oddalona jest od krawędzi włązu zaledwie o ok. 40 cm. Z prawej strony kierowca jest oddzielony ścianą od przedziału silnikowego, natomiast po swojej lewej stronie ma zamontowane różnego rodzaju urządzenia.



Rys. 1. Fotel kierowcy KTO Rosomak z widocznym dwupunktowym pasem bezpieczeństwa
 Źródło: opracowanie własne



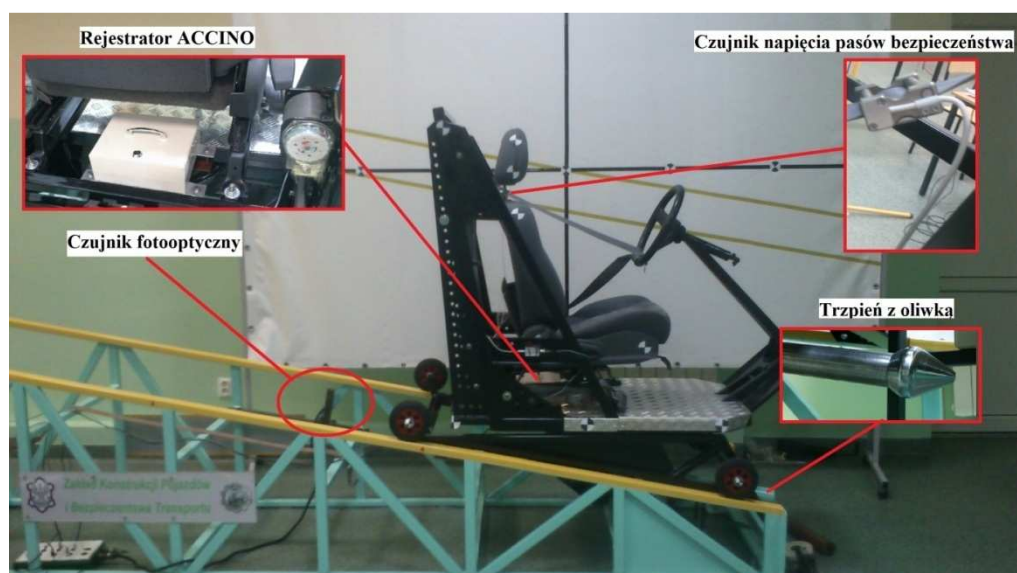
Rys. 2. Zobrazowanie przestrzeni przedziału kierowcy
 Źródło: [8]

1. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Zakres pracy obejmował przeprowadzenie badań eksperymentalnych, polegających na symulowaniu zderzenia czołowego pojazdu, który porusza się z małą prędkością. Badania prowadzono w celu oceny wpływu zastosowania trzypunktowego pasa bezpieczeństwa (w miejsce dwupunktowego) na stan ochrony i przemieszczeń kierowcy.

Badania wykonano na stanowisku zbudowanym w postaci równi pochyłej (rys. 3), po której porusza się wózek. Do wózka przymocowany został fotel kierowcy pojazdu wojskowego (KTO Rosomak). Stanowisko umożliwia rejestrację siły napięcia pasa bezpieczeństwa, prędkości oraz opóźnień ciała człowieka powstających w czasie wyhamowywania wózka. Hamowanie wózka (zderzenie) realizowano poprzez wciskanie metalowej kształtki (oliwki), która poruszała się razem z fotelem, w nieruchomą poliuretanową tuleję umieszczoną w podstawie stanowiska. Dodatkowo, przy pomocy kamery do zdjęć szybkich rejestrowano przebieg zderzenia.

Fotel, na którym został umieszczony manekin odpowiadający dorosłemu człowiekowi, rozpędzany był do prędkości 9,7 km/h oraz 12,8 km/h, a następnie hamowany. Dzięki zastosowaniu różnych średnic oliwek uzyskiwano różne opóźnienia hamowania fotela. Opóźnienie fotela rejestrowano przy pomocy zestawu ACCINO [1]. Stanowi on zintegrowany system pomiarowy i rejestrujący z własnym systemem zasilania, który dokonuje pomiarów przyspieszeń w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach. Dodatkowo, przy pomocy czujnika fotooptycznego mierzono prędkość wózka bezpośrednio przed jego hamowaniem (rys.3). Manekin podczas próby badawczej był „ubrany” w mundur polowy, szelki do przenoszenia oporządzenia oraz hełm kevlarowy.



