

Ocena wiarygodności metrologicznej badań drogowych procesu hamowania

KRZYSZTOF SURMIŃSKI¹

Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn

Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienie związane z badaniami drogowymi procesu hamowania pojazdów. Omówiono stosowane najczęściej korelacyjno-optyczne czujniki firmy Corrsys-Datron. Przy ocenie dokładności badań drogowych powstaje problem okresowego sprawdzania toru pomiarowego. Ze względów formalnych wymagane są certyfikowane przez producenta procedury kalibracyjne. W artykule opisano stanowiskową metodę sprawdzania czujników korelacyjno-optycznych z wykorzystaniem elementów stanowiska pomiarowego do badań hamulców. Ruch pojazdu zasymulowano wykorzystując obrotowy ruch tarczy inercyjnej sterowanej za pomocą napędu falownikowego. Badania na opisanym stanowisku mogą służyć do zweryfikowania poprawności działania czujników w okresach pomiędzy kalibracjami, a także do wykonania badań poszerzających wiedzę o charakterystykach używanych czujników dostarczając istotnych informacji eksploatacyjnych. Stanowisko może stanowić alternatywę dla kłopotliwych organizacyjnie pomiarów kontrolnych wykonywanych w warunkach drogowych. Przedstawiono przykładowe wyniki badań trzech czujników korelacyjno-optycznych na stanowisku i odniesiono je do wyników otrzymanych w toku badań drogowych. Omówiono również użycie w tych badaniach nowoczesnych akcelerometrów mikromechanicznych. Wskazano, że na wynik pomiarów wpływa nie tylko klasa dokładności czujnika, ale również sposób montażu czujników, występujące zakłócenia oraz sposoby ich filtrowania.

Słowa kluczowe: pomiary drogowe pojazdów, dynamika hamowania, optyczne czujniki prędkości, akcelerometry

1. Wstęp

Badania drogowe dynamiki procesu hamowania pojazdów związane są głównie z pomiarami trzech wielkości: chwilowej prędkości pojazdu, jego opóźnienia oraz przebytej drogi.

¹Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn, 90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116, krzysztof.surminski@p.lodz.pl

Wielkości te, powiązane ze sobą matematycznie, mogą być zmierzone i zarejestrowane przy użyciu pojedynczego czujnika prędkości pojazdu. W pomiarach prędkości i drogi najczęściej stosowane są znane od połowy lat 80-tych głowice korelacyjno-optyczne. Wprowadzone na rynek badań motoryzacyjnych przez firmę Corrsys-Datron, a obecnie kontynuowane przez firmę Kistler [7], pozostają stałym składnikiem profesjonalnych zestawów do badań dynamiki pojazdów. Zastąpiły dawne rozwiązania typu „piąte koło”, a obecnie wytrzymują konkurencję z czujnikami mikrofalowymi, radarowymi czy metodami opartymi o satelitarny system pozycjonowania GPS [3]. Opatentowana zasada działania głowic korelacyjno-optycznych jest wciąż udoskonalana, a czujniki ją wykorzystujące rozszerzyły swój obszar stosowania. Stały się odpornymi na niesprzyjające warunki drogowe, zwiększyły niezawodność pracy na różnych nawierzchniach oraz zmniejszyły rozmiary. Pojawiły się wersje przystosowane do wszystkich obszarów badań pojazdów lądowych - kołowych i szynowych.

W artykule przedstawiono metodę stanowiskowej oceny parametrów czujników będącą alternatywą do procedur kalibracyjnych oferowanych przez producenta. Wykorzystano efekty pomiarów stanowiskowych przeprowadzonych w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej we współpracy z Laboratorium Hamulcowym Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Łodzi.

Otrzymane wyniki badań stanowiskowych posłużyły do zweryfikowania przykładowych prób drogowych.

2. Zastosowanie czujników korelacyjno-optycznych w badaniach drogowych procesu hamowania

Czujniki korelacyjno-optyczne znane są na rynku badań pojazdów od lat osiemdziesiątych XX wieku. Proces wypierania wcześniejszych rozwiązań typu „piąte koło” zachodził początkowo stosunkowo powoli z powodu wysokich cen nowej technologii pomiarowej.

Technologia korelacyjno-optyczna pozwala na bezkontaktowe, bezpoślizgowe pomiary składowych prędkości wykorzystując obserwację zwykłej nawierzchni, po której porusza się pojazd. Nawierzchnia nie wymaga nanoszenia rastra ani markerów, źródłami informacji są stochastyczne zmiany kontrastu występujące na każdej powierzchni. Wraz z doskonaleniem czujników, zmianami ich układów optycznych i zakresu wykorzystywanego widma zmniejszyły się również ograniczenia co do nawierzchni jezdni.

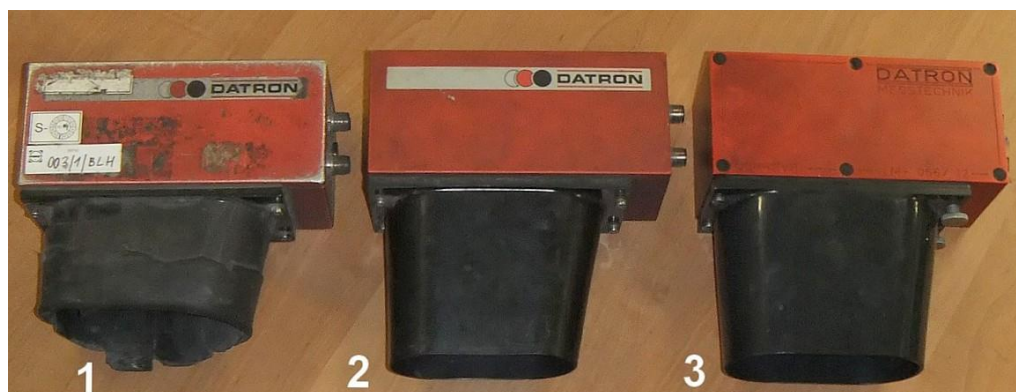
Obecne wersje czujników potrafią dokonać pomiarów również na pozornie jednolitych optycznie materiałach jak woda czy gładka powierzchnia szyn.

