

**Piotr
Ciępka****Jakub
Zębala****Adam
Reza****Robert
Janczur**

Badania ruchu rowerów wspomaganych elektrycznie

Streszczenie

W Polsce eksploatowanych jest coraz więcej rowerów elektrycznych, a co za tym idzie – możemy spodziewać się także wzrostu liczby zdarzeń drogowych z ich udziałem. W literaturze niewiele jest wyników badań dynamiki ruchu takich rowerów, dlatego podjęto temat badawczy, aby choć częściowo uzupełnić braki. W artykule podano wyniki badań: przyspieszania i intensywnego hamowania, zmiany pasa ruchu i zawracania dwóch modeli rowerów elektrycznych marki Unibike, tj. Swift i Optima. Badania podstawowe zostały uzupełnione próbami hamowania wykonanymi na drogach rowerowych o nawierzchni asfaltowej i betonowej, kostce brukowej oraz pokrytej specjalną farbą.

Słowa kluczowe

Rower elektryczny, hamowanie, przyspieszanie, opóźnienie, zmiana pasa ruchu, zawracanie.

Otrzymano 2 września 2025 r., zatwierdzono do druku 5 września 2025 r.

DOI 10.4467/15053520PnD.25.003.22242

1. Wstęp

Od kilku lat nasilony jest w Europie trend odchodzenia od paliw kopalnych na rzecz energii elektrycznej. Zgodnie z tym trendem coraz częściej wykorzystuje się w transporcie miejskim rowery wspomagane elektrycznie, które stanowią alternatywę nie tylko dla samochodów napędzanych silnikami spalinowymi, ale także dla rowerów napędzanych siłą mięśni. Z uwagi na uliczne korki, które w dużych miastach są powszechnym zjawiskiem, osoby podróżujące samochodami spędzają w godzinach szczytu dużo więcej czasu w swoich pojazdach, niż wynikałoby to z prostej relacji droga–prędkość. Podróżowanie rowerem jest nie tylko szybsze, ale także znacznie mniej kosztowne oraz przyczynia się do poprawy wyników

Mgr inż. Piotr Ciępka, Instytut Ekspertyz Sądowych w Krakowie, ORCID 0000-0001-5833-4618; **dr inż. Jakub Zębala**, Instytut Ekspertyz Sądowych w Krakowie, ORCID 0000-0002-6588-9619; **mgr inż. Adam Reza**, Polskie Stowarzyszenie Biegłych Sądowych do Spraw Wypadków Drogowych, ORCID 0000-0002-3164-5413; **dr inż. Robert Janczur**, Politechnika Krakowska, ORCID 0000-0003-2091-9025.

w zakresie zdrowia publicznego, ponieważ zmiana środka transportu z samochodu na rower zwiększa poziom aktywności fizycznej. Jazda na rowerze elektrycznym skutkuje wprawdzie skróceniem czasu intensywnego wysiłku w porównaniu z konwencjonalnym rowerem, ale daje możliwość zwiększenia zasięgu.

Rower elektryczny to pojazd, który powstał po dodaniu do klasycznego roweru pomocniczego napędu elektrycznego. Zgodnie z ustawą *Prawo o ruchu drogowym*¹ napęd elektryczny jest traktowany jako pomocniczy, i aby pojazd taki był traktowany jako rower, musi dawać możliwość korzystania z niego bez napędu elektrycznego. Istnieje szereg badań dynamiki wzdłużnej rowerów klasycznych [1, 3, 5–9], ale praktycznie brak jest badań rowerów elektrycznych. Niniejszy artykuł stanowi częściowe uzupełnienie tego braku.

2. Badania drogowe

2.1. Obiekty badań

Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu dwóch rowerów – Unibike Swift (ryc. 1) i Unibike Optima (ryc. 2). Obydwa rowery były wyposażone zgodnie z obowiązującymi przepisami w uruchamiany naciskiem na pedały pomocniczy napęd elektryczny o znamionowej mocy 250 W, która zmniejszała się stopniowo i była odłączana po przekroczeniu prędkości 25 km/h. W rowerze Unibike Swift zamocowany był w suporcie silnik elektryczny Bafang M420, generujący maksymalny moment obrotowy 80 Nm. W rowerze Unibike Optima zamontowany był natomiast w piaście tylnego koła silnik elektryczny Bafang H400B, wytwarzający maksymalny moment obrotowy 45 Nm. Dane techniczne rowerów przedstawiono w tabeli 1.



Ryc. 1. Rower Unibike Swift.

¹ Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. *Prawo o ruchu drogowym* (Dz.U. z 2021 r., poz. 2328 oraz Dz.U. z 2022 r., poz. 1002 i poz. 1715).



Ryc. 2. Rower Unibike Optima.

Tabela 1. Dane techniczne rowerów wykorzystanych w badaniach.

