



**Tomasz
Kosendiak**

Obliczanie prędkości pojazdu zarejestrowanego stacjonarnymi urządzeniami monitoringu wideo. Opis metody „poruszającego się wzorca długości” (MLS)^{*)}

Streszczenie

Podczas rekonstrukcji wypadku drogowego ekspert coraz częściej może wykorzystywać filmy powstałe podczas wypadku. Filmy te są wykonywane przy użyciu automatycznych, stacjonarnych i mobilnych rejestratorów. Celem tego artykułu jest przedstawienie metody zwanej przez autora metodą „poruszającego się wzorca długości” (MLS), która służy do precyzyjnego określania prędkości pojazdów.

Słowa kluczowe

Rekonstrukcja wypadku drogowego, określanie prędkości pojazdów, monitoring, wideo, metoda „poruszającego się wzorca długości”.

* * *

1. Wprowadzenie

Jednym z elementów niezbędnych przy rekonstrukcji wypadku drogowego jest określenie prędkości pojazdów w nim uczestniczących. Jeżeli materiał dowodowy zawiera filmowy zapis przebiegu wypadku, to wyznaczenie chwilowej prędkości pojazdu dV na podstawie analizy filmu jest czynnością prostą – o ile można w sposób pewny ustalić podstawowe parametry ruchu. Należy więc określić długość odcinka drogi dS przebytego przez pojazd w czasie dt , a następnie skorzystać z podstawowego wzoru: $dV = dS/dt$ [m/s] aby uzyskać wynik. O ile wyznaczenie czasu dt jest najczęściej czynnością nieskomplikowaną, to prawidłowe określenie odległości, jaką pojazd przebył w czasie dt może być procesem wymagającym użycia zaawansowanych metod graficznych, bądź zastosowania kosztownych programów, a czasem jest to wręcz niemożliwe.

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.

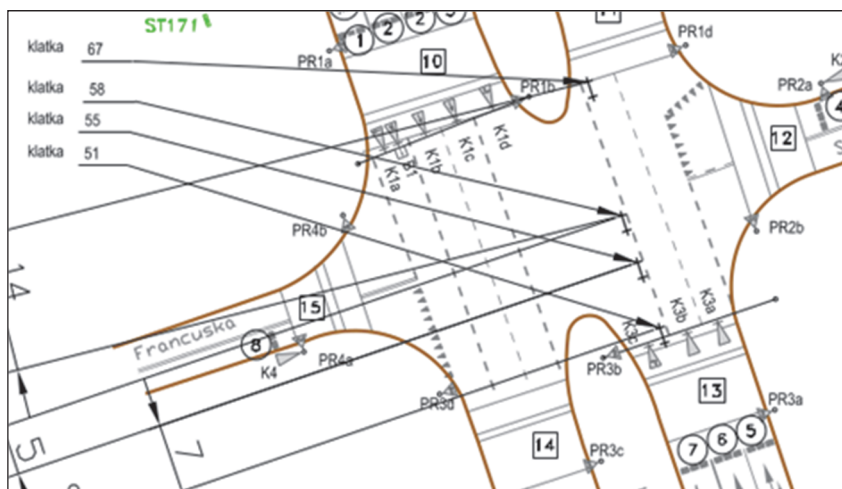
^{*)} *Movable Length Standard.*

Niniejszy artykuł prezentuje zastosowane i sprawdzone w praktyce rozwiązanie, nazwane przeze mnie jako „metoda poruszającego się wzorca prędkości”, które z powodzeniem umożliwiły określenie prędkości pojazdu dla celów procesowych.

2. Przykład zastosowania metody

Zastosowanie metody przedstawię na przykładzie wypadku, który miał miejsce we Wrocławiu, a polegał na zderzeniu się motocyklisty z rowerzystą na skrzyżowaniu o ruchu kierowanym sygnalizacją świetlną.

Plan tego skrzyżowania przedstawia rycina 1, a pochodzący z monitoringu obraz rejonu skrzyżowania (klatka 16) – rycina 2. Samo skrzyżowanie jest tu widoczne w lewym górnym rogu. Moim zadaniem było określenie prędkości motocykla.



Ryc. 1. Plan skrzyżowania, na którym doszło do wypadku. Poszczególne sygnalizatory są oznaczone symbolami PR z liczbą i literą (np. PR2a).



Ryc. 2. Droga, którą motocykl dojechał do skrzyżowania (klatka 16 z nagrania).

