



**Stanislav  
Tokař**

## Możliwości odtworzenia prędkości pojazdu na podstawie nagrania z kamery pokładowej

### Streszczenie

Na podstawie dwóch zdarzeń drogowych pokazano, jakie są możliwości ustalania prędkości pojazdów przed kolizją z wykorzystaniem analizy nagrań wideo pochodzących z kamer pokładowych i geodezyjnego pomiaru miejsca zdarzenia. Pozyskane informacje pozwoliły na odtworzenie ruchu uczestników kolizji przy wykorzystaniu metody modelowania symulacyjnego, co dało możliwość wskazania na przyczyny kolizji.

### Słowa kluczowe

Monitoring, nagranie wideo, kamera, prędkość, zderzenie.

Otrzymano 21 kwietnia 2022 r., zatwierdzono do druku 10 maja 2022 r.

DOI: 10.4467/15053520PnD.22.003.16239

### 1. Wstęp

Motywacją do napisania artykułu było własne doświadczenie, ponieważ w krótkim odstępie czasu zajmowałem się dwoma zdarzeniami drogowymi na obszarze miejskim w Republice Czeskiej (Ostrawa, Brno), gdzie starano się ustalić przyczyny zdarzeń drogowych w kategoriach „prędkość vs. pierwszeństwo” [6]. W obydwu przypadkach do określenia prędkości pojazdu poruszającego się po drodze głównej możliwe było wykorzystanie nagrań z kamer wideo:

- przypadek 1 – zapis z kamery pokładowej pojazdu uczestniczącego w kolizji,
- przypadek 2 – zapis z kamery pokładowej pojazdu jadącego w tym samym kierunku.

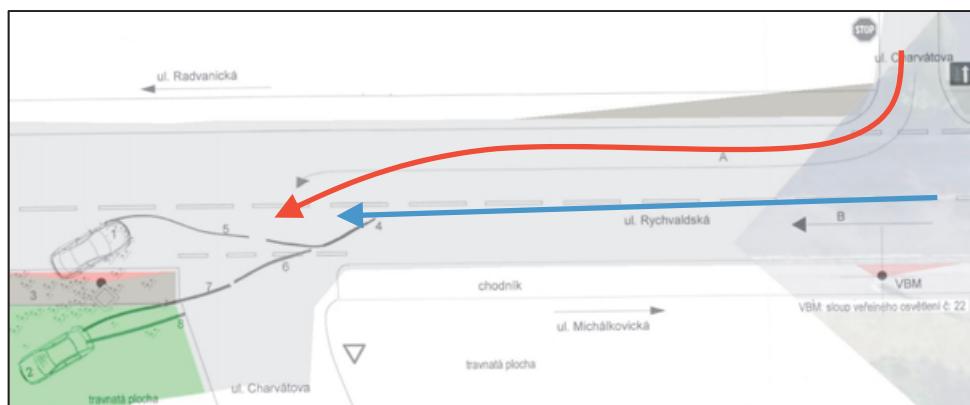
W celu ustalenia usytuowania pojazdów, dokonano analizy zapisu nagrań filmowych dzieląc je na poszczególne ujęcia i wykorzystując przyjęte punkty odniesienia (obiekty) znajdujące się w miejscu zdarzenia drogowego. Dane dotyczące prędkości uczestników zostały określone na podstawie lokalizacji miejsc, w których znajdowały się pojazdy oraz ustalenia zmian ich położenia w czasie. Problematyka ta była już wielokrotnie opisywana w literaturze [3, 4, 5].

Analiza nagrań wideo wykazała, że oba pojazdy poruszające się po drodze głównej, jechały z prędkością znacznie większą od prędkości dopuszczalnej. Jazda z dużą prędkością, znacznie przekraczającą prędkość dozwoloną, staje się coraz większym problemem społecznym, którym należy się zajmować na wszystkich poziomach.

## 2. Przykład 1 – zderzenie samochodów Renault i Fiat

### 2.1. Dokumentacja z miejsca kolizji

W analizowanym zdarzeniu jadący drogą główną samochód Fiat zderzył się w czasie wykonywania manewru skrętu w lewo z jadącym w tym samym kierunku i wyprzedzającym go samochodem Renault (ryc. 1). Na miejscu ujawniono ślady pochodzące od obu pojazdów. Nie doszło do obrażeń uczestników zdarzenia. Nie-sprawności pojazdów, które mogłyby być przyczyną zdarzenia, nie zgłoszono ani nie stwierdzono w czasie oględzin i badań.



