

Badania dynamiczne pojazdów typu ATV w ruchu prostoliniowym

SŁAWOMIR TARKOWSKI¹

Politechnika Lubelska

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawione zostały wyniki badań przyspieszenia i opóźnienia hamowania pojazdów typu ATV podczas manewrów wykonywanych w ruchu prostoliniowym. Podczas pomiarów opóźnienia uwzględniana była technika wykonywania manewru hamowania. Manewr ten wykonywano stosując trzy różne kombinacje wykorzystania hamulców. W pierwszej pojazdy hamowane były przy wykorzystaniu jedynie hamulca tylnego, w drugiej przy wykorzystaniu jedynie hamulca przedniego, a w trzeciej za pomocą hamulców obu osi - jednocześnie. Wykorzystano cztery pojazdy, które różniły się parametrami technicznymi (pojemność i moc silnika, masa pojazdu). Pomiary prowadzone były na suchych nawierzchniach o różnym współczynniku przyczepności: asfaltowej i szutrowej. Manewry wykonywane były w sposób ekstremalny, tj. z maksymalną możliwą siłą nacisku na dźwignie hamulca i z maksymalnie otwartą przepustnicą. Dane rejestrowano za pomocą rejestratora Merex. Wyniki przedstawiono w formie wykresów (w funkcji czasu) oraz w tabelach (maksymalne wartości parametrów dla poszczególnych manewrów). Wyniki badań uzupełniają wiedzę specjalną, wykorzystywaną w procesie rekonstrukcji wypadków drogowych z udziałem pojazdów tego typu.

Słowa kluczowe: ATV, quad, przyspieszenie, opóźnienie

¹ Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38 D, 20-618 Lublin; e-mail: s.tarkowski@pollub.pl

1. Wstęp

Na przestrzeni kilkunastu ostatnich lat można zaobserwować rosnącą popularność pojazdów typu all terrain vehicle (ATV), które potocznie określane są jako quady. ATV to pojazdy, które mogą się poruszać praktycznie w każdym terenie. Zgodnie z definicją sformułowaną przez American National Standards Institute (ANSI), pojazd typu ATV jest pojazdem terenowym wyposażonym w niskociśnieniowe opony, w którym kierujący zajmuje miejsce podobnie jak na motocyklu (tj. „okrakiem”). Pojazd taki wyposażony jest ponadto w kierownicę typu motocyklowego [7]. W nomenklaturze polskiej do określenia pojazdów tego typu stosowane są również określenia takie jak „wszędolaz” lub „czterokołowiec”.

Quady mają różnorodne zastosowanie. Z uwagi na swoje walory użytkowe i tzw. „dzielność” w terenie wykorzystywane są często jako narzędzie pracy przez służby leśne, służby ochrony pogranicza lub wojsko. Szeroki wachlarz opcjonalnego wyposażenia umożliwia ich wykorzystanie w rolnictwie, ratownictwie górskim lub przez służby drogowe i służby utrzymania czystości. Quady są również bardzo często wykorzystywane do celów rekreacyjnych. Ten sposób wykorzystania budzić może szczególne obawy w kontekście bezpieczeństwa ruchu. W ostatnich latach obserwuje się spadek cen pojazdów tego typu – najtańsze wersje można kupić za kwotę rzędu 3 tysięcy złotych. Szeroką dostępność i stosunkowo niską cenę można uznać za kluczowy czynnik wpływający na zwiększenie liczby użytkowanych pojazdów. Dostępne statystyki nie dają pełnego obrazu na temat ich faktycznej liczby z uwagi na nieprecyzyjne zapisy w aktach prawnych na podstawie których pojazdy ATV były rejestrowane przed podpisaniem przez Polskę traktatu akcesyjnego z UE.

Pierwsze pojazdy typu ATV pojawiły się na polskim rynku w połowie lat 90. Obowiązujący wówczas stan prawny nie był dostosowany do jednoznacznego sklasyfikowania tych pojazdów i przyporządkowania do odpowiedniej grupy. Z uwagi na to rejestrowane były jako ciągniki rolnicze, motocykle, motorowery lub jako pojazdy samochodowe inne. Dopiero od chwili implementacji przepisów homologacyjnych do polskiego prawodawstwa quady są rejestrowane jako pojazdy samochodowe. Zgodnie z nowelizacją przepisów [5], [6] są to pojazdy samochodowe podrodzaju lekki pojazd czterokołowy lub pojazd czterokołowy inny niż lekki. Zgodnie z [5] lekkim pojazdem czterokołowym jest pojazd, którego masa bez obciążenia nie przekracza 350 kg - nie wliczając w to masy akumulatorów jeżeli jest to pojazd elektryczny. Maksymalna prędkość konstrukcyjna czterokołowca lekkiego nie przekracza ponadto 45 km/h, a pojemność skokowa silnika nie może przekraczać 50 cm³ - w przypadku silnika z zapłonem iskrowym. Jeżeli pojazd jest wyposażony w inny typ silnika ze spalaniem wewnętrznym, lub w silnik elektryczny, to maksymalna moc nie powinna przekraczać 4 kW. Pojazdy czterokołowe (inne niż lekkie) to takie, których masa bez obciążenia nie przekracza 400 kg lub 550 kg – dla pojazdów przeznaczonych do przewożenia towarów (nie wliczając w to masy akumulatorów w przypadku pojazdów elektrycznych). Maksymalna moc użyteczna silnika takiego pojazdu nie przekracza 15 kW.

