

**Włodzimierz Treter**

Niektóre aspekty ruchu motorowerów i małych skuterów

Streszczenie

Na podstawie danych literaturowych i własnych analiz autor omawia poszczególne fazy ruchu motorowerów, istotne dla biegłego i rzeczoznawcy. Tam, gdzie jest to uzasadnione szczególnie budową pojazdu, autor używa nazwy „skuter”.

Słowa kluczowe

Skutery, przyspieszenia, ślizganie na boku, hamowanie.

* * *

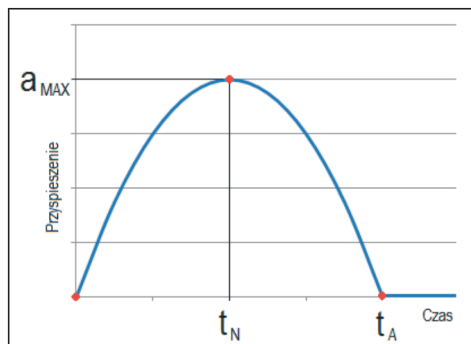
1. Wstęp

Małe skutery, o pojemnościach skokowych silników do 125 cm³, mimo że stanowią liczną grupę pojazdów uczestniczących w ruchu, sytuują się na uboczu analiz wypadków z udziałem pojazdów jednośladowych. Motorowery, wliczając w to wspomniane skutery, mają swoiste cechy, które uzasadniają metodykę analizy wypadków z ich udziałem, różniącą się niekiedy od procedur stosowanych w przypadkach dotyczących motocykli.

2. Przyspieszenia motorowerów

W przypadku motocykli o dużych mocach faza przyspieszenia trwa na tyle krótko, że błąd wynikający z przyjęcia do obliczeń przyspieszenia średniego jest akceptowalny. Natomiast rozpędzanie motorowerów i skuterów z silnikami o pojemności do 50 cm³ do prędkości, z jakimi uczestniczą w ruchu, trwa na tyle długo, że rodzi się potrzeba szczegółowej analizy tej fazy ich ruchu. Ponadto, w motocyklach o dużej mocy występują skrzynie przekładniowe z kilkoma biegami, podczas gdy skutery są wyposażone w przekładnie bezstopniowe. Można wtedy przyjąć, że przyspieszanie przebiega według jednej krzywej. Przyjmijmy w uproszczeniu, że przyspieszenie pojazdu po ruszeniu zmienia się według odwróconej paraboli, symetrycznej względem linii przechodzącej przez odciętą o wartości t_N (ryc. 1).

Mgr inż. Włodzimierz Treter, certyfikowany rzeczoznawca samochodowy, prowadzi własne biuro rzeczoznawcze „TRETER Ekspertyzy Techniczne”, Radom.



Ryc. 1. Wyidealizowany przebieg zmian przyspieszenia motoroweru w początkowej fazie ruchu (rysunek autora).

Gdzie:

t_A – czas rozpędzania pojazdu do znanej, stałej prędkości,

t_N – czas narastania przyspieszenia do jego maksymalnej wartości,

a_{MAX} – maksymalna wartość przyspieszenia.

Wtedy $t_A = 2 t_N$, a zważywszy, że $a(0) = 0$, otrzymuje się następujące zależności:

$$a(t_N) = a_{MAX} = \gamma \cdot t_N^2 + \beta \cdot t_N \quad (1)$$

$$a(t_A) = 0 = \gamma \cdot t_A^2 + \beta \cdot t_A \quad (2)$$

$$\gamma = -\frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A^2} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A} \quad (4)$$

Po przekształceniach otrzymujemy:

$$a(t) = -\frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A^2} \cdot t^2 + \frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A} \cdot t \quad (5)$$

a po uporządkowaniu wzór ten przybiera postać:

$$a(t) = \frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A} \cdot \left(\frac{t}{t_A} - 1 \right) \cdot t \quad (6)$$

Po jego scałkowaniu mamy:

$$V(t) = -\frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A^2} \cdot \frac{t^3}{3} + \frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A} \cdot \frac{t^2}{2} + C \quad (7)$$

Ponieważ dla wartości $V(0) = 0$ także wartość stałej $C = 0$, to po przekształceniu otrzymuje się:

$$V(t) = -\frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A} \cdot \left(\frac{t}{3t_A} - \frac{1}{2} \right) \cdot t^2 \quad (8)$$

Po upływie czasu t_A skuter osiąga ustaloną, maksymalną prędkość V_{MAX} . Stąd wynika, że:

$$V(t_A) = V_{MAX} \quad (9)$$

$$a_{MAX} = \frac{3 \cdot V_{MAX}}{2 \cdot t_A} \quad (10)$$

Po scałkowaniu wzoru (8) otrzymuje się formułę opisującą długość drogi przebytej w fazie zmiennego przyspieszenia pojazdu:

$$S(t) = -\frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A^2} \cdot \frac{t^4}{12} + \frac{4 \cdot a_{MAX}}{t_A} \cdot \frac{t^3}{6} \quad (11)$$

Podobnie jak w przypadku prędkości, $S(0) = 0$, a zatem również stała całkowania $C = 0$, a zatem po przekształceniu otrzymuje się:

$$S(t) = -\frac{4 \cdot a_{MAX}}{6 \cdot t_A} \cdot \left(\frac{t}{2 \cdot t_A} - 1 \right) \cdot t^3 \quad (12)$$

czyli ostatecznie mamy:

$$S(t) = -\frac{V_{MAX}}{t_A^2} \cdot \left(\frac{t}{2 \cdot t_A} - 1 \right) \cdot t^3 \quad (13)$$

$$V(t) = -\frac{6 \cdot V_{MAX}}{t_A^2} \cdot \left(\frac{t}{3 \cdot t_A} - 1 \right) \cdot t^2 \quad (14)$$

Powyższe zależności wykorzystują ogólnie dostępne dane katalogowe motorów i motocykli.

