

WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW JAZDY NA OPÓŹNIENIE HAMOWANIA SPORTOWEGO MOTOCYKLA

Względy bezpieczeństwa wymagają, aby kierowca miał możliwość zatrzymania pojazdu na jak najkrótszym odcinku drogi. Możliwość taką zapewnia jedynie użycie sprawnie działających hamulców, gdyż pozostałe sposoby zmniejszania prędkości nie gwarantują odpowiednio dużego opóźnienia. W sytuacji, gdy nie jest konieczne pełne wykorzystanie siły hamowania pojazdu, kierowca może wymusić ruch opóźniony każdym z możliwych sposobów zmniejszania prędkości. W artykule przedstawiono badania wpływu wybranych parametrów jazdy na osiągnięte wartości opóźnienia hamowania. Badano wpływ m.in. takich czynników jak: rodzaj nawierzchni, ciśnienia w oponach, czy też jazdy solo bądź z pasażerem. Dodatkowo sprawdzano jak zachowuje się motocykl podczas gwałtownego hamowania przy różnym wysterowaniu układu hamulcowego – hamowanie hamulcem przednim, tylnym, oboma hamulcami.

WSTĘP

Niekwestionowaną podstawą bezpieczeństwa w ruchu drogowym są sprawne układy hamulcowe pojazdów. Podczas omawiania właściwości jezdnych motocykli najwięcej uwagi poświęca się na stabilność jazdy, prędkość maksymalną, przyspieszenie, czy zachowanie podczas pokonywania zakrętów. Są to istotne parametry motocykla, jednakże z perspektywy bezpieczeństwa podstawowym czynnikiem mającym na niego wpływ jest sprawny układ hamulcowy, bez którego prawidłowe działanie pojazdu byłoby niemożliwe lub bardzo ograniczone. Aby w pełni korzystać z hamulców i ich siły hamowania należy zapoznać się z podstawowymi elementami układu hamulcowego, ich budową, zasadą działania. Wciąż powszechna jest nieznajomość tych zagadnień oraz fakt, że mało uwagi poświęca się na obsługę i diagnostykę układu hamulcowego. Z powodu braku czasu często zapomina się o podstawowych czynnościach związanych z obsługą pojazdu przez użytkownika. Wielu kierowców sądzi, że jeśli ich pojazd jest stosunkowo nowy, to jego poprawne działanie jest rzeczą oczywistą, a przejście linii diagnostycznej na stacji kontroli pojazdów tylko utwierdza to przekonanie.

Mało osób zdaje sobie jednak sprawę, że na stacji diagnostycznej panują zupełnie inne warunki niż na rzeczywistej drodze. Nie występuje na niej mokra nawierzchnia, rozkład mas jest zawsze ten sam (tzn. masa własna pojazdu plus kierowca), a hamulce rzadko kiedy są rozgrzane. W rzeczywistych warunkach drogowych jest zazwyczaj całkiem odmiennie. Droga i jej przyczepność jest różna, ciśnienie w ogumieniu odmiennie od tego zalecanego przez producenta, obciążenie jest nierównomiernie rozłożone. Wszystkie te elementy składowe mają ogromny wpływ na skuteczność hamowania.

Układ hamulcowy pojazdu ma za zadanie zmniejszenie prędkości jazdy oraz zatrzymania go w określonym przez kierującego miejscu. System ten służy również do unieruchomienia pojazdu w czasie postoju. Z racji aktywnego udziału w przebiegu jazdy, zaliczmy go do układu bezpieczeństwa czynnego. Utrata prędkości odbywa się poprzez hamowanie, które jest procesem mającym ogromny wpływ na bezpieczeństwo w ruchu drogowym. Podczas hamowania siły wypadkowe działające na pojazd mają zwrot przeciwny do kierunku jazdy. Powoduje to zmniejszenie lub pełne roz-

proszanie nagromadzonej uprzednio energii kinetycznej i potencjalnej pojazdu. Do bezpośredniego wytworzenia oraz zmiany wymuszonych oporów ruchu pojazdu są wykorzystywane urządzenia zwane mechanizmami hamującymi [1-8].

Współczesne pojazdy drogowe są wyposażone w hamulce cierne kołowe, w których siły oporu są generowane przez siły tarcia pomiędzy obracającymi się, a nieruchomymi częściami hamulca. Zatem efekt hamowania powstaje w wyniku powstałego tarcia nieruchomego elementu ciernego do obracającej się tarczy (lub bębna), połączonej z kołem jezdnym. Element cierny jest dociskany do tarczy w skutek oddziaływania kierowcy na pedał hamulca. Hamować również można poprzez silnik.

Chwilowe opóźnienie hamowania, czyli zmniejszenie prędkości pojazdu w jednostce czasu, jest zmienne i zależy od siły hamowania oraz od rodzaju i stanu nawierzchni jezdni.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników pomiarów opóźnienia hamowania motocykla w kilku różnych wariantach, ukazujących wpływ na drogę hamowania m.in. takich czynników jak: rodzaj nawierzchni, ciśnienia w oponach, czy też jazdy solo bądź z pasażerem. Dodatkowo odpowiedź na pytania jak zachowuje się motocykl podczas gwałtownego hamowania przy zróżnicowanym wysterowaniu układu hamulcowego (hamowanie hamulcem przednim, tylnym, oboma hamulcami), czy też w jakich warunkach najlepiej sprawdzają się poszczególne sposoby hamowania.

1. PROCES HAMOWANIA

Względy bezpieczeństwa wymagają, aby kierowca miał możliwość zatrzymania pojazdu na jak najkrótszym odcinku drogi. Możliwość taką zapewnia sprawnie działający układ hamulcowy. W wyniku działania tego układu przy jednoczesnym odłączeniu silnika od układu napędowego na kołach pojawia się siła hamująca F_H o zwrocie przeciwnym do kierunku ruchu. Jest ona składową siłą hamujących poszczególnych osi:

$$F_H = F_{H1} + F_{H2} \quad (1)$$

Gdzie:

F_{H1} , F_{H2} – siły hamujące osi przedniej i tylnej.

