

Paweł SKRZYPCZYK, Robert KAŁUŻA, Piotr CZECH<sup>1</sup>

## PROCES HAMOWANIA MOTOCYKLI TYPU ENDURO I SZOSOWO-TURYSTYCZNYCH

**Streszczenie.** W sytuacji wystąpienia zagrożenia kierujący motocyklem musi w ułamku sekundy zdecydować, jaki manewr obronny wykonać. Najczęściej wybieranym manewrem jest hamowanie. Rozpoczęcie hamowania motocyklem wiąże się dodatkowo z wyborem hamulca, którego użyje kierowca. Ma on tutaj do wyboru użycie hamulca przedniego, tylnego lub obu równocześnie. W artykule przedstawiono badanie wpływu takiej decyzji na proces hamowania. Badania zostały przeprowadzone dla motocykli typu enduro i szosowo-turystycznych.

**Słowa kluczowe:** Proces hamowania, opóźnienie hamowania, droga hamowania, motocykl.

## BRAKING PROCESS OF ENDURO AND HIGHWAY-TOURIST MOTORBIKES

**Summary.** In the event of an emergency, head of the motorcycle has a split second to decide what to do defensive maneuver. The most common choice is the braking maneuver. Starting motorcycle braking is associated with the selection of additional brake, which uses a driver. It is here to choose to use the front brake, rear or both simultaneously. The paper presents the study of the effects of such decision on the braking process. Tests were carried out for enduro and highway-tourist motorbikes.

**Keywords:** Braking process, braking deceleration, braking distance, motorbike.

### 1. WSTĘP

Skuteczność działania hamulców jest jedną z najważniejszych cech pojazdów decydujących o bezpieczeństwie [1-11]. Współczesne układy hamulcowe muszą cechować się bardzo dużą skutecznością działania oraz odpowiednimi własnościami mechanicznymi, tj. wysoką wytrzymałością i wymaganą odpornością na pękanie w zróżnicowanych warunkach naprężeniowo-temperaturowych [1, 3, 4, 7, 8].

Współczesny przemysł motoryzacyjny dąży do budowy pojazdów spełniających wysokie wymagania eksploatacyjne dotyczące bezpieczeństwa w sytuacjach awaryjnych, poszukując przy tym rozwiązań pozwalających na redukcję masy pojazdu niepowodującą spadku bezpieczeństwa i niezawodności, a wręcz je podnoszącą [1, 3, 4, 7, 8].

---

<sup>1</sup> Wydział Transportu, Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, tel. (+48 32) 6034230, piotr.czech@polsl.pl

Przy obecnym zwiększaniu mocy oraz polepszaniu możliwości jezdnych motocykli rzeczą najważniejszą staje się możliwość szybkiego i bezpiecznego zatrzymania się. Obecnie w pojazdach motocyklowych dominuje trend wprowadzania elektroniki, która ma skutecznie wspomóc kierującego w sytuacjach zagrożenia. Głównym celem projektantów jest ograniczenie poślizgów kół w tego typu pojazdach, gdyż to właśnie one obok nadmiernej prędkości są najczęstszą przyczyną wypadków z udziałem motocyklistów.

Pierwszy motocykl, zbudowany przez Daimlera w 1885 roku, miał hamulec szcękowy działający na tylne koło, pełniący rolę zarówno hamulca roboczego, jak i postojowego. Pierwsze motocykle na ogół miały hamowane tylko jedno koło, przednie albo tylne, w zależności od rozwiązania przyjętego przez wytwórcę. Kolejnym krokiem na drodze rozwoju motocyklowych układów hamulcowych było wprowadzenie niezależnego hamowania obu kół. W 1966 roku nastąpił przełom w dziejach ewolucji świata motocyklowego. Po raz pierwszy zamontowano w motocyklu hamulec tarczowy uruchamiany hydraulicznie. Tego typu konstrukcje praktycznie wyparły inne typy rozwiązań układów hamulcowych motocykli, znajdując zastosowanie nawet w hamulcach kół tylnych małych motorowerów [3].

Układ hamulcowy motocykla oraz jego konstrukcja muszą skutecznie poradzić sobie z istniejącym konfliktem – między dążeniem do możliwie najszybszego hamowania i zachowaniem stabilności jazdy. Dwa czynniki wpływające na utrzymywanie równowagi przez jadący motocykl to siła bezwładności i siły żyroskopowe generowane przez kręcące się koła. W utrzymywaniu równowagi pomagają kręcące się koła motocykla. Generują one stabilizującą siłę żyroskopową, która przeciwdziała przesuwaniu się koła w poziomie lub odchyleniom od pionu [2]. Jeśli takie stabilizowanie zostanie zakłócone wskutek krótkotrwałego nadmiernie silnego hamowania, z wystąpieniem tendencji do blokowania jednego koła, grozi to utratą stabilności i z reguły prowadzi do pochylecia pojazdu. Od momentu zaistnienia poślizgu bocznego nadmiernie hamowanego koła przedniego, składowa siła odśrodkowa maleje, co sprzyja dalszemu pochyleciu się pojazdu. Przeciwdziałać tej tendencji może tylko wystąpienie dużej siły bocznej lub przyczepności bocznej, której nie można osiągnąć nawet w przypadku, gdy koło zupełnie nie jest hamowane. Jest to jedna z najczęstszych przyczyn wywrotek motocyklistów [3, 10, 11].

Podobnie jak w przypadku samochodu osobowego, powierzchnia styku opony z nawierzchnią musi przenieść wszystkie siły związane z opóźnieniem hamowania motocykla. Podstawową różnicą jest to, że środek masy w przypadku motocykla znajduje się w płaszczyźnie kół. Wielkość siły normalnej działającej na punkt styku opony z nawierzchnią jest uzależniona od odległości środka masy do osi przedniej i tylnej. Niestety w przypadku motocykla środek masy w stosunku do rozstawu osi, leży dwukrotnie wyżej niż w przypadku samochodu osobowego. Skutkiem tego jest powstająca sytuacja, w której siła wynikająca z opóźnienia, przyłożona do środka masy motocykla, powoduje dodatkowe dociążenie koła przedniego i równoczesne odciążenie koła tylnego. Dlatego w przypadkach hamowań awaryjnych, motocykl ma skłonność do odrywania się koła tylnego od nawierzchni (w szczególności przy jeździe jednej osoby). Wpływ na to zjawisko ma również rozmiar i rodzaj zastosowanego ogumienia [1-11].

## 2. OPIS BADAŃ

W przeprowadzonych badaniach sprawdzano wpływ wyboru użytego przez kierowcę hamulca na proces hamowania motocykla.