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe

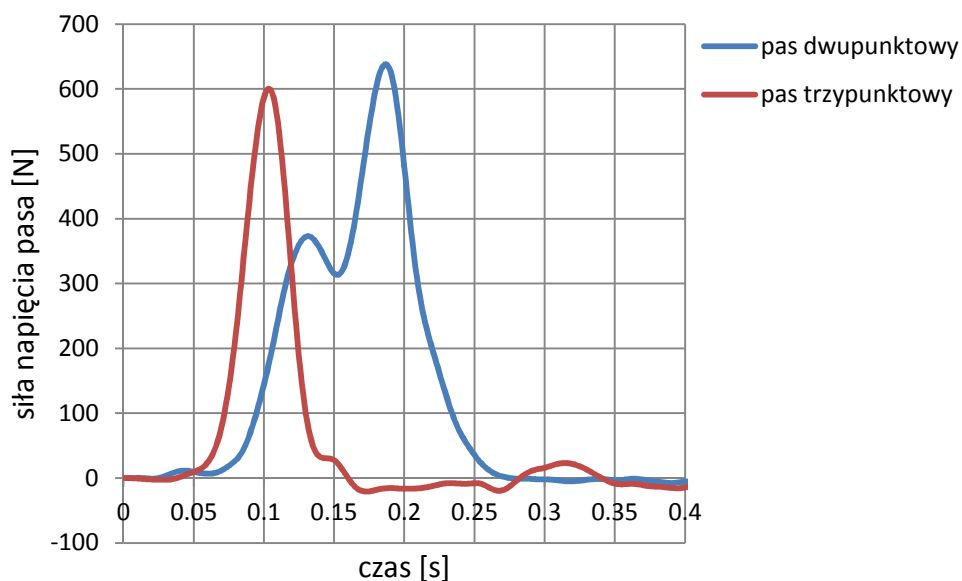
Źródło: opracowanie własne

Mimo, że w warunkach naturalnych wielkość przedziału kierowcy jest znacznie ograniczona (rys. 2), podczas badań na stanowisku badawczym nie wprowadzono żadnych elementów, dodatkowo ograniczających przemieszczanie ciała kierowcy. Miało to na celu zbadanie maksymalnego przemieszczenia różnych części ciała człowieka i ocenę możliwości zmniejszenia tych przemieszczeń poprzez wprowadzenie pasa trzypunktowego. Pas podczas każdego zjazdu wózka był standardowo zapinany (bez wstępnego napinania). Czujnik siły napięcia pasa dla testów z wykorzystaniem pasa trzypunktowego został umieszczony w jego odcinku biodrowym, analogicznie jak dla pasa dwupunktowego. Każdy pomiar, realizowany w danych warunkach, trzykrotnie powtarzano.

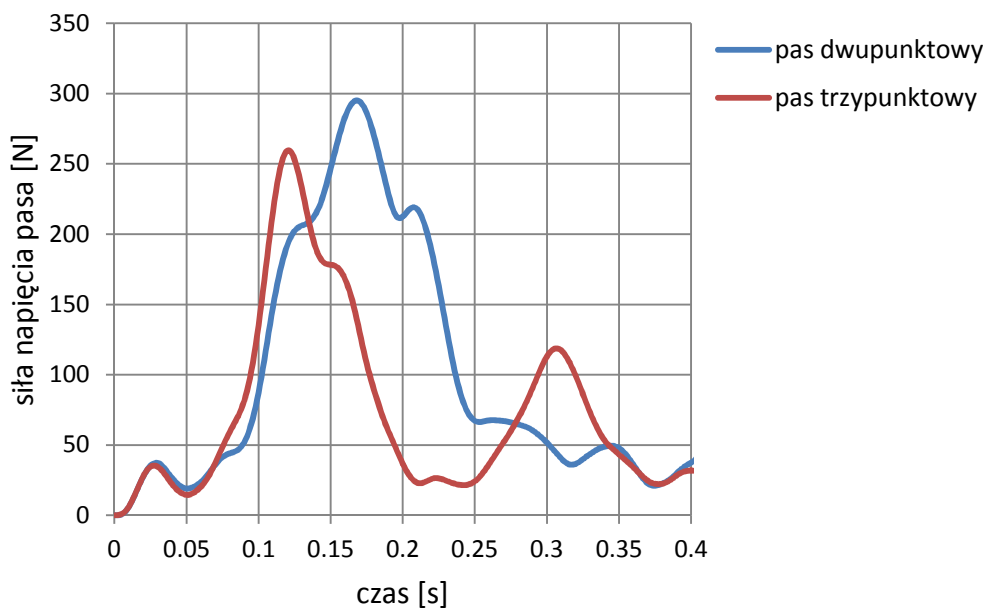
2. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Przykładowe wyniki badań stanu obciążenia pasów bezpieczeństwa dwu i trzypunktowego pokazano na rysunkach 4, 5 a w tabelach 1, 2 zestawiono maksymalne (uśrednione z trzech pomiarów) siły napięcia pasa. Przebiegi zarejestrowane przez czujnik napięcia pasa zostały

przetworzone przez przefiltrowanie z wykorzystaniem filtra dolnoprzepustowego Butterworth'a czwartego rzędu o częstotliwości odcięcia 30 Hz (filtr odpowiada filtrowi CFC - Channel Frequency Class zgodny z [6]).