Hamowanie jest, w sensie energetycznym, procesem zamiany energii kinetycznej rozpędzonego samochodu na inną postać energii. W praktyce proces ten, przy powszechnie stosowanych hamulcach ciernych, sprowadza się do rozpraszania energii kinetycznej przez jej zamianę na ciepło i odprowadzanie do otoczenia. [1-8]

Wystarcza to z reguły do utrzymania stosunkowo niskiej temperatury na powierzchni styków elementów trących oraz ich samych. Jeśli temperatura wzrośnie zbyt wysoko, wówczas efektywność działania hamulców ulec może znacznemu obniżeniu. Przyczyną tego jest fakt zmniejszania się pod wpływem temperatury współczynnika tarcia między materiałem ciernym i tarczą hamulca (fading).

Poważną konsekwencją nadmiernego wzrostu temperatury jest przyspieszone zużycie się wkładek ciernych oraz uszkodzenia współpracujących powierzchni metalowych pod wpływem naprężeń termicznych. Zbyt wysoka temperatura może powodować również tworzenie się pęcherzy parowych w przewodach hamulcowych hydraulicznych, co skutkować może częściowym a nawet całkowitym zanikiem siły hamowania. [1-8]

Energia kinetyczna (ruchu postępowego i obrotowego) w poruszającym się pojeździe jest dość znaczna i rośnie wraz z kwadratem prędkości jazdy

$$E_K = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{I_K}{2} \cdot \omega^2 \quad (2)$$

Gdzie:

m – masa całkowita pojazdu,

I_K – moment bezwładności elementów wykonujących ruch obrotowy, głównie kół jezdnych,

ω – prędkość kątowna.

Podczas hamowania energię tę należy przekształcić w inną postać energii. Decydujące znaczenie ma jej przekształcenie w pracę sił tarcia w hamulcach i ogumienia po jezdni. Przykładowo, podczas hamowania na drodze poziomej od prędkości v_P do zatrzymania, należy energię kinetyczną o wartości wyliczonej z zależności (3) zamienić na pracę sił tarcia, a następnie na energię ciepłą.

$$E_K = \frac{m \cdot v_P^2}{2} + \frac{I_K}{2} \cdot \omega_P^2 \approx \frac{\delta \cdot m \cdot v_P^2}{2} \quad (3)$$

Gdzie:

v_P, ω_P – prędkość (indeks P odnosi się do początku hamowania),

δ – współczynnik mas wirujących.

We wzorze (3) uwzględniono współczynnik mas wirujących. Jego wartość podczas hamowania jest zwykle niewielka, ponieważ układ napędowy jest rozłączony w tym czasie. Stąd przyjmuje się: $\delta = 1,04-1,10$.

Podobnie można określić średnią moc hamowania N_H , która będzie tu wyrażać wydatek ciepła w jednostce czasu

$$N_H(t) = \frac{dE_K}{dt} \quad (4)$$

Stąd po scałkowaniu, z uwzględnieniem (3) dla ruchu jednostajnie opóźnionego aż do zatrzymania, wyznaczono w przybliżeniu:

$$N_H = \frac{\delta \cdot m \cdot a_H \cdot v_P}{2} \quad (5)$$

Do hamowania niezbędne jest oddziaływanie sił zewnętrznych hamujących jego ruch, którym towarzyszą reakcje styczne obwodowe na kołach. Ich natura jest bliska siłom tarcia i są one reakcją na działanie momentu tarcia w hamulcach.

Na rysunku 1 zaznaczono główne siły działające na pojazd podczas hamowania na drodze poziomej.



Rys. 1. Siły hamowania na osiach kół motocykla

Analizując proces intensywnego hamowania, zwykle pomija się F_P (siła oporu powietrza), F_T (siła oporu toczenia) i F_W (siła oporu wzniesienia) jako siły o małych wartościach w porównaniu z siłą hamowania F_H . Wówczas:

$$F_H = F_{H1} + F_{H2} \approx F_B \quad (6)$$

Gdzie:

F_B – siła bezwładności.

Motocykl jest pojazdem szczególnym m.in. z tego względu, że każde z jego kół może być przez kierowcę hamowane indywidualnie. Podczas hamowania motocykla, przy pominięciu siły oporu aerodynamicznego, można zapisać następujące równanie równowagi sił działających na motocykl (rysunek 2):

$$B = X_p + X_t \quad (7)$$

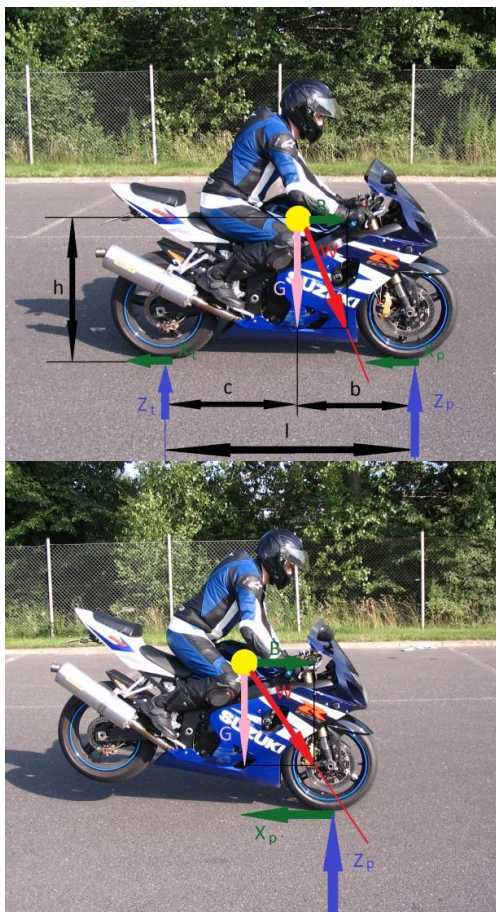
Z równania równowagi momentów działających na motocykl można wyznaczyć reakcje pionowe jezdni na koło przednie i tylne:

$$Z_p = B \cdot \frac{h}{l} + G \cdot \frac{c}{l} \quad (8)$$

$$Z_t = G \cdot \frac{b}{l} + B \cdot \frac{h}{l} \quad (9)$$

Ze względu na specyfikę konstrukcji i sterowania układu hamulcowego motocykla możliwe są trzy warianty hamowania motocyklem [1-8]:

- hamowanie tylko hamulcem przednim ($X_t = 0$),
- hamowanie tylko hamulcem tylnym ($X_p = 0$),
- hamowanie jednocześnie hamulcem przednim i tylnym ($X_p \neq 0, X_t \neq 0$).



