

# CHARAKTERYSTYKA OBROTU I UNOSZENIA MOTOCYKLA PO UDERZENIU W BOK SAMOCHODU

LEON PROCHOWSKI<sup>1</sup>, TOMASZ PUSTY<sup>2</sup>

Wojskowa Akademia Techniczna, Przemysłowy Instytut Motoryzacji

## Streszczenie

Przedstawiono analizę przebiegu wypadku drogowego polegającego na uderzeniu motocykla w bok samochodu osobowego. Obszar analizy został ograniczony do pozderzeniowego ruchu motocykla w początkowej fazie kontaktu z samochodem. Wówczas jedną z ważnych form ruchu jest obrót motocykla wokół chwilowego środka o zmiennym położeniu oraz unoszenie jego tyłu. Na podstawie analizy filmu z eksperymentu (metodą klatka po klatce) oraz pomierzonych wartości przyspieszeń na ramie motocykla określono parametry tego ruchu w poszczególnych chwilach czasu. Pokazano trajektorię ruchu charakterystycznych punktów motocykla po jego uderzeniu w samochód.

Wyznaczone parametry ruchu motocykla stanowią dobrą podstawę do procesu rekonstrukcji wypadków drogowych i analizy powstawania obrażeń u motocyklisty. Przebieg procesu obracania i unoszenia motocykla ma zasadniczy wpływ na ruch ciała motocyklisty, a przede wszystkim na miejsce uderzenia jego głowy w samochód. Położenie tego miejsca (szyba boczna, krawędź dachu, dach) silnie wpływa na charakter obrażeń głowy, które powstają w czasie wypadku.

**Słowa kluczowe:** wypadki drogowo, bezpieczeństwo motocyklistów, dynamika motocykla, energia uderzenia

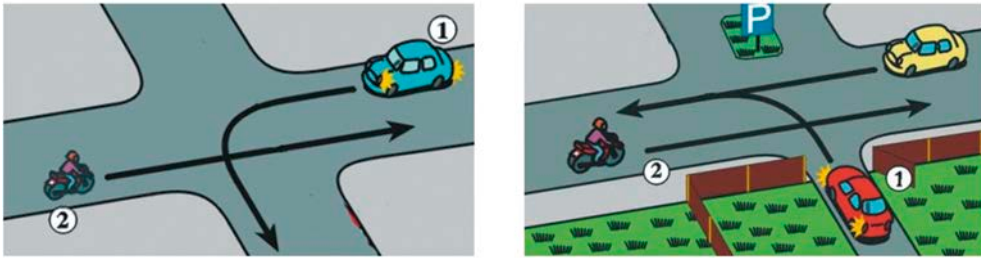
## 1. Wprowadzenie

Zderzenia motocykli z samochodami osobowymi należą do grupy powszechnych wypadków drogowych. Analiza przebiegu wypadków drogowych z udziałem motocyklistów jest problemem trudnym, szczególnie w aspekcie ustalenia źródeł powstawania najpoważniejszych deformacji pojazdów oraz obrażeń uczestników ruchu.

Do niebezpiecznych sytuacji dochodzi np. kiedy kierowca samochodu nie zauważy szybko jadącego motocyklisty i wjeżdża na tor jego ruchu. Takie sytuacje pokazano na rys. 1.1, a ich rezultatem zwykle jest uderzenie motocykla w bok samochodu.

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

<sup>2</sup> Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Laboratorium Badań Pojazdów, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, e-mail: t.pusty@pimot.org.pl, tel. 22 777 70 84



Rys. 1.1. Powstawanie sytuacji niebezpiecznych [7]

Celem pracy jest analiza ruchu obrotowego i unoszenia motocykla po jego uderzeniu w bok samochodu. Rezultaty tej analizy mogą być wykorzystane w procesie poznania źródeł obrażeń motocyklistów oraz bilansu energii uderzenia motocykla w samochód. Ważnym obszarem wykorzystania rezultatów pracy jest rekonstrukcja wypadków drogowych. Przedstawiona analiza jest oparta na rezultatach filmowania i pomiarów, wykonanych podczas eksperymentu badawczego.

Uwagę skupiono na analizie przebiegu procesów dynamicznych, które wpływają na skutki wypadku drogowego, a w tym na trajektorię ruchu motocykla po uderzeniu w bok samochodu. Analizie poddano fazę początkową uderzenia motocykla w bok samochodu oraz jego ruch wokół chwilowego środka obrotu, który podczas uderzenia motocykla w bok samochodu zmienia swoje położenie. Obracanie motocykla podczas zderzenia z samochodem osobowym ma bezpośredni wpływ na powstawanie obrażeń motocyklisty, bo wpływa na położenie miejsca jego kontaktu z samochodem. Zasadnicze znaczenie ma położenie miejsca kontaktu głowy z bokiem samochodu.

Problematyka uderzenia motocykla w bok samochodu w interesujący sposób została pokazana w pracach [3, 4]. Prace te dają dobrą podstawę do analizy kinematyki ruchu motocyklisty i pasażera po uderzeniu w bok samochodu, co wykorzystano w [10]. W pracach [1, 4, 6, 9] pokazano przykłady wyników badań eksperymentalnych i symulacji komputerowych, dotyczących przebiegu uderzenia motocykla w samochód. Jednak w żadnej z analizowanych prac nie podjęto wyjaśnienia ważnych aspektów początkowej fazy ruchu motocykla po uderzeniu w bok samochodu, czyli jego ruchu obrotowego wokół zmiennego położenia środka obrotu wraz z postępowaniem procesu deformacji motocykla.