Precyzyjną liczbę eksploatowanych quadów utrudnia ponadto fakt, że znaczna ich część nie została zarejestrowana w ogóle, z uwagi na ich (przynajmniej teoretyczne) wykorzystanie poza drogami publicznymi. Quady – podobnie jak samochody – mają cztery koła, jednak ich użytkowanie wiąże się dla użytkowników ze znacznie większym ryzykiem w porównaniu do samochodów. Rozstaw osi i rozstaw kół jest dużo mniejszy niż w samochodzie, z uwagi na proporcje mas (pojazd/kierowca) wysokość położenia środka masy quada obciążonego zwiększa się w stosunku do nieobciążonego. Z punktu widzenia stateczności i kierowności jest to niekorzystne i niebezpieczne (quady są mało stabilne i łatwo się przewracają) [2]. Cecha ta stanowi ich podstawową wadę i wpływa na obniżenie poziomu bezpieczeństwa. Pojazdy ATV dysponują często silnikami o dużej mocy, co w połączeniu z niewielką masą i wysoko położonym środkiem ciężkości może stanowić dla użytkowników problem i stanowić potencjalne zagrożenie – szczególnie dla niedoświadczonych kierujących. Pomimo tego do kierowania quadem nie jest wymagane specjalne prawo jazdy. Czterokołowcem lekkim mogą kierować osoby posiadające prawo jazdy od kategorii AM.

Do kierowania czterokołowcem uprawnia prawo jazdy kategorii B1 i kolejne [6].

W chwili obecnej nie są prowadzone osobne statystyki w oparciu o które możliwe byłoby określenie faktycznej liczby wypadków z udziałem pojazdów tego typu [11], [12], jednak na podstawie coraz częściej pojawiających się w mediach doniesień można zaobserwować, że zdarzają się one coraz częściej [8], [9], [10], [13], [14], [15]. Można przypuszczać, że liczba wypadków z udziałem quadów (szczególnie tych ciężkich) będzie się zwiększać. W literaturze fachowej wykorzystywanej w procesie opiniowania wypadków drogowych (m.in. [3] [4]) brak jest danych ilościowych, które mogłyby stanowić podstawę do odtwarzania przebiegu wypadków komunikacyjnych z udziałem pojazdów ATV. Wobec rosnącej liczby użytkowanych pojazdów tego typu i związanej z nią liczbą zdarzeń, w których użytkownicy i osoby postronne doznają obrażeń ciała, stanowić to może poważny problem w przyszłości. Podobny stan obserwowano już wcześniej – w przypadku motocykli, których znaczna liczba pojawiła się w latach 90-tych. Od tego czasu notowano stały wzrost liczby wypadków z udziałem jednośladów, jednocześnie specjaliści zajmujący się zagadnieniami odtwarzania wypadków nie dysponowali publikacjami naukowymi w oparciu o które mogliby opisywać zachowanie motocykli w sytuacjach ekstremalnych. W świetle tego niezbędnym wydaje się dostarczenie narzędzi w postaci zestawu parametrów, które można było by wykorzystać w procesie opiniowania wypadków z udziałem quadów. Uwzględniając powyższe podjęto niniejszą tematykę.

Celem badań omówionych w niniejszej pracy było określenie maksymalnych wartości przyspieszenia i opóźnienia dla wybranych pojazdów ATV podczas wykonywania manewrów w ruchu prostoliniowym na nawierzchniach różnego typu.

2. Metodyka badań

Badania prowadzono na prostoliniowych i poziomych odcinkach pomiarowych o nawierzchni asfaltowej i szutrowej (w obydwu przypadkach nawierzchnia była sucha). Rejon w którym prowadzono badania przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Rejestrowano przyspieszenie w osi wzdłużnej podczas rozpędzania quada do prędkości 30 km/h i podczas hamowania z tej prędkości. Wykorzystano w tym celu urządzenie Merex, które było wyposażone w trzy akcelerometry monitorujące oś wzdłużną, poprzeczną i pionową. Rozdzielczość pomiarowa urządzenia była równa $0,01 \text{ m/s}^2$, a częstotliwość próbkowania wynosiła 10 Hz. Urządzenie wyposażone było również w układ GPS. Dane (z wyjątkiem danych dotyczących lokalizacji pojazdu i jego prędkości chwilowej) wyświetlane były na wyświetlaczu i zapisywane w wewnętrznej pamięci urządzenia. Wygląd urządzenia rejestrującego przedstawiono na rysunku 3. Urządzenie rejestrujące nie zostało wyposażone w układ kompensujący wpływ pochyłości bryły pojazdu na dokładność wskazań, toteż w celu ograniczenia błędów pomiarowych zamontowano je na kierownicy (sposób zamocowania urządzenia pomiarowego pokazano na rysunku 4). Żaden z badanych pojazdów nie posiadał w swoim wyposażeniu prędkościomierza. W celu kontroli przez kierującego wartości

prędkości chwilowej podczas przejazdów, wykorzystano urządzenie Tom Tom wyposażone w odbiornik GPS i ekran (rysunek 3).