	Unibike Swift	Unibike Optima
Silnik	Bafang M420 250 W 80Nm	Bafang H400B 250 W 45 Nm
Bateria	I1+ 522 Wh	I1+ 630 Wh
Mechanizm korbowy	Bafang / 38T	FSA AL-8T / 38T
Przerzutka tylna	Shimano NEXUS C3000-7	Shimano ALTUS M310
Dźwignie przerzutek	Shimano NEXUS C3000-7	Shimano M315
Wielotryb	Shimano NEXUS / 18T	Shimano HG31 / 11-32T
Opony	Schwalbe DELTA CRUISER PLUS / 28 × 1.75	
Hamulce	Shimano MT200 (hydrauliczne, tarczowe)	
Masa własna	27,0 kg	25,9 kg

Rowery były wyposażone w czytelne i intuicyjne w obsłudze wyświetlacze, które umożliwiały kontrolowanie stanu naładowania baterii oraz wybór stopnia wspomagania. Rower Unibike Swift wyposażony był w wyświetlacz LCD DP C10.UART, na którym wyświetlane były również informacje o prędkości (ryc. 3). Rower Unibike Optima wyposażony był w wyświetlacz LED DP E8.UART, który nie wyświetlał informacji o prędkości, dlatego na potrzeby badań został on doposażony w licznik rowerowy SIGMA Base 1200 (ryc. 4).



Ryc. 3. Elementy sterowania roweru Unibike Swift.



Ryc. 4. Elementy sterowania i dodatkowy licznik w rowerze Unibike Optima.

2.2. Urządzenie pomiarowe

W badaniach użyto urządzenia VBox Sport, które było montowane na bagażnikach rowerów (ryc. 5). Wykorzystane w badaniach urządzenie rejestruje prędkość z częstotliwością 20 Hz i dokładnością 1 km/h. Z badań wynika, że urządzenie pomiarowe VBox Sport spełnia wymagania stawiane urządzeniom do pomiaru parametrów dynamiki podłużnej pojazdów [4].



Ryc. 5. Urządzenie VBox Sport zamontowane na bagażniku roweru Unibike Swift.

Urządzenie VBox Sport rejestruje zmiany prędkości w zależności od czasu. Opracowując wyniki badań obliczono w programie VBOX Test Suite dla testów hamowania – średnie pełne rozwinięte opóźnienie hamowania MFDD (zgodnie z normą ECE nr 13), a dla testów przyspieszania – średnie przyspieszenie od chwili ruszenia do osiągnięcia prędkości 25 km/h.

2.3. Uczestnicy badań

W badaniach uczestniczyło 10 osób (6 mężczyzn i 4 kobiety). Przed rozpoczęciem badań każda osoba wypełniła ankietę, podając wiek, wzrost i masę ciała, a także określając swoje doświadczenie w jeździe rowerem (tabela 3). Przyjęto, że jeżeli ktoś na co dzień użytkuje rower, to ma duże doświadczenie, jeśli często jeździ, to średnie, jeśli okazjonalnie, to małe, a jeśli nigdy nie jeździł rowerem danego rodzaju, to wykazuje brak doświadczenia. Większość osób zadeklarowała, że posiada co najmniej średnie doświadczenie w jeździe rowerem standardowym. Siedem osób nigdy nie jeździło rowerem wspomaganym elektrycznie, dwie osoby okazjonalnie, a jedna często².

Warto zaznaczyć, że cztery pierwsze osoby (1–4) wykonały próby hamowania dwoma rowerami, trzy kolejne (5–7) tylko rowerem Unibike Swift, a trzy ostatnie (8–10) tylko rowerem Unibike Optima, dlatego w przedstawionych w dalszej części wynikach badań jest po siedem osób dla każdego rodzaju roweru. Dodatkowe badania hamowania zostały wykonane tylko przez dwie osoby (nr 4 i 5).

Tabela 2. Dane osób biorących udział w badaniach.

Numer osoby	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Płeć	M	M	M	M	M	K	K	M	K	K
Wiek	64	28	34	69	53	45	39	48	42	28
Wzrost [cm]	176	186	180	176	177	171	161	182	163	167
Masa ciała [kg]	72	90	80	85	88	79	82	78	57	57
Doświadczenie (rower standardowy)	D	D	M	D	Ś	Ś	D	D	Ś	D
Doświadczenie (rower elektryczny)	B	Ś	B	M	B	B	B	D	B	B

Doświadczenie: D – duże, Ś – średnie, M – małe, B – brak.

² Osoba ta dojeżdża codziennie do pracy rowerem wspomaganym elektrycznie.

2.4. Miejsce i warunki wykonywania badań

Zasadnicze badania wykonano na drodze wewnętrznej znajdującej się na terenie Politechniki Krakowskiej, która ma asfaltową nawierzchnię jezdni utrzymaną w dobrym stanie technicznym. Badania dodatkowe wykonano na drogach rowerowych o nawierzchni asfaltowej, betonowej oraz na kostce brukowej i powierzchni pomalowanej czerwoną farbą. Wszystkie badania wykonano w warunkach letnich, przy słonecznej pogodzie, gdy nawierzchnie były suche.