3. Przykładowe osiągi motorów o pojemności skokowej silnika do 50 cm³

N. Röhr [8] systematycznie badał przyspieszenia motorów. Pojazdy były obciążone masą dorosłego mężczyzny (ca. 80 kg). Pomiary prowadzono przy użyciu dostępnego w handlu urządzenia GPS. Rozpędzanie motorów odbywało się ze startu stojącego.

Tabela 1. Czasy trwania fazy przyspieszania i prędkości maksymalne motorowerów (na podstawie [8])

| typ | rok prod. | pojemność [cm ³] | moc [KM] | masa własna [kg] | czas rozpędzania | | V max [km/h] | a max [m/s ²] |
|---|-----------|------------------------------|----------|------------------|------------------|---------------|--------------|---------------------------|
| | | | | | 0–40 km/h [s] | 0–50 km/h [s] | | |
| Aprilia SR 50, gaźnik, „dwusuw” | 1995 | 49,0 | 3,0 | 118 | - | 8,8 | 59,0 | 2,37 |
| Aprilia SR 50, wtrysk, „dwusuw” | 2012 | 49,0 | 3,0 | 104 | 8,8 | - | 45,0 | 1,89 |
| Aprilia SR 50, wtrysk, „dwusuw” | 2000 | 49,0 | 4,5 | 107 | 6,0 | - | 50,0 | 2,78 |
| Aprilia SR 50, wtrysk, „dwusuw” | 2002 | 49,0 | 4,5 | 107 | 6,1 | - | 45,0 | 2,73 |
| Aprilia SR 50, wtrysk, „dwusuw” | 2002 | 49,0 | 4,5 | 107 | 7,4 | - | 73,3 | 2,25 |
| Aprilia SR 50, wtrysk, „dwusuw” | 2003 | 49,0 | 4,5 | 107 | 7,0 | - | 45,0 | 2,38 |
| Aprilia SR 50 Factory, „dwusuw” | 2009 | 49,4 | 4,5 | 107 | 7,0 | - | 45,0 | 2,38 |
| Benelli Street 49X, „dwusuw” | 2012 | 49,3 | 3,7 | 100 | 8,0 | - | 45,0 | 2,08 |
| Beta Ark 50 AC, „dwusuw” | 2009 | 49,0 | 4,1 | 93 | 9,0 | - | 45,0 | 1,85 |
| Daelim Cordi 50, „dwusuw” | 2009 | 49,4 | 3,1 | 79 | 8,3 | - | 45,0 | 2,01 |
| Honda SJ50 Bali, „dwusuw” | 2000 | 49,0 | 4,9 | 92 | 6,0 | - | 57,0 | 2,78 |
| Honda Vision 50i, „czterosuw” | 2012 | 49,8 | 3,4 | 100 | 10,2 | - | 45,0 | 1,63 |
| Haljet Dragster 50, „dwusuw” | 1998 | 49,0 | 4,5 | 100 | - | 15,7 | 53,0 | 1,33 |
| Kymco Spacer 50, „dwusuw” | 2001 | 49,0 | 4,2 | 121 | - | 8,5 | 58,0 | 2,45 |
| Kymco Agility MMC 50, „czterosuw” | 2010 | 49,4 | 3,5 | 97 | 10,2 | - | 45,0 | 1,63 |
| Kymco Super 8 50, „czterosuw” | 2009 | 49,4 | 3,3 | 112 | 10,4 | - | 45,0 | 1,60 |
| Kymco Vitality 50, „dwusuw” | 2008 | 49,0 | 3,4 | 97 | 8,4 | - | 45,0 | 1,98 |
| Kymco Like 50, „czterosuw” | 2009 | 49,4 | 3,5 | 106 | 9,8 | - | 45,0 | 1,70 |
| Kymco Sento 50, „czterosuw” | 2009 | 49,0 | 2,7 | 87 | 8,8 | - | 45,0 | 1,89 |
| Kymco New Senta 50i, „czterosuw” | 2011 | 49,9 | 3,6 | 93 | 8,2 | - | 45,0 | 2,03 |
| Kymco People S 50, „czterosuw” | 2008 | 49,0 | 4,1 | 113 | 9,9 | - | 45,0 | 1,68 |
| Kymco Grand Dink 50S, „czterosuw” | 2009 | 49,0 | 3,9 | 129 | 8,8 | - | 45,0 | 1,89 |
| Malaguti FireFix AC50, „dwusuw” | 2009 | 49,3 | 3,4 | 96 | 8,1 | - | 45,0 | 2,06 |
| Peugeot New Vivacity 50, „dwusuw” | 2008 | 49,9 | 3,9 | 103 | 8,4 | - | 45,0 | 1,98 |
| Peugeot New Vivacity 50, „czterosuw” | 2009 | 49,5 | 3,8 | 104 | 8,7 | - | 45,0 | 1,92 |
| Peugeot Ludix 2 Elegance 50, „dwusuw” | 2008 | 49,0 | 3,9 | 88 | 7,8 | - | 45,0 | 2,14 |
| Peugeot Speedfight 2 50 AC, „dwusuw” | 2001 | 49,0 | 5,0 | 99 | - | 14,9 | 52,0 | 1,40 |
| Peugeot Speedfight 3 50 LC, „dwusuw” | 2008 | 49,5 | 3,8 | 99 | 7,1 | - | 45,0 | 2,35 |
| Peugeot Speedfight 3 50 LC, „czterosuw” | 2009 | 49,5 | 3,8 | 108 | 8,7 | - | 45,0 | 1,92 |
| Peugeot Jet Force 50 C-Tech, „dwusuw” | 2012 | 49,1 | 4,9 | 110 | 7,4 | - | 45,0 | 2,25 |
| Piaggio Sfera 50, „dwusuw” | 1996 | 49,0 | 3,8 | 90 | - | 10,4 | 54,0 | 2,00 |
| Piaggio TPH 50, „dwusuw” | 2010 | 49,4 | 4,1 | 88 | 9,2 | - | 45,0 | 1,81 |
| Piaggio NRG Power 50 PureJet, „dwusuw” | 2011 | 49,4 | 4,4 | 107 | 6,4 | - | 45,0 | 2,60 |
| Piaggio Fly 50, „czterosuw” | 2011 | 49,5 | 3,6 | 105 | 10,3 | - | 45,0 | 1,62 |
| Sachs Bikes 49er II, „dwusuw” | 2009 | 49,3 | 2,6 | 84 | 10,2 | - | 45,0 | 1,63 |
| Sachs Bikes Bee 50, „czterosuw” | 2009 | 49,3 | 3,7 | 90 | 8,5 | - | 45,0 | 1,96 |
| Sachs Bikes Speed jet 50RS Ltd., „dwusuw” | 2009 | 49,3 | 3,1 | 100 | 7,5 | - | 45,0 | 2,22 |
| Sym Jet Sport X 50, „dwusuw” | 2008 | 49,4 | 3,8 | 100 | 8,4 | - | 45,0 | 1,98 |
| Sym Mio 50, „czterosuw” | 2009 | 49,0 | 3,8 | 85 | 8,0 | - | 45,0 | 2,08 |
| Tauris Samba 50, „dwusuw” | 2008 | 49,3 | 3,5 | 86 | 10,2 | - | 45,0 | 1,63 |
| Tauris Samba 50 Art. Collection, „dwusuw” | 2012 | 49,3 | 3,4 | 88 | 8,1 | - | 45,0 | 2,06 |
| Tauris Brio 50, „czterosuw” | 2009 | 49,0 | 3,0 | 89 | 8,7 | - | 45,0 | 1,92 |
| Tauris Fiera 50, „czterosuw” | 2009 | 49,7 | 3,9 | 95 | 9,0 | - | 45,0 | 1,85 |
| Tauris Strada 50, „czterosuw” | 2011 | 49,3 | 3,3 | 101 | 8,8 | - | 45,0 | 1,89 |
| Tauris Mistral 50, „dwusuw” | 2011 | 49,3 | 4,1 | 95 | 8,9 | - | 45,0 | 1,87 |
| Tauris Cubana 50, „dwusuw” | 2012 | 49,3 | 4,4 | 105 | 9,3 | - | 45,0 | 1,79 |
| TGB Buller 50, „dwusuw” | 2009 | 49,4 | 4,8 | 106 | 7,3 | - | 45,0 | 2,28 |
| TGB Bullet 50 RS, „dwusuw” | 2010 | 49,4 | 4,8 | 106 | 7,5 | - | 45,0 | 2,22 |
| TGB Bullet 50, „dwusuw” | 2011 | 49,4 | 4,8 | 106 | 7,5 | - | 45,0 | 2,22 |
| TGB Tapo 50, „dwusuw” | 2009 | 49,4 | 4,9 | 91 | 7,0 | - | 45,0 | 2,38 |