Z uwagi na dokładność tego urządzenia konieczne było określenie w procedurze prób, aby po rozpędzeniu pojazdu do zadanej prędkości 30 km/h, przed rozpoczęciem hamowania, kierowca utrzymywał tą prędkość przez minimum 2 sekundy.

Pomiary wykonywano w krótkich odstępach czasu co zapewniało utrzymanie zbliżonej temperatury elementów ciernych układu hamulcowego w poszczególnych próbach. Z uwagi na konstrukcję układu hamulcowego i przewidywany wpływ techniki hamowania na wartość opóźnienia, podczas badań uwzględniano sposób hamowania (tj. hamulcem przednim, tylnym i obydwoma jednocześnie). Z uwagi na zapewnienie możliwie wysokiej powtarzalności warunków prób przejazdy realizowane były przez jednego kierowcę. Był nim mężczyzna o masie około 100 kg (łącznie z odzieżą i kaskiem) i wzroście 190 cm. Jego zadaniem było realizowanie zaplanowanych manewrów z maksymalną możliwą do uzyskania siłą nacisku na dźwignię hamulca (podczas hamowania) i z maksymalnie otwartą przepustnicą (podczas rozpędzania). Podczas badań rozpędzania pojazdów wyposażonych w manualną skrzynię biegów założono aby manewr realizowany był bez zmiany przełożenia.



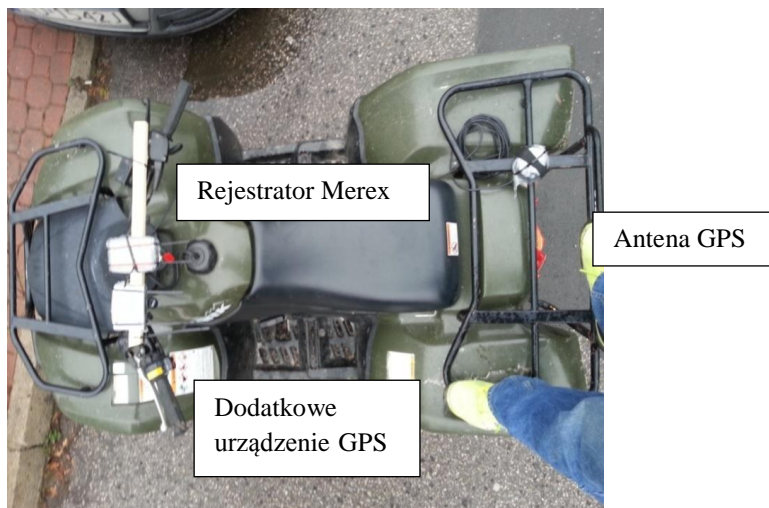
Rys. 1. Nawierzchnia asfaltowa – miejsce badań
Fig. 1. Asphalt surface - a place of research



Rys. 2. Nawierzchnia gruntowa – miejsce badań
Fig. 2. Ground surface - a place of research



Rys. 3. Urządzenie rejestrujące MEREX (po lewej) i urządzenie Tom Tom (po prawej)
Fig. 3. MEREX recording device (on the left side) and Tom Tom device (on the right side)



Rys. 4. Sposób rozmieszczenia urządzeń pomiarowych na przykładowym pojeździe
Fig. 4. The disposition method of measuring devices on the sample vehicle

3. Obiekty badań

W badaniach wykorzystano cztery pojazdy: Kymco MXU o pojemności skokowej silnika 150 cm³, Suzuki Ozark o pojemności skokowej 250 cm³, Yamacha Grizzly o pojemności skokowej 350 cm³ i Arctic Cat o pojemności skokowej 400 cm³. W dalszej części opracowania będą one oznaczane odpowiednio jako „pojazdy 1-4”. Były to pojazdy o różnej klasie i przeznaczeniu. Odróżniały się od siebie podstawowymi parametrami technicznymi takimi jak pojemność silnika i masa własna. Istotnymi z punktu widzenia badań były także różnice w zakresie rozwiązań konstrukcyjnych układu hamulcowego, a także sposobu przekazania momentu obrotowego generowanego przez jednostkę napędową na koła. Szczegółowe dane techniczne badanych pojazdów zamieszczone zostały w tabeli 1. Tylko w dwóch przypadkach producenci określili moc silników w jakie wyposażone były pojazdy. Nie uzyskano informacji na temat wartości maksymalnej momentu obrotowego badanych pojazdów. Żaden z badanych pojazdów nie posiadał homologacji i nie był zarejestrowany.

