

Piotr Wiśniowski, Marcin Ślęzak, Andrzej Niewczas, Tomasz Szczepański

Dobór metody filtrowania przebiegu prędkości pojazdu

Przebieg prędkości pojazdu stanowi przykład funkcji stosunkowo trudnej do filtrowania. Metoda filtrująca musi bowiem cechować się nie tylko określonymi właściwościami widma częstotliwościowego. Musi także wykazywać inne właściwości, które zostaną bliżej omówione w niniejszym artykule. W przypadku złego doboru algorytmu filtracji często okazuje się, że przetworzony przebieg zawiera zniekształcenia sygnału, które uniemożliwiają jego poprawną interpretację fizyczną. W artykule porównano ze sobą 2 popularne metody filtracji wraz z ich podstawowymi modyfikacjami, omówiono ich wady i zalety, a także przedstawiono ich praktyczne zastosowanie dla zarejestrowanych przebiegów prędkości pojazdu. Oceniono również, które rozwiązanie może być częściej przydatne podczas opracowywania wyników badań stanowiących przebieg prędkości pojazdu.

Słowa kluczowe: filtracja, przebieg prędkości.

Wprowadzenie

Filtrowanie zarejestrowanych przebiegów wielkości fizycznych bywa nieodzownym elementem wstępnego przetwarzania danych pomiarowych. W sensie ogólnym pod pojęciem filtrowania można rozumieć odrzucenie z sygnału tych wszystkich informacji, które nie są interesujące z punktu widzenia prowadzonej analizy wyników badań. W praktyce często okazuje się, że odrzucane informacje charakteryzują się konkretnymi właściwościami częstotliwościowymi. Stosuje się wówczas filtrowanie częstotliwościowe.

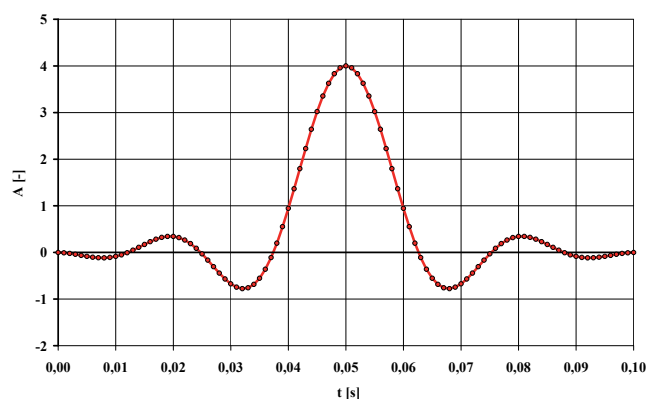
Filtry częstotliwościowe [6]

Podczas projektowania filtrów częstotliwościowych wykorzystuje się rozmaite algorytmy, wybierane na podstawie tego, jakimi właściwościami powinien cechować się filtr. Wyróżnia się 2 podstawowe rodzaje filtrów: rekursywne i nierekursywne. Pierwsze z nich zawierają pętlę sprzężenia zwrotnego i w efekcie charakteryzują się nieskończoną odpowiedzią impulsową. W tym przypadku nawet przy filtrach niskiego rzędu można uzyskać pożądaną charakterystykę częstotliwościową, co przekłada się na niewielką złożoność obliczeniową. Okupione jest to jednak pewnymi wadami, z których najważniejszą – z punktu widzenia analizy wyników pomiarów – jest nieliniowa charakterystyka fazowa. Oznacza to, że przefiltrowany sygnał będzie zawierał przesunięcia fazowe poszczególnych składowych częstotliwościowych. Taki efekt może okazać się nie do przyjęcia, ponieważ wiąże się z utratą synchronizacji w dziedzinie czasu zarejestrowanych w sygnale zjawisk. Drugim rodzajem filtrów są filtry nierekursywne, o skończonej odpowiedzi impulsowej. Pomimo większej wymaganej złożoności numerycznej są stosunkowo często wykorzystywane dzięki dostępnej mocy obliczeniowej współczesnych komputerów. Co ważne, charakterystyka fazowa jest w tym przypadku liniowa. Dlatego w niniejszym artykule uwaga będzie poświęcona tylko temu rozwiązaniu.

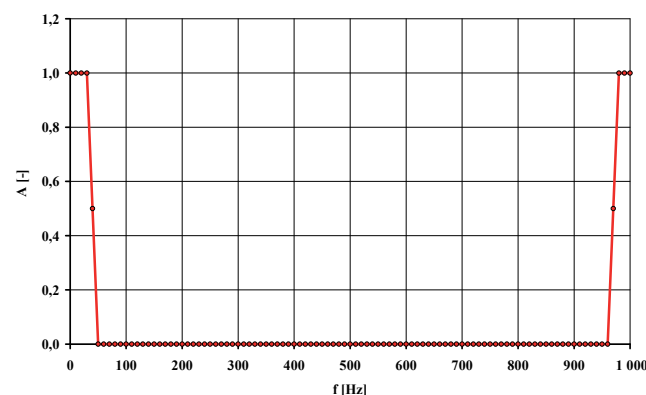
Podstawową metodą projektowania filtrów nierekursywnych jest założenie pożądanej charakterystyki częstotliwościowej i zastosowanie odwrotnej transformaty Fouriera w celu wygenerowania widma czasowego filtra [4–6]. Procedura filtrowania sprowadza się wówczas do wykonania operacji splotu sygnału

z przygotowanym filtrem, ponieważ splot funkcji w dziedzinie czasu odpowiada iloczynowi funkcji w dziedzinie częstotliwości [6, 7]. Dzięki temu filtrowany sygnał uzyskuje właściwości częstotliwościowe filtra. Na rys. 1 przedstawiono przykładowy filtr dolnoprzepustowy o długości 101 próbek i założonej częstotliwości progowej równej 30 Hz przy częstotliwości próbkowania wynoszącej 1 000 Hz. Poniżej częstotliwości progowej występuje pasmo przepustowe, a powyżej – pasmo zaporowe.

