

BADANIA PROCESU HAMOWANIA MOTOROWERU NA NAWIERZCHNI Z KOSTKI BRUKOWEJ

W pracy zamieszczono wyniki badań procesu hamowania motoroweru na nawierzchni z kostki betonowej. Badania przeprowadzono w celu określenia możliwych do uzyskania średnich wartości pełnego opóźnienia pojazdu w zależności od sposobu hamowania motorowerem. Próby wykonano dla dwóch prędkości początkowych: 30 i 50 km/h oraz dla trzech wariantów hamowania: tylko hamulcem przednim, tylko hamulcem tylnym i jednoczesnego hamowania hamulcem przednim i tylnym. Wykonano kilkadziesiąt prób hamowania, z których do analizy przyjęto tylko te, które spełniały wymagania postawione w harmonogramie badań. Badania wykonano sprawnym technicznie motorowerem, w dobrych warunkach pogodowych. Aparaturę pomiarową stanowił opóźniomierz CL170, który pozwalał na archiwizację zmierzonych parametrów. W pracy przedstawiono przebiegi opóźnienia motoroweru w czasie dla różnych wariantów i prędkości początkowych hamowania. Wyznaczone wartości opóźnień mogą być przydatne w analizie wypadków drogowych.

WSTĘP

W artykułach zamieszczonych w czasopiśmie Logistyka w numerach 6/2014 i 3/2015 przedstawiono wyniki badań procesu hamowania motoroweru, które przeprowadzono na nawierzchni asfaltowej i szutrowej. Podjęcie i kontynuowanie takiej tematyki badawczej spowodowane było licznymi pytaniami kierowanymi do pracowników Zakładu Pojazdów Katedry Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej dotyczącymi parametrów charakterystycznych dla procesu hamowania jednośladowych pojazdów silnikowych np. motorowerów. Rozpoczęcie prób od nawierzchni asfaltowej wydało się wówczas oczywiste. Tego typu podłoża stanowią bowiem budulec zdecydowanej większości dróg, na których dochodzi do kolizji bądź wypadków drogowych. Z punktu widzenia analizy takich zdarzeń drogowych, w tym oceny możliwości ich uniknięcia, istotna jest wiedza na temat możliwych opóźnień uzyskiwanych przez te pojazdy. Autorzy po przeanalizowaniu dostępnych źródeł stwierdzili, że istnieje trudność z pozyskaniem takich danych. W związku z tym zasadnym wydało się podjęcie badań zmierzających do szczegółowego poznania parametrów procesu hamowania motoroweru na różnych nawierzchniach.

Przeprowadzone pilotażowe badania drogowe na nawierzchni o wysokiej wartości współczynnika przyczepności pozwoliły na uzyskanie istotnych informacji dotyczących opóźnień hamowania, długości dróg hamowania oraz śladów hamowania dla różnych prędkości początkowych oraz sposobów hamowania.

W czasopiśmie Logistyka 3/2015 przedstawiono wyniki badań procesu hamowania motoroweru, które przeprowadzono na nawierzchni szutrowej. W ocenie autorów jest to drugi rodzaj najczęściej wykorzystywanej przez motorowerzystów nawierzchni. Również te badania dostarczyły istotnych informacji dotyczących opóźnień hamowania, długości dróg hamowania oraz śladów hamowania dla różnych prędkości początkowych oraz sposobów hamowania.

Treść poniższego artykułu wynika z kontynuowania badań procesu hamowania na różnych nawierzchniach i odnosi się do hamowania motoroweru na suchej nawierzchni z kostki brukowej.

