

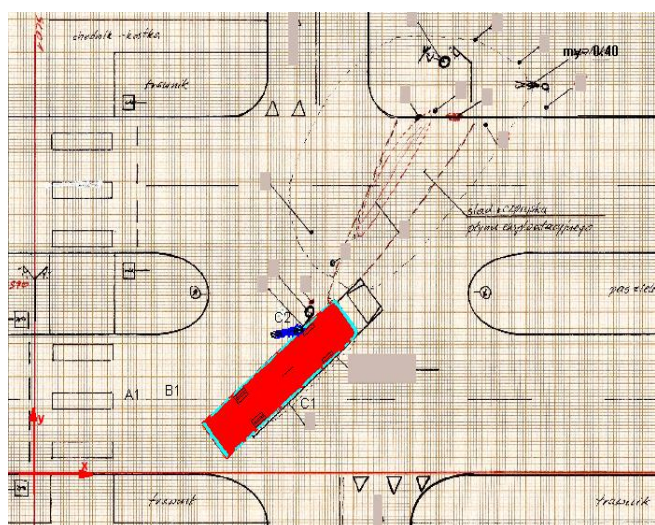
Celina JAGIEŁOWICZ-RYZNAR

ANALIZA SIŁ WZAJEMNIE ODDZIAŁYWUJĄCYCH NA POJAZDY W CHWILI ZDERZENIA W ASPEKTCIE ZMIANY RUCHU POZDERZENIOWEGO

W artykule omówiona została analiza zderzeniowa pojazdów na przykładzie autobusu Jelcza Mastero i motocykla BMW K1200S. Analiza została przeprowadzona na podstawie rzeczywistego wypadku drogowego, który został zasymulowany w programie symulacyjnym PC-Crash. Wartości parametrów ruchu pojazdów rejestrowane były przez czujniki umiejscowione w środkach masy pojazdów. Zbadano wpływ różnicy masy i prędkości zderzeniowych pojazdów na zmienność parametrów ruchu pozderzeniowego w fazie kompresji zderzenia, na tej podstawie przedstawiono proporcje parametrów ruchu pomiędzy pojazdami.

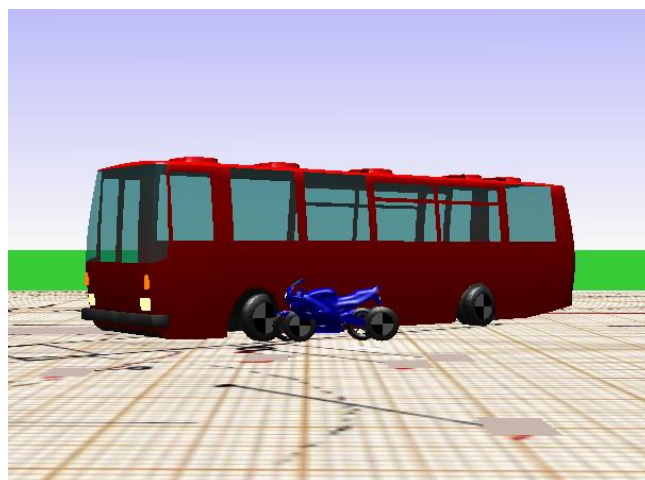
WSTĘP

W artykule przeprowadzono analizę zderzeniową autobusu Jelcz Mastero z motocyklem BMW K1200S. Niniejszą analizę przeprowadzono w oparciu o program symulacyjny wypadków drogowych PC-Crash na podstawie rzeczywistego wypadku drogowego, który miał miejsce pomiędzy autobusem Jelcz Mastero a motocyklem BMW K1200S. Do wypadku doszło w warunkach ruchu miejskiego w godzinach nocnych w obrębie złączenia dwóch dróg jednokierunkowych dwupasmowych o nawierzchni asfaltowo-bitumicznej o przebiegach prostych i poziomych przy dodatniej temperaturze powietrza i nawierzchni jezdni. W chwili gdy autobus Jelcz realizując manewr zawracania, poruszając się z prędkością 7 [km/h] po torze łuku w lewo, został najechany w obręcz lewego przedniego koła przez motocykl BMW jadący z prędkością 116 [km/h] torem prostoliniowym. Położenie zderzeniowe pojazdów przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Położenie zderzeniowe pojazdów