Projektowane w ten sposób filtry charakteryzują się pewnymi niedoskonałościami wynikającymi z ograniczonej dokładności numerycznej. Wynika to ze skończonej długości filtra oraz ograniczonej częstotliwości próbkowania i rozdzielczości [6, 7]. Wyróżnia się w związku z tym 3 rodzaje niedoskonałości filtrów: pulsacje w paśmie zaporowym, pulsacje w paśmie przepustowym i pasmo przejściowe o niezerowej szerokości. Podstawowym sposobem poprawy właściwości filtra jest zwiększenie jego długości. Celowe byłoby również zwiększenie rozdzielczości i częstotliwości próbkowania, ale nie zawsze jest to możliwe. Niekiedy stosuje się również dodatkowe modyfikacje wygenerowanego filtra. Można dzięki temu położyć nacisk na te właściwości filtra, które są w danym przypadku najbardziej istotne.



Rys. 1. Filtr dolnoprzepustowy o długości 101 próbek i częstotliwości progowej 30 Hz przy częstotliwości próbkowania 1 000 Hz



Rys. 2. Widmo częstotliwościowe filtra dolnoprzepustowego o długości 101 próbek i zadanej częstotliwości progowej 30 Hz przy częstotliwości próbkowania 1 000 Hz

Na rys. 2. przedstawiono widmo częstotliwościowe filtra dolno-przepustowego pokazanego na rys. 1. Jak widać, granica między pasmem przepustowym a zaporowym nie jest idealnie stroma, co oznacza stosunkowo szerokie pasmo przejściowe. Koniec pasma przepustowego występuje przy założonej częstotliwości 30 Hz, ale początek pasma zaporowego znajduje się dopiero przy częstotliwości około 50 Hz. Korzystnym zjawiskiem jest natomiast brak pulsacji w paśmie przepustowym i zaporowym. W dalszej części artykułu nie będą podejmowane próby modyfikacji prezentowanego filtra, ponieważ zagadnienie pasma przejściowego nie jest najważniejszym problemem towarzyszącym omawianemu zagadnieniu filtracji przebiegów prędkości pojazdów [2].

Filtrowanie przebiegu prędkości

Przedstawione pokrótce filtry nierekursywne otrzymywane drogą odwrotnej transformaty Fouriera założonego widma częstotliwościowego sprawdzają się doskonale podczas filtracji sygnałów o charakterze harmonicznym. Niestety przebieg prędkości pojazdu, chociaż nadaje się do analizy częstotliwościowej, nie opisuje zjawisk o charakterze typowo harmonicznym. Zawiera za to elementy zbliżone w swojej naturze do funkcji o nieciągłej pochodnej, a niekiedy nawet do funkcji skokowych (w przypadku niewielkiej częstotliwości próbkowania sygnału). Tego typu elementy przebiegu sprawiają, że po poddaniu sygnału procesowi filtracji pojawiają się pewne zniekształcenia trudne do dalszej interpretacji w kontekście zjawisk fizycznych, które opisują. Okazuje się wówczas, że właściwości częstotliwościowe nie są jedynymi wymaganiami stawianymi wobec filtra.

Powyższy problem zostanie bliżej przedstawiony na przykładzie nieciągłej funkcji o skoku jednostkowym. Klasyczny sposób filtrowania będzie porównany z metodą filtracji polegającą na lokalnym uśrednianiu wartości sygnału w dziedzinie czasu. Przedstawione zostaną podstawowe wady i zalety obydwu sposobów filtrowania.

Filtrowanie funkcji nieciągłej

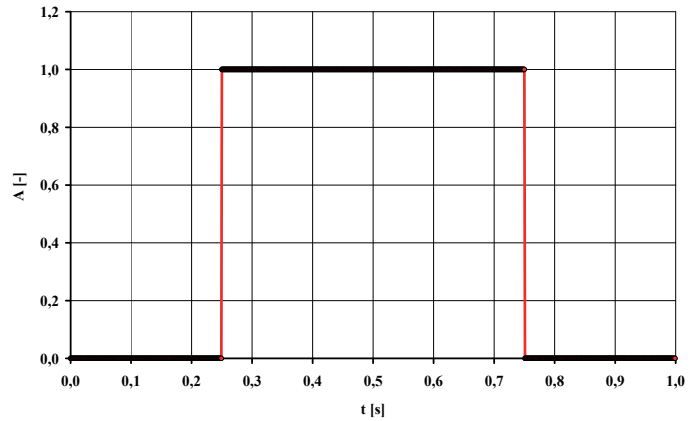
Na rys. 3. przedstawiono przykładową funkcję nieciągłą. Odzworowuje ona zjawisko skoku wartości podobnego do tych, które można zaobserwować w przypadku rzeczywistych przebiegów prędkości pojazdu. Funkcja nie zawiera szumu, który należałoby poddać filtrowaniu dolno-przepustowemu. Nie jest on jednak wymagany, żeby zilustrować omawiane zjawisko. Do filtrowania został wykorzystany filtr zaprezentowany na rys. 1, a operacja filtrowania sprowadzała się do wykonania splotu filtra z sygnałem.

Na rys. 4 pokazano tę samą funkcję po przeprowadzeniu filtracji. Jak widać, w okolicach punktów nieciągłości pojawiły się zniekształcenia. Trzeba zauważyć, że zmianie uległy wartości ekstremalne. Widoczne deformacje zmieniają charakter sygnału, co może utrudnić jego interpretację fizyczną.