2.5. Przebieg badań

Przed rozpoczęciem badań każda osoba otrzymała wybrany przez siebie rower i mogła nim pojeździć, realizując nierejestrowane próby przyspieszania i hamowania oraz inne dowolne manewry w celu zapoznania się z konkretnym egzemplarzem roweru. Osoby, które nie jeździły wcześniej rowerem wspomaganym elektrycznie miały w tym czasie również możliwość zapoznania się ze specyfiką wspomagania elektrycznego.

Każda z osób biorących udział w podstawowych badaniach hamowania wykonywała trzy próby hamowania z prędkości 25 km/h, hamując kolejno z użyciem obu hamulców, hamulca działającego na koło tylne i hamulca działającego wyłączenie na koło przednie. Taki dobór kolejności wykonywania prób był podyktowany względami bezpieczeństwa.

Przyspieszanie realizowane było w trzech wariantach. W dwóch pierwszych wariantach elektryczne wspomaganie było ustawione na maksymalną wartość. Osoby biorące udział w badaniach były proszone o przyspieszanie w sposób „normalny”, czyli taki, w jaki przyspieszałyby w czasie zwykłej jazdy, oraz „maksymalny”, który polegał na ekstremalnym wykorzystywaniu także możliwości fizycznych. W trzecim wariantcie wyłączono wspomaganie elektryczne, a osoby były proszone o maksymalne wykorzystywanie swoich możliwości fizycznych. Ten trzeci wariant miał na celu po pierwsze zbadanie możliwości przyspieszania rowerów przy całkowicie rozładowanej baterii, a po drugie dać poglądowy obraz wpływu wspomagania elektrycznego na osiągnięte przyspieszenia.

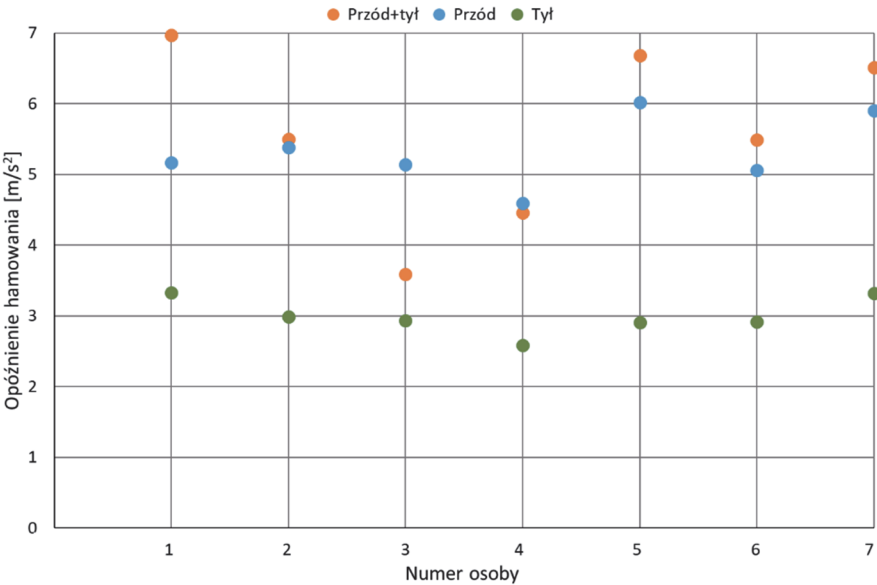
3. Wyniki badań

3.1. Wyniki badań hamowania

W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań hamowania rowerem Unibike Swift w postaci wartości średniego opóźnienia hamowania (MFDD) oraz wartości średnich i maksymalnych dla poszczególnych sposobów hamowania. Rycina 6 przedstawia wizualizację obliczonych wartości MFDD.

Tabela 3. Opóźnień hamowania [m/s²] uzyskane na rowerze Unibike Swift.

Nr osoby	Przód + tyl	Przód	Tył
1	7,0	5,2	3,3
2	5,5	5,4	3,0
3	3,6	5,1	2,9
4	4,5	4,6	2,6
5	6,7	6,0	2,9
5	5,5	5,1	2,9
7	6,5	5,9	3,3
Średnia	5,6	5,3	3,0
Max	7,0	6,0	3,3

