



Włodzimierz Treter

Analiza początkowej fazy hamowania motocykli

Streszczenie

W artykule wskazane zostały systematyczne błędy, jakie mogą być popełnione w toku analizy początkowej fazy hamowania motocykli. W oparciu o dane literaturowe przedstawione jest podejście minimalizujące niedokładności wynikające z uwzględnienia klasycznego, liniowego przebiegu narastania wartości opóźnienia hamowania.

Słowa kluczowe

Motocykle, hamowanie, opóźnienie hamowania.

* * *

1. Wprowadzenie

Przy rachunkowej analizie przebiegu hamowania, w praktyce zazwyczaj przyjmuje się klasyczny, „trapezoidalny” model przebiegu zmiany wartości opóźnienia hamowania w funkcji czasu. W modelu tym przyjmuje się, że pojawiające się na początku hamowania opóźnienie rośnie liniowo. Na rycinie 1 model ten obrazuje zewnętrzny obrys pola zaznaczonego kolorem pomarańczowym. Obliczanie ubytku prędkości motocykla w trakcie hamowania w oparciu o ten „trapezoidalny” model przebiegu opóźnienia w funkcji czasu może prowadzić do przeszacowania, bądź niedoszacowania wyniku obliczeń (ryc. 1).

Według Webera i Hugemanna [6] tych systematycznych błędów można uniknąć, jeżeli przyjąć, że opóźnienie motocykla, hamowanego jednocześnie przednim i tylnym hamulcem, w funkcji czasu nie narasta liniowo, ale według krzywej wykładniczej, opisanej równaniem (1) (na rycinie 1 krzywą tę obrazuje linia niebieska, ograniczająca od góry pole zielone):

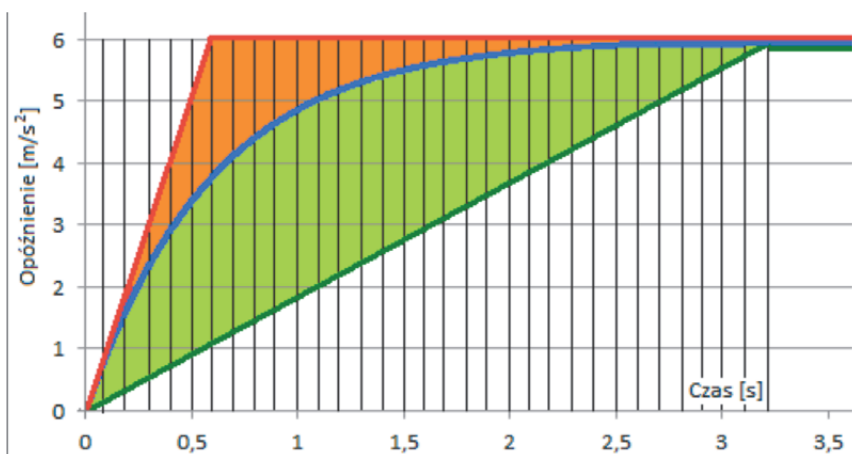
$$a(t) = a_{H \max} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right) \quad (1)$$

gdzie:

$a_{H \max}$ – ustalone, uśrednione opóźnienie maksymalne, osiągnięte podczas hamowania jednocześnie przednim i tylnym hamulcem,

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

t – bieżący czas,
 T – stała czasowa.



Ryc. 1. Przeszacowanie (pole w kolorze pomarańczowym: ok. 1,6 m/s \approx 5,8 km/h) lub niedoszacowanie (pole w kolorze zielonym: 6 m/s \approx 21,6 km/h) prędkości, spowodowane uproszczeniem przebiegu zmian opóźnienia hamowania (rysunek autora).