Wizualizację 3D w programie PC-Crash w kierunku prostopadłym do kierunku jazdy motocykla przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Wizualizacja 3D motocykla w programie PC Crash

Widok miejsca uderzenia na autobusie przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Miejsce uderzenia na pojeździe Jelcz Mastero

Widok motocykla w stanie powypadkowym przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Powypadkowy widok motocykla BMW K1200S

1. CHARAKTERYSTYKA POJAZDÓW

1.1. Sylwetki pojazdów

Na rysunkach 5 oraz 6 przedstawiono odpowiednio autobus Jelcz Mastero oraz motocykl BMW K1200S.



Rys. 5. Autobus Jelcz Mastero (przykład)



Rys. 6. Motocykl BMW K1200S (przykład)

1.2. Parametry masowe i gabarytowe pojazdów

Zestawienie parametrów masowych i gabarytowych omawianych pojazdów przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Parametry masowe i gabarytowe pojazdów

Parametr	Pojazd	Jelcz M121 Mastero	BMW K120S
masa		10240 [kg]	227 [kg]
długość		11950 [mm]	2180 [mm]
szerokość		3000 [mm]	910 [mm]
wysokość		2900 [mm]	1210 [mm]
liczba osi		2	2
rozstaw osi		6100 [mm]	1570 [mm]
zwis przedni		2580 [mm]	450 [mm]
rozstaw kół przednich		2100 [mm]	0 [mm]
rozstaw kół tylnych		1890 [mm]	0 [mm]
odległość środka masy od osi przedniej		3140 [mm]	780 [mm]
wysokość środka masy		870 [mm]	540 [mm]
moment bezwładności względem osi x		15360,00 [kgm ²]	29,60 [kgm ²]
moment bezwładności względem osi y		129477,00 [kgm ²]	98,70 [kgm ²]
moment bezwładności względem osi z		129477,00 [kgm ²]	98,70 [kgm ²]

2. ANALIZA ZDERZENIOWA

Program PC-Crash służy do wspomagania obliczeń związanych z rekonstrukcją wypadków drogowych poprzez między innymi symulację zderzeń pojazdów. W programie nadwozie samochodu potraktowane jest jako sztywne ciało o sześciu stopniach swobody, w którym model zderzenia bazuje na klasycznej hipotezie Newtona z możliwością uwzględnienia parametrów energetycznych prędkości równoważnej energii deformacji (EES – *Energy Equivalent Speed*). Przeprowadzona w zadaniu prostym dynamiczna symulacja zderzenia autobusu z motocyklem w programie PC-Crash doprowadziła do uzyskania parametrów ruchu pojazdów w chwili zderzenia, jak również parametrów pozderzeniowych aż do zajęcia położenia powypadkowych pojazdów.

2.1. Przedzderzeniowe parametry ruchu

W chwili bezpośrednio poprzedzającej zderzenie pojazdów, rozumianej jako początek przenikania brył nadwozi, parametry ruchu wyniosły zgodnie z przedstawieniem w tabeli 2.

Tab. 2. Parametry ruchu pojazdów w fazie przed zderzeniem

Parametr	Pojazd	Jelcz M121 Mastero	BMW K120S
prędkość		7,00 [km/h]	115,69 [km/h]
kąt pojazdu oś x		39,41 [°]	8,31 [°]
kierunek prędkości		39,41 [°]	8,31 [°]
prędkość kątowna wokół osi x		0,00 [°/s]	0,00 [°/s]
prędkość kątowna wokół osi y		0,00 [°/s]	0,00 [°/s]
prędkość kątowna wokół osi z		0,00 [°/s]	0,00 [°/s]
przyspieszenie oś x		0,00 [m/s ²]	0,00 [m/s ²]
przyspieszenie oś y		0,00 [m/s ²]	0,00 [m/s ²]
przyspieszenie oś z		0,00 [m/s ²]	0,00 [m/s ²]
kierunek siły uderzenia			3,94 [°]

2.2. Zderzeniowe parametry ruchu

Z pierwszej części zderzenia – kompresji trwającej od chwili początku kontaktu brył nadwozi, gdy wartość chwilowej siły uderzenia rośnie monotonicznie, wybrano czas od 0 do 0,029 [s], w którym głębokość deformacji motocykla osiąga 460 [mm], a głębokość deformacji autobusu osiąga 70 [mm] parametry ruchu. W rozpatrywanej fazie zderzenia parametry ruchu pojazdów zmieniły się, co zostało przedstawione w tabeli 3.

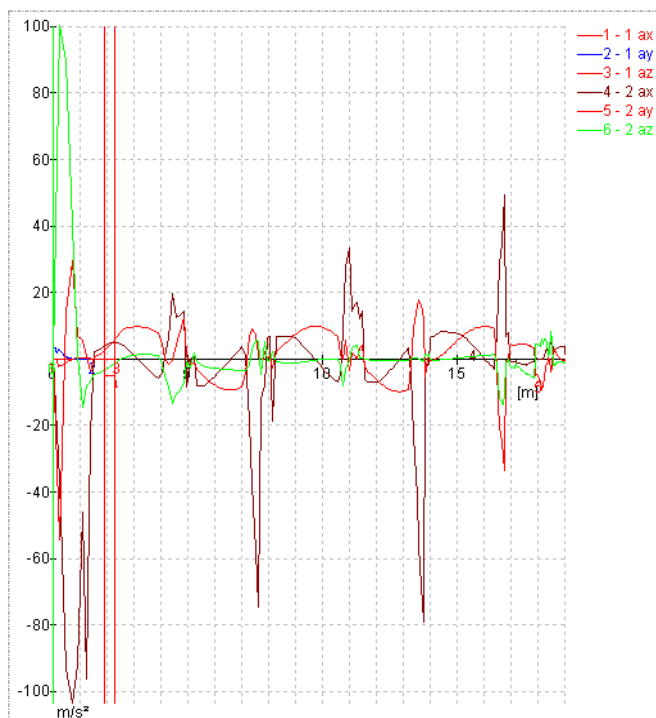
Tab. 3. Parametry ruchu pojazdów w fazie zderzenia

Parametr	Pojazd	Jelcz M121 Mastero	BMW K120S
prędkość		8,47 [km/h]	56,07 [km/h]
kąt pojazdu oś x		39,33 [°]	13,34 [°]
kierunek prędkości		33,88 [°]	9,27 [°]
prędkość kątowna wokół osi x		-9,42 [°/s]	321,87 [°/s]
prędkość kątowna wokół osi y		-1,57 [°/s]	1263,12 [°/s]
prędkość kątowna wokół osi z		-6,11 [°/s]	329,45 [°/s]
przyspieszenie oś x		0,11 [m/s ²]	-91,14 [m/s ²]
przyspieszenie oś y		3,30 [m/s ²]	13,61 [m/s ²]
przyspieszenie oś z		-0,04 [m/s ²]	91,83 [m/s ²]
kierunek siły uderzenia		108,43 [°]	
całkowita energia deformacji		76731,46 [J]	

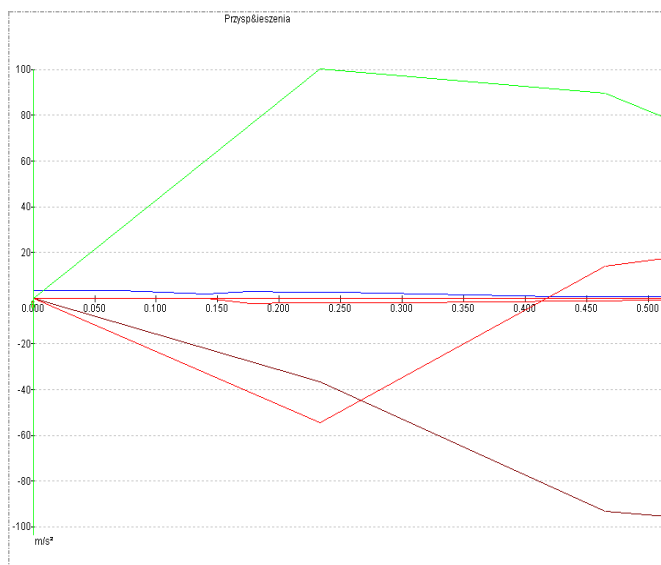
2.3. Wyniki symulacji

Zderzenie, gdzie masa motocykla jest ponad 45 razy mniejsza niż masa autobusu, jednocześnie sztywność nadwozia motocykla jest wielokrotnie mniejsza niż sztywność koła jezdnego autobusu wraz z pozostałymi elementami układu jezdnego przedniej osi, spowodowała gwałtowne zmiany parametrów ruchu motocykla, natomiast parametry ruchu autobusu zmieniły się w minimalnym stopniu. W czasie 290 [ms] prędkość motocykla zmniejszyła się o 59,65 [km/h], natomiast prędkość autobusu wzrosła o 1,47 [km/h]. Jednocześnie oś wzdluzna x motocykla zmieniła swoje położenie o 5,03 [°] poruszając się z opóźnieniem 91,14 [m/s²], a chwilowa prędkość kątowna wokół osi x uzyskała wartość 321,87 [°/s], natomiast oś wzdluzna autobusu zmieniła swoje położenie o 0,08 [°], uzyskując chwilową prędkość kątowną 9,42 [°/s].

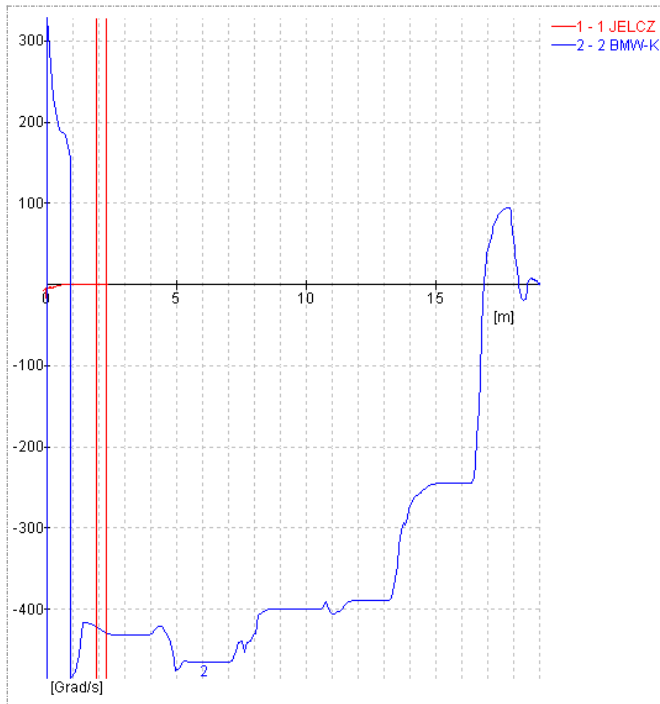
Wykres zmiany przyspieszeń pojazdów w osi x od chwili zderzenia do położen powypadkowych pojazdów przedstawia rys. 7, a w rozpatrywanej chwili zderzenia – rys. 8. Wykres zmiany prędkości kątownej pojazdów wokół osi z od chwili zderzenia do położen powypadkowych pojazdów przedstawia rys. 9, w rozpatrywanej chwili zderzenia – rys. 10. Wykres zmiany prędkości kątownej pojazdów wokół osi y od chwili zderzenia do położen powypadkowych pojazdów przedstawia rys. 11, a w rozpatrywanej chwili zderzenia przedstawia – rys. 12. Wykres zmiany kątów pojazdów wokół osi z od chwili zderzenia do położen powypadkowych pojazdów przedstawia rys. 13, a w rozpatrywanej chwili zderzenia – rys. 14. Jednocześnie w rozpatrywanej chwili zderzenia nastąpiła zmiana kierunku siły uderzenia o 104,49 [°], gdzie całkowita energia deformacji wyniosła 76731,46 [J].



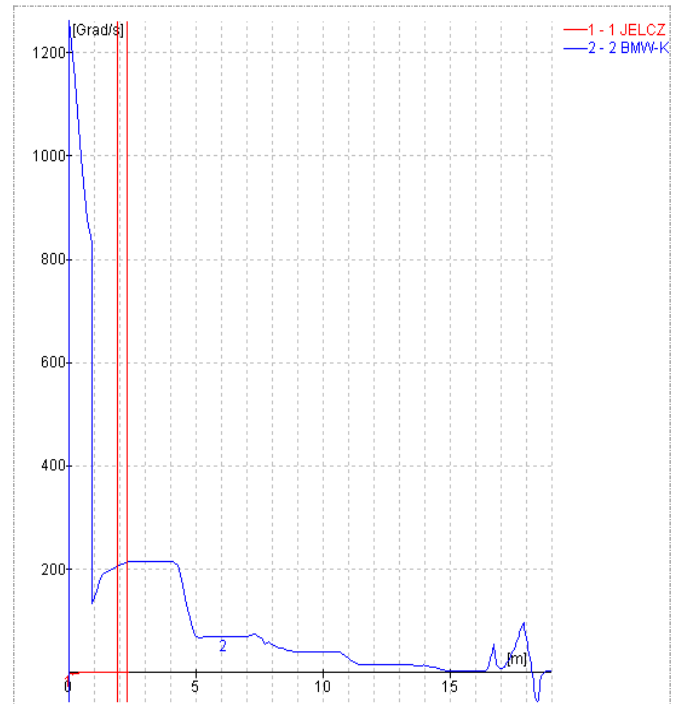
Rys. 7. Przyspieszenia środków mas autobusu (1) i motocykla (2) wokół osi x, y, z od chwili zderzenia do położen powypadkowych



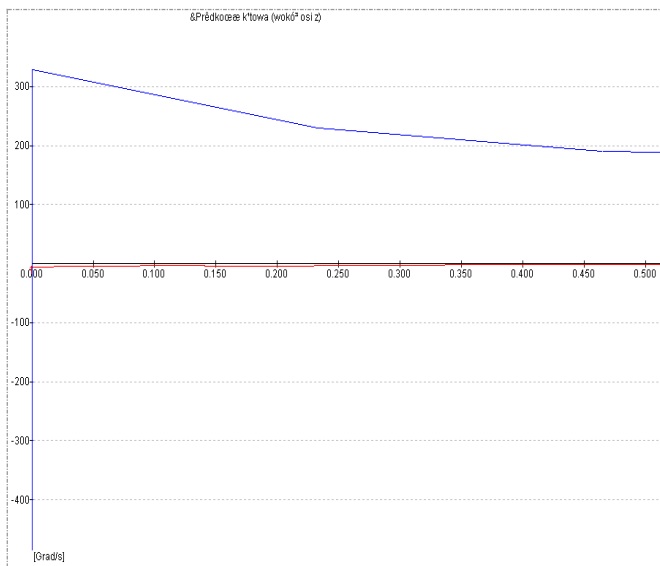
Rys. 8. Przyspieszenia środków mas autobusu i motocykla w rozpatrywanej chwili zderzenia



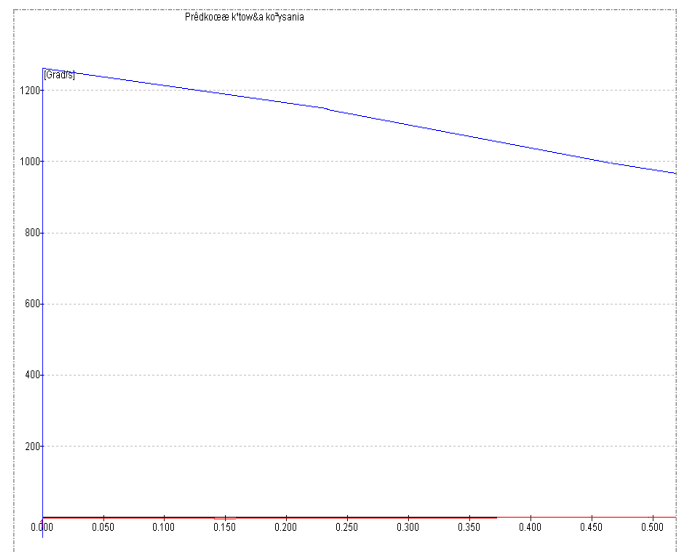
Rys. 9. Prędkość kątowna autobusu (1) i motocykla (2) wokół osi z od chwili zderzenia do położenia powypadkowych