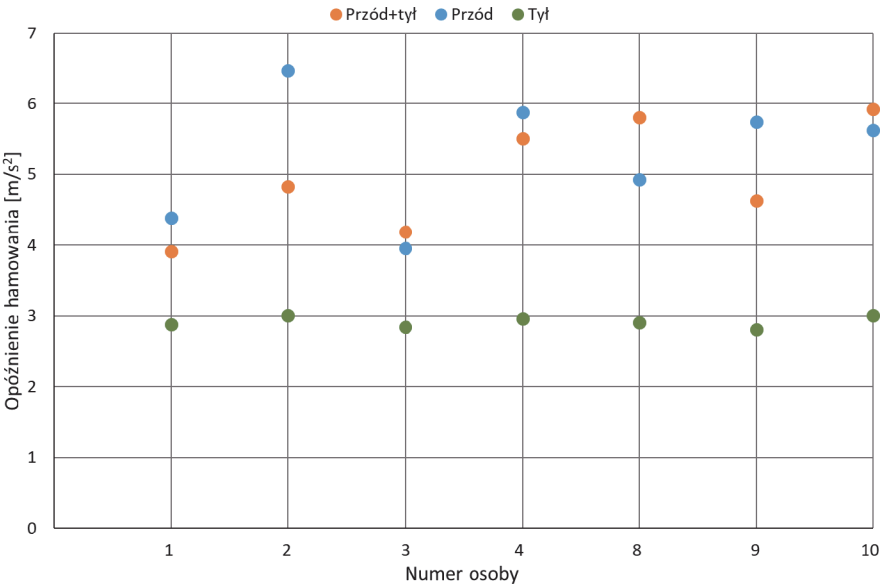


Ryc. 6. Opóźnień hamowania uzyskane na rowerze Unibike Swift.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki badań hamowania rowerem Unibike Optima w postaci wartości średniego opóźnienia hamowania (MFDD) oraz wartości średnich i maksymalnych dla poszczególnych sposobów hamowania. Rycina 7 przedstawia wizualizację obliczonych wartości MFDD.

Tabela 4. Opóźnienia hamowania [m/s²] uzyskane na rowerze Unibike Optima.

Nr osoby	Przód + tył	Przód	Tył
1	3,9	4,4	2,9
2	4,8	6,5	3,0
3	4,2	4,0	2,9
4	5,5	5,9	3,0
8	5,8	4,9	2,9
9	4,6	5,7	2,8
10	5,9	5,6	3,0
Średnia	5,0	5,3	2,9
Max	5,9	6,5	3,0



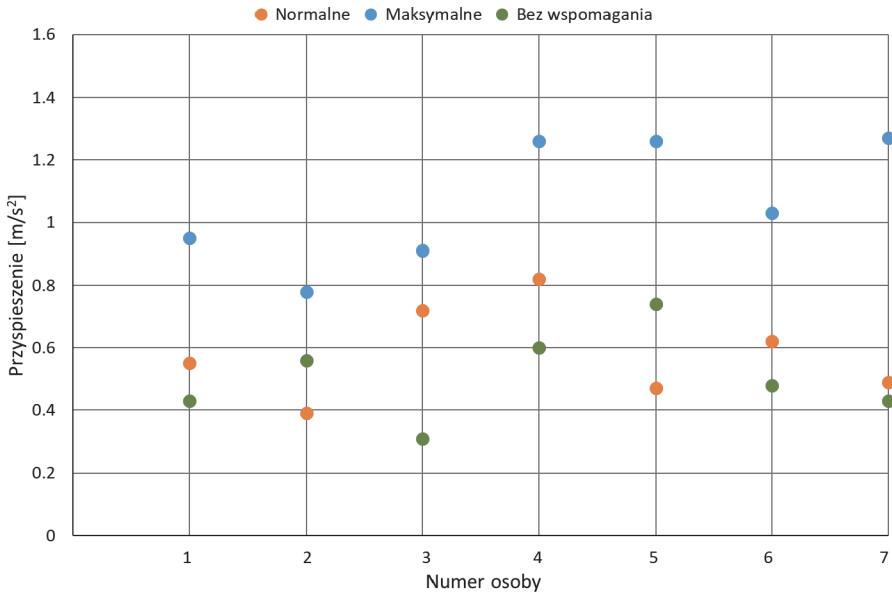
Ryc. 7. Opóźnienia hamowania uzyskane na rowerze Unibike Optima.

3.2. Wyniki badań przyspieszania

W tabeli 5 przedstawiono wartości przyspieszeń obliczonych dla prób wykonanych rowerem Unibike Swift dla poszczególnych wariantów przyspieszania oraz wartości średnie i maksymalne z tych prób. Rycina 8 przedstawia wizualizację obliczonych wartości przyspieszeń.

Tabela 5. Przyspieszenia [m/s²] osiągane na rowerze Unibike Swift.

Nr osoby	Normalne	Szybkie	Bez wspomagania
1	0,6	1,0	0,4
2	0,4	0,8	0,6
3	0,7	0,9	0,3
4	0,8	1,3	0,6
5	0,5	1,3	0,7
6	0,6	1,0	0,5
7	0,5	1,3	0,4
Średnia	0,6	1,1	0,5
Max	0,8	1,3	0,7