Po scałkowaniu tej funkcji względem czasu otrzymujemy, w funkcji czasu, zależność opisującą spadek prędkości w fazie narastania opóźnienia:

$$\Delta V = a_{H \max} \cdot \left(t + T \cdot \exp \frac{t}{T} \right) + C \quad (2)$$

gdzie C jest stałą całkowania.

$$\text{W analizowanym zagadnieniu mamy } \Delta V(t=0) = 0. \quad (3)$$

Zatem stała całkowania C wynosi:

$$C = -T \cdot a_{H \max} \quad (4)$$

Po przekształceniu wzoru 2 otrzymujemy więc wzór na spadek prędkości w funkcji czasu, następujący w fazie narastania opóźnienia:

$$\Delta V = a_{H \max} \cdot \left(t + T \cdot \exp \frac{t}{T} \right) - a_{H \max} \cdot T \quad (5)$$

Droga przebyta w czasie tej fazy hamowania wyraża się zatem wzorem (6) [6]:

$$S(t) = V_0 \cdot t - a_{H \max} \cdot \left(\frac{1}{2} t^2 - T^2 \cdot \exp \frac{t}{T} + T^2 - T \cdot t \right) \quad (6)$$

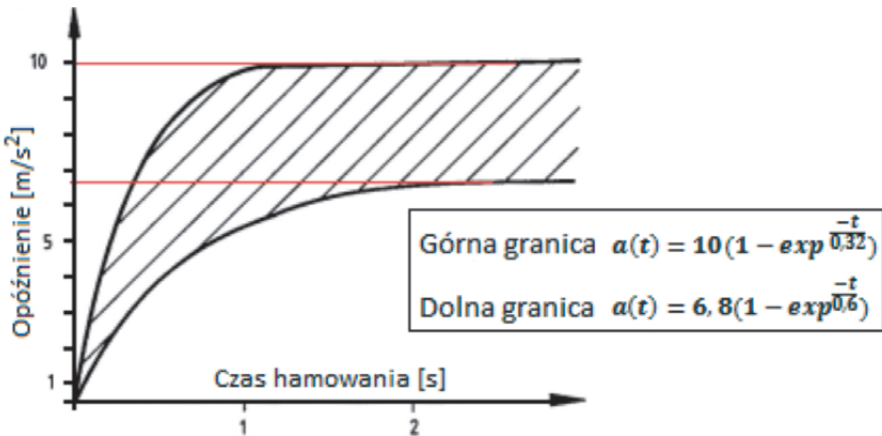
Wartości opóźnienia hamowania i stałej czasowej T dla różnych typów pojazdów jednośladowych i grupy kierowców początkujących przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wartości opóźnienia i stałej czasowej T dla różnych typów pojazdów jednośladowych i grup kierowców [6]

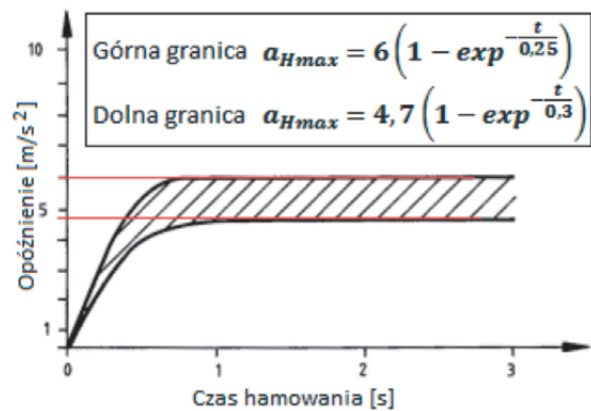
	dolna granica		górna granica	
	a_{Hmax} [m/s ²]	T	a_{Hmax} [m/s ²]	T
ciężkie motocykle >500 cm ³ pojemności silnika (starsze badania)	6,8	0,6	10	0,32
kierowcy początkujący	4,7	0,3	6	0,25
motocykle ze zintegrowanymi układami hamulcowymi	8,5	0,4	10	0,22
małe pojazdy jednośladowe	5,3	0,25	9,3	0,3
motocykle z wózkami bocznymi, niewyposażonymi w hamulce	4,3	0,5	5,3	0,2

2. Charakterystyki przebiegu opóźnienia hamowania

Schmedding i Weber [5] przedstawiają krzywe przebiegu opóźnienia hamowania dla różnych typów motocykli i różnych grup kierowców (ryciny 2–6).