| typ | rok prod. | pojemność [cm ³] | moc [KM] | masa własna [kg] | czas rozpędzania | | V max [km/h] | a max [m/s ²] |
|---------------------------------------|-----------|------------------------------|----------|------------------|------------------|---------------|--------------|---------------------------|
| | | | | | 0–40 km/h [s] | 0–50 km/h [s] | | |
| Tomos New Youngst'Racing 50, „dwusuw” | 2008 | 48,7 | 3,21 | 72 | 8,1 | - | 45,0 | 2,06 |
| Vespa PK 50, „dwusuw” | 1985 | 49,0 | 2,7 | 87 | 19,3 | - | 50,0 | 0,86 |
| Vespa ET2 50 RollerSpezial, „dwusuw” | 1998 | 49,0 | 3,7 | 99 | 10,6 | - | 50,0 | 1,57 |
| Vesta LX 50, „dwusuw” | 2009 | 50,0 | 4,4 | 109 | 8,7 | - | 45,0 | 1,92 |

W Niemczech do 2002 r. dla motorowerów obowiązywało ograniczenie prędkości maksymalnej do 50 km/h plus 5 km/h. Od 2002 r. obowiązuje ograniczenie wynoszące dokładnie 45 km/h.

Podczas oględzin pojazdu należy zwrócić uwagę, czy motorower nie został poddany tuningowi, skutkującemu podniesieniem mocy lub prędkości maksymalnej. Zestawy do przeróbek silnika i wariatora są ogólnie dostępne.

4. Zderzenia z samochodami

Uproszczona analiza zderzenia motoroweru z samochodem może być oparta na oszacowaniu straty energii w zależności od głębokości deformacji motoroweru i skrócenia rozstawu jego osi, o ile nie jest ono większe niż 0,4 m [9].

Jeśli przed uderzeniem motorowerzysta spadł z pojazdu, to prędkość motoroweru względem samochodu w początkowej chwili kolizji może być wyrażona zależnością:

$$V_R = \sqrt{2E_d \cdot \frac{m_M + m_C}{m_M \cdot m_C}} \quad (15)$$

Przez *względna prędkość* pojazdów należy rozumieć składową normalną prędkości motoroweru względem uderzanej powierzchni samochodu. E_d jest sumą energii zużytej na deformacje samochodu i motoroweru:

$$E_d = E_{d,C} + E_{d,M} \quad (16)$$

gdzie

$E_{d,C}$ [J] – energia zużyta na deformacje samochodu,

$E_{d,M}$ [J] – energia zużyta na deformacje motoroweru, przede wszystkim na skrócenie rozstawu osi.