Rys. 2. Siły działające na motocykl podczas hamowania prostoliniowego: X_p , X_t – siła hamowania koła przedniego i tylnego, Z_p , Z_t – reakcje normalne jezdni na koło przednie i tylne, B – siła bezwładności, G – ciężar układu motocyklista – motocykl

W zależności od wybranego wariantu wysterowania układu hamulcowego motocykla można uzyskać różne wartości opóźnień hamowania. Łatwo wykazać, że dla hamowania tylko hamulcem koła przedniego, maksymalne opóźnienie hamowania opisuje zależność:

$$a_{hp} = g \cdot \frac{\mu_p \cdot \frac{c}{l}}{1 + \mu_p \cdot \frac{h}{l}} [m/s^2] \quad (10)$$

Gdzie:

μ_p – współczynnik przyczepności przylgowej,
 g – przyspieszenie ziemskie równe $9,81 [m/s^2]$,
 h – wysokość położenia środka masy nad płaszczyzną jezdni,
 l – rozstaw osi pojazdu,
 c – odległość środka masy od płaszczyzny pionowej przechodzącej przez oś tylną.

Stosowanie w powyższym wzorze współczynnika przyczepności ślizgowej μ_s nie ma praktycznego sensu, ponieważ hamowanie motocykla z zablokowanym przednim kołem prowadzi w konsekwencji do jego wywrócenia się. [1-8]

Dla hamowania tylko hamulcem koła tylnego, maksymalne opóźnienie hamowania opisuje zależność:

$$a_{ht} = g \cdot \frac{\mu \cdot \frac{b}{l}}{1 + \mu \cdot \frac{h}{l}} [m/s^2] \quad (11)$$

Gdzie:

μ – współczynnik przyczepności przylgowej (μ_p) lub ślizgowej (μ_s), w zależności od tego, czy ślad hamowania ma charakter śladu blokowania koła, czy też toczenia się z częściowym poślizgiem względnym,
 b – odległość środka masy od płaszczyzny pionowej przechodzącej przez oś przednią.

W przypadku równoczesnego hamowania obu kół i przy założeniu pełnego wykorzystania przyczepności na obu kołach, dla drogi poziomej osiągalne opóźnienie opisuje zależność:

$$a_h = g \cdot \mu_p [m/s^2] \quad (12)$$

Gdzie:

g – przyspieszenie ziemskie,
 μ_p – współczynnik przyczepności przylgowej.

2. OPIS BADAŃ

W badaniach jako obiekt badań posłużył motocykl Suzuki GSX-R 600, przedstawiony na rysunkach 1 i 2, o parametrach zestawionych w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry wymagane dla wtorkiwacza zregenerowanego

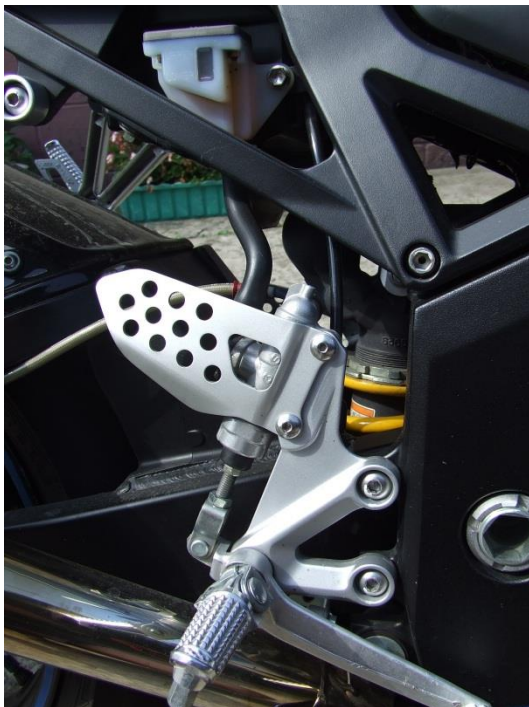
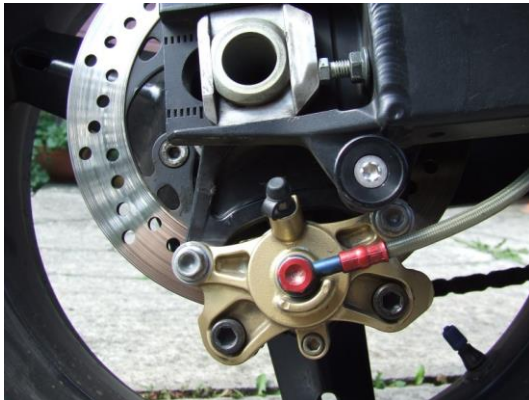
WYMIARY I CIĘŻAR	
Długość całkowita	2055 [mm]
Szerokość całkowita	715 [mm]
Wysokość całkowita	1150 [mm]
Rozstaw kół	1400 [mm]
Prześwit	135 [mm]
Wysokość siedzenia	825 [mm]
Ciężar motocykla bez paliwa i oleju	161 [kg]
RAMA	
Przednie zawieszenie	Widelec teleskopowy, sprężyny spiralne, tłumienie olejowe
Tylne zawieszenie	Wahacz wleczony, sprężyna spiralna, tłumienie olejowe
Kąt skrętu kierownicy	27° (w lewo i w prawo)
Kąt główki ramy	23,2°
Wyprzedzenie	93,0 [mm]
Promień zawracania	3,4 [m]
Przedni hamulec	Tarczowy, dwie tarcze hamulcowe
Tylny hamulec	Tarczowy
Rozmiar opony przedniej	120/70 ZR17 (58W), bezdętkowa
Rozmiar opony tylnej	180/55 ZR17 (73W), bezdętkowa

W motocyklu założone były opony marki Pirelli Diablo Supercorsa w rozmiarze zalecanym przez producenta (rysunek 3). Są to opony przeznaczone głównie na suchą nawierzchnię, z małą ilością rzeźby bieżnika, występujące w różnych mieszankach. W omawianym motocyklu były zastosowane z przodu miękka a z tyłu średnia mieszanka.