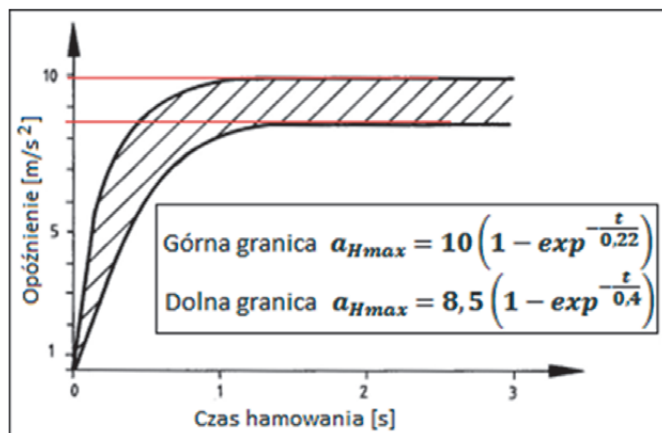


Ryc. 2. Zmiany wartości opóźnienia hamowania w czasie – motocykle z silnikami o pojemności skokowej powyżej 500 cm³ (na podstawie [5]).

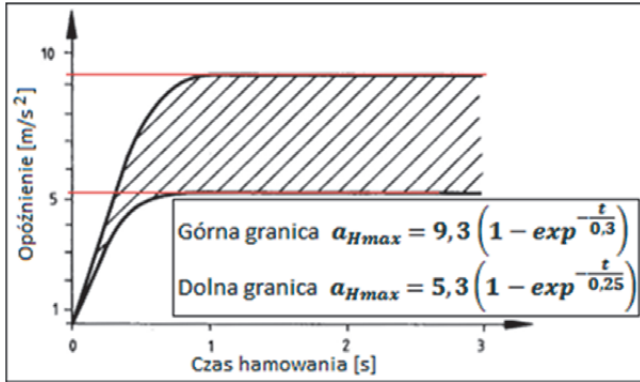


Ryc. 3. Zmiany wartości opóźnienia hamowania w czasie – kierowcy początkujący (4 tygodnie praktyki) (na podstawie [5]).

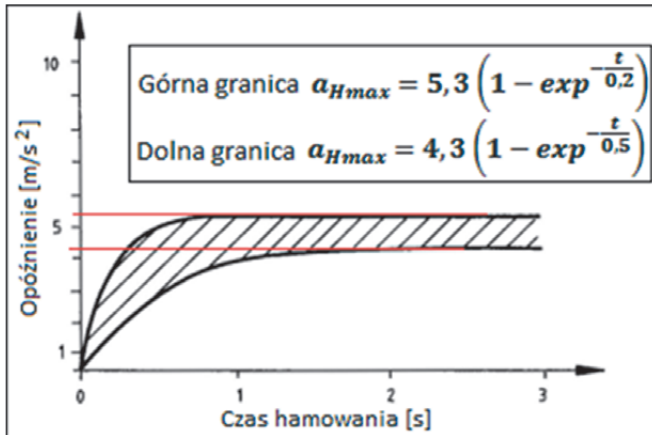
Na rycinie 3 uwagę zwraca krótszy niż w poprzednim przypadku czas narastania siły hamowania. W tym przypadku analiza procesu hamowania wymaga ostrożności. Jak bowiem podają A. L. Dunn i in. [2], początkujący kierowcy, wbrew danym z tabeli 1, mogą, na motocyklach wyposażonych w ABS, osiągać opóźnienia hamowania na poziomie 0,79 g.



Ryc. 4. Zmiana wartości opóźnienia hamowania w czasie – motocykle wyposażone w zintegrowany układ hamulcowy (na podstawie [5]).



Ryc. 5. Zmiana wartości opóźnienia hamowania w czasie – małe motocykle o pojemności skokowej 50 i 80 cm³ (na podstawie [5]).



Ryc. 6. Zmiana wartości opóźnienia hamowania w czasie – motocykle z bocznym wózkiem niewyposażonym w hamulec (na podstawie [5]).