Pojazd 1 był napędzany chłodzonym powietrzem, czterosuwowym, jednocylindrowym silnikiem o pojemności skokowej 149 cm³. Wyposażony był w automatyczną bezstopniową skrzynię biegów typu CVT. Masa własna pojazdu gotowego do jazdy wynosiła 185kg (bez kierowcy). Napęd przekazywany był za pomocą łańcucha na koła tylne. Pojazd był wyposażony w dwa hamulce bębnowe na osi przedniej i pojedynczy, wentylowany hamulec

tarczowy na osi tylnej. Podczas badań pojazd wyposażony był w opony do jazdy terenowej o oznaczeniu 21/7-AT11 z przodu oraz 22/10-AT9 z tyłu. Widok ogólny pojazdu 1 przedstawiono na rysunku 5



Rys. 5. Pojazd 1
Fig. 5. Vehicle 1

Pojazd 2 był napędzany chłodzonym powietrzem, czterosuwowym, jednocylindrowym silnikiem o pojemności skokowej 243 cm³. Wyposażony był w półautomatyczną skrzynię biegów, z biegiem wstecznym i pięcioma przełożeniami do jazdy do przodu. Masa własna pojazdu gotowego do jazdy wynosiła 194 kg (bez kierowcy). Napęd przekazywany był na tylne koła wałem napędowym. Pojazd był wyposażony w dwa hamulce tarczowe na osi przedniej i pojedynczy hamulec bębnowy na osi tylnej. Podczas badań pojazd wyposażony był w opony do jazdy terenowej o oznaczeniu 22/7-AT11 z przodu oraz 22/10-AT9 z tyłu. Widok ogólny pojazdu 2 przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Pojazd 2
Fig. 6. Vehicle 2

Pojazd 3 był napędzany chłodzonym powietrzem i olejem, czterosuwowym, jednocylindrowym silnikiem o pojemności skokowej 348 cm³. Wyposażony był w automatyczną, pięciobiegową skrzynię biegów typu Ultramatic. Masa własna pojazdu gotowego do jazdy wynosiła 243 kg (bez kierowcy). Napęd przekazywany był na dwa lub cztery koła przez wał napędowy. Pojazd był wyposażony w dwa hamulce tarczowe na osi przedniej i pojedynczy hamulec bębnowy na osi tylnej. Podczas badań pojazd wyposażony był w opony do jazdy terenowej o oznaczeniu 25/7-AT11 z przodu oraz 25/10-AT9 z tyłu. Widok ogólny pojazdu 3 przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Pojazd 3
Fig. 7. Vehicle 3

Pojazd 4 był napędzany chłodzonym powietrzem i olejem, czterosuwowym, dwucylindrowym silnikiem o pojemności skokowej 366 cm³. Wyposażony był w automatyczną pięciobiegową skrzynię biegów z dodatkowym biegiem terenowym. Masa własna pojazdu gotowego do jazdy wynosiła 316 kg (bez kierowcy). Napęd przekazywany był na dwa lub cztery koła przez pas napędowy. Pojazd był wyposażony w pojedyncze hamulce tarczowe na każdej z osi. Podczas badań pojazd wyposażony był w opony do jazdy terenowej o oznaczeniu 25/8-AT11 z przodu oraz 25/10-AT9 z tyłu. Widok ogólny pojazdu 4 przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Pojazd 4
Fig. 8. Vehicle 4

4. Metodyka opracowywania wyników badań

Podczas prób rozpędzania i hamowania rejestrowano przebieg przyspieszenia i opóźnienia w funkcji czasu, a także prędkość pojazdu. Analizując wyniki zidentyfikowano maksymalne wartości przyspieszenia i opóźnienia – osiągnięte w trakcie poszczególnych prób. Obliczono następnie ich wartości średnie oraz określono odchylenie standardowe. Wyniki prezentowane w niniejszym opracowaniu przedstawiają średnią wartość maksymalnego przyspieszenia i opóźnienia - uzyskanych przez poszczególne pojazdy. Zgromadzone w trakcie badań dane przyporządkowano do każdego z realizowanych manewrów (rozpędzanie, hamowanie) i do każdego ze sposobów realizowania hamowania, tj.:

- hamowanie hamulcem tylnym (w dalszej części pracy określane jako „A”)
- hamowanie hamulcem przednim (w dalszej części pracy określane jako „B”)

- hamowanie przy użyciu obu hamulców jednocześnie (w dalszej części pracy określane jako „C”)

Tabela 1. Szczegółowe dane techniczne pojazdów
Table 1. Technical details of vehicles