Hamulec tylny składa się z pojedynczej tarczy hamulcowej o średnicy 220 [mm], dwutłoczkowego zacisku, przewodu w oplocie stalowym, zbiorniczka z płynem hamulcowym, pompy hamulcowej oraz dźwigni hamulca nożnego (rysunek 4).

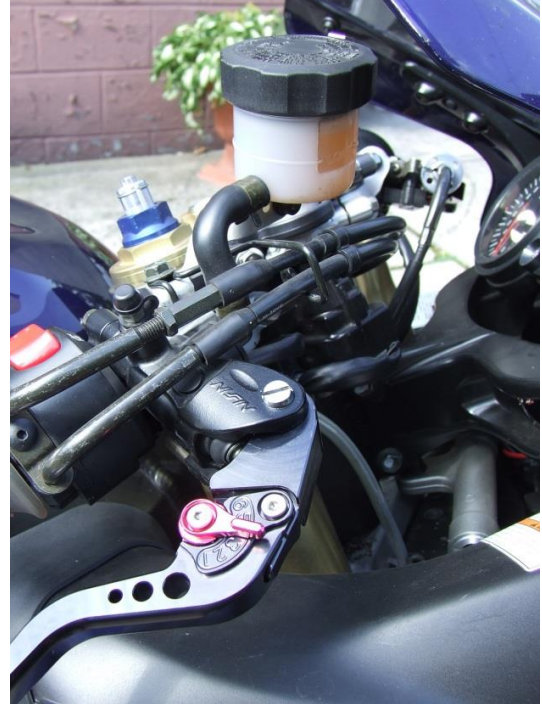


Rys. 3. Opony przednia i tylna badanego motocykla



Rys. 4. Elementy tylnego układu hamulcowego motocykla

Przedni hamulec to dwie tarcze hamulcowe o średnicy 300 [mm], czterotłoczkowe promieniowe zaciski, przewody hamulcowe w stalowym oplocie, zbiorniczek z płynem hamulcowym, radialna pompa hamulcowa oraz dźwignia hamulca ręcznego (rysunek 5).



Rys. 5. Elementy przedniego układu hamulcowego motocykla

W przeprowadzonych badaniach mierzono osiągnięte opóźnienie hamowania motocykla.

Dla każdego z trzech rodzajów jazdy (solo na suchej nawierzchni, z pasażerem na suchej nawierzchni oraz solo po mokrej nawierzchni) przeprowadzono badania dla kilku różnych prędkości jazdy a także różnych wariantów ciśnienia w oponach.

Dla każdego z trzech rodzajów użytego hamulca wykonano po 3 próby dla danej prędkości, a następnie uśredniono uzyskane wyniki.

Badania przeprowadzono dla:

- prędkości początkowych jazdy:
 - 10 [km/h],
 - 20 [km/h],
 - 30 [km/h],
 - 40 [km/h],
 - 50 [km/h],
 - 60 [km/h],
 - 70 [km/h],
- ciśnienia w oponach:
 - 2,0 [bar],
 - 2,2 [bar],
 - 2,4 [bar],
 - 2,6 [bar],
 - 2,8 [bar],
- sposobu obciążenia:

- jazda solo,
- jazda z pasażerem,
- warunków atmosferycznych:
 - sucha nawierzchnia drogi,
 - mokra nawierzchnia drogi,
- użytych hamulców:
 - przedniego
 - tylnego,
 - przedniego i tylnego.

Dla ciśnienia 2,0 [bar] zostały wykonane pomiary tylko do prędkości 50 [km/h]. Przy takim stosunkowo niskim ciśnieniu, opona – szczególnie przednia, podczas hamowania zostaje dosyć mocno spłaszczona, w wyniku czego może dojść do jej uszkodzenia.

Wszystkie pomiary zostały przeprowadzone na tym samym odcinku drogi. Nawierzchnia asfaltowa była dobrej jakości, równa, pozbawiona większych nierówności.

Badania prowadzone były na nawierzchni suchej oraz mokrej po opadach deszczu (rysunek 6). W pierwszym przypadku zostały wykonane pomiary w jeździe solo oraz z pasażerem. W drugim wariantcie, ze względów bezpieczeństwa wykonane zostały jedynie badania w jeździe bez pasażera. Dla każdego z tych trzech przypadków badania zostały wykonane dla kilku różnych ciśnień w ogumieniu – niższych oraz wyższych od zalecanych przez producenta. Różnica między kolejnymi ciśnieniami wynosiła 0,2 [bar].



Rys. 6. Stan nawierzchni drogi

Do pomiarów opóźnienia hamowania posłużył produkt firmy Inventure – XL Meter. Miernik został przymocowany do baku motocykla za pomocą dołączonej przyssawki (rysunek 7). Dzięki temu nie wystąpiły żadne problemy z poruszeniem miernika podczas pomiarów oraz związane z tym błędy. Miernik przed każdą serią pomiarów był odpowiednio kalibrowany.



Rys. 7. Miernik zamontowany na baku motocykla

3. WYNIKI BADAŃ

Tabele od 2-6 przedstawiają uzyskane wyniki – wartości opóźnienia hamowania, dla motocykla poruszającego się z różnymi prędkościami, po suchej nawierzchni i nieobciążonego dodatkowo pasażerem. Zakres ciśnienia w oponach to 2,0-2,8 [bar].