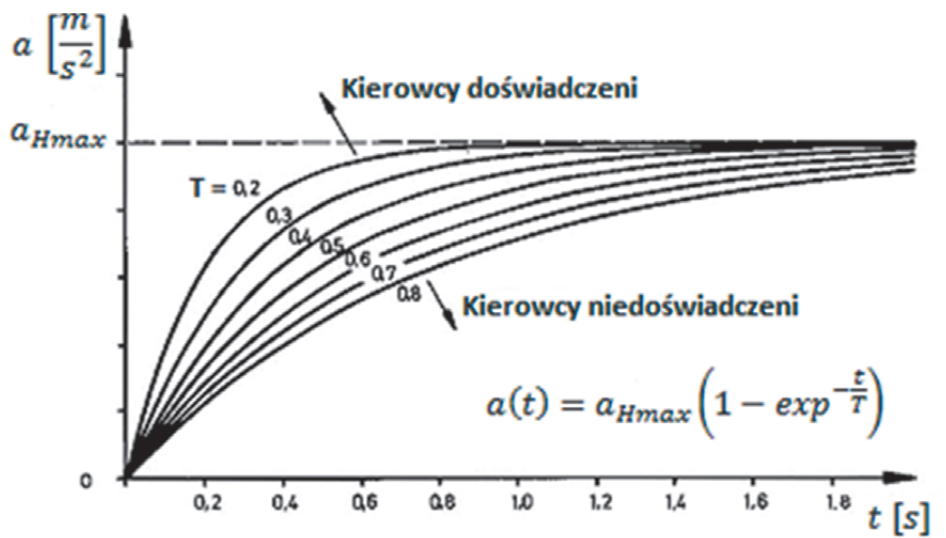
Hugemann i Lange [4] prowadzili badania polegające na możliwie intensywnym hamowaniu motocykli przy prędkości początkowej 50 km/h. W 74 testach uczestniczyło 18 kierowców o różnym doświadczeniu, obejmującym praktykę od mniej niż 20 tysięcy do ponad 130 tysięcy km jazdy motocyklem. Użyto 15 różnych typów motocykli. Najlepsze dopasowanie wyników obliczeń do wyników eksperymentów zachodziło dla wartości przedstawionych w tabeli 2.

Tabela 2

kierowcy	a [m/s ²]	T [s]
doświadczeni	8,94	0,137
początkujący	5,93	0,265

3. Zależność wartości stałej czasowej T od umiejętności kierującego

Weber i Hugemann [6] przeprowadzili również analizę zależności wartości stałej czasowej T od poziomu umiejętności kierowców (ryc. 7). Bardziej stromy przebieg krzywej odpowiada szybszemu wzrostowi ciśnienia w układzie hamulcowym, co – w ogólności – można przyporządkować wyższym umiejętnościom kierujących.

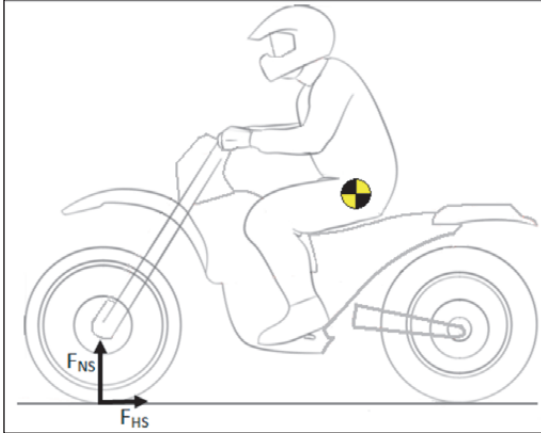


Ryc. 7. Zależność wartości stałej czasowej T od umiejętności kierującego (na podstawie [6]).

4. Problem wycucia możliwości wykorzystania przyczepności przedniego koła

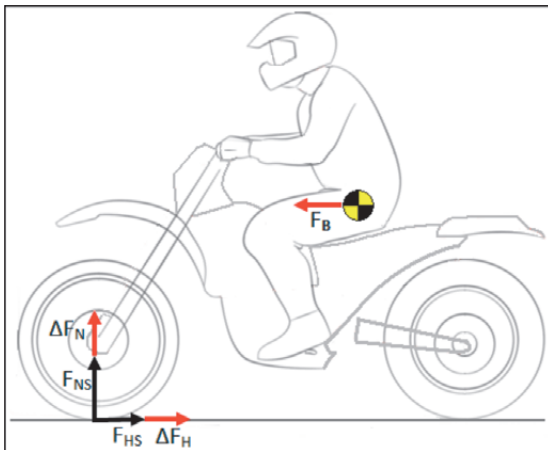
W przypadku pojazdów jednośladowych, w tym motocykli, istotne jest wycucie przez motocyklistę możliwości wykorzystania wzrastającej siły hamującej przedniego koła. Wzrost tej siły bierze się z dociążania przedniego koła, wynikającego z działania siły bezwładności. Najprostszy schemat tego zjawiska jest następujący:

- Kierujący naciska dźwignię hamulca na tyle wolno, aby przednie koło nie uległo zablokowaniu. Na początku hamowania przednie koło jest dociskane do nawierzchni z siłą wynikającą ze statycznego rozkładu masy (ryc. 8).



