

**Michal Křížák**

## Wykorzystanie zapisu kamer wideo w analizie wypadków drogowych.

### Studium przypadku

#### Streszczenie

Wraz z rozwojem kamer i zwiększeniem udziału monitorowanych odcinków dróg rośnie liczba wypadków drogowych zarejestrowanych kamerą wideo. Celem artykułu jest przedstawienie podstawowych metod, wykorzystujących minimalną ilość oprogramowania do analizy zapisu wideo wypadku drogowego i zastosowania ich w konkretnym wypadku drogowym, zarejestrowanym przez kamerę pokładową poruszającego się pojazdu. W omawianym przypadku celem analizy było zlokalizowanie pojazdu z kamerą pokładową w chwili zderzenia oraz ustalenie prędkości wszystkich uczestniczących pojazdów w chwili zderzenia i w chwili wjazdu w obszar rejestrowany przez kamerę.

#### Słowa kluczowe

Wypadek drogowy, kamera wideo, analiza, pomiar, prędkość, odległość.

\* \* \*

### 1. Wstęp

Coraz częściej zdarza się, że wypadek drogowy zostaje zarejestrowany kamerą monitoringu. Są to różne kamery bezpieczeństwa, systemy kamer miejskich i podobne, ale także kamery pokładowe, zainstalowane w pojazdach. Istnieją różne metody określania prędkości pojazdu zarejestrowanego kamerą. Celem tego artykułu jest przybliżenie niektórych z tych metod oraz wskazanie pewnych ich ograniczeń i zalet oraz dokładności.

Najpowszechniejszym i najprostszym wykorzystaniem zapisu kamery jest określenie średniej prędkości pojazdu na odcinku o znanej długości, w czasie określonym na podstawie zapisu z kamery. Metoda ta została zastosowana przez Hoo-gebooma i Alberinka [3], którzy przeprowadzili walidację wartości określanych tą metodą. Wskazali oni także na ograniczenia tej metody, a w szczególności na to, że proceduje ona w dłuższym odcinku czasu, a tym samym pozwala na określenie średniej prędkości pojazdu, której wartość może być mocno niedoszacowana w sto-

sunku do chwilowej prędkości maksymalnej. Oczywiście jest również, że metody tej nie można użyć, jeżeli rejestrowany pojazd hamuje. Liu i in. w swojej pracy [5] wprowadzili metodę opartą na przemieszczeniu obiektu między klatkami. Dzięki tej metodzie określono chwilową prędkość pojazdu poruszającego się prostopadłe do kamery między kolejnymi klatkami.

### **2. Metody określania prędkości pojazdu**

Opisane niżej metody mają zastosowanie zarówno w przypadku kamer stacjonarnych, jak i ruchomych. W przypadku kamery ruchomej obliczana jest prędkość względna między kamerą a zarejestrowanym pojazdem i dlatego do obliczonej prędkości należy dodać prędkość ruchu kamery.

#### 2.1. Przemieszczenie pojazdu między klatkami

##### 2.1.1 Opis metody

Prędkość pojazdu można określić ustalając przemieszczenie się wybranego punktu pojazdu między poszczególnymi klatkami. W omawianym przypadku wykorzystano krawędź obręczy koła (ryc. 1 i 2), ale można użyć dowolnego, łatwo rozpoznawalnego elementu na pojeździe. Do obliczeń należy znać rozmiar piksela, w kierunku i w obszarze mierzonego punktu, więc punkt ten musi być wybrany w takim miejscu pojazdu, w którym można zmierzyć rzeczywisty rozmiar tego elementu w kierunku ruchu pojazdu. W omawianym przypadku wybrano średnicę obręczy koła, ponieważ rozmiar ten nie jest trudny do ustalenia. Określenie różnicy odległości  $\Delta s$  między klatkami opiera się na zależności:

$$\Delta s = \Delta p \cdot s_p \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta p$  jest przesunięciem punktu między klatkami, wyrażonym w pikselach,

$s_p$  jest długością piksela, wyrażoną w metrach.