Numer pojazdu	1	2	3	4
Marka	Kymco MXU 150	Suzuki Ozark 250	Yamaha Grizzly 350	ArcticCat TRV 400
pojemność silnika [cm ³]	149,4	243	348	366
typ silnika	4-suwowy, 1 cylinder	4-suwowy, 1 cylinder	4-suwowy, 1 cylinder	4-suwowy, 2 cylindry
moc [KM]	11	b.d.	b.d.	17
masa pojazdu gotowego do jazdy [kg]	185	194	243	316
rozmiar opon	przód	21/7-10	22/7-AT11	25/7-12
	tył	22/7-10	22/10-AT9	25/10-12
typ hamulca	przód	2*bęben	2*tarcza	2*tarcza
	tył	1*tarcza	1*bęben	1*bęben
rodzaj skrzyni biegów	automatyczna	manualna	manualna	automatyczna
sposób przeniesienia napędu	łańcuch	wał napędowy	wał napędowy	pas napędowy
rodzaj napędu	2x4	4x4	4x4	4x4

5. Wyniki badań

Wyniki dla prób rozpędzania na nawierzchni asfaltowej i gruntowej przedstawiono w tabeli 2. Wartość średnia maksymalnego przyspieszenia badanych pojazdów na nawierzchni asfaltowej zawierała się w zakresie 2,10-4,13 m/s². Najmniejsze wartości przyspieszenia uzyskał pojazd 1, który wyposażony był w silnik o najmniejszej pojemności i automatyczną skrzynię biegów. Największe wartości przyspieszenia na nawierzchni asfaltowej uzyskał pojazd 3 wyposażony w manualną skrzynię biegów. Pojazd ten nie był napędzany silnikiem o największej pojemności (spośród badanych pojazdów). Uzyskany wynik można byłoby odnieść do stosunku mocy silnika do masy całkowitej pojazdu podczas badań – jednak z uwagi na niekompletność danych dotyczących mocy silników wszystkich pojazdów nie jest

to możliwe. Z uwagi na to zasadnym wydaje się odniesienie wyników do konstrukcji układu przeniesienia napędu i przyjętego programu badań, zakładającego brak zmiany przełożenia skrzyni na wyższe w pojazdach ze skrzynią biegów manualną (pojazdy 2 i 3).

Tabela. 2 Wyniki próby rozpędzania
Table 2. Acceleration test results

Nr pomiaru	Nawierzchnia asfaltowa				Nawierzchnia gruntowa			
	Przyspieszenie a_{\max} [m/s^2]				Przyspieszenie a_{\max} [m/s^2]			
	Pojazd 1	Pojazd 2	Pojazd 3	Pojazd 4	Pojazd 1	Pojazd 2	Pojazd 3	Pojazd 4
1	2,20	2,39	3,97	2,68	3,03	2,59	3,73	3,15
2	2,24	2,43	4,10	2,48	3,25	2,74	3,92	3,09
3	2,03	2,38	4,16	2,64	3,37	2,63	3,67	3,28
4	2,15	4,01	4,36	2,68	2,11	2,53	3,36	2,59
5	2,60	3,95	4,23	2,33	2,61	2,57	3,74	3,33
6	1,76	3,93	4,34	2,44	2,15	2,57	3,81	3,34
7	1,95	2,39	4,01	2,87	3,11	2,62	3,34	3,93
8	2,19	2,38	4,10	3,09	3,68	2,28	3,33	3,67
9	1,75	2,16	3,86	3,19	3,88	2,43	3,86	4,06
	2,10	2,89	4,13	2,71	3,02	2,55	3,64	3,38
	0,264	0,808	0,167	0,291	0,624	0,131	0,234	0,451

W przypadku badania prowadzonego na nawierzchni gruntowej średnia wartość przyspieszenia zawierała się w zakresie 2,55-3,64 m/s^2 . Dolna granica określonego na tej nawierzchni przedziału miała wartość większą niż w przypadku nawierzchni asfaltowej, natomiast wartość górna miała wartość mniejszą niż na nawierzchni asfaltowej. Najmniejsze wartości przyspieszenia uzyskał pojazd 2, natomiast wartości największe uzyskał pojazd 3. Porównując ze sobą wyniki uzyskane przez poszczególne pojazdy na badanych nawierzchniach można zauważyć, że pojazdy wyposażone w skrzynię biegów automatyczną, na nawierzchni gruntowej uzyskiwały większe wartości przyspieszania niż na nawierzchni asfaltowej (pojazdy 1 i 4). W przypadku pojazdów wyposażonych w skrzynie biegów manualne wartości przyspieszeń na nawierzchni gruntowej były mniejsze w porównaniu do osiągniętych na nawierzchni asfaltowej. Związane to było z obserwowaną w przypadku badania pojazdów tego typu na nawierzchni gruntowej utratą przyczepności kół w trakcie przyspieszania. W przypadku pojazdów ze skrzynią automatyczną nie obserwowano zjawiska utraty przyczepności kół na nawierzchni gruntowej – dochodziło do zmiany przełożenia na wyższe.

W kolejnym etapie badań przeprowadzono próby hamowania. Wyniki tej części badań i maksymalne wartości opóźnienia a_{Hmax} uzyskane przez pojazdy przedstawiono w tabelach 3-6.

W pojazdach 1-3 na każdej z badanych nawierzchni uzyskiwano największe wartości opóźnienia hamowania w trakcie jednoczesnego hamowania hamulcami obydwu osi. W przypadku tych pojazdów można zauważyć, podobnie jak w przypadku podobnych badań prowadzonych dla motocykli [1], że maksymalna wartość opóźnienia hamowania jest zależna od techniki hamowania i osiągnięta jest podczas hamowania obydwoma hamulcami jednocześnie. W przypadku pojazdu 4 nie zaobserwowano takiego związku. Może być to związane z konstrukcją układu hamulcowego tego quada, w którym na każdej z osi wykorzystano pojedynczy hamulec tarczowy. Największą wartość opóźnienia hamowania zarejestrowano w przypadku hamowania pojazdem 1 za pomocą obydwu hamulców jednocześnie. W przypadku tego pojazdu wartości największe opóźnień (spośród wszystkich badanych pojazdów) uzyskani na obu badanych nawierzchniach. Dla takiej techniki hamowania, na nawierzchni gruntowej podobną wartość opóźnienia (do uzyskanego przez pojazd 1) uzyskał pojazd 3. W przypadku tego pojazdu, opóźnienie hamowania uzyskane na nawierzchni asfaltowej było o około $0,8 \text{ m/s}^2$ mniejsze niż pojazdu 1. Opóźnienia pozostałych quadów hamowanych obydwoma hamulcami jednocześnie było mniejsze niż omówionych wyżej. W przypadku pojazdów 2-4 różnica pomiędzy wartością maksymalnego opóźnienia hamowania uzyskanego na nawierzchni asfaltowej i gruntowej porównywana w odniesieniu do poszczególnych technik hamowania nie była większa niż $0,5 \text{ m/s}^2$. W przypadku pojazdu 1, na nawierzchni gruntowej, zarejestrowano wartość przyspieszenia mniejszą od uzyskanej na nawierzchni asfaltowej o około $0,9 \text{ m/s}^2$ (w przypadku hamowania hamulcem przednim i obydwoma jednocześnie).

Tabela 3. Wyniki dla próby hamowania pojazdu 1
Table 3. Vehicle 1 deceleration test results

Pojazd 1	Nawierzchnia asfaltowa			Nawierzchnia gruntowa		
	opóźnienie a_{Hmax} [m/s^2]			opóźnienie a_{Hmax} [m/s^2]		
Nr pomiaru	ham. „A”	ham. „B”	ham. „C”	ham. „A”	ham. „B”	ham. „C”
1	5,45	3,22	7,76	3,83	2,82	6,29
2	5,50	3,09	6,99	4,76	2,23	5,88
3	5,27	3,42	6,78	4,41	3,21	6,55
	5,41	3,24	7,18	4,33	2,75	6,24
	0,12	0,17	0,52	0,47	0,49	0,34

Tabela 4. Wyniki dla próby hamowania pojazdu 2

Table 4. Vehicle 2 deceleration test results

Pojazd 2	Nawierzchnia asfaltowa			Nawierzchnia gruntowa		
	opóźnienie a_{Hmax} [m/s ²]			opóźnienie a_{Hmax} [m/s ²]		
Nr pomiar	ham. „A”	ham. „B”	ham. „C”	ham. „A”	ham. „B”	ham. „C”
1	4,47	3,20	4,97	4,46	2,96	5,49
2	5,46	2,88	5,34	4,23	3,07	4,66
3	4,81	3,08	5,23	4,37	3,23	6,67
	4,91	3,05	5,18	4,35	3,09	5,61
	0,50	0,16	0,19	0,12	0,14	1,01

Tabela 5. Wyniki dla próby hamowania pojazdu 3

Table 5. Vehicle 3 deceleration test results

Pojazd 3	Nawierzchnia asfaltowa			Nawierzchnia gruntowa		
	opóźnienie a_{Hmax} [m/s ²]			opóźnienie a_{Hmax} [m/s ²]		
Nr pomiaru	ham. „A”	ham. „B”	ham. „C”	ham. „A”	ham. „B”	ham. „C”
1	5,12	3,63	6,09	4,92	3,23	6,26
2	5,29	3,70	6,25	4,78	2,79	7,01
3	5,15	3,52	6,74	4,86	2,90	5,45
	5,19	3,62	6,36	4,85	2,97	6,24
	0,09	0,09	0,34	0,07	0,23	0,78