Do badań wybrano po jednym przedstawicielu z grupy motocykli typu enduro i szosowo-turystycznych:

- a) Yamaha WR 450 06 (rys. 1):
  - typ motocykla: enduro,
  - masa własna: 112 kg,
  - dopuszczalna masa całkowita: 212 kg,
  - resorowanie przedniego koła: 300 mm,
  - resorowanie tylnego koła: 305 mm,
  - wysokość siedzenia: 990 mm,
  - rozstaw osi: 1485 mm,
  - typ ramy: centralna podwójna,
  - rodzaj materiału, z jakiego została wykonana rama: stop aluminiowy,
  - pojemność silnika: 450 cm<sup>3</sup>,
  - moment obrotowy: 36,0 Nm przy 6500 obrotach,
  - moc silnika: 40,0 kW / 55,0 KM przy 7500 obrotach,
  - hamulec przedni: tarczowy,
  - hamulec tylny: tarczowy,
  - średnica tarczy w przednich hamulcach: 250 mm,
  - średnica tarczy w tylnych hamulcach: 245 mm,
  - seryjny rozmiar opon z przodu: 90/90-21',
  - seryjny rozmiar opon z tyłu: 130/90-18';
  
- b) Yamaha FZ 6 05 (rys. 2):
  - typ motocykla: szosowo-turystyczny,
  - masa własna: 207 kg,
  - dopuszczalna masa całkowita: 350kg,
  - zawieszenie przód: widelec teleskopowy,
  - skok zawieszenia przedniego: 130 mm,
  - zawieszenie tył: wahacz wleczony,
  - skok zawieszenia tylnego: 130 mm,
  - wysokość siedzenia: 795 mm,
  - rozstaw osi: 1440 mm,
  - wysokość całkowita 1210 mm,
  - długość całkowita 2095 mm,
  - szerokość całkowita 750 mm,
  - typ ramy: centralna podwójna,
  - rodzaj materiału, z jakiego została wykonana rama: stop aluminiowy,
  - pojemność silnika: 600 cm<sup>3</sup>,
  - moment obrotowy: 63,10 Nm przy 6400 obrotach,
  - moc silnika: 70,5 kW / 96,55 KM,
  - hamulec przedni: dwutarczowy,
  - hamulec tylny: tarczowy,
  - średnica tarczy w przednich hamulcach: 298 mm,
  - średnica tarczy w tylnych hamulcach: 245 mm,
  - seryjny rozmiar opon z przodu: 120/70-17',
  - seryjny rozmiar opon z tyłu: 180/55-17'.

Na rys. 1 pokazano wybrany do badań motocykl typu enduro, natomiast na rys. 2 – motocykl szosowo-turystyczny.



Rys. 1. Motocykl Yamaha WR 450

Fig. 1. Yamaha WR 450



Rys. 2. Motocykl Yamaha FZ 6

Fig. 2. Yamaha FZ 6

Badania przeprowadzono z użyciem akcelerometru XL METER PRO. Jest to urządzenie pomiarowe rejestrujące chwilowe przyspieszenie wzdłużne i poprzeczne pojazdu. Dane znamionowe przyrządu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Dane dotyczące urządzenia pomiarowego

Pomiar przyspieszenia wzdłużnego	
Zakres	-5,0...+5,0 m/s <sup>2</sup> do -20,0...+20,0 m/s <sup>2</sup>
Rozdzielczość	0,0021 m/s <sup>2</sup>
Częstotliwość pomiaru	25 Hz – 200 Hz
Temperatura pracy	0-50°C

Przyrząd pomiarowy został zamontowany w okolicach główki ramy motocykla w sposób pokazany na rys. 3.



Rys. 3. Sposób zamontowania przyrządu pomiarowego  
Fig. 3. Way of mounting the measuring instrument

W trakcie badań motocykl rozpędzono do prędkości ok. 50 km/h, po czym nastąpiło hamowanie. Starano się uzyskać jak najmniejszą drogę hamowania przy utrzymaniu stabilności pojazdu.

Badania przeprowadzono na prostym odcinku drogi o dwóch typach nawierzchni: asfaltowej oraz szutrowej. Ponieważ w założeniach eksperymentu było uzyskanie wyników dla możliwie trudnych warunków ruchu, badania na nawierzchni asfaltowej przeprowadzono, gdy była ona mokra. Każda próba hamowania odbywała się trzykrotnie. Próby zrealizowano przy bezwietrznej pogodzie, w temperaturze ok. 10°C.

W badaniu udział wzięło dwóch kierowców: o masie ok. 85 kg i wzroście ok. 180 cm oraz o masie ok. 80 kg i wzroście ok. 190 cm.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Badania obejmowały przeprowadzenie, na nawierzchni mokrej asfaltowej oraz szutrowej, próby hamowania motocyklem:

- a) typu enduro:
  - przy użyciu wyłącznie hamulca przedniego,
  - przy użyciu wyłącznie hamulca tylnego,
  - przy użyciu obydwu hamulców;
- b) typu szosowo-turystycznego:
  - przy użyciu wyłącznie hamulca przedniego,
  - przy użyciu wyłącznie hamulca tylnego,
  - przy użyciu obydwu hamulców.

Uzyskane wyniki pomiarów zestawiono w tabelach 2-5 oraz na rys. 4-5.

Tabela 2

Uśrednione wyniki pomiarów dla motocykla klasy enduro  
na nawierzchni mokrej asfaltowej

Motocykl Yamaha WR 450	Użyty hamulec		
	Przedni + tylny	Przedni	Tylny
Długość drogi hamowania [m]	31,20	36,70	42,00
Prędkość, przy której rozpoczęto hamowanie [km/h]	47,40	49,78	55,00
Czas procesu hamowania [s]	3,33	5,21	4,22
Średnie opóźnienie hamowania [ $m/s^2$ ]	4,23	2,71	2,91
Maksymalne opóźnienie hamowania [ $m/s^2$ ]	7,31	6,04	8,42

Tabela 3

Uśrednione wyniki pomiarów dla motocykla klasy enduro  
na nawierzchni szutrowej

Motocykl Yamaha WR 450	Użyty hamulec		
	Przedni + tylny	Przedni	Tylny
Długość drogi hamowania [m]	26,31	27,88	23,94
Prędkość, przy której rozpoczęto hamowanie [km/h]	51,25	49,88	45,99
Czas procesu hamowania [s]	3,14	3,48	3,88
Średnie opóźnienie hamowania [ $m/s^2$ ]	5,67	3,69	3,64
Maksymalne opóźnienie hamowania [ $m/s^2$ ]	13,62	9,86	7,10