## 2. Eksperyment badawczy i objekty badań

W Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie przeprowadzono eksperyment badawczy, w którym motocykl, jadący z prędkością  $v=49,5\text{km/h}$ , uderzył w bok nieruchomego samochodu. Uderzenie nastąpiło w przednie drzwi w pobliżu słupka B. Test został

przygotowany przy współpracy Studenckiego Koła Naukowego Mechaników Pojazdów Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej, a organizatorem eksperymentu był dr inż. J. Senko [e-mail: jsenko@simr.pw.edu.pl].

Charakterystyczne etapy z przebiegu eksperymentu zestawiono w tabeli 2.1. Prowadzona dalej analiza pozwala określić zasadnicze fazy ruchu motocykla (a w tym proces unoszenia i obrotu) oraz jego położenie w kolejnych chwilach czasu.

**Tabela 2.1. Najważniejsze etapy procesu uderzenia w bok samochodu**









Czas	Opis sytuacji	Fotografia
0 ms	Początek uderzenia motocykla w bok samochodu.	
20 ms	Motocykl rozpoczyna obrót wokół środka obszaru styku koła przedniego z samochodem. Następuje rozprężanie zawieszenia, a unoszenie motocykla nie przekracza 0,01m	
50 ms	Początek unoszenia tylnego koła motocykla (wyczerpanie możliwości rozprężania sprężyn zawieszenia).	

Tabela 2.1. cd.

Czas	Opis sytuacji	Fotografia
100 ms	Obracanie się motocykla wokół środka styku główki ramy motocykla z bokiem samochodu.	
130 ms	Przednie koło motocykla zaczyna się unosić.	
350 ÷ 360 ms	Motocykl w chwili najwyższego uniesienia.	
640 ms	Przednie koło motocykla uderza o ziemię.	
700 ms	Siedzisko motocykla opiera o krawędź dachu samochodu.	

### 3. Analiza ruchu motocykla względem samochodu i podłoża

Pozderzeniowy ruch motocykla zależy przede wszystkim od wysokości położenia środka masy motocykla i motocyklisty względem obszaru styku z samochodem. Zależy także od przebiegu deformacji i przesunięcia samochodu w chwili uderzenia oraz od oddziaływania ciała motocyklisty. Oczywiście, cały proces silnie zależy od prędkości motocykla w chwili uderzenia w samochód. W tabeli 2.1 pokazano charakterystyczne zmiany położenia motocykla, motocyklisty i samochodu, wskazując tym samym na charakter analizowanego ruchu motocykla. Ruch ciała motocyklisty jest bliski ruchowi bryły swobodnej [10], a możliwe oddziaływania w punktach kontaktu z motocyklem zostaną opisane w oddzielnej pracy.

Na podstawie filmu z przebiegu eksperymentu, który zarejestrowano z częstotliwością 1 kHz, wyodrębniono poszczególne klatki z krokiem co 10 ms. Wykonane na tej podstawie rysunki umieszczono w tabeli 3.1. Stanowią one podstawę do ustalenia zmian położenia motocykla wraz z postępowaniem procesu jego deformacji.

W tabeli 3.1 zestawiono rysunki sylwetki motocykla od chwili 0 ms (chwila zetknięcia się koła motocykla z samochodem). Skalę obiektów dobrano na podstawie znanych odległości położenia markerów umieszczonych na motocyklu oraz siatki wymiarowej, stanowiącej nieruchome tło na filmie. Na rysunkach zaznaczono również fragment obrysu samochodu. Wprowadzono też własne linie odniesienia, które pokazano jako przerywane linie siatki co 0,5 m.

**Tabela 3.1 Sylwetka motocykla i fragment obrysu samochodu w początkowej fazie zderzenia (a - oznacza fragment obrysu samochodu w chwili  $t=0$  ms)**