Tab. 2. Opóźnienie hamowania – sucha nawierzchnia, jazda solo, ciśnienie 2,0 [bar]

Hamulec	Pomiar	Opóźnienie hamowania [m/s ²]						
		Prędkość [km/h]						
		10	20	30	40	50	60	70
przedni	I	7,41	6,87	6,91	8,73	8,99	-	-
	II	5,75	7,85	7,01	8,96	9,10	-	-
	III	6,83	8,22	8,47	8,85	9,07	-	-
	I-III	6,66	7,65	7,46	8,85	9,05	-	-
tylny	I	3,40	3,53	3,59	3,95	3,87	-	-
	II	3,81	3,58	3,75	3,88	3,90	-	-
	III	3,97	3,79	3,65	3,68	3,63	-	-
	I-III	3,73	3,63	3,66	3,84	3,80	-	-
przedni + tylny	I	7,55	8,08	8,07	8,52	8,44	-	-
	II	8,18	8,02	8,22	8,20	8,54	-	-
	III	8,21	8,17	8,26	8,11	8,39	-	-
	I-III	7,98	8,09	8,18	8,28	8,46	-	-

Tab. 3. Opóźnienie hamowania – sucha nawierzchnia, jazda solo, ciśnienie 2,2 [bar]

Hamulec	Pomiar	Opóźnienie hamowania [m/s ²]						
		Prędkość [km/h]						
		10	20	30	40	50	60	70
przedni	I	9,22	7,49	9,00	8,10	8,83	8,06	8,46
	II	8,56	7,83	8,24	8,39	8,69	7,46	9,54
	III	8,62	8,04	9,70	9,43	9,23	8,24	8,43
	I-III	8,80	7,79	8,98	8,64	8,92	7,92	8,81
tylny	I	3,84	4,00	3,58	3,85	3,76	3,07	3,41
	II	3,38	4,04	4,00	3,90	3,40	3,95	3,30
	III	3,93	4,08	3,58	3,65	3,27	3,59	3,87
	I-III	3,72	4,04	3,72	3,80	3,48	3,54	3,53
przedni + tylny	I	8,43	9,08	7,99	8,13	9,41	8,81	8,61
	II	9,09	8,32	8,76	8,88	8,67	8,33	9,11
	III	8,28	8,38	9,19	9,30	8,55	9,21	8,55
	I-III	8,60	8,59	8,65	8,77	8,88	8,78	8,76

Tab. 4. Opóźnienie hamowania
– sucha nawierzchnia, jazda solo, ciśnienie 2,4 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]								
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]						
		10	20	30	40	50	60	70
przedni	I	9,32	7,96	8,25	7,80	7,96	7,08	8,08
	II	7,46	8,18	7,89	8,91	8,43	8,36	8,46
	III	7,68	8,61	8,23	8,49	7,75	8,29	8,58
tylny	I-III	8,15	8,25	8,12	8,40	5,05	7,91	8,37
	I	3,73	3,85	3,57	3,72	3,69	3,87	3,76
	II	3,94	3,55	3,86	3,81	3,83	3,52	3,80
przedni + tylny	III	3,70	3,60	4,00	3,84	3,71	3,67	3,44
	I-III	3,79	3,67	3,81	3,79	3,74	3,69	3,67
	I	8,18	8,68	8,99	9,13	8,15	8,09	8,89
	II	7,78	8,92	8,21	8,56	8,42	8,67	8,67
	III	8,25	8,37	8,15	8,45	8,94	8,86	8,49
	I-III	8,07	8,66	8,45	8,71	8,50	8,54	8,68

Tab. 5. Opóźnienie hamowania
– sucha nawierzchnia, jazda solo, ciśnienie 2,6 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]								
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]						
		10	20	30	40	50	60	70
przedni	I	8,10	8,26	7,51	8,51	7,49	7,88	8,63
	II	8,28	7,68	8,67	9,11	8,72	8,68	9,55
	III	8,58	8,42	8,59	8,47	8,13	8,81	8,67
tylny	I-III	8,32	8,12	8,26	8,70	8,11	8,46	8,95
	I	3,57	3,64	3,92	3,63	3,40	3,49	3,79
	II	3,27	3,12	3,71	3,71	3,09	3,09	3,83
przedni + tylny	III	3,46	3,78	3,16	3,50	3,36	3,36	3,12
	I-III	3,43	3,51	3,60	3,61	3,28	3,31	3,58
	I	8,14	7,77	8,86	8,57	8,04	8,83	8,37
	II	8,35	8,53	9,15	8,41	8,56	9,23	8,33
	III	8,41	8,99	8,56	9,22	9,16	8,71	9,18
	I-III	8,30	8,43	8,86	8,73	8,59	8,92	8,63

Tab. 6. Opóźnienie hamowania
– sucha nawierzchnia, jazda solo, ciśnienie 2,8 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]								
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]						
		10	20	30	40	50	60	70
przedni	I	8,13	6,74	8,33	8,21	8,85	7,69	9,06
	II	9,67	7,48	9,57	8,74	8,46	7,42	9,18
	III	7,89	8,51	9,18	8,70	8,55	7,11	8,71
tylny	I-III	8,56	7,58	9,03	8,55	8,62	7,41	8,98
	I	4,22	3,24	3,25	3,17	3,36	2,70	-
	II	3,98	3,20	3,46	3,67	3,71	2,98	-
przedni + tylny	III	4,13	3,81	3,64	3,09	3,45	4,01	-
	I-III	4,11	3,42	3,45	3,31	3,51	3,23	-
	I	9,40	8,18	8,79	7,92	7,91	7,05	-
	II	10,50	8,56	8,31	8,25	7,47	7,21	-
	III	9,24	8,78	8,23	7,84	7,39	7,27	-
	I-III	9,71	8,51	8,44	8,00	7,59	7,18	-

Tabele 7-9 przedstawiają wartości opóźnienia hamowania dla motocykla poruszającego się z różnymi prędkościami, po suchej nawierzchni i obciążonego dodatkowo pasażerem. Zakres ciśnienia w oponach wynosi 2,4-2,8 [bar].