Zasada ich działania polega na oświetleniu nawierzchni silnym strumieniem skupionego światła i obserwacji odbitych promieni trafiających do optycznego układu odbiorczego. Oświetlony obraz nawierzchni przechodzi przez obiektyw i dodatkową przesłonę. Układ optyczny skonstruowany jest tak, że nie wymaga precyzyjnego ustawiania ostrości, pracując zwykle w odległości 30 do 40cm od nawierzchni z dopuszczalną kilkucentymetrową tolerancją. Promienie odbite od nawierzchni trafiają następnie na siatkę pryzmatyczną, która rozdziela obraz i kieruje je do fotokomórek. Modulacja oświetlenia fotokomórek ma związek z ruchem oświetlonej struktury jezdni oraz stałymi układu optycznego (stałą siatki i powiększeniem układu projekcyjnego). Częstotliwość sygnału elektrycznego

w fotokomórkach niesie w sobie informację o ruchu względem nawierzchni. Aby wyodrębnić sygnał użyteczny odfiltrowuje się składowe wolnozmiennie, które traktowane są jako zakłócenie (mogą one wynikać np. z wahań poziomu oświetlenia zewnętrznego lub zmian współczynnika odbicia nawierzchni). Wahania eliminowane są przez zastosowanie za siatką pryzmatyczną dwóch fotodetektorów pracujących w układzie różnicowym. Ostateczny sygnał zawiera jedynie składnik wynikający z obserwacji poruszającego się obrazu mikrostruktury jezdni. Sygnałami wyjściowymi z czujnika są: prędkość względna w stosunku do nawierzchni przedstawiona jako analogowy sygnał napięciowy oraz cyfrowy sygnał w postaci fali prostokątnej niosący informację o pokonywanym dystansie. Wzorcowanie czujnika polega na określeniu stopnia zmian napięcia wyjściowego w zależności od prędkości, liniowości tego przetwarzania, a w stosunku do pomiaru drogi określenie ilości impulsów generowanych przez czujnik na drodze o długości 1m. Sposób wykorzystania tych dwóch sygnałów zależy od użytkownika. Przykładowo rejestrując w sposób ciągły napięciowy sygnał prędkości można po zróżniczkowaniu go otrzymać opóźnienie hamowania. Drogę hamowania można odczytać po scałkowaniu tego przebiegu. Możliwe jest również sumowanie w cyfrowym układzie licznikowym impulsów drogi. Różniczkując sygnał cyfrowy drogi można wyliczyć prędkość pojazdu. Stosując procedury różniczkowania należy zadbać o skuteczną filtrację pojawiającego się szumu.

Konstrukcja czujnika nie zawiera elementów ruchomych ani nie kontaktuje się mechanicznie z nawierzchnią. Pozwala mu to zachować sprawność w długim okresie nawet przy intensywnej eksploatacji.

Do opisywanych tu badań wybrano trzy głowice pomiarowe (rys. 1) pochodzące z różnych okresów produkcji, ale zachowujące te same cechy konstrukcyjne.



Rys. 1. Widok głowic pomiarowych użytych do badań 1 – Correvit Datron LS1, 2 – Correvit Datron DLS1, 3 - Correvit Datron LM