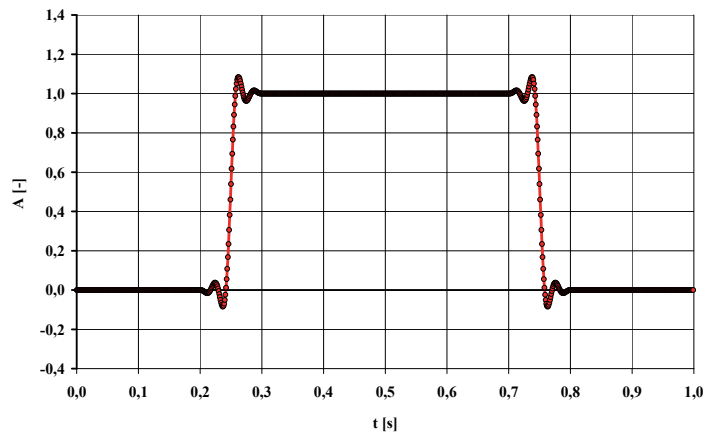
Modyfikacja filtra

Powyższy efekt wynika z operacji splotu z filtrem, który przyjmuje wartości ujemne. Eliminacja wartości ujemnych filtra sprawiłaby, że w sygnale wartości ekstremalne nie uległyby zmianie. Na rys. 5 przedstawiono widmo czasowe filtra zmodyfikowanego w taki sposób, że wszystkie wartości ujemne zostały wyzerowane.

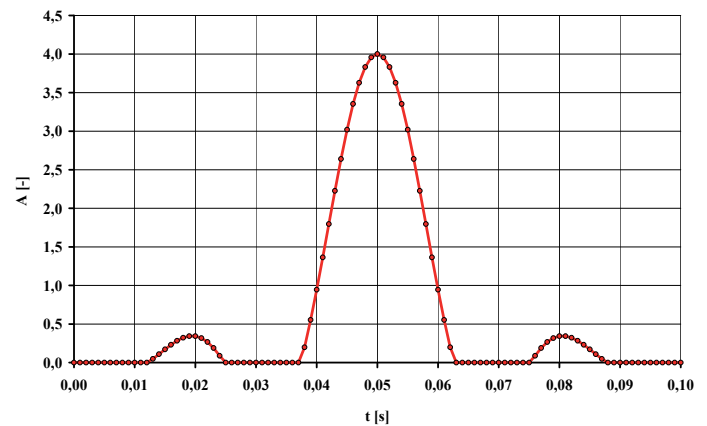
Oczywiście powyższa modyfikacja filtra zmienia jego właściwości częstotliwościowe. Na rys. 6 pokazano widmo częstotliwościowe zmodyfikowanego filtra. Jak widać, charakter częstotliwościowy uległ poważnym zmianom. Pasma przepustowe zostało zwężone i zdeformowane, pasmo przejściowe zostało poszerzone,



Rys. 3. Funkcja nieciągła o skoku jednostkowym

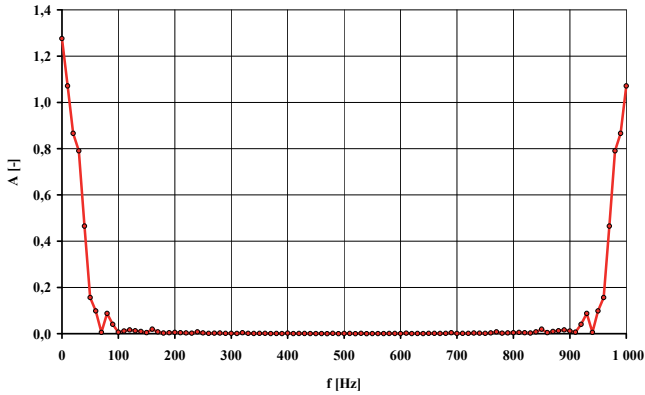


Rys. 4. Funkcja nieciągła o skoku jednostkowym po filtracji filtrem dolno-przepustowym

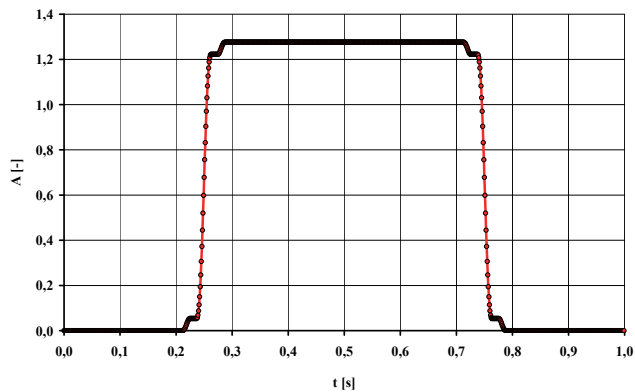


Rys. 5. Filtr dolno-przepustowy o długości 101 próbek i częstotliwości progowej 30 Hz przy częstotliwości próbkowania 1 000 Hz po wyzerowaniu wartości ujemnych

a w paśmie zaporowym widoczne są pulsacje. Przy zerowej częstotliwości przekroczona została wartość jedności. Jak wiadomo, prążek zerowy w dziedzinie częstotliwości odpowiada wartości średniej w dziedzinie czasu, a więc zastosowanie takiego filtra będzie powodowało zawyżenie wartości średniej filtrowanego sygnału. Właściwości częstotliwościowe zmodyfikowanego filtra uległy zatem pogorszeniu w takim stopniu, że powstaje uzasadniona wątpliwość dotycząca użyteczności omawianego rozwiązania.



