

CZY WARTO OGRANICZAĆ PRĘDKOŚĆ JAZDY?

JERZY WICHER¹

Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Streszczenie

W artykule przedstawiono ilościową analizę wpływu prędkości jazdy na liczbę wypadków i poziom bezpieczeństwa pieszych. Wykorzystując możliwości obliczeniowe tzw. „Modelu potęgowego” („Power Model”) wykazano, że zasadne jest wprowadzanie w miastach stref ograniczonej prędkości do 30 km/h. Korzystając z relacji statystycznej obrazującej zależność ryzyka od prędkości, przedstawiono ilościowe porównanie poziomu ryzyka śmierci i obrażeń AIS3+ pieszych i rowerzystów dla średnich prędkości osiąganych w Polsce w 2014 roku przez pojazdy na obszarze zabudowanym oraz na drogach ekspresowych i na autostradach. Biorąc pod uwagę, że prędkość pojazdu jest jednym z najbardziej znaczących parametrów, przedstawiono procedurę wyznaczania wpływu błędu oszacowania tej prędkości na błąd wyznaczonego ryzyka.

Słowa kluczowe: prędkość , liczba wypadków, ryzyko pieszych i rowerzystów

1. Wstęp

Z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego odpowiedź na pytanie zawarte w tytule artykułu jest chyba oczywista. Wszyscy uczestnicy ruchu drogowego zgadzają się z poglądem, że prędkość jest jednym z najbardziej znaczących parametrów, który powinien być brany pod uwagę w analizie bezpieczeństwa ruchu drogowego (BRD). Dlaczego zatem krajowe i europejskie statystyki pokazują, że jazda z nadmierną prędkością jest również jednym z najczęstszych wykroczeń w ruchu drogowym?

Z bezpośrednich obserwacji zachowań kierowców wynika, że rozwijane przez nich prędkości są wypadkową kilku czynników, takich jak: dobre warunki pogodowe, odpowiedni typ drogi, dobre samopoczucie psychiczno-fizyczne kierowcy, często pośpiech lub po prostu posiadanie dobrego samochodu i przyjemność jazdy z dużą prędkością.

Zmniejszeniu prędkości pojazdu sprzyjają niekorzystne warunki pogodowe (mgła, deszcz), duże natężenie ruchu, zły stan nawierzchni, obserwacja bezpośrednich skutków wypadku, złe samopoczucie kierowcy. Ponadto fotoradary, punkty kontroli policyjnej oraz obawa zdobycia punktów karnych lubo utraty prawa jazdy.

¹ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Laboratorium Bezpieczeństwa Pojazdów, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, e-mail: j.wicher@pimot.eu, tel. 22 777 71 65

W opinii kierowców znaki ograniczenia prędkości są w wielu przypadkach zbyt rygorystyczne lub ustawione w miejscach, gdzie takie ograniczenie nie jest potrzebne. Zatem ich ignorowanie ułatwia utrzymanie płynności ruchu, a jazda szybsza niż dozwolona przez znaki drogowe nie oznacza automatycznie jazdy niebezpiecznej.

Przedstawiona wyżej opisowa analiza przyczyn takiego zachowania kierowców może być potwierdzona danymi statystycznymi.

Jak szacuje Europejska Rada Bezpieczeństwa Transportu (*European Transport Safety Council* – ETSC), w krajach Unii Europejskiej, które monitorują prędkości na drogach, 40÷50% kierowców przekracza prędkość dopuszczalną na danym odcinku drogi, przy czym 10÷20% z nich przekracza dopuszczalne ograniczenie o 10 i więcej km/h. W Polsce „społecznie akceptowane” jest przekraczanie prędkości o 20-30 km/h w stosunku do prędkości ustanowionej przez znaki drogowe [14]. Wykroczenie to dotyczy większości kierowców zarówno w miastach (ok. 80%), jak i na drogach poza terenem zabudowanym (ok. 70%). Jedynie na autostradach i drogach ekspresowych, ze zrozumiałych względów, „tylko” ok. 30% kierowców przekracza prędkość dopuszczalną. W Polsce odsetek ten jest większy: wynosi ok. 55%.[14].