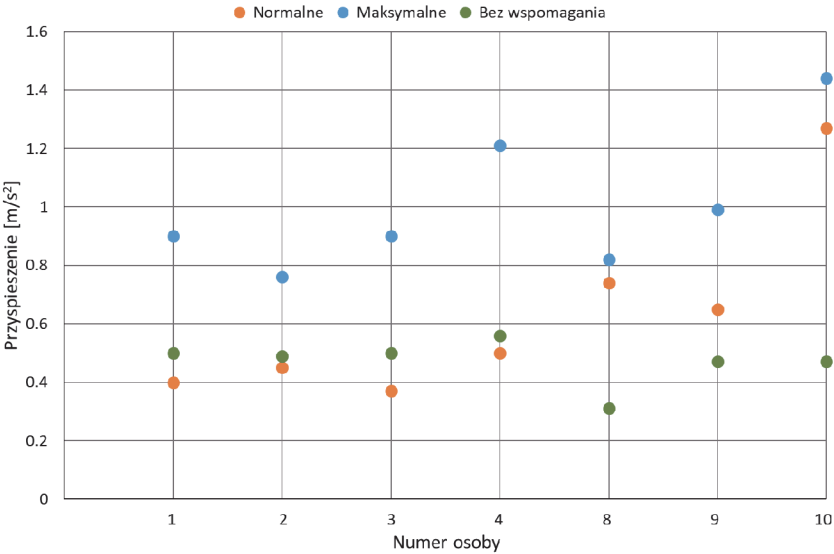


Ryc. 8. Przyspieszenia osiągane przez uczestników badań na rowerze Unibike Swift.

W tabeli 6 przedstawiono przyspieszenia obliczone dla prób wykonanych rowerem Unibike Optima dla poszczególnych wariantów przyspieszania oraz wartości średnie i maksymalne z tych prób. Rycina 9 przedstawia wizualizację obliczonych wartości przyspieszeń.

Tabela 6. Przyspieszenia [m/s²] osiągane na rowerze Unibike Optima.

Nr osoby	Normalne	Szybkie	Bez wspomagania
1	0,4	0,9	0,5
2	0,5	0,8	0,5
3	0,4	0,9	0,5
4	0,5	1,2	0,6
8	0,7	0,8	0,3
9	0,7	1,0	0,5
10	1,3	1,4	0,5
Średnia	0,5	1,0	0,5
Max	1,3	1,4	0,6



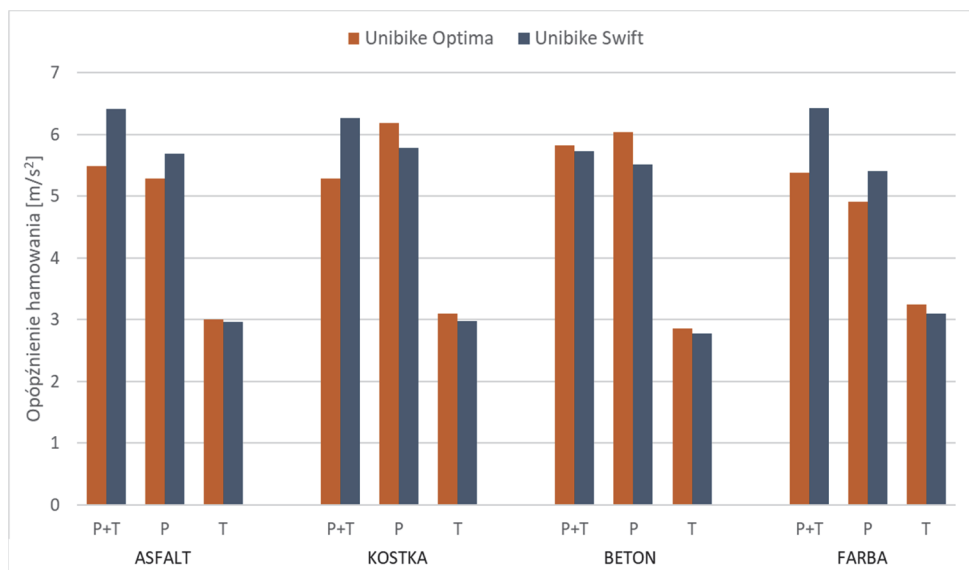
Ryc. 9. Przyspieszenia osiągane przez uczestników badań na rowerze Unibike Optima.

3.3. Wyniki badań hamowania na drogach rowerowych

W tabeli 7 przedstawiono wyniki prób hamowania rowerami Unibike Swift i Unibike Optima w postaci wartości średniego opóźnienia hamowania (MFDD), uzyskane na drogach rowerowych. Dla każdej nawierzchni i każdego sposobu hamowania wykonano po jednej próbie, dlatego nie obliczano wartości średnich. Rycina 10 przedstawia wizualizację obliczonych wartości MFDD.

Tabela 7. Opóźnienia hamowania [m/s^2] uzyskane na drogach rowerowych.