Ryc. 1. Miejsce kolizji. Kierunki jazdy pojazdów: Fiat (kolor czerwony) i Renault (kolor niebieski).

W przypadku samochodu Renault doszło do ogólnych uszkodzeń nadwozia w wyniku działania energii deformacji, zasadniczo w prawej przedniej części pojazdu (ryc. 2). Na podstawie porównania stopnia uszkodzeń samochodu Renault z uszkodzeniami innych pojazdów, skatalogowanych w bazie EES dra Melegha, można było przyporządkować mu parametr EES w przedziale 35–41 km/h.



Ryc. 2. Uszkodzenia samochodu Renault.

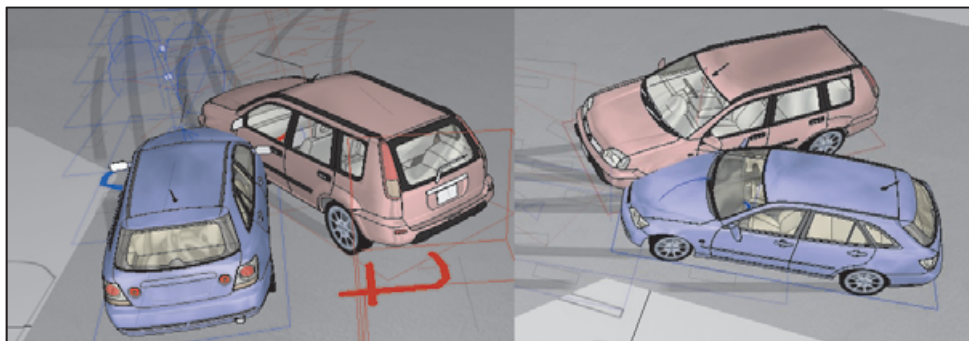
Natomiast w przypadku samochodu Fiat, energia deformacji oddziaływała głównie na lewe przednie drzwi, lewy słupek „A”, lewy przedni błotnik oraz zawieszenie lewego przedniego koła. Z powodu deformacji elementów pojazdu z lewej strony, uszkodzeniu uległa również przednia część pojazdu (ryc. 3). Szacując uszkodzenia lewej strony pojazdu Fiat, można było przyporządkować im parametr EES w przedziale 27–33 km/h.



Ryc. 3. Uszkodzenia samochodu Fiat.

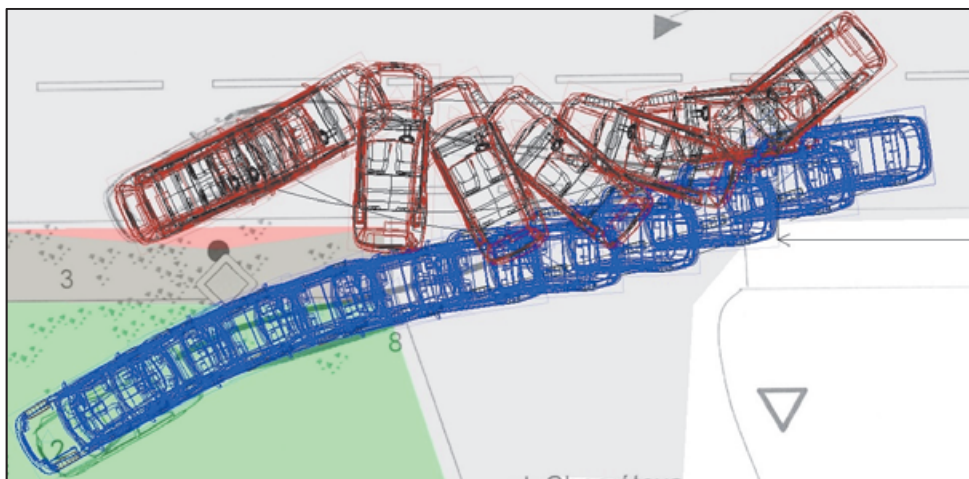
## 2.2. Analiza kolizji i ruchu pokolizyjnego pojazdów

Do analizy zderzenia wykorzystano program symulacyjny Virtual Crash w wersji 2.2. Zderzenie pojazdów nastąpiło w odległości ok. 30,5 m za SPO i 1 m na prawo od lewej krawędzi jezdni. W wyniku przeprowadzonej analizy ustalono, że samochód Renault przy prędkości ok. 93 km/h uderzył prawą przednią częścią w lewą stronę samochodu Fiat, jadącego wówczas z prędkością ok. 20 km/h. W wyniku zderzenia prędkość samochodu Renault zmniejszyła się do ok. 36 km/h (ryc. 4).