Rys. 6. Widmo częstotliwościowe filtra dolnoprzepustowego o długości 101 próbek i zadanej częstotliwości progowej 30 Hz przy częstotliwości próbkowania 1 000 Hz po wyzerowaniu wartości ujemnych



Rys. 7. Funkcja nieciągła o skoku jednostkowym po filtracji zmodyfikowanym filtrem dolnoprzepustowym

Na rys. 7 zaprezentowano funkcję skokową poddaną filtracji za pomocą zmodyfikowanego filtra. Jak widać, wartości ekstremalne nie uległy zmianie, ale pojawiły się inne deformacje utrudniające interpretację fizyczną filtrowanego sygnału.

Uśrednianie w dziedzinie czasu

Pewną alternatywą dla klasycznych filtrów o arbitralnie narzuconych właściwościach częstotliwościowych jest filtrowanie dolnoprzepustowe za pomocą lokalnego uśredniania w dziedzinie czasu. Każda próbka sygnału jest wówczas zastępowana wartością średnią z n wartości sąsiadujących z próbką bieżącą.

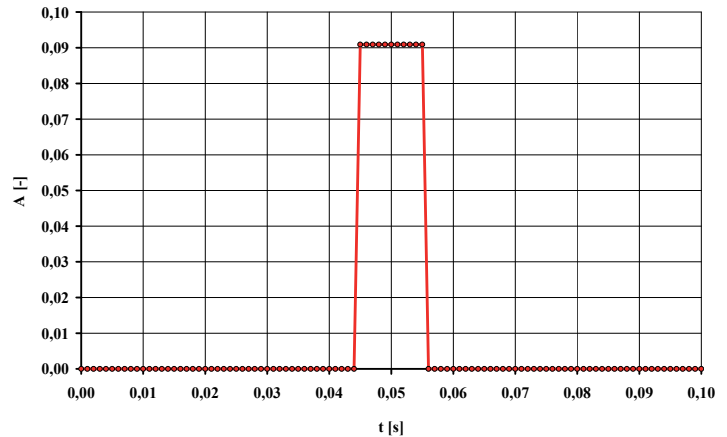
W praktyce operacja uśredniania jest tożsama z operacją spłotu, przy założeniu, że wagami w przypadku średniej ważonej są wartości filtra. W ten sposób obliczanie średniej arytmetycznej jest tożsame z filtrowaniem za pomocą prostokątnego okna czasowego o szerokości n i wysokości $1/n$. Dzięki temu istnieje możliwość wyznaczenia właściwości częstotliwościowych algorytmu filtrowania poprzez uśrednianie. Wystarczy poddać transformacie Fouriera wybrane okno czasowe [6].

Przykład takiego okna czasowego został przedstawiony na rys. 8. Jego szerokość wynosi 11 próbek, co przy częstotliwości próbkowania równej 1 Hz oznacza szerokość 10 s.

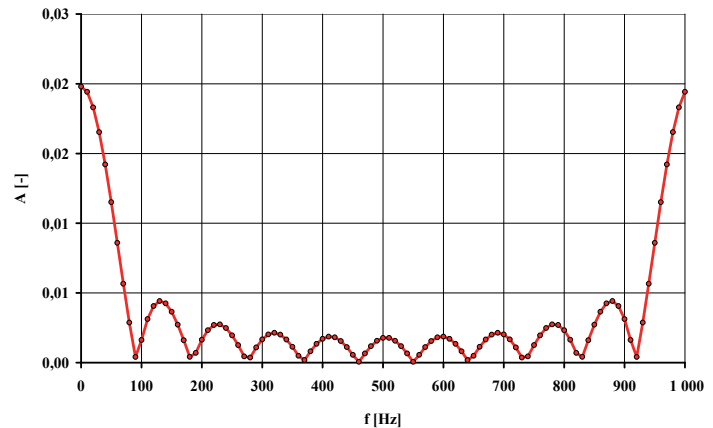
Na rys. 9 pokazano widmo częstotliwościowe powyższego okna czasowego. Jest ono dalekie od ideału, który charakteryzowałby się skokiem od pasma przepustowego do zaporowego. Pasma przepustowe jest częściowo wyciężone we wszystkich miejscach poza częstotliwością zerową, pasmo przejściowe jest szerokie, a w paśmie zaporowym widoczne są silne pulsacje.

Jednoznacznie widać, że filtr ten nie został zoptymalizowany pod kątem właściwości częstotliwościowych, chociaż wykazuje cechy charakterystyczne dla filtra dolnoprzepustowego o szerokim paśmie przepustowym.

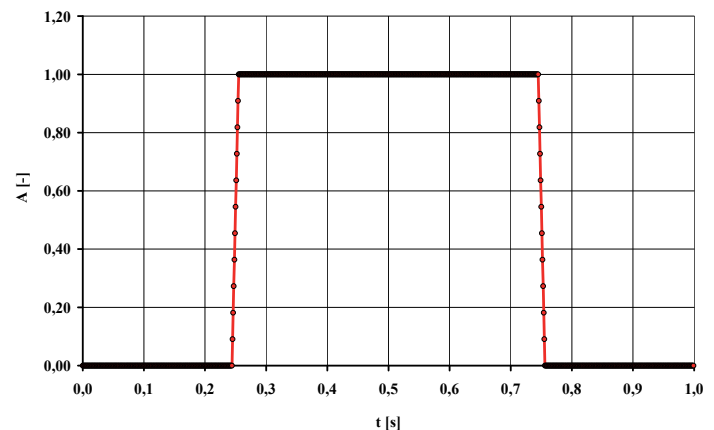
Porównując powyższy filtr ze zmodyfikowanym filtrem klasycznym, należy zauważyć, że uśrednianie w dziedzinie czasu charakteryzuje się bardziej użytecznym pasmem przepustowym, ale za to większymi pulsacjami w paśmie zaporowym. Oznacza to, że filtrowanie za pomocą prostokątnego okna czasowego będzie



Rys. 8. Okno czasowe o szerokości 11 próbek



Rys. 9. Widmo częstotliwościowe okna czasowego o szerokości 11 próbek



Rys. 10. Funkcja nieciągła o skoku jednostkowym po filtracji za pomocą okna czasowego

wprowadzało mniejsze zaburzenia sygnału, ale jednocześnie będzie przepuszczało część szumów.