Tab. 7. Opóźnienie hamowania
– sucha nawierzchnia, jazda z pasażerem, ciśnienie 2,4 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]									
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]							
		10	20	30	40	50	60	70	
przedni	I	6,42	6,29	7,17	6,78	6,47	-	-	-
	II	6,89	6,44	7,29	6,24	6,57	-	-	-
	III	6,35	6,68	6,71	6,82	7,11	-	-	-
tylny	I-III	6,55	6,47	7,06	6,61	6,72	-	-	-
	I	3,65	3,44	3,93	3,75	4,09	-	-	-
	II	4,02	3,45	3,97	3,89	4,03	-	-	-
przedni + tylny	III	3,58	3,91	3,88	3,96	3,99	-	-	-
	I-III	3,75	3,60	3,93	3,87	4,04	-	-	-
	I	7,36	7,43	6,87	7,36	7,30	-	-	-
	II	7,15	7,10	7,58	7,37	6,28	-	-	-
	III	7,40	7,45	7,59	7,31	7,52	-	-	-
	I-III	7,30	7,33	7,35	7,35	7,03	-	-	-

Tab. 8. Opóźnienie hamowania
– sucha nawierzchnia, jazda z pasażerem, ciśnienie 2,6 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]									
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]							
		10	20	30	40	50	60	70	
przedni	I	6,56	7,29	7,16	7,77	7,59	-	-	-
	II	7,00	7,66	7,89	8,05	8,36	-	-	-
	III	7,15	7,22	7,14	7,52	7,49	-	-	-
tylny	I-III	6,90	7,39	7,40	7,78	7,81	-	-	-
	I	3,58	3,66	4,10	3,98	4,23	-	-	-
	II	3,91	3,94	3,82	3,81	4,18	-	-	-
przedni + tylny	III	3,95	3,96	3,77	4,04	4,10	-	-	-
	I-III	3,81	3,85	3,90	3,94	4,17	-	-	-
	I	7,66	7,60	8,28	7,54	8,04	-	-	-
	II	8,39	8,18	8,12	8,08	7,97	-	-	-
	III	7,58	8,20	8,01	8,16	8,19	-	-	-
	I-III	7,88	7,99	8,14	7,93	8,07	-	-	-

Tab. 9. Opóźnienie hamowania
– sucha nawierzchnia, jazda z pasażerem, ciśnienie 2,8 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]									
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]							
		10	20	30	40	50	60	70	
przedni	I	8,06	5,88	6,87	7,02	6,53	-	-	-
	II	8,59	6,76	7,41	7,21	6,33	-	-	-
	III	7,65	7,12	7,53	7,48	7,14	-	-	-
tylny	I-III	8,10	6,59	7,27	7,24	6,67	-	-	-
	I	2,55	3,66	3,92	3,69	3,88	-	-	-
	II	3,21	3,94	3,69	3,91	3,44	-	-	-
przedni + tylny	III	3,61	3,58	3,65	3,93	3,90	-	-	-
	I-III	3,12	3,73	3,75	3,84	3,74	-	-	-
	I	6,86	7,41	7,94	7,55	7,40	-	-	-
	II	7,45	7,65	7,65	7,38	8,12	-	-	-
	III	7,56	7,68	7,55	7,73	7,34	-	-	-
	I-III	7,29	7,58	7,71	7,55	7,62	-	-	-

Tabele 10-13 zawierają wyniki – wartości opóźnienia hamowania, dla motocykla poruszającego się z różnymi prędkościami po mokrej nawierzchni i bez pasażera. Zakres ciśnienia w oponach wynosi 2,2-2,8 [bar].

Tab. 10. Opóźnienie hamowania
– mokra nawierzchnia, jazda solo, ciśnienie 2,2 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]								
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]						
		10	20	30	40	50	60	70
przedni	I	4,83	5,25	6,01	5,52	5,05	-	-
	II	5,33	6,01	5,90	5,63	5,72	-	-
	III	5,41	6,14	5,78	5,56	5,79	-	-
	I-III	5,19	5,80	5,90	5,57	5,52	-	-
tylny	I	3,87	3,47	3,33	3,68	3,21	-	-
	II	3,67	3,22	3,57	3,77	2,59	-	-
	III	3,55	3,51	3,64	3,50	3,58	-	-
	I-III	3,70	3,40	3,51	3,65	3,13	-	-
przedni + tylny	I	8,30	5,43	6,70	5,66	5,71	-	-
	II	6,72	5,94	6,21	6,05	5,23	-	-
	III	6,11	6,04	5,65	6,18	5,21	-	-
	I-III	7,04	5,80	6,19	5,96	5,38	-	-

Tab. 11. Opóźnienie hamowania
– mokra nawierzchnia, jazda solo, ciśnienie 2,4 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]								
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]						
		10	20	30	40	50	60	70
przedni	I	4,46	5,44	5,37	6,39	6,51	-	-
	II	4,97	4,71	6,28	6,03	6,78	-	-
	III	5,21	5,52	6,35	6,48	6,39	-	-
	I-III	4,88	5,22	6,00	6,30	6,56	-	-
tylny	I	3,37	3,70	3,84	2,98	3,63	-	-
	II	3,27	2,99	3,21	3,39	3,68	-	-
	III	3,45	3,74	3,19	3,48	3,57	-	-
	I-III	3,36	3,48	3,41	3,28	3,63	-	-
przedni + tylny	I	6,57	5,24	6,00	6,20	6,35	-	-
	II	7,11	6,45	6,72	5,15	6,36	-	-
	III	6,40	6,78	5,68	6,43	5,82	-	-
	I-III	6,69	6,16	6,13	5,93	6,18	-	-

Tab. 12. Opóźnienie hamowania
– mokra nawierzchnia, jazda solo, ciśnienie 2,6 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]								
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]						
		10	20	30	40	50	60	70
przedni	I	5,27	4,14	5,77	5,60	5,34	-	-
	II	4,78	5,81	5,52	6,11	5,31	-	-
	III	5,31	5,85	5,42	5,56	5,27	-	-
	I-III	5,12	5,27	5,57	5,76	5,31	-	-
tylny	I	3,72	3,21	3,11	3,20	3,21	-	-
	II	3,62	2,72	3,41	3,60	3,08	-	-
	III	3,77	3,58	3,59	3,19	3,36	-	-
	I-III	3,70	3,17	3,37	3,33	3,22	-	-
przedni + tylny	I	6,23	4,96	5,98	5,17	6,37	-	-
	II	6,74	3,99	6,15	5,00	5,21	-	-
	III	6,09	5,25	5,45	5,68	5,17	-	-
	I-III	6,35	4,73	5,86	5,28	5,58	-	-

