

Wykorzystanie techniki wideo do określenia opóźnienia hamowania samochodu

Podczas rekonstrukcji wypadku drogowego zasadniczą trudność dla każdego eksperta stanowi prawidłowe ustalenie opóźnienia hamowania podczas procesu hamowania pojazdu, które powinno być maksymalnie zbliżone do rzeczywistego w chwili wypadku. Wynika to ze znacznej liczby czynników wewnętrznych mających wpływ na opóźnienie, których opis może być trudny i niejednoznaczny dla osób prowadzących oględziny, zwłaszcza w sytuacji braku eksperta-specjalisty na miejscu zdarzenia.

Bezpośrednią metodą do określenia opóźnienia hamowania pojazdu jest mierzenie opóźnienia podczas próby drogowej za pomocą specjalnych urządzeń. Ze względu jednak na znaczny koszt tych urządzeń, dostępność ich jest ograniczona. W związku z powyższym ekspertem badającym wypadki drogowe pozostaje przyjmowanie przybliżonych opóźnień hamowania pojazdu na podstawie danych tabelarycznych lub pomiaru sił hamowania kół pojazdów wykonywanych na stacjach diagnostycznych, które oczywiście nie są analogiczne do warunków zaistniałych podczas wypadku. Parametry te mogą nie odpowiadać rzeczywistemu ruchowi danego pojazdu w występujących warunkach drogowo-atmosferycznych.

Wobec powyższego poszukiwano sposobu łatwego pomiaru opóźnienia hamowania wynikającego z praw fizyki, tj. zmiany przejazdu odcinków drogi hamowanego pojazdu w określonych przedziałach czasowych.

Poniżej przedstawiono metodę umożliwiającą wykorzystanie popularnych i dostępnych urządzeń audio-wideo w celu pomiaru opóźnienia hamowania pojazdu na podstawie

jednoczesnego pomiaru czasu i drogi przebytej przez pojazd oraz powszechnie stosowanych prostych technik komputerowych przy opracowywaniu wyników. Głównym założeniem opracowania metody było przedstawienie sposobu pomiaru opóźnienia hamowania bezpośrednio na miejscu zdarzenia, nawet bez udziału eksperta, oraz opracowanie wyników pomiarów.

Metoda pomiaru opóźnienia hamowania

Przeprowadzenie badań można podzielić na dwa etapy:

Etap 1 – przygotowanie odcinka pomiarowego oraz nagranie na taśmie wideo przez eksperta lub technika kryminalistyki przebiegu próby hamowania bezpośrednio na miejscu zdarzenia.

Etap 2 – opracowanie przez eksperta w laboratorium dostarczonego materiału z badania na taśmie wideo.

W etapie 1, w trakcie prac przygotowawczych na jezdni, w badanym miejscu należy nanieść siatkę z liniami pomiarowymi w określonych odstępach a potem dokonać przejazdu samochodem, podczas którego jego ruch na siatce pomiarowej byłby nagrany na film wideo. Prędkość początkowa samochodu powinna wynosić około 40–50 km/h, a przejazd powinien być dokonany w taki sposób, aby pojazd rozpoczął hamowanie i zatrzymał się w ramach odcinka na siatce pomiarowej. Po nagraniu filmu należy wypełnić kartę badań pojazdu (wg wzoru w Załączniku nr 1) z zapisaniem wszelkich danych przydatnych do analizy przedmiotowego wypadku w sposób możliwie jedno-

znaczny. Taśmę z nagraniem wideo należy dołączyć do akt sprawy.

W etapie 2 ekspert kryminalistyki badający wypadki drogowe dokonuje opracowania wykonanego nagrania wideo z wykorzystaniem technik komputerowych i popularnych programów graficznych i przedstawia wyniki badania.

Sposób przeprowadzenia badań

Przeprowadzenie badań polega na przygotowaniu odcinka pomiarowego, wykonaniu przejazdu z pomiarami i zapisu parametrów na karcie badań oraz analizy, a także interpretacji wyników pomiarów.