Tabela 4

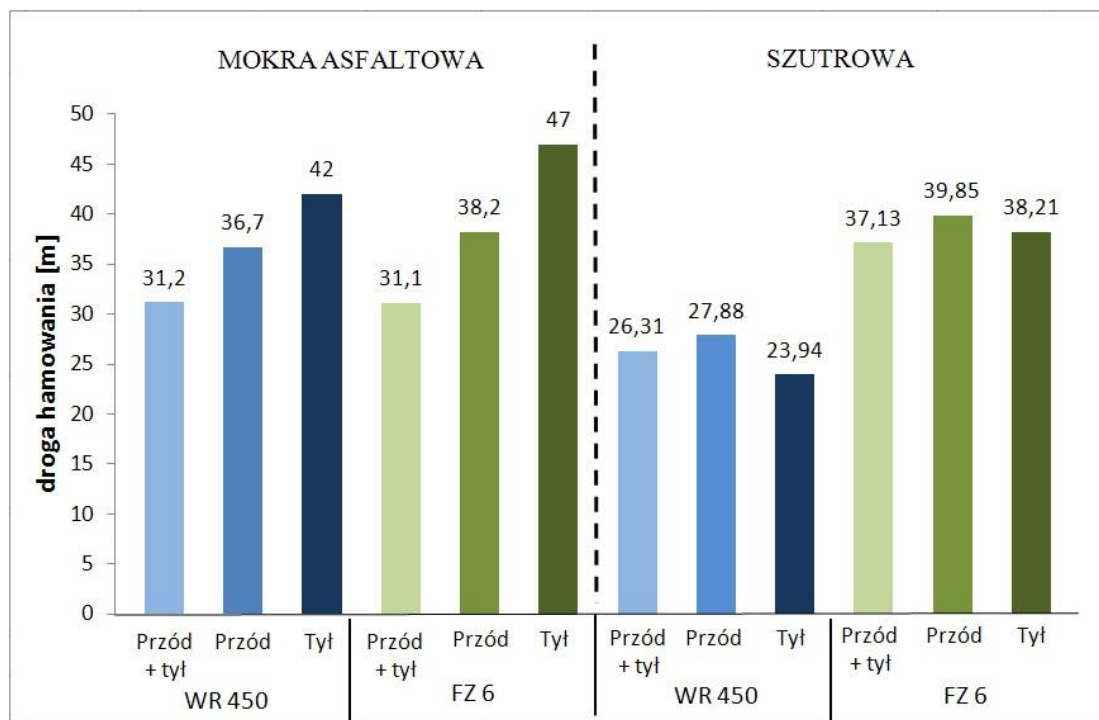
Uśrednione wyniki pomiarów dla motocykla klasy szosowo-turystycznej  
na nawierzchni mokrej asfaltowej

Motocykl Yamaha FZ 6	Użyty hamulec		
	Przedni + tylny	Przedni	Tylny
Długość drogi hamowania [m]	31,10	38,20	47,00
Prędkość, przy której rozpoczęto hamowanie [km/h]	48,81	50,25	46,89
Czas procesu hamowania [s]	4,11	5,13	5,78
Średnie opóźnienie hamowania [ $m/s^2$ ]	3,81	2,68	2,73
Maksymalne opóźnienie hamowania [ $m/s^2$ ]	6,13	4,73	6,11

Tabela 5

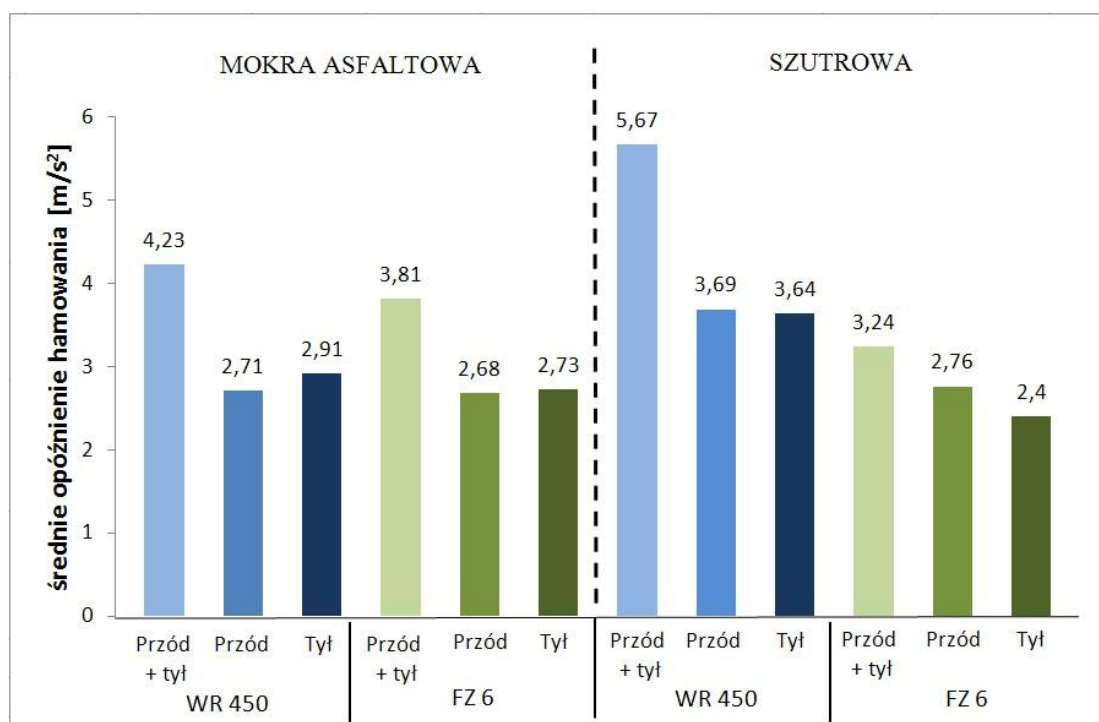
Uśrednione wyniki pomiarów dla motocykla klasy szosowo-turystycznej  
na nawierzchni szutrowej

Motocykl Yamaha FZ 6	Użyty hamulec		
	Przedni + tylny	Przedni	Tylny
Długość drogi hamowania [m]	37,13	39,85	38,21
Prędkość, przy której rozpoczęto hamowanie [km/h]	49,51	48,26	51,25
Czas procesu hamowania [s]	6,72	5,60	7,89
Średnie opóźnienie hamowania [ $m/s^2$ ]	3,24	2,76	2,40
Maksymalne opóźnienie hamowania [ $m/s^2$ ]	6,18	3,57	4,76



Rys. 4. Porównanie drogi hamowania w zależności od użytego hamulca, rodzaju nawierzchni oraz typu motocykla

Fig. 4. Comparison of braking depending on the used brake, surface type and the type of motorcycle