Nr próby	Swift (5)	Optima (4)	Hamulec	Nawierzchnia
1	6,4	5,5	P + T	Asfalt
2	5,7	5,3	P	
3	3,0	3,0	T	
4	6,3	5,3	P + T	Kostka
5	5,8	6,2	P	
6	3,0	3,1	T	
7	5,7	5,8	P + T	Beton
8	5,5	6,0	P	
9	2,8	2,9	T	
10	6,4	5,4	P + T	Farba
11	5,4	4,9	P	
12	3,1	3,3	T	

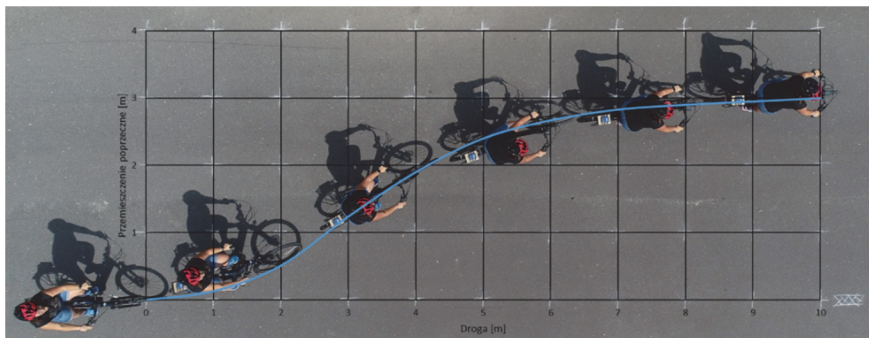


Ryc. 10. Opóźnienia hamowania uzyskane na drogach rowerowych.

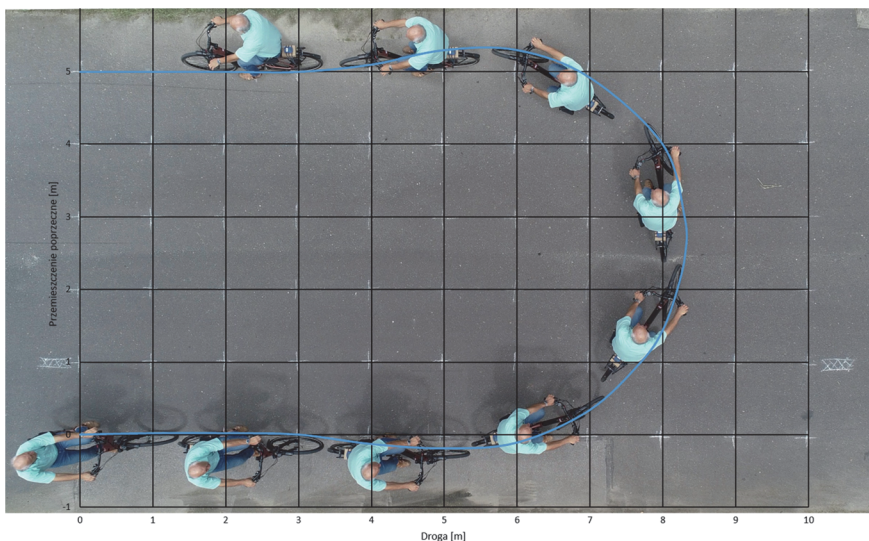
Przedstawione powyżej wyniki dają podstawę do stwierdzenia, że rodzaj nawierzchni drogi dla rowerów ma niewielki wpływ na osiągnięte opóźnienie hamowania.

3.4. Wyniki badań zmiany pasa ruchu i zawracania

W czasie prowadzonych badań wykonano również próby polegające na realizacji zmiany toru jazdy o zadaną wartość przemieszczenia poprzecznego i próby zawracania. Na ryc. 11 przedstawiono przykładową zmianę toru jazdy przy prędkości roweru 15 km/h, realizowaną w celu uzyskania przemieszczenia poprzecznego 3,0 m. W próbie tej czas przejazdu, liczony od chwili rozpoczęcia skręcania kierownicą do chwili, w której przednie koło najechało na linię odległą o 3,0 m od początkowego toru jazdy, wyniósł 2,7 s. Na ryc. 12 przedstawiono z kolei przykładowy manewr zawracania. W próbie tej początkowa prędkość roweru wynosiła 18 km/h, a w czasie zawracania uległa zmniejszeniu do wartości 12 km/h. Czas realizacji tego manewru, liczony od rozpoczęcia skrętu do wyrównania toru jazdy po zakończonym manewrze, wyniósł 4,0 s.



Ryc. 11. Przykładowa zmiana toru jazdy o 3 m.



Ryc. 12. Przykładowy manewr zawracania na szerokości 5 m.

4. Dyskusja wyników

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że model roweru elektrycznie wspomaganego (spośród dwóch przebadanych) ma znacznie mniejsze znaczenie niż osoba, która z niego korzysta, dlatego dyskusję należy rozpocząć od uwag dotyczących uczestników badań.