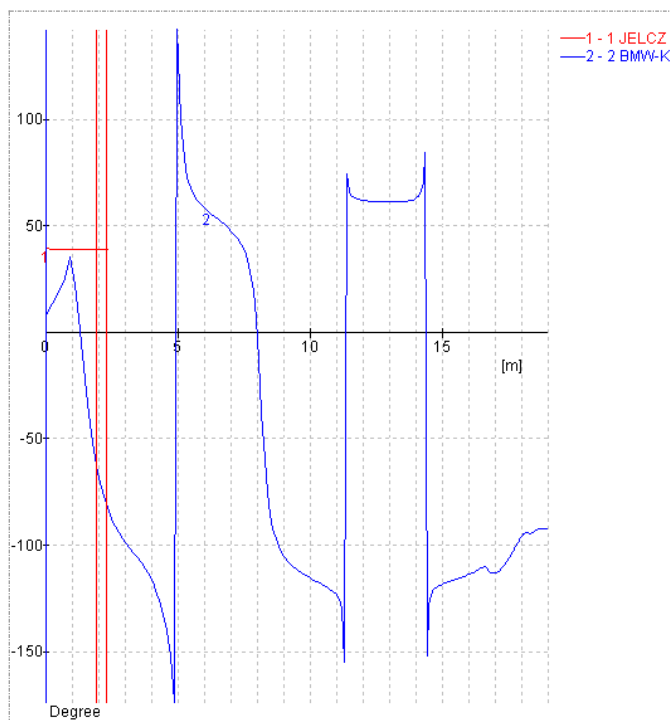
Rys. 11. Prędkość kątowna autobusu (1) i motocykla (2) wokół osi y od chwili zderzenia do położenia powypadkowych



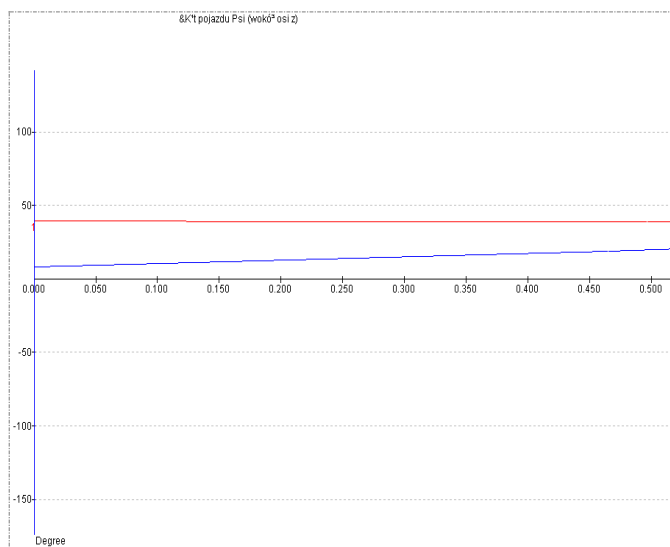
Rys. 10. Prędkość kątowna autobusu (1) i motocykla (2) wokół osi z w rozpatrywanej chwili zderzenia



Rys. 12. Prędkość kątowna autobusu (1) i motocykla (2) wokół osi y w rozpatrywanej chwili zderzenia



Rys. 13. Zmiana kąta autobusu (1) i motocykla (2) wokół osi z od chwili zderzenia do położenia powypadkowego



Rys. 14. Zmiana kąta autobusu (1) i motocykla (2) wokół osi z w rozpatrywanej chwili zderzenia