3. Badania stanowiskowe

Każdy system pomiarowy wymaga okresowej kalibracji i sprawdzenia. W przypadku

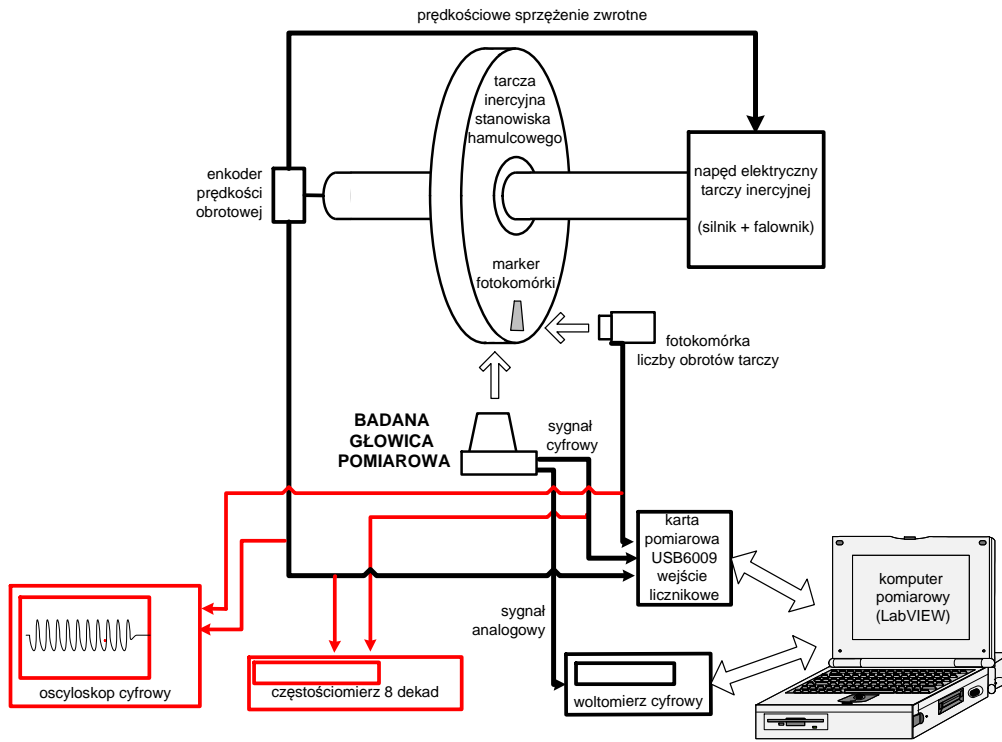
czujników korelacyjno-optycznych ich sprawdzenia można dokonywać dwoma sposobami: pokonując wzorcowy odcinek drogi lub metodą stanowiskową z użyciem wirującego bębna [2]. W przypadku metody pierwszej należy posiadać dostęp do wzorcowego odcinka drogi. Problemem pozostaje sprawdzenie czujnika w trybie pomiaru prędkości, ponieważ trudno zapewnić wzorcowe prędkości jazdy, przy których można dokonać odczytów. Oprogramowanie firmowe przewiduje procedurę kalibracyjną dostępną dla użytkownika, polegającą na przejechaniu z niewielką prędkością odmierzonego odcinka drogi (od 100m do 10km) i zarejestrowaniu liczby impulsów wygenerowanych przez czujnik. Początek i koniec pomiaru powinien być sygnalizowany za pomocą barier świetlnych umieszczonych na krańcach odcinka.

W metodzie stanowiskowej wykorzystuje się do kalibracji dodatkowo stabilny wzorzec prędkości liniowej, jakim jest wirująca bębnowa bieżnia. W powtarzalnych warunkach laboratoryjnych można odtworzyć prędkości jazdy od kilku km/h do maksymalnej dla danego czujnika - np. 400km/h.

Aby ocenić wiarygodność posiadanych czujników zrealizowano ideę badań stanowiskowych. Do zasymulowania jazdy z różnymi prędkościami oraz pokonywania odcinków drogi wykorzystano stanowisko inercyjne do badania hamulców samochodowych znajdujące się w łódzkim Laboratorium Hamulców Przemysłowego Instytutu Motoryzacji (PIMOT - Łódź). Głównym wykorzystanym elementem stanowiska są wirujące masy inercyjne w postaci tarcz, napędzane elektrycznie za pośrednictwem falownika z prędkościowym sprzężeniem zwrotnym. Bieżnią obserwowaną przez czujnik są pomalowane matową farbą powierzchnie boczne kilku połączonych tarcz. Dysponując dokładnym pomiarem średnicy tarczy obliczono jej obwód ($D=3109,93 \pm 0,36\text{mm}$), co stanowiło wzorcowy, jednostkowy odcinek pomiarowy drogi. Wielokrotność pokonanych odcinków wzorcowych kontrolowano dodatkowym czujnikiem optycznym (fotokomórką refleksyjną) i układem licznikowym zawartym w karcie pomiarowej. Zgodnie z sugestiami producenta czujnika zdecydowano, by testowa „jazda” na stanowisku odbywała się na odcinku zbliżonym do 1000m, co odpowiada 323 obrotom tarczy inercyjnej.

Aby z wirujących tarcz o znanym obwodzie utworzyć wzorzec prędkości liniowej należało zapewnić odpowiednio wysoką stabilność ruchu. Umożliwiał to napęd falownikowy z prędkościowym sprzężeniem zwrotnym wykorzystany na stanowisku. Stabilizująco działał również znaczny moment bezwładności tarcz. Prędkość obrotowa tarcz była mierzona za pomocą enkodera z 60 działkami. Pierwszy etap badania czujnika na stanowisku polegał na „przejechaniu” wzorcowego odcinka i zarejestrowaniu liczby wygenerowanych przez czujnik impulsów. Wykorzystano 32-bitowy licznik karty pomiarowej, który (w zależności od rodzaju pomiaru) mógł zliczać również impulsy z 60 połowej tarczy enkodera, by ocenić precyzyjnie prędkość wzorcową jaką odtwarzało stanowisko. Drugie badanie czujnika wiązało się z odczytem rejestrowanej przez niego prędkości. W tym celu stanowisko odtwarzało stabilną, wzorcową prędkość jazdy, a napięcie wyjściowe z czujnika było rejestrowane za pośrednictwem laboratoryjnego woltomierza cyfrowego z funkcją transmisji do pliku. Klasa dokładności miernika na wykorzystywanym zakresie 4V to $\pm(0,06\%+2d)$, co przewyższa parametry popularnych kart pomiarowych 12 i 16 bitowych, zapewniając jednocześnie lepszą stabilność termiczną pomiaru i odporność na zakłócenia. Obydwa etapy programu badań powtarzano wielokrotnie, aby osiągnąć zadawalający materiał do obróbki statystycznej [1]. Przykładowo, aby potwierdzić stabilność prędkości, rejestrowano 12 cykli pomiarowych po 10s każdy. Zarejestrowana każdorazowo liczba impulsów z enkodera służyła do obliczenia prędkości bieżni w m/s i w km/h. W tym samym czasie rejestrowano również ciągi liczb określających napięcie wyjściowe z czujnika.

