

Sygnalizator ostrzegawczy w pojazdach uprzywilejowanych zintegrowany z systemem aktywnej redukcji hałasu

Sygnal akustyczny generowany przez pojazd uprzywilejowany musi być dostatecznie głośny, aby w warunkach ruchu drogowego był dobrze rozpoznawany przez pozostałych uczestników ruchu. Wysoki poziom ciśnienia akustycznego sygnału ostrzegawczego powoduje, że dla załogi pojazdu uprzywilejowanego stanowi on uciążliwy i szkodliwy hałas. W artykule przedstawiono najważniejsze informacje na temat sygnalizacji akustycznej w pojazdach uprzywilejowanych jak również koncepcję ograniczenia niekorzystnego wpływu sygnału ostrzegawczego na załogę pojazdu uprzywilejowanego poprzez zastosowanie systemów aktywnej redukcji hałasu.

Cautionary device in preferential vehicles integrated with active noise reduction system

Acoustic warning signal generated by privileged vehicles should be loud enough to be well recognized in the road traffic. The high pressure level of the warning signal makes it a harmful noise for the crew of the privileged vehicle. This paper presents basic information about acoustic signalization in privileged vehicles as well as a method for limitation of influence of the noise generated by the acoustic warning device on vehicle crew.

Wstęp

Pojazdy uprzywilejowane stanowią stosunkowo niewielką, ale szczególną grupę na drogach, ponieważ od ich szybkiego i sprawnego przemieszczania się często zależy ludzkie życie. Ze względu na hałas komunikacyjny, stanowiący nieodłączny element ruchu drogowego, prawidłowy odbiór sygnału ostrzegawczego może być zapewniony jedynie przez odpowiednio wysoki poziom ciśnienia akustycznego. Niestety, dźwięk sygnalizatora ostrzegawczego we wnętrzu pojazdu uprzywilejowanego postrzegany jest nie jako sygnał użyteczny, lecz jako hałas. Jego poziom we wnętrzu pojazdu może przekraczać 90 dB, co negatywnie wpływa na warunki pracy kierowcy oraz pozostałych członków załogi pojazdu i w konsekwencji prowadzi do uszkodzenia słuchu. W warunkach akcji ratowniczej kierowca pojazdu uprzywilejowanego powinien mieć stały kontakt z załogą pojazdu oraz z centrum powiadomienia ratunkowego lub koordynacji działań ratowniczych. W wyniku oddziaływania hałasu pochodzącego od sygnalizatora zarówno jakość komunikacji bezpośredniej, jak i prowadzonej drogą radiową ulega znacznemu pogorszeniu. Ograniczenie wpływu hałasu sygnalizatora ostrzegawczego na kierowcę, przy jednoczesnym zapewnieniu dostatecznej zrozumiałości mowy w komunikacji słownej, możliwe jest

przez zastosowanie aktywnych metod redukcji hałasu [1, 2, 3], czyli dodatkowych, odpowiednio sterowanych źródeł dźwięku.

Sygnalizacja akustyczna w pojazdach uprzywilejowanych

Pojazd uprzywilejowany, czyli pojazd, któremu użytkownicy ruchu drogowego mają bezwzględny obowiązek ustąpienia pierwszeństwa przejazdu, to według kodeksu drogowego [4] „...pojazd wysyłający sygnały świetlne w postaci niebieskich świateł błyskowych i jednocześnie sygnały dźwiękowe o zmiennym tonie, jadący z włączonymi światłami mijania lub drogowymi...”. Dzięki zastosowaniu sygnalizacji dźwiękowej i świetlnej znajdujący się w ruchu pojazd uprzywilejowany może nawet ze znacznej odległości informować innych użytkowników dróg o swoim zbliżeniu się. Te dwa rodzaje sygnalizacji uzupełniają się wzajemnie. Sygnały świetlne pozwalają na precyzyjną lokalizację pojazdu uprzywilejowanego, zaś sygnały dźwiękowe już ze znacznej odległości informują użytkowników ruchu o obecności pojazdu uprzywilejowanego, nawet jeśli nie jest możliwa lokalizacja wzrokowa tego pojazdu.