Rys. 4. Siła napięcia pasa podczas zderzenia z prędkością 12,8 km/h oraz z opóźnieniem ok. 15,5 g
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Siła napięcia pasa podczas zderzenia z prędkością 9,7 km/h oraz z opóźnieniem ok. 5,0 g
Źródło: opracowanie własne

Tab. 1. Zestawienie maksymalnych wartości sił napięcia pasa podczas zderzeń przy prędkości 9,7 km/h (wartości uśrednione z trzech pomiarów)

	Siła napięcia pasa [N]	Opóźnienie [g]
pas dwupunktowy	324,5±29,50	5,0±0,05
pas trzypunktowy	221,0±39,00	
pas dwupunktowy	281,5±15,50	11,3±0,05
pas trzypunktowy	558,3±10,14	

Źródło: opracowanie własne

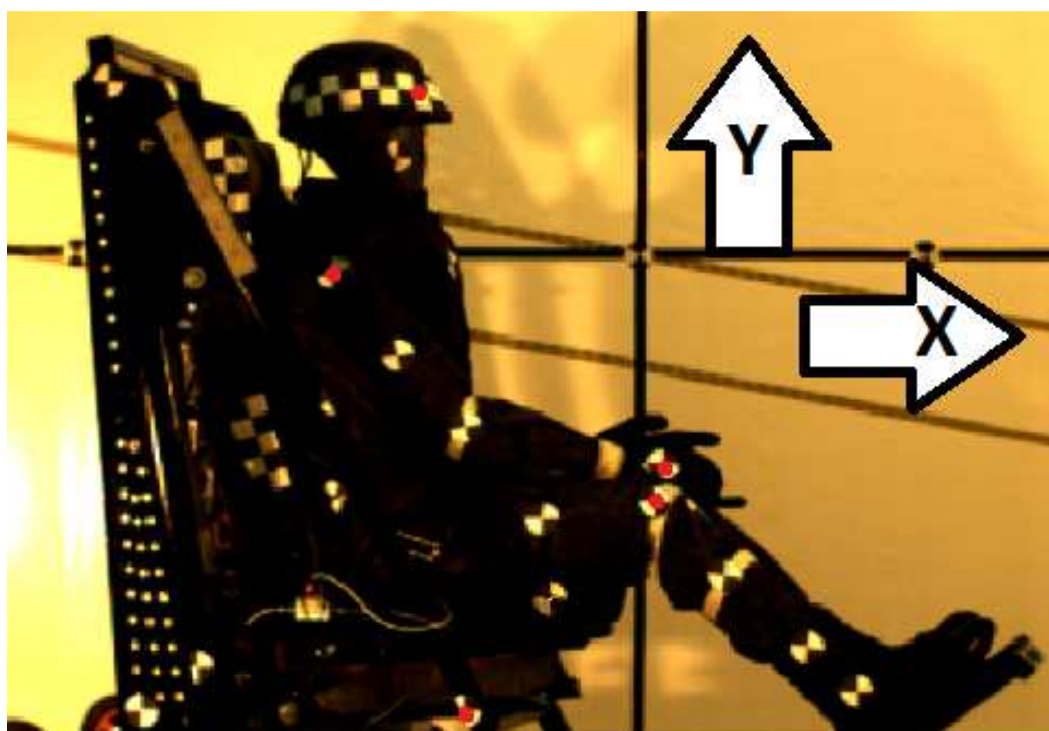
Tab. 2. Zestawienie maksymalnych wartości sił napięcia pasa podczas zderzeń przy prędkości 12,8 km/h (wartości uśrednione z trzech pomiarów)

	Siła napięcia pasa [N]	Opóźnienie [g]
pas dwupunktowy	358,7±38,58	6,5±0,20
pas trypunktowy	337,5±27,50	
pas dwupunktowy	636,3±20,50	15,4±0,16
pas trypunktowy	617,5±57,86	

Źródło: opracowanie własne

Zastosowanie pasa trypunktowego wpłynęło na zmniejszenie wartości siły napięcia pasa bezpieczeństwa. Dla pasów trypunktowych zaobserwowano krótszy przedział czasu, po którym pas został w pełni napięty. Oznaczać to może skuteczniejsze przytrzymanie ciała człowieka na fotelu. Analiza zarejestrowanego filmu była możliwa dzięki naniesieniu na manekina „markerów” (rys.6-12). Dostarczyła ona informacji o przyspieszeniu głowy oraz przemieszczeniach wybranych części ciała.