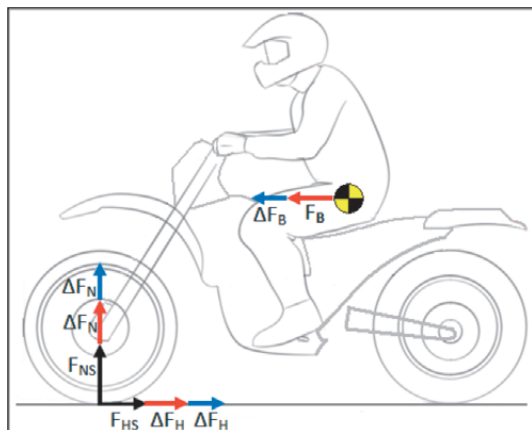
Ryc. 8. Statyczna siła nacisku przedniego koła na nawierzchnię F_{NS} i siła hamująca F_{HS} , wynikająca ze statycznej reakcji pionowej, kiedy jeszcze nie pojawiła się siła bezwładności (rysunek autora).

- Między oponą przedniego koła a nawierzchnią jezdni pojawia się siła hamująca F_{HS} , stosowna do początkowego, statycznego koła na jezdnię F_{NS} . Siła ta powoduje pojawienie się siły bezwładności F_B , która na początku hamowania co do wartości jest równa sile hamującej, wynikającej ze statycznego nacisku przedniego koła na jezdnię.
- Po upływie elementarnego przedziału czasu nacisk opony przedniego koła na nawierzchnię zwiększy się, wskutek działania siły bezwładności o początkowej wartości F_B . W efekcie zwiększy się siła hamująca (przyjmijmy że o ΔF_H). O taką samą wartość, tyle że z przeciwnym zwrotem, zwiększy się siła bezwładności, która po upływie elementarnej chwili przyjmuje wartość $F_B + \Delta F_B$ (ryc. 9).



Ryc. 9. Stan po upływie czasu Δt . Reakcja normalna odpowiadająca naciskowi przedniego koła na jezdnię, powiększyła się o ΔF_N . Siła hamująca powiększa się o ΔF_H (rysunek autora).

- To z kolei zwiększy nacisk opony przedniego koła na nawierzchnię i siła hamująca znowu wzrośnie, przyjmując wartość $F_{HS} + \Delta F_H + \Delta F_H$ (ryc. 10).



Ryc. 10. Stan po upływie czasu $2\Delta t$. Reakcja normalna odpowiadająca naciskowi przedniego koła na jezdnię, powiększyła się do wartości $2\Delta F_N$. Siła hamująca powiększa się o kolejne ΔF_H , razem o $2\Delta F_H$ (rysunek autora).

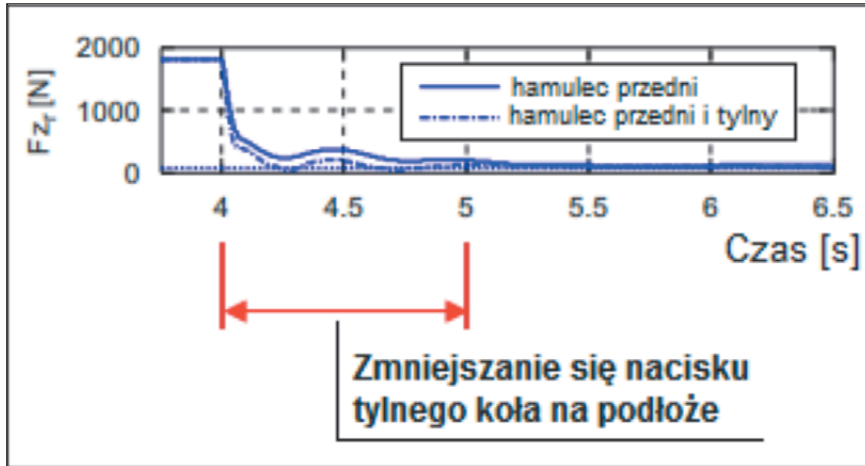
Cykl się powtarza, aż do osiągnięcia maksymalnego nacisku koła na jezdnię, wynikającego z tego, jak intensywnie kierujący hamuje. Oczywiście, górną granicą tej siły nacisku jest maksymalne na danej nawierzchni opóźnienie, osiągalne, gdy cała masa pojazdu zostanie przeniesiona przednie koło (gdy reakcja pionowa tylnego koła wyniesie zero) motocykl „stanie” na przednim kole.

Doświadczony kierowca, zwiększając stopniowo nacisk na dźwignię hamulca, podąża ściśle za wzrostem dysponowanej siły hamowania. Kierowca o mniejszej wprawie, w sytuacji zagrożenia bądź to naciska dźwignię hamulca zbyt szybko, doprowadzając do zablokowania koła (jeśli motocykl nie posiada układu przeciwblokującego), bądź to nie wykorzystuje całej rosnącej siły hamowania.

Drugim czynnikiem powodującym zwiększanie się nacisku opony przedniego koła na nawierzchnię jest uginanie się przedniego zawieszenia i wynikające stąd przesuwanie się środka masy układu motocykl – kierowca do przodu. Prędkość tego ruchu jest zależna m.in. od własności tłumiących przednich amortyzatorów.

M. Corno i in. [1] badali parametry procesu hamowania przy użyciu motocykla Aprilia RSV1000 Factory. Czas zmniejszania się nacisku tylnego koła na podłoże przy jednoczesnym zwiększaniu się nacisku koła przedniego, przy hamowaniu optymalnym (tj. przy maksymalnym wykorzystaniu przyczepności opon do nawierzchni), przy zmniejszaniu prędkości od 300 do 80 km/h wynosił co najmniej ok. 1 sekundy.

Ten sam czas trwania „transferu masy” wskazuje także autor licznych publikacji z zakresu techniki jazdy motocyklem, David L. Hough [3].



Ryc. 11. Przykładowe zmniejszanie się nacisku tylnego koła na podłoże przy użyciu obydwu hamulców. Zmniejszenie prędkości od 300 do 80 km/h (na podstawie [1]).

5. Uwaga końcowa

Analiza procesu hamowania motocykla nie może opierać się jedynie na przyjęciu „standardowego” czasu narastania ciśnienia w hydraulicznym układzie hamulcowym. Konieczne jest uwzględnienie konstrukcji motocykla i ograniczeń dotyczących kierującego. Wskazane jest uzasadnienie przyjęcia określonego czasu narastania siły hamującej.

Bibliografia

1. Corno, M., Savaresi, S., M., Tanelli, M., Fabbri, L. (2008). *On Optimal Motorcycle Braking*, Control Engineering Practice 16 (2008), 644–657.
2. Dunn, A. L., Dorohoff, M., Bayan, F. et al. (2012). *Analysis of Motorcycle Braking Performance and Associated Braking Marks*, SAE 2012-01-0610.
3. Hough, D., L. (2005). *Motocyklista doskonały*, Wydawnictwo Buk Rower.
4. Hugemann, W., Lange, F. (1993). *Braking Performance of Motorcyclists*, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 1993
5. Schmedding, K., Weber, M. (1990). *Verzögerungswerte von Zweirädern*, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Dezember.
6. Weber, M., Hugemann, W. (1990). *Die Geschwindigkeitsrückrechnung bei Motorradbremsungen*, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Oktober.

* * *

Analysis of the initial phase of motorcycle braking

Abstract

The author indicates the systematic errors that can be committed in the course of analysis of the initial phase of braking of motorcycles. Based on literature data, the author presents an approach that minimizes inaccuracies resulting from assuming a classical linear course of increase in values of braking deceleration.

Key words

Motorcycles, braking, braking deceleration.