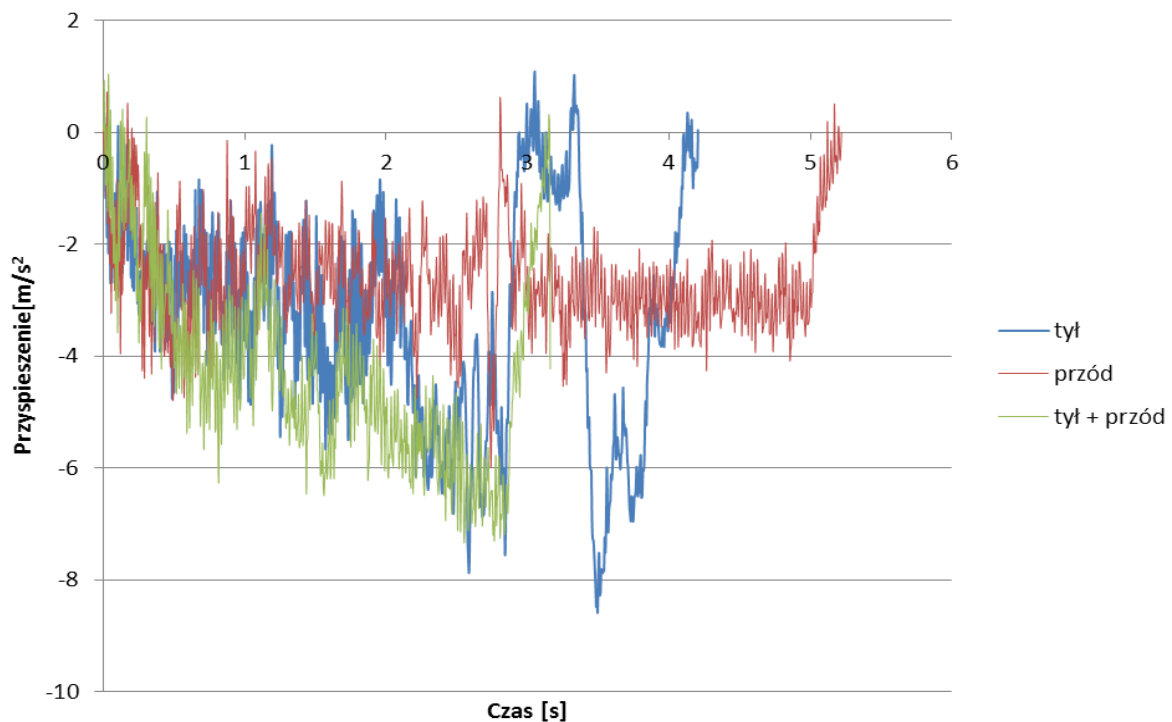


Rys. 5. Porównanie średniego opóźnienia hamowania w zależności od użytego hamulca, rodzaju nawierzchni oraz typu motocykla

Fig. 5. Comparison of average braking deceleration depending on the used brake, surface type and the type of motorcycle

Najdłuższą drogę hamowania (47 m) uzyskano podczas próby hamowania na nawierzchni szutrowej motocyklem Yamaha FZ 6 z użyciem wyłącznie tylnego hamulca. Średnie opóźnienie hamowania dla tego przypadku wyniosło  $2,73 \text{ m/s}^2$ . Lepsze wyniki otrzymano dla motocykla typu enduro. Najwyższe średnie opóźnienie hamowania motocykla Yamaha R 450 uzyskano na nawierzchni szutrowej przy wykorzystaniu obydwu hamulców jednocześnie ( $5,67 \text{ m/s}^2$ ).

Na rys. 6 pokazano przykładowe przebiegi procesu hamowania w czasie dla motocykla klasy enduro na nawierzchni asfaltowej. Najkrótszy czas i najkrótszą drogę hamowania uzyskano dla próby hamowania hamulcem przednim i tylnym jednocześnie (3,33 s i 31,2 m). Pod względem uzyskanego opóźnienia hamowania najwyższą wartość otrzymano dla próby z użyciem hamulca tylnego, podczas której maksymalne opóźnienie hamowania wyniosło  $8,42 \text{ m/s}^2$ . Należy zwrócić uwagę na fakt, że w trakcie tej próby hamowania nastąpił poślizg tylnego koła (w 3. sekundzie pomiaru), co spowodowało wyraźny spadek chwilowej wartości opóźnienia hamowania i znacznie wpłynęło na końcowy wynik.

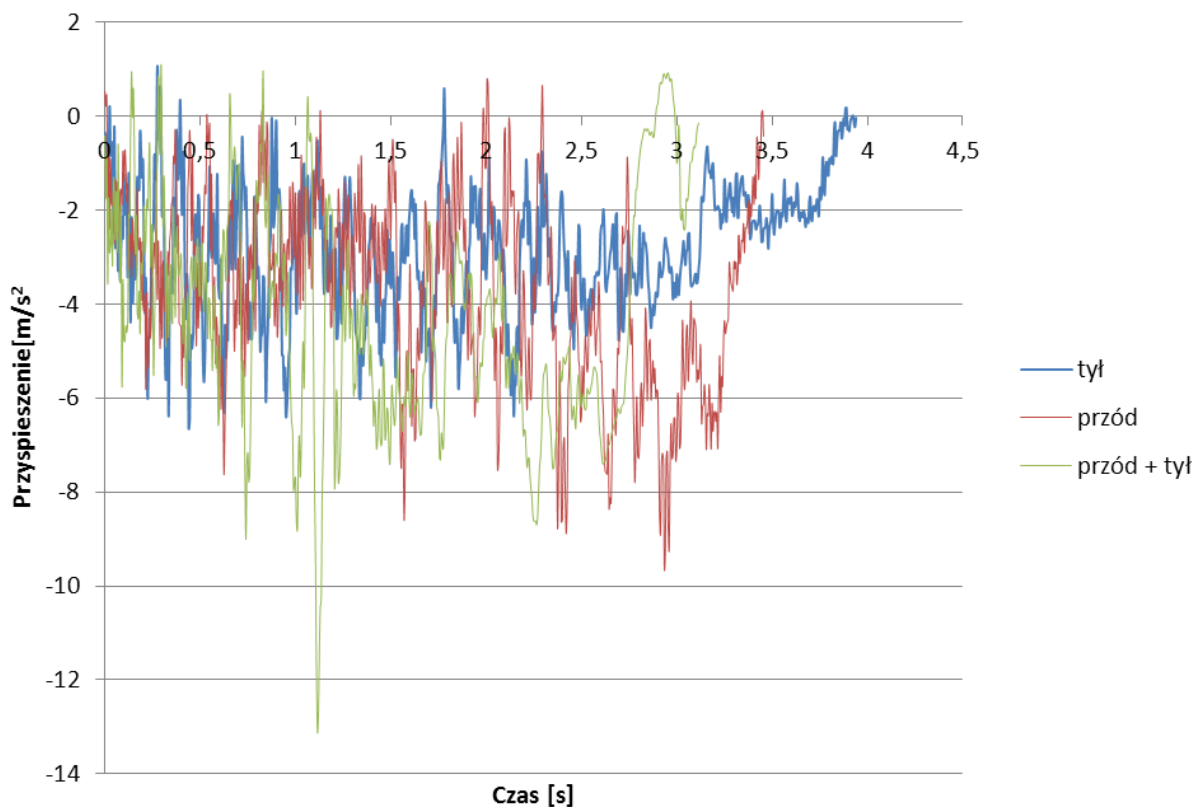


Rys. 6. Przyspieszenie wzdłużne motocykla Yamaha WR 450 uzyskiwane na nawierzchni asfaltowej  
Fig. 6. Longitudinal acceleration of the motorcycle Yamaha WR 450 obtained on the asphalt surface