Na przebiegu siły napięcia pasa dwupunktowego (przy prędkości zderzenia 12,8 km/h) wyraźnie widoczne są dwie fazy wzrostu. Prawdopodobnie przyczyną było częściowe wysuwanie się manekina spod taśmy pasa dwupunktowego, widoczne na rys. 14 w postaci przemieszczenia kolan.



Rys. 6. „Markery” wykorzystane podczas analizy filmów

Źródło: opracowanie własne



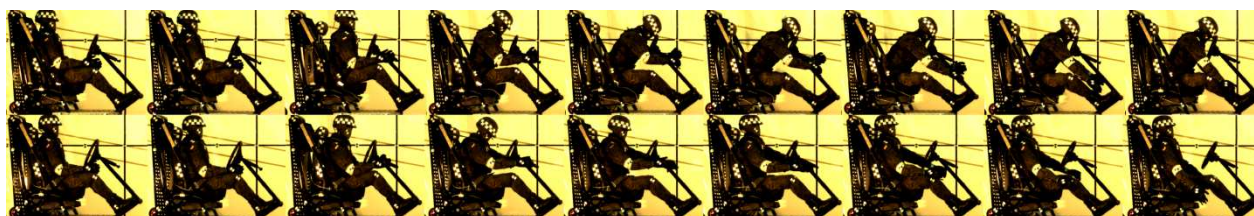
Rys. 7. Przemieszczenie manekina przypiętego pasem dwupunktowym (górze) oraz trzypunktowym (dół) od czasu 0 ms do 400 ms (prędkość 9,7 km/h, opóźnienie 2 g)

Źródło: opracowanie własne



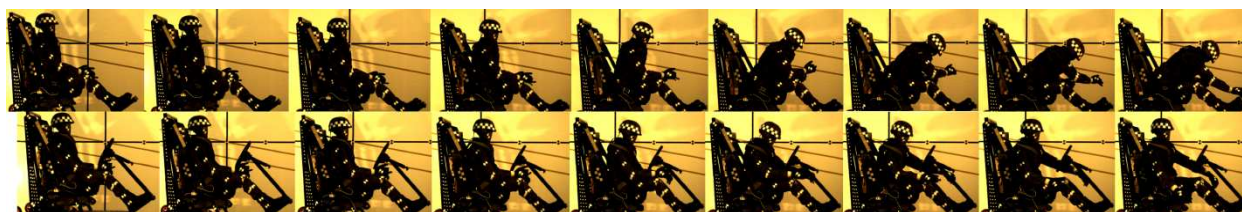
Rys. 8. Przemieszczenie manekina przypiętego pasem dwupunktowym (górze) oraz trzypunktowym (dół) od czasu 0 ms do 400 ms (prędkość 9,7 km/h, opóźnienie 5 g)

Źródło: opracowanie własne



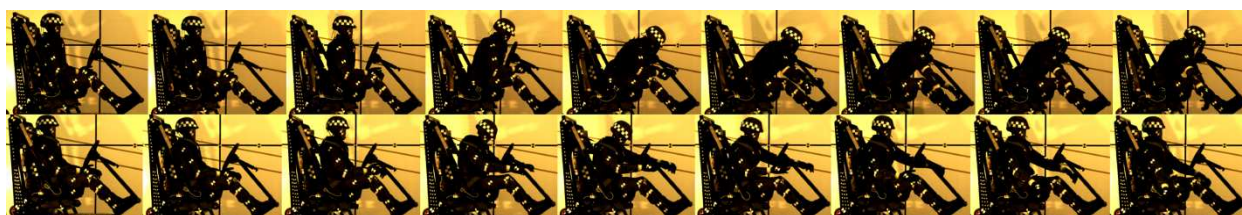
Rys. 9. Przemieszczenie manekina przypiętego pasem dwupunktowym (górze) oraz trzypunktowym (dół) od czasu 0 ms do 400 ms (prędkość 9,7 km/h, opóźnienie 11,3 g)