Ryc. 4. Zderzenie samochodów Fiat (czerwony) i Renault (niebieski).

Bezpośrednio po zderzeniu doszło do rotacji samochodu Fiat, zgodnie z ruchem wskazówek zegara, który swym uszkodzonym lewym przednim kołem pozostawił widoczny ślad na jezdni. W końcowej fazie ruchu pokolizyjnego Fiat wykonał krótki ruch do tyłu, do udokumentowanej pozycji końcowej. Natomiast Renault przemieszczał się w lewo i zjechał z jezdni zatrzymując się na stoku przydrożnego rowu, pozostawiając tam widoczne ślady rycia podłoża (ryc. 5).



Ryc. 5. Ruch pozderzeniowy samochodów.

### 2.3. Przedkolizyjny ruch pojazdów

Odtworzenie ruchu uczestników przed zderzeniem pojazdów zostało oparte na nagraniu wideo z kamery pokładowej samochodu Renault. Nagranie było zarejestrowane w formacie \*.avi z częstotliwością 30 kl/s i rozdzielczością 1280x720. Analizę zapisu przeprowadzono z użyciem oprogramowania VirtualDub. Zapisu wideo można było użyć do ustalenia przebiegu zdarzenia drogowego, z wykorzystaniem pomiarów geodezyjnych miejsca kolizji. Na podstawie zmian położenia

kamery względem lokalizacji zdefiniowanych obiektów, można było określić pozycje uczestników zarejestrowane na kolejnych klatkach nagrania. Za obiekty pomocnicze przyjęto słupy oświetlenia publicznego zlokalizowane po lewej stronie drogi, w tym słup oznaczony numerem 22, który był przyjęty za SPO.

Bazując na znanych odległościach poszczególnych obiektów pomocniczych, można wykorzystać podstawową zależność do ustalenia średniej prędkości pomiędzy dwoma ustalonymi pozycjami pojazdu:

$$v = \frac{S}{t} [m/s],$$

gdzie:

$S$  – droga – odległość przebyta między dwoma znanymi położeniami pojazdu [m],

$t$  – czas – czas między dwiema znanymi położeniami pojazdu [s].

Tabela 1. Analiza nagrania z kamery pokładowej samochodu Renault.

Numer klatki	Odległość od SPO [m]	Czas do zderzenia [s]	Prędkość Renault [km/h]	Opis sytuacji
5173	176	6,667		4. słup przed SPO – Fiat na krawędzi jezdni drogi głównej
5210	131	5,433	131	3. słup przed SPO – Fiat w połowie wjazdu na jezdnię drogi głównej
5247	87	4,200	128	2. słup przed SPO – Fiat w 3/4 wjazdu na jezdnię drogi głównej
5282	44	3,033	133	1. słup przed SPO – Renault rozpoczyna hamowanie i zjazd w lewo, Fiat na linii środkowej z włączonym prawym kierunkowskazem
5329	0	1,467	x	Renault na wysokości SPO
5335	x	1,267	x	Fiat początek skrętu w lewo, włączony prawy kierunkowskaz
5343	x	1,000	x	Lewe przednie koło Fiata w osi jezdni
5350	x	0,767	x	Renault intensywne hamowanie i koniec zjazdu w lewo, lewe tylne koło Fiata w osi jezdni
5355	x	0,600	x	Renault skręca w lewo
5373	x	0,0	x	Zderzenie

Średnia prędkość samochodu Renault (tabela 1) była liczona pomiędzy kolejnymi punktami. Przykładowo prędkość 128 km/h została wyliczona jako iloraz drogi (131–87 m) i czasu (5,433–4,200 s). Taki sposób obliczeń został przyjęty, ponieważ można było bardzo dokładnie ustalić położenie samochodu względem punktów referencyjnych.

Z analizy nagrań wideo, analizy przebiegu zdarzenia drogowego, oceny wszystkich przekazanych dokumentów oraz oględzin miejsca kolizji wynika, że przyczyną omawianego zdarzenia była prędkość samochodu Renault, która przed powstaniem zagrożenia wynosiła ok. 130 km/h, czyli znacznie więcej niż prędkość dopuszczalna 50 km/h.