Długość  $s_p$  piksela dla określonego obszaru każdej klatki może być obliczona z proporcji pomiędzy znanym rozmiarem obiektu, a liczbą pikseli na tym obiekcie. Ponieważ długość piksela zmienia się w zależności od odległości kamery od obiektu i od zniekształcenia pochodzącego od obiektywu, dlatego konieczne jest znalezienie długości piksela dla konkretnej klatki w obszarze, w którym zostanie określone przesunięcie między klatkami i gdzie można obliczyć wielkość przesunięcia między dwiema klatkami. Podczas analizy omawianego przykładu był to obszar koła, w którym stwierdzono przesunięcie obręczy między dwiema kolejnymi klatkami. Aby określić rozmiar piksela, wykorzystano znany rozmiar obręczy koła  $d_{dm}$ .

$$s_p = \frac{d_{dm}}{d_{dp}} \quad (2)$$

gdzie

$d_{dm}$  jest rzeczywistym rozmiarem obręczy koła w [m],

$d_{dp}$  jest rozmiarem obręczy koła mierzonym liczbą pikseli na obrazie.

Prędkość względna pojazdu w stosunku do ruchu kamery jest obliczana przez wprowadzenie do wzoru (1) wyrażenia (2). Uwzględniając odpowiednią liczbę klatek na sekundę, z jaką zarejestrowane zostało nagranie, otrzymujemy:

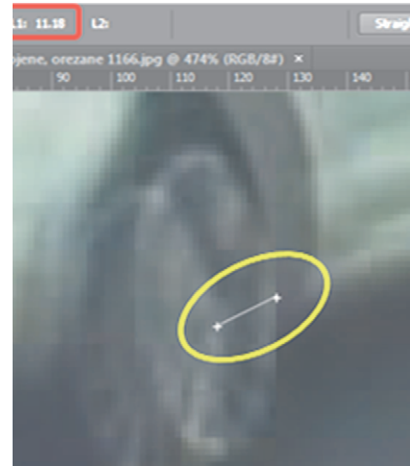
$$v_{rel} = \frac{\Delta s}{t} = \Delta s \cdot fps = \frac{\Delta p \cdot d_{dm} \cdot fps}{d_{dp}} \quad (3)$$

gdzie:  $t = 1/fps$  oznacza czas, zaś  $fps$  to liczba klatek na sekundę.

Na rycinach 1 i 2 pokazany jest przykład pomiaru średnicy obręczy koła i przesunięcia obręczy między dwiema kolejnymi klatkami. Zmierzoną odległość zaznaczono czerwoną ramką, a zmianę wymiaru – żółtą obwódką.



Ryc. 1. Przykład pomiaru średnicy obręczy koła.



Ryc. 2. Przesunięcie obręczy pomiędzy dwoma klatkami (nałożenie dwóch klatek).

### 2.1.2. Zastosowanie i ograniczenia metody

Opisywana metoda najlepiej nadaje się do użycia wtedy, gdy rejestrowany pojazd porusza się pod odpowiednim kątem w stosunku do obiektywu kamery, a kierunek ruchu pojazdu nie zmienia się w sposób istotny. Ponieważ dla każdej klatki obliczana jest wielkość piksela w kierunku przesuwania się obiektu w obszarze, w którym mierzone jest przemieszczenie, obliczenia same się korygują i dzięki temu obejmują korekcję soczewki obiektywu i w dużej części obrót pojazdu względem kamery.

## z problemów rekonstrukcji wypadków i opiniowania

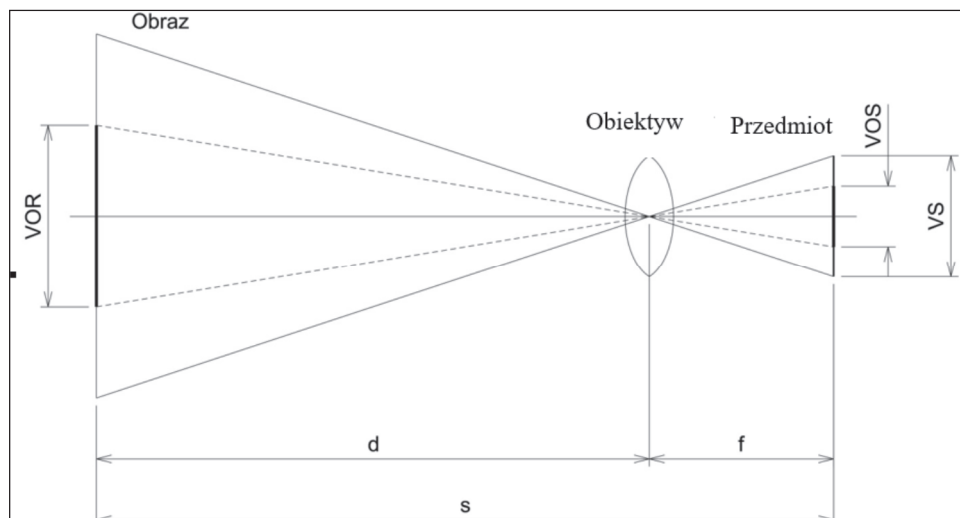
Metoda ta nie może być stosowana, jeśli nie można zmierzyć żadnego wymiaru w kierunku ruchu pojazdu lub jeśli pojazd porusza się w osi soczewki obiektywu.