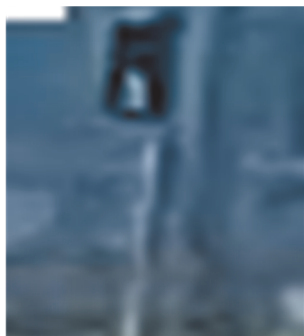
Obliczenia prędkości motocykla wykonałem korzystając z zapisów dwóch niezależnych monitoringów. Poniżej omawiam technikę wykonania obliczeń chwilowych prędkości motocykla na podstawie zapisu monitoringu, którego kamera filmowała ruch motocykla z kierunku prostopadłego w stosunku do toru poruszania się motocykla. Takie wzajemne usytuowanie toru jazdy pojazdu i osi optycznej kamery jest korzystne i budzi relatywnie najmniejsze wątpliwości interpretacyjne, zwłaszcza u zainteresowanych stron, nieposiadających wiedzy specjalistycznej.

Oczywiście, jakość techniczna monitoringu, a więc ostrość obrazu, szybkość filmowania, a przede wszystkim oświetlenie obiektu, ma bardzo duże znaczenie, albowiem decyduje o możliwościach powiększania obrazu, a to ma istotne znaczenie dla precyzji wykonania oględzin, identyfikacji szczegółów oraz dokonania pomiarów odległości. W omawianym przypadku monitoring był bardzo dobrej jakości. Zapis wideo wykonany został przy prędkości 20 klatek na sekundę, co oznacza, że zapis kolejnych klatek filmu następował co 0,05 sekundy. Rozdzielczość zapisu wynosiła 2688x1520, przy współczynniku proporcji 1,76842 i z zastosowaniem kodeka h264^{*)}.

Przed przystąpieniem do analizy filmu należało wyodrębnić poszczególne klatki, z których składał się film. Proces ten wykonuje automatycznie większość komercyjnych programów do edycji wideo i nie jest tematem tego artykułu. W efekcie tego działania otrzymuje się serię plików graficznych. Jeżeli na filmie naniesiono stempel czasowy nagrania, to określenie astronomicznego czasu wykonania każdej klatki filmu jest proste. Sprawa komplikuje się, gdy taka informacja nie jest jawnie podana, ale dla ustalenia prędkości pojazdu określenie czasu astronomicznego nie jest konieczne. W analizowanym przypadku klatki były w pełni opisane (zob. ryc. 2 – klatka nr 16), z dokładnością do 1 sekundy czasu astronomicznego. Tak więc, ten sam zapis czasu astronomicznego występuje na kolejnych 20 klatkach. Dla celów procesowych klatki numeruje się i przypisuje się im czas astronomiczny z dokładnością 0,05 sekundy. Jest to czas wynikający z kolejności nagrania poszczególnych klatek filmu co 0,05 sekundy, z uwzględnieniem czasu astronomicznego.

Obraz rejony skrzyżowania, na którym doszło do wypadku, przedstawia rycina 2, jednak z punktu widzenia jakości wydruku pojawiła się wątpliwość, czy taka fotografia w ogóle będzie przydatna dla rekonstrukcji wypadku. Jednakże, po dokonaniu powiększeń fotografii, bez trudu odnajduje się wiele elementów przydatnych dla rekonstrukcji – np. okazało się, że doskonale na fotografiach widać sygnalizator PR1c. Analiza kolejnych klatek filmu pozwoliła na precyzyjne określenie astronomicznego czasu zmiany sygnału na tym sygnalizatorze (ryc. 3 i 4).

^{*)} Kodek (od koder-dekoder) – urządzenie lub program zdolny do przekształcania strumienia danych lub sygnału. Kodeki mogą zmienić strumień danych w formę zakodowaną (często w celu transmisji, składowania lub zaszyfrowania) lub odzyskać (odkodować) strumień danych z formy zakodowanej, by umożliwić ich odtwarzanie bądź obróbkę (*przyp. red.*).



Ryc. 3. Szczegół klatki 15. Na PR1c wyświetlany jest sygnał zielony.



Ryc. 4. Szczegół klatki 16. Na PR1c wyświetlany jest sygnał czerwony.

Znajomość tego czasu umożliwiła dokonanie synchronizacji programu pracy tego sygnalizatora z dostarczoną do akt dokumentacją zapisu programu sygnalizacji, działającej na tym skrzyżowaniu. W efekcie udało się zrekonstruować chwilę wjazdu na skrzyżowanie obu uczestniczących w wypadku pojazdów. Jako ciekawostkę podam, że oba pojazdy (motocykl i rower) wjechały na skrzyżowanie przy sygnale czerwonym, wyświetlanym dla swoich kierunków jazdy!

Kolejne klatki (ryciny 5 i 6) niosące istotne dla opinii wiadomości oznaczone zostały numerami 222 i 224. Na rycinach czerwone strzałki pokazują sylwetkę motocykla.



Ryc. 5. Klatka nr 222.



Ryc. 6. Klatka nr 224.