Wszystkie elementy wykorzystane do stanowiskowych badań czujników korelacyjno-optycznych przedstawiono schematycznie na rysunku 2, natomiast widok najistotniejszego fragmentu stanowiska pokazano na rysunku 3



Rys. 2. Schemat stanowiska do badań głowic korelacyjno-optycznych

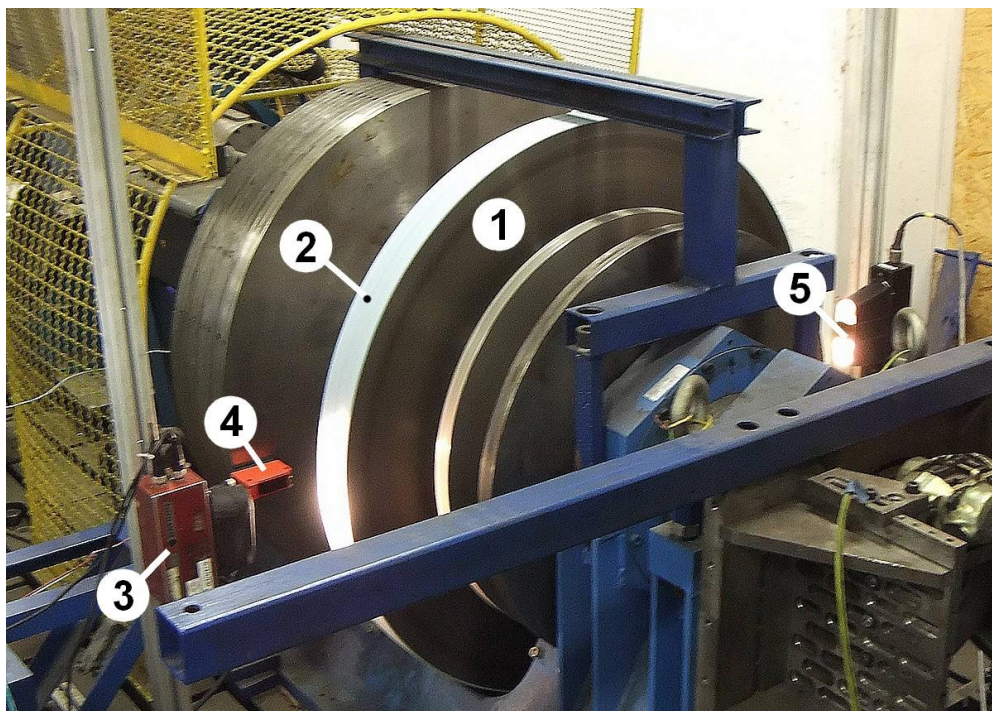
Sprawdzanie głowic jako czujników drogi polega na zliczaniu generowanych przez nie impulsów na wyjściu cyfrowym. Próby wirtualnego pokonywania testowego odcinka wzorcowego o długości ok. 1 km powtarzane były pięciokrotnie dla każdej z prędkości: 20, 60 i 100 km/h. Ponieważ pomiar drogi nie powinien być zależny od prędkości poruszania się, należało ten osąd potwierdzić. Liczba zarejestrowanych impulsów przy pokonaniu 323 obwodów tarczy wynosiła ok. 400 tys. – zastosowany układ licznikowy musiał mieć więc odpowiednią pojemność. Informacja o pokonanej drodze wynikająca z obrotu tarczy zestawiona z ilością wygenerowanych przez głowicę impulsów pozwalała obliczyć współczynnik skali dla drogi wyrażony w impulsach na metr. Producent określa jego wartość na ok. 400 imp/m.

Badania na stanowisku przede wszystkim potwierdziły wysoką powtarzalność sprawdzanych głowic. Pokonując pięciokrotnie testowy odcinek dla każdej z trzech prędkości zarejestrowane stany licznika wykazywały odchyłkę od wartości średniej nie większą niż 0,5%.

Przykładowo dla czujnika użytego w badaniach drogowych omówionych w dalszej części artykułu (próba z rys. 8), wyniki zliczania impulsów drogi (403000 imp.) na symulowanym

odcinku testowym o długości 1004,51m dla 3 przyjętych prędkości (20, 60 i 100km/h) pozwoliły określić uśredniony współczynnik przetwarzania jako 401,2 imp/m. Wielkością deklarowaną przez producenta było 400 imp/m – różnica wynosi więc 0,3%.

Konkludując: o tyle różniłyby się wyniki pomiaru drogi, gdyby nie dokonać powtórnej kalibracji a jedynie pozostać przy danych dostarczanych przez producenta. W rzeczywistych warunkach badań drogowych różnica ta może być uznana za pomijalnie małą. Trudne do kontrolowania czynniki takie jak: wpływ warunków atmosferycznych, niejednorodności nawierzchni, temperatury opon i hamulców wpływają w znacznie większy sposób na ostateczny wynik pomiaru.