Zaletą tej metody jest jej prostota i stosunkowo małe wymagania odnośnie oprogramowania, ponieważ wystarczające jest każde oprogramowanie, które pozwala zmierzyć odległość na obrazie rastrowym. Nie ma znaczenia, czy odległości są określane w pikselach, czy w milimetrach – konwersja milimetrów na piksele jest możliwa na podstawie informacji o obrazie – *ppi* (*pixels per inch* – piksele na cal). Takie oprogramowanie to przykładowo – *GIMP* (*freeware*) i *Adobe Photoshop*.

### 2.2. Odległość pojazdu od kamery

#### 2.2.1. Opis metody

Metoda polega na oszacowaniu odległości pojazdu od obiektywu kamery z pojedynczych klatek wideo (nawet zdjęć), na podstawie podobieństwa trójkątów i znanych parametrów obiektywu oraz rozmiaru matrycy kamery (ryc. 3).



Ryc. 3. Zasada określania odległości wzdłużnej kamery od obiektu.

Z podobieństwa trójkątów mamy:

$$\frac{VOS}{f} = \frac{VOR}{d} \quad (4)$$

gdzie:

*VOS* – wymiar obiektu na matrycy [mm]

*VOR* – rzeczywisty wymiar obiektu [mm],

*f* – długość ogniskowej,

*d* – odległość obiektywu od obiektu.

Wartość  $VOS$  w milimetrach można określić na podstawie stosunku:

$$\frac{VOS[mm]}{VS[mm]} = \frac{VOS[px]}{VS[px]} \Rightarrow VOS[mm] = \frac{VS[mm] \cdot VOS[px]}{VS[px]} \quad (5)$$

gdzie  $VS$  oznacza wysokość matrycy, w nawiasach kwadratowych podano jednostki (mm – milimetr, px – piksel).

Wstawiając (5) do (4) otrzymamy:

$$d = \frac{VOR \cdot f \cdot VS[px]}{VS[mm] \cdot VOS[px]} \quad (6)$$

Analogicznie relacja ta dotyczy szerokości ( $SOR$ ,  $SS$ ,  $SOS$ ).

Jeśli kamera rejestruje film tylko w jednej rozdzielczości (co zwykle ma miejsce w przypadku kamer miejskich), to można uwzględnić rozmiar matrycy w milimetrach, podany w parametrach technicznych kamery. Najczęściej stosowana jest matryca o współczynniku kształtu 4:3 (np. 1/3"). W przypadku kamer, w których wideo można nagrywać w różnych rozdzielczościach lub które umożliwiają robienie zdjęć, zazwyczaj rejestracja wideo nie wykorzystuje całej powierzchni matrycy, lecz tylko jej część. Rozmiar aktywnego obszaru, tj. obszaru matrycy, który wykorzystywany jest przy rejestracji wideo w bieżącej rozdzielczości, można określić na podstawie stosunku:

$$\frac{SC[mm]}{SC[px]} = \frac{SS[mm]}{SS[px]} \Rightarrow SS[mm] = \frac{SC[mm] \cdot SS[px]}{SC[px]} \quad (7)$$

gdzie:

$SC$  jest całkowitą szerokością matrycy,

$SS$  jest szerokością obszaru wykorzystanego w rejestracji wideo.

Podobnie można określić wysokość obszaru wykorzystanego w rejestracji wideo.