Związek ciężkości obrażeń z prędkością pojazdu jest natychmiast wyraźnie widoczny, jeśli weźmie się pod uwagę zależność między energią kinetyczną, która jest absorbowana podczas wypadku, a prędkością pojazdu w chwili kolizji: $E = \frac{mv^2}{2}$, gdzie m – masa pojazdu, v – prędkość). Widzimy, że np. dwukrotne zwiększenie prędkości powoduje czterokrotne zwiększenie energii, która powinna być zaabsorbowana. Ponadto zbyt szybka jazda wydłuża drogę hamowania, zatem jest wysokie prawdopodobieństwo, że prędkość pojazdu w chwili kolizji będzie znaczna.

Zarówno opisowa analiza zjawiska powszechnego przekraczania dopuszczalnej prędkości, jak i informacje statystyczne nie pozwalają na aktywne prognozowanie działań w zakresie poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Możliwość taka pojawia się, jeśli podejmie się próbę zbudowania odpowiednich modeli matematycznych. Celem niniejszego artykułu jest prezentacja podejmowanych w tym kierunku działań.

2. Model potęgowy

Do celów projektowych i realizacji odpowiedniej polityki BRD stosowane jest pojęcie średniej (przeciętnej) prędkości jazdy (*meantravelspeed*). Prędkość ta może znacznie różnić się od dopuszczalnej prędkości (limitu prędkości) określonej przez znaki drogowe (np. jazda dzień/noc, nawierzchnia sucha/mokra/oblodzona itp.).

Wykorzystując zasadę zachowania energii kinetycznej i dane empiryczne szwedzkiego instytutu VTI (*The Swedish National Road and Transport Research Institute*), G.Nilssonze zaproponował następującą formułę pokazującą wpływ zmiany średniej prędkości jazdy na zmianę liczby wypadków [10]:

$$W_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^n W_0 \tag{1}$$

W zależności (1) indeksem „0” oznaczono wartości obserwowane przed zmianą prędkości oraz indeksem „1” – po zmianie prędkości. W_1 jest liczbą wypadków po zmianie średniej prędkości z V_0 na V_1 , natomiast W_0 – liczbą wypadków przed zmianą średniej prędkości. Wartość wykładnika potęgowego $n \geq 2$, np. $n=3$ w przypadku wystąpienia ciężkich obrażeń; $n=4$ - jeśli są ofiary śmiertelne.

Rozwinięciem powyższej formuły jest tzw. „Model potęgowy” („Power Model”) składający się z 6 równań przedstawiających relacje między zmianą liczby wypadków W lub liczby ofiar uczestników ruchu drogowego Z , a zmianą średniej prędkości pojazdów V . Model potęgowy można zapisać w następującej postaci [10]:

Liczba wypadków z ofiarami śmiertelnymi

$$W_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^4 W_0 \tag{2}$$

Liczba wypadków z ciężkimi obrażeniami

$$W_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^3 W_0 \tag{3}$$

Liczba wypadków z rannymi (wszystkie)

$$W_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^2 W_0 \tag{4}$$

Liczba ofiar śmiertelnych

$$Z_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^4 W_0 + \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^8 (Z_0 - W_0) \tag{5}$$

Liczba śmiertelnych lub poważnych obrażeń

$$Z_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^3 W_0 + \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^6 (Z_0 - W_0) \tag{6}$$

Liczba poszkodowanych użytkowników dróg (wszystkie)

$$Z_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^2 W_0 + \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^4 (Z_0 - W_0) \tag{7}$$

Jeśli wystąpi zmniejszenie średniej prędkości (tj. $V_1 < V_0$), to wg wzorów (2), (3), (4) zawsze liczba wypadków W_1 po zmianie prędkości będzie mniejsza od liczby wypadków W_0 ($W_1 < W_0$). W przypadku liczby poszkodowanych dąży się do tego, aby $Z_1 < Z_0$. Warunek ten będzie spełniony dla przypadku liczby ofiar śmiertelnych (wzór (5)), jeśli:

$$\left(\frac{V_1}{V_0}\right)^4 \frac{W_0}{Z_0} + \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^8 \left(1 - \frac{W_0}{Z_0}\right) < 1$$