Analizując uzyskane wyniki należy zauważyć, że w pierwszej fazie zderzenia pojazdów oprócz lokalnych odkształceń nadwozi, gdzie wartość odkształcenia autobusu była 6,5-krotnie mniejsza niż odkształcenie motocykla, nastąpiła także gwałtowna zmiana kierunku siły uderzenia, gdzie doszło do bardzo dużych zmian parametrów ruchu motocykla przy bardzo małych zmianach parametrów ruchu autobusu. Zderzający motocykl poruszał się z opóźnieniem lub przyspieszeniem – dla właściwych osi – o wartościach od kilku do paru tysięcy razy większym niż autobus. Natomiast prędkości kątowne wokół osi uzyskiwane przez motocykl były od kilkudziesięciu do kilkuset razy większe niż uzyskiwane przez autobus. Dysproporcje parametrów wynikały z mas pojazdów o różnych rzędach i różnicy sztywności. Motocykl będący kilkadziesiąt razy lżejszy od autobusu, a jednocześnie mający mniejszą sztywność nadwozia niż układ jezdny autobusu, uległ większej zmianie ruchu. Zatem przy zmianie kierunku wzajemnej siły uderzenia pojazdów, siły

zderzenia oddziaływujące na motocykl były większe niż oddziaływujące na autobus. Tak znaczne przyspieszenia i opóźnienia ruchu motocykla w połączeniu z gwałtownymi zmianami kierunku ruchu miały swoje odzwierciedlenie w parametrach ruchu motocyklisty, w szczególności były wartościami poza możliwością przeżycia. Natomiast zmiana parametrów ruchu autobusu, jakkolwiek bardzo mała, to jednak była o wartościach odczuwalnych przez kierującego autobusem. Po fazie kompresji zderzenia nastąpiła faza restytucji, w której zmniejszała się wartość chwilowej siły zderzenia, następnie rozdzielenia pojazdów, które nadal miały energię kinetyczną i sunąc po podłożu przemieściły się do położenia powypadkowych. Prędkości kątowne motocykla malały skokowo, natomiast autobusu zbliżone były do zera. Występowały zarówno przyspieszenia, jak i opóźnienia ruchu motocykla w poszczególnych osiach, gdzie bilans opóźnień był większy, co doprowadziło do unieruchomienia. Natomiast zatrzymanie autobusu nie było wynikiem pozderzeniowej utraty energii, lecz manewrem kierującego.

PODSUMOWANIE

Zderzenie dwóch pojazdów o kilkudziesięciokrotnej różnicy mas przy kilkunastokrotnej różnicy prędkości oraz wielokrotnej różnicy sztywności elementów nadwozi ulegających deformacji, jakimi były autobus Jelcz Mastero i motocykl BMW K1200, spowodowało gwałtowną zmianę kierunku siły uderzenia przy jednoczesnej zmianie sił oddziaływujących na pojazdy, gdzie przyspieszenia i zmiany kierunku ruchu pojazdu lżejszego były od kilkudziesięciu do paru tysięcy razy większe niż przyspieszenia i zmiany kierunku ruchu pojazdu cięższego.

BIBLIOGRAFIA

1. Prochowski L. i in., *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.
2. Gaca S. i in., *Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądownego*, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011.
3. Program PC-Crash, DSD Steffan Datentechnik Austria, licencja: Zbigniew Ryznar.

The analysis of forces interacting on the vehicles when crashing, in terms of changes of after-collision motion

The collision analysis of the vehicles, led by examples of Jelcz Maestro bus and BMW K1200S motorbike was set in the article. The analysis was carried out on the basis of the veritable car accident that was simulated in PC-Crash programme. The values of vehicle motion parameters were recorded by sensors located in the centre of mass of vehicles. The effects of mass and collision velocity difference on the parameters alternation of after-collision motion, while collision compression, were researched. On the basis of this study, the motion parameters ratio between the vehicles were shown.

Autor:

dr inż. **Celina Jagielowicz-Ryznar** – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Mechaniki Stosowanej i Robotyki, e-mail: cjr@prz.edu.pl