### 2.2.2. Wykorzystanie i ograniczenia metody

Metoda ta jest odpowiednia w przypadkach, gdy pojazd porusza się w kierunku kamery lub w kierunku przeciwnym. Jej wadą jest to, że konieczne jest określenie rzeczywistego wymiaru charakterystycznej części pojazdu (im większy, tym lepiej) oraz szczegółowych parametrów technicznych kamery: rozmiaru matrycy i ogniskowej. W większości przypadków konieczne jest sprawdzenie tych informacji dodatkowo u producenta kamery, a w przypadku systemów *CCTV* – u administratora tych systemów. W przypadku kamer zmiennoogniskowych (wyposażonych w zoom) konieczne jest określenie aktualnej długości ogniskowej, przy której został nagrany film. Ten problem nie występuje w przypadku kamer o stałej ogniskowej (np. prawie wszystkie pokładowe kamery, kamery akcji itp.).

Kolejnym ograniczeniem dla kamer o krótkich ogniskowych (kamery szerokokątne – zwłaszcza kamery pokładowe pojazdów) jest możliwość korzystania z tej metody tylko wtedy, gdy pojazd przemieszcza się w przybliżeniu w osi kamery, gdzie nie występują znaczne zniekształcenia rejestrowanego obszaru.

Jeżeli pojazd skręca lub nie porusza się bezpośrednio w osi kamery, konieczne jest skorygowanie obliczeń za pomocą funkcji trygonometrycznych. W tym przypadku wzrastają również wymagania dotyczące oprogramowania. Praktycznie konieczny jest program *CAD*, który pozwala odczytać kąty i odległości (*Autocad*, *Microstation*). Jeśli pojazd porusza się w osi obiektywu kamery, wówczas (podobnie jak w poprzedniej metodzie) wystarczy program, który pozwala odczytać wymiary z zarejestrowanych klatek.

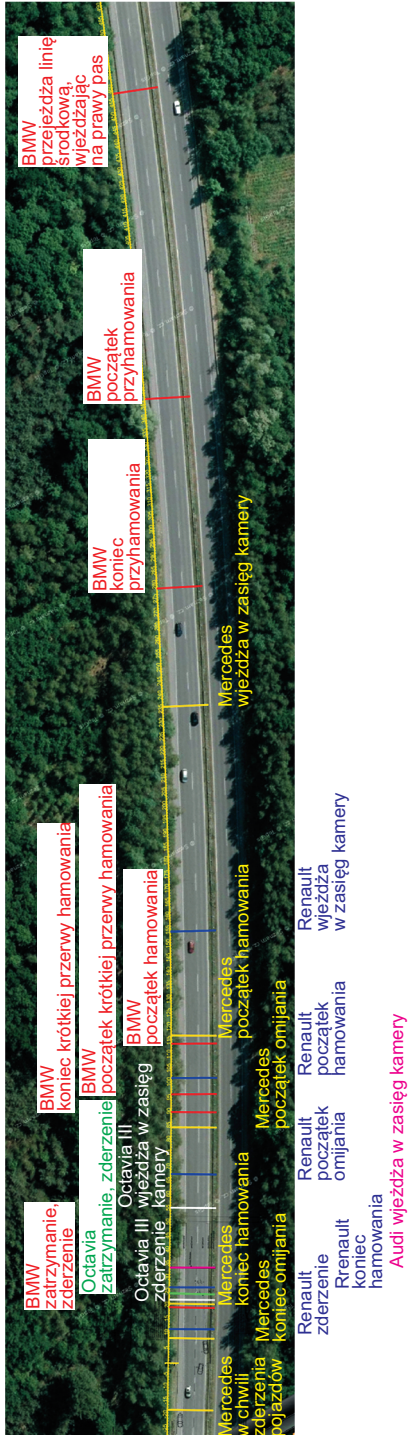
### **3. Studium przypadku – analiza wypadku**

Przedstawiony poniżej wypadek miał miejsce na autostradzie. Cały wypadek został zarejestrowany kamerą zamontowaną w ciągniku siodłowym. Kierowca samochodu BMW, wyprzedziwszy wcześniej samochód Škoda Octavia, jechał przez chwilę przed tym pojazdem, a następnie zatrzymał się przed nim na lewym pasie ruchu. Po zatrzymaniu pojazdów na lewym pasie, trzy kolejne pojazdy zdołały uniknąć wypadku, a czwarty uderzył w stojący samochód Škoda.