Źródło: opracowanie własne



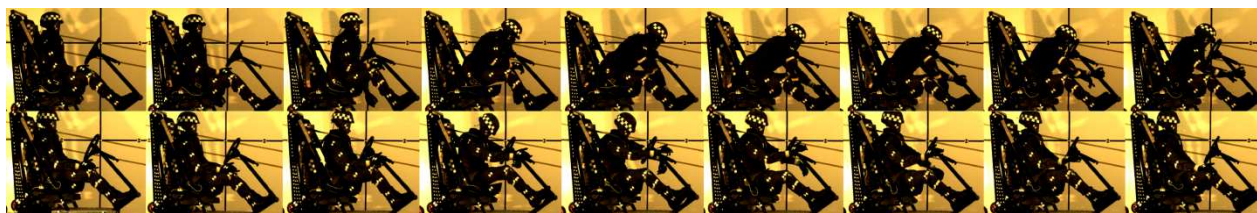
Rys. 10. Przemieszczenie manekina przypiętego pasem dwupunktowym (górze) oraz trzypunktowym (dół) od czasu 0 ms do 400 ms (prędkość 12,8 km/h, opóźnienie 3,6 g)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 11. Przemieszczenie manekina przypiętego pasem dwupunktowym (górze) oraz trzypunktowym (dół) od czasu 0 ms do 400 ms (prędkość 12,8 km/h, opóźnienie 6,8 g)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 12. Przemieszczenie manekina przypiętego pasem dwupunktowym (górną) oraz trzypunktowym (dolną) od czasu 0 ms do 400 ms (prędkość 12,8 km/h, opóźnienie 15,5 g)

Źródło: opracowanie własne

Na rysunkach 13 i 14 zestawiono trajektorie poszczególnych części ciała manekina podczas zderzenia. Gdy manekin był przypięty trzypunktowym pasem bezpieczeństwa zauważalne jest mniejsze przemieszczanie ciała. Podczas zderzenia przebiegającego z opóźnieniem ok. 5 g, głowa manekina zapiętego pasem dwupunktowym przemieściła się o 50 cm a tors o 40 cm, natomiast dla pasa trzypunktowego odpowiednio: głowa - 20 cm, tors - 10 cm. Przy opóźnieniu wózka około 15 – 16 g przemieszczenia odpowiednio dla pasa dwu i trzypunktowego wynosiły: głowa 53 cm, 19 cm, tors 50 cm, 12 cm. Podczas testów punkt na hełmie po przemieszczeniu się na odległość 40 cm (co odpowiada w przybliżeniu położeniu krawędzi wjazdu) osiągał prędkości: dla wariantu z pasem dwu punktowym 3,7 – 3,8 m/s oraz trzypunktowym 2,3 – 3,2 m/s. Przy prędkości zjazdu 12,8 km/h i przy wyższych wartościach opóźnień (ok. 15 g) zauważalne było oderwanie bioder manekina od fotela i wysuwanie manekina spod pasa. Zaobserwowano przemieszczanie kolan (w kierunku zgodnym z ruchem wózka podczas zderzeń czołowych) o ok. 10 cm. Odpowiednie ukształtowanie powierzchni siedziska powinno wyeliminować to zjawisko. Zjawisko to z pewnością można wyeliminować także poprzez zastosowanie napinacza pasów bezpieczeństwa. Zastosowanie napinaczy powoduje skrócenie zwłoki zadziałania pasów, poprzez skrócenie taśmy pasa i ograniczenie luzu pomiędzy ciałem użytkownika i taśmą pasa. W efekcie obciążenia dynamiczne działające na ciało człowieka są mniejsze [2, 5], zmniejsza się także prawdopodobieństwo wysuwania ciała człowieka spod pasa [4, s.230].

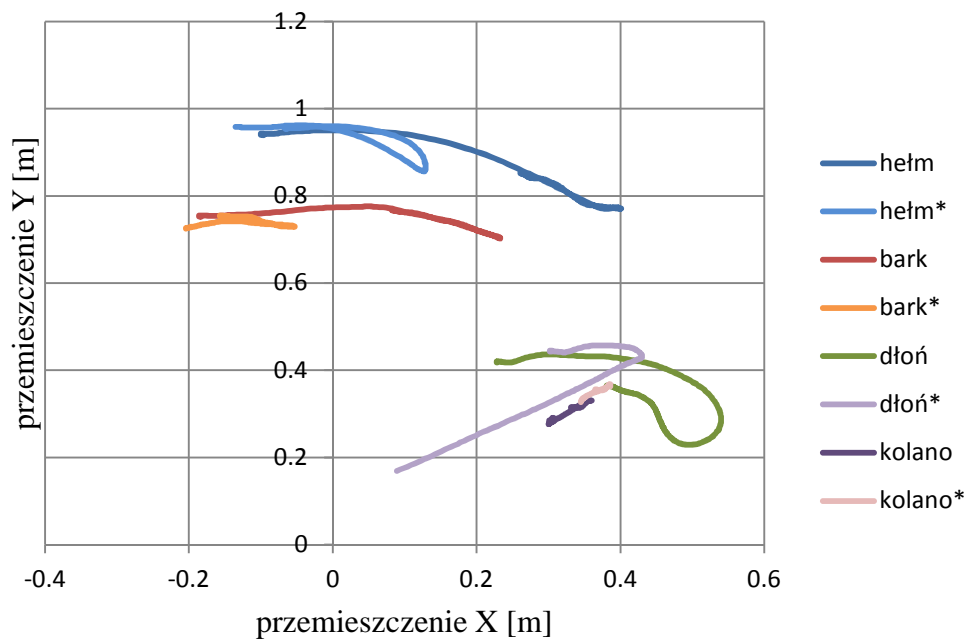
Tab. 3. Przyspieszenie wypadkowe głowy dla wybranych wartości opóźnienia