Jeśli zaś w początkowej chwili kolizji motorowerzysta utrzymuje się jeszcze na swoim pojeździe, to:

$$V_R = \sqrt{\frac{2E_d}{m^* \cdot (1 - k^2)}} \quad (17)$$

$$m^* = \frac{m_C \cdot (m_M + \sigma \cdot m_R)}{m_C + (m_M + \sigma \cdot m_R)} \quad (18)$$

przy czym

$$\sigma = \frac{m_R}{m_R + m_M} \quad (19)$$

gdzie:

m_R [kg] – masa motorowerzysty,

m_M [kg] – masa motoroweru,

m_C [kg] – masa samochodu,

k – współczynnik restytucji.

Przeprowadzone eksperymenty, polegające na uderzaniu motocyklami¹ w sztywną barierę, pozwoliły na sformułowanie następującej zależności:

$$EES = b_0 + b_1 \cdot \Delta p = 2,91 + 37,19 \cdot \Delta p \quad (20)$$

gdzie

Δp [m] – skrócenie rozstawu osi motocykla (nie większe niż 0,4 m).

Wtedy:

$$E_{d,M} = \frac{1}{2} \cdot m_M \cdot (EES)^2 \quad (21)$$

$$E_{d,C} = \lambda \cdot m_M \cdot (b_0 b_1 + b_1^2 \cdot \Delta p) \cdot (kC + \delta) \quad (22)$$

gdzie:

$$\lambda = C + 1 \quad [\text{m}] \quad (23)$$

$$E_{d,C} = (C + 1) \cdot \frac{1}{2} m_M \cdot (108,22 + 1383,10 \cdot \Delta p) \cdot (a \cdot C + \delta) \quad (24)$$

gdzie:

m_M [kg] – masa motoroweru (bez motorowerzysty),

$a = 0,56$ – współczynnik korygujący, przy założeniu, że energia deformacji elementów samochodu, której wykres (w rzucie z góry) ma kształt trójkątny, jest równa energii deformacji o wykresie prostokątnym,

C [m] – największa głębokość deformacji,

δ [m] – głębokość deformacji sprężystej, przy czym wartość δ wynosi:

| | |
|----------------------|---------------------|
| dla przodu samochodu | $\delta = 0,07$ [m] |
| dla tyłu samochodu | $\delta = 0,08$ [m] |
| dla boku samochodu | $\delta = 0,04$ [m] |

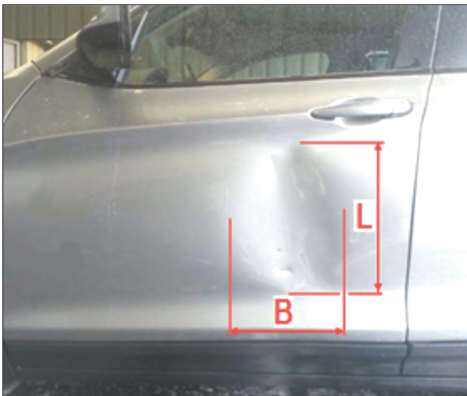
¹ Do prób użyte zostały motocykle: Aprilia Scarabeo (125 cm³, 200 cm³ i 500 cm³), Aprilia Mana (850 cm³) oraz Aprilia Pegaso (650 cm³).

5. Wartość współczynnika restytucji w przypadku kolizji z udziałem motorowerów

W analizach zderzeń z udziałem pojazdów jednośladowych, Vangi i in. [9] sugerują uwzględnianie wyższych wartości tego współczynnika, niż miałyby to miejsce w przypadku kolizji dwóch samochodów. Spowodowane to jest sprężystością przedniego zawieszenia jednośladow. Analiza wyników badań, które cytuje W. Antonetti [1] wskazuje, że największa wartość współczynnika restytucji wynosi ok. 0,6.

6. Szacowanie prędkości uderzenia w przypadku niewielkich wgnieceń na elementach boków samochodów

Prędkości rozwijane przez motorowery często sprawiają, że w przypadku zderzeń z samochodami, głębokości wgnieceń na elementach samochodów są stosunkowo niewielkie. Wtedy prędkość uderzenia motoroweru w drzwi (bez belek wzmacniających) lub w tylne błotniki samochodu można oszacować korzystając z metody, którą opisuje A. Pitkowski, a która polegała na uderzaniu w bok samochodu przez sztywny pojemnik, poruszający się z prędkością 10 km/h [7]:



L – długość wgniecenia [mm],
 B – szerokość wgniecenia [mm],
 Y – głębokość wgniecenia [mm].

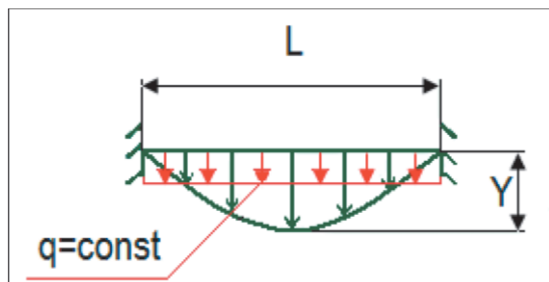
Ryc. 2. Wymiary przykładowego wgniecenia na poszyciu drzwi samochodu (źródło: Internet).

Przyjmujemy, następujące wielkości:

$t = 0,5 \div 0,7$ [mm] – grubość blachy, z której wykonano uszkodzony element poszycia,

$E = 210 \cdot 000$ [N/mm²] – moduł sprężystości Younga dla stali S335, z której wykonuje się elementy poszycia samochodów,

m – [kg] masa uderzającego obiektu.



Ryc. 3. Siły nacisku działające w przekroju deformacji. Kolor czerwony – uśrednione siły jednostkowe (na podstawie [7]).