Tab. 13. Opóźnienie hamowania
– mokra nawierzchnia, jazda solo, ciśnienie 2,8 [bar]

Opóźnienie hamowania [m/s ²]								
Hamulec	Pomiar	Prędkość [km/h]						
		10	20	30	40	50	60	70
przedni	I	6,49	4,59	5,69	5,22	6,40	-	-
	II	6,10	6,09	6,35	6,19	5,84	-	-
	III	6,74	6,47	6,38	6,58	5,62	-	-
	I-III	6,44	5,72	6,14	6,00	5,95	-	-
tylny	I	3,73	3,72	3,24	2,97	3,10	-	-
	II	3,64	3,60	3,05	2,99	2,95	-	-
	III	3,77	3,58	3,39	3,11	2,91	-	-
	I-III	3,71	3,63	3,23	3,02	2,99	-	-
przedni + tylny	I	7,14	5,20	5,75	6,08	6,12	-	-
	II	7,15	5,66	5,62	6,39	5,76	-	-
	III	6,92	5,70	5,98	6,00	6,29	-	-
	I-III	7,07	5,52	5,78	6,16	6,06	-	-

WNIOSKI

Na podstawie pomiarów zamieszczonych w tabelach można stwierdzić, że prędkość jazdy nie ma wpływu na osiągnięte przez motocykl opóźnienie hamowania. Inaczej jednak sprawa wygląda jeśli chodzi o długość drogi hamowania. W tym przypadku wzrost np. prędkości z 50 [km/h] do prędkości 72 [km/h] wywołuje około dwukrotny wzrost długości drogi hamowania.

Największe wartości opóźnienia hamowania odnotowano w każdym przypadku dla jazdy solo, a więc bez pasażera, podczas hamowania hamulcem przednim jak i jednocześnie hamulcami przednim oraz tylnym. Użycie obu hamulców w porównaniu do wykorzystania tylko przedniego hamulca, nie przynosiło większych korzyści. Podczas hamowania przednim hamulcem tylne koło zostaje mocno odciążone i siły jakie może przenieść są dużo mniejsze. Minimalną przewagę użycia obu hamulców można jedynie odnotować na mokrej nawierzchni, gdzie hamowanie przednim hamulcem nie jest aż tak silne jak na suchej nawierzchni i tylne koło nie zostaje w tak dużym stopniu odciążone.

W przypadku hamowania tylko hamulcem tylnym najczęściej najwyższe wartości opóźnienia były uzyskiwane dla jazdy razem z pasażerem. Obecność pasażera szczególnie ma duży wpływ na masę całkowitą pojazdu, a miejsce które zajmuje sprawia, że tylne koło, czyli w tym przypadku koło hamowane, jest lepiej dociążone. W wyniku tego podczas hamowania opona później wpada w poślizg i możliwe są do uzyskania wyższe wartości opóźnienia hamowania.

Wyniki dla jazdy solo oraz na mokrej nawierzchni były bardzo zbliżone, jednak ze względu na lepszą przyczepność suchego asfaltu odnotowano więcej przypadków występowania wyższych wartości dla tego pierwszego przypadku.

Pomijając hamowanie tylnym hamulcem, gdzie wyniki pomiarów wartości opóźnienia były zdecydowanie najniższe, dobrze widać jak przedstawia się ogólna charakterystyka opóźnienia hamowania. Jak zostało wyżej wspomniane największe opóźnienie uzyskuje się na suchej nawierzchni podczas jazdy solo bez pasażera a nieco mniejsze dla jazdy z pasażerem. W tych przypadkach hamowanie jest mocne i gwałtowne. Natomiast na mokrej nawierzchni hamowanie jest odpowiednio słabsze i bardziej spokojne, aby pozostawić pewien margines bezpieczeństwa. Dlatego opóźnienie na tym rodzaju nawierzchni było wyraźnie mniejsze.

Pomiary opóźnienia hamowania motocykla na mokrej nawierzchni dla ciśnienia 2,0 [bar], a dla jazdy z pasażerem dla ciśnienia 2,0 i 2,2 [bar], nie zostały wykonane ze względów bezpieczeństwa. W pierwszym przypadku zdecydowanie za niskie ciśnienie mogło spowodować nieprawidłowe przyleganie bieżnika opony do nawierzchni drogi. Mogło to skutkować gorszym odprowadzeniem wody spod bieżnika, w wyniku czego mogło dojść do nagłego zmniejszenia przyczepności koła do drogi. W przypadku jazdy z pasażerem w wyniku działania większych sił niż przy jeździe solo, opona już pod ciśnieniem 2,2 [bar] doznawała zbyt dużych odkształceń i w wyniku wielokrotnych pomiarów mogło dojść do jej uszkodzenia.

Największy stosunkowo wpływ ciśnienia na opóźnienie hamowania jest w przypadku hamowania hamulcem tylnym podczas jazdy solo oraz na mokrej nawierzchni. Opona z mniejszym ciśnieniem ma lepszy kontakt z nawierzchnią drogi, przez co zapewnia nieco wyższą wartość opóźnienia hamowania. Wraz ze wzrostem ciśnienia wartości z reguły maleją.

Widocznym elementem jest fakt, że w prawie każdym przypadku dla hamowania tylko tylnym hamulcem, najniższe opóźnienie występowało dla najwyższego ciśnienia, a więc dla 2,8 [bar]. Wiąże się to z tym, że opona z tak wysokim ciśnieniem jest znacznie twardsza, w wyniku czego jej pole powierzchni styku z nawierzchnią

jezdni jest znacznie mniejsze niż opony o mniejszym ciśnieniu. Powoduje to szybsze przechodzenie koła do poślizgu.

