

ANALIZA WPŁYWU PRĘDKOŚCI UDERZENIA W PRZESZKODĘ NA OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE OSÓB W SAMOCHODZIE Z RAMOWĄ KONSTRUKCJĄ NOŚNĄ

LEON PROCHOWSKI¹, ANDRZEJ ŻUCHOWSKI², KAROL ZIELONKA³

Wojskowa Akademia Techniczna, Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Streszczenie

Obciążenia dynamiczne, działające na ciało człowieka podczas wypadku drogowego, są źródłem obrażeń. Pomierzone na manekinach wartości tych obciążeń pozwalają, na podstawie modelowania biomechanicznego, na prognozowanie ich skutków dla osób jadących. Analiza obciążeń dynamicznych została przeprowadzona z wykorzystaniem rezultatów badań eksperymentalnych, w których samochód uderza czołowo w przeszkodę. W samochodzie tym manekin Hybrid III z zestawem czujników, przypięty pasami bezpieczeństwa, zajmował pozycję kierowcy. Wykorzystując wyniki badań eksperymentalnych i wyznaczone wartości ekstremalne obciążeń dynamicznych, poszukuje się ich zależności od prędkości uderzenia samochodu w przeszkodę. Poznanie takiej zależności ułatwia prognozowanie wartości obciążeń dynamicznych i powstających zagrożeń dla ciała człowieka w wypadkach drogowych.

Badaniom poddano samochód osobowo-terenowy, w którym rama stanowi podstawę układu nośnego, czyli łączy wszystkie zespoły i układy w jedną całość oraz podtrzymuje nadwozie. Samochody o takiej konstrukcji nośnej dominują w zastosowaniach wojskowych. Wyniki ich badań zderzeniowych są rzadko publikowane.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo transportu, testy zderzeniowe, samochody osobowo- terenowe, obciążenia dynamiczne pasażerów.

1. Wstęp

Podczas uderzenia samochodu w sztywną przeszkodę zachodzi proces jego deformacji. Przebieg i zasięg (głębokość) tej deformacji zależy przede wszystkim od prędkości uderzenia oraz sztywności konstrukcji nośnej samochodu [1]. Proces deformacji struktury

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: lprochowski@wat.edu.pl, tel. 22 683 78 66

² Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: azuchowski@wat.edu.pl, tel. 22 683 74 54

³ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Laboratorium Bezpieczeństwa Pojazdów, e-mail: k.zielonka@pimot.org.pl, tel. 22 777 71 41

nośnej jest głównym czynnikiem rozpraszania energii uderzenia, zatem ma też decydujący wpływ na przenoszenie obciążeń dynamicznych od strefy styku z przeszkodą, przez elementy konstrukcji samochodu, na osoby jadące.

Nadwozia samonośne dominują w samochodach osobowych. Natomiast samochody osobowo-terenowe zwykle mają ramową konstrukcję nośną. Rama stanowi wówczas podstawę układu nośnego i zapewnia wysoką sztywność struktury pojazdu. Najczęściej stosowane są ramy podłużnicowe, w których podłużnice są równoległe lub prawie równoległe do osi symetrii podłużnej pojazdu. Niekiedy stosowane są nadwozia półsamonośne, w których rama nośna jest zespawana z podłogą nadwozia (ramy zintegrowane, np. Jeep Cherokee).

Celem pracy jest przybliżenie oraz analiza zależności pomiędzy prędkością uderzenia samochodu w przeszkodę, a wartościami powstających obciążeń dynamicznych w pojazdach z ramową konstrukcją nośną. Opisywana zależność ułatwi prognozowanie zagrożeń dla osób jadących, które powstają podczas wypadku drogowego. Analiza obciążeń dynamicznych, działających na ciało człowieka, zostanie przeprowadzona na podstawie rezultatów badań eksperymentalnych samochodu osobowo – terenowego z ramą podłużnicową.

Samochody o takiej konstrukcji nośnej dominują w zastosowaniach wojskowych. Wyniki ich badań zderzeniowych są rzadko publikowane, a mają istotne znaczenie podczas ustalania rozmieszczenia załogi oraz doskonalenia systemów bezpieczeństwa biernego pojazdów tej kategorii. Jest to tym bardziej istotne, że w tej kategorii pojazdów zderzenia na prostym odcinku drogi stanowią 67% wypadków [2].

2. Obiekt badań i układ pomiarowy

Obiektem badań jest samochód osobowo-terenowy Tarpan – Honker z ramą podłużnicową. Jego nadwozie jest jednolitą konstrukcją spawaną, przymocowaną do ramy poprzez 9 łączników. Osoby jadące na przednich siedzeniach mają do dyspozycji trzypunktowe pasy bezpieczeństwa. Punkty mocowania pasów należą do nadwozia i nie są związane z siedziskiem (fotelami). Podczas pomiaru, na miejscu kierowcy został umieszczony manekin Hybrid III i przypięty pasami bezpieczeństwa, które napięto z siłą 50 N.

Eksperyment, polegający na czołowym uderzeniu samochodu w przeszkodę nieodkształcalną (barierę betonową), został przygotowany i przeprowadzony w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie. Obejmował on wykonanie m. in. pomiarów następujących wielkości:

- przyspieszenia działające na głowę i tors,
- siły w szyi i udach manekina,
- siły występujące w pasach bezpieczeństwa.

Pozycję manekina w samochodzie pokazano na rysunku 2.1 Czujniki pomiarowe w manekinie i samochodzie umieszczono tak, aby kierunek ich głównej osi pomiarowej był zgodny z kierunkiem jazdy samochodu przed uderzeniem w przeszkodę.



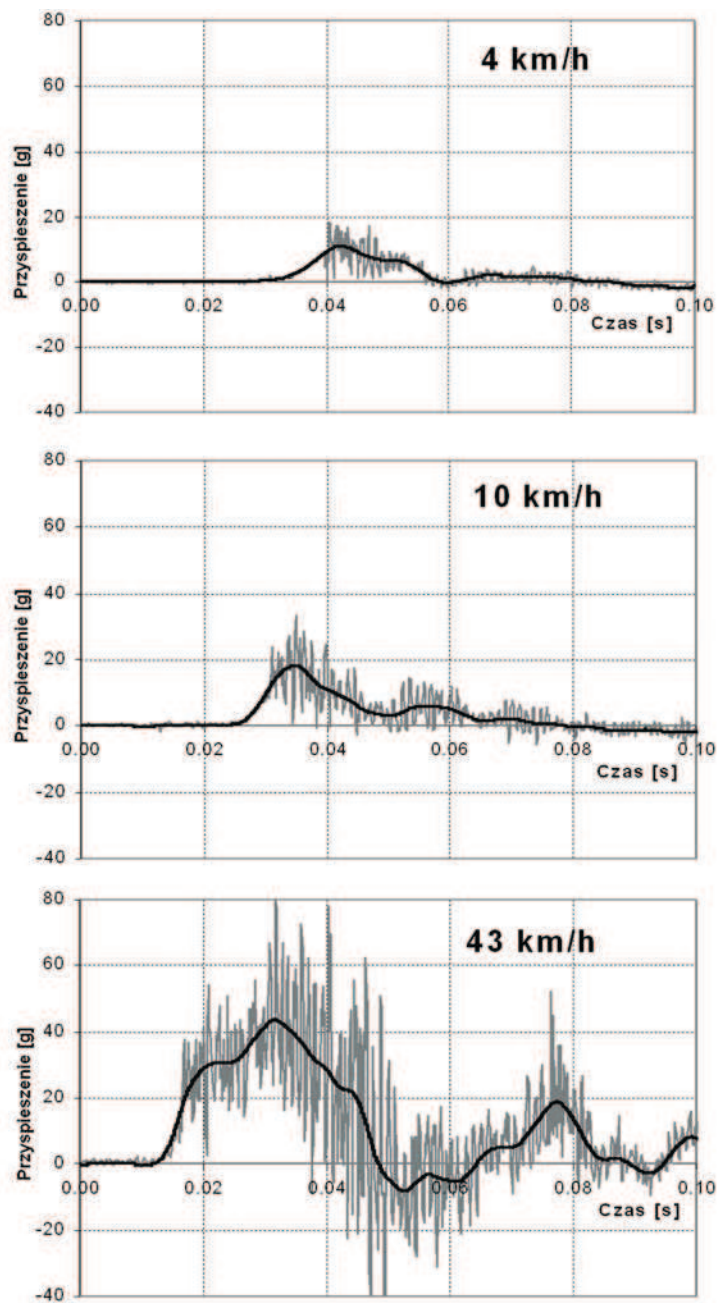
Rys. 2.1. Pozycja manekina z czujnikami w samochodzie

Zastosowany układ pomiarowy spełnia wymagania normy [3]. Pomiarzy przeprowadzono przy częstotliwości próbkowania sygnałów równej 10 kHz.