Pierwszym krokiem w analizie zapisu tego wypadku było określenie prędkości ciągnika siodłowego. Dostępny był analogowy zapis tachografu zamontowanego w tym pojeździe. Prędkość ciągnika ustalono na podstawie zapisu na tarczy tachografu, po określeniu czasu przejazdu ciągnika obok linii rozdzielających pasy ruchu i odległości ciągnika od słupka kilometrowego (przy użyciu wspomnianej drugiej metody – punkt 2.2).

Zapis wideo pozwolił na określenie przybliżonych pozycji pojazdów w określonych, kluczowych chwilach. Pozycje te zostały naniesione na zdjęciu lotniczym miejsca wypadku (patrz rycina 4), a później były one wykorzystane do sprawdzenia obliczonych wartości prędkości i do symulacji przedzderzeniowego ruchu pojazdów. Prędkości poszczególnych pojazdów w chwilach ich wjazdu w obszar rejestrowany przez kamerę zostały określone przez zastosowanie pierwszej metody przemieszczenia pojazdu między klatkami (punkt 2.1). W ten sposób ustalono następujące prędkości wszystkich uczestniczących pojazdów:

- octavia – 101 km/h,
- pierwszy pojazd (omijający) – 107 km/h,
- drugi pojazd (omijający) – 112 km/h,
- czwarty pojazd (uderzający) – 109 do 104 km/h (pojazd hamował, wartości tuż przed zderzeniem).

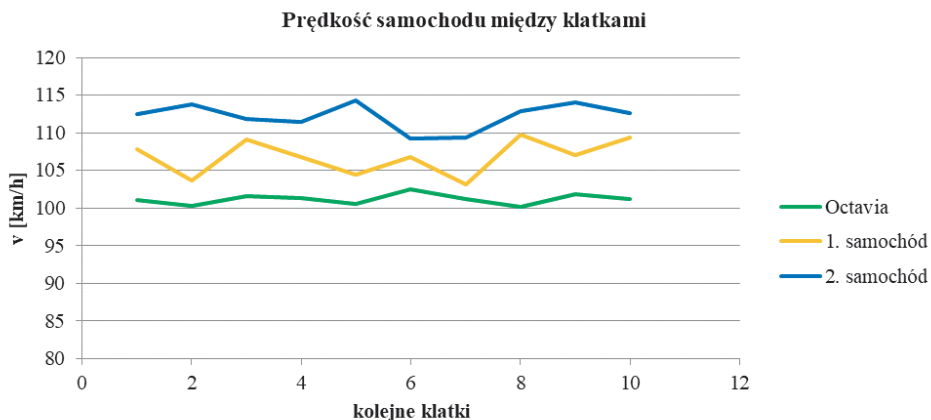


Ryc. 4. Przybliżone pozycje pojazdów w charakterystycznych chwilach zdarzenia.

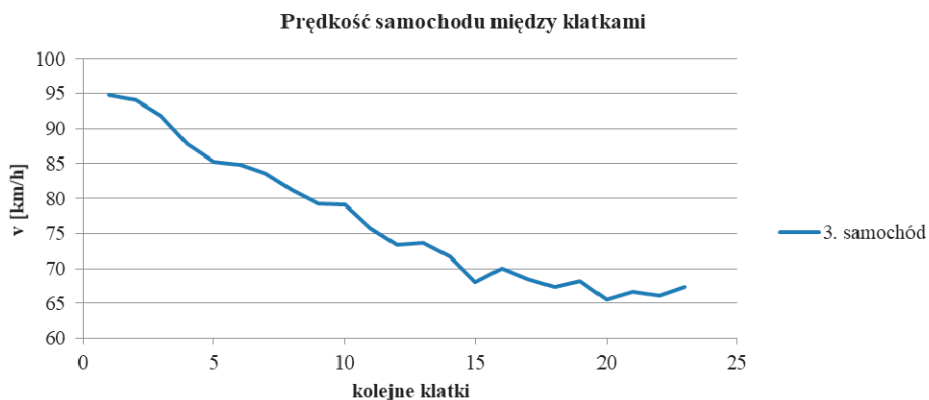
Trzeci pojazd (który uniknął wypadku) był już hamowany w chwili, w której wjechał w kadr kamery. W pewnej chwili jego kierowca przerwał hamowanie, co było również widoczne na nagraniu. Podczas analizy zapisu wideo stwierdzono, że czas zwłoki układu hamulcowego tego pojazdu wynosił około 0,2 s. Prędkość przy wjeździe w kadr wynosiła 95 km/h, po zakończeniu hamowania – 67 km/h. Wykres prędkości tego samochodu jest pokazany na rycinie 6.

Wykorzystując ustalone prędkości w programie symulacyjnym, porównano pozycje pojazdów, stwierdzając bardzo dobre dopasowanie. W symulacji trzeba było tylko uwzględnić niewielkie zmiany prędkości pojazdu między kolejnymi pozycjami, rzędu dziesiątych części metra na sekundę, co również odpowiadało sytuacji, w której kolumna pojazdów powoli przyspiesza.

Na rycinie 7 przedstawione jest porównanie symulacji przebiegu zdarzenia z zapisem wideo. Należy zauważyć, że obrazy z symulacji są inaczej zniekształcone niż obrazy z kamery pokładowej ciągnika, nie ulega jednak wątpliwości, że położenia pojazdów są zadowalająco zgodne. Biorąc pod uwagę osiągnięte prędkości, położenia pojazdów również odpowiadały pozycjom określonym przez szacowanie, jak to pokazano na rycinie 4.

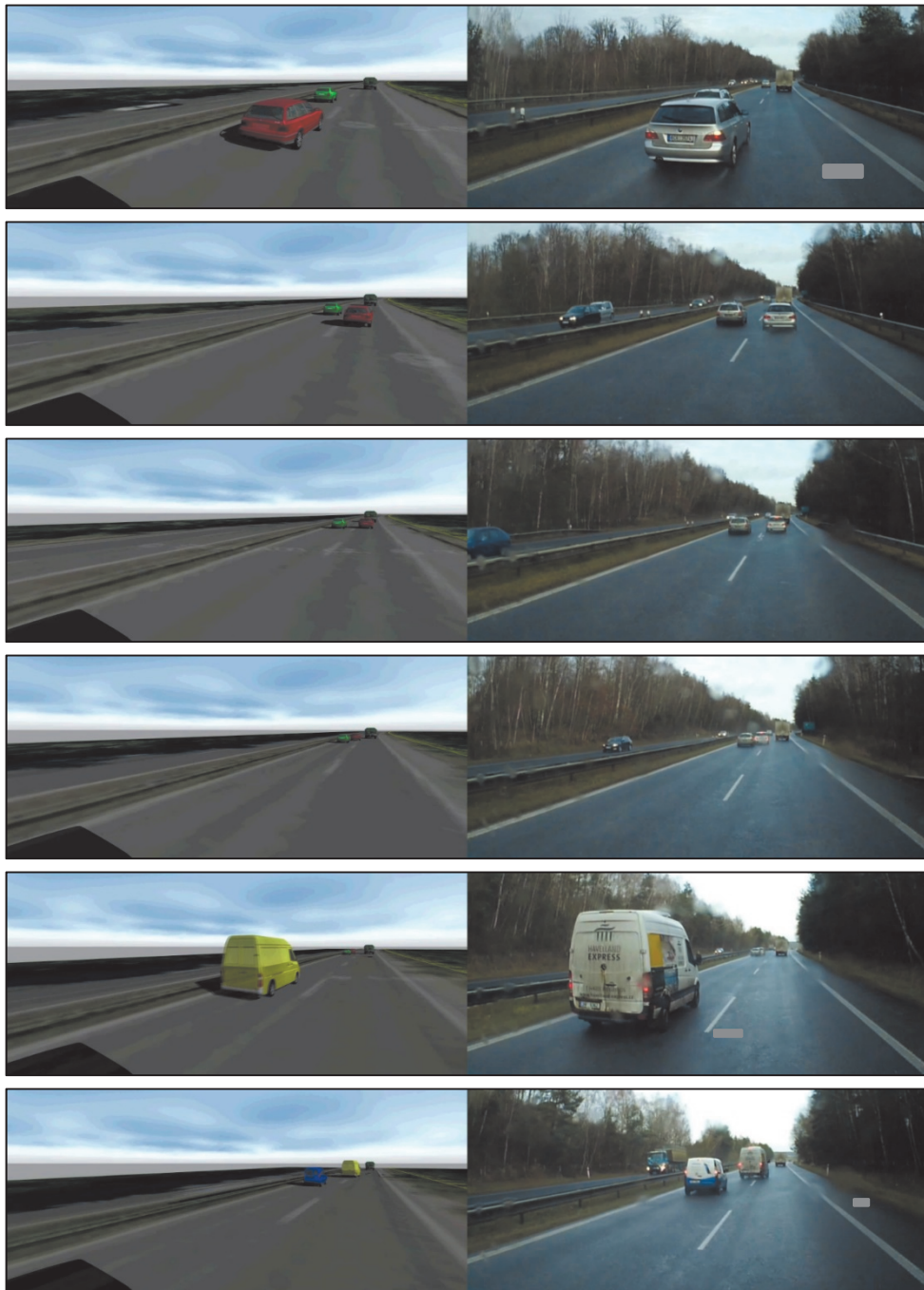


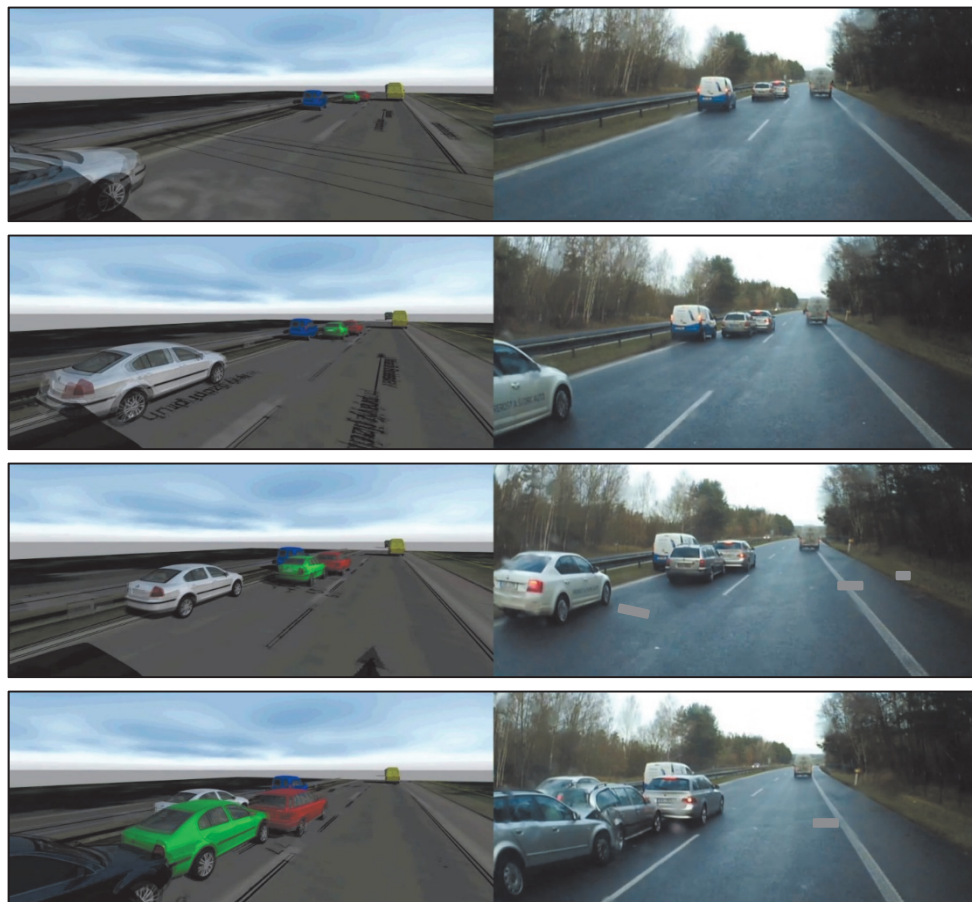
Ryc. 5. Prędkości pojazdów określone przez analizę przemieszczenia między kolejnymi klatkami.