Podobnie dla wzorów (6) i (7) będzie:

$$\left(\frac{V_1}{V_0}\right)^3 \frac{W_0}{Z_0} + \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^6 \left(1 - \frac{W_0}{Z_0}\right) < 1$$

$$\left(\frac{V_1}{V_0}\right)^2 \frac{W_0}{Z_0} + \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^4 \left(1 - \frac{W_0}{Z_0}\right) < 1$$

Z wzorów (4-7) wynika, że związek między średnią prędkością V a liczbą wypadków W lub liczbą ofiar uczestników ruchu drogowego Z ma w tych równaniach charakter wykładniczy. Oznacza to, że obniżenie średniej prędkości pojazdów ma silny wpływ na liczbę wypadków i ofiar ruchu drogowego. Europejska Rada Bezpieczeństwa Transportu (*European Transport Safety Council* – ETSC) szacuje [6], że obniżenie średniej rzeczywistej prędkości przez każdego kierowcę w Europie doprowadziłoby do redukcji liczby ofiar śmiertelnych o 2200 osób w skali roku (1100 ofiar śmiertelnych mniej na ulicach w miastach, 1000 – na drogach poza obszarami miejskimi i 100 – na autostradach).

Zgodnie z badaniami G. Nillsona w Szwecji [10] zmiana średniej prędkości o 1 km/h powoduje zmiany w liczbie wypadków w zakresie od 2% (dla przedziału do 120 km/h) do 4% (dla przedziału do 50 km/h). Obserwacja ta została potwierdzona w wielu innych badaniach przeprowadzonych w krajach skandynawskich, Holandii i w Australii. Podobne relacje są przedstawione w pracach M. Taylora i in. [17], [18], [19], w których podane jest, że zmiana średniej prędkości pojazdów o 1 km/h skutkuje zmianą liczby wypadków 1÷4% na drogach miejskich i 2,5÷5,5% na drogach pozamiejskich (niższe wartości dotyczą dróg lepszej jakości).

Rozwinięcie modelu potęgowego oraz przykłady pogłębionych analiz z jego zastosowaniem można znaleźć w publikacji [11].

Warto zwrócić uwagę na fakt, iż wpływ średniej prędkości V zależy od wartości wykładnika potęgowego n we wzorze (1). Wartość tego wykładnika powinna być zweryfikowana na podstawie aktualnego zbioru danych o ruchu drogowym, które stanowią podstawę aproksymacji statystycznej. Pogłębione informacje na ten temat można znaleźć w publikacji R. Elvika [4], który wykazał, że np. wartości niektórych wykładników zaproponowanych przez G. Nilsson dla modelu potęgowego opublikowanego w 2004 roku [11] zależą od obserwacji ruchu drogowego w kolejnych dekadach (tab.1). Zmienne wartości zależą też od lokalizacji, rodzaju i zakresie środków uspokojenia ruchu oraz demografii ludności.

Tab.1. Zmienność wartości wykładnika n w modelu potęgowym

Rodzaj wypadków	1970-79	1980-89	1990-99	2000-09
Wypadki śmiertelne n=	4,57	4,21	3,50	3,53
Wypadki z rannymi n=	2,64	1,72	2,28	2,01

3. Strefa ograniczonej prędkości 30 km/h

Niezachowanie bezpiecznej prędkości samochodu pociąga za sobą wzrost prawdopodobieństwa powstania wypadku i poważniejsze obrażenia, szczególnie w grupie niezabezpieczonych uczestników ruchu drogowego (pieszych, rowerzystów). Dlatego coraz powszechniej pojawiają się głosy o celowości większej ochrony tej grupy uczestników ruchu drogowego poprzez radykalne ograniczenie prędkości pojazdów silnikowych i wprowadzanie w miastach stref ograniczonej prędkości do 30 km/h. Np. aktualnie w Gdańsku (czerwiec 2015) takimi strefami objętych jest już 47% sieci drogowej [5]. Dodatkowo uzyskuje się obniżenie poziomu hałasu i mniejszą emisję spalin do atmosfery. Działanie takie jest jednym z elementów strategii uspokojenia ruchu, szczególnie w centrach miast, głównie w obszarze częstych skrzyżowań oraz w rejonach szkół i osiedli mieszkaniowych. Dominującym elementem organizacji ruchu w strefie 30 km/h jest zachowanie priorytetu dla pieszych uczestników ruchu, preferowanie skrzyżowań równorzędnych, na których obowiązuje zasada pierwszeństwa dla pojazdów nadjeżdżających z prawej strony oraz zapewnienie widoczności co najmniej 50 m przed przejściem dla pieszych.

Wykorzystując model potęgowy, można podjąć próbę oceny przewidywanych skutków wprowadzenia takich stref na obszarach, na których aktualnie obowiązuje ograniczenie prędkości do 50 km/h.

Ze zgromadzonych w publikacji [5] danych wynika, że w 2014 roku średnia prędkość pojazdów wynosiła 49 km/h na ulicach jednojezdniowych stolic województw, na których ograniczona jest prędkość do 50 km/h. Podstawiając do równań modelu potęgowego odpowiednio $V_1=30$ km/h oraz $V_0=49$ km/h, otrzymamy współczynnik $\frac{V_1}{V_0} = \frac{30 \text{ km/h}}{49 \text{ km/h}}=0,61$. Przyjmując, że liczba wypadków z ofiarami śmiertelnymi dla ulic przed zmianą prędkości wynosi $W_0=100\%$, otrzymamy, na podstawie wzoru (2), liczbę wypadków z ofiarami śmiertelnymi dla strefy 30 km/h: $W_1=0,61^4 \cdot 100\%=13,8\%$, tzn. liczba wypadków z ofiarami śmiertelnymi po wprowadzeniu ograniczenia prędkości do 30 km/h będzie stanowiła tylko 13,8% liczby takich wypadków, które mogły się wydarzyć, gdy ograniczenie prędkości wynosiło 50 km/h.

W podobny sposób można oszacować zmniejszenie liczby wypadków z ofiarami śmiertelnymi i ciężkimi obrażeniami (wzór (3)): $W_1=0,61^3 \cdot 100\%=22,7\%$. Odpowiednio liczba wszystkich wypadków z rannymi wyniesie (wzór (4)): $W_1=0,61^2 \cdot 100\%=37,2\%$.

Z przedstawionych obliczeń wynika, że wprowadzenie strefy 30 km/h powinno w znaczący sposób zmniejszyć liczbę ofiar wypadków drogowych na ulicach. Jakościowa ocena korzyści nie podlega dyskusji. Jednak wyniki ilościowe zależą również od wielu innych czynników, które nie są w modelu potęgowym uwzględnione. Dotyczy to głównie lokalizacji strefy 30 km/h, rodzaju i zakresu zastosowanych środków uspokojenia ruchu, przekroju demograficznego uczestników ruchu drogowego w takiej strefie. Dlatego wiarygodność zastosowanego modelu powinna być zweryfikowana poprzez jego dopasowanie do odpowiednich obserwacji statystycznych. Wg danych szwedzkich z lat 2004-2008 [7] wypadki śmiertelne dość rzadko występują w wyniku kolizji samochód-pieszy poniżej prędkości kolizyjnej 40 km/h, a ciężkie obrażenia ciała poniżej 25 km/h. Wprawdzie liczebność takich wypadków jest największa przy prędkości poniżej 35 km/h, ale limit prędkości 30 km/h

niekoniecznie prowadzi do istotnego podniesienia bezpieczeństwa pieszych. Wg danych francuskich [20] najlepsze efekty można uzyskać w rejonie skrzyżowań.

4. Modele statystyczne

W wielu badaniach do analizy wykorzystuje się pojęcie prędkości kolizyjnej (*impact speed*). Jest to prędkość samochodu w chwili uderzenia w pieszego, która determinuje ciężkość obrażeń pieszego. Potwierdzają to np. wyniki badań przedstawionych przez W.A. Leafa i D.F.Preussera [8].

Obserwacje statystyczne pokazują, że matematyczna relacja między ryzykiem R(V) (śmierci lub obrażeń) uczestnika ruchu drogowego a prędkością kolizyjną V(w km/h) może mieć postać [16]:

$$R(V) = \frac{1}{1+\exp(a-bV)} \tag{8}$$

Wartości parametrów a i b można oszacować metodą największej wiarygodności na podstawie danych statystycznych. Zestawienie wartości tych parametrów dla pieszych i rowerzystów przedstawione jest w tab.2.

Tab. 2. Wartości parametrów modelu (8)

$R(V) = \frac{1}{1+\exp(a-bV)}$	Piesi		Rowerzyści	
	A	b	a	B
Ofiary śmiertelne [16]	6,9	0,090	-	-
Ofiary śmiertelne [9]	5,549	0,105	8,706	0,124
Obrażenia AIS3+ ² [4]	4,894	0,092	5,826	0,093

G. A Davis [2] opracował następującą zależność między ryzykiem śmierci R(V) a prędkością kolizyjną V (w km/h):

$$R(V) = \frac{\exp(x)}{1+\exp(x)} \tag{9}$$

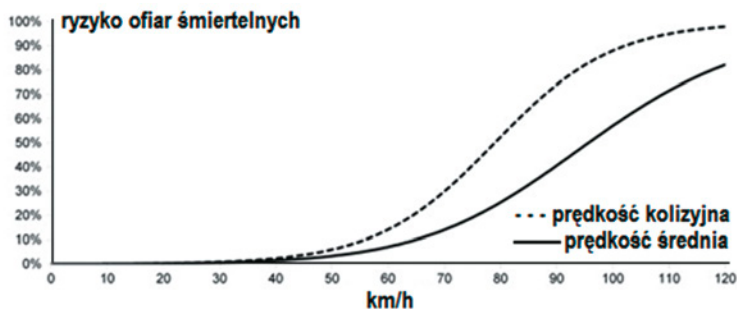
z podziałem na dzieci (w wieku 0-14 lat), dorosłych (w wieku 15-59 lat) i osoby starsze (60+ lat).Wartości parametru x są przedstawione w tab.3

Tab. 3. Wartości parametrów modelu (9)

$R(V) = \frac{\exp(x)}{1 + \exp(x)}$	x		
	Dzieci	Dorośli	Osoby starsze 60+
	8,85-0,12v	8,87-0,13v	9,73-0,20v

Prędkość V km/h w przedstawionych wyżej modelach oznacza prędkość kolizyjną. Prędkość kolizyjna różni się zarówno od prędkości dopuszczalnej wyznaczonej dla danego rodzaju drogi, jak też od prędkości średniej poruszających się na tej drodze pojazdów.

Różnica między prędkością kolizyjną a średnią prędkością jazdy dla ryzyka ofiar śmiertelnych pokazana jest na rys. 1. Wynika z niej, że przy prędkości poniżej 50÷60 km/h różnica ta praktycznie może być pominięta, natomiast przy prędkościach rzędu 100 km/h ryzyko ofiar śmiertelnych jest około 30% większe dla prędkości kolizyjnych w stosunku do prędkości średnich. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że kierowcom jadącym z większymi prędkościami częściej udaje się wyraźnie zmniejszyć prędkość przed wystąpieniem kolizji.



Rys. 1. Porównanie krzywych ryzyka ofiar śmiertelnych wśród pieszych dla prędkości kolizyjnej i średniej prędkości jazdy [2]. Krzywe te powstały na podstawie modelu przedstawionego w publikacji [16]

Wg raportu [13] w 2014 roku średnia prędkość pojazdów na obszarze zabudowanym, na drogach z dopuszczalną prędkością 50 km/h, wynosiła 49÷56 km/h, natomiast na drogach ekspresowych – 104 km/h, a na autostradach – 113 km/h. Uwzględniając te informacje oraz rys. 1, oszacowano wartości prędkości kolizyjnej V oraz wyznaczono ryzyko $R(V)$ ofiar śmiertelnych i obrażeń AIS3+ dla pieszych i rowerzystów wg modelu (8) i wartości parametrów a i b zaczerpniętych z publikacji [9] (patrz tab. 2). W tab. 4 przedstawione są wyniki obliczeń.

Tab. 4. Ryzyko pieszych i rowerzystów

Rodzaj drogi	Ryzyko $R(V)$			
	Piesi		Rowerzyści	
	Ofiary śmiert.	AIS3+	Ofiary śmiert.	AIS3+
Obszar zabud. $V=30$ km/h	8,0%	10,6%	0,6%	4,6%
Obszar zabud. $V=50$ km/h	41,0%	42,6%	7,0%	23,8%
Droga eksp. $V=104$ km/h	99,5%	99,1%	99,2%	98,0%
Autostrada $V=113$ km/h	99,8%	99,6%	99,4%	99,1%

Na podstawie wyników przedstawionych w tab. 4 można sformułować następujące wnioski:

- Zarówno w obszarze zabudowanym, jaki i na drogach pozamiejskich większe ryzyko

śmierci i ciężkich obrażeń ponoszą piesi w porównaniu z rowerzystami, aczkolwiek różnice ryzyka w grupie pieszych i grupie rowerzystów w przypadku prędkości powyżej 100 km/h mieszczą się w granicach błędu obserwacji statystycznych.

- Na drogach, po których pojazdy poruszają się z prędkościami powyżej 100 km/h ryzyko śmierci i ciężkich obrażeń zarówno pieszych, jak i rowerzystów jest co najmniej dwukrotnie większe niż na drogach miejskich z ograniczeniem prędkości do 50 km/h.
- Występuje wyraźna poprawa bezpieczeństwa pieszych i rowerzystów, jeśli obniży się prędkość dopuszczalną z 50 do 30 km/h. (4÷5-krotne obniżenie ryzyka w odniesieniu do pieszych oraz 5÷10-krotne w odniesieniu do rowerzystów).

5. Błąd wyznaczenia ryzyka

Przedstawione modele matematyczne zależą od kilku parametrów, np. ryzyko opisane modelem matematycznym (8) jest funkcją trzech parametrów: $R(V,a,b)$ (prędkości kolizyjnej V oraz parametrów a i b). Błąd wyznaczenia prędkości kolizyjnej V zależy od zastosowanej metody rekonstrukcji wypadku drogowego. Wartości parametrów a i b są tak dobrane, aby wynik obliczeń najlepiej „pasował” do wyników obserwacji statystycznych. Ponieważ zarówno oszacowanie prędkości kolizyjnej V , jak i wyznaczenie parametrów a, b są obciążone błędami, powstaje pytanie, jaki jest wpływ tych błędów na błąd wyznaczenia ryzyka $\Delta R(V,a,b)$.

W praktyce wykorzystuje się często pojęcie błędu granicznego czyli maksymalnej spodziewanej (w ramach posiadanej wiedzy) wartości błędu. Można go wyznaczyć jako różniczkę zupełną:

$$\Delta R(V, a, b) = \left| \frac{\partial R(V,a,b)}{\partial V} \Delta V \right| + \left| \frac{\partial R(V,a,b)}{\partial a} \Delta a \right| + \left| \frac{\partial R(V,a,b)}{\partial b} \Delta b \right| \tag{10}$$

tzn. jako sumę wartości bezwzględnych iloczynów pochodnej cząstkowej funkcji $R(V,a,b)$ względem parametrów V,a,b i błędów $\Delta V, \Delta a, \Delta b$.

Prawdziwa wartość ryzyka

$$R_0(V, a, b) = R(V, a, b) \pm 0,5\Delta R(V, a, b)$$

czyli mieści się w przedziale

$$R_0(V, a, b) \in [R(V, a, b) - 0,5\Delta R(V, a, b); R(V, a, b) + 0,5\Delta R(V, a, b)].$$

Do porównywania dokładności różnych modeli przydatny jest błąd względny $\left[\frac{\Delta R(V,a,b)}{R(V,a,b)} \right]$ lub błąd względny wyrażony w %: $\left[\frac{\Delta R(V,a,b)}{R(V,a,b)} \right] \cdot 100\%$.

Dla modelu (8) pochodne cząstkowe względem parametrów V,a,b mają postać:

$$\frac{\partial R(V,a,b)}{\partial V} = \frac{b \cdot \exp(a-b \cdot V)}{[1+\exp(a-b \cdot V)]^2} \tag{11}$$

$$\frac{\partial R(V,a,b)}{\partial a} = \frac{-\exp(a-b \cdot V)}{[1+\exp(a-b \cdot V)]^2} \tag{12}$$

$$\frac{\partial R(V,a,b)}{\partial b} = \frac{V \cdot \exp(a-b \cdot V)}{[1+\exp(a-b \cdot V)]^2} \tag{13}$$

Przyjmując 10% błąd oszacowania parametrów V,a,b, otrzymamy:

$$\Delta V = 0,1V, \quad \Delta a = 0,1a, \quad \Delta b = 0,1b \tag{14}$$

Ostatecznie błąd wyznaczenia ryzyka R(V,a,b) po podstawieniu (12), (13), (14), (15) do (11) będzie miał postać:

$$\Delta R(V, a, b) = \left| \frac{b \cdot \exp(a-b \cdot V)}{[1+\exp(a-b \cdot V)]^2} \cdot 0.1V \right| + \left| \frac{-\exp(a-b \cdot V)}{[1+\exp(a-b \cdot V)]^2} \cdot 0.1a \right| + \left| \frac{V \cdot \exp(a-b \cdot V)}{[1+\exp(a-b \cdot V)]^2} \cdot 0.1b \right| \tag{15}$$

Przykład. Ryzyko wystąpienia obrażeń pieszych na poziomie AIS3+ na obszarze zabudowanym z ograniczeniem prędkości do V = 50 km/h (a=4,8964; b=0,092 – patrz tab. 1) wynosi R(V,a,b)= 0,426 (42,6%) (patrz tab. 2). Po podstawieniu potrzebnych wartości do (14) błąd ryzyka wystąpienia obrażeń pieszych wyniesie ΔR(V,a,b)=0,345. Zatem prawdziwa wartość ryzyka wystąpienia obrażeń pieszych mieści się w przedziale 0,25≤R₀≤0,6, natomiast błąd względny ΔR/R=0,81 (81%).

6. Podsumowanie

Jazda z nadmierną prędkością jest jednym z najczęstszych wykroczeń w ruchu drogowym. Dlatego celowe jest pogłębienie wiedzy o skutkach wynikających z przekraczania tej prędkości. Przedstawione w artykule modele matematyczne i ich wykorzystanie do analizy bezpieczeństwa ruchu drogowego pozwalają sformułować ogólny wniosek, że obniżenie dopuszczalnej prędkości pojazdów może radykalnie zmniejszyć liczbę ofiar w grupie niezabezpieczonych uczestników ruchu drogowego. Jest to szczególnie warte podkreślenia, jeśli uwzględni się fakt, że relatywnie niskie są koszty takiego działania.

Oczywiście obniżanie prędkości dopuszczalnej powinno uwzględniać wiele aspektów, które nie są uwzględnione w prezentowanych modelach matematycznych. Przede wszystkim ograniczenia prędkości nie powinny zakłócać płynności ruchu drogowego, być adekwatne do aktualnej infrastruktury i możliwe do zaakceptowania przez większość myślących kierowców.

Literatura

- [1] Cuerden R., Richards D., Hill J.: *Pedestrians and their survivability at different impact speeds*, United Kingdom, Paper Number 07-0440 . <http://www.nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv20/07-0440-W.pdf>
- [2] Davis G. A.: *Relating severity of pedestrian injury to impact speed in vehicle pedestrian crashes*, Transportation Research Record, 1773, 2001.
- [3] Elvik R.: *Area-wide urban traffic calming schemes; a meta-analysis of safety effects*, Accident Analysis and Prevention, 33, 2001.
- [4] Elvik R.: *The Power Model of the relationship between speed and road safety, Update and new analyses*, TØI report 1034, Institute of Transport Economics, Norwegian Centre for Transport Research, 2009.
- [5] <http://forsal.pl/artykuly/877485,miasta-tylko-dla-piesznych-samochodem-pojedziemy-maksymalnie-30-km-h.html>
- [6] http://www.obserwatoriumbrd.pl/pl/analizy_brd/problemy_brd/predkosc/predkosc-a-ryzyko-wypadku/
- [7] Kröyer Höskuldur R.G.: *Is 30 km/h a 'safe' speed? Injury severity of pedestrians struck by a vehicle and the relation to travel speed and age*, IATSS Research. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038611214000235>
- [8] Leaf W.A., Preusser D.F.: *Literature Review on Vehicle Travel Speed and Pedestrian Injuries*, Final Report, NHTSA, DOT HS 809 021 October, 1999. <http://www.nhtsa.gov/people/injury/research/pub/HS809012.html>
- [9] Nie Jin, Li Guibing, Yang Jikuang, Zhou Xuenong, Zhang Chao, Yu Xiaoping, Li Weiqiang, Wang Meichuan, *A Study of Injury Risk of Bicyclist and Pedestrian in Traffic Accidents in Changsha of China*, Proc. of 5th International Conference on ESAR, 2012. http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/689/pdf/38_Nie.pdf
- [10] Nilsson G.: *The effects of speed limits on traffic crashes in Sweden*. In: *Proceedings of the international symposium on the effects of speed limits on traffic crashes and fuel consumption*, Dublin. Organization for Economy, Co-operation, and Development (OECD), Paris 1982.
- [11] Nilsson G.: *Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety*. Bulletin 221, Lund Institute of Technology, Lund 2004.
- [12] Pasanen E.: *Driving Speeds and Pedestrian Safety, A Mathematical Model*, Publication 77, Helsinki University of Technology, Transport Engineering, 1992.
- [13] *Prędkość pojazdów w Polsce w 2014 r.*, Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju, Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Instytut Transportu Samochodowego. Praca zespołowa pod kierunkiem: Marii Dąbrowskiej-Loranc i Tomasza Wojsza.
- [14] *Raport z badań ilościowych dla Ministra Infrastruktury Rzeczypospolitej Polskiej*, wyd. „Legend Group”, Sp. z o.o., Konsorcjum z MEC Sp. z o.o. i „On Board Public Relations” Sp. z o.o., 15-04-2011.
- [15] Richards D. C.: *Relationship between Speed and Risk of Fatal Injury: Pedestrians and Car Occupants*, Road Safety Web Publication, No.16, Transport Research Laboratory, Department for Transport, London 2010.
- [16] Rosén E., Sander U.: *Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed*; Preprint of article published in Accident Analysis and Prevention 41, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2009.02.002>
- [17] Taylor M., Baruya A., Kennedy J.V.: *The relationship between speed and accidents on rural single carriageway roads*. TRL Report TRL511. Transport Research Laboratory, Crowthorne, 2002. <http://www.safespeed.org.uk/TRL511.pdf>
- [18] Taylor M., Lynam D.A., Baruya A.: *The effect of drivers' speed on the frequency of accidents*. TRL Report TRL421. Transport Research Laboratory, Crowthorne 2000. <http://www.20splentyforus.org.uk/UsefulReports/TRLReports/trl421SpeedAccidents.pdf>
- [19] Taylor M., Wheeler A.: *Accidents reductions resulting from village traffic calming*. In: *Demand management and safety systems*; Proceedings of seminar J. Cambridge 11-13 September 2000, p. 165-174. <http://abstracts.aetransport.org/paper/download/id/1054>
- [20] *Ville plus sure, Quartiers sans accidents*, Realisations, evaluations, CETUR, 1994.