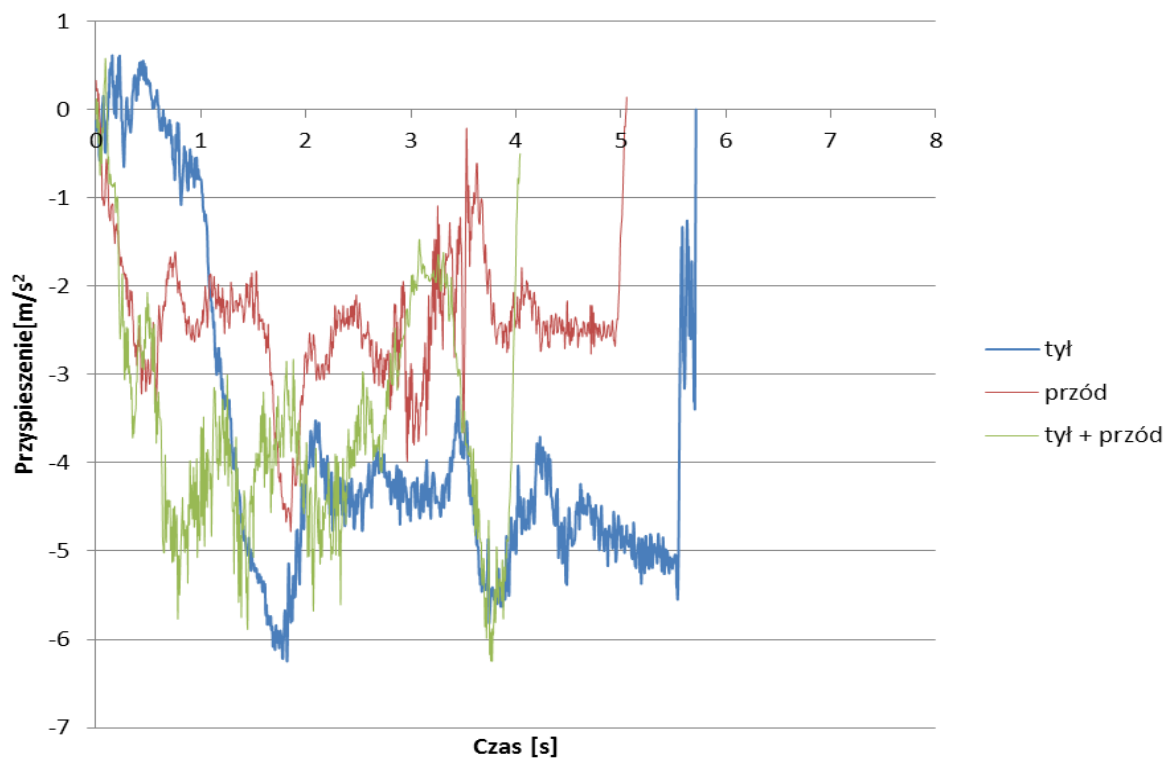
Przykładowe przebiegi pochodzące z próby hamowania motocyklem enduro na nawierzchni szutrowej prezentuje rys. 7. W tym przypadku wyniki są bardziej zbliżone do siebie niż w przypadku nawierzchni asfaltowej. Analogicznie do nawierzchni asfaltowej najlepszą skutecznością hamowania okazało się hamowanie obydwoma hamulcami jednocześnie. Pozwoliło ono uzyskać najkrótszy czas i najkrótszą drogę hamowania oraz największe maksymalne opóźnienie hamowania. Wyniki pochodzące z tej próby cechują się dużą ilością szumów ze względu na rodzaj nawierzchni, na jakiej wykonywane było badanie, oraz na wykorzystywane ogumienie motocykla – typ kostka.

Kolejnym analizowanym przypadkiem było zachowanie się motocykla szosowo-turystycznego podczas prób hamowania na nawierzchni asfaltowej mokrej. Przykładowy proces hamowania dla tego wariantu pokazano na rys. 8.





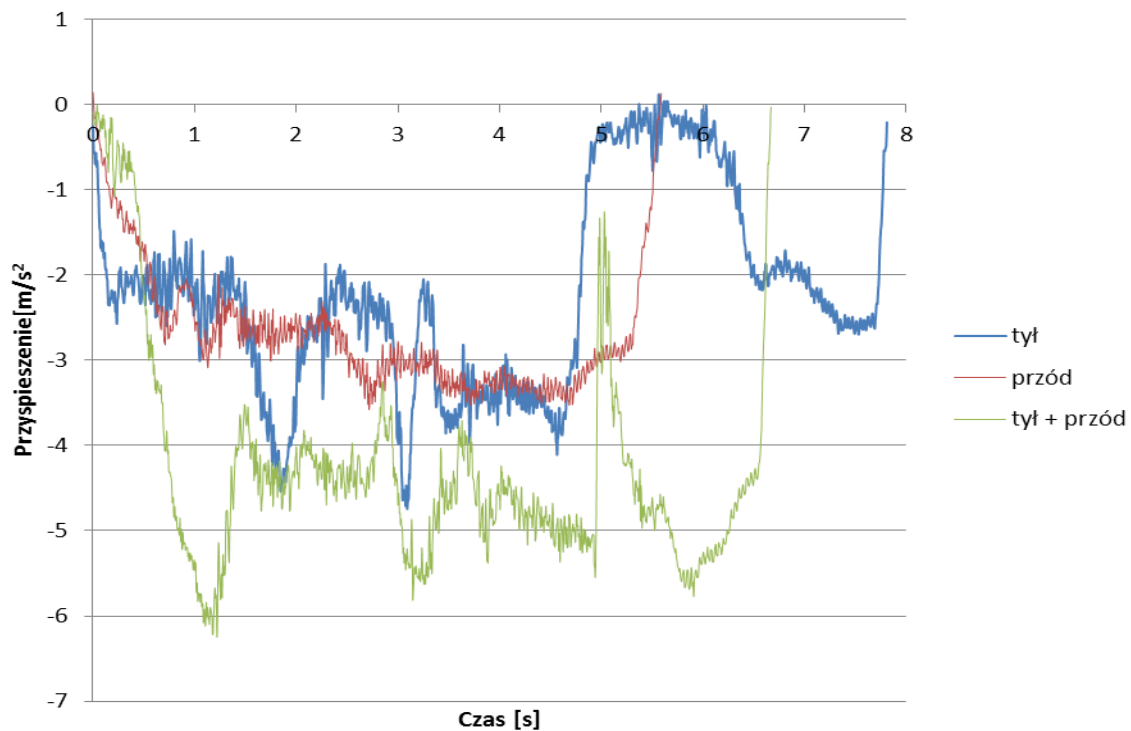
Rys. 7. Przyspieszenie wzdłużne motocykla Yamaha WR 450 uzyskiwane na nawierzchni szutrowej  
Fig. 7. Longitudinal acceleration of the motorcycle Yamaha WR 450 obtained on the gravel surface



Rys. 8. Przyspieszenie wzdłużne motocykla Yamaha FZ 6 uzyskiwane na nawierzchni asfaltowej  
Fig. 8. Longitudinal acceleration of the motorcycle Yamaha FZ 6 obtained on the asphalt surface

Na rysunku można zauważyć duże wahania zmian przyspieszeń chwilowych, widoczne szczególnie dla hamowania tylnym hamulcem. Powodem tego jest fakt, iż koło tylne cały czas porusza się na granicy poślizgu, na przemian mając i tracąc przyczepność. Najkrótszy czas hamowania uzyskano dla próby hamowania obydwoma hamulcami jednocześnie ( $6,13 \text{ m/s}^2$ ). Przebieg hamowania hamulcem przednim charakteryzuje się znacznie mniejszym zróżnicowaniem uzyskiwanych wartości przyspieszeń w czasie. Jest to spowodowane lepszym dociężeniem osi przedniej w porównaniu z tylną. Średnie opóźnienie hamowania dla hamulca przedniego wyniosło  $2,68 \text{ m/s}^2$  i jest najmniejsze spośród wybranych do badania technik hamowań. Może to wynikać z zachowawczości motocyklisty, który obawiając się niebezpiecznego bocznego uślizgu przedniej osi, nie dociska hamulca do końca.