Realizując cel pracy zestawiono wyniki trzech eksperymentów, w których ten sam samochód uderzał kolejno w barierę betonową z prędkością 4, 10 i 43 km/h. Po uderzeniu z prędkością 4 i 10 km/h powstały jedynie nieznaczne odkształcenia na przedniej belce zderzaka, natomiast uderzenie z prędkością 43 km/h spowodowało niszczące deformacje ramy i nadwozia. To uniemożliwiło wykonanie kolejnych badań na tym samochodzie.

3. Filtracja sygnałów pomiarowych

Rezultaty pomiarów w testach zderzeniowych można potraktować jako realizację funkcji losowej $X(t)$, której argumentem jest czas t . Każda wartość tej realizacji, przy dowolnej wartości t , jest zmienną losową. W celu zbadania właściwości funkcji losowej, w tym jej wartości ekstremalnych, należy dokonać n niezależnych doświadczeń (pomiarów) w rezultacie których otrzymamy zbiór realizacji $x(t)$ funkcji losowej $X(t)$. Takich możliwości podczas badań zderzeniowych praktycznie nie ma ze względu na ich niszczący charakter. Cechą charakterystyczną prowadzonych badań jest ich skończony, krótki czas trwania



Rys. 3.1. Przykład przebiegu sygnałów pomiarowych przed i po filtracji (100Hz); przyspieszenie nadwozia samochodu w kierunku wzdłużnym Ox

realizacji. Realizacja $x(t)$, otrzymana w rezultacie eksperymentu, jednak w pewnym przybliżeniu określa własności funkcji losowej i charakteryzuje badany proces.

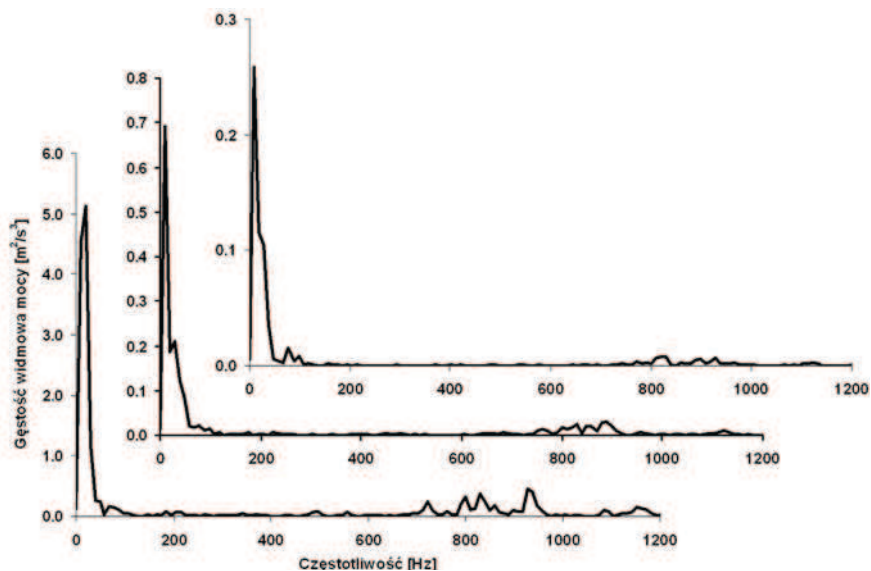
Na rysunku 3.1 pokazano przykładowe realizacje mierzonych przebiegów przyspieszenia (linia cienka).

Przebiegi o wysokiej dynamice i zależne od ogromnej liczby czynników, wynikających z cech pojazdu i przebiegu eksperymentu, zawierają w sobie nie tylko interesujący nas sygnał użyteczny, ale także pewną liczbę sygnałów zakłócających o charakterze indywidualnym dla danego eksperymentu. Zatem wyznaczona realizacja jest sumą sygnału użytecznego i zakłóceń (szumu)

$$x(t) = x_u(t) + \beta(t) \quad (1)$$

Część zakłóceń można usunąć poprzez filtrację. W tak traktowanej filtracji istotne jest to, aby gęstości widmowe sygnału i szumu nie zachodziły na siebie. Powyższe można łatwo ocenić na podstawie rezultatów analizy widmowej. Strukturę częstotliwościową przykładowych sygnałów pokazano na rysunku 3.2, na którym są umieszczone estymatory (obliczone metodą FFT) gęstości widmowej sygnału przyspieszenia, pomierzonego na podłożu samochodu w czasie uderzenia w przeszkodę.

Widoczne są dominujące składniki częstotliwościowe w paśmie 10 - 20 Hz. Rysunek ten pokazuje racjonalność filtracji dolnoprzepustowej, o częstotliwości obciążenia 100 Hz.



Rys. 3.2. Estymator gęstości widmowej mocy z trzech przebiegów przyspieszenia (sygnał jak na rys. 3.1), które umieszczono w kolejności od góry dla prędkości uderzenia 4, 10 i 43 km/h.

Po przeprowadzeniu filtracji, na rysunku 3.1 dodano linie pogrubione, które pokazują przebiegi po filtracji z zastosowaniem filtrów CFC 60. Filtry te są zgodnie

z metodyką badań zderzeniowych, zalecaną w [3]. Filtr CFC 60 ma częstotliwość obciążenia 100 Hz.

Zagadnienie filtracji jest tu zbliżone do estymacji wartości średniej na zadanym przedziale. Dla średniej całkowej w przedziale $(-T, T)$

$$m_x(t) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t + \tau) d\tau \quad (2)$$

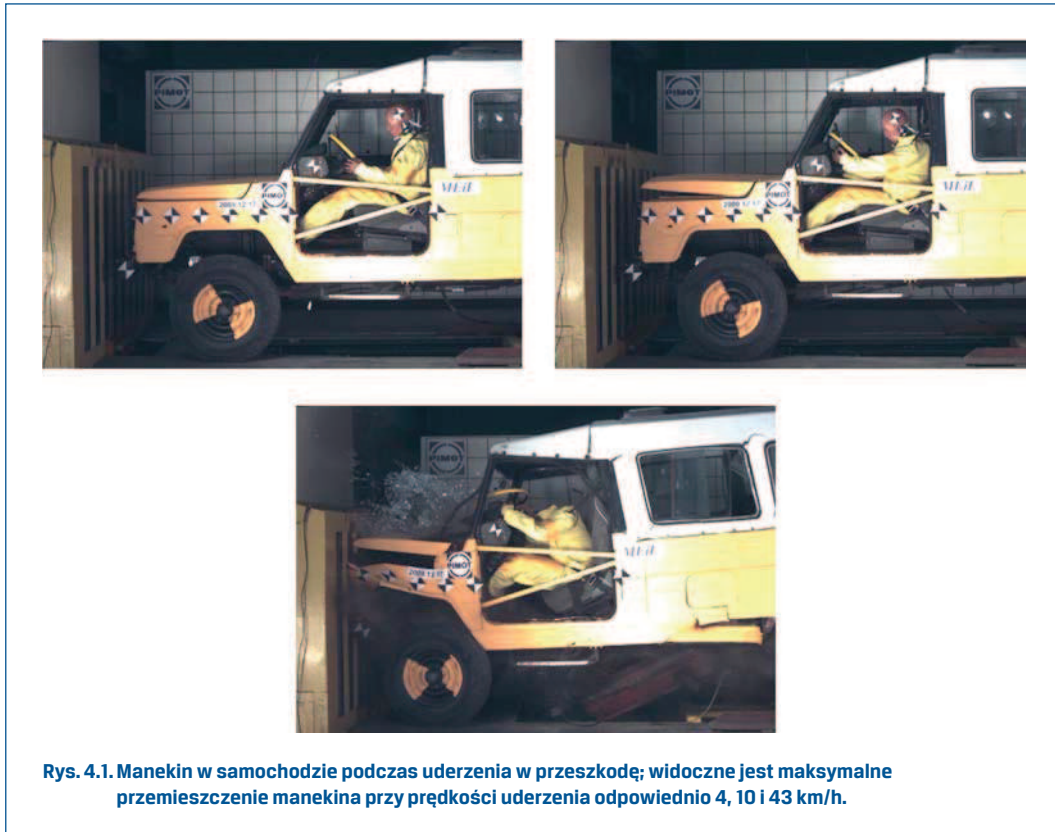
takim parametrem jest długość tzw. „przedziału ślizgającego się” w operacji całkowania $2T$ [4, 5, 6].

Opisaną wyżej procedurę filtracji zastosowano do wszystkich przebiegów zamieszczonych w tej pracy. Wartości ekstremalne, wyznaczone z przebiegów otrzymanych po filtracji wielkości mierzonych podczas testów zderzeniowych, są powszechnie wykorzystywane do oceny właściwości badanych pojazdów. Tak się dzieje, mimo że wartości ekstremalne mają charakter zmiennej losowej. Zatem trudno uzyskać ich powtarzalność w eksperymentach, prowadzonych na kolejnych egzemplarzach tego samego typu pojazdów. Jednak rozrzut tych wartości zwykle jest niewielki dzięki zastosowaniu operacji wyznaczania wartości średnich na długości przedziału całkowania (2) [1].

4. Obciążenia dynamiczne, działające na kierowcę samochodu. Wyniki pomiarów i analiza

Przeprowadzono analizę przebiegów (po filtracji) w usystematyzowanej kolejności. Kolejność ta powinna wskazywać na interesujący nas wpływ prędkości jazdy samochodu na przebieg i wartości obciążeń dynamicznych, działających na osoby jadące.

Zarejestrowany na filmach ruch manekina pokazuje (rys. 4.1), że pas bezpieczeństwa skutecznie utrzymuje manekina na fotelu i nie dochodzi do kontaktu głowy z elementami samochodu tylko przy małych wartościach prędkości uderzenia samochodu w barierę (4 i 10 km/h). Przy prędkości uderzenia 43 km/h manekin przemieszcza się względem fotela, uderzając głową w elementy samochodu (rys. 4.2).

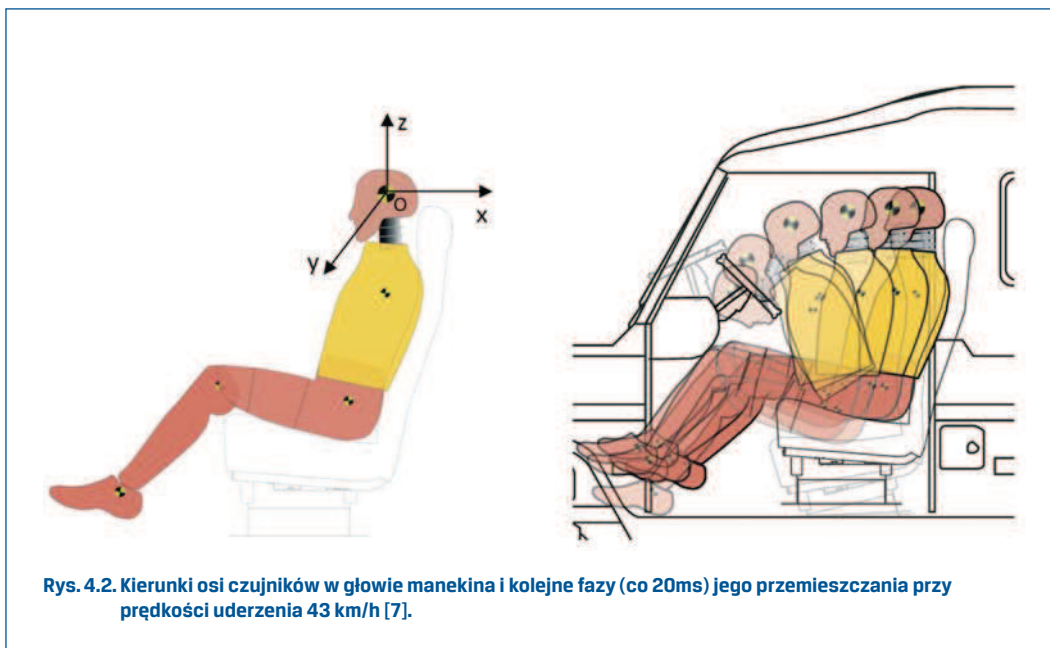


4.1. Wyniki pomiarów obciążeń dynamicznych głowy

W środku masy głowy manekina umieszczono zestaw 3 czujników przyspieszenia, których kierunek osi pomiarowej pokazano na rysunku 4.2. Na czterech częściach rysunku 4.3 zestawiono, w kolejności od góry, przebiegi przyspieszenia (składowe i wypadkowa) mierzone w kierunku:

- wzdłużnym a_{Gx} , czyli w kierunku jazdy;
- poprzecznym a_{Gy} , do kierunku jazdy;
- pionowym a_{Gz} ;
- realizację przyspieszenia wypadkowego a_G .

Wykorzystane tu słowo „kierunek” dotyczy początkowej pozycji czujników i manekina. Na każdej części rysunku są po trzy linie, które przedstawiają wyniki pomiarów przy prędkości uderzenia samochodu równej 4, 10, 43 km/h.



Rys. 4.2. Kierunki osi czujników w głowie manekina i kolejne fazy (co 20ms) jego przemieszczania przy prędkości uderzenia 43 km/h [7].

Dominujące wartości przyspieszenia są mierzone z wykorzystaniem czujnika składowej a_{Gx} ; które w początkowej fazie pomiarów mają charakter przyspieszeń wzdłużnych (zgodnych z kierunkiem ruchu samochodu). Jednak w czasie pomiaru głowa manekina coraz bardziej pochyla się (rys. 4.2) i wraz z nią czujnik zmienia swoje położenie względem kierunku ruchu samochodu. Na przebiegu $a_{Gx}(t)$, można zauważyć ekstremalne wartości przyspieszenia przy uderzeniu głowy w wyposażenie wewnętrzne samochodu ($t = 0.10 \div 0.12$ s); a następnie kolejne narastanie przyspieszenia przy $t = 0.22 \div 0.24$ s, czyli w chwili uderzenia głowy w zagłówek w ruchu powrotnym.

Widoczne narastanie ekstremalnych wartości składowej przyspieszenia głowy w kierunku wzdłużnym a_{Gx} jest prawie proporcjonalne do przyrostu prędkości samochodu w chwili uderzenia w przeszkodę, a mianowicie:

- $v = 4$ km/h, ekstremalna wartość przyspieszenia a_{Gx} 4 g;
- $v = 10$ km/h, 9 g;
- $v = 43$ km/h, 40 g.

Pokazane na czwartej części rysunku 4.3 przebiegi przyspieszenia wypadkowego

$$a_G(t) = \sqrt{a_{Gx}^2(t) + a_{Gy}^2(t) + a_{Gz}^2(t)}$$

(3)

osiągają następujące wartości maksymalne::

- $v = 4$ km/h, maksymalna wartość przyspieszenia a_G was 4 g;
- $v = 10$ km/h, 9 g;
- $v = 43$ km/h, 50 g.

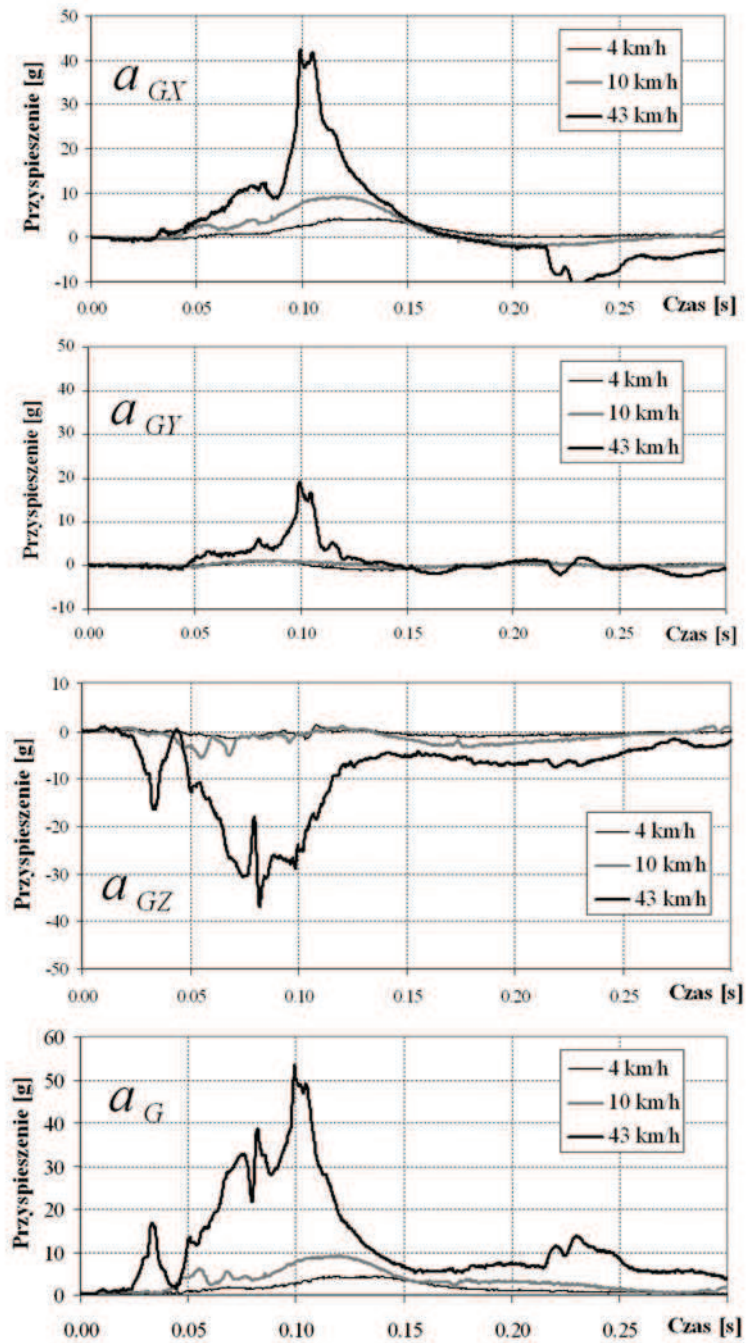


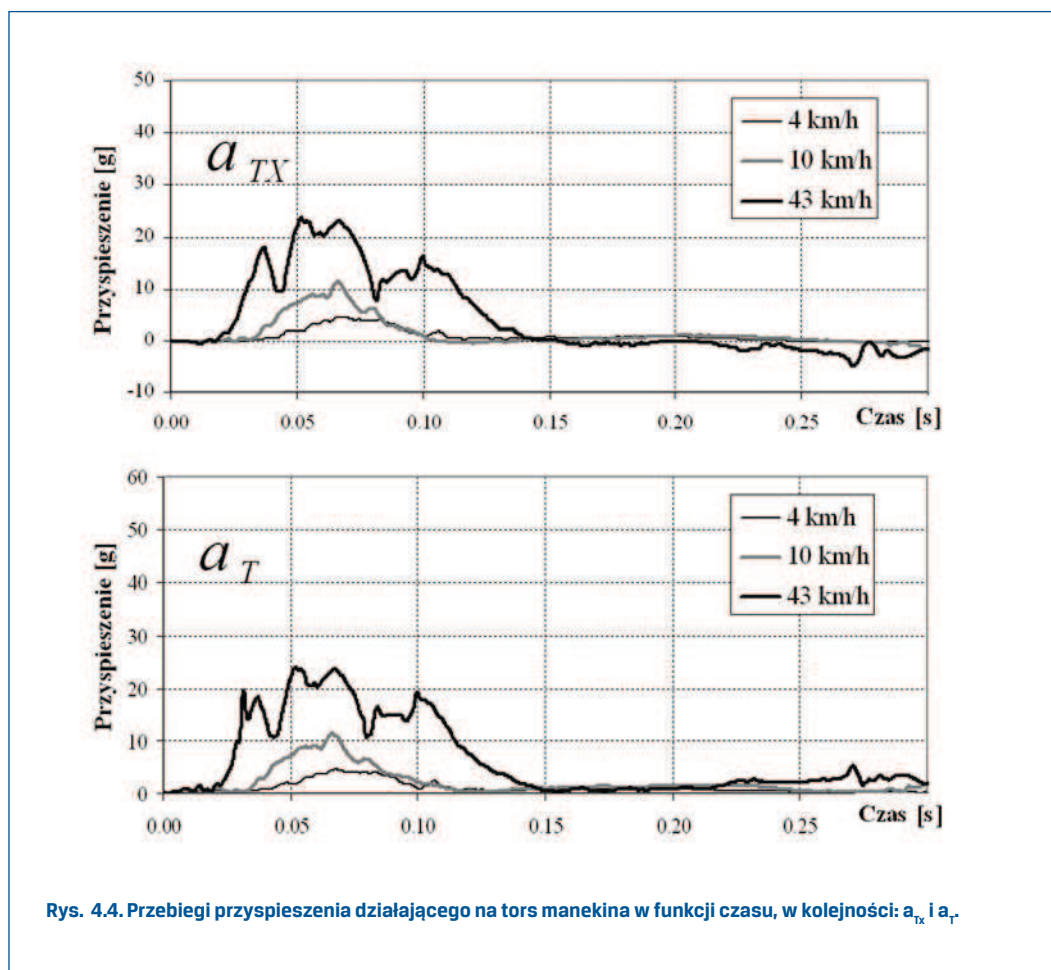
Fig. 4.3. Przebiegi przyspieszenia działającego na głowę w funkcji czasu, umieszczone w kolejności: składowe a_{Gx} , a_{Gy} , a_{Gz} i wypadkowa a_G .

Podane wyżej wartości ekstremalne mają sens orientujący w charakterze zmian obserwowanych przebiegów, w zależności od prędkości uderzenia samochodu w przeszkodę, zgodnie z fizycznym sensem operacji filtracji i jej wygładzających właściwości.

4.2. Wyniki pomiarów obciążeń dynamicznych torsu

Ruch torsu manekina wywołany jest działaniem sił bezwładności, które są w znacznej części równoważone przez reakcje w pasach bezpieczeństwa. Na rysunku 4.4 zestawiono, w kolejności od góry, następujące przebiegi przyspieszenia w środku masy tułowia:

- składowa $a_{Tx}(t)$, czyli w kierunku jazdy (wzdłużnym);
- realizacje przyspieszenia wypadkowego $a_T(t)$, obliczone w sposób analogiczny do (3).



Rys. 4.4. Przebiegi przyspieszenia działającego na tors manekina w funkcji czasu, w kolejności: a_{Tx} i a_T .