Zarówno przepisy kodeksu drogowego, jak również inne przepisy nie precyzują szczegółowo, jakimi parametrami powinien cha-

rakteryzować się sygnał dźwiękowy pojazdu uprzywilejowanego. Szczegółowe wymagania dotyczące dźwiękowych sygnałów ostrzegawczych można znaleźć w normie PN-EN ISO 7731 [5]. Norma ta dotyczy wprawdzie dźwiękowych sygnałów bezpieczeństwa stosowanych w miejscach publicznych i miejscach pracy, niemniej jednak informacje dotyczące niektórych ich cech znajdują dobre odniesienie do sygnału ostrzegawczego pojazdu uprzywilejowanego. W normie wyraźnie podkreślono, że decydującym parametrem jakości dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa nie jest jego opis „techniczny” ale niezawodność rozpoznawania sygnału (zależna m.in. od jego słyszalności) w warunkach rzeczywistych. W praktyce odpowiednią słyszalność sygnału osiąga się, gdy poziom dźwięku A sygnału przekracza poziom dźwięku A hałasu o więcej niż 15 dB i jest równy lub wyższy niż 65 dB. Częstotliwość dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa powinna zawierać się w zakresie od 500 do 2500 Hz. Energia sygnału w zakresie częstotliwości mniejszej niż 1500 Hz powinna być na tyle duża, aby umożliwić percepcję sygnału osobom noszącym ochronniki słuchu. Znaczenie dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa powinno być jednoznaczne. Inne sygnały dźwiękowe niosące różne informacje nie powinny być do niego podobne. Dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa powinien różnić się od hałasu tła i innych sygnałów dźwiękowych co najmniej dwoma z trzech parametrów akustycznych: poziomem dźwięku A, widmem oraz przebiegiem w funkcji czasu. Dźwiękowe sygnały bezpieczeństwa powinny mieć charakter pulsacyjny. Częstotliwość powtarzania impulsu powinna zawierać się w zakresie od 0,5 do 4 Hz. W normie PN-EN ISO 7731 zaleca się unikanie zbyt gwałtownego narastania poziomu sygnału ostrzegawczego (np. większego niż 30 dB w ciągu 0,5 s), w przeciwnym razie sygnał może przestraszyć ostrzegane osoby.

Zaleca się również stosowanie sygnału, którego widmo zmienia się w czasie.

Sygnal ostrzegawczy nadawany przez znajdujący się w ruchu pojazd uprzywilejowany ma za zadanie poinformowanie innych uczestników ruchu o zbliżeniu się tego pojazdu. Sygnal akustyczny może spełnić swoją rolę informacyjną jedynie w przypadku jego prawidłowej percepcji. Pomimo wielu różnorodnych czynników wpływających negatywnie na percepcję sygnału ostrzegawczego pojazdu uprzywilejowanego, powinna ona być możliwa nawet kilkaset metrów przed poruszającym się pojazdem uprzywilejowanym. Biorąc pod uwagę wymagania stawiane dźwiękowym sygnałom bezpieczeństwa stosowanym w miejscach pracy, można przyjąć, że sygnał wytwarzany przez akustyczny sygnalizator pojazdu uprzywilejowanego powinien:

- być jednoznaczny i unikatowy
- mieć zmienną w czasie częstotliwość zawierającą się w zakresie od 500 do 2500 Hz
- charakteryzować się wysokim poziomem dźwięku A przekraczającym poziom hałasu tła.

Ze względu na to, że w warunkach ruchu drogowego nie można przewidzieć i określić poziomu dźwięku A wszelkich dźwięków składających się na hałas tła oraz ich zmienności w czasie, jak również tłumienia sygnału ostrzegawczego na drodze jego propagacji, zapewnienie prawidłowej percepcji sygnału ostrzegawczego w każdym przypadku jest możliwe głównie przez zastosowanie sygnału akustycznego o wysokim poziomie dźwięku A (np. przekraczającym 110 dB). W praktyce oznacza to, że we wnętrzu pojazdu poziom dźwięku A sygnału ostrzegawczego może przekraczać 90 dB [6]. Tak wysoki poziom dźwięku A hałasu, jaki stanowi dla załogi pojazdu uprzywilejowanego sygnał jej własnego sygnalizatora, powoduje wiele negatywnych skutków. Należy zatem dążyć do ograniczania tego hałasu i skutków nim wywołanych.

W tym celu można zastosować sygnalizator, który wytwarzałby sygnał akustyczny o poziomie zależnym od poziomu hałasu tła. Jest to jednak sposób ryzykowny, gdyż pomiary nie zawsze pozwalają na określenie warunków akustycznych w dalszej odległości od pojazdu uprzywilejowanego, jak również nie jest możliwe określenie tłumienia na drodze propagacji sygnału ostrzegawczego, co może powodować nieprawidłową percepcję sygnału lub jej brak.

Można także zwiększyć izolacyjność akustyczną kabiny przez zastosowanie materiałów dźwiękochłonna-izolacyjnych. Pozwala to na znaczne zredukowanie hałasu sygnalizatora we wnętrzu kabiny, ale także ma negatywne skutki. Uzyskanie dużej izolacyjności wymaga stosowania odpowiednio grubych i złożonych warstw materiałów lub ustrojów izolacyjnych. To z kolei pociąga za sobą zwiększenie kosztów produkcji pojazdu oraz jego masy i ogranicze-

nie przestrzeni we wnętrzu. Nadmierna izolacyjność kabiny oznacza również nadmierne odizolowanie kierowcy od sygnałów i dźwięków pochodzących od innych użytkowników ruchu, co w konsekwencji skutkuje większym ryzykiem powstania wypadku drogowego. Z tych właśnie powodów ograniczanie we wnętrzu kabiny pojazdu uprzywilejowanego hałasu pochodzącego od sygnalizatora akustycznego przez zwiększanie izolacyjności akustycznej tej kabiny jest odpowiednim sposobem tylko do pewnego poziomu.

Mając to na względzie zastosowanie metod aktywnych we wnętrzu pojazdu wydaje się być rozwiązaniem optymalnym.

Zastosowanie metod aktywnych do redukcji hałasu sygnalizatora

Zastosowanie aktywnych metod redukcji hałasu we wnętrzu pojazdu uprzywilejowanego pozwala na ograniczenie hałasu pochodzącego od sygnalizatora ostrzegawczego i docierającego do uszu kierowcy lub innego członka załogi oraz ograniczenie hałasu pochodzącego od sygnalizatora ostrzegawczego w torze komunikacji radiowej. Do ograniczania hałasu oddziałującego na kierowcę lub innego członka załogi pojazdu uprzywilejowanego można wykorzystać lekkie słuchawki aktywne [7], które redukują jedynie dźwięki pochodzące od sygnalizatora akustycznego, natomiast pozostałe dźwięki swobodnie docierają do uszu użytkowników je osób. Tym samym, obok ograniczenia szkodliwego i uciążliwego wpływu hałasu sygnalizatora ostrzegawczego na załogę pojazdu, poprawiona zostaje zrozumiałość mowy w komunikacji słownej w jego wnętrzu. Rozwiązaniem alternatywnym do słuchawek aktywnych może być zastosowanie zagłówek aktywnych tworzących strefę ciszy wokół głowy kierowcy [8]. Jednak, ze względu na fakt, że sygnalizator emituje dźwięki o wysokich częstotliwościach, strefa ciszy ma niewielkie rozmiary, co ogranicza możliwość zastosowania takiego rozwiązania w praktyce.

Hałas sygnalizatora można eliminować z toru komunikacji radiowej za pomocą zaawansowanych metod aktywnej filtracji sygnałów w torze elektroakustycznym [3]. Zastosowanie takiego rozwiązania może wydatnie poprawić zrozumiałość mowy w torze komunikacji z koordynatorem akcji ratunkowej i eliminować konieczność wielokrotnego powtarzania przesyłanych informacji, dzięki czemu kierowca pojazdu może efektywnie skoncentrować się na innych zadaniach.