Zakładamy, że energia deformacji elementu poszycia samochodu (np. drzwi) jest równa energii kinetycznej skutera wraz z kierującym.

$$E_{DEF} = E_{KIN} = \frac{1}{2} \cdot mV^2 = F \cdot S \quad (25)$$

a zatem

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot F \cdot S}{m}} \quad (26)$$

Ze względu na sprężystość elementów przedniego zawieszenia motoroweru należy do poniższego wzoru wprowadzić współczynnik restytucji:

$$V_0 = \frac{V}{k} \quad (27)$$

gdzie:

V [m/s] – bezwzględna wartość prędkości uderzenia, oszacowana na podstawie wymiarów deformacji elementu samochodu, bez uwzględnienia energii odkształcenia przedniego zawieszenia motoroweru,

V_0 [m/s] – bezwzględna wartość prędkości motoroweru przed zderzeniem,

$k \approx 0,6$ – współczynnik restytucji,

F [N] – sumaryczna siła nacisku,

przy czym: $S = Y$.

Największa głębokość odkształcenia spełnia zależność:

$$Y = \frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (28)$$

gdzie moment bezwładności przekroju odkształcenia wyraża się wzorem:

$$I = \frac{B \cdot t^3}{12} \quad (29)$$

Po podstawieniu otrzymujemy wartość jednostkowej siły nacisku na element pojazdu q :

$$q = \frac{32 \cdot B \cdot t^3 \cdot Y \cdot E}{L^4} \quad (30)$$

Przykład liczbowy:

- $m = 150$ [kg] – masa motoroweru wraz kierującym,
- $Y = 20$ [mm] – największa głębokość odkształcenia (przy czym $Y = S$ jest to droga, na której pracę wykonały siły nacisku),
- $t = 0,6$ [mm] – grubość blachy, z której wykonano element poszycia,
- $L = 400$ [mm] – długość strefy deformacji,
- $B = 250$ [mm] – szerokość strefy deformacji.

$$q = \frac{32 \cdot 250 \cdot 0,6^3 \cdot 20 \cdot 210 \cdot 1000}{400^4} = 0,284 \left[\frac{N}{mm} \right] \quad (31)$$

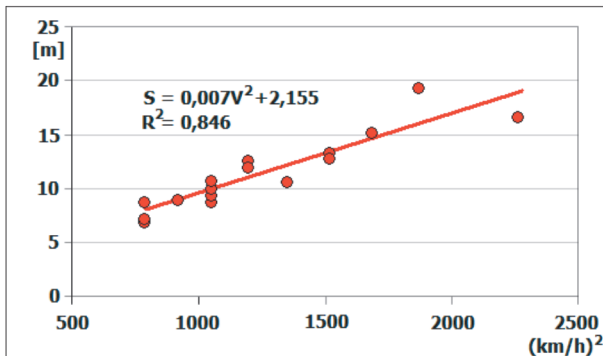
Po podstawieniu wartości liczbowych do wzoru (25) otrzymujemy:

$$V = 5,5 \text{ [m/s]} \quad (32)$$

$$V_0 = \frac{5,5}{0,6} = 9,17 \text{ [m/s]} \approx 33 \text{ [km/h]} \quad (33)$$

7. Ślizganie się skuterów na boku

Z badań współczynnika tarcia lekkich skuterów o pojemności skokowej silników $\leq 125 \text{ cm}^3$ [2], sunących na boku po asfaltowej nawierzchni, wynika, że długość śladów, jakie znaczyły te pojazdy, jest liniową funkcją kwadratu ich prędkości początkowej (ryciny 4–6).

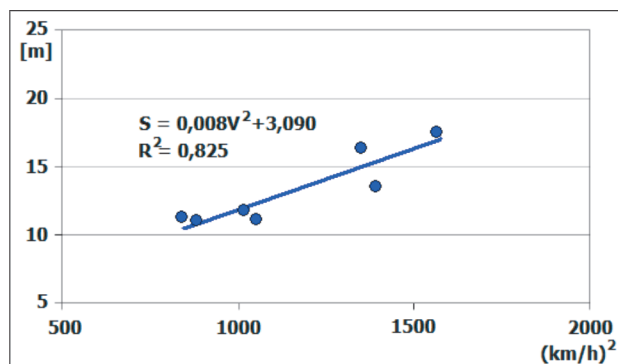


Ryc. 4. Zależność długości śladów znaczonych przez skuter o poj. skok. silnika $\leq 125 \text{ cm}^3$ sunący na boku po suchej nawierzchni asfaltowej od kwadratu prędkości początkowej (na podstawie [2]).

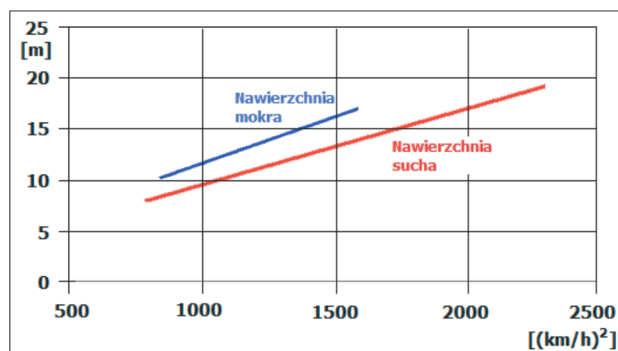
gdzie:

S [m] – długość śladów znaczonych przez skuter sunący na boku,

V [km/h] – prędkość początkowa.



Ryc. 5. Zależność długości śladów znaczonych przez skuter o poj. skok. silnika $\leq 125 \text{ cm}^3$ sunący na boku po mokrej nawierzchni asfaltowej od kwadratu prędkości początkowej (na podstawie [2]).



Ryc. 6. Porównanie długości śladów znaczonych przez skuter sunący na boku po asfaltowej nawierzchni suchej i mokrej (na podstawie [2]).

8. Hamowanie motorowerów

A. Gołaszewski i T Szydłowski badali proces hamowania motoroweru na nawierzchniach o różnych współczynnikach przyczepności [4], [5], [6]. W próbach wykorzystany był chiński skuter PGO G0Max 50, model 2008. Można zauważyć, że niektóre przebiegi procesu hamowania przypominają analizowaną na początku artykułu odwróconą parabolę, opisującą fazę przyspieszania.

Z uwagi na ustawowo ograniczoną prędkość motorowerów do 45 km/h, faza ustalonego opóźnienia w trakcie intensywnego hamowania może nie wystąpić, a charakterystyki opóźnienia przyjmują wtedy postać paraboli.

Wyniki testów wskazują, że sytuacje takie występują do prędkości początkowych wynoszących ok. 43 km/h²⁾ przy hamowaniu na suchym asfalcie hamulcem przednim oraz oboma hamulcami. Przy hamowaniu hamulcem tylnym na suchym asfalcie, przy prędkości początkowej wynoszącej 10 km/h faza ustalonego opóźnienia nie występuje.

²⁾ Jest to prędkość wynikająca z obliczeń dokonanych w oparciu o długość drogi hamowania.

Poprzez analogię do przebiegu przyspieszania, analizowanego w początkowej części artykułu, można zaproponować następujące zależności, opisujące chwilowe wartości opóźnienia hamowania, prędkości i drogi przebytej w trakcie hamowania:

$$a(t) = -\frac{4a_{MAX}}{t_A^2} \cdot (t-t_0)^2 + \frac{4a_{MAX}}{t_A} \cdot (t-t_0) \quad (34)$$

gdzie:

t_0 – czas kasowania luzów w układzie hamulcowym,

t_A – chwila zakończenia hamowania (chwila zatrzymania pojazdu).

Po scałkowaniu tego równania otrzymujemy:

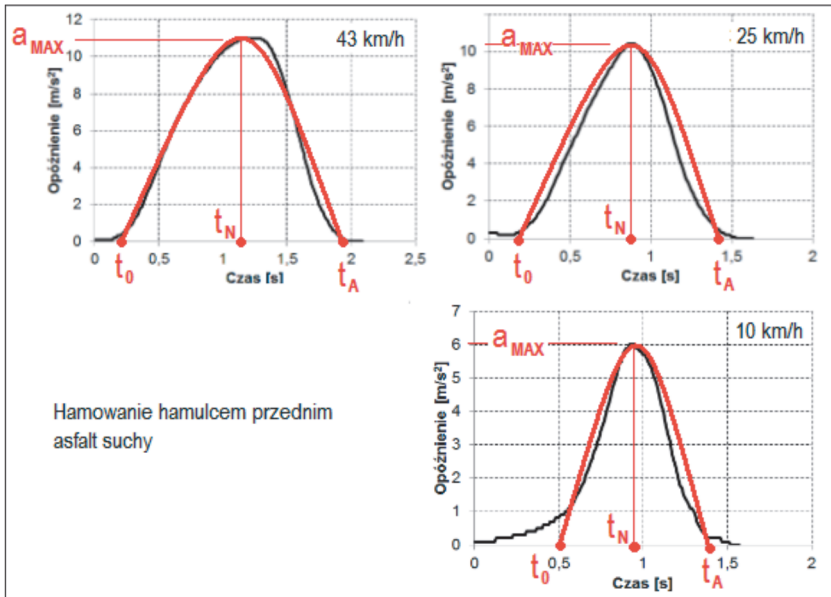
$$V(t) = -\frac{4a_{MAX}}{t_A^2} \cdot \frac{(t-t_0)^3}{3} + \frac{4a_{MAX}}{t_A} \cdot \frac{(t-t_0)^2}{2} - V_0 \quad (35)$$

gdzie: V_0 – prędkość rozwijana bezpośrednio przed rozpoczęciem hamowania.

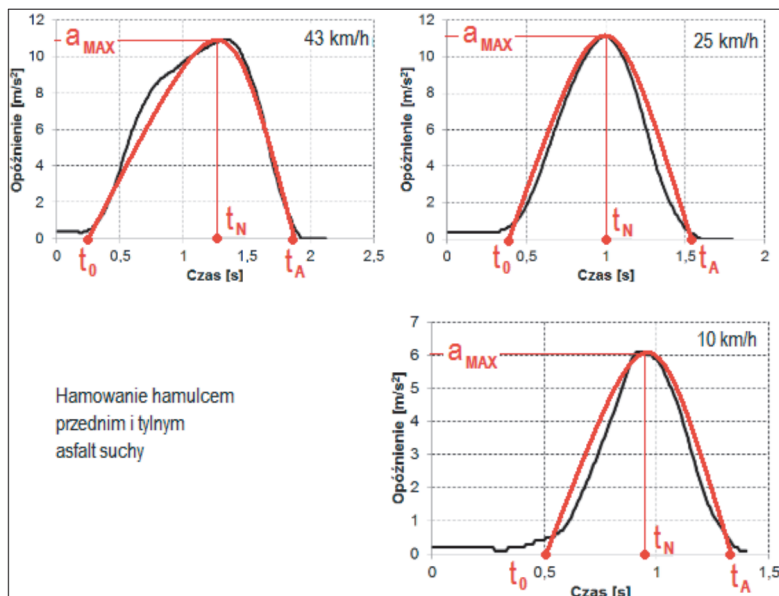
Długość drogi przebytej w trakcie hamowania w funkcji czasu wyraża się zależnością:

$$S(t) = -\frac{4a_{MAX}}{t_A^2} \cdot \frac{(t-t_0)^4}{12} + \frac{4a_{MAX}}{t_A} \cdot \frac{(t-t_0)^3}{6} + S_0 \quad (36)$$

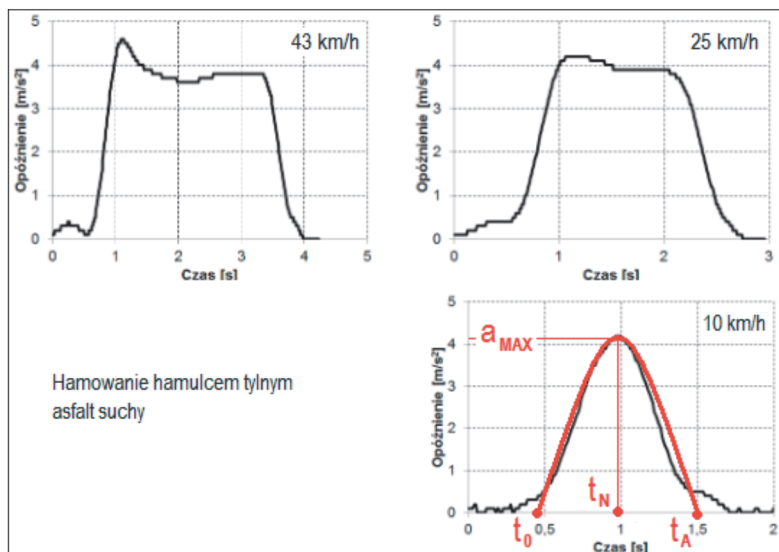
gdzie $S_0 = V_0 \cdot t_0$.



Ryc. 7. Przebiegi opóźnienia przy hamowaniu motoroweru przednim hamulcem dla prędkości początkowych: 43 km/h, 25 km/h i 10 km/h (na podstawie [4]).



Ryc. 8. Przebiegi opóźnienia motoroweru przy hamowaniu hamulcami przednim i tylnym dla prędkości początkowych: 43 km/h, 25 km/h, 10 km/h (na podstawie [4]).



Ryc. 9. Przebiegi opóźnienia motoroweru przy hamowaniu hamulcem tylnym dla prędkości początkowych: 43 km/h, 25 km/h i 10 km/h (na podstawie [4]).

Zwraca uwagę niższa wartość maksymalnego opóźnienia, wtedy, gdy prędkość początkowa wynosiła 10 km/h. Wartość ta jest zbliżona do opóźnień uzyskiwanych przy wyższych prędkościach, podczas hamowania przy użyciu hamulca

tylnego. Wskazuje to na istotny wpływ dociążenia przedniego koła podczas hamowania (tzw. transferu masy). Przy prędkości początkowej rzędu 10 km/h efekt ten praktycznie nie występuje, a przy prędkościach wyższych musi być uwzględniany poprzez przyjęcie do analizy wartości wyższych z podawanych w źródłach literaturowych.

Uwzględniając definicję MFDD, czas narastania opóźnienia hamowania do wartości $0,8 a_{MAX}$ zawiera się w granicach od ok. 0,5 do ok. 0,7 s.

Przebiegi hamowania hamulcem tylnym na suchym asfalcie, przy prędkościach początkowych 43 i 25 km/h, charakteryzują się typowym trapezoidalnym przebiegiem opóźnienia w czasie. Paraboliczny przebieg opóźnienia hamowania występuje przy prędkości początkowej równej 10 km/h.

Na nawierzchni szutrowej nietypowe przebiegi opóźnienia hamowania nie wystąpiły, niezależnie od tego, które koło było hamowane.

Tabela 2. Opóźnienia hamowania motoroweru na suchej nawierzchni asfaltowej [4]

| prędkość początkowa [km/h] | opóźnienie hamowania (MFDD) [m/s ²] | | |
|----------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------|
| | hamowanie hamulcem przednim | hamowanie hamulcami przednim i tylnym | hamowanie hamulcem tylnym |
| 10 | 5,1–5,2 | 4,8–4,9 | 3,4–3,6 |
| 25 | 8,8–9,2 | 9,3–9,7 | 4,0–4,1 |
| 43 | 9,5–9,9 | 9,7–10,0 | 3,7–3,8 |

Tabela 3. Opóźnienia hamowania motoroweru na nawierzchni szutrowej [5]

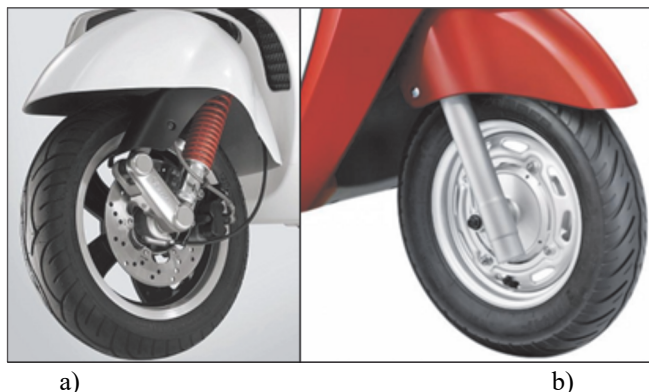
| prędkość początkowa [km/h] | opóźnienie hamowania (MFDD) [m/s ²] | | |
|----------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------|
| | hamowanie hamulcem przednim | hamowanie hamulcami przednim i tylnym | hamowanie hamulcem tylnym |
| 25 | blokowanie koła | 4,3–5,6 | 2,1–2,2 |
| 43 | blokowanie koła | 4,8–5,2 | 2,4–2,5 |

Tabela 4. Opóźnienia hamowania motoroweru na nawierzchni z kostki brukowej [6]

| prędkość początkowa [km/h] | opóźnienie hamowania (MFDD) [m/s ²] | | |
|----------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------|
| | hamowanie hamulcem przednim | hamowanie hamulcami przednim i tylnym | hamowanie hamulcem tylnym |
| 25 | 5,9–6,8 | 7,9–8,6 | 3,5–4,0 |
| 43 | 2,2–3,6 ^{*)} | 8,3–8,7 | 3,0–3,3 |

*) W trakcie hamowania kierujący zmniejszał nacisk na dźwignię hamulca z obawy przed zablokowaniem przedniego koła.

9. Stateczność ruchu skutera w zależności od konstrukcji przedniego zawieszenia



Ryc. 10. Zawieszenie wahaczowe (anti-drive) (a) i teleskopowe (b) (źródło: Internet).

Ghosh i in. [3], korzystając z modeli matematycznych, symulowali proces hamowania skuterów, wyposażonych w przednie zawieszenia o różnej konstrukcji. Stwierdzono, że na prostym odcinku rodzaj zawieszenia nie wpływa na długość drogi hamowania. Natomiast zauważalny jest wpływ konstrukcji przedniego zawieszenia na siłę hamowania możliwą do uzyskania na łuku drogi. Na łuku o promieniu 40 m i przy prędkości 60 km/h siła nacisku na dźwignię hamulca przedniego, która nie powodowała utraty stateczności pojazdu, wynosiła 85 N w przypadku zawieszenia teleskopowego i 69 N w przypadku zawieszenia wahaczowego. W tym ostatnim przypadku zwiększenie siły na dźwigni hamulca do wartości 85 N prowadziło do przewrócenia się pojazdu.

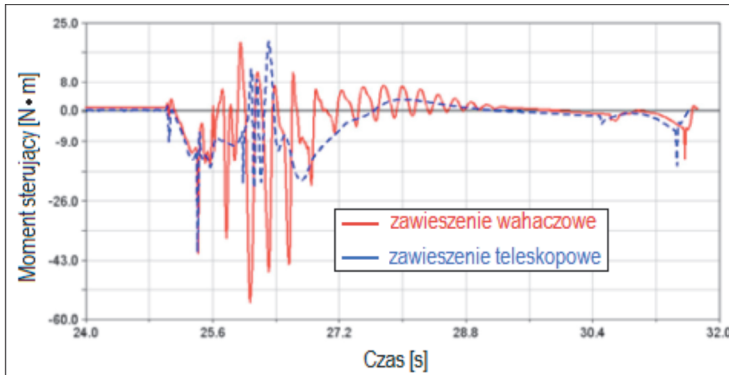


Ryc. 11. Pochylenie podczas hamowania skuterów z zawieszzeniami przednimi o różnej budowie (na podstawie [3]).

Pochylenie skutera z teleskopowym zawieszeniem przednim (linia niebieska na rycinie 11) osiąga maksymalną wartość, stałą w trakcie hamowania, następnie zmniejsza się, a pojazd bezpiecznie się zatrzymuje. W pojeździe o zawieszeniu wahaczowym zwiększenie siły na dźwigni hamulca przedniego do takiej samej wartości, jak zastosowana w pojeździe z zawieszeniem teleskopowym, prowadzi do

zablokowania przedniego koła i przewrócenia się skutera. W przypadku matematycznych modeli skuterów, przyjętych w omawianych symulacjach, siła hamowania pojazdu z zawieszeniem wahaczowym na zakręcie stanowi ok. 80% siły hamowania pojazdu z zawieszeniem teleskopowym.

W przypadku zablokowania tylnego koła, utrzymanie stateczności skutera z przednim zawieszeniem teleskopowym wymaga mniejszej liczby korekt kierownicą, charakteryzujących się ponadto mniejszym momentem przykładanej przez kierującego siły, niż w przypadku skutera z zawieszeniem wahaczowym (ryc. 12).



Ryc. 12. Przebieg momentu sterującego po zablokowaniu tylnego koła skuterów z różnymi zawieszzeniami przednimi (na podstawie [3]).

Bibliografia

1. Antonetti, V., W. (1998). *Estimating the Coefficient of Restitution of Vehicle-to-Vehicle Bumper Impacts*, SAE Papers 980552.
2. Chih-Yung, L., Chun-Chsia H., Chin-Ping F. (2012). *The Study of Coefficient of Friction for Light Motorcycle Sliding on Asphalt Road*, International Journal of the Physical Sciences Vol. 7 (30), pp. 5167–5174, 9 August.
3. Ghosh, S., Samy, B., A., Singh B., R., Kaushik, R. (2014). *Mechanical Combined Braking System Design and Validation for Scooter*, SAE 2014-01-2485.
4. Gołaszewski, A., Szydłowski, T. (2014). *Badania procesu hamowania motoroweru na nawierzchni o dużej wartości współczynnika przyczepności*, Logistyka nr 6.
5. Gołaszewski, A., Szydłowski, T. (2015). *Badania procesu hamowania motoroweru na nawierzchni szutrowej*, Logistyka, nr 3.
6. Gołaszewski, A., Szydłowski, T. (2016). *Badania procesu hamowania motoroweru na nawierzchni z kostki brukowej*, Autobusy, nr 6.
7. Pitkowski, A. (2006). *Plausibilitätsüberprüfung von Schäden mit „Dellenmuster“*, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Dezember.

8. Röhr, N. (2012). *Großer Scooter/Roller Beschleunigungs- und Verbrauchs-Vergleich*, <http://www.einszweidrei.de/ezdold/zzedit/ezd-rollerscooter-beschleunigung.html> (dostęp w dniu 23 listopada 2012).
9. Vangi, D., Begani, F., Cialdai, C., *et al.* (2013). *Motorcycle to Car Collisions: Evaluation of Energy Loss and Relative Impact Velocity*, EVU, 2013-04.

* * *

Some aspects of the movement of mopeds and small scooters

Abstract

On the basis of literature data and his own analyses the author discusses particular phases of mopeds' movement important for an expert witness and appraiser. Where justified by vehicle specific structure, the author uses the term "scooter".

Key words

Scooters, acceleration, sliding on a side, braking.