Rodzaj pasa	2 pkt	3 pkt	2 pkt	3 pkt
Przyspieszenie wypadkowe głowy [g]	9,8	9,4	36	16,8
Opóźnienie sań [g]	4,9	4,9	15,8	15,2
Prędkość [km/h]	9,7		12,8	

Źródło: opracowanie własne

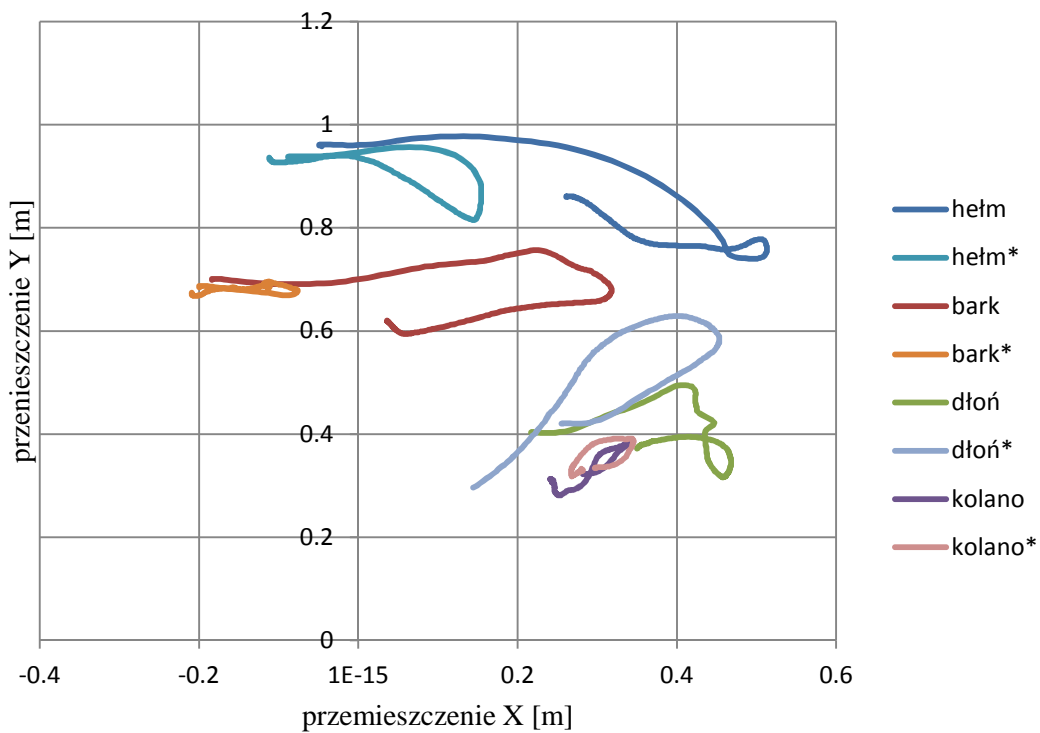
Na rys. 15, 16 zestawiono przebiegi wypadkowe (dla dwóch kierunków przemieszczenia) przyspieszenia głowy przy zastosowaniu pasa dwu i trzypunktowego. Można zauważyć, że głowa manekina podczas badań była poddana przyspieszeniu około 35 g (rys. 15). Na rys. 16 w przedziale czasu 0,20 – 0,25 s można zauważyć nagły wzrost przyspieszenia wypadkowego głowy, którego wynikiem był kontakt z kołem kierowniczym zamocowanym do stanowiska. Zauważalny jest również wpływ rodzaju pasa. Kolorem niebieskim zaznaczono wyniki dla pasa dwupunktowego natomiast czerwonym dla trzypunktowego. W tabeli 3 zestawiono wartości przyspieszenia jakiemu była poddana głowa. Zauważalne było osiągnięcie znacznie mniejszych wartości przyspieszenia wypadkowego głowy podczas zderzeń z wykorzystaniem pasa trzypunktowego. Wynikało to z faktu, że przy zabezpieczeniu pasem dwupunktowym, w każdym z analizowanych przypadków manekin uderza głową w koło kierownicy.