Wykonanie siatki pomiarowej na jezdni

Przed wykonaniem pomiarów należy przeprowadzić prace przygotowawcze. Uprzednio należy nanieść na jezdnię siatkę w postaci linii pomiarowych, które będą następnie służyć do odczytywania pozycji pojazdu podczas ruchu. Najprostszym sposobem jest narysowanie tych linii kredą. Należy jednak zwrócić uwagę, aby były one wyraźnie widoczne przez wizjer kamery wideo podczas filmowania przejazdu. Linie te mogą znajdować się w odległości 1 m od siebie lub innej, np. 2 m, jednak zawsze muszą być dokładnie określone odległości tych linii od początkowego punktu pomiarowego – PPP. Jeżeli stan jezdni uniemożliwia naniesienie linii pomiarowych wprost na jej nawierzchni, to należy siatkę pomiarową wykonać w inny sposób, np. ustawiając słupki, jednak w takim przypadku, ze względu na perspektywę należy uwzględnić mniejszą dokładność pomiarów. Praktycznie, nanie-

sienie kredą na odcinku pomiarowym o długości 20–30 m siatki pomiarowej składającej się z 10–15 linii nie powinno nastroić większych trudności. Z doświadczenia wynika, że wykonanie na jezdni siatki pomiarowej co 1 m przez dwie osoby na odcinku o długości 20 m zajmuje około 10–15 minut.

Przeprowadzenie pomiaru

Uzyskanie najdokładniejszych wyników pomiarów jest możliwe wówczas, gdy kamera filmująca przejazd pojazdu jest ustawiona nieruchomo na statywie i możliwie wysoko ponad poziomem jezdni, gdyż poprawia to czytelność siatki pomiarowej. W kadrze filmu widoczny powinien być cały odcinek pomiarowy. Wymaga to jednak znacznego oddalenia kamery od trasy przejazdu samochodu, co w niektórych przypadkach może być utrudnione z uwagi na warunki terenowe. Można także, co wynika z przeprowadzonych prób, śledzić ruch pojazdu i nagrywać przejazd nacierając ciągle kamerę na poruszający się pojazd. Wyniki pomiarów przeprowadzone w ten sposób są także miarodajne.

W celu ułatwienia zaobserwowania momentów ruchu pojazdu, na oponach kół można namalować kredą linie, pasy od środka na zewnątrz koła. Umożliwi to określenie, czy dane koło obraca się, czy też nie. Nagrania kamerą wideo należy wykonywać, o ile jest to możliwe, przy jak najkrótszym czasie migawki (np. 1/1000, 1/2000), co pozwala na uniknięcie „rozmazania” obrazu oraz z jak największą rozdzielczością (w standardzie SVHS, Hi8, kamerą cyfrową itp.).

Wypełnienie karty badań pojazdu

Na karcie badań należy wpisać także odległość kamery od toru przejazdu samochodu, gdyż pozwoli to, zwłaszcza w sytuacji, gdy linie pomiarowe oznakowane są słupkami,

określenie wpływu perspektywy na uzyskane wyniki pomiarów.

Opracowanie wyników badań

W celu opracowania i analizy pomiarów przeprowadzonych podczas przebiegu próby drogowej należy przetworzyć obraz z taśmy wideo na „klip” multimedialny. Jest to niezbędne do dalszej obróbki obrazu. Przetworzenia obrazu można dokonać z wykorzystaniem dowolnej karty wideo i dowolnego oprogramowania. Istotne jest jedynie, aby podczas przegrywania obrazu wiadomo było, czy wszystkie klatki obrazu zostały zapisane, czy też część klatek nie została przetworzona. W przypadku pominięcia niektórych klatek filmu należy zmniejszyć wielkość przetwarzanego obrazu.

Jeżeli podczas przetwarzania obrazu wykorzystano kartę wideo lepszej jakości, wtedy wielkość przetwarzanego obrazu może być większa, a dzięki temu uzyska się większą dokładność dalszej obróbki obrazu.

Proces obróbki wyników pomiarów polega na:

- analizie nagrania klatka po klatce w celu ustalenia momentu, w którym występuje blokowanie kół pojazdu lub w sposób widoczny jego hamowanie,
- ustaleniu prędkości początkowej pojazdu w trakcie pomiaru,
- wybraniu zakresu odczytu drogi z odcinka pomiarowego w ten sposób, aby był on możliwie długi w celu zminimalizowania wpływu ewentualnych błędów odczytu drogi przebytej w określonym przedziale czasowym, przy uwzględnieniu drogi przebytej w czasie narastania opóźnienia hamowania przed blokowaniem kół,
- określeniu prędkości pojazdu w chwili zablokowania kół,
- wyznaczeniu opóźnienia hamowania pojazdu do chwili jego zatrzymania na podstawie ustalo-

nej prędkości początkowej w chwili zablokowania kół.

Jako parametr kontrolny można wykorzystać zmierzoną podczas badań długość śladów hamowania na całym odcinku hamowania od zablokowania kół.

Doświadczalne sprawdzenie metody pomiaru opóźnienia hamowania pojazdu

Opracowaną metodę pomiaru opóźnienia hamowania pojazdu z wykorzystaniem techniki audio-wizualnych poddano testowi sprawdzającemu, po raz pierwszy, podczas VI Ogólnopolskiego Sympozjum Ekspertów Kryminalistyki ds. Badań Wypadków Drogowych, które odbyło się w Szczecinie w dniach 30–31 maja 2000 r. Prezentację metody przeprowadzili autorzy niniejszego artykułu.

Próby wykonano na placu o nawierzchni asfaltowej, na której znajdowały się plamy wysychającej wody po opadach deszczu. Przed badaniami na wybranym odcinku pomiarowym narysowano dokładnie kredą siatkę pomiarową o liniach oddalonych co 1 m.

Do przejazdów próbnych użyto samochodu osobowego marki Opel Astra 1.4 GL ze sprawnym układem hamulcowym. W celach kontrolno-porównawczych w pojeździe tym zamontowano dwa różne urządzenia do pomiaru opóźnienia hamowania pojazdu, tj. elektroniczny opóźniomierz VZM 100 firmy MAHA oraz Frenotest. Do nagrania filmu, w celu przedstawienia możliwości powszechnego zastosowania metody, wykorzystano zwykłą kamerę wideo zapisującą w systemie VHSC, marki Panasonic. Kamera podczas zapisu ruchu samochodu usytuowana była na wysokości ponad 2 m.

Po wstępnych przygotowaniach wykonano dwie próby hamowania samochodu, które nagrano na taśmie wideo. W pierwszym przejeździe hamowanie samochodu rozpoczęło

Z PRAKTYKI

przed wjechaniem na siatkę pomiarową, co spowodowało zdyskwalifikowanie tej próby. Zatem w trakcie prezentacji metody wykorzystano tylko przejazd drugi.

Miejsce przeprowadzania badania opóźnienia hamowania samochodu Opel przedstawiono na ryc. 1.

Po badaniach terenowe analizę wyniku pomiarów przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych.

Przetworzenie obrazu z nagranego filmu dokonano na komputerze PC z procesorem Pentium III 550 MHz i kartą wideo Assus 3800. Pliki przetworzonego obrazu



Ryc. 1. Miejsce badania opóźnienia hamowania samochodu

Fig. 1. Delay of car braking – testing site

Na podstawie sekwencji obrazów ekranowych, z wykorzystaniem programu graficznego CorelDRAW, po każdorazowym przeskalowaniu obrazu z uwzględnieniem siatki pomiarowej, określono położenie środka styku lewego przedniego koła samochodu Opel z nawierzchnią jezdni. Taki sposób pomiarów przemieszczenia samochodu miał na celu zminimalizowanie wpływu perspektywy na wyniki. W celu zapewnienia możliwie dużej dokładności określenia tego punktu styku opony z nawierzchnią jezdni „zrzutki ekranowe” przetworzono i zapisano w rozdziel-

Tabela 1

Wyniki badań i pomiarów
Results of testing and measurements

Punkt pomiaru	Czas [s]	Droga za PPP [m]	Odcinek pomiarowy	Przyrost drogi [m]	Przyrost czasu [s]	Prędkość średnia na odc. pomiarowym [m/s]	Przyrost prędkości między odcinkami pomiarowymi [m/s]	Opóźnienie hamowania między odcinkami pomiarowymi [m/s ²]	Uwagi
PPP 1	10,92	0,07	0	0	0	0	0	0	Punkt 1.jpg
2	11,00	0,91	1–2	0,84	0,08	10,5	0	0	Punkt 2.jpg
3	11,08	1,75	2–3	0,84	0,08	10,5	0	0	Punkt 3.jpg
4	11,16	2,59	3–4	0,84	0,08	10,5	0	0	Punkt 4.jpg
5	11,24	3,42	4–5	0,83	0,08	10,375	0,125	1,6	Punkt 5.jpg
6	11,32	4,24	5–6	0,82	0,08	10,25	0,125	1,6	Punkt 6.jpg
7	11,40	5,05	6–7	0,81	0,08	10,125	0,125	1,6	Punkt 7.jpg
8	11,48	5,81	7–8	0,76	0,08	9,5	0,625	7,8	Punkt 8.jpg
9	12,84	12,61	8–9	6,8	1,36				Punkt 9.jpg

zapisano dwukrotnie, w dwóch różnych formatach, tj. w formacie „avi” oraz w formacie „mpeg”. Jednak szczegółowej obróbce komputerowej poddano plik o nazwie „przejazd 2.mpeg” jako najbardziej dostępny do odtworzenia.

W trakcie analizy zapisu obrazu w pierwszym etapie ustalono, w którym momencie doszło do zablokowania przedniego lewego koła samochodu Opel. Określono, że momentem tym było przekroczenie tym kołem linii siatki oznaczonej jako nr 7. Na tej podstawie, uwzględniając czas narastania opóźnienia hamowania, można było wnioskować, że cały

przebieg hamowania pojazdu znajdował się na siatce pomiarowej na wyznaczonym odcinku pomiarowym.

Za początkowy punkt pomiarowy – PPP przyjęto linię pomiarową siatki oznaczoną jako nr 1. Od tej linii przeprowadzono kolejne pomiary położenia pojazdu na wyznaczonym do tego celu odcinku.

Podczas analizy zapisu wideo plik z nagraniem odtworzono klatka po klatce, dokonując tzw. zrzutek ekranowych pozycji samochodu na siatce pomiarowej co 0,08 s. Parametr czasu odczytywano z komputerowej odtwarzarki wideo, mierząc go od początku nagrania.

czości około 2000 dpi. Odpowiednie pliki z obrazami usytuowania samochodu na siatce pomiarowej o nazwach od „punkt 1.jpg” do „punkt 9.jpg” przedstawiono w Załączniku nr 2 (zapisane do celów publikacji z rozdzielczością mniejszą, tj. 600 dpi).

Analizę opóźnienia hamowania samochodu prowadzono w ten sposób, że szczegółowej obróbce poddano nagranie do miejsca i momentu stwierdzonego zablokowania przedniego lewego koła samochodu Opel. Na pozostałym odcinku drogi określano już tylko średnie opóźnienie hamowania do chwili i miejsca zatrzymania pojazdu.

Uzyskane wyniki badań zamieszczono w tabeli 1.

Wyszczególniona powyżej dokładność, z jaką podano drogę, wynika wprost z pomiarów i obróbki dokonanej przy użyciu programu graficznego CorelDRAW (taką dużą dokładność przedstawiono jedynie dla celów poglądowych).