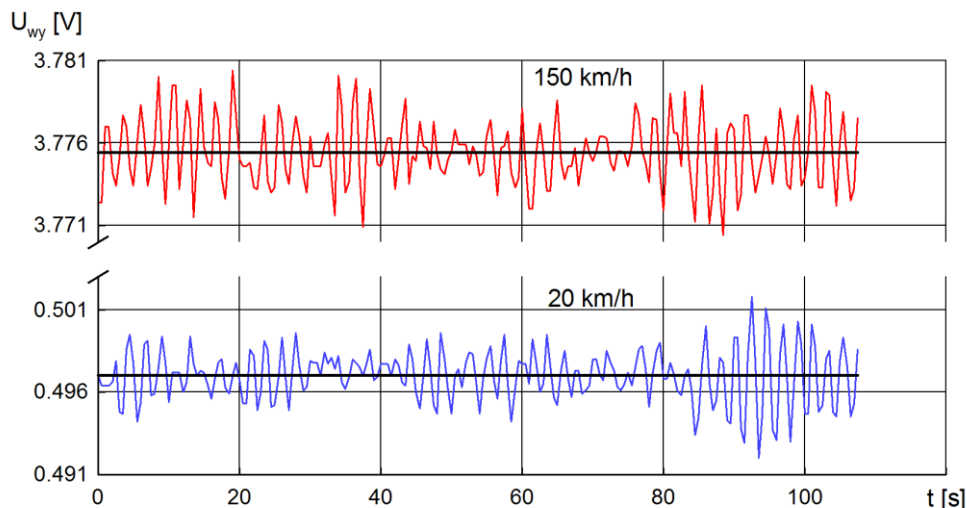
Rys. 3. Widok stanowiska inercyjnego do badania hamulców przystosowanego do badań głowic korelacyjno-optycznych:

- 1 – tarcza wirująca będąca analogiem pokonywanej drogi,
- 2 – powierzchnia tworząca tarczy pokryta farbą, współpracująca z badaną głowicą,
- 3 – głowica badana Correvit Datron LS1,
- 4 – fotokomórka refleksyjna zliczająca pełne obroty tarczy,
- 5 – druga głowica (typu S-400) do celów kontrolnych

Badania stanowiskowe pozwalają również ocenić zjawisko szumu generowanego w czasie pracy czujnika na jego wyjściu prędkościowym. To, że wszystkie sygnały analogowe rejestrowane w tak trudnym środowisku pomiarowym jakim jest samochód obciążone są szumem, jest oczywiste. Zakłócenia pojawiają się w różnych miejscach toru pomiarowego

i wymagają filtracji w czasie rzeczywistym lub przy ostatecznej obróbce danych. Ich źródłem są same czujniki, zakłócenia w obwodach pokładowych pojazdu, wpływ pól elektromagnetycznych (np. od zapłonu), źle ekranowany sprzęt komputerowy itp. Na przygotowanym stanowisku za pomocą oscyloskopu cyfrowego można oszacować zmiany sygnału wyjściowego generowanego przez sam, wyizolowany z układu, czujnik.

Przykład takiego przebiegu, dla zakresu prędkości 10-150km/h, przedstawiono na rysunku 4.

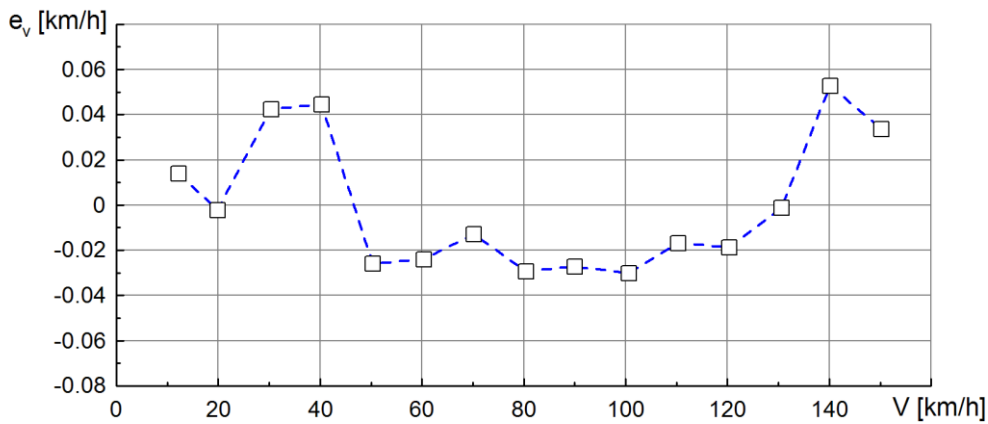


Rys. 4. Przykłady zmienności napięciowego sygnału prędkości U_{wy} obserwowane w warunkach ustalonych na stanowisku. Przebieg górny (kolor czerwony) $V=150\text{km/h}$, przebieg dolny (kolor niebieski) $V=20\text{km/h}$, linie czarne – wartość średnia