Jak wspomniano na początku tego artykułu, właściwości częstotliwościowe nie są jedynymi istotnymi cechami filtra w przypadku filtrowania przebiegów prędkości pojazdów [3]. Pogorszenie właściwości częstotliwościowych może być akceptowalne, o ile uniknie się dzięki temu wyjątkowo niepożądanych deformacji filtrowanego sygnału.

Na rys. 10 przedstawiono nieciągłą funkcję z rys. 3 po przeprowadzeniu filtracji za pomocą prostokątnego okna czasowego. Jak widać, operacja filtrowania nie spowodowała znaczących zmian w charakterze sygnału. Jediną deformacją jest zmniejszenie stromości skoku. Jest to zrozumiałe w kontekście widma częstotliwościowego, które wytlumia częściowo wszystkie składowe częstotliwościowe oprócz zerowej. Zatem jedyną niezmodyfikowaną właściwością filtrowanego sygnału będzie wartość średnia.

Podsumowując tę część, należy zauważyć, że filtrowanie za pomocą okna czasowego wykazuje gorsze właściwości częstotliwościowe, ale za to powoduje mniejsze deformacje sygnału. Kwestia wyboru filtra jest związana z tym, które właściwości są w danym przypadku istotniejsze. W dalszej części artykułu obydwa sposoby filtrowania zostaną zaaplikowane do rzeczywistego przebiegu prędkości pojazdu zarejestrowanego w warunkach badań drogowych.

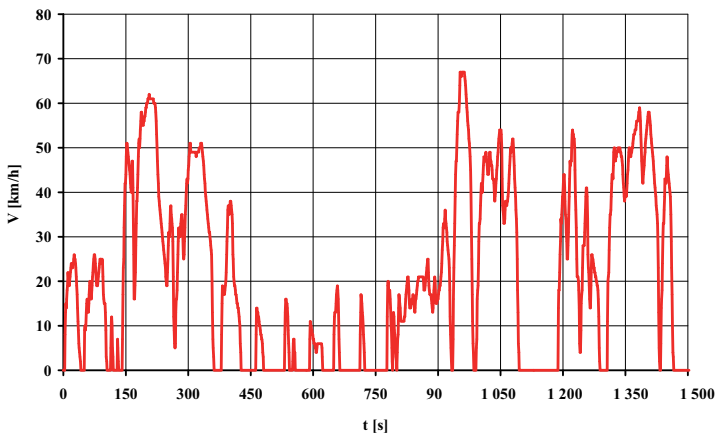
Filtrowanie rzeczywistego przebiegu prędkości pojazdu

Na rys. 11 przedstawiono przykładowy przebieg prędkości samochodu osobowego, odwzorowujący jazdę w warunkach ruchu miejskiego. Prędkość średnia wynosi 20 km/h, a prędkość maksymalna 67 km/h. Widoczne są fragmenty przebiegu, dla których prędkość wynosi 0 km/h, co odpowiada zatrzymaniu pojazdu. Można zaobserwować liczne punkty, dla których pochodna przebiegu będzie nieciągła, a nawet gwałtowną zmianę samej prędkości, zbliżoną do skokowej, co wynika z dynamicznego przyspieszania i hamowania samochodem [1]. Częstotliwość próbkowania sygnału wynosi w tym przypadku 1 Hz.

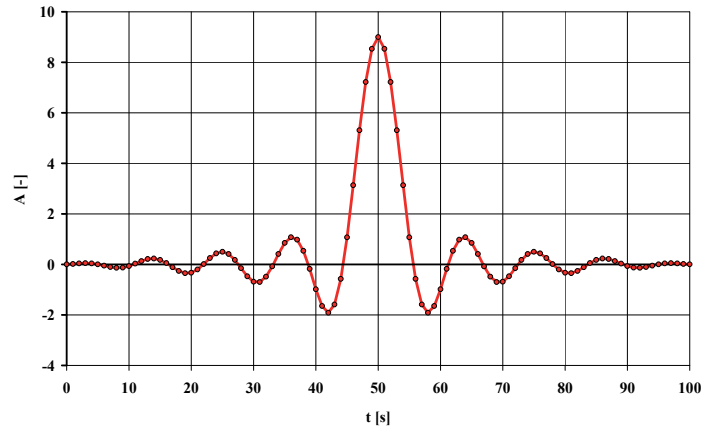
Filtr klasyczny

Na rys. 12 pokazano filtr dolnoprzepustowy przygotowany metodą klasyczną za pomocą próbkowania w dziedzinie częstotliwości i wytworzenia postaci czasowej filtra dzięki odwrotnej transformacji Fouriera.