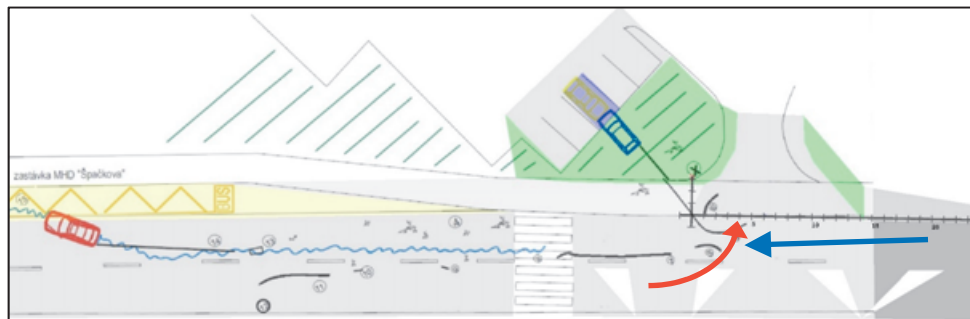


Ryc. 6. Analiza nagrania z kamery pokładowej samochodu Renault.

### 3. Przykład 2 – zderzenie samochodów BMW i Volkswagen

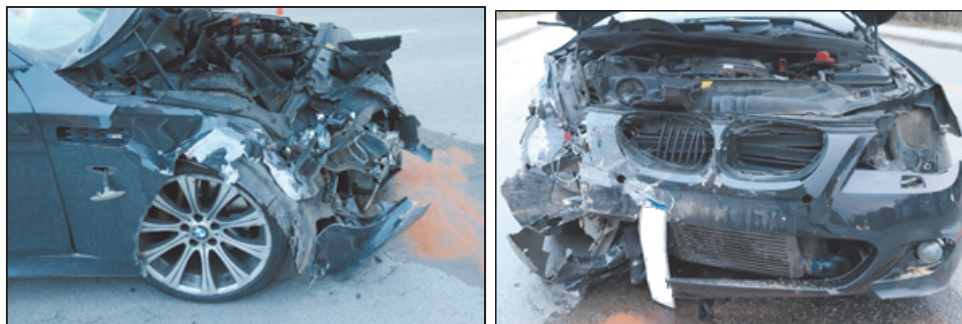
#### 3.1. Dokumentacja z miejsca kolizji

W tym przypadku samochód BMW jadący drogą główną zderzył się z jadącym z przeciwka Volkswagenem, którego kierowca skręcał w lewo na parking. Samochód BMW uderzył przodem w prawy bok Volkswagena (ryc. 7). W wyniku kolizji, nastąpiła rotacja i odrzut Volkswagena w kierunku stojącego na parkingu innego pojazdu i jego uderzenie w przednią część stojącego samochodu. Samochód BMW po zderzeniu kontynuował jazdę w pierwotnym kierunku.



Ryc. 7. Miejsce kolizji. Kierunki jazdy pojazdów: Volkswagen (czerwona strzałka), BMW (niebieska strzałka).

W samochodzie BMW doszło do ogólnych uszkodzeń przedniej części nadwozia, co było rezultatem działania energii deformacji, głównie na prawą przednią część pojazdu (ryc. 8). W wyniku przesunięcia się prawego przedniego koła doszło również do deformacji prawego słupka „A” oraz uszkodzenia prawych przednich drzwi pojazdu. Wewnątrz pojazdu nastąpiła aktywacja poduszek gazowych. Do określenia wartości EES pojazdu BMW wykorzystano metodę obliczeniową Crash 3 w oparciu o publicznie dostępną bazę danych NHTSA. W przypadku pojazdu BMW ustalona parametru EES mieściła się w przedziale 40–46 km/h.



Ryc. 8. Uszkodzenia samochodu BMW.

W przypadku Volkswagena, energia deformacji oddziaływała głównie na prawe tylne drzwi, prawy słupek „C”, prawy tylny błotnik oraz zawieszenie prawego tylnego koła (ryc. 9). W wyniku deformacji elementów prawej strony pojazdu doszło również do częściowych uszkodzeń tylnej części pojazdu. W Volkswagencie również doszło do aktywacji poduszek gazowych. Na podstawie porównania stopnia uszkodzeń samochodu Volkswagen z uszkodzeniami innych pojazdów, skatalogowanych w bazie EES dra Melegha, można było stwierdzić, że wielkość parametru EES dla tego pojazdu mieści się w przedziale ok. 26–32 km/h.

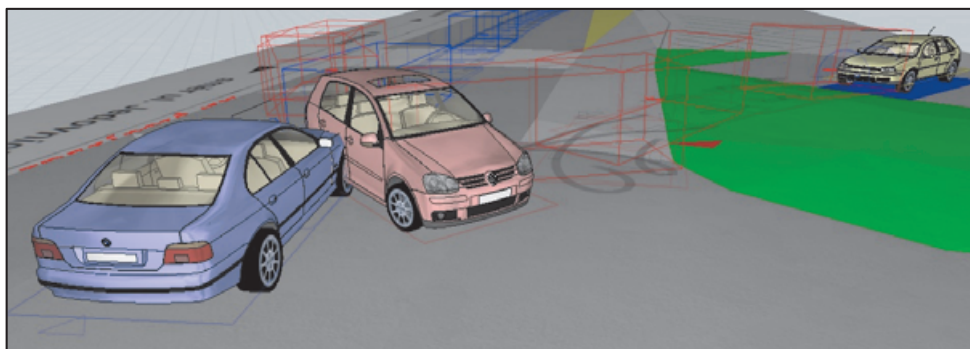


Ryc. 9. Uszkodzenia samochodu Volkswagen.

### 3.2. Analiza kolizji i ruchu pokolizyjnego pojazdów

Do analizy zderzenia użyto programu Virtual Crash. Zderzenie pojazdów BMW i Volkswagen miało miejsce ok. 3 m przed SPO i około 2,7 m na lewo od prawej krawędzi jezdni. Samochód BMW jadący z prędkością ok. 95 km/h uderzył prawą przednią częścią w prawą stronę samochodu Volkswagen, jadącego z prędkością ok. 16 km/h (ryc. 10). W wyniku zderzenia prędkość BMW uległa zmniejszeniu do ok. 75 km/h, natomiast prędkość Volkswagena zwiększyła się do ok. 20 km/h.

Zderzenie pojazdów wywołało dynamiczną rotację prawoskrętną samochodu Volkswagen, a po jej zakończeniu, jazdę po nawierzchni trawiastej w kierunku pojazdu stojącego na parkingu, w który Volkswagen uderzył z niewielką już prędkością. Po kolizji samochód BMW jechał środkiem drogi głównej, po czym się zatrzymał się, zjeżdżając nieco na prawo.



Ryc. 10. Zderzenie samochodów BMW (niebieski) i Volkswagen (czerwony).



3.3. Przedkolizyjny ruch pojazdów

Do przekazanych materiałów dowodowych należało nagranie wideo, pochodzące z kamery pokładowej umieszczonej w autobusie jadącym w tym samym kierunku co samochód BMW, który bezpośrednio przed kolizją wyprzedził autobus. Nagranie to zostało zapisane w formacie \*.mp4 z częstotliwością 23,67 kl/s<sup>1</sup> i rozdzielczością 1280x720. Analizę zapisu przeprowadzono przy pomocy oprogramowania VirtualDub. Parametry dynamiki ruchu uczestników zdarzenia, głównie samochodu BMW, zostały ustalone na podstawie zapisu zmian jego położenia względem istniejących obiektów odniesienia – znajdujących się w osi jezdni linii oznakowania poziomego, których lokalizacja została ustalona przez pomiary geodezyjne.

Tabela 2. Analiza nagrania z kamery pokładowej autobusu.

Numer klatki	Odległość od SPO [m]	Czas do zderzenia [s]	Prędkość Renault [km/h]	Opis sytuacji
679	98,2	3,00	x	Prawy przedni narożnik BMW pojawia się w kadrze, na początku 1. odcinka linii przerywanej Kierowca Volkswagena mógł pojąć decyzję/rozpocząć skręt
685	89,5	2,75	<b>125</b>	Prawy tylny narożnik BMW na początku 2. odcinka linii przerywanej
691	82,0	2,50	<b>117</b>	Prawy tylny narożnik BMW na końcu 3 odcinka linii przerywanej
695	76,4	2,33	<b>118</b>	Tyłna część BMW na początku 5. odcinka linii przerywanej
698	73,2	2,21	<b>114</b>	Tyłna część BMW na końcu 5. odcinka linii przerywanej Volkswagen – wyraźny skręt w lewo
704	65,2	1,96	<b>114</b>	Lewy tylny narożnik BMW na końcu 7. odcinka linii przerywanej
714	x	1,54	x	BMW mija pojazd jadący z przeciwną, jest już na prawym pasie w okolicy 9 odcinka linii przerywanej
719	x	1,33	x	Początek hamowania BMW za końcem 9. odcinka linii przerywanej przedni lewy narożnik Volkswagena w osi jezdni
750	4,5	0,00	x	Zderzenie BMW z Volkswagenem

<sup>1</sup> Do obliczeń przyjęto 24 kl/s.

Z uwagi na to, że ustalenie położenia samochodu BMW względem punktów referencyjnych było mało dokładne, wartości średniej prędkości tego samochodu (tabela 2) były liczone odmiennie niż samochodu Renault (tabela 1), tj. zawsze na odcinku od położenia zarejestrowanego na klatce 679 (odległość od SPO 98,2 m) do kolejnego punktu. Przykładowo wartość 118 km/h została wyliczona jako iloraz drogi (98,2 m – 76,4 m) i czasu (3,00 s – 2,33 s).



*Ryc. 11. Analiza nagrania z kamery pokładowej autobusu.*

Z przekazanego nagrania wynikało również, że natychmiast po zatrzymaniu się samochodu BMW jego kierowca i pasażerka opuścili miejsce zdarzenia. Z analizy nagrania wideo, analizy zderzenia, oceny wszystkich przekazanych materiałów dowodowych oraz oględzin miejsca zdarzenia wynikało, że przyczyną kolizji była nadmierna prędkość samochodu BMW, który przed zderzeniem jechał z prędkością ok. 120 km/h, czyli znacząco większą od prędkości dopuszczalnej 50 km/h.

#### **4. Wnioski końcowe**

Celem niniejszego artykułu było wykazanie do jakich przekroczeń dozwolonych prędkości dochodzi na terenie zabudowanym, których pozostali uczestnicy

nie mogą przewidzieć ani oszacować w ramach rozpoznawania sytuacji drogowej, a które mogą szybko doprowadzić do sytuacji krytycznych.

W obydwu zaprezentowanych przypadkach dostępne były nagrania wideo, które dopomogły w wykazaniu bardzo dużych prędkości początkowych (120 i 130 km/h) pojazdów uczestniczących w kolizjach. Autor artykułu wyraża przekonanie, że bez przedmiotowych nagrań wideo, czyli wyłącznie na podstawie zwykłych procedur analizy wypadków drogowych, nie udałooby się wykazać tak dużych prędkości przedkolizyjnych pojazdów. Można spodziewać się, że w obydwu analizowanych przypadkach prędkość przedkolizyjną pojazdów poruszających się po drodze głównej (Renault i BMW) co najwyżej zwiększono by o maksymalnie 10 km/h, ze względu na możliwe hamowanie bezpośrednio przed zderzeniem, z uwzględnieniem możliwości reakcji kierowców tych pojazdów.

Zderzenia boczne pojazdów są problematyczne z punktu widzenia bezpieczeństwa, gdyż w tego typu kolizjach kierowca nie jest tak chroniony, jak w zderzeniach czołowych, a ochronę stanowią praktycznie tylko drzwi pojazdu. Biorąc pod uwagę ustalone wysokie prędkości, z jakimi samochodu Renault i BMW (odpowiednio 93 i 95 km/h) uderzyły w boczne części samochodów Fiat i Volkswagen, można mówić o „dużym szczęściu”, gdyż zdarzenia te przebiegły bez poważnych konsekwencji dla zdrowia ich uczestników.

### ***Bibliografia***

1. Bradáč, A. (1999). *Soudní inženýrství*. Brno: Wydawnictwo akademické CERM. ISBN 80-7204-133-9.
2. Burg H., Moser A. (2007). *Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion*. Wiesbaden: Vieweg.
3. Goddard, C., Hansen, P. B. (2017). *Finding order in chaos: the manual of collision scene evidence*. Dan Crash Publisher.
4. Křižák, M. (2018). Wykorzystanie zapisu kamer wideo w analizie wypadków drogowych. Studium przypadku. *Paragraf na Drodze*, 3, 55–66.
5. Křižák, M. (2019). *Analýza videozáznamu dopravní nehody – případová studie*. Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2019. s. 140–152.
6. Vémola, A. (2019). *Přednost, rychlost – vzájemné souvislosti*. Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2019. s. 233–239.

\* \* \*

## Possibilities of vehicle speed reconstruction from on-board camera recording

### **Abstract**

On the basis of two road traffic incidents the possibilities of specifying vehicles speeds prior to collision by analysing the video recordings from on-board cameras and geodetic measurements are shown. Owing to the thus obtained data it was possible to reconstruct the movements of the participants of the collisions, using the simulation modelling method, which enabled the identification of the causes of the collisions.

### **Key words**

Monitoring, video recording, camera, speed, collision.