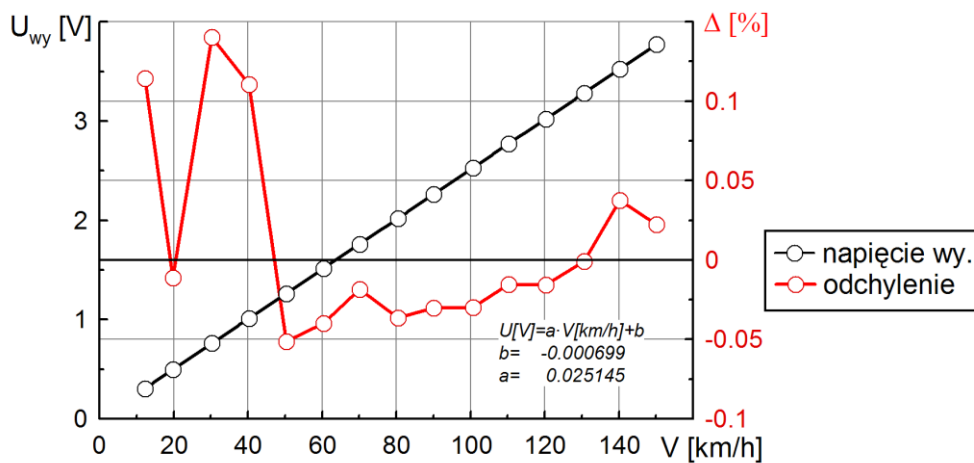
Przebiegi prędkości wykazują zmiany o amplitudzie niezależnej od poziomu sygnału wyjściowego. Oznacza to, że ich wpływ na ostateczny wynik pomiaru będzie tym większy, im mniejsze prędkości będą rejestrowane. Dla prezentowanej na rysunku 4 prędkości 20km/h wartość wahań nie przekracza 1%. Zmiany te mają charakter okresowy bez składowych wolnozmiennych – są stosunkowo łatwe do odfiltrowania i przy dłuższym czasie rejestracji nie wpływają na obliczaną średnią.

Stosując odpowiednio długie rejestracje oceniono, jak głowica pomiarowa przetwarza prędkość na napięcie. Pomiarów dokonano dla 15 różnych wartości prędkości z zakresu 10 – 150km/h. Za wartość rzeczywistą nastawionej prędkości uznano wynik zliczania impulsów z enkodera zainstalowanego na wale tarczy inercyjnej uśredniany w czasie 10 sekundowej próby. Zarejestrowany kąt obrotu był przeliczany na drogę dzięki dokładnej znajomości obwodu tarczy. W czasie tej samej próby rejestrowano wyjściowy sygnał analogowy (200 próbek), który po uśrednieniu potraktowany został jako odczyt z badanej głowicy. Różnica tych dwóch wielkości stanowi błąd bezwzględny, który przedstawiono na rysunku 5. Te same pomiary posłużyły do określenia funkcji przetwarzania czujnika, sprawdzenia jej liniowości oraz obliczenia odchylenia względnego. Procentowe odchylenie względne obliczono z błędu bezwzględnego odniesionego do rzeczywistej wartości prędkości.

Przedstawiono to na rysunku 6. Zwraca uwagę duża dokładność czujnika - mieszcząca się całkowicie w deklarowanej przez producenta wartości 0,2%.



Rys. 5. Błąd bezwzględny pomiaru prędkości e_v dla różnych prędkości zadanych – wynik pomiarów stanowiskowych



Rys. 6. Wyniki pomiarów sygnału napięciowego prędkości U_{wy} oraz obliczone procentowe odchylenie względne Δ

4. Efekty zastosowania czujnika korelacyjno-optycznego w badaniach drogowych

Jako przykład badań drogowych przedstawiono hamowanie autobusu wyposażonego w urządzenie ABS/ESP na nawierzchni o skokowo zmiennym współczynniku przyczepności z wartości $\mu=0,6$ na $\mu=0,3$. Próba ta przeprowadzana jest dla sprawdzenia zdolności adaptacji algorytmu ABS/ESP do zmiennych warunków nawierzchni [5]. Oprócz oczywistej rejestracji chwilowej wartości prędkości pojazdu interesujący jest również przebieg opóźnienia wzdłużnego i droga hamowania - czyli typowy zestaw wyników dla badań procesu hamowania. Rejestracja, ze względu na cel badawczy jakim było badanie prototypu [6], została wykonana ze zwiększoną częstotliwością próbkowania 1kHz. W standardowych badaniach drogowych dynamika zjawisk pozwala na próbkowanie wolniejsze - z częstotliwością 100Hz. Jako czujnika prędkości użyto głowicy korelacyjno-optycznej Datron DLS1 zainstalowanej w nietypowym miejscu – pod podwoziem, w pobliżu środka masy pojazdu. Lokalizacja taka mimo wielu zalet (ochrona czujnika przed warunkami atmosferycznymi, zminimalizowanie wpływu kołysania wzdłużnego nadwozia, łatwa interpretacja wyników przy jeździe po torach krzywoliniowych) jest możliwa jedynie w specjalnie przystosowanych pojazdach badawczych (rys. 7).



Rys. 7. Głowica pomiarowa Datron DSL1 zamontowana w otworze wewnątrz bagażnika autobusu

Konsekwencje doprecyzowania parametrów metrologicznych głowicy pomiarowej można przedstawić na przykładzie obliczania drogi hamowania z próby drogowej pokazanej na rysunku 8. Całkowanie numeryczne metodą trapezów przeprowadzono od ustalonego punktu czasowego, gdy siła na pedale hamulca trwale osiągnęła wartość 0,3dN. Punkt końcowy przyjęto na końcu rejestracji, gdy pojazd stał w miejscu a droga nie przyrastała. Wykorzystano 3 przebiegi prędkości:

- 1) niefiltrowany, przeliczony według fabrycznie podanego współczynnika kalibracji,
- 2) filtrowany metodą średniej kroczącej z parametrem 200ms (szerokość przedziału uśredniania),
- 3) niefiltrowany, ale przeliczony według nowego współczynnika kalibracji prędkości, otrzymanego na stanowisku (rys. 6).

Otrzymane wyniki pokazano w tabeli 1.