Ruch torsu pod działaniem sił bezwładności jest korzystnie ograniczony przez działanie pasów bezpieczeństwa i z tego powodu jego przemieszczenia kątowe i poprzeczne są niewielkie. W rezultacie, mierzone wartości składowe $a_{Ty}(t)$, i $a_{Tz}(t)$ przyspieszenia w kierunku poprzecznym oraz pionowym są małe i pominięto je na rysunku 4.4. Tempo narastania przyspieszeń wzdłużnych tułowia jest mniejsze (w zależności od prędkości uderzenia) niż obserwowane na głowie manekina i ramie samochodu [7]. Wartości ekstremalne rosną wraz ze zwiększeniem prędkości uderzenia samochodu, następująco:

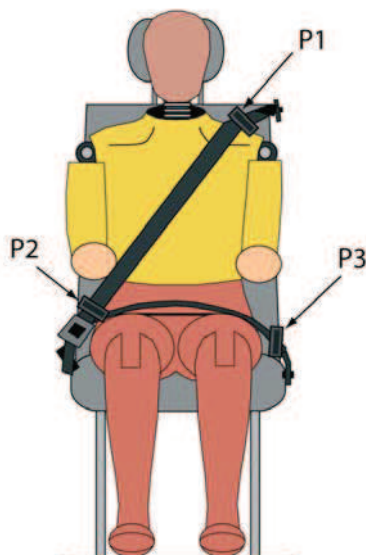
- $v = 4 \text{ km/h}$, ekstremalna wartość przyspieszenia a_{Tx} wynosi 4 g;
- $v = 10 \text{ km/h}$, 10.5 g;
- $v = 43 \text{ km/h}$, 23.5 g.

Wartości maksymalne przyspieszenia wypadkowego tułowia, określone po filtracji przebiegów z wykorzystaniem (2), rosną wraz ze wzrostem prędkości uderzenia, następująco:

- $v = 4 \text{ km/h}$, wartość maksymalna a_G wynosi 4.2 g;
- $v = 10 \text{ km/h}$, 11 g;
- $v = 43 \text{ km/h}$, 24.5 g.

Ruch torsu manekina podczas czołowego uderzenia samochodu w przeszkodę początkowo jest odchylaniem (narastanie kąta pochylenia, rys. 4.2) od oparcia fotela i powoduje narastanie napięcia pasa piersiowo-ramieniowego. Działanie sił bezwładności od torsu na pas powoduje jego rozciąganie, a powstające siły napięcia w pasie spowodują ruch powrotny manekina w końcowej fazie uderzenia samochodu w przeszkodę.

Siły napięcia w pasie zmierzono przy wykorzystaniu czujników P1, P2 i P3, których rozmieszczenie pokazano na rys. 4.5.



Rys. 4.5. Rozmieszczenie czujników siły P1, P2 i P3 w pasie bezpieczeństwa.

Pokazane na rysunku 4.6 przebiegi sił w pasie piersiowo-ramieniowym wynikają z oddziaływania torsu manekina na pas. Po uderzeniu głowy o tablicę rozdzielczą dalsze narastanie napięcia w tej części pasa (czujniki P1 i P2) jest niewielkie, bo siła bezwładności działająca na tors jest częściowo równoważona przez reakcję działającą od tablicy rozdzielczej samochodu na mocno pochyloną głowę. W tej sytuacji przebiegi zmian wartości siły w pasie piersiowo-ramieniowym przy prędkości 4 i 10 km/h są zdecydowanie inne niż przy prędkości 43 km/h, przy której jest widoczne zahamowanie procesu narastania sił P1 i P2 w czasie $t=0,05-0,10$ s. Przy prędkości uderzenia 43 km/h, działanie pasów oraz deformacja nadwozia w obszarze ich mocowania, ma znaczący wpływ na przebieg sił na rysunku 4.6.

Różnice w przebiegu i wartościach ekstremalnych sił P1 i P2 w pasie piersiowo-ramieniowym wynikają z oddziaływania sił tarcia między pasem a ubraniem manekina. Siły rozciągające w pasie biodrowym wynikają z działania sił bezwładności na manekina i reakcji od jego nóg, opartych o podłogę samochodu. Zatem silnie narastają (prawie proporcjonalnie) wraz z prędkością uderzenia samochodu w przeszkodę, a mianowicie:

- $v = 4$ km/h, siła maksymalna w pasie biodrowym wynosi 50 daN;
- $v = 10$ km/h, 140 daN;
- $v = 43$ km/h, 580 daN.

4.3. Wyniki pomiarów obciążeń dynamicznych szyi

Na rysunku 4.7 pokazano kierunki działania czujników siły, umieszczonych w szyi manekina. Decydujące o powstawaniu obrażeń szyjnego odcinka kręgosłupa są siły styczne (czyli prostopadłe do osi z) F_x i F_y . Obrażenia powstają także w rezultacie nadmiernej kompresji kręgów szyjnych, która wynika z działania siły F_z .

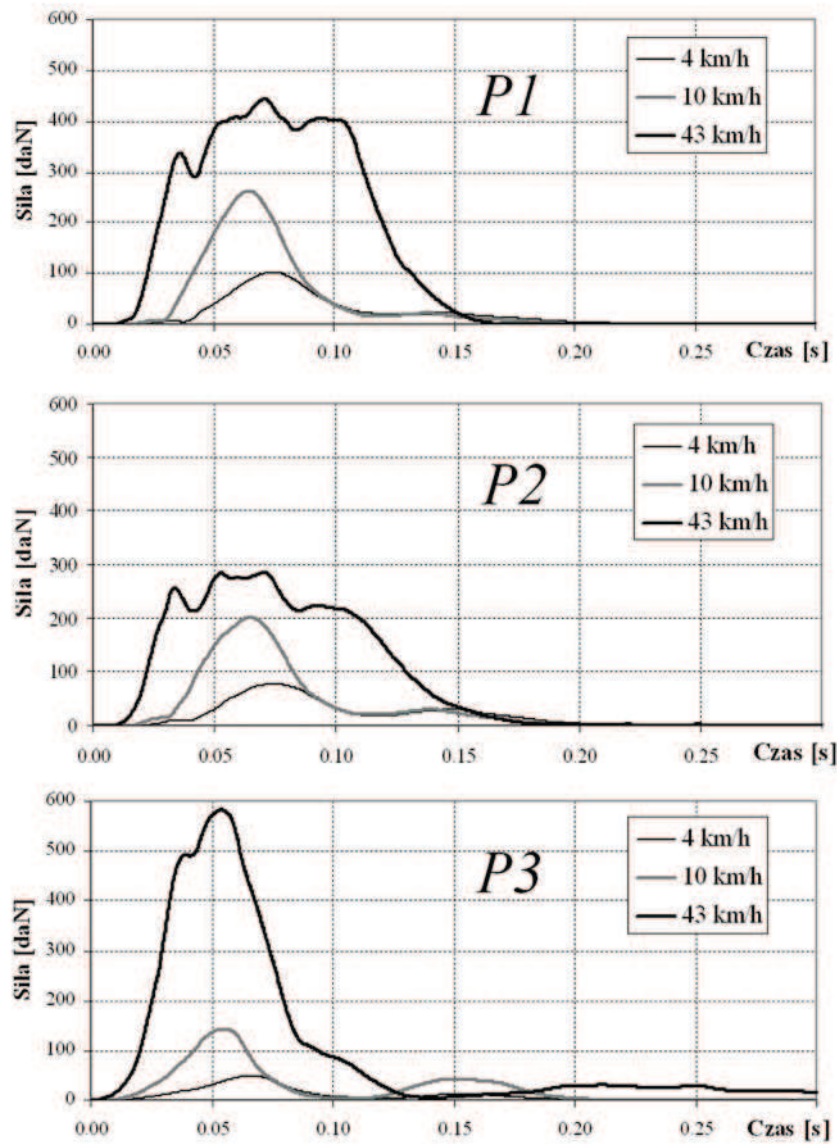
W kolejności od góry, na trzech częściach rysunku 4.8 zestawiono przebiegi składowych siły działającej w szyi, odpowiednio w kierunku:

- wzdłużnym F_x , czyli w kierunku jazdy;
- pionowym F_z ;

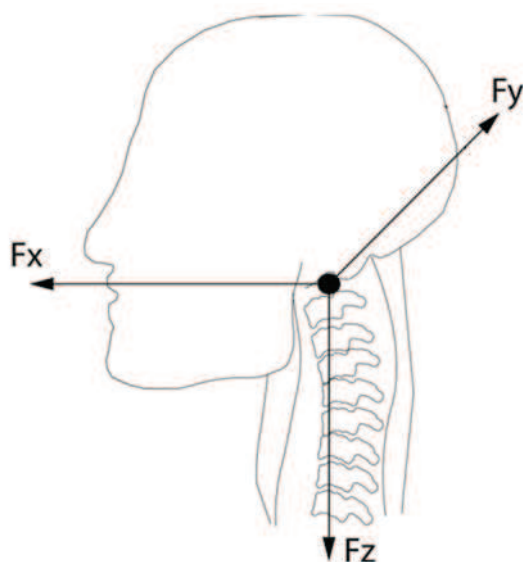
oraz istotną dla procesu powstawania obrażeń wypadkową siłą styczną, czyli

$$F_W = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (4)$$

Pomierzone wartości siły $F_y(t)$ są na tyle małe, że pominięto je na rysunku 4.8.



Rys. 4.6. Przebiegi siły rozciągającej taśmę pasa bezpieczeństwa w części piersiowo-ramieniowej (P1, P2) oraz biodrowej (P3).



Rys. 4.7. Kierunki działania czujników sił w szyi manikina.

Siły obciążające szyję manikina są mocno uzależnione od przebiegu przyspieszenia $a_G(t)$ oraz od zmian wzajemnego położenia głowy i tułowia. Narastanie wartości ekstremalnych siły wzdłużnej w szyi jest wyraźnie mniejsze od tempa narastania prędkości uderzenia w kolejnych testach samochodu, co pokazuje poniższe zestawienie:

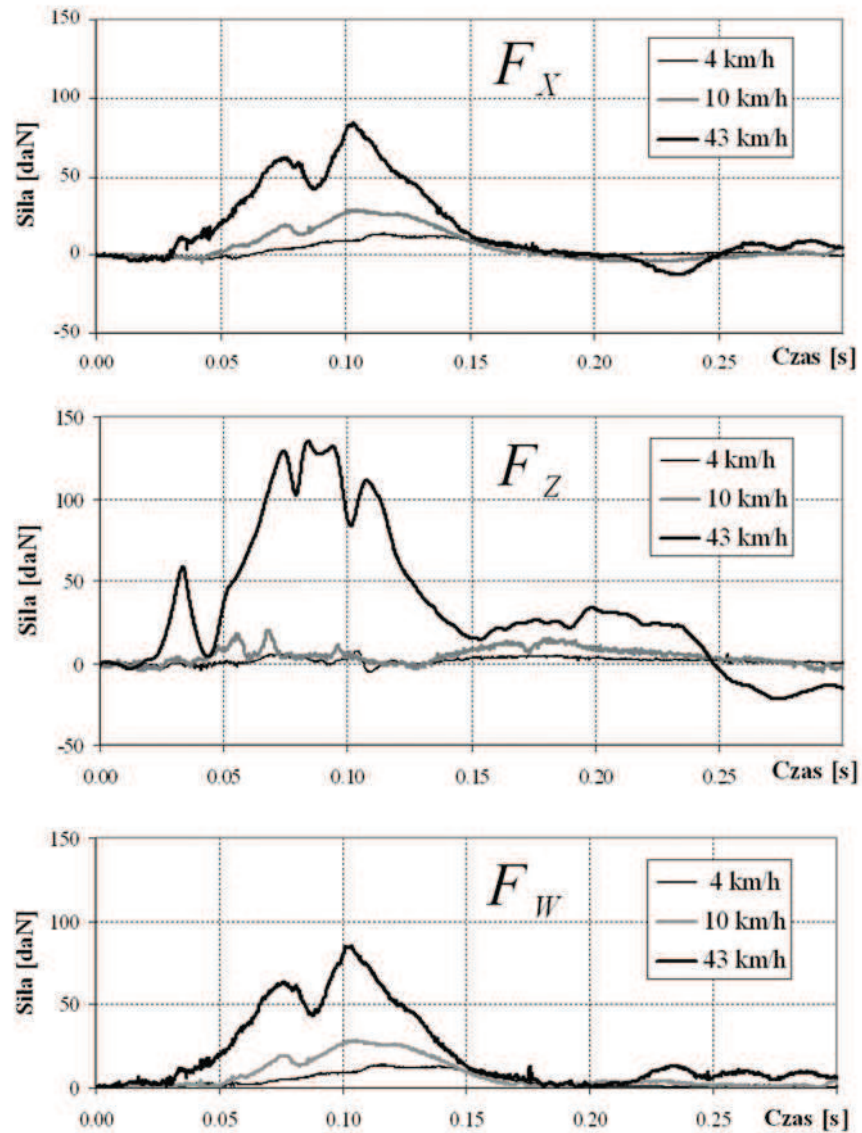
- $v = 4 \text{ km/h}$, ekstremalne wartości siły $F_x(t)$ w szyi 12 daN;
- $v = 10 \text{ km/h}$, 26 daN;
- $v = 43 \text{ km/h}$, 80 daN.

Wartości wypadkowej siły stycznej także narastają wraz z prędkością uderzenia samochodu, a mianowicie:

- $v = 4 \text{ km/h}$, maksymalna wartość siły $F_w(t)$ wynosi 13 daN;
- $v = 10 \text{ km/h}$, 26 daN;
- $v = 43 \text{ km/h}$, 85 daN.

Silne narastanie pochylenia głowy i jej kontakt z tablicą rozdzielczą podczas uderzenia samochodu w przeszkodę z prędkością 43 km/h spowodowało narastanie składowej ściskającej (siły osiowej $F_z(t)$) w szyi, widoczne na rys. 4.8. Wartości maksymalne siły ściskającej w szyi są następujące:

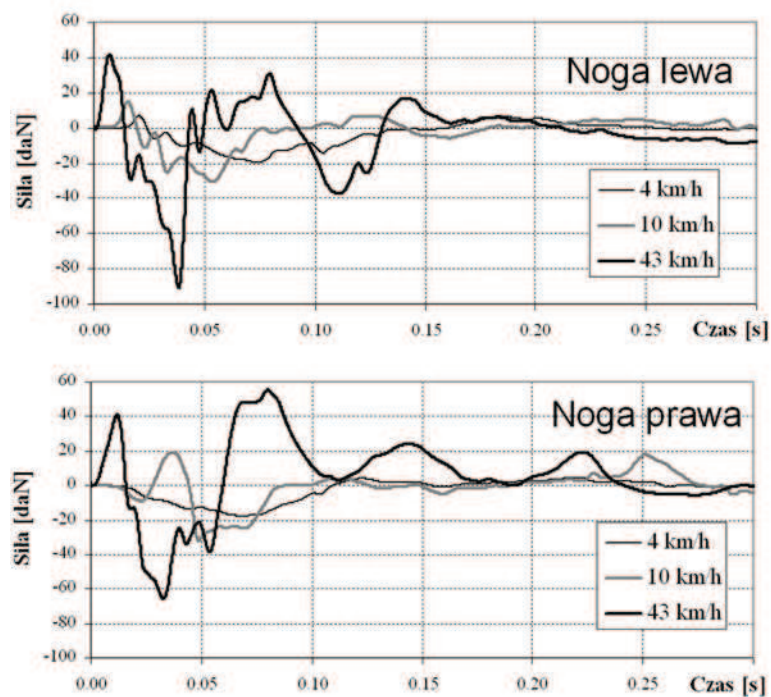
- $v = 4 \text{ km/h}$, maksymalna wartość siły $F_z(t)$ w szyi wynosi 10 daN;
- $v = 10 \text{ km/h}$, 21 daN;
- $v = 43 \text{ km/h}$, 135 daN.



Rys. 4.8. Przebiegi sił pomierzonych w szyi manekina.

4.4. Wyniki pomiarów obciążeń dynamicznych nóg

Czujniki umieszczone w nogach umożliwiły pomiar przebiegu obciążeń dynamicznych, działających na uda manekina, posadzonego na fotelu i przytrzymywanego pasem bezpieczeństwa.



Rys. 4.9. Przebiegi siły działającej na kość udową lewej i prawej nogi.

Obserwowane przebiegi zmian obciążenia dynamicznego nóg manekina (rys. 4.9) charakteryzują się dużą zmiennością, wynikającą z oddziaływania sił bezwładności od torsu manekina oraz procesu deformacji podłogi nadwozia na stopy. Oczywiście, pas bezpieczeństwa przytrzymuje ruch bioder manekina względem fotela i to może korzystnie ograniczać obciążenia dynamiczne kości ud. Obserwowane wartości ekstremalne sił w udach narastają wolniej niż wartości prędkości uderzenia samochodu w przeszkodę. Poniżej zestawiono w sposób przykładowy wartości rozpiętości tych sił, czyli:

- $v = 4 \text{ km/h}$, rozpiętość wartości ekstremalnych siły w lewym udzie 28 daN;
- $v = 10 \text{ km/h}$, 45 daN;
- $v = 43 \text{ km/h}$, 135 daN;

oraz

- $v = 4 \text{ km/h}$, rozpiętość wartości ekstremalnych siły w prawym udzi 18 daN;
- $v = 10 \text{ km/h}$, 52 daN;
- $v = 43 \text{ km/h}$, 120 daN.

5. Analiza wpływu prędkości uderzenia na obciążenia dynamiczne kierowcy

Obciążenia działające na ciało człowieka są źródłem obrażeń. Pomierzone na manekinach obciążenia pozwalają nam na prognozowanie ich skutków dla osób jadących na podstawie modelowania biomechanicznego. Wykorzystując wcześniej opisane wyniki pomiarów, podjęto próbę syntetycznej oceny tych obciążeń na podstawie ich wartości ekstremalnych, poszukując ich zależności od prędkości uderzenia samochodu w przeszkodę. Wnioski z przebiegu takiej zależności dają ważne informacje dla konstruktorów i użytkowników pojazdów, odnośnie bezpiecznego rozmieszczenia załogi oraz wprowadzania środków ochrony osób jadących i skuteczności urządzeń dotychczas stosowanych.

Podczas badań prowadzonych w tym zakresie, ze względu na krótkotrwałość i zmienność procesów zachodzących podczas uderzenia samochodu w przeszkodę, nie analizuje się czynników bezpośrednio powodujących uraz, czyli np. poziom naprężeń, ale z dobrym skutkiem wykorzystuje się (przy zastosowaniu manekinów pomiarowych) wielkości fizyczne związane z ruchem ciała, takie jak: zmiana położenia, prędkość, przyspieszenie. Stosowane są także kryteria oparte o rezultaty pomiarów sił i momentów powodujących deformacje ciała człowieka [8].

Mając powyższe na uwadze, wartości uzyskane podczas pomiarów poddano procesowi normalizacji, obliczając na ich podstawie wartości współczynnika narastania obciążenia

$$y_i(v_k) = \frac{4}{d_i(v_1)} d_i(v_k) \quad (5)$$

gdzie:

v_k to kolejne wartości prędkości uderzenia, czyli

$v_1 = 4 \text{ km/h}$, $v_2 = 10 \text{ km/h}$, and $v_3 = 43 \text{ km/h}$;

$d_i(v_k)$ są wartościami ekstremalnymi, które otrzymano podczas pomiaru d_i - tej wielkości fizycznej przy prędkości uderzenia v_k .

Liczba 4 w liczniku wyrażenia (5) jest równa wartości liczbowej prędkości odniesienia v_1 i jednocześnie ma sens współczynnika skali do wykonanych wykresów.

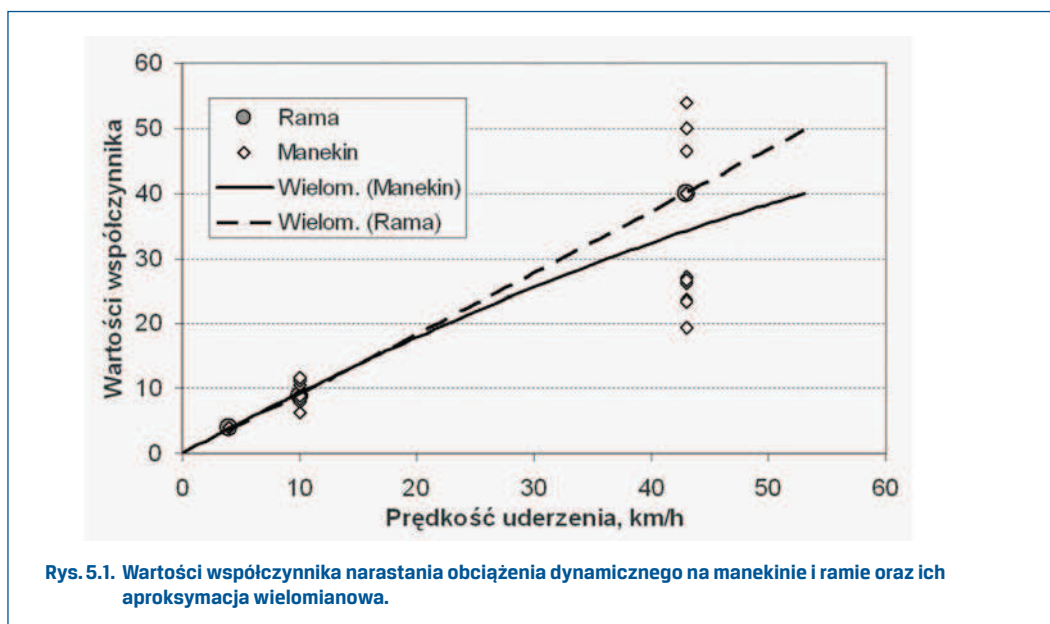
Wartości współczynnika narastania obciążenia manekina, obliczone dla przyspieszenia głowy i torsu oraz siły w szyi i udach umieszczono na rysunkach 5.1- 5.3, a następnie podano aproksymacji wielomianowej w postaci

$$y = b_2 v^2 + b_1 v + b_0 \quad (6)$$

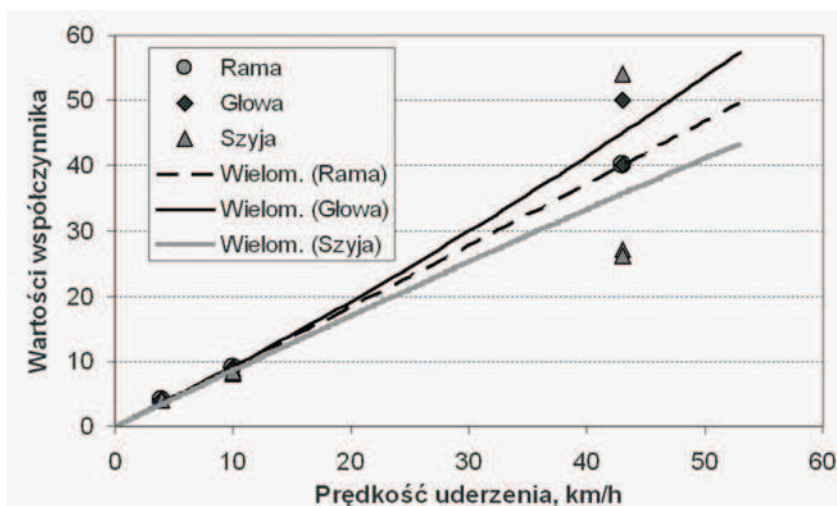
w której y jest współczynnikiem narastania obciążenia, a v jest prędkością uderzenia samochodu w przeszkodę w km/h..

Uzyskane przebiegi funkcji aproksymującej zaznaczono linią ciągłą. Na rysunkach nanie-siono też, korzystając z wyników uzyskanych w analizowanym eksperymencie, wartości współczynnika narastania obciążenia ramy jako dominującego elementu konstrukcji no-snej badanego samochodu. Wyniki obliczeń aproksymowano także funkcją (6), a przebieg funkcji zaznaczono linią kreskową. Przebieg linii na rysunku 5.1 jest oparty na 33 punktach, obliczonych przy wykorzystaniu zależności (5) i wartości wcześniej podanych w pracy. Pokazuje on ogólną relację między narastaniem obciążeń dynamicznych manekina (głowa, szyja, tors, uda) a obciążeniem, mierzonym na ramie samochodu osobowo-terenowe-go podczas uderzenia w przeszkodę.