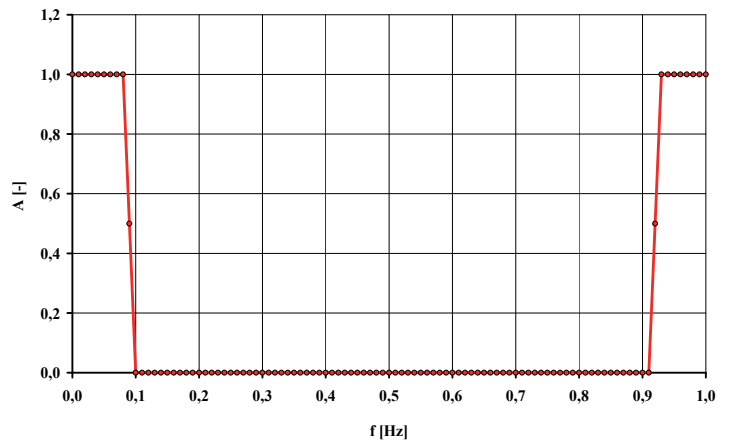
Na rys. 13 zaprezentowano widmo częstotliwościowe powyższego filtra. Jak widać, częstotliwość progowa została założona



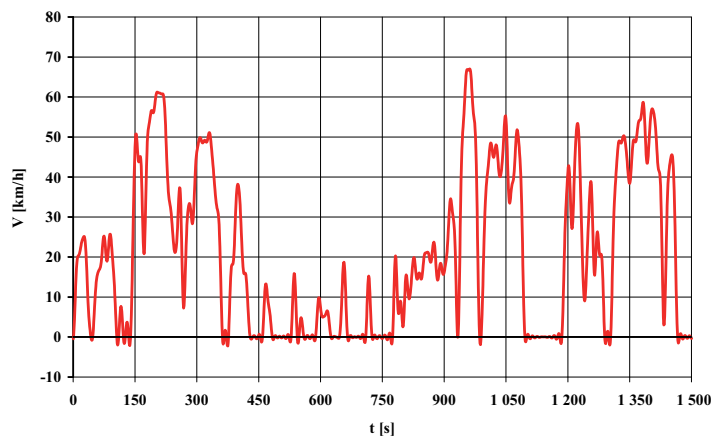
Rys. 11. Przebieg prędkości samochodu



Rys. 12. Filtr dolnoprzepustowy o długości 101 próbek i częstotliwości progowej 0,08 Hz przy częstotliwości próbkowania 1 Hz



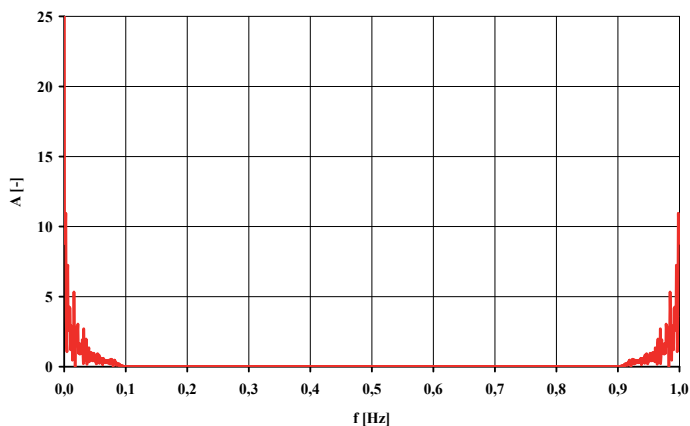
Rys. 13. Widmo częstotliwościowe filtra dolnoprzepustowego o długości 101 próbek i częstotliwości progowej 0,08 Hz przy częstotliwości próbkowania 1 Hz



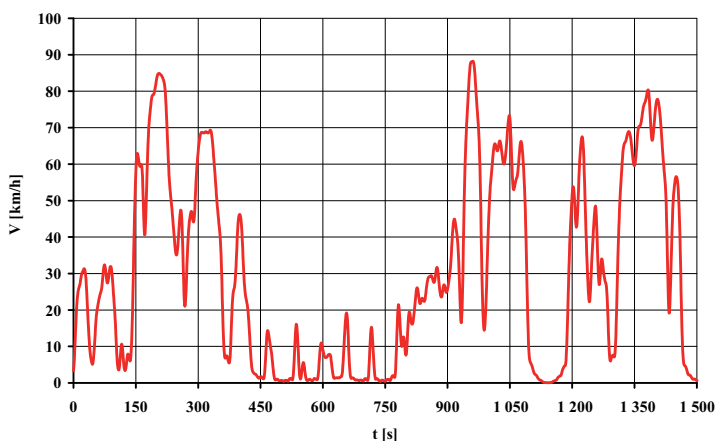
Rys. 14. Przebieg prędkości samochodu po filtracji filtrem dolnoprzepustowym

na poziomie 0,08 Hz. Pasma przejściowe rozciąga się od 0,08 do 0,10 Hz. Wynika to z długości filtra ograniczonej do 101 próbek.

Na rys. 14 przedstawiono przebieg prędkości pojazdu po prze-filtrowaniu za pomocą powyższego filtra. Widoczne są omawiane wcześniej deformacje sygnału, które zaburzają kształt funkcji w pobliżu skokowych zmian wartości. Jest to szczególnie niepokojące w przypadku tych fragmentów przebiegu, które odnoszą



Rys. 15. Widmo częstotliwościowe przebiegu prędkości samochodu po filtracji filtrem dolnoprzepustowym



Rys. 16. Przebieg prędkości samochodu po filtracji zmodyfikowanym filtrem dolnoprzepustowym

się do zatrzymywania i ruszania pojazdu. Pojawiają się tam bowiem wartości ujemne prędkości, co oznaczałoby, że samochód cofał się. Ponadto w czasie, kiedy w oryginalnym przebiegu występowały wartości zerowe prędkości, w wyniku deformacji pojawiają się wartości niezerowe (na przemian dodatnie i ujemne). Jest to efekt, który nie ma swojego odniesienia do zjawisk rzeczywiście występujących w czasie badań drogowych. Należy mieć także świadomość, że bliźniaczy problem występuje w pobliżu prędkości maksymalnych, chociaż tam nie jest tak dobrze widoczny wizualnie.

Trudność w interpretacji tak zdeformowanego przebiegu sprawia, że zasadne staje się pytanie o stosowność klasycznych metod filtrowania w przypadku przebiegów prędkości lub innych przebiegów o podobnym charakterze.