Tabela 6. Wyniki dla próby hamowania pojazdu 4

Table 6. Vehicle 4 deceleration test results

Pojazd 4	Nawierzchnia asfaltowa			Nawierzchnia gruntowa		
	opóźnienie a_{Hmax} [m/s ²]			opóźnienie a_{Hmax} [m/s ²]		
Nr pomiaru	ham. „A”	ham. „B”	ham. „C”	ham. „A”	ham. „B”	ham. „C”
1	5,17	5,40	4,70	4,83	5,57	5,43
2	6,25	5,24	5,91	5,52	4,93	5,04
3	5,17	5,71	5,66	4,53	5,19	4,36
	5,53	5,45	5,42	4,96	5,23	4,94
	0,62	0,24	0,64	0,51	0,32	0,54

W tabeli 7 przedstawiono zestawienie obliczonych na podstawie badań średnich wartości maksymalnych wartości przyspieszenia i opóźnienia uzyskanych w trakcie badań.

Tabela 7. Zestawienie wartości średnich dla rozpędzania i hamowania
Table 7. The average values for acceleration and deceleration

	Nawierzchnia asfaltowa				Nawierzchnia gruntowa			
	Pojazd 1	Pojazd 2	Pojazd 3	Pojazd 4	Pojazd 1	Pojazd 2	Pojazd 3	Pojazd 4
rozpędzanie	2,10	2,89	4,13	2,71	3,02	2,55	3,64	3,38
hamowanie A	5,41	4,91	5,19	5,53	4,33	4,35	4,85	4,96
hamowanie B	3,24	3,05	3,62	5,45	2,75	3,09	2,97	5,23
hamowanie C	7,18	5,18	6,36	5,42	6,24	5,61	6,24	4,94

6. Podsumowanie

Analizując wartości maksymalnego przyspieszenia quadów nie należy odnosić wprost tego parametru do pojemności silnika i jego parametrów (moc i moment obrotowy). W tym przypadku szczególną uwagę należy zwrócić na stosunek mocy do masy całkowitej pojazdu (z uwzględnieniem masy kierowcy), a także na konstrukcję układu przeniesienia napędu i jego sprawność. Niestety nie jest jednak zasadą że wszyscy producenci pojazdów ATV określają parametry dotyczące maksymalnych wartości mocy i momentu obrotowego silników w jakie są one wyposażone. W przypadku analiz przebiegu manewru rozpędzania - szczególnie na nawierzchni gruntowej – zaobserwowano, że koła pojazdów wyposażonych w manualną skrzynię biegów łatwiej tracą przyczepność w porównaniu do pojazdów wyposażonych w skrzynię automatyczną – przez co w ich przypadku faktyczne przyspieszenie osiąga mniejszą wartość. W trakcie badań zaobserwowano również, że maksymalna wartość przyspieszenia pojazdu wyposażonego w opony terenowe i skrzynię biegów automatyczną jest większa na nawierzchni gruntowej niż na nawierzchni asfaltowej.

Przeprowadzone badania wykazały, że technika hamowania pojazdów typu ATV może mieć wpływ na maksymalną wartość opóźnienia hamowania – podobnie jak w przypadku motocykli. Uwzględniając ten parametr podczas analizy przebiegu wypadków należy jednak zwrócić uwagę na rozwiązania w zakresie konstrukcji układu hamulcowego quada. Mogą mieć bowiem one wpływ na wartość maksymalnego opóźnienia hamowania. W badanych pojazdach 1-3, w których oś przednia wyposażona była w podwójny hamulec (bębnowy lub tarczowy) zarejestrowano większe wartości opóźnienia maksymalnego podczas hamowania hamulcem przednim - w porównaniu do hamowania tylko hamulcem tylnym (podobnie jak

w motocyklach). W przypadku pojazdu 4, który wyposażony był w taki sam układ hamulców na obu osiach (pojedynczy tarczowy), maksymalne wartości opóźnienia hamowania były do siebie zbliżone – niezależnie od przyjętej techniki hamowania. W przypadku pojazdu 1, w którym na osi tylnej zastosowano pojedynczą tarczę hamulcową, oś ta nie była wyposażona w mechanizm różnicowy. Pozostałe pojazdy, w których na poszczególnych osiach stosowane były pojedyncze hamulce, wyposażone były w mechanizmy różnicowe. Stosowane rozwiązania konstrukcyjne układu hamulcowego mogą mieć zatem wpływ na maksymalną wartość opóźnienia hamowania, a także na różnice wartości opóźnienia w funkcji techniki hamowania.