9,7 km/h, 324,5±29,50 N,
 *- 9,7 km/h, 221,0±39,00 N, 5,0±0,05 g

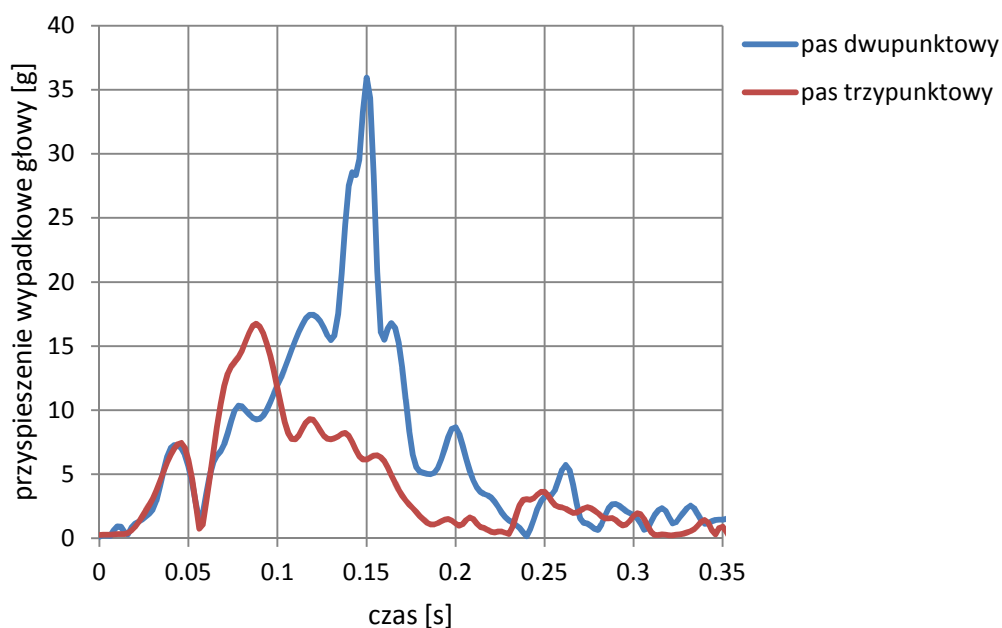


Rys. 13. Przeszyczenie wybranych części ciała podczas zderzeń czołowych dla pasa dwupunktowego i trzypunktowego (*)
 Źródło: opracowanie własne

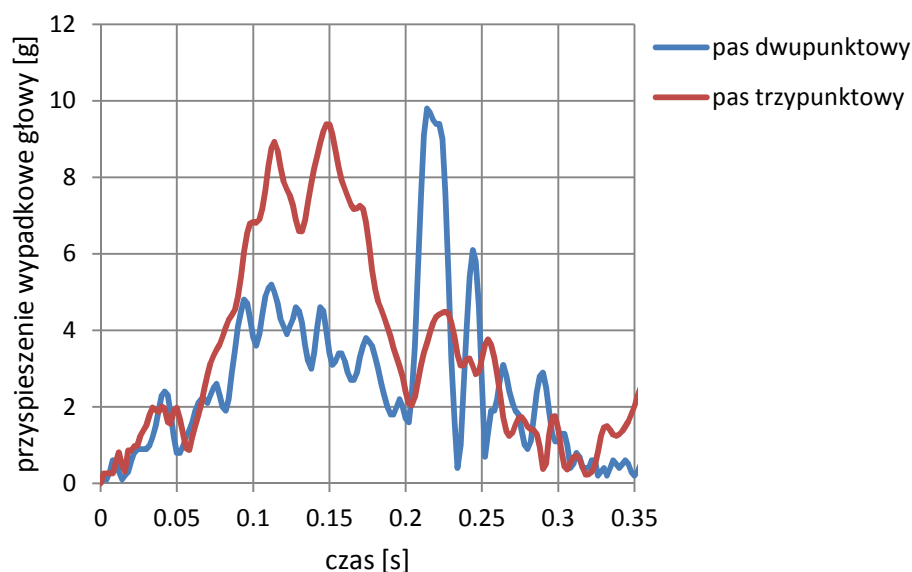
12,8 km/h, 617,5±20,50 N,
 *-12,8 km/h, 636,3±57,68 N, 15,4±0,16 g