Do ważniejszych elementów mających wpływ na skuteczność aktywnej redukcji należą złożoność i właściwości samego sygnału ostrzegawczego. Obecnie w pojazdach uprzywilejowanych stosowane są powszechnie trzy rodzaje sygnału ostrzegawczego [6], nazywane „Le-On”, „Wilk” i „Pies”. Sygnal „Le-On” (ang.

HI-LO) to najstarszy, najpowszechniej używany i najprostszy spośród tych sygnałów. Składa się z dwóch naprzemiennie generowanych tonów (rys. 1).

Na rys. 2. pokazany został przebieg czasowy sygnału „Wilk”. Jest to sygnał w postaci tonu o stopniowo rosnącej i opadającej częstotliwości w zakresie od 500 do 2000 Hz. Pełny okres zmian częstotliwości sygnału wynosi 8 s. Z przebiegu czasowego tego sygnału wynika, że charakteryzuje się on bardzo dużymi wahaniami amplitudy sygnału w jednym okresie sygnału.

Sygnal typu „Pies” (rys. 3.) to sygnał tonowy o bardzo szybko zmieniającej się częstotliwości z zakresu od 600 do 1800 Hz. Okres zmian częstotliwości sygnału wynosi 0,25 s. Występują także znaczące zmiany amplitudy sygnału wraz ze zmianą jego częstotliwości.

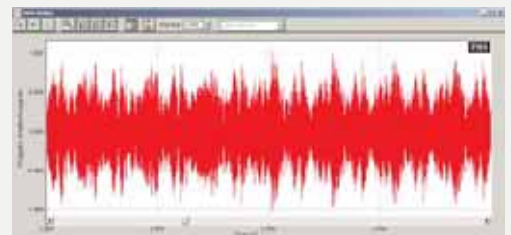
Te powszechnie używane trzy rodzaje sygnałów ostrzegawczych, z uwagi na swoją złożoność oraz parametry, powodują, że trudno jest uzyskać ich odpowiednio dużą skuteczność oraz stabilność systemu aktywnej redukcji. Celowe zatem byłoby opracowanie nowego sygnału akustycznego, który w zadowalający sposób spełniałby swoją rolę informacyjną, a jednocześnie byłby przystosowany do redukcji z zastosowaniem metod aktywnych. Takim sygnałem może być np. sygnał dwutonowy o składowych częstotliwościowych z zakresu



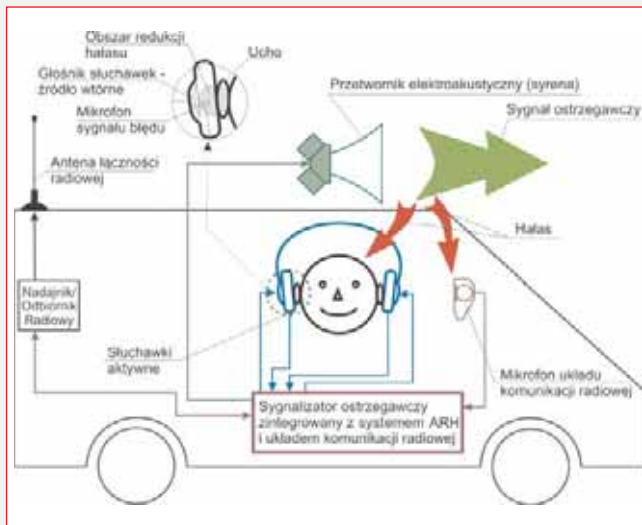
Rys. 1. Przebieg czasowy sygnału „Le-On”
Fig. 1. Time wave of a “HI-LO” signal



Rys. 2. Przebieg czasowy sygnału „Wilk”
Fig. 2. Time wave of a “Wail” signal



Rys. 3. Przebieg czasowy sygnału „Pies”
Fig. 3. Time wave of a “elp” signal



Rys. 4. Sygnalizator ostrzegawczy zintegrowany z układem komunikacji i systemem aktywnej redukcji hałasu (ARH) zainstalowany w pojeździe uprzywilejowanym

Fig. 4. Cautionary device integrated with communication and active noise reduction (ARN) systems installed in a preferential vehicle

od 300 do 1500 Hz (czyli podobny do powszechnie stosowanego sygnału „Le-On”) z odpowiednio modulowanymi amplitudami.

Układ sygnalizatora ostrzegawczego w pojazdach uprzywilejowanych zintegrowany z układem komunikacji i systemem aktywnej redukcji hałasu

W celu rozwiązania tego problemu w CIOP-PIB opracowano koncepcję i model zintegrowanego sygnalizatora ostrzegawczego do zastosowania w pojazdach uprzywilejowanych. Jest to złożone urządzenie mogące pełnić jednocześnie trzy funkcje (rys. 4.).

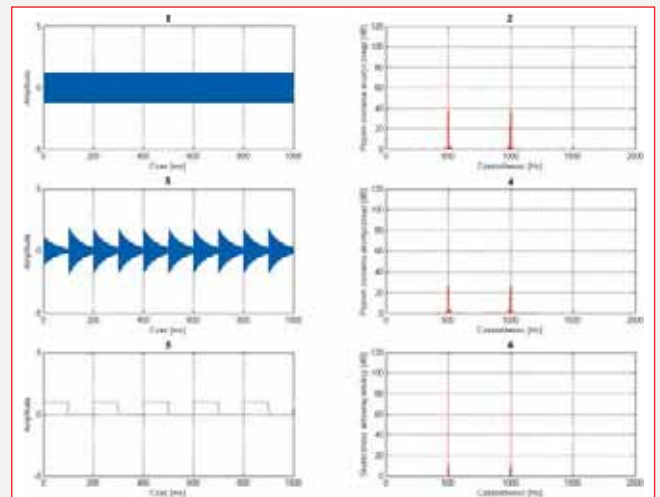
Pierwsza umożliwia generowanie sygnału ostrzegawczego pojazdu uprzywilejowanego za pomocą przetwornika elektroakustycznego, a druga usprawnia i poprawa funkcjonowanie łączności radiowej pomiędzy załogą pojazdu i dyspozytorem. W tym celu sygnalizator wyposażony jest we wbudowane elektroniczne układy współpracujące z mikrofonem układu komunikacji radiowej.

Trzecią funkcją sygnalizatora zintegrowanego jest aktywna redukcja hałasu docierającego do załogi pojazdu uprzywilejowanego (w szczególności kierowcy) i może być realizowana za pomocą słuchawek aktywnych [2, 7]. W dalszej części artykułu przedstawiono

wybrane wyniki badań symulacyjnych prowadzących do opracowania sygnalizatora.

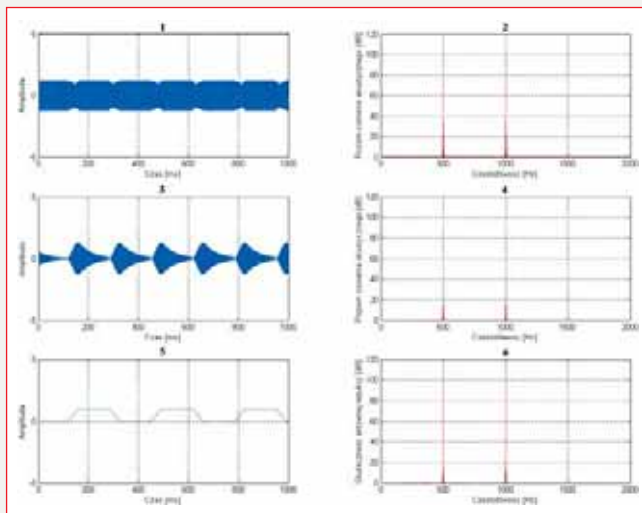
Badania symulacyjne systemu aktywnej redukcji hałasu przy różnych sygnałach ostrzegawczych

Na rysunkach 5. i 6. przedstawiono przykładowe wyniki badań symulacyjnych systemu aktywnej redukcji hałasu przy dwóch różnych sygnałach ostrzegawczych. Wykresy przedstawiają odpowiednio: 1. – przebieg sygnału ostrzegawczego w funkcji czasu, 2. – widmo sygnału ostrzegawczego, 3. – przebieg sygnału błęd (czyli sygnału po redukcji)



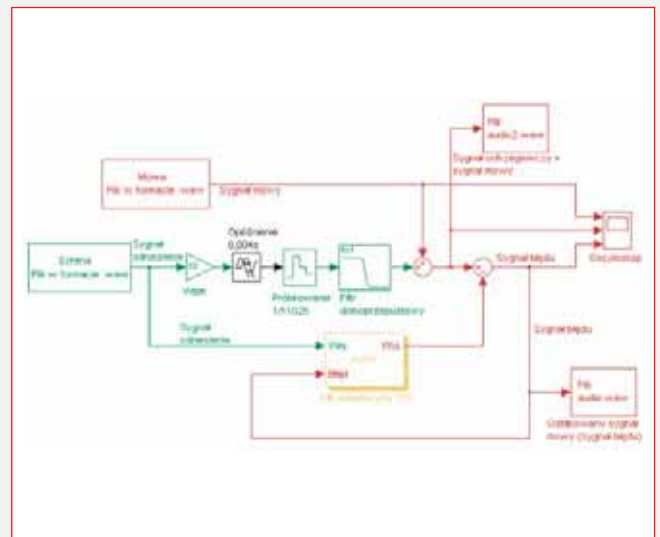
Rys. 5. Wyniki badań symulacyjnych odnoszące się do sygnału ostrzegawczego dwutonowego o częstotliwościach 500 i 1000 Hz oraz prostokątnego sygnału modulującego o częstotliwości 5 Hz

Fig. 5. Simulation research results for cautionary two-tone signal of 500 and 1000 Hz frequencies and square modulation signal of 5 Hz frequency



Rys. 6. Wyniki badań symulacyjnych odnoszące się do sygnału ostrzegawczego dwutonowego o częstotliwościach 500 i 1000 Hz oraz prostokątno-sinusoidalnego sygnału modulującego o częstotliwości 3 Hz

Fig. 6. Simulation research results for cautionary two-tone signal of 500 and 1000 Hz frequencies and square-sinusoidal modulation signal of 3 Hz frequency



Rys. 7. Schemat blokowy systemu aktywnej redukcji hałasu w torze komunikacji radiowej dla symulacji w środowisku MATLAB

Fig. 7. Block diagram of the active noise reduction system in the radio communication path used for MATLAB simulation environment

w funkcji czasu, 4. – widmo sygnału błędu, 5. – przebieg sygnału modulującego w funkcji czasu, 6. – skuteczność aktywnej redukcji. Na rys. 5. przedstawiono wyniki badań symulacyjnych systemu aktywnej redukcji hałasu w odniesieniu do sygnału ostrzegawczego o częstotliwościach tonów składowych 500 i 1000 Hz i sygnału modulującego o przebiegu prostokątnym o częstotliwości 5 Hz. Maksymalne amplitudy obu składowych tonowych sygnału są jednakowe. Modulacja sygnałem o przebiegu prostokątnym powoduje, że składowe te „pojawiają” się na przemian w sygnale ostrzegawczym, tzn. amplituda każdej składowej ma na przemian wartość maksymalną i wartość równą zero. W związku z tym na wykresie 1. sygnał ostrzegawczy, będący sumą składowych tonowych, ma obwiednię w postaci linii prostej. Na wykresie 3. obrazującym przebieg czasowy sygnału błędu, widać zachowanie się systemu aktywnej redukcji w chwili zmiany skokowej częstotliwości sygnału. Przy każdej takiej zmianie następuje skokowy wzrost amplitudy sygnału błędu i proces adaptacji musi rozpocząć się od nowa. Jak wynika z wykresów 4. i 6., podstawowe składowe sygnału ostrzegawczego modulowanego sygnałem o przebiegu prostokątnym są redukowane niemal całkowicie, a osiągnięta skuteczność aktywnej redukcji wynosi około 65 dB (przy poziomie sygnału ostrzegawczego wynoszącym około 90 dB). Skokowe zmiany parametrów sygnału redukowanego powodują jednak pogorszenie stabilności systemu aktywnej redukcji hałasu (tzn. w pewnych warunkach system może podwyższać poziom hałasu zamiast go redukować).

Na rys. 6. przedstawiono wyniki symulacji odnoszące się do sygnału ostrzegawczego dwutonowego (o częstotliwościach tonów 500 Hz i 1000 Hz) oraz sygnału modulującego o przebiegu prostokątno-sinusoidalnym o częstotliwości 3 Hz. Obwiednia takiego sygnału ostrzegawczego zbliżona jest do obwiedni sygnału, w którym wykorzystano modulację sygnałem prostokątnym (wykres 1.), jednak amplitudy tonów nie są zmieniane skokowo, lecz w krótkim odcinku czasu (w stosunku do okresu sygnału modulującego) amplituda jednego tonu stopniowo narasta, a drugiego maleje.

W przypadku sygnału ostrzegawczego z modulacją składowych tonowych sygnałem o przebiegu prostokątno-sinusoidalnym osiągnięta skuteczność aktywnej redukcji wynosi około 65-70 dB (w zależności od częstotliwości sygnału modulującego), a zatem jest nieznacznie większa niż w przypadku sygnału ostrzegawczego o składowych tonowych modulowanych sygnałem o przebiegiem prostokątnym. Badania symulacyjne wykazały, że płynna zmiana amplitud składowych tonowych

pozwala na znaczące zwiększenie stabilności systemu aktywnej redukcji hałasu.

Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wynika, że korzystniejszym z punktu widzenia zastosowania aktywnych metod redukcji sygnałem ostrzegawczym dla pojazdu uprzywilejowanego jest sygnał dwutonowy z modulacją składowych tonowych przebiegiem prostokątno-sinusoidalnym o małej częstotliwości (np. 3 Hz).

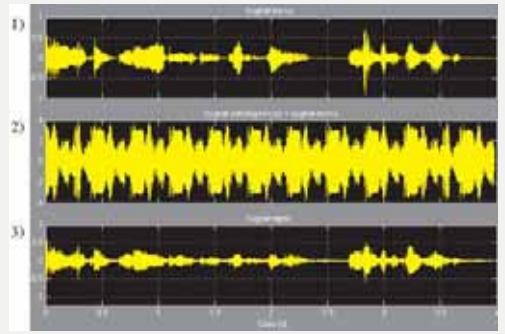
Badania symulacyjne systemu aktywnej redukcji hałasu w torze komunikacji radiowej

Na rys. 7. przedstawiono schemat blokowy systemu aktywnej redukcji hałasu w torze komunikacji radiowej, którego badania symulacyjne prowadzono w środowisku MATLAB. Dźwięk sygnalizatora ostrzegawczego jest wzmacniany (wzm.), opóźniany i po przejściu przez filtr dolnoprzepustowy łączy się z sygnałem mowy. Węzeł, w którym sumują się sygnały mowy i ostrzegawczy, odpowiada mikrofonowi w układzie komunikacji radiowej. Oczywiście akustyczny sygnał ostrzegawczy w rzeczywistym pojeździe uprzywilejowanym, zanim dotrze z głośnika sygnalizatora do mikrofonu służącego do nadawania komunikatów radiowych, musi przebyć pewną ścieżkę akustyczną, której w symulowanym systemie odpowiada blok opóźniający.

Sygnał ostrzegawczy jest jednocześnie sygnałem odniesienia dla filtru adaptacyjnego [3] o skończonej odpowiedzi impulsowej (SOI), stanowiącego podstawę systemu aktywnej redukcji hałasu. Sygnał wyjściowy z filtru łączy się w drugim węźle sumacyjnym z sygnałem będącym sumą sygnału mowy i sygnału ostrzegawczego. W wyniku nałożenia się tych sygnałów powstaje sygnał błędu, który z założenia powinien być sygnałem mowy odfiltrowanym z sygnału ostrzegawczego. Sygnał ten jest wykorzystywany w procesie adaptacji filtru SOI. W badaniach symulacyjnych przyjęto liczbę współczynników filtru SOI równą 80 oraz założono, że typowe opóźnienie sygnału ostrzegawczego w ścieżce akustycznej wynosi 0,004 sekundy (co oznacza odległość 1,4m, którą w tym czasie może przebyć sygnał akustyczny). Sygnał ostrzegawczy, którego nagranie użyto podczas symulacji, był sygnałem typu „Pies”.

Na rys. 8. przedstawiono przykładowe wyniki badań symulacyjnych – przebiegi czasowe: 1) – sygnału mowy, 2) – nałożonych na siebie sygnałów mowy i ostrzegawczego oraz 3) – odfiltrowanego sygnału mowy (sygnału błędu).

Z przeprowadzonych badań wynika, że zaprojektowany system aktywnej redukcji hałasu w torze komunikacji radiowej jest skuteczny nawet w przypadku sygnałów ostrzegawczych



Rys. 8. Wyniki symulacji systemu aktywnej redukcji hałasu w torze komunikacji radiowej

Fig. 8. Simulation results of active noise reduction in the radio communication path

o dużych poziomach. Sygnał ostrzegawczy został odfiltrowany praktycznie całkowicie, a sygnał mowy został zniekształcony jedynie w minimalnym stopniu.

Podsumowanie

Sygnał ostrzegawczy pochodzący od sygnalizatora pojazdu uprzywilejowanego stanowi dla załogi tego pojazdu uciążliwy i szkodliwy hałas. Przeprowadzone w CIOP-PIB badania wykazały, że rozwiązaniem tego problemu jest wykorzystanie metod aktywnych, które umożliwiają zmniejszenie narażenia na hałas załogi pojazdu przy równoczesnym zachowaniu funkcji ostrzegawczych sygnału. Powiązanie układu sygnalizatora z systemami aktywnej redukcji hałasu w jednym urządzeniu pozwala zarówno na skuteczne ograniczenie hałasu docierającego do załogi pojazdu uprzywilejowanego, jak i poprawę zrozumiałości mowy podczas komunikacji drogą radiową.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Z. Engel, Makarewicz G., Morzyński L., W. M. Zawieska *Metody aktywne redukcji hałasu*. CIOP, Warszawa 2001
- [2] P. Górski *Możliwości zastosowania dźwiękowego sygnalizatora ostrzegawczego z układem aktywnym*, „Bezpieczeństwo Pracy” 2(403)2005, str. 11-13
- [3] G. Makarewicz *Wybrane cyfrowe systemy aktywnej redukcji hałasu*. CIOP, Warszawa 2002
- [4] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym. T. jedn. DzU 2005 nr 108 poz. 908
- [5] PN-EN ISO 7731:2006 *Ergonomia. Sygnały dźwiękowe bezpieczeństwa dla obszarów publicznych i obszarów pracy. Dźwiękowe sygnały bezpieczeństwa*
- [6] P. Górski *Sygnalizacja akustyczna w pojazdach uprzywilejowanych*. „Bezpieczeństwo Pracy” 7-8(384-385)2003, str. 26-28
- [7] P. Minodzki, L. Morzyński, J. Narkiewicz-Jodko *Sluchawki aktywne z cyfrowym układem sterującym*, Materiały 50. Otwartego Seminarium z Akustyki, Szczyrk-Gliwice, 2003, str. 462-465
- [8] L. Morzyński *Aktywna redukcja hałasu niskoczęstotliwościowego w dźwiękoizolacyjnych kabinach przemysłowych*. „Bezpieczeństwo Pracy”, 1(402)2005 str. 4-7