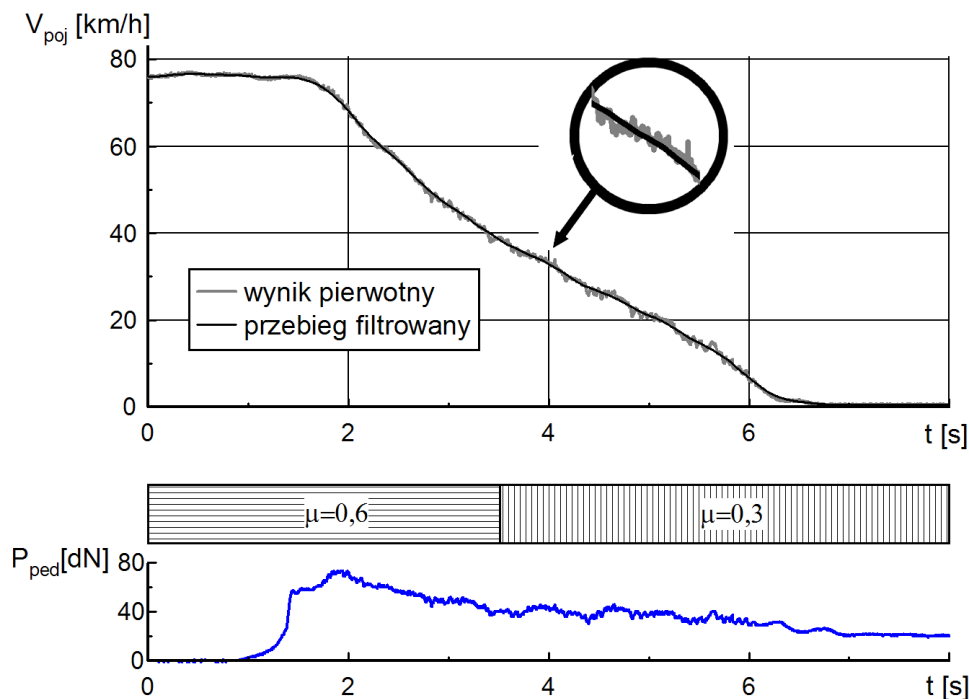
Tabela 1. Porównanie wyników obliczeń drogi hamowania

Przebieg prędkości nr	1	2	3
-----------------------	---	---	---

Droga hamowania [m]	59,187	59,194	58,791
---------------------	--------	--------	--------

Wyniki całkowania pozostawiono celowo z nierealnie dużą liczbą cyfr, aby pokazać jak mała jest różnica pomiędzy obliczonymi drogami hamowania. Rezultaty 1 i 2 dowodzą losowego oraz symetrycznego charakteru zakłóceń i skutecznej metody ich eliminacji metodą średniej kroczącej. Wahania sygnału wyjściowego zarówno na plus jak i minus po odfiltrowaniu znikają, co wizualnie poprawia wykres. Pokazano to w powiększeniu na rysunku 8. Nie wpływają jednak na wartość całki.

Różnica pomiędzy wartościami 1 i 2 a wartością 3 wynika z nowego współczynnika kalibracji i wynosi poniżej 0,7%.



Rys. 8. Rejestracja procesu hamowania autobusu na nawierzchni o skokowej zmianie współczynnika przyczepności $\mu=0,6 \rightarrow 0,3$ (wykres górny - prędkość pojazdu V_{poj} , wykres dolny - siła na pedale hamulca P_{ped})

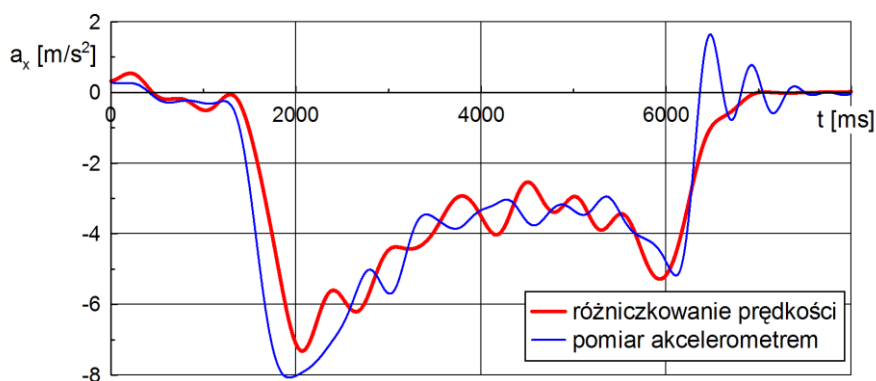
Oprócz prędkości i drogi trzecim parametrem opisującym próbę hamowania jest opóźnienie. Uprozczone procedury testów drogowych obliczają opóźnienie jako uśrednione, bazując na wybranych punktach procesu hamowania – prędkości początkowej i końcowej, 40 i 20 km/h lub 80% i 10% prędkości początkowej. Dla dokładniejszych badań, jak choćby przytoczone tu optymalizacje algorytmów ABS czy ESP potrzebne są przebiegi czasowe opóźnienia. Jedną z metod, stosunkowo kłopotliwą obliczeniowo, jest różniczkowanie zarejestrowanego przebiegu prędkości. Różniczkowanie numeryczne zakłóconego losowo przebiegu (rys. 8)

proceeds to a very unreadable form of the result, where the useful signal is hidden in digital noise. The application of appropriate, multiple filtering is necessary, but one must also control the result, so that excessive smoothing does not lose useful information.

In road tests, such as those presented in Figure 8, one can use the following, proven in practice procedure (programming Origin, KyPlot or similar):

- initial smoothing of the speed curve by the moving average method, e.g. with a smoothing interval of 400 ms,
- numerical differentiation of the smoothed speed curve, e.g. by the 1st order method with 13 regression points of the Savitzky-Golay method [4], [9]),
- use of the FFT filtering method with a number of samples of 200.