Rys. 14. Przeszyczenie wybranych części ciała podczas zderzeń czołowych dla pasa dwupunktowego i trzypunktowego (*)
 Źródło: opracowanie własne



Rys. 15. Przebieg przyspieszenia głowy dla prędkości 12,8 km/h i opóźnienia ok. 15,4 g
 Źródło: opracowanie własne



Rys. 16. Przebieg przyspieszenia głowy dla prędkości 9,7 km/h i opóźnienia ok. 5,0 g
 Źródło: opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Stosowanie w pojazdach wojskowych dwupunktowego pasa bezpieczeństwa zapewnia łatwy i szybki dostęp do pulpitu sterującego, natomiast znacznie mniej ogranicza przemieszczanie się ciała kierowcy podczas zderzenia. Podczas badań wykazano, że podczas taranowania przeszkód terenowych może dojść do uderzenia głowy kierowcy w krawędź przedniej ściany pojazdu w przypadku, gdy jest on zabezpieczony pasem dwupunktowym. Zastosowanie pasa trzypunktowego znacznie skraca czas jego maksymalnego napięcia (w zadanych warunkach badań nawet o 0,1s) i w praktyce eliminuje możliwość obrażeń głowy na skutek kontaktu ze ścianą. Wprowadzenie pasów trzypunktowych pozwoliło także na

zmniejszenie przyspieszenia głowy. Przy opóźnieniu pojazdu 15-16 g, przyspieszenie wypadkowe głowy kierowcy przytrzymywanego pasem trzypunktowym jest prawie 2-krotnie mniejsze w porównaniu do wartości przyspieszenia zarejestrowanego, gdy kierowca zabezpieczony był pasem dwupunktowym. Dodatkowo, podczas badań zderzeniowych zaobserwowano wysuwanie się ciała kierowcy spod pasa dwupunktowego (o ok. 10cm). Taka zmiana położenia może skutkować zmniejszeniem sprawności kierowania pojazdem po staranowaniu przeszkody. Tę niedogodność można wyeliminować poprzez zastosowanie trzypunktowego pasa bezpieczeństwa z napinaczami oraz odpowiednie ukształtowanie powierzchni siedziska. Autorzy przewidują przeprowadzenie takich badań.

BIBLIOGRAFIA

1. Pawłowski P., Cetnarowicz D. *ACCINO. Instrukcja użytkownika*. Wersja 3.3., Politechnika Poznańska, Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów, Pracownia Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, 2011.
2. Jackowski J., Żuchowski A., *Analysis of properties of operation of the supporting equipment for the seat belts*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol.18, No.1, pp. 697-704, Warsaw 2011.
3. Żmuda M., *Badanie i analiza obciążeń podczas zderzeń z małymi prędkościami*. Praca inżynierska. Warszawa 2013.
4. Wicher J., *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. WKŁ, Warszawa 2004.
5. Gupta, V., Menon, R., Gupta, S., Mani, A., *Improved occupant protection through advanced seat design*, The 15th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Melbourne 1996.
6. SAE J211-1: *Instrumentation for Impact Test, Part 1, Electronic Instrumentation*.
7. Borkowski, W., Hryciów, Z., *Preliminary investigation of dynamic loads of the crew of the armored personnel carrier during frontal crash*, Journal of KONES Powertrain and Transport Vol. 15, No. 4, pp. 57-62, Warsaw 2008.
8. Hryciów Z., *The assessment of the influence of selected passive safety systems on the level of dynamic loads of soldiers during collision*. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20, No. 3, pp. 161-168, Warsaw 2013.
9. Orłowski, L., Pędzisz, M., Rzymkowski, C., *Wyniki wstępnych badań eksperymentalnych oraz komputerowej symulacji zagrożenia osób w trakcie uderzenia w przeszkodę wojskowego samochodu terenowego*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 14, No. 3, pp. 495-502, Warsaw 2007.

THE STUDY OF DYNAMIC LOADS A VEHICLE'S DRIVER DURING A FRONTAL COLLISIONS

Abstract

The paper presents the current method of securing military vehicle's driver by safety belt and assesses the influence of replacement of a two-point seat belt by a three-point seat belt during on a state of driver movements during crossing obstacle. The following analysis is based on the data taken from the tension sensor of a seat belt and a video made by slow motion camera. Moreover, correlated the movement of individual driver body parts caused by delayed movement.

Autorzy:

dr hab. inż. **Jerzy Jackowski**, prof. nadzw. – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00 – 908 Warszawa.

dr inż. **Marcin Wieczorek** – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00 – 908 Warszawa

inż. **Marcin Żmuda** – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00 – 908 Warszawa.