Największe opóźnienie hamowania osiągnęła osoba oznaczona nr. 1 – było to 7 m/s^2 , osiągnięte na rowerze Unibike Swift. Do tej wartości należy jednakże podchodzić z ostrożnością, ponieważ w próbie tej hamowanie było realizowane z uniesieniem tyłu roweru, nie zostało przerwane i zakończyło się upadkiem (wywróceniem roweru przez przednie koło). Zdarzenie to pozostaje w pełnej zgodności z informacją podaną u Bulli i Schnadelbacha [3], gdzie wskazano, że maksymalne opóźnienie hamowania dla tarczowych hydraulicznych hamulców sięga wartości $6,8 \text{ m/s}^2$, a przy większych opóźnieniach tylne koło unosi się i rower się wywraca. Z kolei ta sama osoba (nr 1) osiągnęła na rowerze Unibike Optima jedno z najmniejszych opóźnień ($3,9 \text{ m/s}^2$ i $4,4 \text{ m/s}^2$). Powodem tak dużych różnic w opóźnieniach hamowania uzyskiwanych przez tę samą osobę na dwóch różnych rowerach jest początkowy brak „wyczucia” tego rodzaju pojazdu – osoba ta najpierw jeździła rowerem Unibike Optima.

Osoba oznaczona nr. 3 również osiągnęła jedno z najmniejszych wartości opóźnień ($3,6 \text{ m/s}^2$ i $5,1 \text{ m/s}^2$ na rowerze Swift oraz $4,2 \text{ m/s}^2$ i $4,0 \text{ m/s}^2$ na rowerze Optima). Nie było to zaskoczeniem, ponieważ ma ona bardzo małe doświadczenie w jeździe klasycznym rowerem, a rowerem elektrycznym nie jeździła nigdy.

Osoba oznaczona nr. 4 była jednym z głównych inicjatorów omawianych badań i w sezonie letnim na co dzień jeździ klasycznym rowerem. W czasie badań osoba ta jeździła oboma rowerami, przy czym zdecydowanie bardziej odpowiadał jej rower Unibike Optima i zapewne stąd wzięły się różnice w opóźnieniach osiągniętych w czasie intensywnego hamowania ($5,5$ vs $4,5$; $5,9$ vs $4,6$; $3,0$ vs $2,6$ – dla hamowania odpowiednio przód + tył, przód, tył rowerami Optima vs Swift).

Osoba nr 5 również była jednym z głównych inicjatorów omawianych badań. Aktualnie niewiele jeździ rowerem, ale jest czynnym motocyklistą. Z uwagi na to, że hamowanie rowerem i motocyklem przebiega w podobny sposób (niezależne hamulce, potrzeba odpowiedniego dozowania siły nacisku na dźwignię uruchamiającą hamulec przedniego koła i ryzyko wywrócenia pojazdu), opóźnienia hamowania uzyskane przez tę osobę mają duże wartości, przekraczające 6 m/s^2 .

Najmłodszym uczestnikiem badań była osoba oznaczona nr. 10. Była to kobieta, która w sezonie letnim – jeśli tylko czas i pogoda pozwalają – kilka razy w tygodniu pokonuje klasycznym rowerem trasę kilkudziesięciu kilometrów. Jej doświadczenie jest wytłumaczeniem dużych wartości uzyskiwanego opóźnienia hamowania ($5,6 \text{ m/s}^2$ przód oraz $5,9 \text{ m/s}^2$ przód + tył) i największych wartości przyspieszania ($1,3$ – $1,4 \text{ m/s}^2$).

Pewnym zaskoczeniem było to, że uzyskane wartości przyspieszeń z włączonym wspomaganie ($0,4\text{--}1,4\text{ m/s}^2$) nie odbiegały znacząco od przyspieszeń osiągniętych na klasycznych rowerach [8], choć maksymalne wartości były większe od uzyskiwanych przez zawodników sportowych [9].

Zróznicowane wartości przyspieszeń w próbach realizowanych bez wspomaganie elektrycznego wynikają zarówno z różnych predyspozycji fizycznych osób biorących udział w badaniach, ale też zapewne z różnego zaangażowania. Największe przyspieszenia w próbach ze wspomaganie osiągnęły osoby oznaczone nr. 4, 5, 7 i 10. Trzy pierwsze to organizatorzy badań, którzy w pełni rozumieli ideę sprawdzenia maksymalnego przyspieszenia, a czwarta osoba to wspomniana już powyżej kobieta, która jest aktywnym użytkownikiem klasycznego roweru.

Opóźnienia hamowania uzyskane na rowerze Unibike Swift zawierały się w następujących przedziałach: $3,6\text{--}6,7\text{ m/s}^2$ (hamowanie z użyciem obu hamulców, z pominięciem próby, w której doszło do wywrócenia roweru), $4,6\text{--}6,0\text{ m/s}^2$ (przedni hamulec), $2,6\text{--}3,3\text{ m/s}^2$ (tylny hamulec). Opóźnienia hamowania osiągnięte na rowerze Unibike Optima zawierały się w następujących przedziałach: $3,9\text{--}5,9\text{ m/s}^2$ (hamowanie z użyciem obu hamulców), $3,9\text{--}5,9\text{ m/s}^2$ (przedni hamulec), $2,8\text{--}3,0\text{ m/s}^2$ (tylny hamulec). Obliczone średnie wartości nie odbiegały od podawanych w literaturze dla klasycznych rowerów [8].