Przykładowe wyniki otrzymane w procesie hamowania motocykla szosowo-turystycznego na nawierzchni szutrowej pokazano na rys. 9.



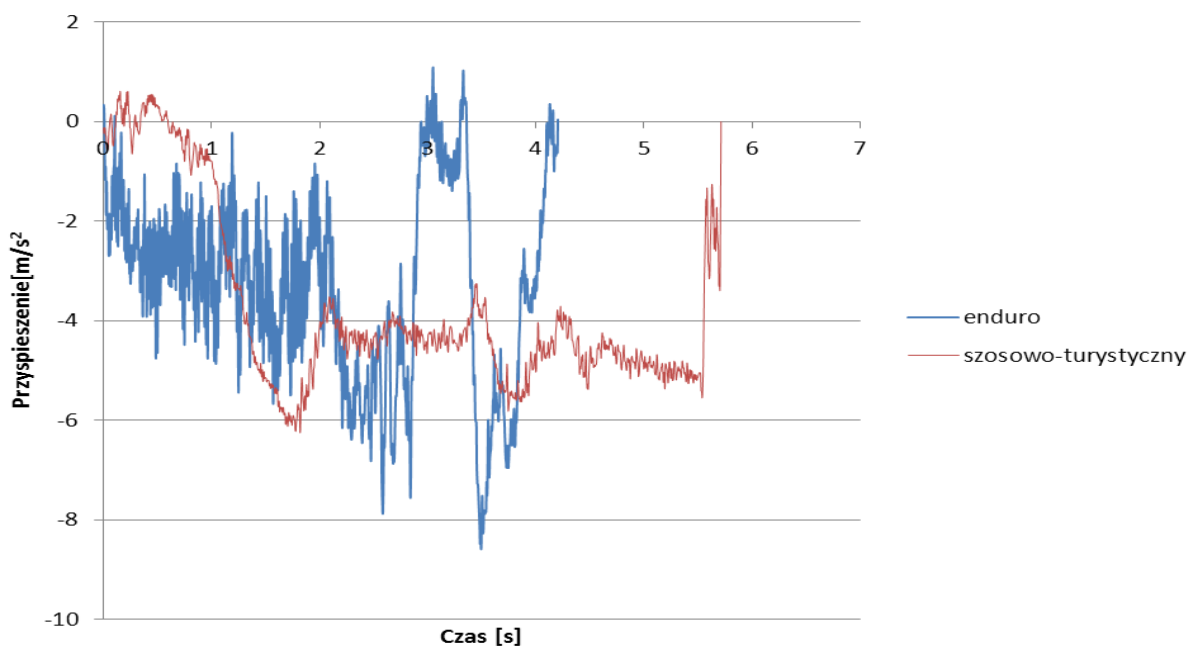
Rys. 9. Przyspieszenie wzdłużne motocykla Yamaha FZ 6 uzyskiwane na nawierzchni szutrowej  
Fig. 9. Longitudinal acceleration of the motorcycle Yamaha FZ 6 obtained on the gravel surface

Motocykl tego typu jest przeznaczony głównie do jazdy na nawierzchni utwardzonej, ale może się także poruszać po nawierzchniach gorszej jakości, takich jak np. analizowana nawierzchnia szutrowa. Tak jak można było przypuszczać, motocykl na tego typu nawierzchni bardzo łatwo wpada w poślizg, przez co znacznie ulega zmniejszeniu skuteczność hamowania. Najgorszym wynikiem cechuje się próba pochodząca z hamowania tylko hamulcem tylnym, podczas której koło wpadało w poślizg. Pojazd zatrzymał się dopiero po upływie niemal 8 s i przejechaniu 37 m.

Na rys. 10-15 porównano uzyskane dla motocykli klas enduro i szosowo-turystycznego przebiegi procesu hamowania otrzymane dla tych samych warunków badań.

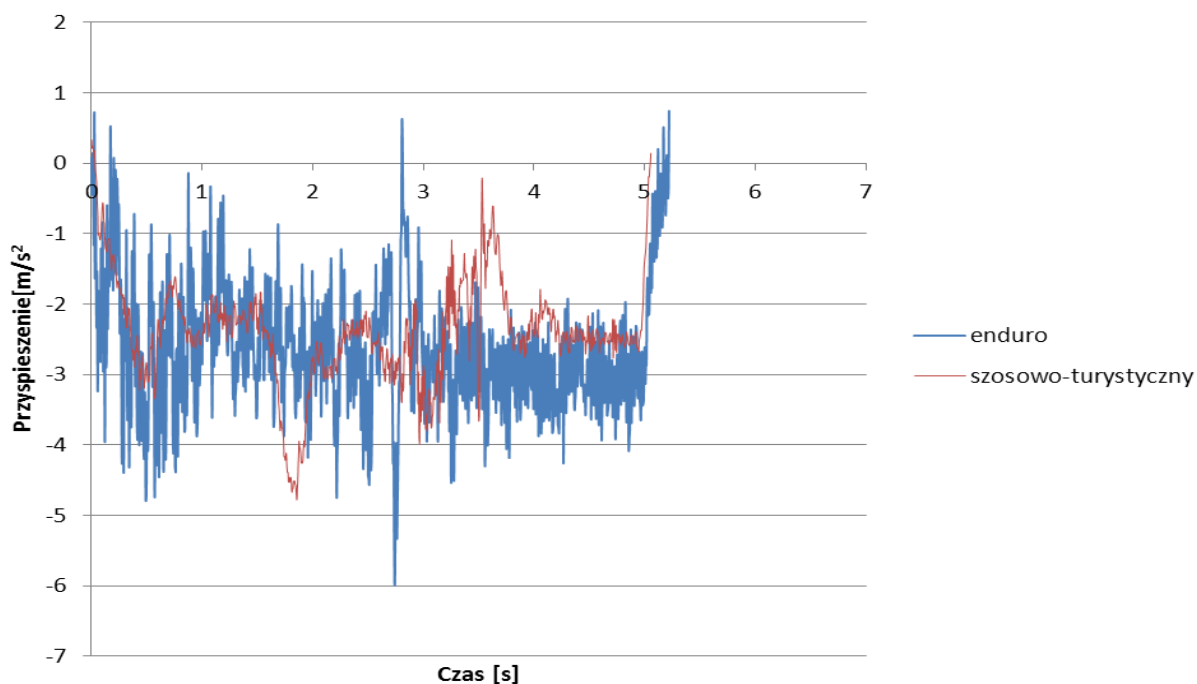
Uzyskane wyniki wskazują na przewagę motocykla klasy enduro nad szosowo-turystycznym. Należy jednak zaznaczyć, że w badaniach sprawdzano zachowanie motocykli w trudnych warunkach, tzn. na nawierzchni szutrowej oraz mokrym asfalcie, i to tylko przy stosunkowo małej prędkości, przy której rozpoczynano proces hamowania – ok. 50 km/h. Warunki drogowe miały wyraźne przełożenie na problemy z uzyskaniem przyczepności

w przypadku motocykla klasy szosowo-turystycznej. Problemy takie nie wystąpiły dla motocykla klasy enduro wyposażonego w terenowe opony.