W wyniku analizy zapisu wideo przebiegu ruchu samochodu Opel można stwierdzić, że:

- rzeczywista prędkość samochodu Opel, przed rozpoczęciem hamowania wynosiła około 10,5 m/s, tzn. około 38 km/h. Prowadzący pojazd na podstawie wskazań licznika pojazdu prędkość tę określił na 40–45 km/h,

- narastanie opóźnienia rozpoczęło się w momencie znajdowania się przedniego lewego koła samochodu Opel między linią pomiarową nr 3 a linią pomiarową nr 4. Średnie opóźnienie na tym odcinku wynosiło około 1,6 m/s²,

- nagły skok wartości opóźnienia nastąpił w momencie przejeżdżania lewym przednim kołem przez linię pomiarową nr 6. W tym momencie lewe przednie koło nie było jeszcze zablokowane. Z analizy nagrania wynika jednak, że wtedy koło to wyjeżdżało z mokrego odcinka nawierzchni drogi, a jednocześnie zarówno koło lewe, jak i prawe zaznaczało już ślad hamowania, co przedstawiono na rycinie 2. Oznacza to, iż mimo niezablokowania przedniego lewego koła znajdowało się ono już we względnym poślizgu w stosunku do nawierzchni jezdni,

- do zablokowania przedniego lewego koła samochodu Opel doszło w momencie przejeżdżania przez linię pomiarową nr 7, a zatem czas narastania opóźnienia trwał około 0,3 sekundy,

- od momentu zablokowania przedniego lewego koła samochodu Opel pojazd ten był intensywnie hamowany, do zatrzymania się w odległości około 12,6 m za PPP.

Opóźnienie średnie na tym odcinku ustalono w sposób następujący – jako prędkość końcową samochodu Opel na końcu odcinka pomiarowego nr 7 (w tabeli podano wartości średnie prędkości na tych odcinkach) przyjęto średnią wartość prędkości między odcinkami 6–7 a 7–8. Prędkość ta wynosi około 9,8 m/s. Oznacza to, iż spadek prędkości z 9,8 m/s do zera (zatrzymanie pojazdu) nastąpił w czasie 1,44 sekundy. Stąd opóźnienie średnie na tym odcinku wynosi około 6,8 m/s²,

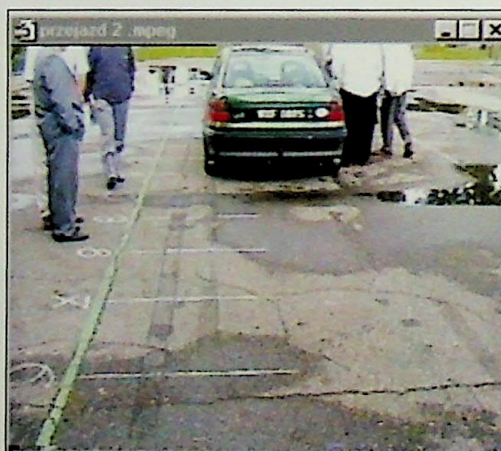
- jako parametr kontrolny wykorzystano długość śladów hamowania (blokowania kół), zmierzoną podczas prowadzonych badań, wynoszącą 7 m. Na podstawie prostego przeliczenia można wnioskować, że długość śladów przy obliczonym opóźnieniu odpowiada prędkości 9,8 m/s pojazdu w chwili zablokowania kół,

a zatem występuje zgodność parametrów. Powyższe pozwala wnioskować, że jeżeli podczas hamowania dochodzi do zablokowania kół, nie ma potrzeby dokonywania tak szczegółowej analizy, jaką przeprowadzono wyżej. Wystarczy przybliżyć na podstawie nagrania wideo prędkość początkową badanego samochodu w momencie zablokowania kół i zmierzyć długość śladów hamowania,