Wyniki badań opóźnień hamowania wyłącznie hamulcem działającym na tylne koło dowodzą, że tego rodzaju hamowanie jest najmniej zależne od rowerzysty. Średnia wartość opóźnienia wynosiła $2,9\text{ m/s}^2$ i była nieco większa od podawanych przez Świdra i in. [8]. Wyniki uzyskane w poszczególnych próbach nie odbiegały istotnie od wartości średniej.

Prawidłowa technika hamowania pojazdu jednośladowego polega na równoczesnym hamowaniu przedniego i tylnego koła. Przy odpowiednim dozowaniu sił nacisku na dźwignie hamulcowe uzyskuje się największe opóźnienia hamowania. Analiza wyników badań przedstawionych w formie graficznej (ryc. 6 i 7) daje podstawę do stwierdzenia, że w sześciu próbach uczestnicy badań osiągnęli większe opóźnienia przy hamowaniu wyłącznie hamulcem działającym na przednie koło. Można także zauważyć, że hamowanie tym hamulcem daje możliwość osiągnięcia opóźnień porównywalnych do uzyskiwanych w próbach hamowania z użyciem obu hamulców, co jest zgodne z wynikami badań dla klasycznych rowerów [3, 8].

5. Wnioski

1. Maksymalne opóźnienie hamowania w próbach, które zakończyły się statecznym zatrzymaniem roweru, wynosiło $6,7\text{ m/s}^2$.
2. Średnie wartości opóźnień na rowerze Unibike Swift wynosiły:
 - przy hamowaniu z użyciem obu hamulców – $5,6\text{ m/s}^2$,
 - przy hamowaniu z użyciem hamulca przedniego – $5,3\text{ m/s}^2$,
 - przy hamowaniu z użyciem hamulca tylnego – $3,0\text{ m/s}^2$.

3. Średnie wartości opóźnień na rowerze Unibike Optima wynosiły:
 - przy hamowaniu z użyciem obu hamulców – $5,0 \text{ m/s}^2$,
 - przy hamowaniu z użyciem hamulca przedniego – $5,3 \text{ m/s}^2$,
 - przy hamowaniu z użyciem hamulca tylnego – $2,9 \text{ m/s}^2$.
4. Ze wspomaganiem elektrycznym rowerzyści osiągalili przyspieszenia $0,4\text{--}1,3 \text{ m/s}^2$ w czasie normalnego przyspieszania, a w czasie maksymalnego przyspieszania osiągalili wartości sięgające $1,4 \text{ m/s}^2$. Maksymalne przyspieszenie bez wspomagania elektrycznego wynosiło $0,7 \text{ m/s}^2$.

Finansowanie

Praca została wykonana w ramach projektu Polskiego Stowarzyszenia Biegłych Sądowych do Spraw Wypadków Drogowych.

Bibliografia

1. Bäumler, H. (2009). Bremsverzögerungen von modernen Fahrrädern. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, (11), 347–349.
2. Berntsen, S., Malnes, L., Langåker, A., Bere, E. (2017). Physical activity when riding an electric assisted bicycle. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(55). <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0513-z>
3. Bulla, M., Schnädelbach, C. (2008). Messungen von Geschwindigkeiten, Verzögerung und Beschleunigungen mit neueren Fahrradtypen und Inline-Skates. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, (6), 193–200.
4. Ciępka, P., Janczur, R. (2019). Urządzenie *VBox Sport* w praktyce biegłego i rzeczoznawcy samochodowego. *Paragraf na Drodze*, (4), 63–73.
5. Janoško, I. (2008). Efektywność hamowania wybranych modeli rowerów. *Paragraf na Drodze*, (9), 46–57.
6. Reza, A. (2009). Hamowanie, prędkość i przyspieszanie rowerów. *Paragraf na Drodze*, (6), 39–51.
7. Reza, A. (2010). Opóźnienia i przyspieszenia rowerów. *Paragraf na Drodze*, (5), 35–41.
8. Świder, P., Gibczyński, Z., Jakusz-Gostomski, M. (2013). Parametry ruchu rowerów. Część 1: dynamika podłużna. *Paragraf na Drodze*, (1), 55–63.
9. Tesař, J. (2006). Analiza rozjezdu cyklistu. *Mezinárodní konference znalců – analytiků dopravních nehod*, 2–3 czerwca 2006, Brno.

* * *

Electric bicycle movement research

Abstract

The quantity of electric bicycles in Poland is increasing, and consequently, the quantity of road accidents involving them is also likely to increase. There are few research results in the literature on the dynamics of movement of such bicycles, so the research was undertaken to at least partially fill the gaps. The article presents the results of tests on acceleration and intensive braking, lane changes, and U-turns for two Unibike electric bicycle models, Swift and Optima. The basic tests were supplemented with braking tests on bicycle paths with asphalt and concrete surfaces, paving stones and surface covered with special paint.

Key words

Electric bicycles, braking, acceleration, deceleration, lane changes, U-turns.