Bardziej szczegółowe wnioski można uzyskać na podstawie analizy przebiegu funkcji aproksymującej na rysunkach 5.2 i 5.3. Z rysunku 5.2 wynika, że tempo narastania obciążeń dynamicznych głowy jest większe niż ramy, a obciążeń szyi mniejsze niż ramy układu nośnego samochodu. W obu przypadkach należy brać pod uwagę, że dominujące wartości ekstremalne obciążeń powstały w chwili uderzenia głowy o wnętrze samochodu.

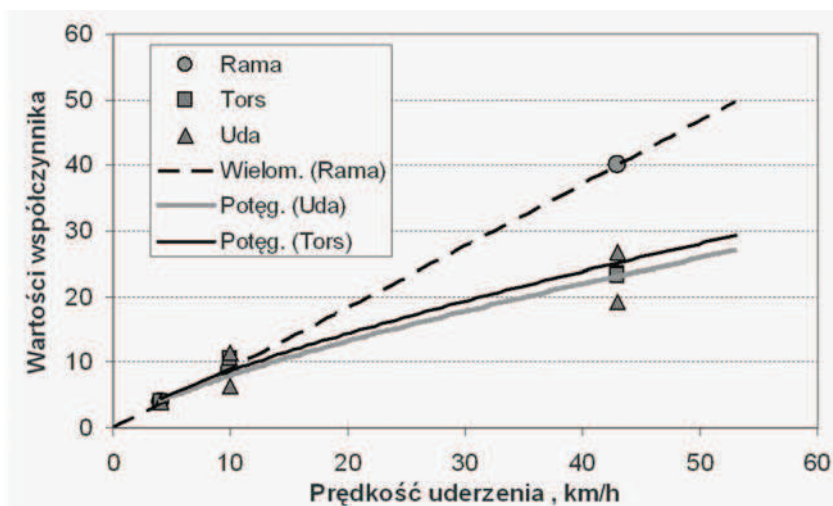


Rys. 5.1. Wartości współczynnika narastania obciążenia dynamicznego na manekinie i ramie oraz ich aproksymacja wielomianowa.



Rys. 5.2. Wartości współczynnika narastania obciążenia dynamicznego głowy i szyi manekina oraz na ramie (łącznie jest 18 punktów) i ich aproksymacja wielomianowa.

Przebieg funkcji aproksymujących na rysunku 5.3 (aproksymacja wielomianem drugiego stopnia i potęgowa) pokazuje, że tempo narastania obciążeń dynamicznych torsu i ud jest wyraźnie mniejsze niż obserwowane na ramie.



Rys. 5.3. Wartości współczynnika narastania obciążenia dynamicznego torsu i ud manekina oraz na ramie i ich aproksymacja wielomianowa.

Przeprowadzone obliczenia pokazały, że wysokie wartości współczynnika zbieżności aproksymacji uzyskano dla funkcji aproksymujących przechodzących przez początek układu współrzędnych (0,0) (por. tabela 5.1).

Tabela 5.1. Równania funkcji aproksymującej zależność współczynnika narastania obciążenia manekina i ramy od prędkości uderzenia, pokazanych na rysunkach 5.1- 5.3 i wartości współczynnika zbieżności

Element	Aproksymacja	R ²
Rama	$y = 0.0007v^2 + 0.901v$	0.999
Manekin	$y = -0.0043v^2 + 0.979v$	0.791
Głowa	$y = 0.0038v^2 + 0.881v$	0.975
Szyja	$y = -0.001v^2 + 0.871v$	0.778
Tors	$y = 1.639v^{0.726}$	0.966
Uda	$y = 1.523v^{0.725}$	0.926

Przebieg linii aproksymujących zależność obciążeń dynamicznych (działających na osoby jadące) od prędkości uderzenia pokazuje, że decydujące znaczenie ma proces deformacji układu nośnego pojazdu i charakterystyki elementów pośredniczących

w przekazywaniu obciążeń od styku samochodu z przeszkodą do ciała człowieka. Głowa, jako bryła o znacznej swobodzie ruchu względem tułowia i nadwozia, wykazuje wyższe tempo narastania obciążeń dynamicznych niż rama. Pozostałe części manekina, na które obciążenia dynamiczne są przenoszone przez łączniki nadwozia z ramą, nadwozie i fotele, wykazują mniejsze tempo narastania tych obciążeń niż rama wraz ze wzrostem prędkości uderzenia. Niskie tempo obserwuje się także na torsie i udach, które opierają się o elastyczną wykładzinę fotela i są do niej dociskane poprzez pas biodrowy. Najwyższe tempo narastania obciążeń dynamicznych rejestrowane jest na głowie, głównie z powodu jej uderzenia o wnętrze pojazdu.

6. Podsumowanie

Obliczono wartości współczynnika narastania obciążenia dynamicznego elementów manekina i odniesiono je do ramy, jako dominującego elementu konstrukcji nośnej badanego samochodu. Wyniki obliczeń aproksymowano

w większości funkcją (6), a przebieg aproksymacji narastania ekstremalnych wartości obciążeń dynamicznych ramy zaznaczono linią kreskową na kilku rysunkach. Przebieg linii na rysunku 5.1 pokazuje ogólną relację między narastaniem obciążeń dynamicznych manekina a obciążeniem ramy samochodu osobowo-terenowego podczas uderzenia w przeszkodę.

Zaznaczony na rysunkach 5.1 – 5.3 przebieg funkcji aproksymujących wyniki pomiarów pozwala na ogólną orientację w zakresie zmian tempa narastania obciążeń dynamicznych manekina względem przyrostu obciążeń dynamicznych ramy wraz z narastaniem prędkości uderzenia samochodu, a mianowicie tempo narastania:

- obciążeń dynamicznych głowy jest większe niż na ramie układu nośnego;
- obciążeń dynamicznych szyi jest mniejsze niż na ramie;
- obciążeń dynamicznych torsu i ud jest znacznie mniejsze niż na ramie.

Uzyskane wyniki nie tylko wspomagają prace nad doskonaleniem systemów bezpieczeństwa biernego w pojazdach o konstrukcji ramowej, ale także wskazują na możliwość określenia warunków ich użytkowania ze względu na prawdopodobieństwo powstawania urazów i obrażeń. Oddzielną sprawą jest ograniczona przydatność wyników takich badań i analiz podczas modelowania i rekonstrukcji wypadków drogowych oraz prognozowania ich skutków w zakresie obrażeń osób jadących.

Prowadzone w tym zakresie badania są kontynuowane w celu dalszego pogłębienia rozpoznania zmian procesów rozpraszania energii wraz ze wzrostem prędkości uderzenia samochodu w przeszkodę.

Literatura

- [1] PROCHOWSKI L., ŻUCHOWSKI A., *Właściwości nadwozia w zakresie pochłaniania energii podczas uderzenia samochodu w sztywną przeszkodę*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Mechanika nr 84, Kielce 2006.
- [2] DENIS V., CORNU P., HAMMOUNDA I., D'ACHON H., DISSOUBRAY X., SCHMITT V., RENO CH., GUIGUEN N., *French Study to Enhance Passive and Active Safety on Military Vehicles*, 20 Conference ESV, Lyon 2007.
- [3] PN-ISO 6487 *Pojazdy drogowe. Techniki pomiarowe w testach zderzeniowych. Oprzyrządowanie*, 2005.
- [4] HAGEL R., ZAKRZEWSKI J., *Miernictwo dynamiczne*, WNT, Warszawa 1984.
- [5] SWIESZNIKOW A., A., *Podstawowe metody funkcji losowych*, PWN, Warszawa 1965.
- [6] WILENKIN S., J., *Statystyczne metody badania układów sterowania automatycznego*, WNT, Warszawa 1969.
- [7] PROCHOWSKI L., ZIELONKA K., ŻUCHOWSKI A., *Analiza ruchu ciała człowieka podczas zderzenia czołowego samochodu o ramową konstrukcję nośną z przeszkodą*, Journal of KONES 1/2011, Warszawa 2011.
- [8] MATYJEWSKI M., *Analiza i ocena technicznych sposobów zmniejszenia skutków wypadków drogowych*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 225 Mechanika 2009.