1. PLAN BADAŃ

W ramach badań założono przeprowadzenie prób hamowania w takich samych warunkach, dla których prowadzono próby na nawierzchni asfaltowej i szutrowej, tj. w czasie dobrych warunków atmosferycznych. Założono, że próby będą wykonane na suchej nawierzchni, w słoneczny dzień, przy temperaturze powietrza co najmniej 25°C. Próby przeprowadzono dla dwóch prędkości początkowych 30 i 50 km/h, a manewry hamowania przeprowadzono dla trzech wariantów: przy użyciu tylko hamulca przedniego, tylko tylnego oraz przedniego i tylnego jednocześnie.

2. OBIEKT BADAŃ, APARATURA POMIAROWA I WARUNKI BADAŃ

Do badań wykorzystano motorower marki PGO G-MAX 50, model rok 2008. Jest to pojazd, który właściwościami technicznymi i jakością wykonania dorównuje produktom czołowych firm europejskich.

Dane techniczne motoroweru:

- silnik: jednocyldrowy, dwusuwowy, chłodzony powietrzem, o pojemności 49 cm³, mocy 2,2 kW (przy 6250 obr/min) i momencie obrotowym 3,5 Nm (przy 5000 obr/min),
- skrzynia biegów: automatyczna,
- długość/szerokość/wysokość: 1,855 m / 0,730 m / 1,170 m,
- rozstaw osi: 1365 mm,
- wysokość siedzenia: 0,82 m,
- masa własna: 105 kg,
- rozmiar opon: przód 120/70-12", tył 130/70-12",
- hamulec przedni tarczowy z tarczą typu Wave, z dwutłoczkowym zaciskiem pływającym,
- hamulec tylny bębnowy,
- przewody hamulcowe w oplocie stalowym.

Pojazd użyty do badań był w bardzo dobrym stanie technicznym.

Do pomiaru opóźnienia pojazdu hamowanego wykorzystano opóźniomierz CL170 produkcji Zakładu Elektroniki Pomiarowej

Wielkości Nielektrycznych w Markach. Widok pojazdu z zamontowanym urządzeniem pomiarowym pokazano na rysunku 1. Masa pojazdu przygotowanego do badań wraz z kierującym wynosiła 190 kg.



Rys. 1. Widok motoroweru z zamontowanym urządzeniem pomiarowym.

Próby hamowania wykonano na suchej, równej i płaskiej nawierzchni z kostki brukowej, przy temperaturze otoczenia 27°C. Widok nawierzchni odcinka badawczego pokazano na rysunku 2.



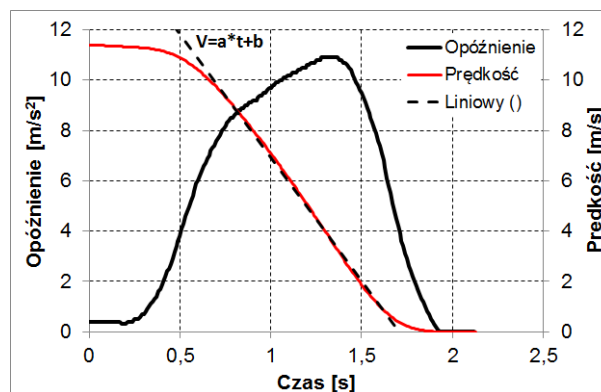
Rys. 2. Widok nawierzchni odcinka badawczego.

3. PRZEBIEG BADAŃ I WYNIKI POMIARÓW

Pomiary, zgodnie z przyjętym planem, wykonywano dla dwóch prędkości początkowych i trzech wariantów hamowania motorowerem (tylko hamulcem przednim, tylko tylnym i obydwojma jednocześnie). W trakcie prób rejestrowano przebieg opóźnienia motoroweru w czasie. Badania rozpoczęto od prędkości początkowej 30 km/h, następnie wykonano próby dla 50 km/h. Prędkości te określano na podstawie prędkościomierza pojazdu, zdając sobie jednocześnie sprawę z dokładności tego przyrządu. Taki harmonogram badań miał zapewnić przygotowanie kierującego do coraz trudniejszych manewrów hamowania.

W regulaminie nr 13 EKG ONZ załącznik 4 przedstawiona jest metoda obliczania średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia (MFDD). Do jego obliczenia wymagany jest pomiar prędkości i drogi hamowania. Wyposażenie pojazdu badawczego tylko w opóźniomierz uniemożliwia skorzystanie z zależności przedstawionej w załączniku 4 wyżej wymienionego regulaminu. Wynika to przede wszystkim z trudności w określeniu dokładnej prędkości początkowej procesu hamowania i chwili, w której pojazd osiągnął prędkość równą zero. Wobec powyższego na potrzeby niniejszego artykułu w celu obliczenia średniego pełnego opóźnienia motoroweru otrzy-

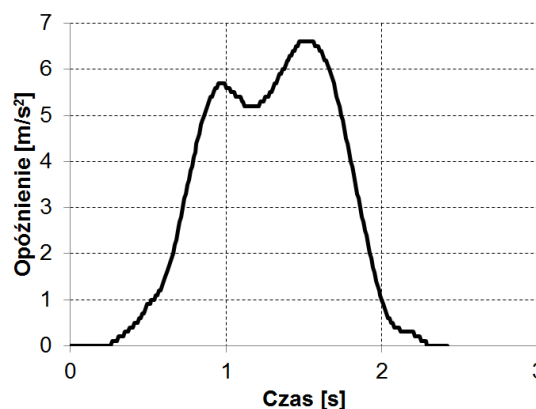
mane wyniki w postaci przebiegu opóźnienia w czasie poddano całkowaniu. Do całkowania przyjęto oszacowaną chwilę zatrzymania pojazdu. Taka niedokładność w przyjętej metodzie nie wpływała na wyniki obliczonej wartości średniego pełnego opóźnienia. Otrzymany przebieg prędkości w czasie w fazie pełnego hamowania zbliżony jest do liniowego. Aproksymując go liniowo w zakresie od 0,1 do 0,8 prędkości początkowej (co jest zgodne z ww. regulaminem) obliczono średnie opóźnienie w fazie pełnego hamowania. Na rysunku 3 zobrazowano graficznie przyjętą metodę opracowania wyników.



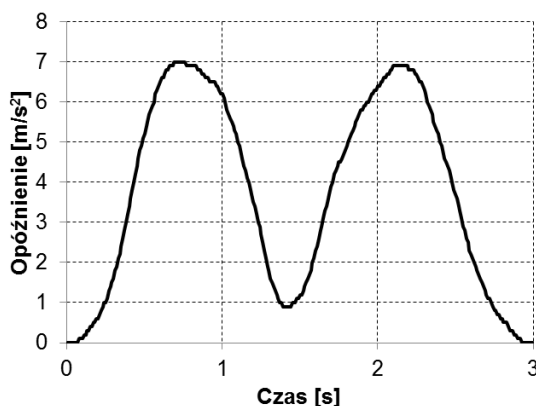
Rys. 3. Graficzna prezentacja przyjętej metody opracowania wyników.

3.1. Hamowanie hamulcem przednim

Poniżej przedstawiono przykładowe przebiegi opóźnienia motoroweru w czasie hamowania tylko hamulcem koła przedniego, dla każdej z dwóch prędkości początkowych – rysunek 4 i 5.



Rys.4. Przykładowy przebieg opóźnienia w czasie dla prędkości początkowej 30 km/h.



Rys.5. Przykładowy przebieg opóźnienia w czasie dla prędkości początkowej 50 km/h.

Zestawienie wyników badań dla dwóch prędkości początkowych hamowania zamieszczono w tabeli 1. Należy zwrócić uwagę, że podane wartości prędkości początkowych mają charakter orientacyjny. Wyniki obliczeń prędkości na podstawie przebiegów opóźnienia dały inne wartości prędkości początkowych hamowania, niż te wynikające ze wskazań prędkościomierza. Odpowiednio dla wskazań 50 km/h było to średnio 43 km/h, dla 30 km/h – 25 km/h. W tabelach pozostawiono jednak wartości wynikające ze wskazań prędkościomierza.

Tab. 1. Parametry hamowania motoroweru z użyciem jedynie hamulca przedniego

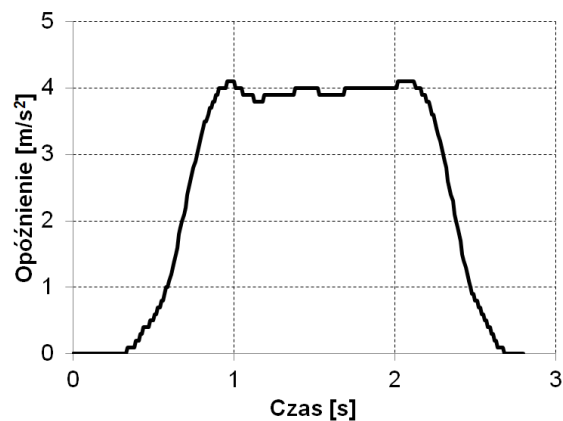
Prędkość początkowa [km/h]	Średnie opóźnienie przy pełnym hamowaniu [m/s ²]	Szerokość śladu hamowania [m]
30	5,9÷6,8	0,065
50	2,2÷3,6	0,065

Analizując otrzymane wyniki badań zwrócono uwagę na istotny spadek opóźnienia hamowania występujący w okolicach połowy czasu hamowania – patrz rys. 5. Taki charakter zmian opóźnienia zaobserwowano we wszystkich próbach wykonanych dla prędkości początkowej 50 km/h. Okazało się, że przy wyższych prędkościach motoroweru kierujący początkowo gwałtownie naciskał na dźwignię hamulca, po czym w chwili zablokowania koła przedniego zmniejszał siłę nacisku na dźwignię, w celu utrzymania stabilności ruchu. Jak widać takie zachowanie skutkowało uzyskiwaniem znacznie mniejszych średnich wartości opóźnień hamowania niż te uzyskiwane przy mniejszych prędkościach początkowych motoroweru – patrz tab. 1. Wykonano także próby, w których kierujący miał za zadanie nie doprowadzać do takiej sytuacji. Wówczas odnotowano mniej gwałtowne narastanie opóźnienia. Średnie opóźnienia hamowania były jednak większe i zbliżone do tych z prób prowadzonych przy 30 km/h. Uznano jednak, że w sytuacji rzeczywistego zagrożenia kierujący zazwyczaj będzie reagował gwałtownie. W związku z tym w tabeli zamieszczone tylko wyniki z pierwszych prób – uwzględniających „naturalne” reagowanie kierującego.

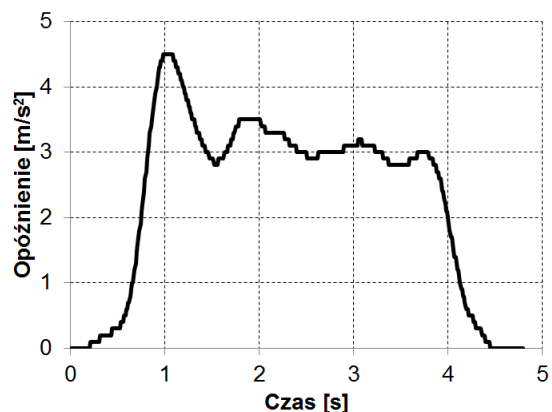
Po wykonanych próbach hamowania zaobserwowano wyraźne, dobrze wysycone ślady hamowania pozostawione na jezdni przez oponę koła hamowanego. W każdej próbie hamowania z prędkości 30 km/h ujawniono ślady hamowania o długościach 1,70÷2,38 m. Dla hamowania z prędkości 50 km/h tylko w niektórych próbach ujawniono ślady. Długości ich mieściły się w przedziale 0,7÷2,35 m. Zaobserwowano przy tym, że w próbach, w których nie ujawniono śladów hamowania uzyskiwano krótsze drogi hamowania. Nie zaobserwowano natomiast różnic w szerokości śladu w zależności od prędkości początkowej prób. W czasie hamowania nie dochodziło do podniesienia tylnego koła pojazdu, tak jak to miało miejsce na nawierzchni asfaltowej [3].

3.2. Hamowanie hamulcem tylnym

Poniżej przedstawiono przykładowe przebiegi opóźnienia motoroweru w czasie jego hamowania tylko hamulcem koła tylnego, dla każdej z dwóch prędkości początkowych – rysunek 6 i 7.



Rys.6. Przykładowy przebieg opóźnienia w czasie dla prędkości początkowej 30 km/h.



Rys.7. Przykładowy przebieg opóźnienia w czasie dla prędkości początkowej 50 km/h.

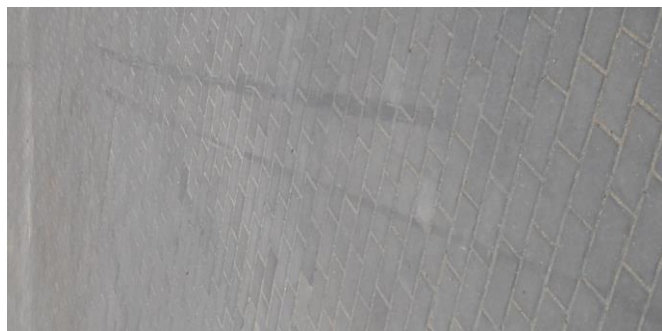
Zestawienie wyników badań dla dwóch prędkości początkowych hamowania zamieszczono w tabeli 2.

Tab. 2. Parametry hamowania motoroweru z użyciem jedynie hamulca tylnego

Prędkość początkowa [km/h]	Średnie opóźnienie przy pełnym hamowaniu [m/s ²]	Szerokość śladu hamowania [m]
30	3,5÷4,0	0,04
50	3,0÷3,3	0,04

Po wykonanych próbach na drodze zaobserwowano ślady hamowania o szerokościach 0,04 m powstałe w wyniku tarcia opony koła tylnego o nawierzchnię. Nie zaobserwowano natomiast różnic w szerokości śladu w zależności od prędkości początkowych prób.

Na rysunku 8 przedstawiono dwa ślady hamowania. Górny ślad powstał podczas hamowania tylko kołem przednim, a dolny podczas hamowania tylko kołem tylnym. Z łatwością można zaobserwować, że ślad pozostawiony kołem przednim ma większą szerokość i jest lekko łukowaty, natomiast koło tylne pozostawiło ślad wyraźnie węższy, słabiej wysycony i przebiegający prostoliniowo.

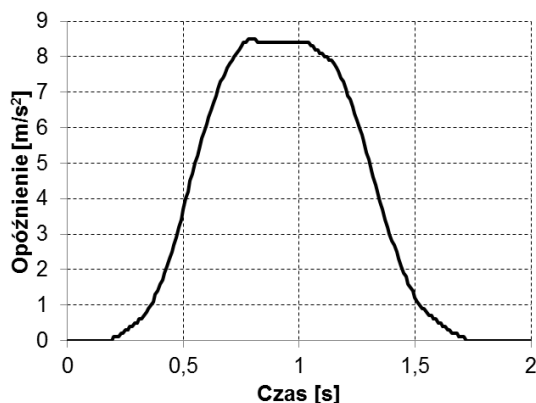


Rys.8. Widok śladu hamowania kołem przednim (górny) i kołem tylnym (dolny).

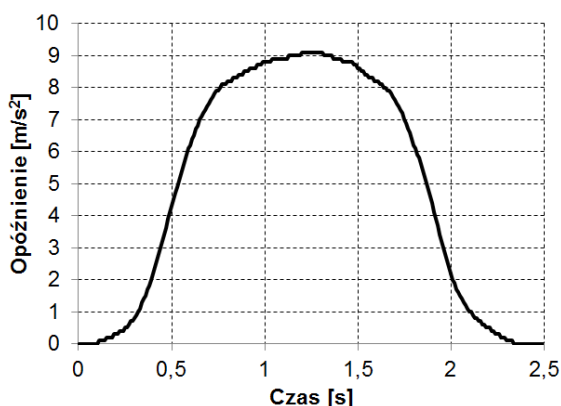
Średnia długość ujawnionych śladów hamowania wynosiła około 4,5 m dla prędkości początkowej 30km/h i 15 m dla prędkości początkowej 50 km/h. Przy większych prędkościach w większości przypadków ślady hamowania były słabo wysyczone.

3.3. Jednoczesne hamowanie hamulcem przednim i tylnym

Poniżej przedstawiono przykładowe przebiegi opóźnienia motoroweru w czasie jego jednoczesnego hamowania hamulcami kół przedniego i tylnego, dla każdej z dwóch prędkości początkowych – rysunek 9 i 10.



Rys.9. Przykładowy przebieg opóźnienia w czasie dla prędkości początkowej 30 km/h.



Rys.10. Przykładowy przebieg opóźnienia w czasie dla prędkości początkowej 50 km/h.

Zestawienie wyników badań dla dwóch prędkości początkowych hamowania zamieszczono w tabeli 3.

Tab. 3. Parametry hamowania motoroweru z użyciem hamulca przedniego i tylnego

Prędkość początkowa [km/h]	Średnie opóźnienie przy pełnym hamowaniu [m/s ²]	Szerokość śladu hamowania [m]
30	7,9+8,6	0,040±0,065
50	8,3+8,7	0,040±0,065

Po wykonanych próbach zaobserwowano, że blokowanie koła tylnego następowało w początkowym etapie próby, natomiast do blokowania koła przedniego dochodziło w końcowym etapie hamowania. Ślady hamowania koła tylnego miały szerokość 0,040 m, a koła przedniego 0,065 m. Dla prędkości początkowej 30 km/h zaobserwowano krótkie, około 40 centymetrowe ślady pozostawione przez koło przednie. Dla prędkości 50 km/h ślady pozostawione przez koło przednie sięgały nawet 2 metrów długości. Średnia długość śladów hamowania dla prędkości początkowej 30 km/h wynosiła 1,57±2,56 m, a dla 50 km/h były to długości w przedziale 5,93±6,40 m.

PODSUMOWANIE

Podsumowując należy wskazać, że podobnie jak w przypadku badań opisanych w [3] i [4] próby hamowania wykonano z wykorzystaniem tego samego, w pełni sprawnego technicznie, wyposażonego w bardzo dobry (jak na standardy motorowerów) układ hamulcowy pojazdu. W badaniach opisanych w [3], [4] oraz w powyższym artykule kierującym motorowerem była ta sama osoba posiadająca uprawnienia i wieloletnie doświadczenie w prowadzeniu pojazdów jednośladowych, uczestnicząca w wielu szkoleniach doskonalenia techniki i taktyki jazdy. Dodatkowo kierujący rozpoczął hamowania w wybranym przez siebie momencie i nie wynikał on z sytuacji zagrożenia. Takie zestawienie gwarantowało uzyskanie stosunkowo dużych wartości opóźnień hamowania adekwatnych do nawierzchni odcinka badawczego, przy zachowaniu bezpieczeństwa kierującego podczas każdej z prób oraz dużej powtarzalności prób hamowania.

Próby badawcze przedstawione w [3] wykonane były na czystej, suchej nawierzchni asfaltowej. Zwrócono wówczas uwagę na fakt, że wartości opóźnień osiągane w rzeczywistych warunkach drogowych na nawierzchni asfaltowej mogą być mniejsze od przedstawionych w artykule, ponieważ w realnych warunkach nawierzchnie są zanieczyszczone np. piachem.

W powyższym artykule przedstawiono wyniki próby badawczych wykonywanych na nawierzchni z kostki brukowej, która była w niewielkim stopniu zanieczyszczona piachem, który w procesie technologicznym układania nawierzchni, stanowi wypełnienie pomiędzy poszczególnymi kostkami betonowymi. Nawierzchnia celowo była niepozamiatana, aby wartości opóźnień osiągane podczas badań odpowiadały wartościom możliwym do osiągnięcia w rzeczywistych warunkach drogowych na nawierzchni tego typu.

Przedstawione w artykule wartości osiąganych opóźnień hamowania, szerokości i długości oraz wysycenie śladów hamowania dla różnych technik hamowania, mogą posłużyć do rekonstrukcyjnej analizy zdarzeń drogowych.

Autorzy zaplanowali przeprowadzenie kolejnych badań z wykorzystaniem innych kierujących i pojazdów badawczych, np. motocykli. Dodatkowo założono, że dalsze prace będą prowadzone z wykorzystaniem dodatkowo czujników: prędkości pojazdu, prędkości kół jezdnych oraz czujników uruchomienia dźwigni hamulców. Pozwoli to na dokładniejszą analizę procesu hamowania pojazdu jednośladowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Arczyński St., *Mechanika ruchu samochodu*, WNT, Warszawa 1993.
2. Bułka D., Walczak S., Wolak S., *Proces hamowania – aspekt prawny i techniczny w ujęciu symulacyjnym i analitycznym*, III Konferencja naukowo-szkoleniowa „Rozwój techniki samochodowej a ubezpieczenia komunikacyjne”, Radom 2006.
3. Gołaszewski A., Szydłowski T., *Badania procesu hamowania motoroweru na nawierzchni o dużej wartości współczynnika przyczepności*, Logistyka 6/2014.
4. Gołaszewski A., Szydłowski T., *Badania procesu hamowania motoroweru na nawierzchni szutrowej*, Logistyka 3/2015.
5. Orzełowski S., *Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów*, Warszawa 1995.
6. Walczak S., Wolak S., *Identyfikacja sposobu hamowania motocykla na podstawie charakteru śladu współpracy opony z jezdnią*, Zeszyty naukowe Instytutu Pojazdów nr 1 (77)/2010.
7. Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich 93/14/EWG z dnia 5 kwietnia 1993 r. w sprawie hamowania dwu- lub trzykołowych pojazdów silnikowych.
8. Regulamin nr 13 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych. Załącznik 4 – Badania hamowania i skuteczności układów hamulcowych.
9. *Wypadki drogowe w Polsce w 2007 roku*, Komenda Główna Policji, Warszawa 2008.
10. *Wypadki drogowe w Polsce w 2013 roku*, Komenda Główna Policji, Warszawa 2014.

Research of moped motorbike braking process on the gravel surface

The paper presents the results of the moped braking process on the surface with a high friction coefficient. Tests were conducted to determine possible mean fully developed decelerations for moped. Tests were conducted for two initial speeds: 30 and 50 kph and for three variants of braking: only the front brake, the rear only and simultaneous braking front and rear. Dozens of braking tests were made, but analysed were only those that meet the requirements put in the schedule of tests. The study was performed in good weather conditions. Used moped was technically efficient. During the tests braking deceleration of moped was measured and recorded by decelerometer CL170. The paper presents graphs of moped delay in time for different variants and three initial braking speeds. Designated delay values may be useful in the analysis of road accidents.

Autorzy:

dr inż. **Adam Gołaszewski** – Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn, adam.golaszewski@p.lodz.pl

dr inż. **Tomasz Szydłowski** – Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn, tomasz.szydowski@p.lodz.pl