Na maksymalną wartość opóźnienia hamowania może mieć wpływ typ zastosowanego ogumienia. W badanych pojazdach, które wyposażone były w opony terenowe, podczas jednoczesnego hamowania obydwoma hamulcami, na suchej nawierzchni asfaltowej, zaobserwowano zmniejszenie skuteczności hamowania w stosunku do przewidywanej, obliczanej „metodą klasyczną” na nawierzchni tego typu (uwzględniając wartość współczynnika przyczepności $\mu = (0,8 \div 0,9)$, jaka jest przyjmowana dla suchej asfaltowej nawierzchni, opóźnienie hamowania obliczane w oparciu o elementarną zależność byłoby równe $(7,8 \div 8,8) \text{ m/s}^2$. W przypadku hamowania taką samą techniką, na suchej nawierzchni gruntowej, skuteczność hamowania była nieznacznie większa niż obliczana teoretycznie za pomocą „metody klasycznej” (uwzględniając wartość współczynnika przyczepności $\mu = (0,5 \div 0,6)$, jaka jest przyjmowana dla suchej gruntowej nawierzchni, opóźnienie hamowania obliczane w oparciu o zależność $a_{Hmax} = \mu \cdot g$ byłoby równe $(4,9 \div 5,9) \text{ m/s}^2$. W przypadku pojazdów 2 i 3 zaobserwowano ponadto, że maksymalna wartość opóźnienia hamowania uzyskana na nawierzchni gruntowej miała wartość porównywalną do tej, którą uzyskano na nawierzchni asfaltowej. Dla pojazdów 1 i 4 wartości opóźnienia zarejestrowane na nawierzchni gruntowej były mniejsze niż na nawierzchni asfaltowej. W obecnym stanie wiedzy nie można precyzyjnie i jednoznacznie wytłumaczyć rozbieżności w zachowaniu się badanych pojazdów na tych nawierzchniach. Można przypuszczać, że mogą być one związane z konstrukcją układu przeniesienia napędu i przyjętym programem badań. Celowe wydaje się w tym kontekście prowadzenie dalszych badań.

Analizując wypadki quadów na różnych nawierzchniach i przeprowadzając analizę czasowo odległościową należy z dużą dozą ostrożności szacować teoretyczne, możliwe do uzyskania opóźnienia hamowania uwzględniając sposób współpracy opon (szczególnie terenowych) z nawierzchnią. Na nawierzchni gruntowej zapewniają one lepsze warunki przyczepności niż opony szosowe. Można sformułować stwierdzenie że w przypadku opon terenowych maksymalna wartość opóźnienia hamowania realizowanego za pomocą obydwu hamulców jednocześnie jest na obu badanych rodzajach nawierzchni porównywalna.

Literatura

- [1] Czub K, Świder P. Badania poligonowe i obliczenia intensywności hamowania motocykla z użyciem hamulca przedniego, tylnego i obu jednocześnie. Materiały konferencyjne XII Konferencji „Problemy Rekonstrukcji Wypadków Drogowych”, Zakopane, październik 2011.
- [2] Degelmann R. Technika jazdy quadem. WKiŁ. 2010
- [3] Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego. Wydanie 2 uaktualnione. IES Kraków 2010
- [4] Paragraf na drodze (czasopismo). IES Kraków.
- [5] Rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 6 października 2006 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych czynności organów w sprawach związanych z dopuszczeniem pojazdu do ruchu oraz wzorów dokumentów w tych sprawach (Dz.U. 2006 nr 189 poz. 1398).
- [6] Ustawa o kierujących pojazdami (Dz. U. 2011 Nr 30, poz. 151).
- [7] Norma EN 15997:2014.
- [8] [cited 2016 Nov 20]. Available from: http://katowice.wyborcza.pl/katowice/1,35019,13842047,Quad_uderzyl_w_drzewo__12_latek_zmarl_w_szpitalu.html [dostęp 2016 r.]
- [9] [cited 2016 Nov 20]. Available from: http://katowice.wyborcza.pl/katowice/1,35019,8101004,Czterolatek_wjechał_quadem_prosto_pod_samochod.html [dostęp 2016 r.]
- [10] [cited 2016 Nov 20]. Available from: http://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/1,126765,6238641,Quad_zderzyl_sie_z_autobusem__Kierowca_zmarl.html [dostęp 2016 r.]
- [11] [cited 2016 Nov 20]. Available from: <http://www.krbrd.gov.pl/pl/statystyki.html> [dostęp 2016 r.]
- [12] [cited 2016 Nov 20]. Available from: <http://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,Wypadki-drogowe-raporty-roczne.html>
- [13] [cited 2016 Nov 20]. Available from: <http://wiadomosci.wp.pl/kat,1329,title,Turystka-zginela-pod-kolami-quada-przed-sadem-w-Gizycku-ruszy-proces,wid,14901357,wiadomosc.html> [dostęp 2016 r.]
- [14] [cited 2016 Nov 20]. Available from: <http://wiadomosci.wp.pl/kat,8311,title,17-latek-zginial-w-wypadku-quada-dwoje-dzieci-w-szpitalu,wid,15810986,wiadomosc.html>
- [15] [cited 2016 Nov 20]. Available from: <http://wiadomosci.wp.pl/kat,1329,title,Dwoch-chlopcow-uderzylo-quadem-w-budynek-6-latek-w-szpitalu,wid,16833315,wiadomosc.html>