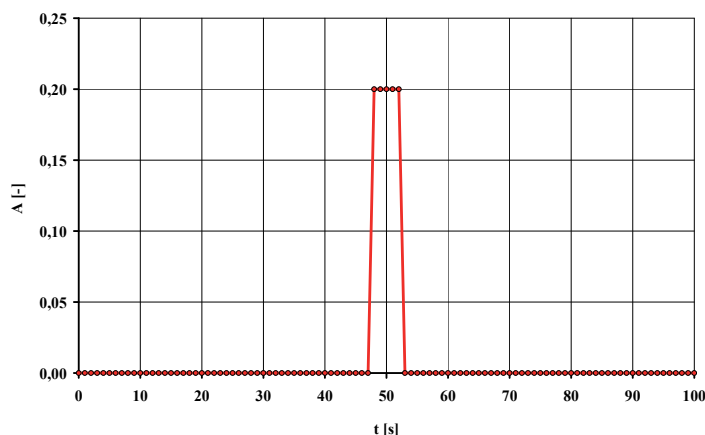
Na rys. 15 pokazano widmo częstotliwościowe przefiltrowanego przebiegu prędkości. Widoczne jest w tym przypadku całkowite wytłumienie składowych częstotliwościowych powyżej 0,09 Hz. Potwierdza to fakt doskonałych właściwości częstotliwościowych tego typu filtrów.

Chociaż modyfikacja filtra polegająca na zerowaniu wartości ujemnych wydaje się mało użyteczna, dla porządku przedstawiono na rys. 16 aplikację tego rozwiązania. Chociaż w przefiltrowanym w ten sposób przebiegu prędkości samochodu nie znajdują się już wartości ujemne, widoczne są wciąż inne deformacje. Prędkość rzadko kiedy osiąga wartość 0 km/h, a w miejscach, w których powinna ją osiągać, widoczne są oscylacje prędkości.

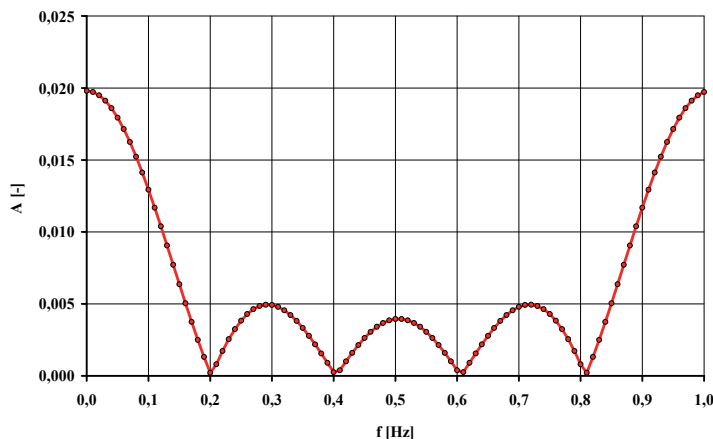
Filtrowanie za pomocą prostokątnego okna czasowego

Jako porównawcza metoda filtrowania zostało przygotowane okno czasowe o szerokości 5 próbek, widoczne na rys. 17. Jak wiadomo, szerokość okna w dziedzinie czasu wpływa na szerokość pasma przepustowego w dziedzinie częstotliwości. Im okno czasowe jest szersze, tym węższe jest pasmo przepustowe. Rozpatrując skrajne przypadki szczególne, można powiedzieć, że dla najwęższego możliwego okna (stanowiącego deltę Diraca) pasmo przepustowe będzie rozciągało się na cały zakres częstotliwości. Jest to zrozumiałe, ponieważ filtrowanie deltą Diraca sprowadza się do obliczania wartości średniej na podstawie tylko jednej wartości bieżącej, co nie wprowadza żadnych zmian w filtrowanym sygnale, a więc wszystkie częstotliwości znajdują się w paśmie przepustowym (niemodyfikowanym). Z kolei w przypadku okna czasowego skrajnie szerokiego, rozciągającego się na całą długość filtrowanego sygnału, widmo częstotliwościowe składałoby się jedynie z prążka zerowego. Wynika to z faktu, że filtrowanie tak szerokim oknem sprowadza się do zastąpienia każdej wartości przebiegu wartością średnią całego sygnału. Tymczasem prążek zerowy w widmie częstotliwościowym, jak już wcześniej wspomniano, odpowiada właśnie wartości średniej. Jest to więc jedyna niemodyfikowana cecha filtrowanego sygnału [6].

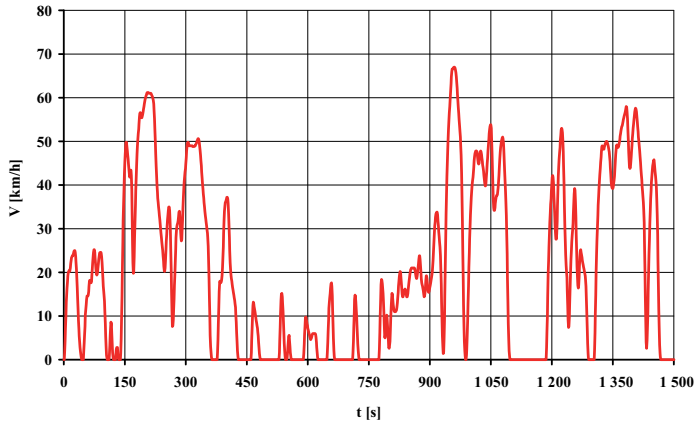
Powyższe rozważanie prowadzi do wniosku, że przyjęte w obliczeniach stosunkowo wąskie okno czasowe o szerokości 4 s będzie reprezentowane przez szeroki zakres przepustowy w dziedzinie częstotliwości. Jest to widoczne na rys. 18, przedstawiającym widmo częstotliwościowe prezentowanego filtra. Widoczne są też niedoskonałości filtra podobne do tych omawianych w kontekście rys. 9.



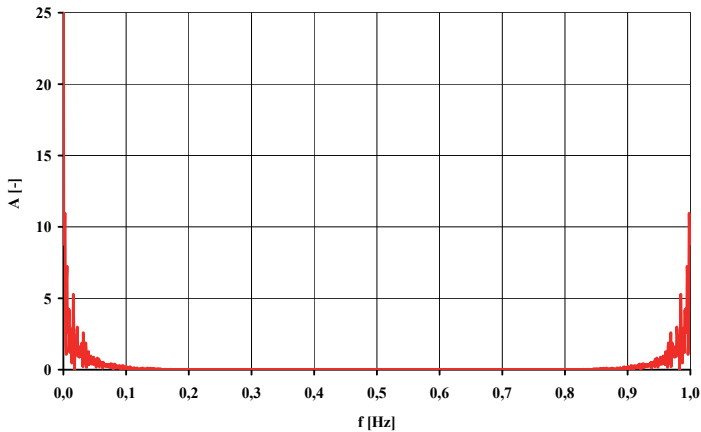
Rys. 17. Okno czasowe o szerokości 5 próbek



Rys. 18. Widmo częstotliwościowe okna czasowego o szerokości 5 próbek



Rys. 19. Przebieg prędkości samochodu po filtracji za pomocą okna czasowego



Rys. 20. Widmo częstotliwościowe przebiegu prędkości samochodu po filtracji za pomocą okna czasowego

Na rys. 19 został pokazany przebieg prędkości pojazdu przefiltrowany za pomocą przygotowanego okna czasowego. Co ważne, nie są w tym przypadku widoczne deformacje podobne do tych z rys. 14 i 16.

Na rys. 20 przedstawiono widmo częstotliwościowe przebiegu prędkości przefiltrowanego tą metodą.

Warto zwrócić uwagę, że występują w tym przypadku niezerowe wartości przy częstotliwościach powyżej 0,09 Hz. Wynika to z bardzo szerokiego pasma przejściowego, które sięga tutaj aż do 0,2 Hz.

Podsumowanie

Filtrowanie przebiegu prędkości pojazdu nie jest prostym zadaniem. Istotne są w tym przypadku nie tylko właściwości częstotliwościowe filtra, ale również jego skłonność do powodowania deformacji w pobliżu skoków wartości filtrowanego sygnału. W artykule zostało przedstawione porównanie 2 metod filtrowania: klasycznej, opartej na próbkowaniu w dziedzinie częstotliwości, oraz alternatywnej, polegającej na uśrednianiu w dziedzinie czasu.

Próbkowanie w dziedzinie częstotliwości jest metodą z definicji kładącą nacisk na optymalizację częstotliwościowych właściwości filtra. Algorytm ten wykazuje jednak skłonność do powodowania zniekształceń przebiegu prędkości w sposób trudny do interpretacji w kontekście zjawisk fizycznych. Modyfikacje tego typu filtrów w postaci zerowania wartości ujemnych nie powodują zadowalającej poprawy użyteczności filtra.

Uśrednianie w dziedzinie czasu można tożsamościowo przekształcić do zagadnienia filtrowania (spłotu) z prostokątnym oknem czasowym o zadanej szerokości. Właściwości częstotliwościowe tego rodzaju filtra są zdecydowanie gorsze. Jednak operacja uśredniania nie powoduje deformacji przebiegu, które w znaczący sposób utrudniałyby dalszą interpretację fizyczną danych.

Ostateczny wybór metody filtrowania powinien zależeć od indywidualnych potrzeb badacza i tych właściwości filtra, które w danym przypadku są najbardziej istotne. Wydaje się jednak, że w praktyce badawczej przebiegi prędkości pojazdu oraz przebiegi o zbliżonym charakterze (jak na przykład przebieg prędkości obrotowej silnika) wygodniej będzie filtrować za pomocą metody uśredniania.

Bibliografia:

1. Caban J., Sopoćko M., Ignaciuk P., *Eco-driving, przegląd stanu zagadnienia*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, nr 6.
2. Gołaszewski A., Marcinkowski P., *Opracowanie wskaźników oceny prędkości pojazdu w ruchu drogowym*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, nr 6.
3. Gonddek S., *Prędkość autobusów na skrzyżowaniach z sygnalizacją*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, nr 6.
4. Lyons R., *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999.
5. Marven C., Ewers G., *Zarys cyfrowego przetwarzania sygnałów*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999.
6. Zieliński T., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Od teorii do zastosowań*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
7. Zydorczyk J., Płonka G., Tyma G., *Teoria sygnałów. Wstęp (teoria, przykłady zadania)*, Helion, Gliwice 1999.

Autorzy:

mgr inż. **Piotr Wiśniowski** – Instytut Transportu Samochodowego
 prof. dr hab. inż. **Marcin Ślęzak** – Instytut Transportu Samochodowego
 prof. dr hab. inż. **Andrzej Niewczas** – Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, Wydział Transportu i Informatyki
 dr inż. **Tomasz Szczepański** – Instytut Transportu Samochodowego

Selection of the vehicle speed waveforms filtering method

The vehicle speed waveforms is an example of the function that is relatively difficult to filter. In this case the filtering method must be characterized not only by specific properties of the frequency spectrum. It must also meet other conditions that will be discussed in more detail in this article. In the case of wrong selection of filtering algorithm it often turns out that the processed waveform contains signal distortions which make it impossible to correct physical interpretation of given signal. The article compares two popular filtering methods with their basic modifications, discusses their advantages and disadvantages and shows their practical application for registered waveforms vehicle speed. It also evaluates which solution can be more useful during the development of research results that covering the course of vehicle speed.

Key words: filtering method, speed waveforms.