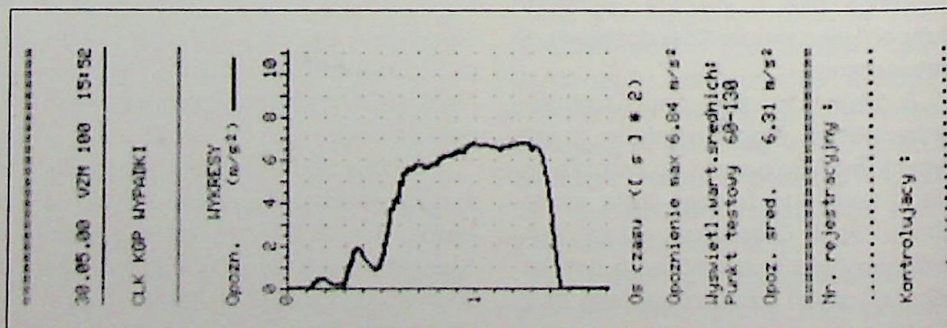
- podczas próby drogowej odczytano z elektronicznego opóźnieniomierza VZM 100 firmy M/A wartość maksymalnego opóźnienia 6,84 m/s², natomiast na opóźnieniomierzu Frenotest wskaźnik zatrzymał się na wartości 8 m/s². Należy zaznaczyć, że odczytana na Frenoteście wartość jest wartością maksymalną i jest zakłócona (zawyżona) w wyniku nachylenia się przodu samochodu w momencie rozpoczęcia intensywnego hamowania. Z wydruku przebiegu hamowania uzyskanego na opóźnieniomierzu VZM 100 (ryc. 3) wynika, że średnie opóźnienie hamowania samochodu podczas blokowania kół (punkty testowe 60–130) wynosiło 6,31 m/s². Wynik ten jest prawie zgodny z uzyskanym opóźnieniem średnim samochodu na odcinku pomiarowym podczas badania przedstawioną metodą (około 6,8 m/s²).

Wnioski końcowe

- Przedstawiona metoda pomiaru opóźnienia hamowania pojazdu



Ryc. 2. Ślady hamowania i blokowania kół
Fig. 2. Wheels braking and blocking marks



Ryc. 3. Wydruk z opóźnieniomierza VZM100
Fig. 3. VZM100 decelerometer printout

Z PRAKTYKI

umożliwia uzyskanie olbrzymiej ilości informacji o sposobie wykonania próby, procesie samego fizycznego hamowania samochodu w aktualnych warunkach stanu nawierzchni podłoża przy jednoczesnym porównaniu z położeniem i długością śladów hamowa-

nia. W żadnej innej metodzie pomiaru nie otrzyma się tak istotnych informacji technicznych o hamowaniu pojazdu.

● Prostota metody i dostępność wymaganego do przeprowadzenia próby sprzętu daje możliwość prawidłowego określenia opóźnienia ha-

mowania samochodu w warunkach rzeczywistych, a nie na podstawie danych tabelarycznych.

Dariusz Kozdrowski
Jacek Wyczesany
Zbigniew Żelazek

Załącznik nr 1

Karta badań pojazdu

W dniu na drodze przeprowadzono próbę drogową samochodu marki nr rej. i zarejestrowano tę próbę na kamerze video m-ki w systemie na taśmie video

Dane techniczne badanego pojazdu:

typ (osobowy, ciężarowy itd.)
marka
czy pojazd był wyposażony w system antypoślizgowy (BS) (tak, nie)
masa pojazdu:
w chwili wypadku (wystarczy podać rodzaj i rozkład obciążenia)
podczas badań (jak wyżej)
masa własna (bez obciążenia)
masa całkowita (tabliczki znamionowej)
rodzaj i stan techniczny ogumienia

Dane dotyczące jezdni oraz metody wykonania pomiarów:

rodzaj jezdni (np. asfaltowa, betonowa itp.)
stan nawierzchni jezdni..... (np. mokra, sucha, zabrudzona itp.)
prędkość pojazdu podczas badania (z licznika).....
sposób oznaczenia miejsca, od którego rozpoczęto hamowanie.....
.....
zastosowana jednostka pomiarowa naniesiona na jezdnię
czy było użyte urządzenie do pomiaru opóźnienia (np. motometr)..... (tak, nie, nr załącznika)
czy wykonano badania na stacji diagnostycznej (tak, nie, nr załącznika)

Wyniki pomiarów:

1. długość drogi zatrzymania
 2. długość śladów hamowania
 - koło przednie lewe
 - koło przednie prawe
 - koło tylne lewe
 - koło tylne prawe
 3. opis śladów hamowania
- (które koła blokowały, wygląd śladów itd.)

Uwagi:

.....
.....
.....

Z PRAKTYKI

Załącznik nr 2