Po powiększeniu i wyodrębnieniu obrazu skrzyżowania, ujawniono obraz przejeżdżającego przez skrzyżowanie motocykla. W celu zwiększenia precyzji zwiększono rozdzielczość uzyskanych obrazów. Na klatkach, o numerach 222, 223 i 224, ustaliłem, w „punktowych jednostkach względnych” liczbę punktów (pikseli) pomiędzy osiami kół motocykla oraz pomiędzy poszczególnymi pozycjami tylnej osi motocykla. Z tych klatek wynikało, że pomiędzy osią przednią i tylną motocykla znajdowało się 5634 pikseli, co przy znanej odległości pomiędzy osiami motocykla, wynoszącej 1,61 m, daje skalę 3499 pikseli na metr – i to dokładnie w miejscu pomiaru, bez żadnego błędu związanego z właściwościami optycznymi

kamery oraz geometrycznymi zniekształceniami rzutów. Dla tego przykładu bowiem skorzystałem z wzorca metra, który znajdował się na motocyklu – czyli na obiekcie, którego ruch był badany.

Oczywiście, analiza wykonywana jest dla każdej klatki osobno i wyniki są weryfikowane oraz interpretowane. W efekcie, jako wynik rozwiązania prostego równania na proporcje, uzyskałem obliczoną wartość prędkości motocykla. Mianowicie, skoro w czasie jaki upłynął pomiędzy nagraniem klatek 222 i 224 (0,1 s) tylna oś motocykla przemieściła się o 7329 pikseli, a „poruszający się wzorzec długości” (odległość pomiędzy osią przednią i tylną motocykla) wynosił 1,61 m i miał długość względną 5634 piksele, to motocykl przebył rzeczywistą drogę $dS = 2,1$ m w czasie $dt = 0,1$ s – a więc jego prędkość średnia na tym odcinku $V_{(224-222)}$ wynosiła 20,9 m/s, czyli ok. 75 km/h (zob. tabela 1).

Tabela 1. Obliczenie prędkości średniej motocykla dla klatek 222 i 224

	liczba pikseli	odległość [m]	czas [s]	prędkość motocykla	
				[m/s]	[km/h]
motocykl	7329	2,094	0,1	20,9	75
wzorzec	5634	1,610			

Analizę klatek, w tym określenie w pikselach długości badanych odcinków, należy wykonać starannie, posługując się odpowiednimi programami graficznymi, tak aby uzyskać powtarzalne i wiarygodne wyniki.

Analiza dokładności i błędów omawianej metody, którą nazwałem metodą „poruszającego się wzorca długości” wskazuje, że metoda ta jest dość dokładna i dokładność jej zależy przede wszystkim od jakości fotografii i zakresu powiększenia. Źródłem błędów metody mogą być:

- błąd określenia czasu^{*)}, oraz
- błąd określenia pozycji obiektu.

W analizowanym przypadku, przy ustalaniu długości przemieszczenia się obiektu, nie sposób pomylić się o więcej niż 200 pikseli, co przy wzorcu o długości 5634 piksele daje błąd na poziomie 2%. W innych przypadkach błąd metody może być większy. W wykonywanych przeze mnie opiniach podaję dyskusję błędów zawierającą również krytyczne błędy, mogące powstać podczas zapisu obrazu.

* * *

Dalsza analiza materiału dowodowego umożliwiła ustalenie prędkości motocykla w chwili uderzenia w rower. Do tego celu wybrałem klatki 240, 241 oraz 242 i obliczyłem prędkość zderzeniową na poziomie 57 km/h (zob. tabela 2).

^{*)} Należy nadmienić, że w monitoringu nie zawsze kolejne klatki zapisywane są po upływie dokładnie tego samego czasu (*przyp. red.*).



Ryc. 7. Klatka 240.



Ryc. 8. Klatka 242.

Tabela 2. Obliczenie średniej prędkości motocykla dla klatek 240–242

	liczba pikseli	odległość [m]	czas [s]	prędkość motocykla	
				[m/s]	[km/h]
motocykl	5497	1,581	0,1	15,8	57
wzorzec	5599	1,610			

Analiza fotografii wykazała, że przemieszczający się wzorzec długości, jakim był motocykl, obejmował już tylko 5599 pikseli, co niezbitnie świadczyło o tym, że wzorzec odległości oddalał się od kamery, a więc w perspektywie motocykl widoczny na rycinie 8 jest obiektem gabarytowo mniejszym niż na rycinie 7. Dla omawianej metody jednak nie jest istotne to, czy pojazd oddala się, ani to, jaka jest długość ogniskowej aparatu, ani wreszcie to, jak zniekształcone jest odwzorowanie. Wzorzec długości znajduje się bowiem wtedy na obiekcie, którego prędkość chcemy określić (w tym przypadku na motocyklu). Można jednak sprawdzić, co stanie się, jeżeli dane wzorca w tabeli 2 zastąpimy danymi wzorca z tabeli 1. Otrzymamy wtedy wynik:

$$5497,2 \times 1,61/5634,55 = 15,7 \text{ m/s, czyli } 56,5 \text{ km/h.}$$

Praktycznie więc wynik okazuje się zbliżony, co wynika z faktu, że w omawianym przypadku oś optyczna kamery usytuowana jest niemal prostopadle do toru ruchu pojazdu.