The effect of these actions performed on the speed curve from Figure 8 is shown in Figure 9.



Rys. 9. Przebiegi czasowe opóźnienia hamowania a_x w czasie próby drogowej (por. rys 4) otrzymane dwoma metodami: bezpośredni pomiar akcelerometrem oraz poprzez różniczkowanie prędkości

Additionally, the result of deceleration registration using an accelerometer (micro-technical ADXL05 [8], installed inside the bus above the center of mass) is presented. The deceleration curve was smoothed by the moving average with a smoothing interval of 200 ms. This was necessary because the accelerometer picks up a lot of disturbing vibrations of higher frequencies, coming from the engine and the road surface. In Figure 9, a large difference in the obtained curves is visible, both in terms of amplitude and phase of the free vibrations. In the final stage of deceleration, a significant, fading oscillation is visible, coming from the suspension vibrations. In conclusion, one should pay special attention when using direct deceleration measurement with an accelerometer. These sensors, which are cheap and have good metrological parameters, are able to record much more than one expects in the test.

dynamiki hamowania. Jednak niewłaściwie zamontowane, mogą wprowadzać błąd zarówno co do wielkości jak i charakteru zjawiska.

Dane dostarczane przez czujniki korelacyjno-optyczne mimo kłopotliwej obróbki pozwalają na otrzymanie przebiegów opóźnienia pozbawionych powyższych wad.

5. Wnioski

Uzyskane w wyniku badań stanowiskowych parametry głowic korelacyjno-optycznych zostały porównane z danymi dostarczonymi przez producenta. Zweryfikowano w ten sposób, czy wykonywane rutynowo pomiary parametrów hamowania nie kryją w sobie niebezpieczeństwa otrzymania błędnych wyników. Czujniki korelacyjno-optyczne używane są od wielu lat w większości profesjonalnych badań drogowych. Ich zalety: wysoka dokładność, pomiar bezkontaktowy, cyfrowe i analogowe wyjście sygnału powodują, że ich wiodąca pozycja nie jest zagrożona.

Wykonane na zaprezentowanym stanowisku badania sprawdzające czujnika DLS1 oraz kilku innych czujników różnych generacji (zbadano łącznie pięć egzemplarzy, oprócz trzech zaprezentowanych w artykule, również dwa nowszej konstrukcji: S-400 i L-350 Aqua [10]) potwierdziły niezmienną ich parametrów w czasie. Parametry wszystkich badanych czujników mieściły się w przedziale dokładności gwarantowanej przez producenta. Odchyłki które wykazano, nie wpływają w widoczny sposób na ostateczny wynik próby – co pokazano również na przykładzie. Największym problemem w badaniach dynamiki hamowania jest wiarygodne odtworzenie przebiegu opóźnienia. Bezpośrednie metody akcelerometryczne, mimo że wygodne i stosowane w przenośnej aparaturze, kryją w sobie niebezpieczeństwo uzyskania błędnych wyników wynikające np. z niewłaściwego montażu.

Literatura

- [1] Bielski A, Ciuryło R. Podstawy metod opracowania pomiarów. Toruń: UMK; 2001.
- [2] López I, Silva G, Ruiz A. Calibration of non-contact velocity sensor used in automotive industry. IMEKO 22nd TC3, 12th TC5 and 3rd TC22 International Conferences; 2014; Cape Town, Republic of South Africa, available from: www.imeko.org/publications/tc22.../IMEKO-TC22-2014-008.pdf [cited 2016 May 4].
- [3] Pokorski J, Sar H, Fundowicz P, Reński A. Badania porównawcze skuteczności hamowania z wykorzystaniem odbiornika nawigacji satelitarnej GPS i czujnika korelacyjnego Correvit-L. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów. 2013; 5(96).
- [4] Savitzky A, Golay M J E: Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. Analytical Chemistry. 1964; 36(8): 1627-1639, available from: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ac60214a047> [cited 2016 May 4].

- [5] Szczepaniak C, Gołaszewski A, Smoczyński M, Surmiński K, Szosland A. ESP - urządzenie zwiększające bezpieczeństwo pojazdu. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2006; 35(2): 205-214.
- [6] Szczepaniak C, Gołaszewski A, Surmiński K, Szosland A. Badania stabilności ruchu autobusu wyposażonego w ESP. Międzynarodowa Konferencja Motoryzacyjna Autoprogres-Konmot 2006 "Bezpieczeństwo i Ekologia Pojazdów"; 2006; Rynia - Journal of Kones, Powertrain and Transport. 2006; 11(1).
- [7] Materiały firmy Kistler, Vehicle dynamics and –durability, available from: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=77&model=download> [cited 2016 May 4].
- [8] Data sheet ADXL05, available from: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/obsolete-data-sheets/66309706ADXL05.pdf> [cited 2016 May 4].
- [9] Dokumentacja oprogramowania, Origin: Smoothing using Savitzky-Golay Filtering, available from: <http://www.originlab.com/index.aspx?go=Products/Origin/DataAnalysis/SignalProcessing/SmoothingAndFiltering&pid=104> [cited 2016 May 4].
- [10] Speed sensor - non contact optical – Product Details L350-Aqua, available from: http://www.datrontechnology.com/products/img/content/products/L350-Aqua_d-639-e.pdf [cited 2016 May 4].