Ryc. 6. Prędkość pojazdu 3, określona przez analizę przemieszczenia między kolejnymi klatkami.







Ryc. 7. Porównanie wyników symulacji i nagrania z kamery.

Jednym z zadań zleconej ekspertyzy było ustalenie odległości wzdłużnej między samochodami BMW i Škoda Octavia w fazie jazdy BMW przed octavią, po rozpoczęciu hamowania przez kierowcę BMW. Do tego została wykorzystana druga ze wspomnianych metod określenia odległości pojazdu od kamery (punkt 2.2).

Przeanalizowano losowo wybrane klatki. Pojazdy były oddalone od kamery na początku o ok. 80 m, a na końcu badanego odcinka – do 120 m, odpowiednio 140 m dla octavii i BMW. Średnia wartość odległości między pojazdami wynosiła 5,1 m, mediana tych wartości wynosiła 4,5 m, a średnie odchylenie standardowe – 3,9 m.

Pomimo znacznej odległości, przy której dużą rolę odgrywa dokładność określenia wymiarów pojazdów z klatek, względna niedokładność tej metody wynosiła poniżej 4%. W związku z tym, biorąc pod uwagę powszechnie stosowane przez ekspertów metody i ich dokładność, metodę tę można uznać za wystarczająco dokładną.

### 4. Podsumowanie

Na przykładzie rzeczywistego wypadku drogowego pokazano możliwości i ograniczenia w określaniu prędkości i odległości obiektów od kamery. Porównując zapis wideo z wynikami z programu symulacyjnego, w którym zastosowano prędkości ustalone opisanymi tu metodami, stwierdzono bardzo dobre ich dopasowanie, z dokładnością znacznie większą niż tolerancja powszechnie przyjmowana w inżynierii sądowej.

W przypadku pierwszej metody (przemieszczanie pojazdu między klatkami) rozrzut prędkości dla pojazdów jadących ze stałą prędkością sięgał 7 km/h, co przy prędkościach powyżej 100 km/h stanowiło około 7%. Przy określaniu odległości pojazdu od kamery niedokładność zastosowanej metody wynosiła do 4%.

Oceniając zapisy wideo należy brać pod uwagę ograniczenia poszczególnych metod i korzystać z nich stosownie do ich możliwości. Należy pamiętać, że jest to po prostu inny sposób na analizę wypadku drogowego. Ważne jest porównanie uzyskanych tymi metodami wyników z innymi wynikami analizy przebiegu wypadku drogowego – jak to miało miejsce w opisanym przykładzie.

### Bibliografia

1. Bradáč, A. *et al.* (1997). *Soudní inženýrství*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, ISBN: 80-7204-057-X.
2. Burg, H., Moser A. (2007). *Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation*, 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg. ISBN 978-383-4801-722.
3. Hoogeboom, B., Alberink, I. (2010). *Measurement uncertainty when estimating the velocity of an allegedly speeding vehicle from images*. *Journal of Forensic Sciences*. 55(5), 1347-1351. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2010.01412.x. ISSN 00221198.
4. Hugemann, W. (2007). *Unfallrekonstruktion*. 1. Aufl. Wolfgang Hugemann. Münster, Autorenteam.
5. Liu, S., Xiuju, Y, Jianguo, C., Zhiyong, Y. (2017). *A novel pixel-based method to estimate the instantaneous velocity of a vehicle from CCTV images*. *Journal of Forensic Sciences*, 62(4), 1071-1074. DOI: 10.1111/1556-4029.13381. ISSN 00221198.

\* \* \*

## Application of video camera recordings in road accident analysis. A case study

### **Abstract**

With the development of dashboard cameras and increasing areas of camera-watched sections of roads, the number of video recordings of traffic accidents is also increasing. The aim of this paper is to show basic methods, with minimum software, for the analysis of video recorded traffic accident and their application in a particular case of a traffic accident recorded by a dashboard camera from a moving vehicle. In the studied case the analysis was targeted at identification of the position of the vehicle with camera at the moment of collision and determination of the speeds of all the vehicles participating in the accident at the moment of collision and when entering the camera's field of view.

### **Key words**

Road accident, video camera, analysis, video, measurement, speed, distance.