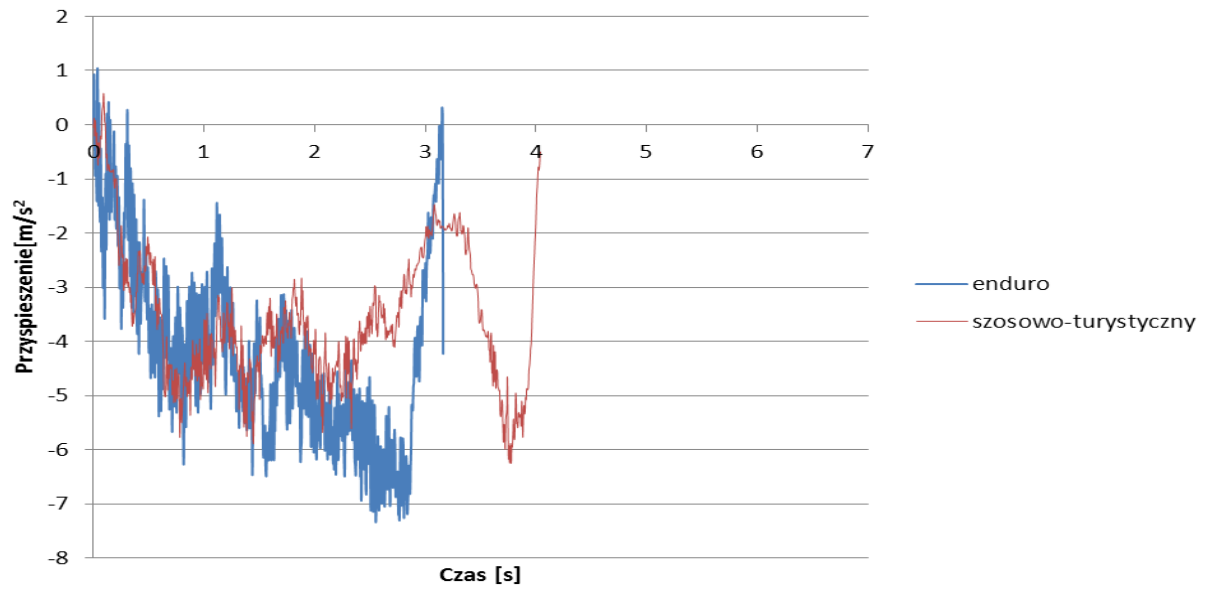
Rys. 10. Przyspieszenie wzdłużne uzyskiwane na nawierzchni asfaltowej przy wykorzystaniu hamulca tylnego

Fig. 10. Longitudinal acceleration obtained on the asphalt surface using the rear brake



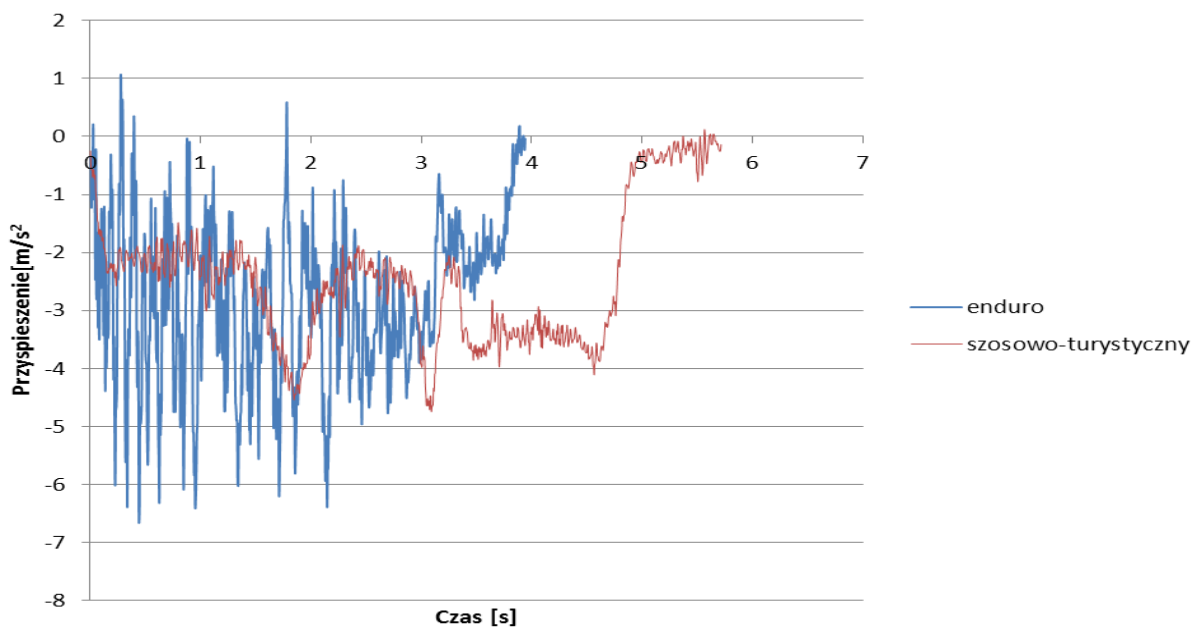
Rys. 11. Przyspieszenie wzdłużne uzyskiwane na nawierzchni asfaltowej przy wykorzystaniu hamulca przedniego

Fig. 11. Longitudinal acceleration obtained on the asphalt surface using the front brake



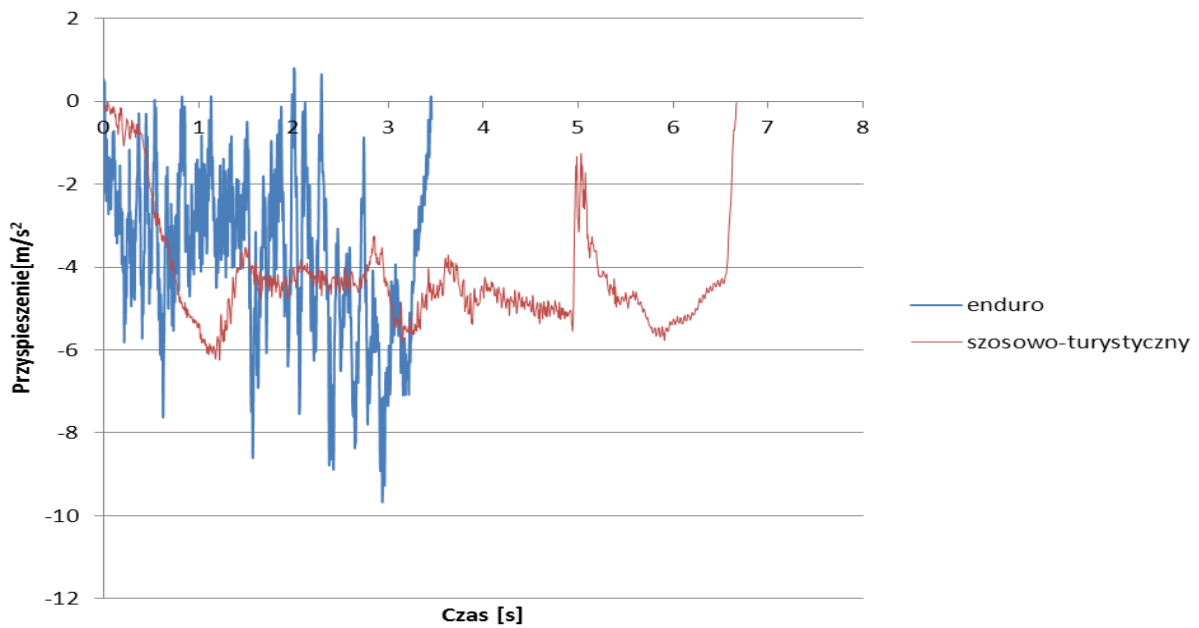
Rys. 12. Przyspieszenie wzdłużne uzyskiwane na nawierzchni asfaltowej przy równoczesnym wykorzystaniu hamulca przedniego i tylnego