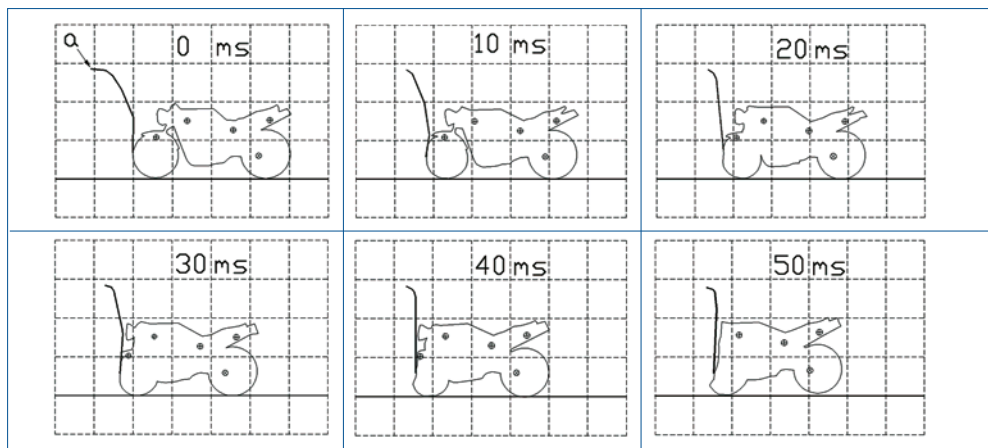
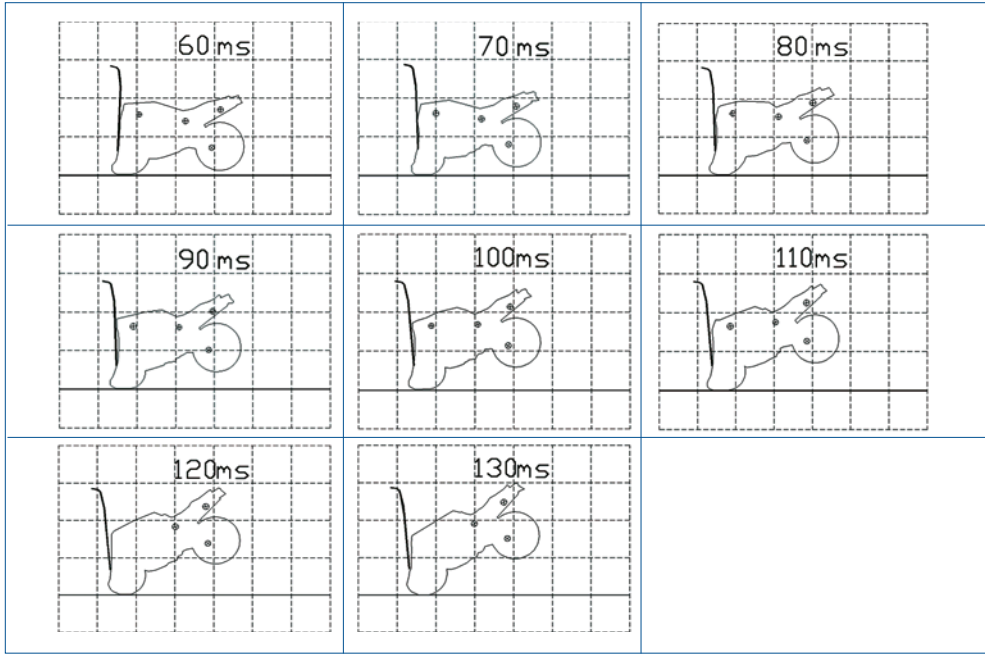
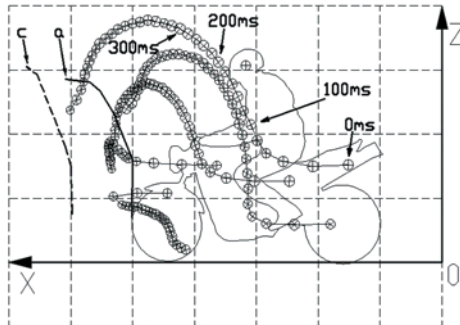


Tabela 3.1. cd.



Zakres ruchu motocykla, pokazany w tabeli 3.1, nie wyczerpuje opisu przebiegu eksperymentu. Jednak jest wystarczający do analizy problemów podjętych w pracy. Praktycznie cały zakres przemieszczeń motocykla ilustruje rysunek 3.1. Pokazano na nim położenie markerów (umieszczonych na motocyklu) w kolejnych chwilach czasu, od 0 do 700 ms co 20 ms. W ten sposób uzyskano możliwość rysowania trajektorii ruchu poszczególnych punktów motocykla podczas eksperymentu.

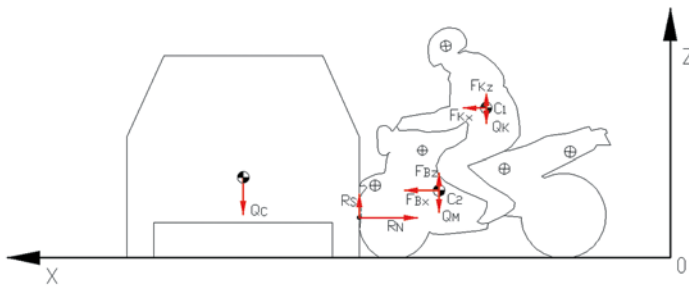


**Rys. 3.1. Położenie punktów charakterystycznych na motocyklu (markerów) w kolejnych chwilach czasu (a - oznacza fragment obrysu samochodu w chwili  $t=0$  ms; c - oznacza fragment obrysu samochodu w chwili  $t=380$  ms)**

Rysunki w tabeli 3.1 oraz przebieg trajektorii na rysunku 3.1 wskazują, że do 50 ms motocykl praktycznie wykonuje ruch postępowy, prowadzący do zginięcia jego przedniej części. Ruch jego obrotu i unoszenia jest dobrze widoczny od ok. 50 ms (od momentu pełnego rozprężenia sprężyn zawieszenia).

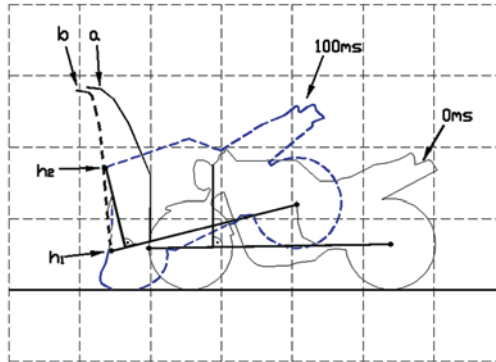
#### 4. Proces obrotu i unoszenia motocykla

Od początku styku przedniego koła motocykla z samochodem pojawia się reakcja, którą umownie zaznaczono poprzez jej składowe  $R_S$  i  $R_N$  w strefie deformacji pojazdów. Reakcja ta wraz z siłą bezwładności w środku masy motocykla (umownie zaznaczono poprzez składowe  $F_{Bx}$  i  $F_{Bz}$ ) oraz motocyklisty (umownie zaznaczono poprzez składowe  $F_{Kx}$  i  $F_{Kz}$ ) tworzą zasadniczy układ sił, ulegający zmianom wraz z postępującym procesem deformacji. Rezultatem jego działania jest ruch obrotowy i unoszenie tylnej części motocykla (rys. 4.1) po czasie 20 ms.



Rys. 4.1. Układ sił powodujący obracanie motocykla ( $t=20$  ms)

W czasie 20-100 ms widoczny jest proces przemieszczania się motocyklisty wzdłuż siedziska. W trakcie tego przesuwania się od ciała motocyklisty na motocykl działają siły tarcia na siedzisko oraz następuje silne oddziaływanie od ud motocyklisty na zbiornik paliwa motocykla. Działanie tych sił w znaczny sposób wpłynęło na obracanie się motocykla wokół coraz wyżej położonego chwilowego środka obrotu. Jednocześnie postępujący proces deformacji motocykla, a zatem i narastanie obszaru jego kontaktu z samochodem, sprzyja zwiększaniu wysokości położenia środka jego obrotu, co pokazano na rysunku 4.2. Do ok. 100 ms chwilowy środek obrotu motocykla (rys. 4.2) przemieszcza się od punktu  $h_1$  do punktu  $h_2$ . Punkt  $h_1$  to środek obszaru styku deformowanego koła przedniego motocykla z samochodem. Chwilowy środek obrotu motocykla zmienia swoje położenie do chwili, gdy jego kąt obrotu w płaszczyźnie pionowej osiągnie ok. 15 stopni. W tym położeniu motocykla (rys. 4.2) zasadnicza składowa reakcji od samochodu oddziałuje na główkę ramy motocykla, która opiera się o samochód w punkcie  $h_2$ .

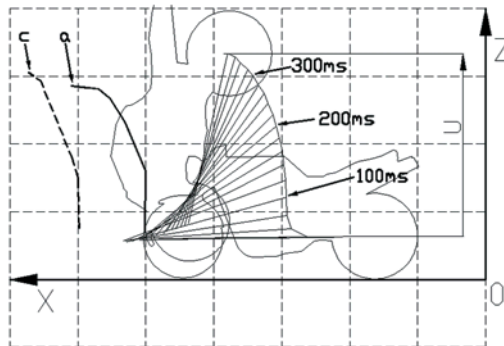


**Rys. 4.2.** Zmiana położenia chwilowego środka obrotu motocykla (a – oznacza fragment obrysu samochodu dla chwili 0 ms; b – oznacza fragment obrysu samochodu w chwili  $t=100$  ms)

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu sporządzono rysunek 4.3, na którym pokazano zmiany kąta obrotu motocykla w poszczególnych chwilach czasu. Na rysunku tym kąt obrotu motocykla przyjęto, jako odpowiadający nachyleniu odcinka łączącego środki obrotu kół motocykla do osi OX.

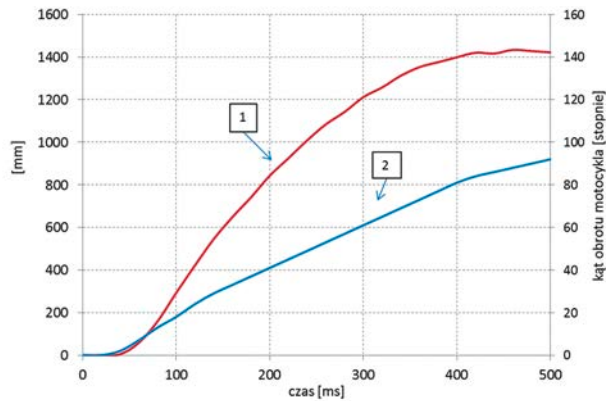
Przebieg zmian kąta obrotu motocykla w funkcji czasu pokazano na rys. 4.4, na którym zaznaczono również zmiany wysokości unoszenia osi obrotu tylnego koła motocykla. Unoszenie to, zaznaczone jako U na rysunku 4.3, jest związane ze złożonym ruchem motocykla, który w tej fazie obejmuje:

- przesunięcie w kierunku OX;
- skracanie rozstawu osi kół (deformacja motocykla);
- obrót wokół zmiennego położenia środka obrotu.



**Rys. 4.3.** Proces unoszenia motocykla (a – oznacza fragment obrysu samochodu w chwili  $t=0$  ms; c – oznacza fragment obrysu samochodu w chwili  $t=380$  ms)





**Rys. 4.4. Kąt obrotu motocykla i unoszenie tylnego koła**  
(1 – unoszenie tylnego koła  $U$ ; 2 – kąt obrotu motocykla  $\varphi$ )

Przebiegi na rysunkach 4.3 i 4.4 opisują ogólny ruch motocykla, praktycznie w całej fazie deformacji oraz obrotu, który w najwyższym położeniu tylnego koła jest bliski 90 stopni.

Inny charakter mają przebiegi na rysunku 4.5. Pokazują one pionowe przemieszczenie środka masy oznaczone jako  $z_c$ , oraz składową pionową wektora prędkości ( $V_{cz}$ ) środka masy motocykla. Na podstawie przebiegu zależności przemieszczenia od czasu wyznaczono dyskretne wartości składowej pionowej wektora prędkości środka masy motocykla, czyli:

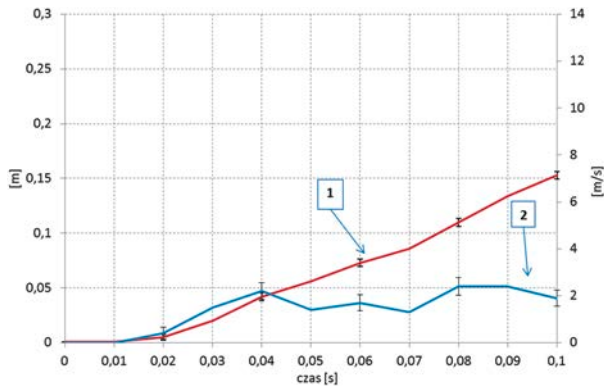
$$V_{cz}(t) = \frac{\Delta z_c(t)}{\Delta t} \quad (1)$$

gdzie:

$z_c(t)$  – przemieszczenie pionowe środka masy motocykla, wyznaczone metodą analizy klatka po klatce.

Podobnie jak wielkość  $U$  na rysunku 4.4, analizowane przebiegi zależą od złożonego charakteru ruchu i deformacji motocykla. Udział wielu czynników wpływa też na dokładność wyznaczenia obliczanych wartości. Oszacowanie dokładności obliczeń wykonano na podstawie [8] i zaznaczono pionowymi odcinkami w postaci przedziałów niepewności obliczanych wartości.

Rezultaty obliczeń, pokazane na rysunku 4.5, zostaną wykorzystane do wyznaczenia niektórych składników energii rozpraszanej podczas uderzenia w bok samochodu.



Rys. 4.5. Przebieg przemieszczenia pionowego oraz wartości składowej pionowej prędkości środka masy motocykla (1 -  $z_c$ , 2 -  $V_{cz}$ )

## 5. Analiza kinematyki ruchu motocykla na podstawie wyników pomiarów przyspieszenia

Rozważono możliwość uzupełniającego wykorzystania wyników pomiarów przyspieszenia jednego z punktów motocykla do uściślenia wyników obliczeń przebiegu zmian przemieszczenia i prędkości jego środka masy.

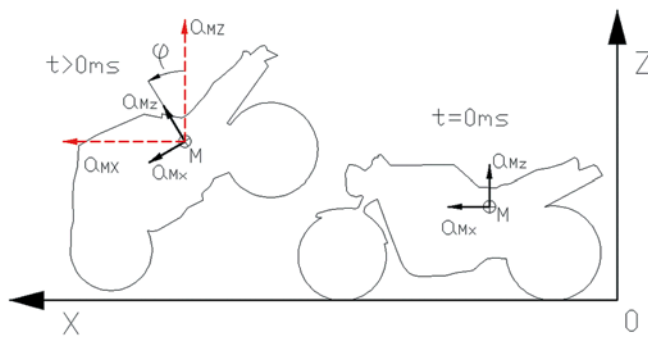
Czujnik przyspieszenia, którego umiejscowienie pokazano na rysunku 5.1 (oznaczony jako M), rejestrował składowe sygnały przyspieszenia w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach  $a_{Mx}$ ,  $a_{My}$ ,  $a_{Mz}$ . Pomierzone przebiegi przyspieszenia  $a_{Mx}$ ,  $a_{Mz}$  wykorzystano do wyznaczenia składowej przyspieszenia działającej w kierunku osi OZ czyli  $a_{MZ}$  (rys. 5.1). Składową  $a_{MZ}$  w globalnym układzie odniesienia obliczono, uwzględniając wcześniej wyznaczony przebieg kąta  $\varphi$  obrotu motocykla wraz z czujnikiem (rys. 4.4, 5.1), a mianowicie:

$$a_{MZ}(t) = -a_{Mx}(t) \sin \varphi(t) + a_{Mz}(t) \cos \varphi(t) \quad (2)$$

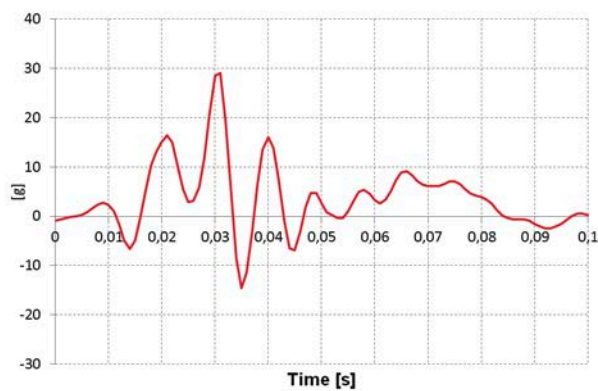
Rezultaty obliczeń  $a_{MZ}$  pokazano na rysunku 5.2.

### 5.1. Odniesienie wyników pomiarów przyspieszenia do środka masy motocykla

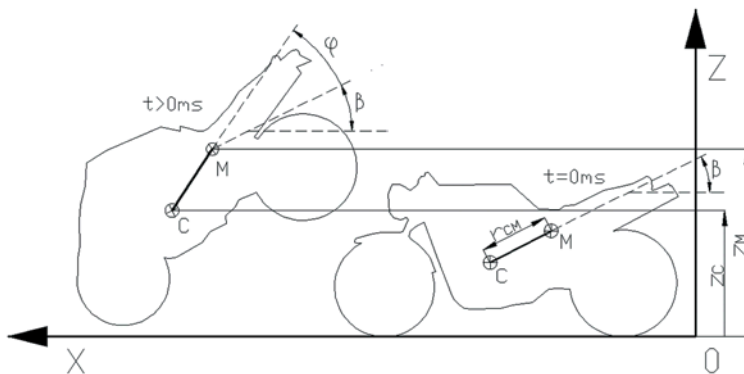
Odniesienie wyników pomiarów do środka masy motocykla C ułatwi wyznaczenie wielkości niezbędnych podczas obliczeń dyssypacji energii zderzenia. Obliczenia te zostaną oparte na schemacie pokazanym na rys. 5.3. Przyjęto założenie, że rama motocykla jest idealnie sztywna, a zatem punkty C i M nie zmieniają położenia względem siebie w analizowanej fazie ruchu.



Rys. 5.1. Kierunki osi pomiarowych czujnika  $a_{Mx}$  oraz  $a_{Mz}$



Rys. 5.2. Przebieg  $a_{Mz}$  w funkcji czasu



Rys. 5.3. Schemat do obliczeń przyspieszenia w środku masy motocykla

Opis przyjętych oznaczeń:

- $r_{CM}$  - odległość między punktami C i M na motocyklu;
- $\beta$  - początkowa wartość kąta nachylenia odcinka CM do osi OX;
- $\varphi(t)$  - kąt obrotu motocykla jako funkcja czasu

Na podstawie rysunku 5.3 ustalono zależności między przemieszczeniami punktów M oraz C.

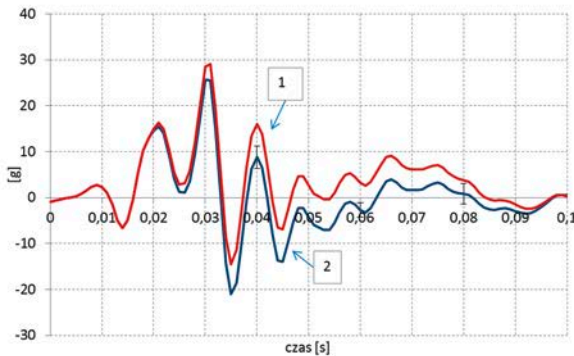
$$z_C(t) = z_M(t) - r_{CM} \sin(\beta + \varphi(t)) \quad (3)$$

Różniczkowanie powyższej zależności pozwoliło na określenie prędkości i przyspieszenia punktu C.

$$V_{CZ}(t) = V_{MZ}(t) - \dot{\varphi}(t)r_{CM} \cos(\beta + \varphi(t)) \quad (4)$$

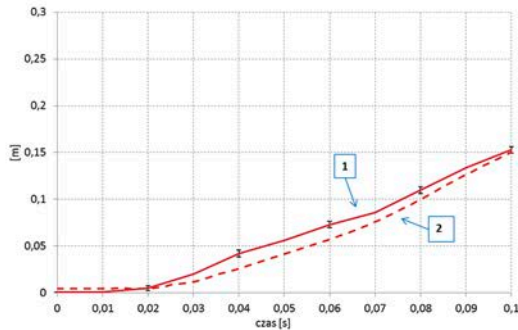
$$a_{CZ}(t) = a_{MZ}(t) - \ddot{\varphi}(t)r_{CM} \cos(\beta + \varphi(t)) + \dot{\varphi}^2(t)r_{CM} \sin(\beta + \varphi(t)) \quad (5)$$

Przebieg składowej przyspieszenia  $a_{CZ}(t)$  obliczonej z (5), przedstawiono na rys. 5.4.



Rys. 5.4. Przebiegi  $a_{MZ}$  oraz  $a_{CZ} (1 - a_{MZ} \cdot 2 - a_{CZ})$

Widoczne na rysunku 5.4 różnice wartości przyspieszenia punktów C i M zmieniają się wraz z przesuwaniem się obróconego motocykla i umocowanego do niego czujnika. Na rysunku zaznaczono przedział niepewności obliczeń w postaci kilku odcinków pionowych. Ich długość wyznaczono metodą różniczki zupełnej i pokazano także na rys. 5.5 i 5.6. Wyniki obliczenia przyspieszenia  $a_{CZ}$  pokazanego na rysunku 5.4, zostaną wykorzystane do obliczenia prędkości i przemieszczenia środka masy motocykla metodą całkowania numerycznego.



Rys. 5.5. Przesunięcie pionowe środka masy motocykla w funkcji czasu

## 5.2. Przesunięcie środka masy motocykla

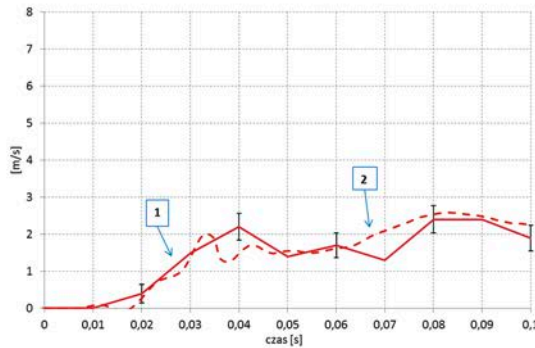
Korzystając z zależności (3) wyznaczono przebieg przesunięcia pionowego środka masy motocykla. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 5.5, na którym zamieszczono również przebieg  $z_c(t)$  wyznaczony metodą analizy klatka po klatce (co przedstawiono na rys. 4.5). Linia ciągła 1 jest z rysunku 4.5, czyli z analizy filmu, natomiast linia przerywana 2 jest przebiegiem wyznaczonym z (3).

Wyniki obliczenia przesunięcia środka masy motocykla wyznaczone dwoma (wyżej przedstawionymi) metodami różnią się nieznacznie. Tak więc obliczenia te można uznać za prawidłowe. Rezultaty obliczeń  $z_c(t)$  zostaną wykorzystane do obliczenia bilansu energii czołowo boczego uderzenia motocykla w bok samochodu.

## 5.3. Prędkość środka masy motocykla

Korzystając z zależności (4) obliczono wartości  $V_{cz}$ . Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 5.6 linią przerywaną (linia 2). Na tym rysunku przedstawiono również przebieg  $V_{cz}(t)$  który oznaczono linią 1. Jest to prędkość środka masy motocykla wyznaczona metodą analizy klatka po klatce.

Pokazane rezultaty obliczenia przebiegu zmian  $V_{cz}(t)$  niewiele się różnią – rzędu kilku, kilkunastu procent. Pokazuje to także przedział niepewności obliczeń w postaci odcinków pionowych. Można zatem wnioskować, że przebieg prędkości środka masy motocykla wyznaczono prawidłowo. Rezultaty  $V_{cz}(t)$  zostaną wykorzystane podczas tworzenia bilansu energii uderzenia motocykla w bok samochodu.



Rys. 5.6. Składowa pionowa prędkości środka masy motocykla

## 6. Rozpraszanie energii kinetycznej na obrót i unoszenie motocykla

Sporządzenie bilansu energii to ważny etap analizy wypadku drogowego. Na tym etapie rozważa się dwa składniki tego bilansu. Podczas wyznaczania energii koniecznej do obrotu motocykla wykorzystano zależność:

$$E_o(t) = \frac{1}{2} I_Y \dot{\varphi}^2(t) \quad (6)$$

gdzie:

$I_Y$  – masowy moment bezwładności motocykla podczas jego obrotu wokół chwilowego środka obrotu.

Masowy moment bezwładności motocykla, obliczono względem chwilowego środka obrotu, korzystając z twierdzenia Steinera:

$$I_Y = I + mr_h^2(t) \quad (7)$$

gdzie:

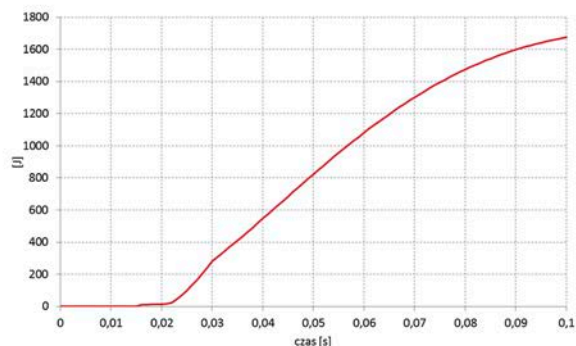
$I$  – masowy moment bezwładności motocykla względem centralnej osi poprzecznej;

$m$  – masa motocykla;

$r_h(t)$  – odległość między środkiem masy motocykla a chwilowym środkiem obrotu motocykla.

Podstawą do obliczeń wartości  $r_{h1}$  jest schemat pokazany na rysunku 4.2 oraz rysunki 4.3 i 5.3.

Przebieg zmian energii rozpraszanej podczas obrotu motocykla pokazano na rys. 6.1.



**Rys. 6.1. Energia rozpraszana podczas obrotu motocykla w poszczególnych chwilach czasu**

Do określenia pracy, koniecznej do unoszenia motocykla wykorzystano zależność:

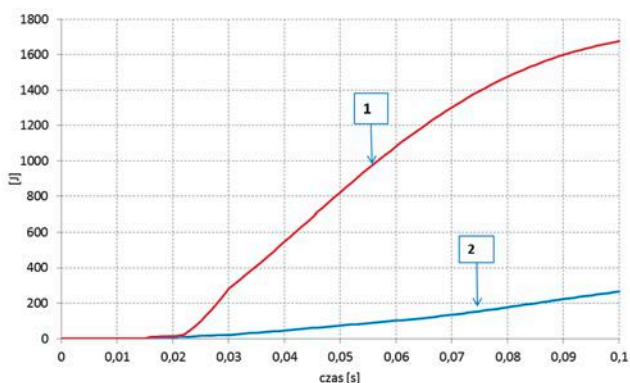
$$W_{UM}(t) = mgz_c(t) \quad (8)$$

gdzie:

$g$  – przyspieszenie ziemskie

$z_c(t)$  – wysokość unoszenia motocykla w poszczególnych chwilach czasu, wyznaczona metodą całkowania numerycznego.

Wysokość unoszenia motocykla w poszczególnych chwilach czasu pokazano na rys. 5.5. Obliczone składniki energii rozpraszanej w analizowanej fazie ruchu motocykla pokazano na rysunku 6.2.



**Rys. 6.2. Składniki energii motocykla, rozpraszanej w funkcji czasu (1 -  $E_o$ , 2 -  $W_{UM}$ )**

## 7. Podsumowanie

Przebieg procesu unoszenia i obrotu motocykla w analizowanej fazie jego uderzenia w bok samochodu ma decydujące znaczenie podczas analizy całego wypadku drogowego. Analiza procesu unoszenia motocykla, który osiąga prędkość unoszenia 2,5 m/s, stanowi punkt wyjścia do ustalania miejsca uderzenia motocyklisty w bok samochodu. Miejsce to z kolei ma zasadniczy wpływ na obrażenia głowy motocyklisty.

Pokazane przebiegi zmian kąta obrotu motocykla i jego unoszenia dają dobrą podstawę do obliczeń energii rozpraszanej podczas wypadku oraz do prognozowania miejsca uderzenia głowy w bok samochodu. Podczas obrotu motocykla, wysokość położenia chwilowego środka jego obrotu wzrasta o ponad 0,5 m w czasie 20-100 ms, a kąt obrotu sięga 80 stopni w czasie ok. 380-400 ms. Na podstawie przeprowadzonej analizy procesu unoszenia i obrotu wyznaczono istotną część z energii kinetycznej ruchu przedzderzeniowego (ok. 15%), która jest rozpraszana w analizowanej fazie wypadku. Ta część rozpraszanej energii, której obliczenie pokazano w pracy, w połączeniu z energią deformacji motocykla stanowią z kolei podstawę do obliczenia przedzderzeniowej prędkości podczas wypadków drogowych.

Opisane powyżej aspekty mają ważne znaczenie podczas rekonstrukcji wypadków drogowych z udziałem motocykli. Jednocześnie ruch motocykla po uderzeniu w bok samochodu w istotny sposób zależy od parametrów konstrukcyjnych np. wysokość położenia środka masy, rozstaw osi kół. Przeprowadzone w niniejszej pracy obliczenia parametrów ruchu motocykla ułatwią modelowanie dynamiki uderzenia motocykla w bok samochodu.

## Literatura

- [1] CHAWLA A., MUKHERJEE S., MOHAN D., DIPAN BOSE, PRAKASHRWAWAT, SAKURAI M., NAKATANI T.: *FE Simulations of motorcycle – car frontal crashes, validation and observations*. The 18<sup>th</sup> ESV Conference Proceedings, Nagoya, 2003.
- [2] GIDLEWSKI M., MATUSZEWSKI T., PROCHOWSKI L., WICHER J.: *Program poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego na Mazowszu*. Gambit Mazowiecki, Warszawa, 24 July 2009.
- [3] GRANDEL J., SCHAPER D., BERG F. A.: *Untersuchung der Motorrad-, Fahrer- und Beifahrersicherheit bei Motorradunfällen mit zwei Motorradaufsassen – Teil 1*. ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift, 89 (1987) 11.
- [4] GRANDEL J., SCHAPER D., BERG F. A.: *Untersuchung der Motorrad-, Fahrer- und Beifahrersicherheit bei Motorradunfällen mit zwei Motorradaufsassen – Teil 2*. ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift, 89 (1987) 12.
- [5] KASANICKÝG.: *Nárazovéškúskyjednostopovýchvozidiel, Znalectvo. Cestná doprava, elektronika, strojárstvo a iné technické odbory*. - ISSN 1335-1133. - Roč. 3, č. 1-2 (1998), s. 2-10.
- [6] KELLEY S. ADAMSON, GREGORY C. ANDERSON, PETER ALEXANDER, RALPH ARONBERG,....: *Seventeen Motorcycle Crash Tests into Vehicles and a Barrier*. USA, SAE 2002-01-0551.
- [7] PRÓCHNIEWICZ H.: *Podręcznik motocyklisty A*. Grupa Image, 2009.
- [8] Szydłowski H.: *Teoria pomiarów*. Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Warszawa, 1981.
- [9] UNARSKI J.: *Uderzenie motocykla w bok samochodu będącego w ruchu*. Paragraf na drodze, 2/2009, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych.
- [10] *Wypadki drogowe, Vademecum biegłego sądowego*. Wydanie 2, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków, 2006.