Dla pozostałych dwóch przypadków, a więc hamowania hamulcem przednim oraz przednim i tylnym nie zaobserwowano większych różnic wpływu ciśnienia na opóźnienie hamowania. Bardzo pogorszyły się natomiast właściwości jezdne. Zbyt wysokie ciśnienie sprawiło słabe tłumienie drgań, natomiast niskie ciśnienie miało znacznie gorszy wpływ na jazdę bardzo utrudniając skręcanie i manewrowanie. Najlepsze właściwości zarówno prowadzenia jak i hamowania można uzyskać stosując ciśnienie zalecane przez producenta.

Należy mieć świadomość, że wadliwa praca elementów układu hamulcowego, czy też całego układu przeniesienia napędu może przyczynić się do wystąpienia wypadku drogowego. Dlatego też na całym świecie prowadzone są liczne badania związane ze zwiększeniem niezawodności poszczególnych elementów, jak również całych układów [9-21].

BIBLIOGRAFIA

1. Chalecki M., *Konwencjonalne i elektroniczne układy hamulcowe*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
2. Hough D.L., *Motocyklista doskonały*, Wydawnictwo Buk Rower, Warszawa 2004.
3. Leiter R., *Hamulce motocykli*, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 1998.
4. Miatluk M., Kamiński Z., *Układy hamulcowe pojazdów: obliczenia*, Białystok, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej 2005.
5. Prochowski L., *Mechanika ruchu*, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2005.
6. Prochowski L., Unarski J., Wach W., Wicher J., *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2008.
7. Siłka W., *Teoria ruchu samochodu*, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2002.
8. Wierciński J., Reza A. (red.), *Wypadki drogowe - vademecum biegłego sądowego*, Kraków, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych 2006.
9. Fabian M., Stanová E., Fedorko G., Kmeť S., Fabianová J., Krajňák J., *Parametric CAD model of a double-lay six strand wire rope*, „Manufacturing Technology” 2016, vol. 16, no. 3, p. 489-496, ISSN: 1213-2489.
10. Figlus T., Konieczny Ł., Burdzik R., Czech P., *The effect of damage to the fuel injector on changes of the vibroactivity of the diesel engine during its starting*, „Vibroengineering Procedia” 2015, vol. 6, p. 180-184, ISSN: 2345-0533.
11. Grega R., Homišin J., Krajňák J., Urbanský M., *Analysis of the impact of flexible couplings on gearbox vibrations*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport” 2016, vol. 91, p. 43-50. ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2016.91.4>.
12. Harachová D., *Deformation of the elastic wheel harmonic gearing and its effect on toothing*, „Grant journal” 2016, vol. 5, no. 1, p. 89-92, ISSN: 1805-0638.
13. Homišin J., Kaššay P., Puškár M., Grega R., Krajňák J., Urbanský M., Moravič M., *Continuous tuning of ship propulsion system by means of pneumatic tuner of torsional oscillation*, „International Journal of Maritime Engineering: Transactions of The Royal Institution of Naval Architects” 2016, vol. 158, no. Part A3, p. A231-A238, ISSN: 1479-8751.
14. Kaššay P., Urbanský M., *Torsional natural frequency tuning by means of pneumatic flexible shaft couplings*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport” 2015,

vol. 89, p. 57-60, ISSN: 0209-3324, DOI:

<https://doi.org/10.20858/sjsutst.2015.89.6>.

15. Konieczny Ł., Burdzik R., Warczek J., Czech P., Wojnar G., Młyńczak J., *Determination of the effect of tire stiffness on wheel accelerations by the forced vibration test method*, „Journal of Vibroengineering” 2015, vol. 17(8), p. 4469-4477, ISSN: 1392-8716.
16. Mantič M., Kulka J., Kopas M., Faltinová E., Petróci J., *Special device for continuous deceleration of freight cableway trucks*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport” 2016, vol. 91, p. 89-97, ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2016.91.9>.
17. Medvecká-Beňová S., *Influence of the face width and length of contact on teeth deformation and teeth stiffness*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport” 2016, vol. 91, p. 99-106, ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2016.91.10>.
18. Puškár M., Bigoš P., Puškárová P., *Accurate measurements of output characteristics and detonations of motorbike high-speed racing engine and their optimization at actual atmospheric conditions and combusted mixture composition*, „Measurement” 2012, vol. 45, p. 1067-1076, ISSN: 0263-2241.
19. Tomko T., Puskar M., Fabian M., Boslai R., *Procedure for the evaluation of measured data in terms of vibration diagnostics by application of a multidimensional statistical model*, „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport” 2016, vol. 91, p. 125-131, ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2016.91.13>.
20. Vojtková J., *Reduction of contact stresses using involute gears with asymmetric teeth*. „Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport” 2015, vol. 89, p. 179-185. ISSN: 0209-3324. DOI: 10.20858/sjsutst.2015.89.19.
21. Zuber N., Bajrić R., Šostakov R., *Gearbox faults identification using vibration signal analysis and artificial intelligence methods*, „Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance And Reliability” 2014, vol. 16(1), p. 61-35, ISSN: 1507-2711.

The impact of selected driving parameters on the braking deceleration of the sport motorcycle

Safety considerations require that the driver was able to stop the vehicle on the shortest section of the road. This possibility provides only the use of efficient brakes because other methods to reduce the speed do not guarantee a sufficiently large deceleration. When it is not necessary to use the full braking force of the vehicle, the driver may force a retarded motion in every possible way to reduce speed. The article presents a study on the impact of selected parameters driving on the achieved value of deceleration. The study analysed the impact of factors, inter alia, such as the type of road surface, tire pressure, or driving alone or with a passenger. Additionally, authors examined how behaves the motorcycle during heavy braking at different gain settings of the brake system - braking the front, rear or both brakes.

Autorzy:

mgr inż. **Michał Makuch** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska
 dr hab. inż. **Piotr Czech**, prof. nzw. Pol. Śl. – Wydział Transportu, Politechnika Śląska
 dr inż. **Piotr Gustof** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska
 mgr inż. **Katarzyna Turoń** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska
 mgr inż. **Damian Jędrusik** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska
 mgr **Karolina Koldys** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska