



**Tomasz
Kosendiak**

Określanie prędkości pojazdów na podstawie materiału wideo. Część 2.

Streszczenie

Filmy wykonywane przy użyciu automatycznych, stacjonarnych i mobilnych rejestratorów coraz częściej są materiałem służącym do rekonstrukcji wypadku drogowego. Celem tego artykułu jest przedstawienie sposobu postępowania dla ustalenia prędkości pojazdu wymijającego się z pojazdem wyposażonym w kamerę wideo.

Słowa kluczowe

Prędkość, monitoring, metoda poruszającego się wzorca długości (MLS), metoda kalibracji wzorca odległości (CSD), klasyczna metoda markerów (CMM).

* * *

1. Wprowadzenie

Wynikiem pracy biegłego sądowego specjalizującego się w rekonstrukcji wypadków drogowych na podstawie analizy materiału wideo jest niemal zawsze udzielenie odpowiedzi na pytanie, z jaką prędkością poruszały się pojazdy. W poprzednim artykule opisałem metodę obliczania prędkości pojazdu zarejestrowanego przez mobilne urządzenia monitoringu w przypadku wyprzedzania się pojazdów [2]. W bieżącym artykule przedstawiam metodę obliczania prędkości pojazdu w sytuacji, gdy pojazdy jadą w przeciwnych kierunkach – wymijają się lub zderzają się czołowo. Obliczenia przeprowadziłem w dwóch etapach. Etap pierwszy polegał na określeniu prędkości samochodu, w którym zamontowana była kamera. W etapie drugim określiłem prędkość sumaryczną pojazdów. Dla potrzeb artykułu wykorzystałem materiały z opinii, jaką wykonałem dla zrekonstruowania wypadku, w którym zginęły trzy osoby, a pięć innych osób odniosło poważne obrażenia. Rekonstrukcja wypadku przeprowadzona została na podstawie analizy

Mgr inż. Tomasz Kosendiak, projektant sygnalizacji ulicznych. Właściciel biura projektów „Tomasz Kosendiak TLS”, biegły Sądu Okręgowego we Wrocławiu o specjalności: Elektryczno-elektroniczne urządzenia zabezpieczenia i sterowania ruchem drogowym, sterowanie ruchem drogowym, organizacja ruchu drogowego, rekonstrukcja przebiegu zdarzeń zarejestrowanych przez monitoring.

filmu oraz na podstawie oględzin miejsca wypadku. W czasie oględzin zidentyfikowałem i zmierzyłem rzeczywiste odległości pomiędzy znakami drogowymi oraz elementami infrastruktury drogowej na miejscu, w którym doszło do wypadku.

Z akt sprawy wynikało, że przed zakrętem w lewo, patrząc zgodnie z kierunkiem jazdy samochodu Opel, doszło do jego wymijania się z samochodem BMW, za którym jechała toyota. Później doszło do czołowego zderzenia opla z toyotą, której kierujący stracił panowanie nad pojazdem na zakręcie. Samochód Toyota na mokrej i śliskiej nawierzchni, zjechał na prawe pobocze, a następnie przejechał na lewy pas ruchu, gdzie doszło do zderzenia z samochodem Opel.

Na potrzeby artykułu przeprowadziłem dodatkowe obliczenia związane z prędkością samochodu BMW w celu przedstawienia metodologii rozwiązywania tego typu przypadków. W sprawie, która była przedmiotem opiniowania, wynikało z dowodów osobowych, że samochody BMW i Toyota jechały na pewnym odcinku drogi jeden za drugim, utrzymując stałą odległość, dlatego obliczenie prędkości BMW mogło być narzędziem weryfikacyjnym obliczeń prędkości samochodu Toyota.

2. Wyznaczenie średnich prędkości samochodu Opel

W wypadku uczestniczył samochód Opel, w którym była zamontowana kamera. Średnie prędkości tego samochodu wyznaczyłem metodą, którą nazwałem „klasyczną metodą markerów” (CMM) i oznaczyłem ten etap, jako **1a**.

Film pozyskany z kamery opla podzielony został na klatki, którym przypisana została metryka czasu liczonego od początku filmu. Następnie odpowiednie klatki przypisałem do zinwentaryzowanych punktów w terenie (markerów) i uzyskałem w efekcie wyniki w postaci zestawienia pozycji samochodu Opel w wybranych sekwencjach filmu. Wyznaczyłem prędkości średnie samochodu Opel na poszczególnych odcinkach kontrolnych (tabela 1).

Tabela 1. Wyznaczenie prędkości średniej samochodu Opel na poszczególnych odcinkach kontrolnych.

Znak drogowy	znak U1	czas filmu [s]	dt [s]	S [m]	V [m/s]	V [km/h]
	38,3	7,640				
	38,4	11,611	3,971	100,8	25,4	91
B-25, A-1, T-4	38,5	15,415	3,804	100,3	26,4	95
	38,6	19,152	3,737	99,1	26,5	95
D-18	38,7	22,922	3,770	101,1	26,8	97
	38,8	30,663	7,741	202,2	26,1	94

z problemów rekonstrukcji wypadków i opiniowania

Znak drogowy	znak U1	czas filmu [s]	dt [s]	S [m]	V [m/s]	V [km/h]
B-42, A-4, A-30, T-15, B-25	39,0	34,434	3,771	99,8	26,5	95
	39,1	38,104	3,670	98,8	26,9	97
	39,2	41,741	3,637	100,1	27,5	99
F-3b „Gmina Cieszków”	39,3	45,645	3,904	101,8	26,1	94
A-2, B-33	39,4	49,549	3,904	100,8	25,8	93
	39,5	53,620	4,071	100,3	24,6	89
Miejsce wypadku		57,290	3,670	81,1	22,1	80

Z powyższej analizy można było wyprowadzić wniosek, że samochód Opel jechał z prędkością ok. 95 km/h, ale średnia prędkość tego pojazdu na ostatnim odcinku przed zderzeniem była mniejsza i wynosiła ok. 80 km/h. Ponieważ przed zderzeniem kierowca samochodu Opel rozpoczął hamowanie, to należy spodziewać się, że prędkość kolizyjna tego pojazdu była mniejsza od obliczonej średniej prędkości na ostatnim odcinku drogi. Długości odcinków przyjęte do obliczeń prędkości samochodu Opel nie dawały możliwości ustalenia prędkości bezpośrednio przedkolizyjnej.

3. Kalibracja wzorca odległości (CSD¹)

Na klatce filmu wyznaczyłem wzorec odległości, aby na podstawie znajomości jego długości móc określić prędkość chwilową Opla na ostatnim odcinku przed zderzeniem się pojazdów – był to etap **1b**. Tę metodę nazywam „kalibracją wzorca odległości” (CSD). Kalibracja wzorca odległości polega na wyznaczeniu w obszarze przed pojazdem powierzchni o określonej długości przy wykorzystaniu elementów infrastruktury drogowej² – w tym przypadku podpór bariery energochłonnej, co pokazane zostało na rycinie 1. W tabeli 2 zestawione zostały z kolei zmierzone w terenie odległości stanowiące podstawę do wyznaczenia wzorca odległości.

¹ Calibration Standard Distance Method.

² Warunkiem koniecznym do tego, aby taka metoda nie generowała błędów jest płaska nawierzchnia jezdni w miejscu kalibracji wzorca i płaska w miejscu, w którym ów skalibrowany wzorec będzie wykorzystywany do ustalenia prędkości pojazdu (*przypis. red.*).



Ryc. 1. Wzorzec odległości na klatce filmu monitoringu.

Tabela 2. Wymiary do wyznaczenia wzorca odległości na klatce filmu monitoringu.

numer podpory	1	2	3	4	5	6	7	8	9
odległość od podpory nr 0 [m]	6,8	10,6	14,6	18,6	20,6	21,8	23,8	25,8	28,5
odległość od podpory nr 3 [m]				4,0	6,0	7,2	9,2	11,2	13,9

4. Wyznaczenie prędkości opla przed wypadkiem

W etapie **1c**, korzystając z wykalibrowanego wzorca długości (CSD), wykonałem analizę przejazdu przez samochód Opel dwóch odcinków drogi o długości po 13,9 m przed i za słupkiem U1a nr 39,5, a więc ostatnim przed miejscem zderzenia – ryciny 2 i 3. Ta analiza wykazała, że każdy z tych odcinków samochód Opel przejechał w czasie 0,533 s. Wyznaczona dla tych danych prędkość opla wynosiła więc 94 km/h. Niepewność tego obliczenia szacowana jest na ok. 8%, a składa się na nią głównie błąd określenia miejsca usytuowania słupka szacowany na $\Delta S = 1 \text{ m} * 100\% / 13,9 \text{ m} = 7,2 \%$. Obliczona prędkość Opla zawierała się więc w tym miejscu pomiędzy 87 a 100 km/h.



Ryc. 2. Klatka 53,053.



Ryc. 3. Klatka 53,586.

5. Obliczenie sumy prędkości wymijających się samochodów – metoda MLS

5.1. Etap 2a

Na 1,3 s przed zderzeniem samochód BMW wymijał się z samochodem Opel (ryc. 4).



Ryc. 4. Wymijanie się samochodów Opel i BMW X5. W głębi widać samochód Toyota wyjeżdżający z pobocza.

W programie graficznym wyznaczyłem długość względną odcinka pomiędzy osiami samochodu BMW (opo) oraz długość względną wektora przemieszczenia się tylnej osi tego samochodu (wto), pomiędzy klatkami 55,955 (ryc. 5) i 56,022 (ryc. 6). Wyniki przedstawiłem w tabeli 3. Wzorcem długości była odległość między osiami samochodu BMW wynosząca 2,933 m, która została przyjęta na podstawie danych fabrycznych. Długość wektora przemieszczenia się osi tylnej S obliczyłem z proporcji po wykorzystaniu odległości odczytanych z obrazu³ (tabela 3), które wynosiły: opo=14625 i wto=17866 oraz znanego rozstawu osi, który wynosił 2,933 m.



Ryc. 5. Klatka 55,955 – zaznaczono odległość opo pomiędzy osiami BMW.



Ryc. 6. Klatka 56,022 – zaznaczono wektor wto przemieszczenia się osi tylnej BMW.

³ Podane współrzędne dotyczą zdjęć zaimportowanych do programu CorelDraw. W każdym innym programie te współrzędne będą inne, co jednak nie ma żadnego znaczenia dla prowadzonej analizy.

Tabela 3. Obliczenie długości odcinków na podstawie współrzędnych odczytanych w programie graficznym.

punkty	współrzędne	długość
x (opo)	13467,5	14625
y (opo)	5703,3	
x (wto)	16747,7	17866
y (wto)	6220,7	

W rezultacie obliczyłem prędkość V_{sob} , czyli sumę prędkości samochodów Opel i BMW w czasie mijania się.

$$V_{sob} = \frac{S}{dt} = \frac{3,583}{0,067} = 53,5 \frac{m}{s}, tj. 192 \text{ km/h}$$

gdzie:

$S = 3,573 \text{ m}$ – długość wektora przemieszczenia się osi tylnej BMW,

$dt = 0,067 \text{ s}$ – czas przejazdu odcinka S .

Skoro suma prędkości wymijających się pojazdów wynosiła 192 km/h, to zakładając prędkość opła 80 km/h, można obliczyć, że samochód BMW jechał z prędkością $192 - 80 = 112 \text{ km/h}$. Ponieważ jednak prędkość opła na tym odcinku drogi, wyznaczona różnymi metodami, zawierała się pomiędzy 80 km/h (punkt 2, tabela 1), a 94 km/h (punkt 4), to prędkość BMW określona została w przedziale pomiędzy 92 km/h, a 112 km/h.

5.2. Etap 2b

Na rycinie 7 przedstawiłem klatkę nagrania obrazującą takie usytuowanie samochodów Opel i Toyota, przy którym znajdowały się one w odległości ok. 13,9 m od siebie.



Ryc. 7. Klatka zarejestrowana w 57,056 s trwania filmu. Samochody uczestniczące w wypadku oddalone były od siebie o odległość ok. 13,9 m.

Na rycinie 8 przedstawiłem natomiast ostatnią klatkę nagrania zarejestrowaną przed zderzeniem samochodów Opel i Toyota.



Ryc. 8. Klatka zarejestrowana w 57,323 s trwania filmu.

Z analizy nagrania wynikało, że czas jaki potrzebowały samochody jadące w przeciwnych kierunkach, na pokonanie odcinka 13,9 m (ryc. 7), wyniósł 0,267 s. Sumaryczna prędkość pojazdów wyniosła więc $S/dt = 13,9/0,267 = 52,1$ m/s =

187 km/h. Jeśli prędkość kolizyjna samochodu Opel wynosiła 80 km/h (tabela 1), to prędkość samochodu Toyota wynosiłaby $187 - 80 = 107$ km/h.

Błąd wyznaczenia prędkości sumarycznej wynosi $dV=1/13,9$, a więc 7%. Błąd określenia prędkości opla wynosi $dV_{Opel}=1/81,1$, a więc 1%. Zakładana niepewność metody jest mniejsza niż 10%, dlatego prędkość toyoty w chwili wypadku $107 \text{ km/h} \pm 10\%$ została określona w przedziale pomiędzy 97 km/h a 118 km/h.

Odcinek drogi w miejscu wypadku oznakowany był prawidłowo zestawami znaków A-30 i T-15 oraz A-1, B-22. W miejscu wypadku obowiązywało ograniczenie prędkości do 60 km/h. Jak zeznał kierujący BMW jego samochód, który miał jechać z podobną co toyota prędkością, również miał problemy z pokonaniem tego zakrętu. Zauważyć należy, że prędkość BMW określona została w przedziale pomiędzy 92 a 112 km/h (punkt 5.1) co oznacza, że otrzymane wyniki są spójne i logiczne.

6. Podsumowanie

Prędkość samochodu wyposażonego w kamerę (Opel) wyznaczamy na podstawie markerów na drodze lub przez wykorzystanie wzorca odległości, natomiast prędkość samochodu wymijanego (BMW) wyznaczyć można:

- obliczając sumę prędkości samochodów jadących w przeciwnych kierunkach, metodą poruszającego się wzorca długości (MLS), lub
- wyznaczając wektor przemieszczenia się osi pojazdu oraz odcinek obrazujący odległość pomiędzy tymi osiami, a także
- porównując odległości na obrazie z markerami na drodze.

Łączna maksymalna niepewność metod jest na poziomie 10%, co powoduje, że obliczenia prowadzone z taką dokładnością [2] są aż nadto wystarczające dla potrzeb procesowych. Pomiar czasu obarczony jest błędem nieistotnym dla wyników tej metody. Staranność i precyzja jest jednak kluczem do sukcesu i mam nadzieję, że w kolejnej części tego cyklu artykułów rozwieję wątpliwości dotyczące dokładności, które zapewne nurtują czytelników.

Bibliografia

1. Kosendiak, T. (2019). *Obliczanie prędkości pojazdu zarejestrowanego stacjonarnymi urządzeniami monitoringu wideo. Opis metody „poruszającego się wzorca długości” (MLS)*, Paragraf na Drodze, nr 4, s. 75–82,
2. Kosendiak, T. (2019). *Określanie prędkości pojazdów na podstawie materiału wideo. Część 1*, Paragraf na Drodze, nr 5, s. 49–57
3. Szydłowski, H. (2012). *Pracownia fizyczna wspomagana komputerowo*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe.

* * *

Determining vehicles speed based on video recording – part 2

Abstract

Films made with automatic, stationary and mobile recorders are increasingly often used in road accident reconstruction. The aim of this article is to show how to accurately determine the speed of an oncoming vehicle equipped with a video recorder.

Key words

Velocity, video monitoring, movable length standard method (MLS), calibration standard distance method (CSD), classic marker method (CMM).