Fig. 12. Longitudinal acceleration obtained on the asphalt surface while using the front and rear at the same time



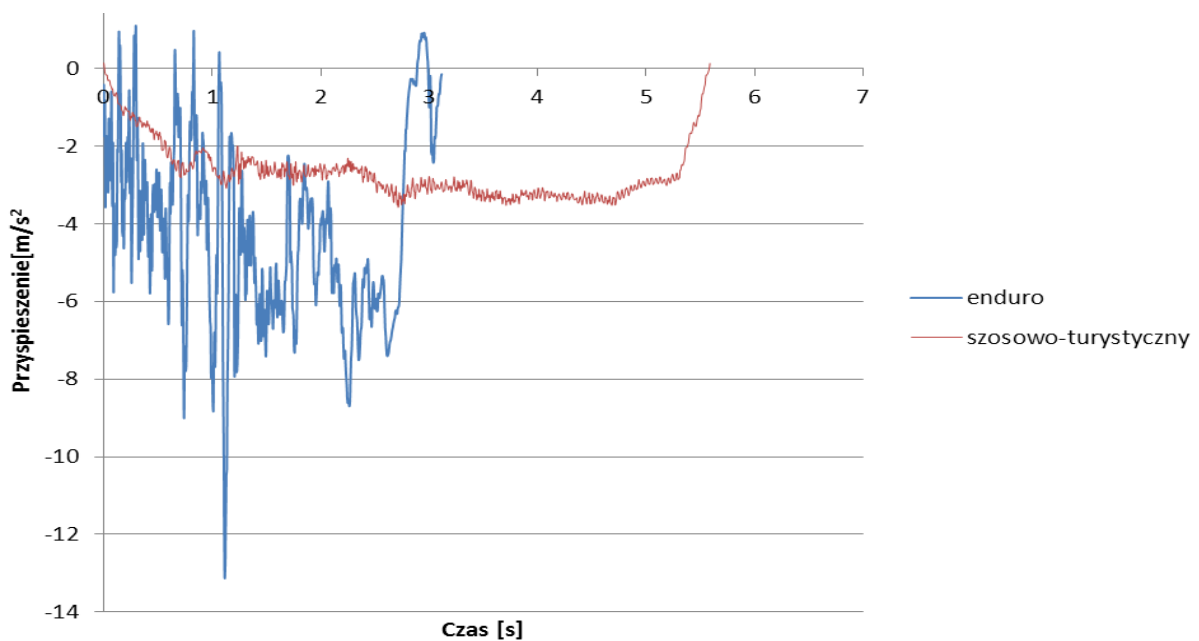
Rys. 13. Przyspieszenie wzdłużne uzyskiwane na nawierzchni szutrowej przy wykorzystaniu hamulca tylnego

Fig. 13. Longitudinal acceleration obtained on the gravel surface using the rear brake



Rys. 14. Przyspieszenie wzdłużne uzyskiwane na nawierzchni szutrowej przy wykorzystaniu hamulca przedniego

Fig. 14. Longitudinal acceleration obtained on the gravel surface using the front brake



Rys. 15. Przyspieszenie wzdłużne uzyskiwane na nawierzchni szutrowej przy równoczesnym wykorzystaniu hamulca przedniego i tylnego

Fig. 15. Longitudinal acceleration obtained on the gravel surface while using the front and rear at the same time

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Największą skuteczność hamowania zarówno w przypadku motocykla klasy enduro, jak i szosowo-turystycznego uzyskiwano przy jednoczesnym użyciu hamulców przedniego i tylnego.
2. Hamowanie motocyklem klasy enduro w trudnych warunkach drogowych cechuje się dużo większymi uzyskiwanymi wartościami opóźnienia hamowania niż w przypadku motocykla szosowo-turystycznego.
3. Na nawierzchniach śliskich duży wpływ na wartości chwilowych przyspieszeń wzdłużnych ma zachodzące zjawisko poślizgu, które w decydujący sposób determinuje wyniki.
4. Proces hamowania na nawierzchniach śliskich zależy od bardzo wielu czynników, tj. ostrożności kierowcy, poślizgu, przeszkód na drodze, a jego przebieg różni się od teoretycznego przebiegu hamowania.

#### Bibliografia

1. Chalecki M. 2006. *Konwencjonalne i elektroniczne układy hamulcowe*. [In Polish: *Conventional and electronic brake systems*]. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
2. Hough D.L. 2004. *Motocyklista doskonały*. [In Polish: *Perfect motorcyclist*]. Warszawa: Wydawnictwo Buk Rower.
3. Leiter R. 1998. *Hamowanie samochodów osobowych i motocykli*. [In Polish: *Braking cars and motorcycles*]. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
4. Miatluk M., Z. Kamiński. 2005. *Układy hamulcowe pojazdów: obliczenia*. [In Polish: *Braking systems of vehicles: calculations*]. Białystok: Wydawnictwo Politechniki Białostockiej.
5. Prochowski L. 2005. *Mechanika ruchu*. [In Polish: *Mechanics of movement*]. Warszawa: Wydawnictwo komunikacji i Łączności.
6. Prochowski L., J. Unarski, W. Wach, J. Wicher. 2008. *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. [In Polish: *Basics accident reconstruction*]. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
7. Reński A. 1997. *Budowa samochodów: układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszenia*. [In Polish: *Construction of car: braking and steering and suspension*]. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
8. Siłka W. 2002. *Teoria ruchu samochodu*. [In Polish: *Theory of a moving car*]. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
9. Wicher J. 2004. *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. [In Polish: *Safety cars and traffic*]. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
10. Wierciński J. (red.). 1985. *Wypadki drogowe – elementy analizy technicznej i opiniowania*. [In Polish: *Road accidents - elements of technical analysis and evaluation*]. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
11. Wierciński J., A. Reza (red.). 2011. *Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego*. [In Polish: *Road accidents. Vademecum of court expert*]. Kraków: Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych.