

**Włodzimierz Treter**

Przewracanie motocykla jako manewr obronny

Streszczenie

Na podstawie danych literaturowych i własnych przemyśleń autor przeprowadza analizę manewru obronnego w postaci celowego przewrócenia motocykla, stosowanego niekiedy przez motocyklistów w stanie bezpośredniego zagrożenia kolizją. Podaje metody rachunkowe pozwalające oszacować podstawowe parametry czasowo-przestrzenne realizacji takiego manewru.

Słowa kluczowe

Manewr wywracania motocykla, metodyka rekonstrukcji.

* * *

1. Wstęp

Manewr obronny polegający na przewróceniu motocykla z pewnością nie skraca drogi hamowania przed przeszkodą. Niekiedy jednak daje kierującemu możliwość odchylenia toru ruchu swojego ciała od toru, który prowadzi do kolizji z przeszkodą. Niezależnie od oceny skuteczności i sensu podejmowania takiego manewru, skoro bywa on stosowany, to powstaje konieczność przeprowadzenia jego analizy w toku rekonstrukcji zdarzenia drogowego.

2. Techniki celowego przewracania motocykla

W artykule rozważone zostaną następujące techniki celowego przewracania motocykla:

- skręt motocykla (najczęściej w lewo) i doprowadzenie do uślizgu tylnego koła,
- skręt np. w lewo, a po pochyleniu motocykla na lewą stronę zwrócenie kierownicy w prawo (*steering capsizes*),
- hamowanie przednim hamulcem po rozpoczęciu skrętu.

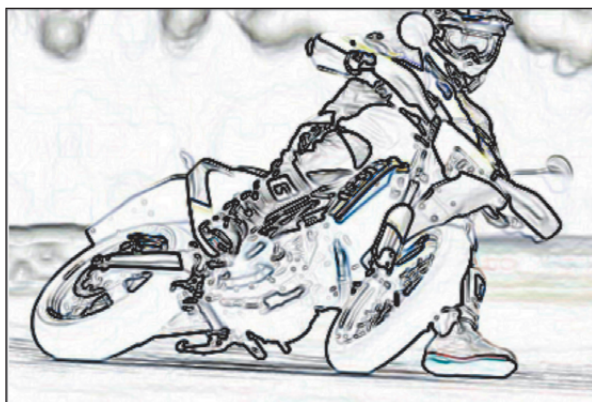
Mgr inż. Włodzimierz Treter, certyfikowany rzeczoznawca samochodowy, prowadzi własne biuro rzeczoznawcze „TRETER Ekspertyzy Techniczne”, Radom.

3. Przewracanie motocykla z uślizgiem tylnego koła

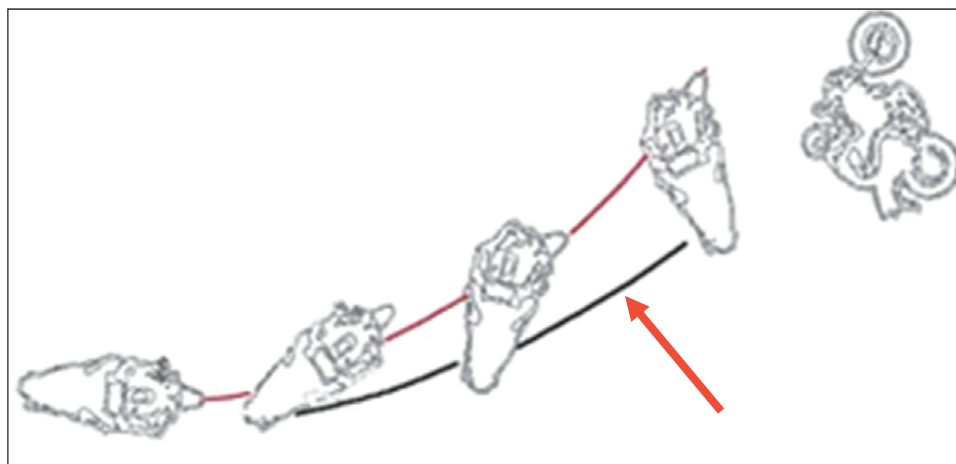
Przebieg manewru może być następujący:

- Wykonanie przeciwskrętu (np. w prawo). Motocykl pochyla się w lewo.
- Kierujący stara się utrzymać tułów w pozycji pionowej. Tułów nie bierze zatem udziału w pochyleniu motocykla, co zmniejsza bezwładność pojazdu i przyspiesza jego pochylenie.
- Po upływie ok. 0,7 s pochylenie motocykla osiąga maksymalną wartość.
- Przed upływem tego czasu kierujący naciska pedał hamulca, doprowadzając w ten sposób do uślizgu tylnego koła, co umożliwia zarzucenie (ryc. 1).
- Po przewróceniu pojazdu kierujący odpycha się od niego nogami, próbując w ten sposób „zejść” z kolizyjnego kursu z przeszkodą.

Na suchej czystej nawierzchni niezbędne pochylenie motocykla jest większe niż na nawierzchni mokrej.



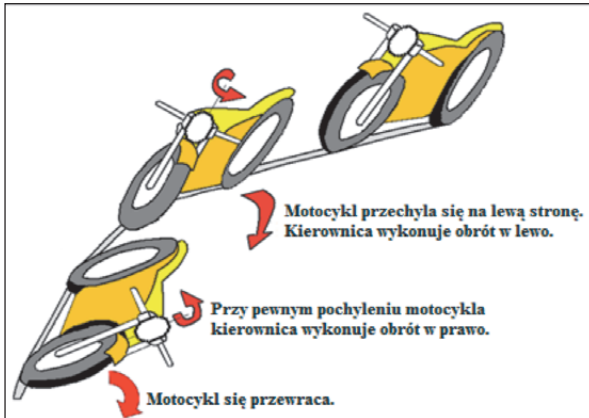
Ryc. 1. Położenie motocykla w początkowej fazie przewracania przy zablokowaniu tylnego koła (rysunek autora).



Ryc. 2. Schemat przewracania motocykla jako manewru obronnego. Strzałka wskazuje ślad zarzucenia tylnego koła (rysunek autora).

4. Schemat upadku typu „steering capsized”

W celu przewrócenia pojazdu motocyklista rozpoczyna skręt – np. w lewo. W chwili, gdy motocykl jest pochylony na lewą stronę, kierujący zwraca kierownicę w prawo. Motocykl przewraca się na lewą stronę. Podobnie jak w poprzednim przypadku należy uwzględnić fazę przeciwskrętu.

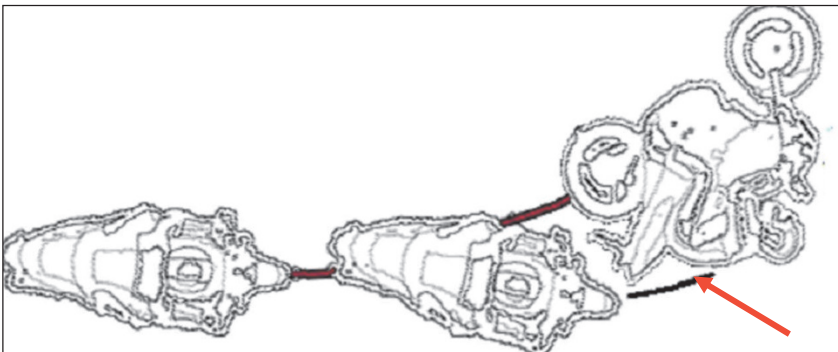


Ryc. 3. Schemat przewracania się typu „steering capsized” (na podstawie [3]).

5. Schemat przewracania motocykla po wystąpieniu bocznego poślizgu przedniego koła

Kierujący skręca przednie koło i w trakcie wykonywania tego skrętu hamuje przednim hamulcem. Jeżeli koło jest skręcone (np. w lewo), to motocykl pod wpływem odśrodkowej siły bezwładności przewraca się na prawy bok (ryc. 4).

Podczas prób przeprowadzonych na torze wyścigowym Jerez, przy bocznym poślizgu przedniego koła czas upadku wynosił ok. 0,33 s, przy pochyleniu początkowym 50° i prędkości 26 m/s [2]. Wartość ta jest zbliżona do czasów przewracania motocykla oszacowanych dla schematów omówionych wcześniej.



Ryc. 4. Schemat przewracania motocykla przy poślizgu przedniego koła. Strzałka wskazuje ślad uślizgu przedniego koła (rysunek autora).

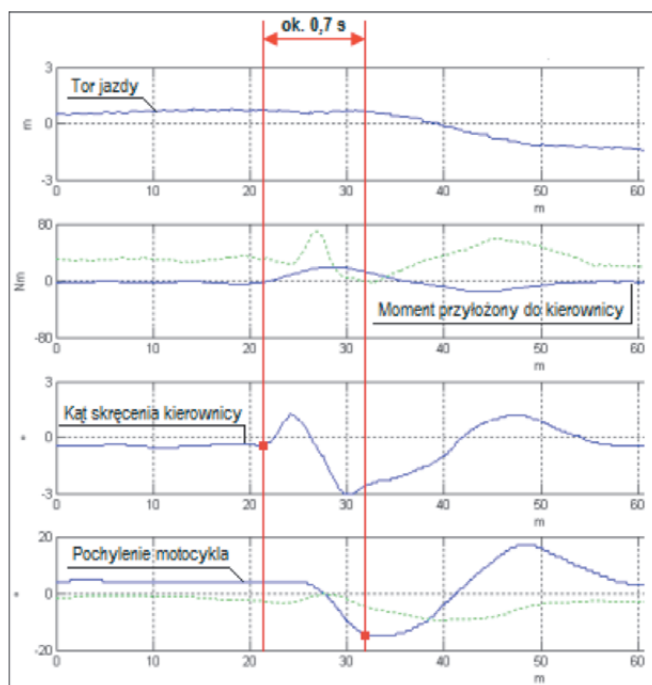
6. Czas trwania przeciwskrętu

W celu oszacowania najkrótszego czasu pochylenia motocykla, spośród prób, jakie przeprowadził Evertse [4] należy rozważyć te, które odbywały się z udziałem kierowcy testowego – jako najsprawniejszego (ryc. 5, 6). Czas od początku wychylenia kierownicy (tj. od początku przeciwskrętu) do osiągnięcia największego w danej próbie pochylenia motocykla, przy prędkości 50 km/h wynosił ok. 0,7 s, a przy prędkości 120 km/h – ok. 1 s. W trakcie trwania tej fazy manewru kierowca hamuje tylnym hamulcem, powodując zablokowanie koła. Koło nie może zatem przenosić sił bocznych i dochodzi do jego uślizgu.

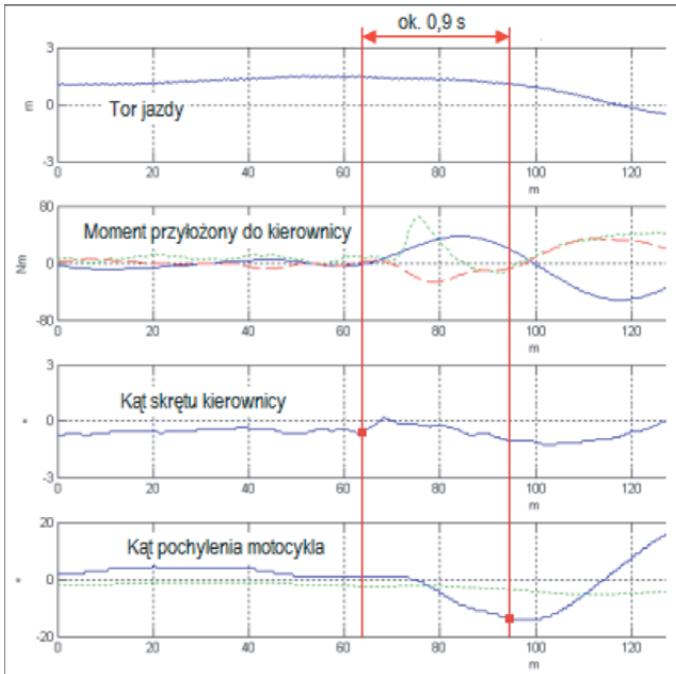
W kolejnej fazie motocykl pochyla się od pozycji osiągniętej wskutek zastosowania przeciwskrętu, do pozycji, w której dochodzi do kontaktu podnóżków z jezdnią. Rauscher [5] podaje następujące czasy trwania przeciwskrętu:

- dla prędkości 50 km/h 1,0 s,
- dla prędkości 120 km/h 0,8 s,
- dla prędkości 150 km/h 0,7 s.

W przeciwieństwie do wyników uzyskanych przez Evertse [4], czasy początku manewru maleją ze wzrostem prędkości. Rozpatrywana w artykule sytuacja wymaga możliwie szybkiego działania kierującego, dlatego uzasadnione jest przyjęcie najkrótszego czasu trwania przeciwskrętu, tj. 0,7 s.



Ryc. 5. Wyniki próby z udziałem kierowcy testowego przy prędkości 50 km/h (na podstawie [4]).



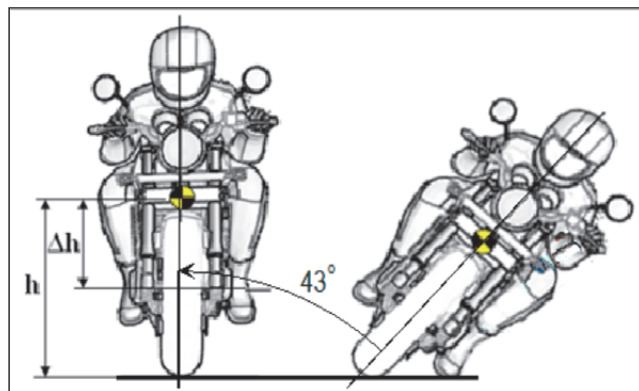
Ryc. 6. Wyniki próby z udziałem kierowcy testowego przy prędkości 120 km/h (na podstawie [4]).

Analiza wyników testów, jakie prowadził Evertse [4], prowadzi do spostrzeżenia, że w trakcie manewru omijania przeszkody pochylenie motocykla, jakie osiągnęli kierujący, w tym kierowca testowy, policjant i kierowca początkujący, wynosiło ok. 15°.

7. Droga kątowa motocykla od zakończenia fazy przeciwskrętu do początku kontaktu podnóżków z nawierzchnią

Przykładowy, przybliżony kąt pochylenia motocykla turystycznego, przy którym dochodzi do zetknięcia się podnóżków z jezdnią, wynosi ok. 43° (ryc. 7).

W trakcie opisywanego manewru kierujący stara się utrzymać tułów pionowo. Można zatem przyjąć, że ta część jego ciała nie wpływa na wartość promienia bezwładności pojazdu i na wysokość środka masy. Upraszczając zagadnienie przyjmuję także, że skręt przedniego koła również nie wpływa na wartość promienia bezwładności przy przewracaniu motocykla.



Ryc. 7. Schematyczne oszacowanie drogi kątowej motocykla do zetknięcia się podnóżków z jezdnią (rysunek autora).

8. Czas przewracania się motocykla

8.1. Czas przewracania się motocykla bez poślizgu tylnego koła

Na początek oszacujemy czas przewracania się motocykla bez poślizgu tylnego koła. Według S. Arczyńskiego [1] czas ten wyraża się zależnością:

$$t = \sqrt{\frac{h^2 + \rho^2}{g \cdot h}} \cdot (K_p - K_K) \quad (1)$$

gdzie:

h – wysokość środka masy motocykla (w analizowanej sytuacji – bez kierowcy) [m]¹,

g – przyspieszenie ziemskie [m/s²],

$\rho = \sqrt{\frac{I_{XG}}{m}}$ – promień bezwładności motocykla [m],

I_{XG} – moment bezwładności pojazdu wraz z kierowcą względem osi łączącej punkty styku kół z jezdnią [kgm²],

m – masa motocykla (w analizowanej sytuacji bez kierowcy) [kg],

$K_p = f(\varphi_p)$ – wartość całki eliptycznej zupełnej dla kąta, przy którym nastąpiła utrata równowagi,

$K_K = f(\varphi_K)$ – wartość całki eliptycznej zupełnej dla kąta, przy którym podnóżki motocykla zetknęły się z nawierzchnią.

Pierwszy człon równania (1) jest stałą czasową, która wyraża się tą samą zależnością, co podana przez Cossaltera dla upadku typu „steering capsizer” bez wystąpienia poprzecznego poślizgu tylnego koła [3]:

¹ W przypadku celowego przewracania motocykla kierowca stara się utrzymać tułów prosto. Można w przybliżeniu przyjąć, że ta część ciała motocyklisty nie bierze udziału w przewracaniu.

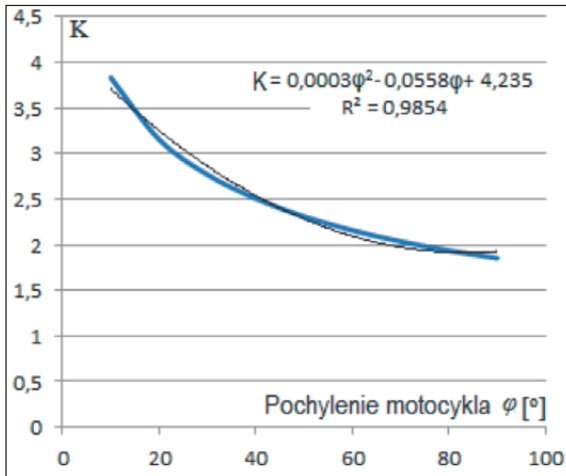
$$\tau = \sqrt{\frac{h}{g}} \cdot \sqrt{1 + \frac{\rho^2}{h^2}} = \sqrt{\frac{h^2 + \rho^2}{g \cdot h}} \quad (2)$$

Równanie (1) przyjmuje wtedy postać:

$$t = \tau \cdot (K_p - K_K) \quad (3)$$

Tabela 1. Wartości całki eliptycznej zupełnej dla różnych kątów (źródło: [1])

φ [°]	K
0	∞
2	5,4349
10	3,8317
20	3,1534
30	2,7681
40	2,5046
50	2,3088
60	2,1565
70	2,0347
80	1,9356
90	1,8541



Ryc. 8. Zależność wartości całki K od kąta pochylenia motocykla (rysunek autora).

Zależność wartości całki K od kąta pochylenia motocykla można wyrazić formułą:

$$K = 0,0003\varphi^2 - 0,0558\varphi + 4,235 \quad (4)$$

8.2. Zmiana kąta pochylenia motocykla przy przewracaniu „steering capsizes”

Za Cossalterem [3] zmianę kąta pochylenia motocykla przy przewracaniu typu „steering capsizes” opisujemy następującym równaniem:

$$\varphi_K = \varphi_p \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{5}$$

gdzie:

φ_K [°] – końcowy kąt pochylenia motocykla, w chwili gdy następuje zetknięcie się podnóżków z jezdnią,

φ_p [°] – początkowy kąt pochylenia motocykla po zakończeniu fazy przeciwskrętu²

t [s] – czas,

$$\tau$$
 [s] – stała czasowa: $\tau = \sqrt{\frac{h}{g}} \cdot \sqrt{1 + \frac{\rho^2}{h^2}} = \sqrt{\frac{h^2 + \rho^2}{g \cdot h}}$ [s] (6)

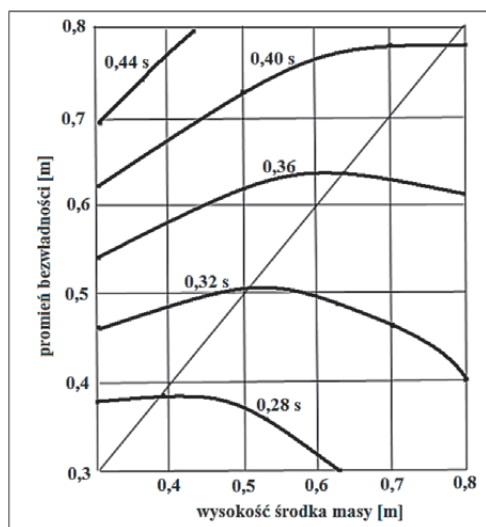
g [m/s²] – przyspieszenie ziemskie.

Zauważmy, że jest to pierwszy człon równania podanego przez S. Arczyńskiego [1].

W obydwu metodach określania czasu przewracania się motocykla zanedbywane są momenty żyroskopowe generowane przez masy wirujące pojazdu.

Po przekształceniu równania (5) otrzymujemy czas t przewracania się motocykla od kąta początkowego do kąta końcowego, w zależności od stałej czasowej, wynikającej z bezwładności motocykla (w analizowanym przypadku bez kierującego):

$$t = \tau \cdot \ln \frac{\varphi_K}{\varphi_p} \tag{7}$$



Ryc. 9. Stała czasowa w zależności od promienia bezwładności i wysokości środka masy (na podstawie [3]).

² Z oczywistych względów należy przyjąć początkowy kąt pochylenia motocykla różny od zera.

9. Przykłady

9.1. Przykład 1

Cossalter [3] podaje, że promień bezwładności motocykla (bez kierującego) zawiera się w granicach od 0,18 do 0,28 m, zaś wysokość środka masy pojazdu (bez kierującego) przyjmuje wartości od 0,4 do 0,55 m.

Na potrzeby przykładu przyjmuję następujące wartości liczbowe:

$\rho = 0,23$ m – promień bezwładności motocykla,

$h = 0,5$ m – wysokość środka masy motocykla,

$\varphi_P = 15^\circ$ – początkowy kąt pochylenia motocykla po zakończeniu fazy przeciwskrętu,

$\varphi_K = 43^\circ$ – kąt pochylenia motocykla, przy którym następuje zetknięcie się podnóżków z jezdnią.

Zgodnie z formułą (4), dla kąta pochylenia motocykla, równego 15° , całka K przyjmuje wartość 3,4655, a dla kąta 43° wartość całki wynosi 2,3903.

Po podstawieniu wartości liczbowych do równań (6) i (7) otrzymujemy:

$$\tau = 0,2485 \text{ [s]} \quad (8) \qquad t = 0,2672 \approx 0,3 \text{ [s]} \quad (9)$$

W przypadku wystąpienia uślizgu tylnego koła stała czasowa jest zależna od prędkości pojazdu i spełnia następujące równanie [3]:

$$V \cdot \frac{I_{XG}}{m \cdot g} \cdot \chi^3 + k_\lambda \cdot \left(\frac{I_{XG}}{m} + h \cdot (h - r) \right) \cdot k_\phi \chi^2 + V \cdot k_\phi h \chi - k_\lambda \cdot g(h - r) = 0 \quad (10)$$

Przy czym
$$\tau = \frac{1}{\chi} \text{ [s]} \quad (11)$$

h [m] – wysokość środka masy,

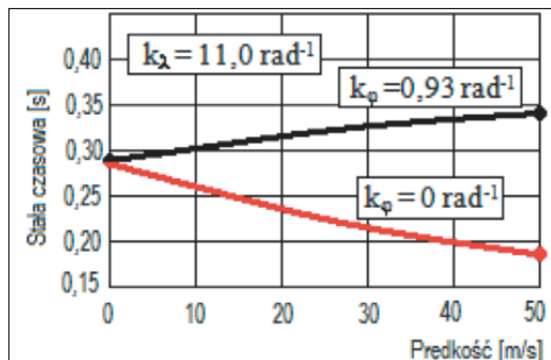
r [m] – promień przekroju tylnej opony,

k_ϕ [rad⁻¹] – sztywność opony przy pochylaniu motocykla (na suchym asfalcie $k_\phi = 0,93$ rad⁻¹, zaś na lodzie $k_\phi = 0$ rad⁻¹),

k_λ – sztywność opony przy bocznym znoszeniu (na suchym asfalcie $k_\lambda = 11,0$ rad⁻¹, zaś na lodzie $k_\lambda = 0$ rad⁻¹).

Przewracaniu się motocykla odpowiada rozwiązanie równania (10) ze znakiem plus.–

W trakcie analizowanego manewru stała czasowa dla suchego asfaltu rośnie i dla podanych przykładowych sztywności opony przyjmuje wartości w granicach od ok. 0,28 do ok. 0,34 s. Dla nawierzchni pokrytej lodem stała czasowa przyjmuje wartości od ok. 0,28 do ok. 0,18 s.



Ryc. 10. Przykładowa zależność stałej czasowej od prędkości motocykla dla różnych sztywności opony (na podstawie [3]).

9.2. Przykład 2

Dane:

$$k_{\lambda} = 11 \text{ [rad}^{-1}\text{]},$$

$$k_{\phi} = 0,93 \text{ [rad}^{-1}\text{]},$$

$$m = 160 \text{ [kg]} \text{ (masa motocykla bez motocyklisty),}$$

$$h = 0,5 \text{ [m]} \text{ (wysokość środka masy motocykla bez motocyklisty),}$$

$$I_{XG} = 20 \text{ [kgm}^2\text{]} \text{ (moment bezwładności motocykla bez motocyklisty),}$$

$$V = 20 \text{ [m/s]} \text{ (prędkość motocykla),}$$

$$r = 0,075 \text{ [m]} \text{ (promień przekroju tylnej opony).}$$

Dla tych wartości równanie (10) przyjmuje postać:

$$0,2548 \cdot \chi^3 + 3,4526 \cdot \chi^2 + 9,3000 \cdot \chi - 45,8618 = 0. \quad (12)$$

Rozwiązaniem tego równania ze znakiem plus jest:

$$\chi = 2,40438 \frac{1}{s}, \quad (13)$$

a stąd:

$$\tau = 0,415908 \text{ [s]}. \quad (14)$$

Wtedy czas przewracania według formuły (7) wyniesie:

$$t = \tau \cdot \ln \frac{\phi_K}{\phi_P} = 0,415908 \cdot \ln \frac{43}{15} = 0,438 \approx 0,4 \text{ s}, \quad (15)$$

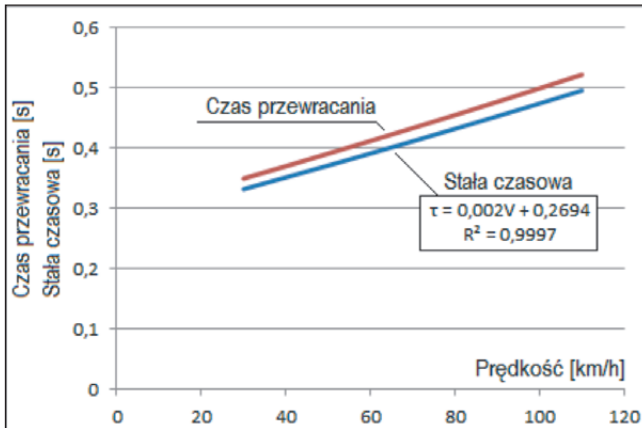
zaś według formuły Arczyńskiego (zob. wzór 1) przyjmie wartość:

$$t = 0,415908 \cdot (3,4655 - 2,3903) = 0,4472 \approx 0,4 \text{ s}. \quad (16)$$

Jak widać, wyniki uzyskane obiema metodami są zbliżone. Wynika stąd, że poślizg tylnego koła wywiera pomijalnie mały wpływ na wynik obliczeń.

Tabela 2. Zależność czasu przewracania motocykla (t) od prędkości (V) dla danych przyjętych w przykładzie

V [km/h]	τ [s]	t [s]
30	0,3321	0,3498
40	0,3516	0,3703
50	0,3714	0,3911
60	0,3914	0,4122
70	0,4117	0,4336
80	0,4324	0,4553
90	0,4533	0,4773
100	0,4745	0,4997
110	0,4960	0,5223



Ryc. 11. Zależność stałej czasowej (τ) od prędkości motocykla dla warunków przyjętych w przykładzie (rysunek autora).

10. Konkluzje

1. Z przedstawionych oszacowań wynika, że łączny czas trwania przeciwskrętu i przewracania się motocykla turystycznego wynosi (w przybliżeniu) co najmniej 1 sekundę. Wartość ta odpowiada wszystkim omówionym w artykule schematom przewracania motocykla.
2. Stała czasowa, a więc i czas przewracania motocykla, przy wystąpieniu zarzucania tylnego koła, wraz ze wzrostem prędkości pojazdu rośnie liniowo.
3. Motocyklista może blokować tylne koło (o ile pozwala na to konstrukcja układu hamulcowego) już w trakcie pochylania się motocykla wskutek przeciwskrętu. Nie można zatem początku śladu zarzucania tylnego koła traktować jako miejsca, gdzie zakończyła się faza przeciwskrętu.

Bibliografia

1. Arczyński, S. (1988). *Mechanika przewracania się pojazdu jednośladowego*, (w:) Zbiór referatów II Sympozjum „Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych”, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków.
2. Bellati, A., Cossalter, V., Lot, R., Ambragi, A. (2006). *Preliminary Investigation on the Dynamics of Motorcycle Fall Behaviour: Influence of an Airbag Jacket System on Rider Safety*, IFZ, Köln.
3. Cossalter, V. (2006). *Motorcycle dynamics*, 2nd English edition.
4. Evertse, M., V., C. (2010). *Rider Analysis using a fully instrumented motorcycle*, Delft University of Technology.
5. Rauscher, H. (2007). *Empirische Untersuchung des Spurwechsels und Ausweichens von einspurigen Fahrzeugen*, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik nr 2.

* * *

Overturning a motorcycle as a defensive manoeuvre

Abstract

On the basis of literature data and his own deliberations, the author carries out an analysis of a defensive manoeuvre consisting in the deliberate overturning of a motorbike, which is sometimes used by motorcyclists when there is a direct threat of collision. He presents calculation methods that allow the estimation of basic time-distance parameters of such a manoeuvre.

Key Words

Motorcycle overturning manoeuvre, reconstruction methodology.