Metoda poruszającego się wzorca długości gwarantuje dostatecznie dobrą dla rekonstrukcji wypadków precyzję szacowania prędkości, nawet dla przypadków ekstremalnych, gdy do analizy możemy wykorzystać tylko kilka klatek filmu. Dość dodać, że w tym przypadku dane uzyskane z analizy klatek 222 i 224 oraz 240 i 242 w pełni korespondowały z pozostałym materiałem dowodowym oraz rekonstrukcją czasowo-przestrzenną, przeprowadzoną przy pomocy znanych i sprawdzonych programów komputerowych.

Weryfikacji dokonałem przeprowadzając analizę monitoringu stacjonarnego, będącego częścią składową wrocławskiego systemu sterowania ruchem drogowym, który zapisuje poszczególne klatki filmu co 0,08 sekundy. Dla zobrazowania metody klasycznego określenia prędkości motocykla posłużyć się rycinami 9 i 10 oraz komentarzem z wykonanej przeze mnie opinii.



Ryc. 9. Klatka 55.



Ryc. 10. Klatka 58.

Motocykl jadący przed skrzyżowaniem lewym skrajnym pasem ruchu nie skręcił w lewo, jak nakazuje organizacja ruchu, ale w okolicy środka skrzyżowania, zmienił pas ruchu i kontynuował jazdę na wprost, zderzając się z rowerzystą przejeżdżającym przez przejazd dla rowerów. Na planie skrzyżowania (ryc. 1) strzałkami wskazałem pozycję motocykla dla klatek 51, 55, 58 i 67 oraz wyznaczyłem prędkość, jaką rozwijał motocyklista w odległości ok. 20 m od miejsca zderzenia na 75 km/h. Ta pozycja koresponduje z pozycją motocykla na rycinie 7.

Tabela 3. Obliczenie średniej prędkości motocykla dla klatek 55 i 58

początek – klatka nr	55
koniec – klatka nr	58
liczba klatek	3
S_i [m]	5,0
t_i [s]	0,24
v_s [m/s]	20,8
V_s [km/h]	75

Na zakończenie zaznaczyć należy, że ustalenie pozycji motocyklisty metodą klasyczną wymaga dysponowania wystarczająco dokładną mapą (np. jak na ryc. 1) oraz zweryfikowanym wzorcem długości, znajdującym się bezpośrednio na jezdni. Tutaj wzorcem tym były linie oznakowania poziomego, wzdłuż których jechał mo-

tocykl. Linie te w analizowanym przypadku mają długość 1 metra i były malowane co 1 metr^{*)}.

Zauważyć należy, że wykonane obliczenia prędkości motocykla (tabele 1 i 3) różnią się tylko o 0,4 km/h, pomimo że dane pochodzą z dwóch niezależnych monitoringów. Ten fakt upoważnia do konkluzji, że metoda *poruszającego się wzorca długości (MSL)* jest dokładna i wysoce użyteczna, szczególnie w przypadkach, gdy ma się do dyspozycji tylko stosunkowo niedługi materiał filmowy, a nie dysponuje się szczegółowymi mapami oraz skomplikowanymi programami.

W omawianej metodzie „wzorec metra” nie znajduje się w Sèvres pod Paryżem, ale na pojeździe – w czasie i w miejscu wypadku. Wzorec ten to w analizowanym przypadku odległość pomiędzy osiami pojazdu, którego ruch się analizuje. Wartość ta jest dostępna dla biegłego w oparciu o analizę numeru VIN.

Warto zauważyć, że przewagą metody *MLS* nad metodą klasyczną jest możliwość dokładnego wyznaczenia prędkości zderzeniowej (zob. tabela 2), a w konsekwencji – obliczenia rzeczywistych wartości opóźnień hamowania pojazdu.

* * *

Calculation of vehicle speed registered with stationary video monitoring devices. Description of the “movable length standard” method (MLS)

Abstract

During the reconstruction of a road accident, an expert can increasingly use movies created during a road accident. These films are made using automatic, stationary and mobile recorders. The purpose of this article is to present a method called by the author a “movable length standard” (MLS), which is used to accurately determine the speed of vehicles.

Key words

Road accident reconstruction, determining the speed of vehicles, video monitoring, “Movable length standard” (MSL) method.

^{*)} W praktyce spotyka się znaczne odstępstwa długości znaków poziomych od wymagań podanych w stosownych przepisach i dlatego należy osobiście dokonać pomiaru długości znaków na miejscu zdarzenia (*przyp. red.*).