

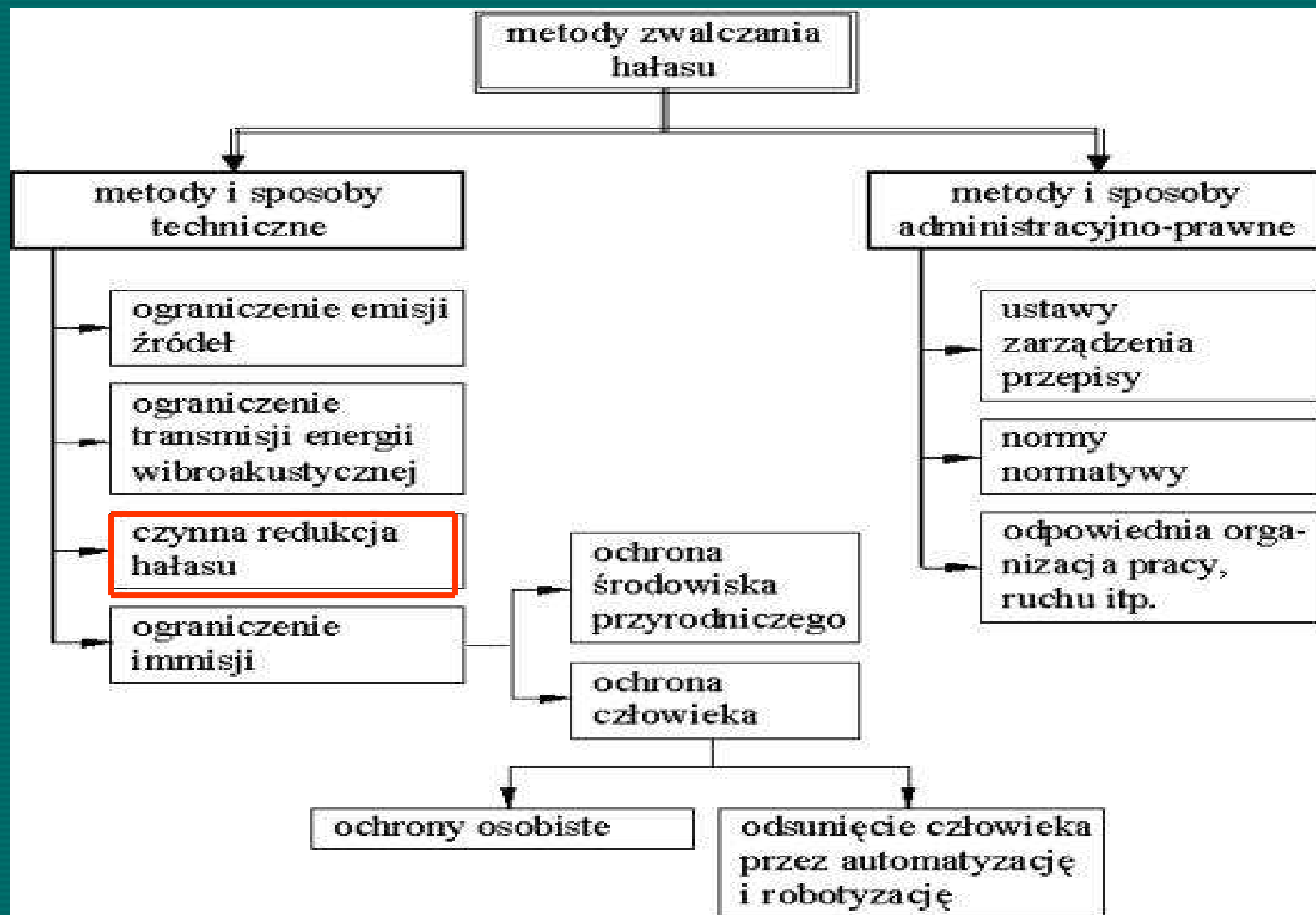
Przegląd współczesnych metod aktywnej redukcji hałasu

Ochrona przeciwdźwiękowa

Plan wykładu

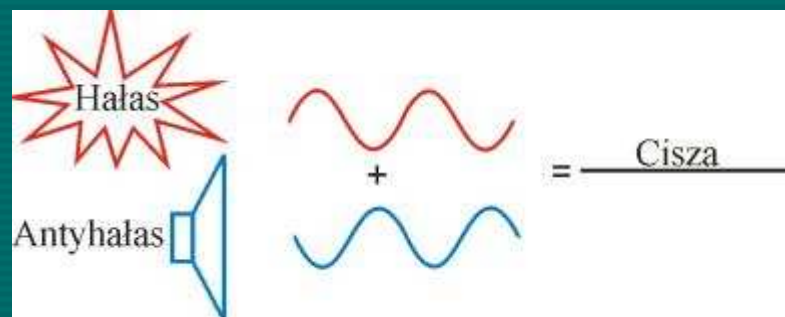
- **Wprowadzenie**
- **Rys historyczny – aspekt polski**
- **Przegląd współczesnych metod aktywnej redukcji hałasu (ARH)**
- **Przykładowe zastosowania**
- **Kierunki rozwoju**
- **Podsumowanie**

Wprowadzenie



Wprowadzenie

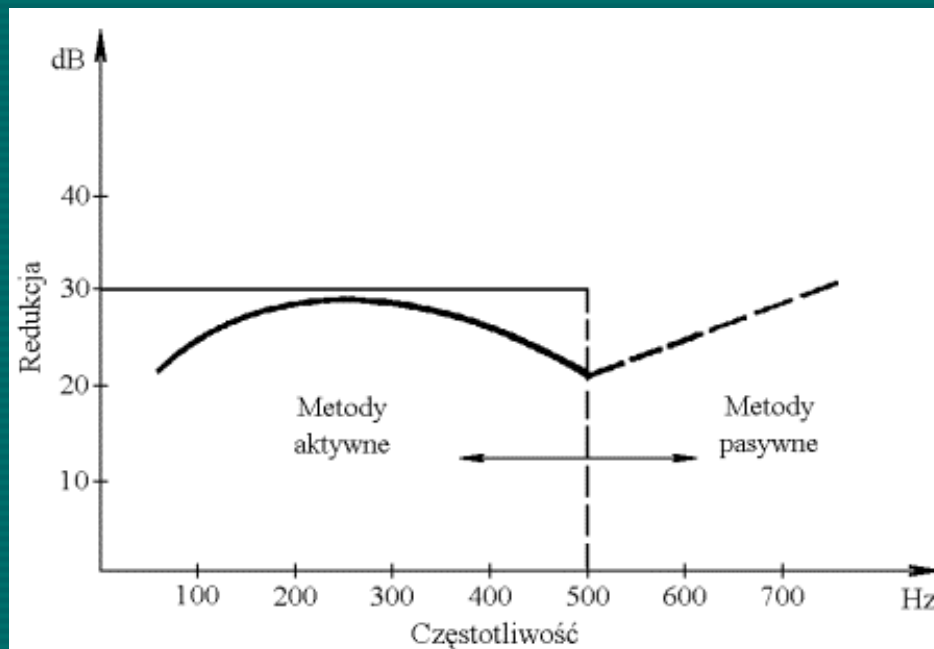
Aktywna redukcja hałasu polega na wykorzystaniu do obniżania poziomu hałasu emitowanego przez określone źródło zwane pierwotnym bądź kompensowanym, dodatkowego źródła zwanego wtórnym, bądź kompensującym. Na skutek zjawiska nakładania się fal akustycznych wytworzonych przez źródło dźwięku i odpowiednio wysterowane źródło wtórne następuje redukcja hałasu.



Realizacja tej prostej koncepcji jest w praktyce niezwykle trudna z powodu rygorystycznych wymagań stabilności geometrii układu. Dlatego metody aktywnej redukcji hałasu do tej pory znajdują zastosowanie w ograniczonych przestrzeniach

Wprowadzenie

Redukować można przede wszystkim tylko dźwięki o niskich częstotliwościach. Inne można niwelować przez zastosowanie np. ekranów. Dźwięki o niższych częstotliwościach trudno wygłuszyć, bowiem przenikają przez prawie wszystkie przeszkody. Trudno pozbyć się np. "buczenia" transformatorów, sprężarek czy systemów wentylacyjnych, generują one bowiem właśnie dźwięki o niskich częstotliwościach. Ich źródłem jest także praca silnika śmigłowca czy traktora.



Rys historyczny

Ideę ARH wymyślono już na początku ubiegłego wieku, ale dopiero późniejszy rozwój elektroniki umożliwił jej szersze wykorzystanie. Najpierw zainteresowało się tym wojsko, by wyciszać pracę silników łodzi podwodnych, wozów pancernych i samolotów. Metody aktywne redukcji drgań i hałasu wyszły następnie z laboratoriów naukowych i znajdują w chwili obecnej coraz szersze zastosowania praktyczne.

Do rozwoju metod aktywnych przyczynił się rozwój szeregu dyscyplin naukowych, wśród których wymienić należy:

- teorię drgań,
- akustykę,
- wibroakustykę,
- elektronikę,
- teorię sterowania,
- informatykę,
- technikę komputerową

Rys historyczny – aspekt polski

Prace naukowo – badawcze związane z metodami aktywnymi prowadzone są w wielu ośrodkach naukowych całego świata, w tym również w Polsce.

Jednym z polskich specjalistów w sprawie aktywnej redukcji hałasu jest dr Grzegorz Makarewicz z Pracowni Aktywnych Metod Redukcji Hałasu Centralnego Instytutu Ochrony Pracy, gdzie opracowano polską wersję takiego urządzenia.

Umieszczenie systemu aktywnie redukującego hałas przy zbyt głośnym urządzeniu lub w ochronnikach zakładanych na uszy przez pilotów i kierowców skutecznie niweluje hałas.

Polskie urządzenia nie ustępują w niczym tym produkowanym na Zachodzie, a są od nich wielokrotnie tańsze.

Podział systemów aktywnej redukcji hałasu

Systemy aktywnej redukcji hałasu można sklasyfikować wg różnych kryteriów. Najbardziej czytelny jednak z praktycznego punktu widzenia jest podział oparty na realizacji sterowania.

W tym kontekście można wyróżnić:

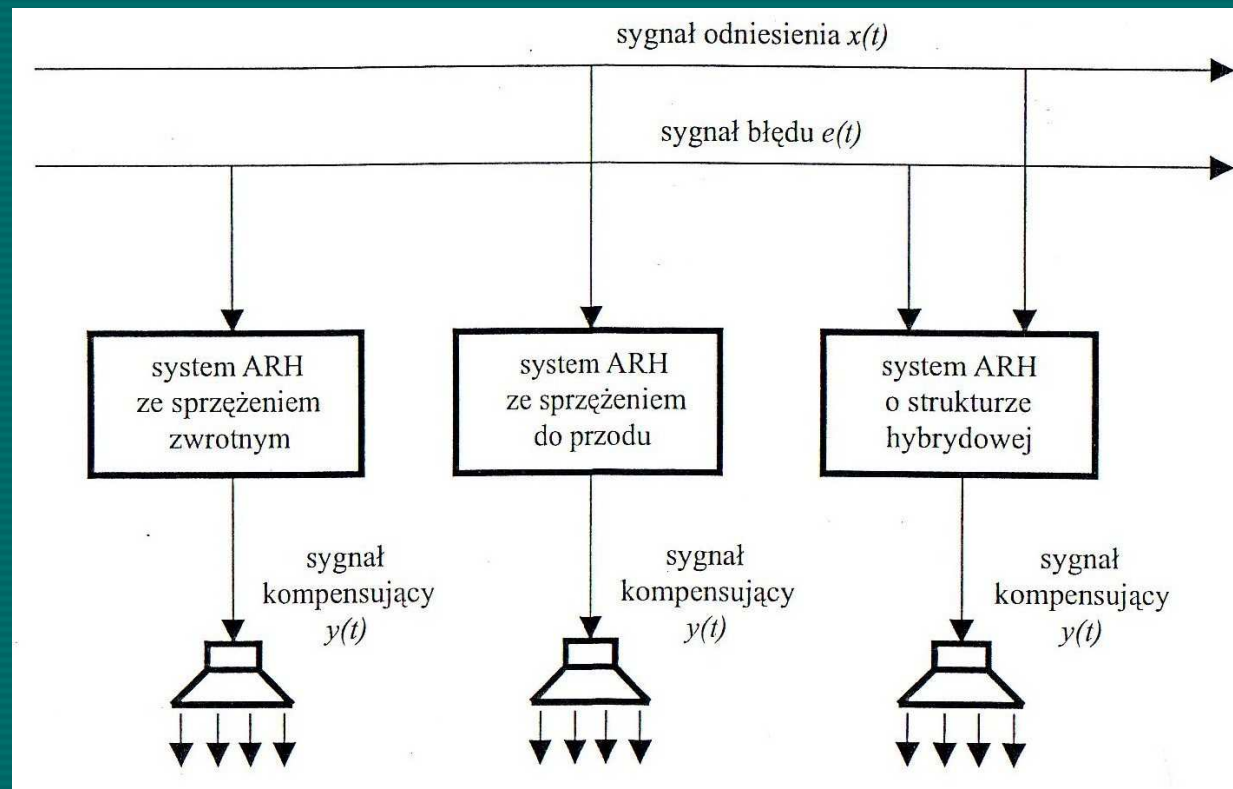
- systemy ze sprzężeniem zwrotnym
- systemy ze sprzężeniem do przodu
(systemy ze sterowaniem z wyprzedzeniem)

Dodatkowo omówione zostaną:

- systemy hybrydowe (łącznie właściwości 2 poprzednich)
- systemy wielokanałowe

Podział systemów aktywnej redukcji hałasu

Podstawową różnicą pomiędzy tymi systemami jest sposób wytwarzania sygnału kompensującego.

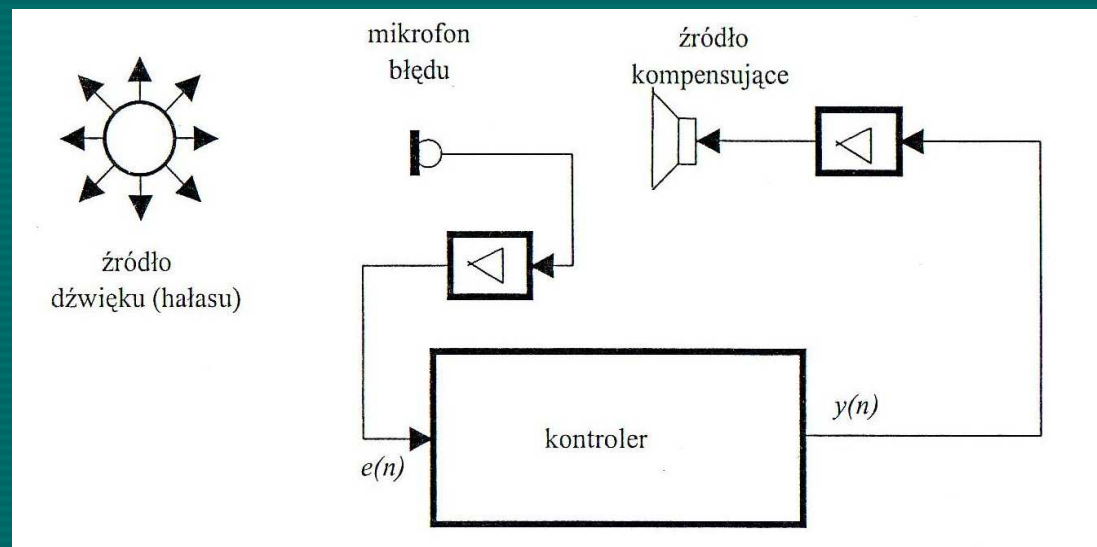


Systemy ze sprzężeniem zwrotnym

W systemie ze sprzężeniem zwrotnym mamy do czynienia z jednym kanałem. Parametry sygnału kompensowanego mierzone są za pomocą mikrofonu. Sygnał podawany jest na wejście kontrolera, którego zadaniem jest wytworzenie sygnału zasilającego źródło kompensujące w taki sposób, aby zminimalizować sygnał kompensowany w punkcie umieszczenia mikrofonu.

Mikrofon pełni tu podwójną rolę:

- detektor sygnału błędu
- detektor sygnału kompensowanego



Systemy ze sprzężeniem zwrotnym cd.

Wady systemu:

- ograniczony przestrzennie lokalny charakter systemu
- warunkiem uzyskania dużej redukcji poziomu hałasu jest duże wzmocnienie w pętli sprzężenia zwrotnego – utrata stabilności

Ze względu na osiągnięte parametry użytkowe systemy te stosowane są coraz rzadziej a wypierane są coraz częściej przez systemy ze sterowaniem do przodu.

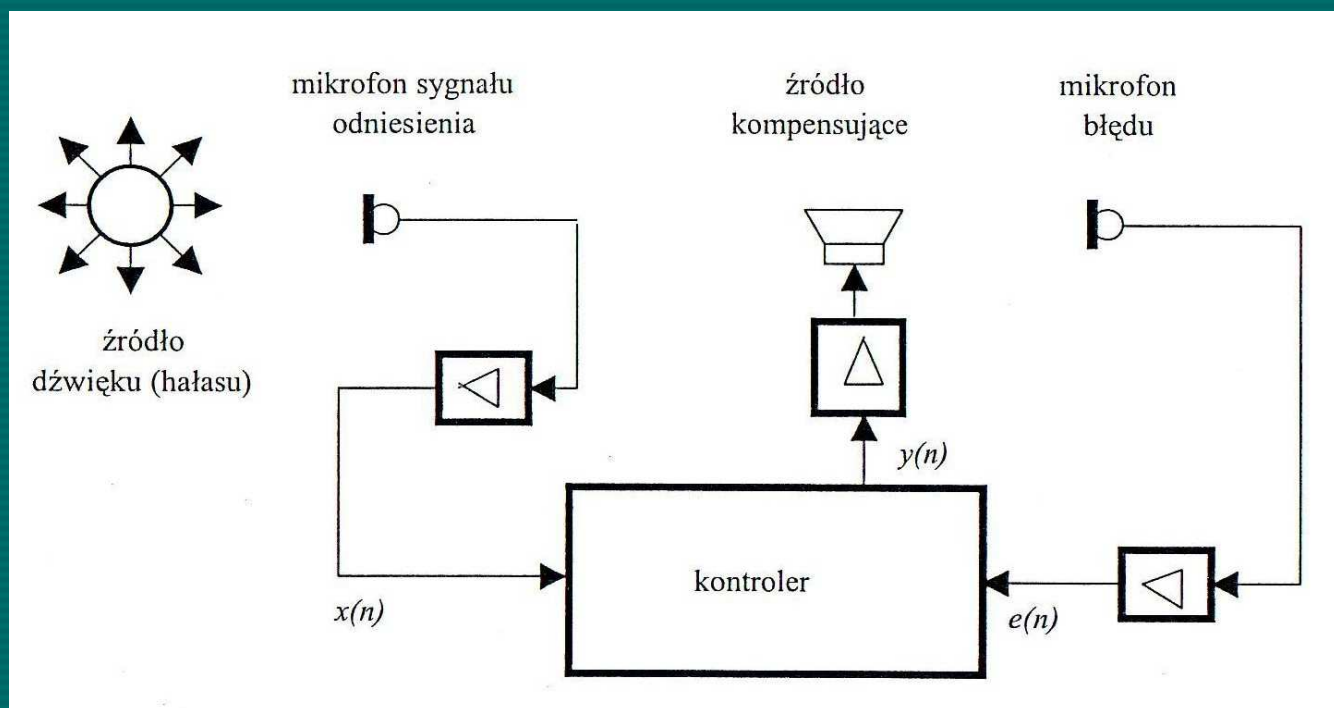
Zalety:

- prostota kontrolera

Wykorzystuje się tą zaletę w przypadkach, kiedy źródła hałasu emitują sygnały z jedną dominującą składową i wymaga się zmniejszenia poziomu hałasu w bardzo ograniczonym obszarze np. nauszniki przeciwhałasowe

Systemy ze sprzężeniem do przodu

Schemat blokowy systemu aktywnej redukcji hałasu ze sprzężeniem do przodu:



W systemie można wyróżnić trzy ścieżki sygnałowe:

- ścieżkę sygnału odniesienia $x(n)$,
- ścieżkę sygnału błędu $e(n)$,
- ścieżkę sygnału kompensującego $y(n)$,

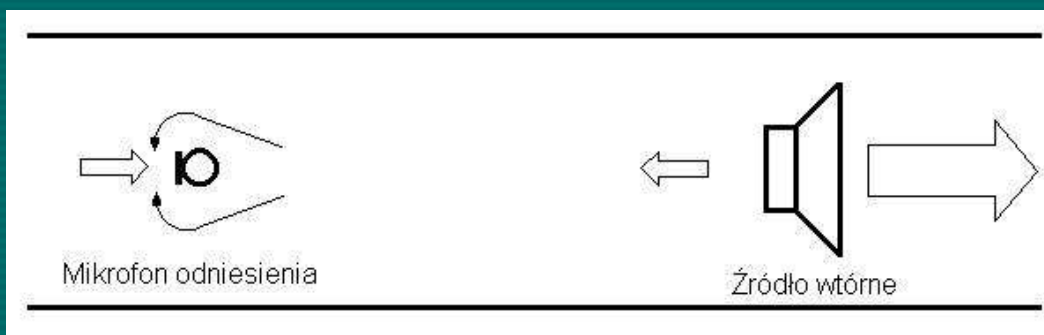
Systemy ze sprzężeniem do przodu

W systemach ze sterowaniem z wyprzedzeniem (sprzężeniem w przód) ważne jest eliminowanie wpływu sprzężenia zwrotnego pomiędzy źródłem wtórnym, a przetwornikiem sygnału odniesienia. Sprzężenie to ma negatywny wpływ na stabilność i skuteczność działania systemu aktywnej kompensacji dźwięku i powinno być wyeliminowane lub ograniczone. Można je wyeliminować stosując jako przetwornik sygnału odniesienia element pomiarowy nie będący mikrofonem np. tachometr, akcelerometr. Takie podejście jest możliwe tylko wtedy, gdy sygnał z tego elementu pomiarowego będzie zawierał informację o hałasie emitowanym przez źródło pierwotne, a często tak właśnie jest.

Systemy ze sprzężeniem do przodu

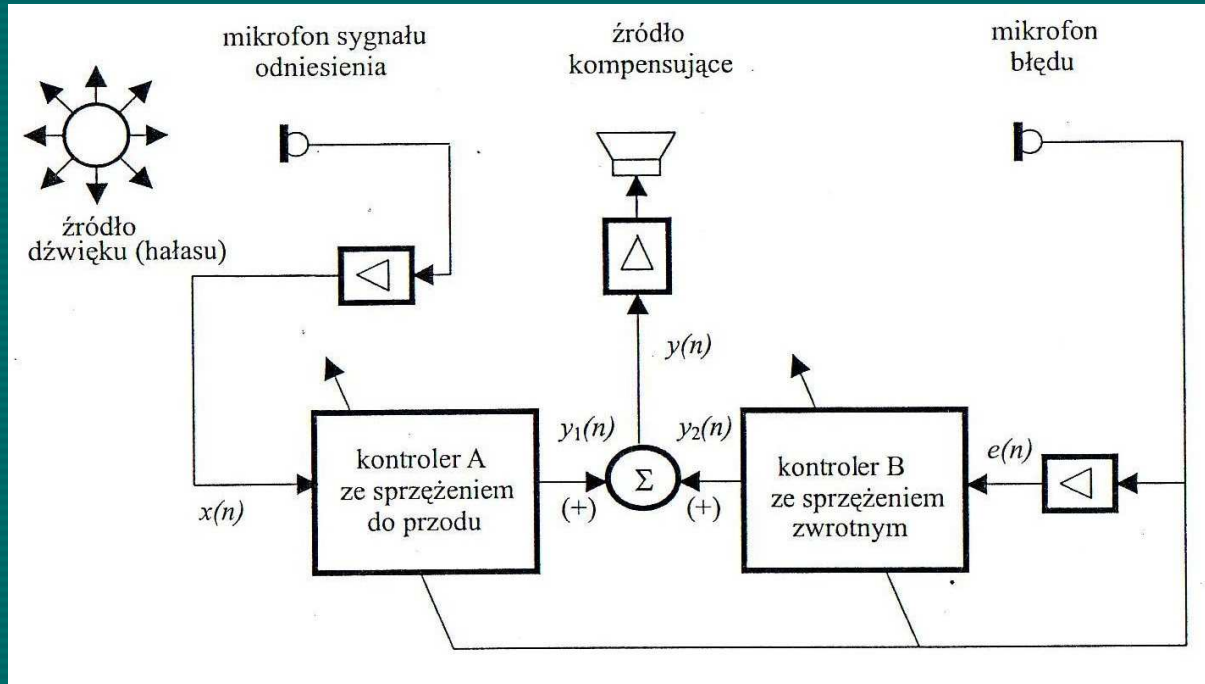
Jeżeli nie możliwe jest wyeliminowanie sprzężenia zwrotnego pomiędzy źródłem wtórnym, a przetwornikiem sygnału odniesienia należy je ograniczyć stosując jeden bądź kilka z przedstawionych poniżej sposobów:

1. sterownik systemu zrealizować jako filtr adaptacyjny o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (np. struktura RLMS).
2. jeżeli fala pierwotna propaguje w ściśle określonym kierunku, a tak jest np. w falowodach akustycznych (systemy wentylacyjne itp.) zastosować przetwornik sygnału odniesienia w postaci mikrofonu o takiej charakterystyce kierunkowej, aby zminimalizować stosunek sygnału pochodzącego od źródła wtórnego do sygnału pochodzącego od źródła pierwotnego
3. zastosować źródło wtórne, które będzie miało odpowiednią charakterystykę kierunkową



Systemy hybrydowe

Systemy te spotyka się dość rzadko. Stanowią one połączenie struktury ze sprzężeniem zwrotnym ze strukturą ze sprzężeniem do przodu.



Układ ze sprzężeniem zwrotnym jest w tym przypadku elementem poprawiającym skuteczność aktywnej redukcji. Można powiedzieć, że system działa dwutorowo – szerokopasmową redukcję zapewnia mu kontroler ze sprzężeniem zwrotnym do przodu, zaś sygnał, który nie może być skompensowany przez ten kontroler, podlega redukcji za pomocą wąskopasmowego kontrolera ze sprzężeniem zwrotnym.

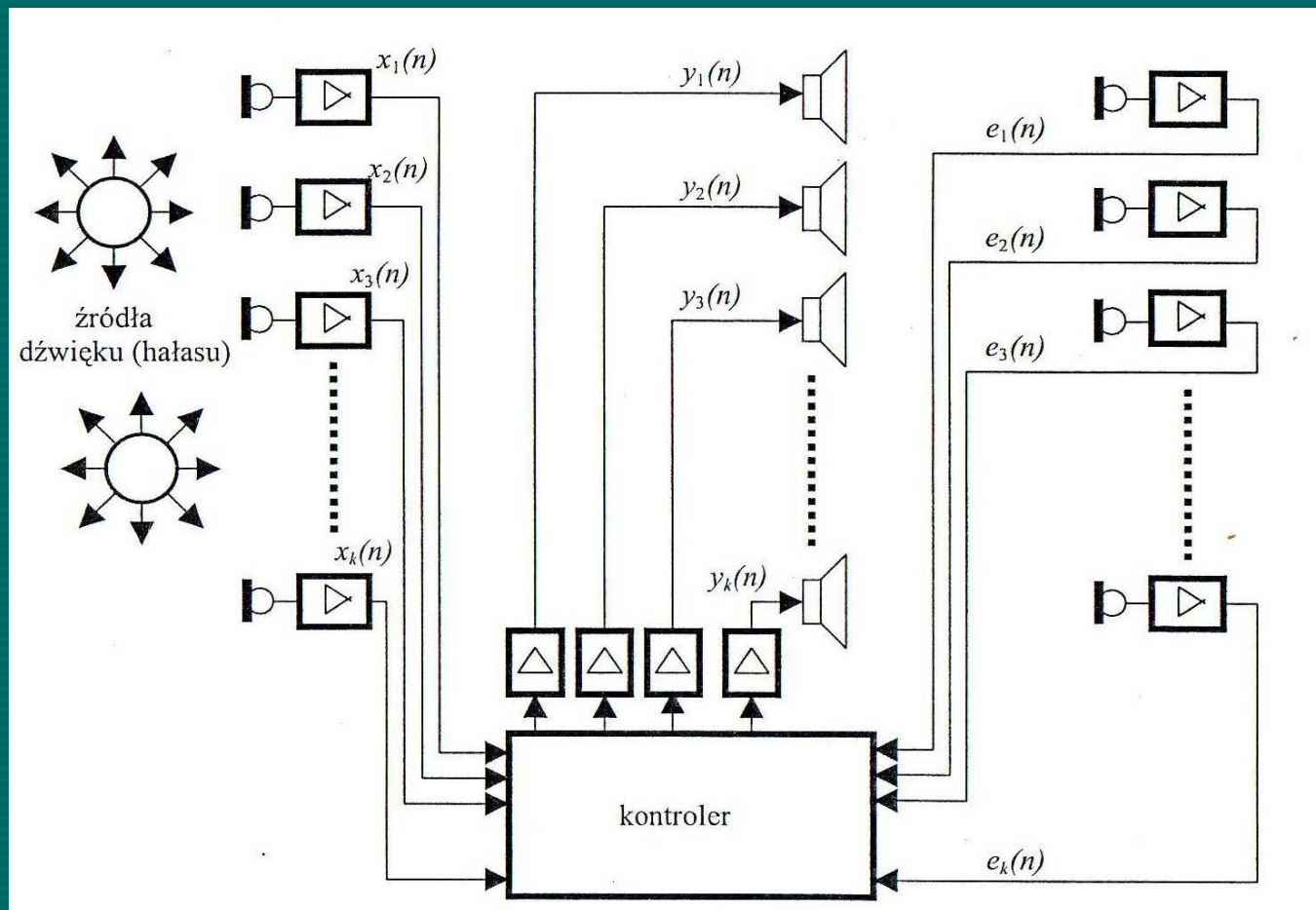
Systemy wielokanałowe

Systemy wielokanałowe stosuje się w przypadku:

- złożonego źródła hałasu
- złożonego charakteru pola akustycznego wokół źródła i /lub
- wymagań, aby uzyskać efekt globalnej aktywnej redukcji lub redukcji w sensie lokalnym w dużym obszarze w przestrzeni.

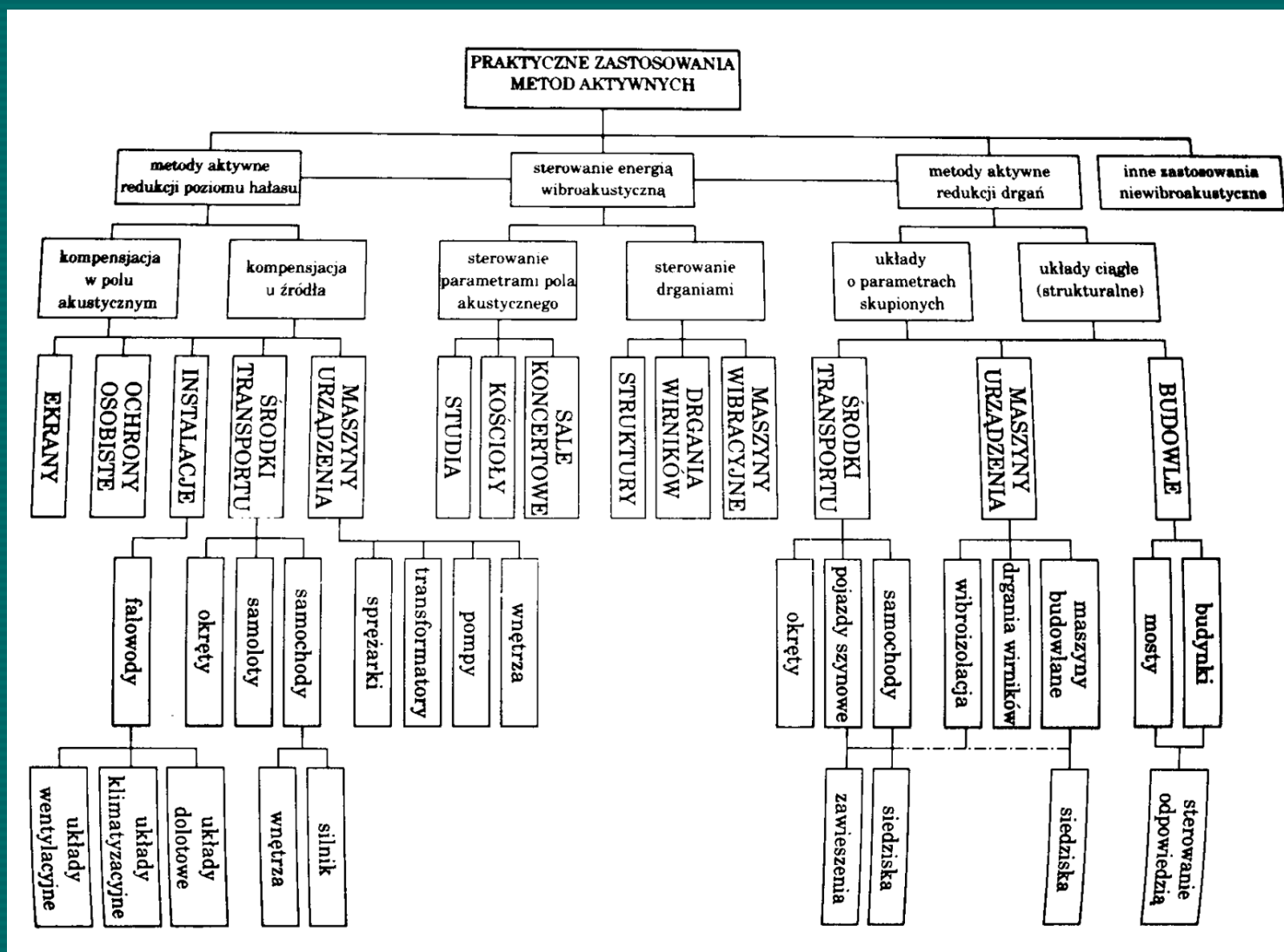
W praktyce systemy te stosuje się rzadko, ponieważ są bardzo kosztowne i złożone. Stosuje się je przede wszystkim tam, gdzie koszty wdrożenia pełnią rolę drugorzędną np. w samolotach pasażerskich o podwyższonym standardzie podróżowania.

Systemy wielokanałowe



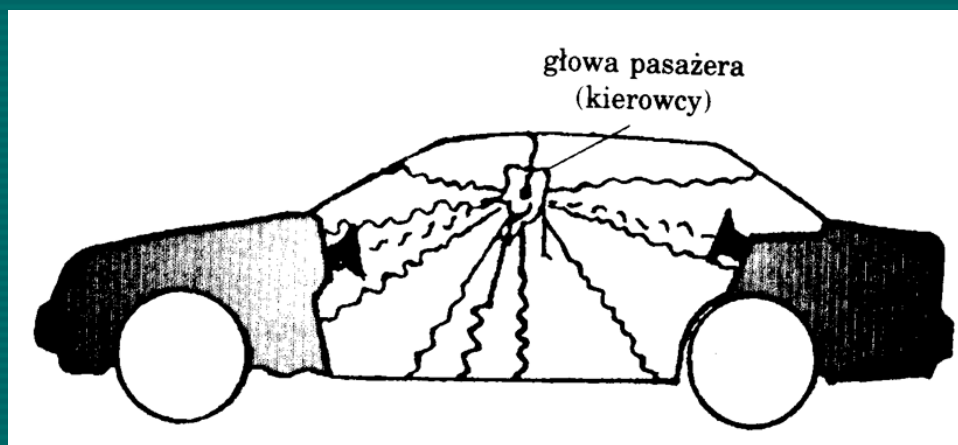
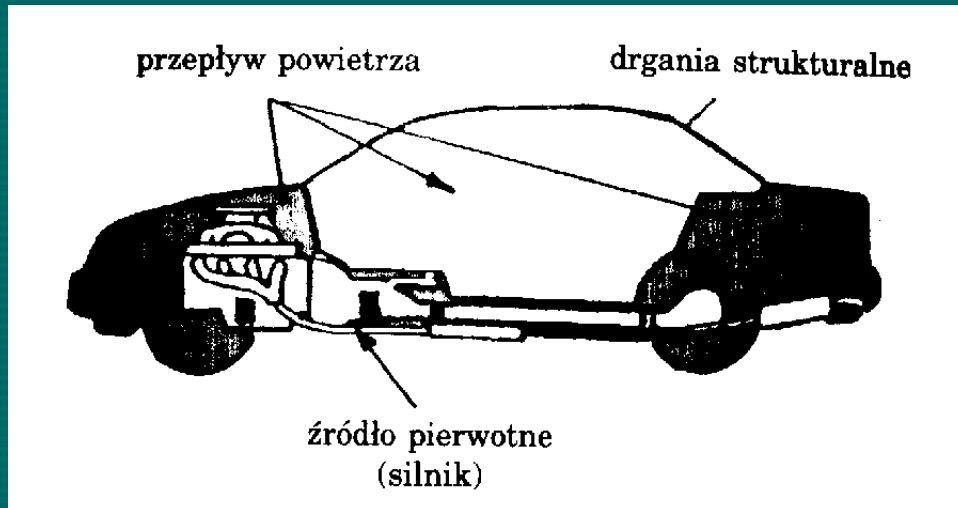
Przykładowe zastosowania

Główne miejsca zastosowania aktywnej redukcji hałasu to przemysł i gospodarka oraz środki komunikacji



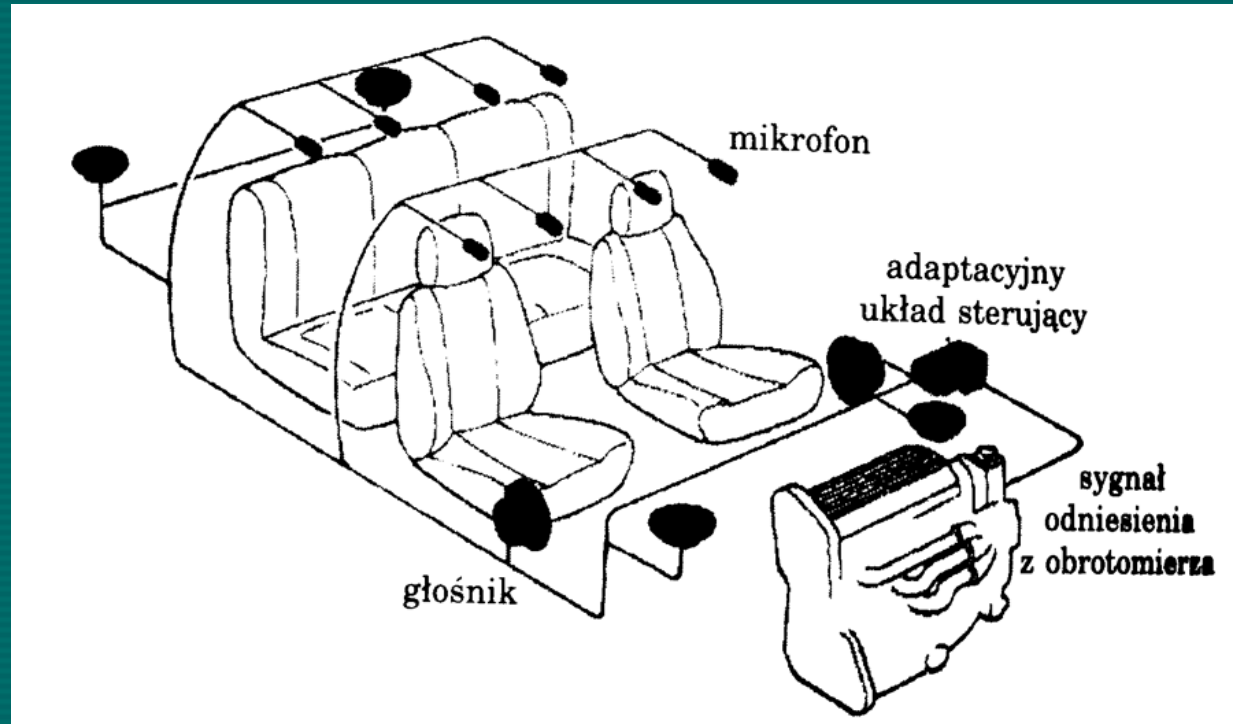
Zastosowanie ARH w komunikacji (samochody)

Hałas jest najczęściej niskoczęstotliwościowy, jego głównymi źródłami są silnik, drgające nadwozie, przepływ powietrza



Zastosowanie ARH w komunikacji (samochody)

Wyciszenie wnętrza pojazdu

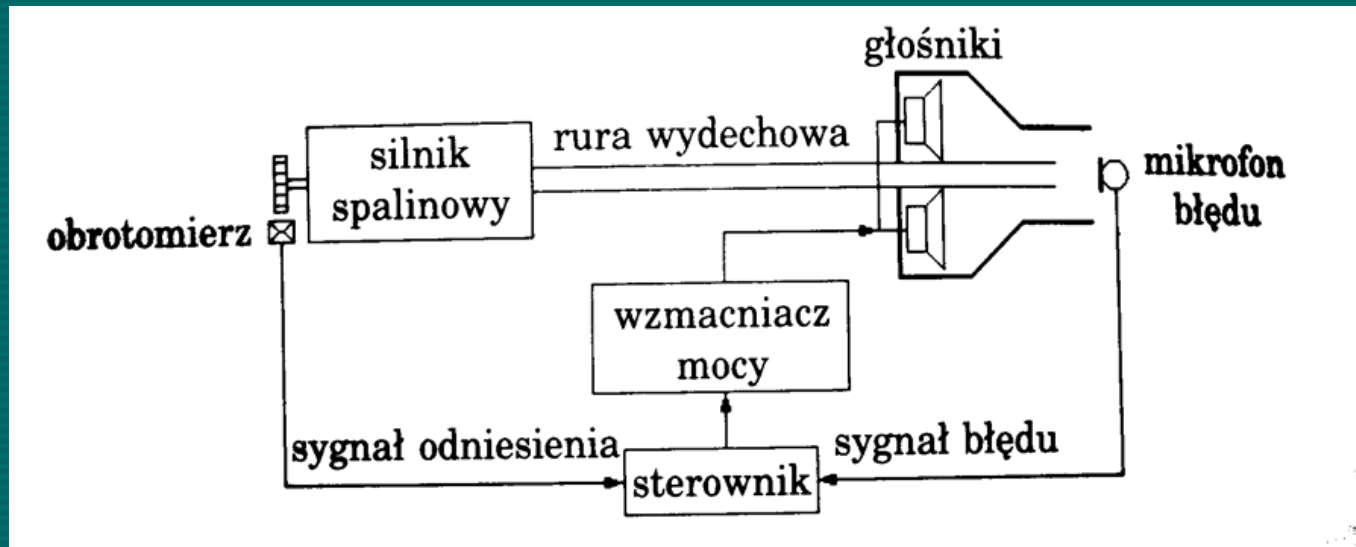


Cechy:

- 6 źródeł wtórnych
- 8 mikrofonów sygnału błędu
- aktywny system redukcji drgań silnika
(równoczesne stosowanie aktywnej redukcji dźwięku oraz drgań mechanicznych)

Zastosowanie ARH w komunikacji (samochody)

Aktywna redukcja hałasu układów wydechowych

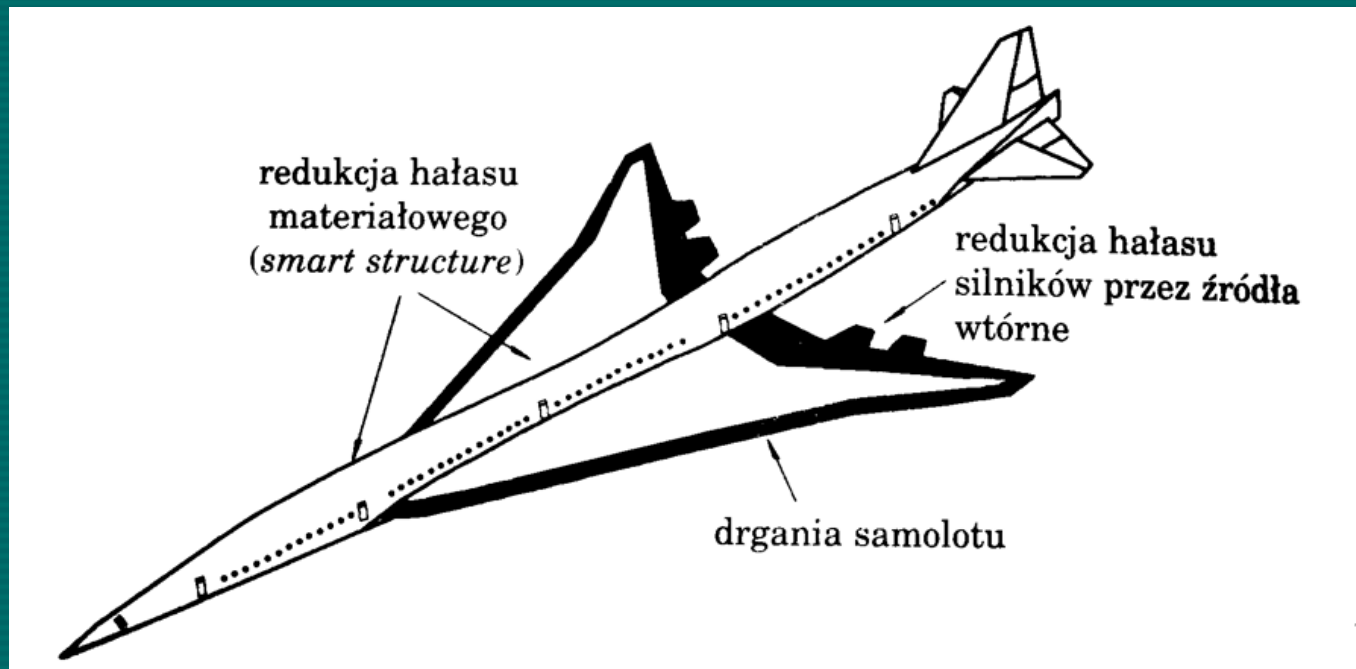


Cechy:

- głośniki umieszczone na zewnątrz układu wydechowego z powodu wysokiej temperatury gazów wylotowych
- mikrofon sygnału błędu u wylotu w specjalnej osłonie (najczęściej stosuje się tłumiki aktywne w połączeniu z pasywnymi, które lepiej tłumią wyższe częstotliwości)

Zastosowanie ARH w komunikacji (samoloty)

Podobnie jak w przypadku samochodów, w samolotach głównymi źródłami hałasu są silniki i drgania strukturalne



Do redukcji hałasu strukturalnego wykorzystuje się tzw. *smart structures*, natomiast hałas od silników jest neutralizowany przez systemy aktywnego wyciszania kabin samolotów

Zastosowanie ARH w komunikacji (samoloty)

Wyciszanie kabiny

Wiele firm produkuje w pełni komercyjne wersje systemów wyciszania kabin do różnych typów samolotów (śmigłowe, odrzutowe).



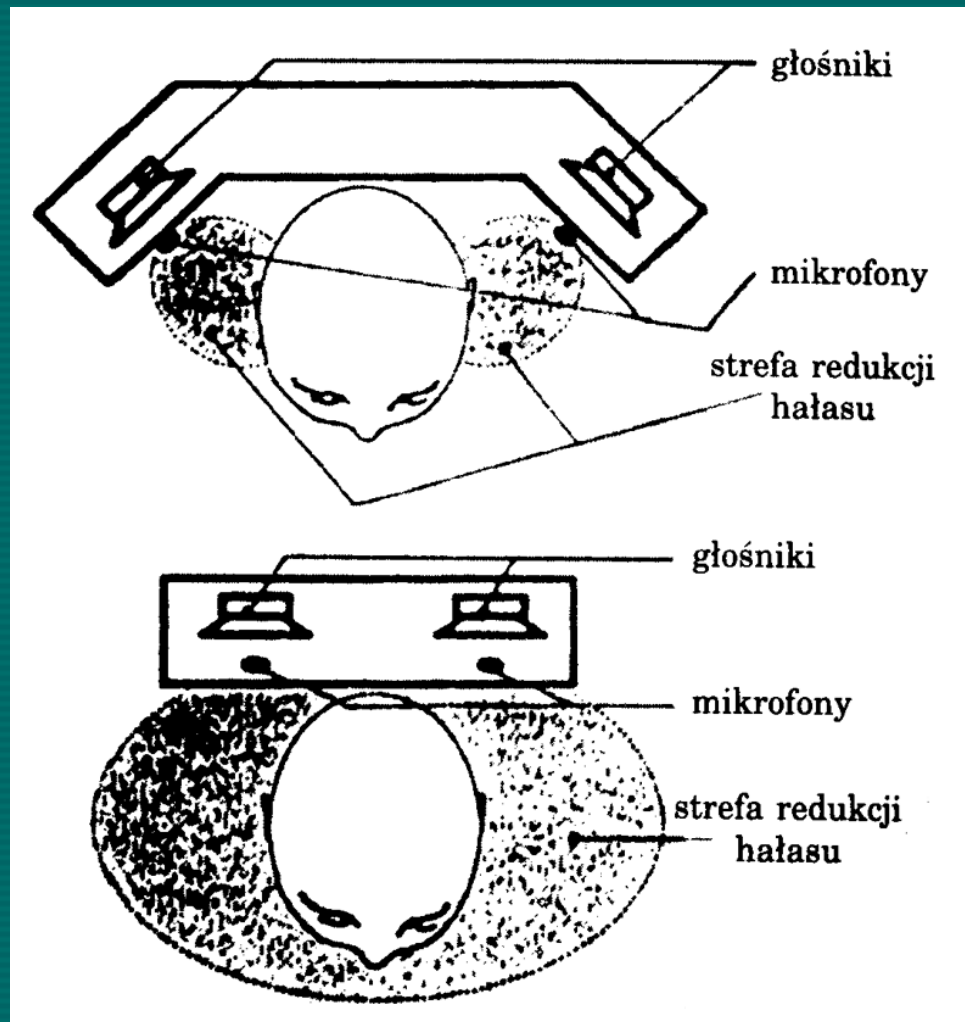
Cechy ogólne:

- liczba układów sterujących - 1
- liczba źródeł wtórnych - 6 do 16
- liczba detektorów sygnału odniesienia - 2
- liczba mikrofonów błędu – 16 do 33
- masa - 23kg do 44kg
- napięcie zasilania 28V ; pobierana moc 150W

Zastosowanie ARH w komunikacji (samoloty)

Wyciszanie kabiny

Rozmieszczanie źródeł wtórnych i mikrofonów w zagłówkach

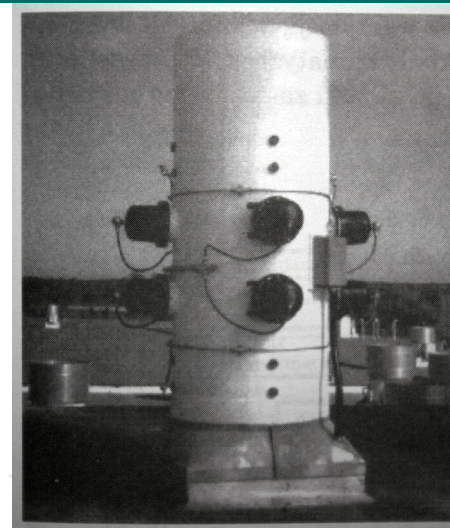
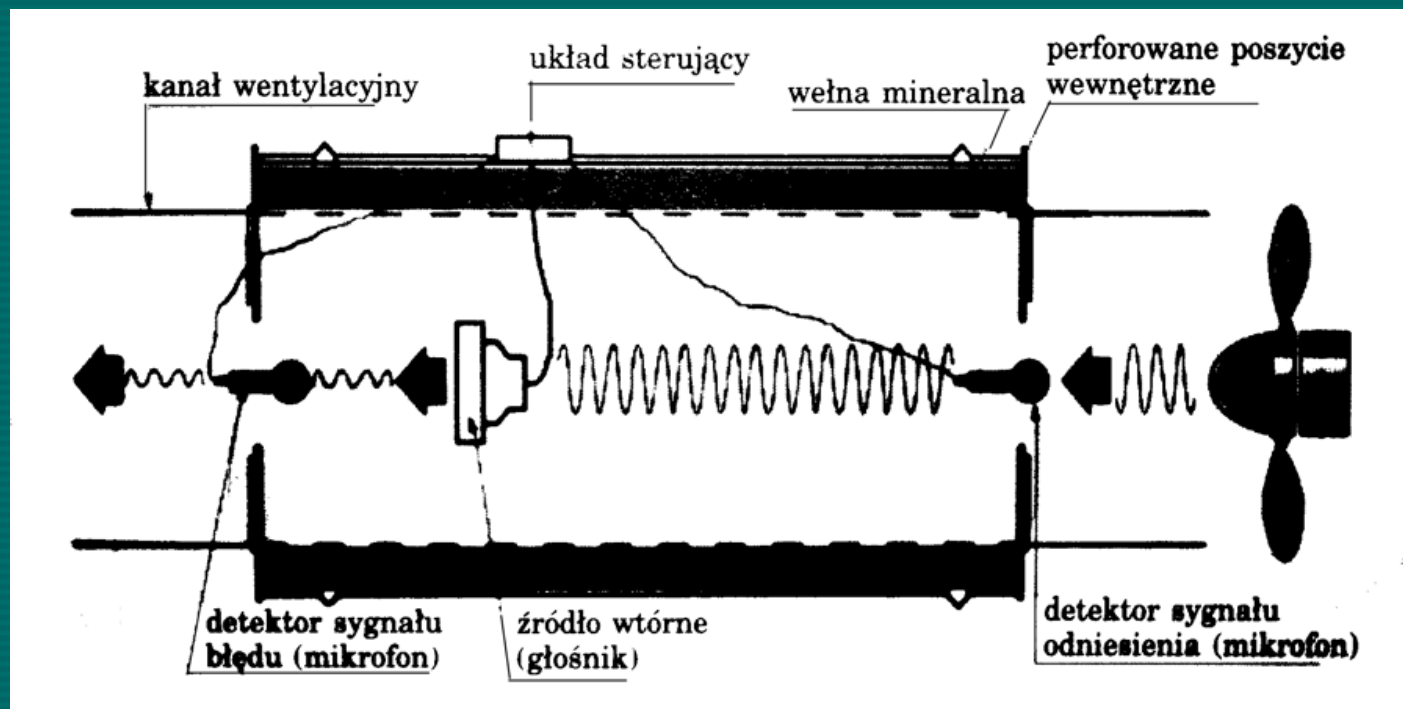


Zastosowanie ARH w wentylacji

Jedno z najbardziej powszechnych zastosowań.

Hałas jest zazwyczaj wąskopasmowy:

- często pojedynczy ton na f łopatkowej wentylatora
- niskoczęstotliwościowy (f łopatkowa = pr.obr * l. łopatek)
- wewnątrz kanału przebieg jest niemal sinusoidalny

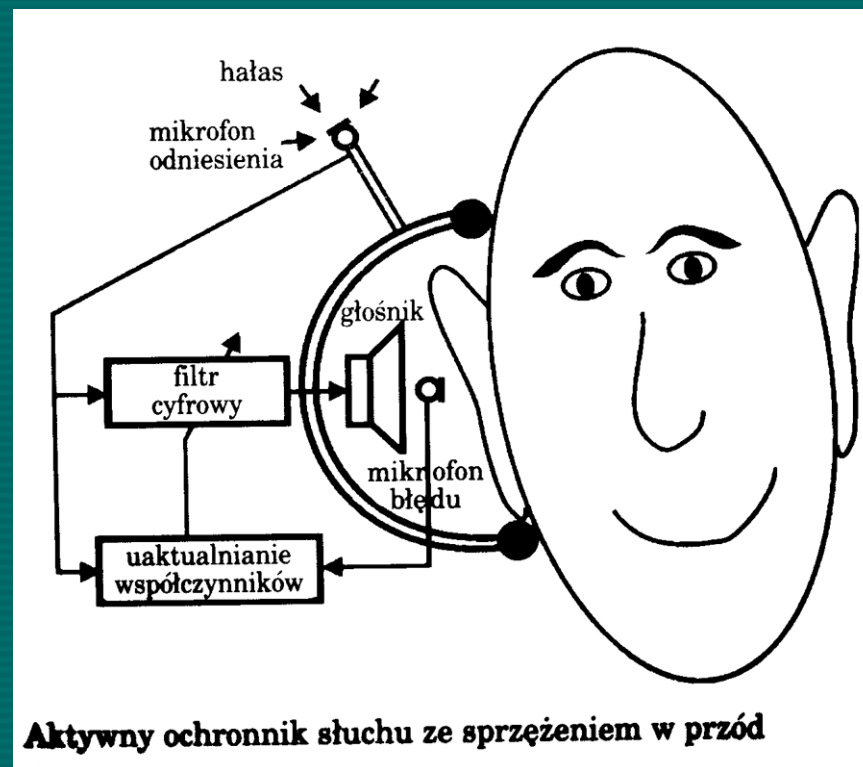
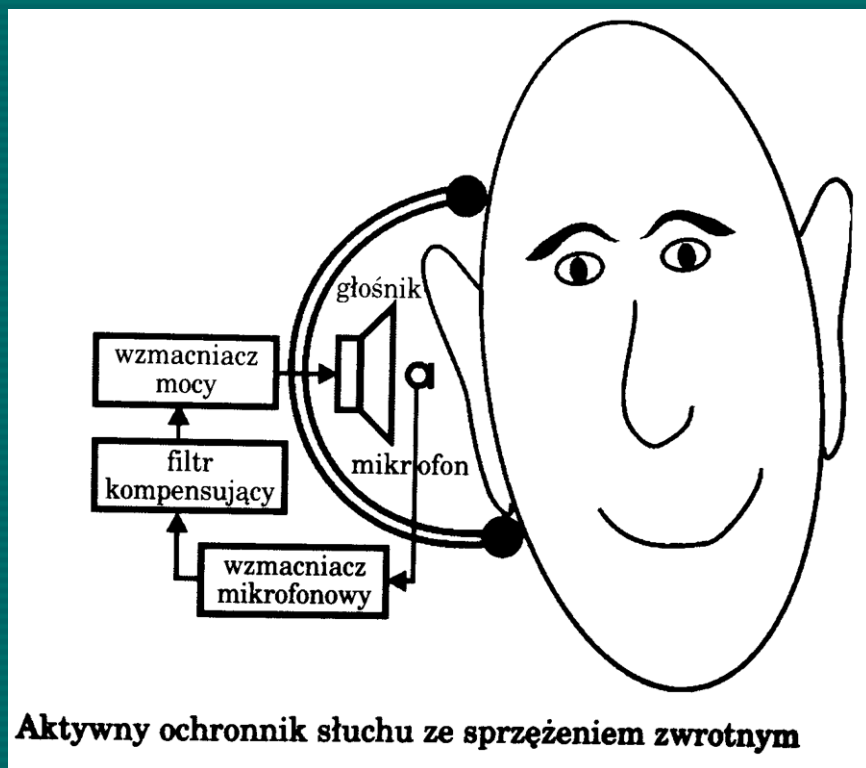


Zastosowanie ARH w nausznikach (ochronniki słuchu)

Podział ze względu na budowę:

ze sprzężeniem zwrotnym
(często analogowe, na baterie)

ze sprzężeniem w przód
(cyfrowe, podłączane kablem
do pulpitu i zasilania)



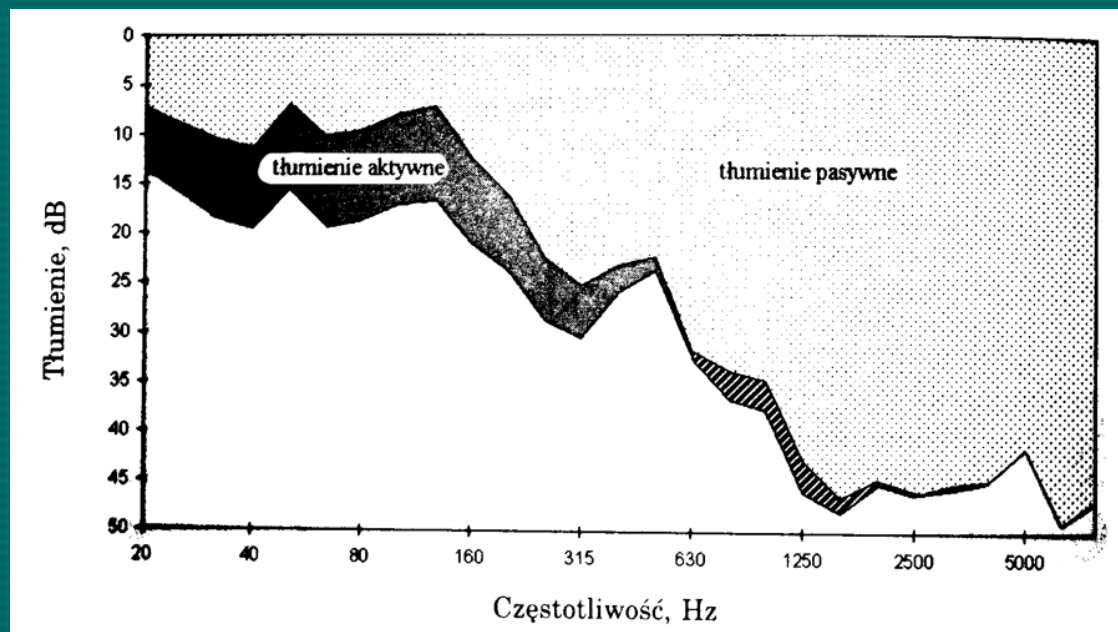
Zastosowanie ARH w nausznikach (ochronniki słuchu)

Cechy charakterystyczne:

- redukcja hałasu do 20dB w zakresie 20-500HZ
- znacznie droższe od pasywnych

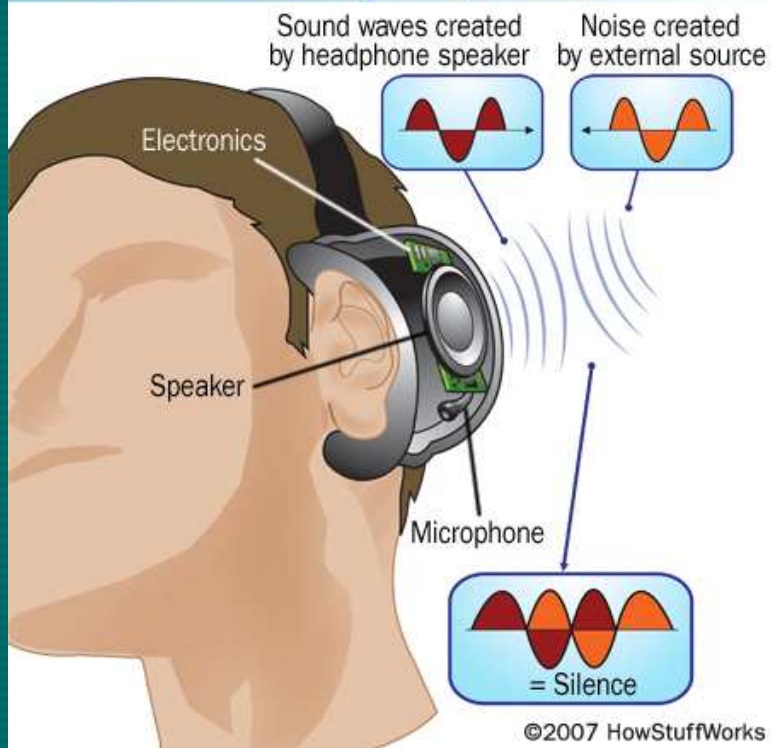


Polski produkt:



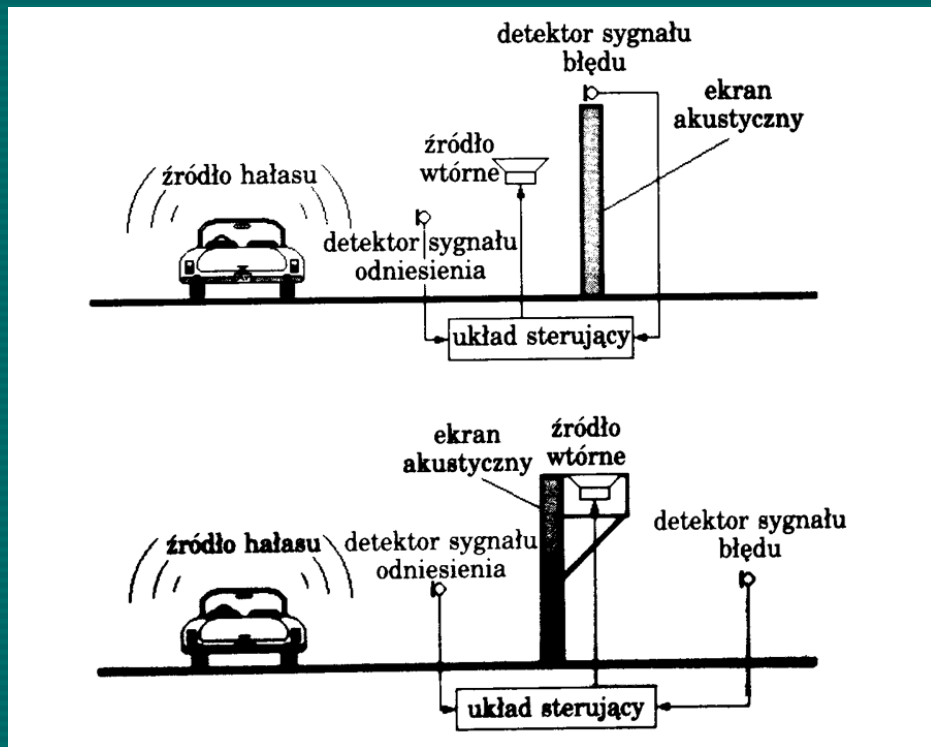
Zastosowanie ARH w nausznikach (słuchawki muzyczne)

Inside noise-canceling headphones

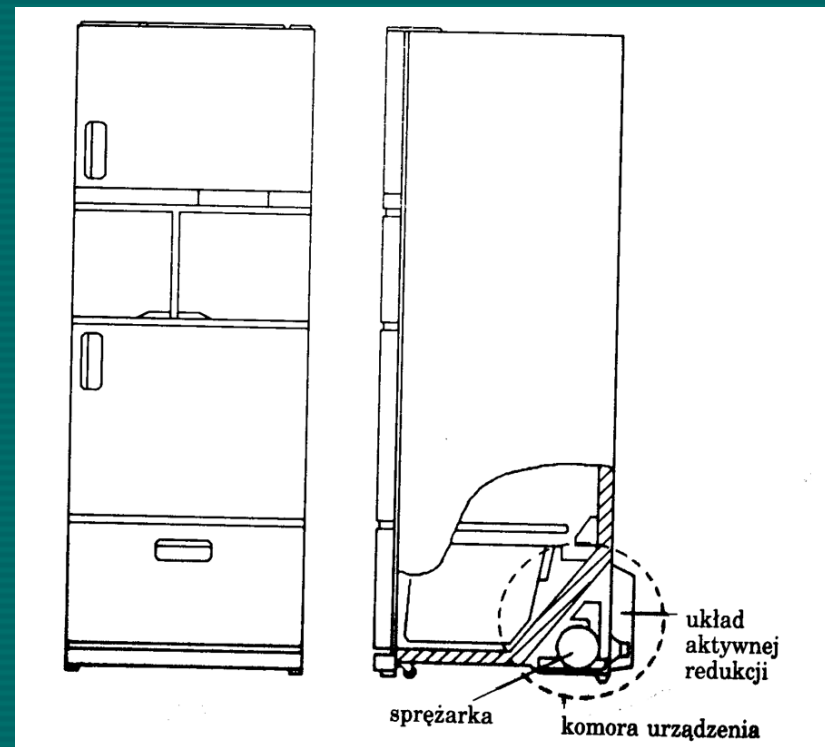


Inne zastosowania ARH

Aktywne ekrany akustyczne



Sprzęty AGD



Rozwiązania układów sterowania w metodach ARH

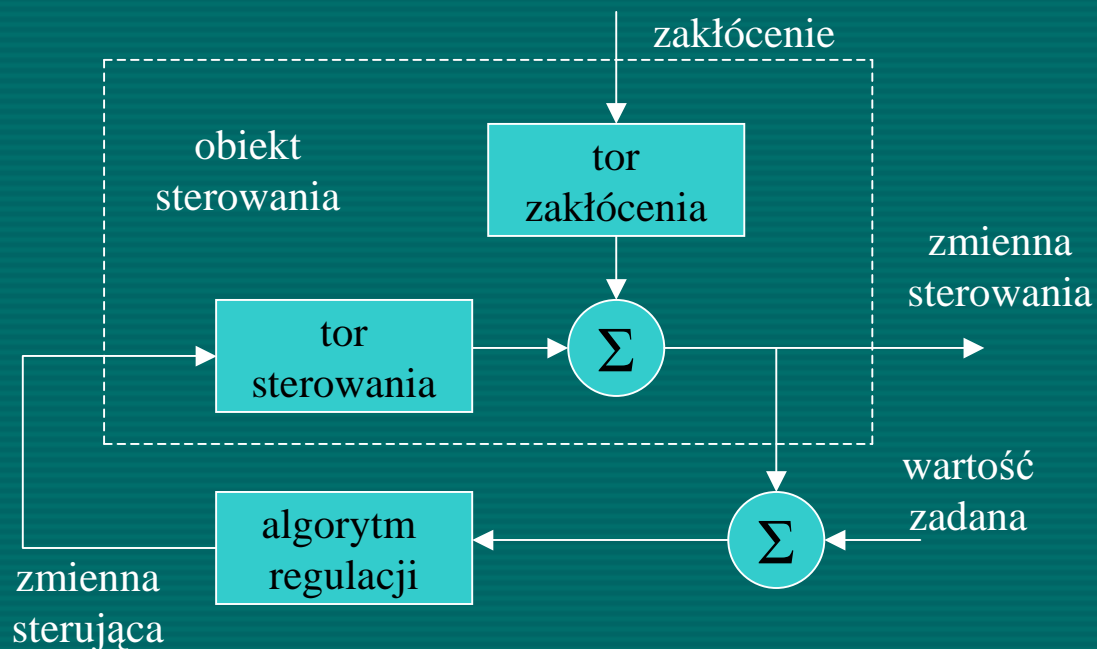
Wśród układów sterowania automatycznego wyróżnia się:

- układy regulacji automatycznej
- układy kompensacji automatycznej

Zadaniem tych układów jest stabilizacja pewnych zmiennych procesowych w warunkach oddziaływania na te zmienne różnorodnych zakłóceń.

Różnica polega na realizacji tego zadania.

Rozwiązania układów sterowania w metodach ARH

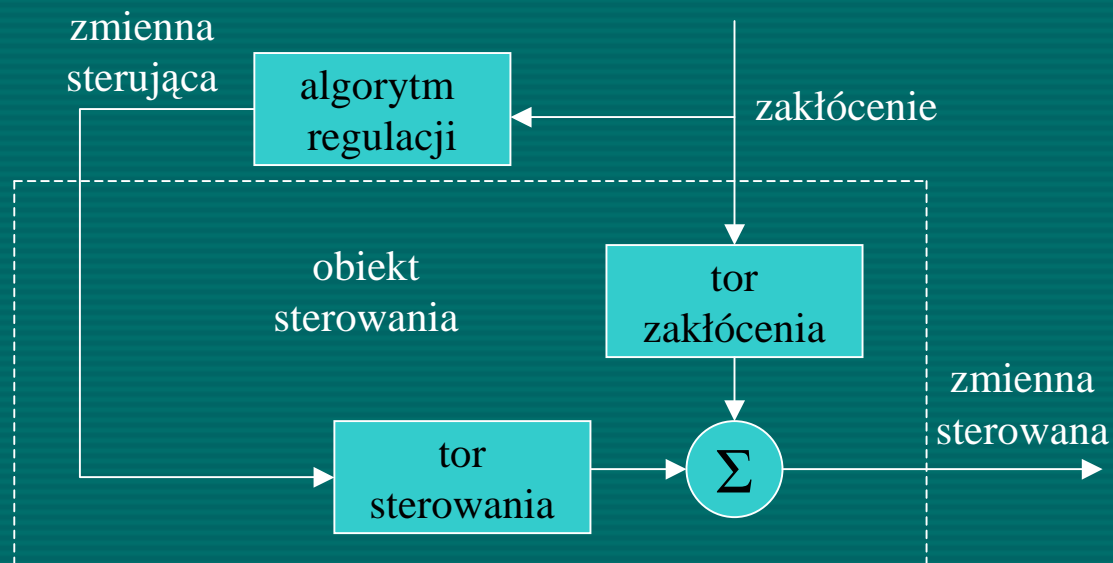


Układ regulacji automatycznej

W układach regulacji odchylenie stabilizowanej zmiennej procesowej od jej wartości zadanej oddziałuje zwrotnie na zmienną sterującą w taki sposób, aby zmniejszyć to odchylenie.

Układ kompensacji automatycznej

W układach kompensacji automatycznej wyniki pomiarów zmiennych zakłócających wykorzystuje się do takiego oddziaływania na zmienne sterujące, by zmniejszyć wpływ wymienionych zakłóceń na zmienną stabilizowaną.



Porównanie właściwości układów regulacji i kompensacji

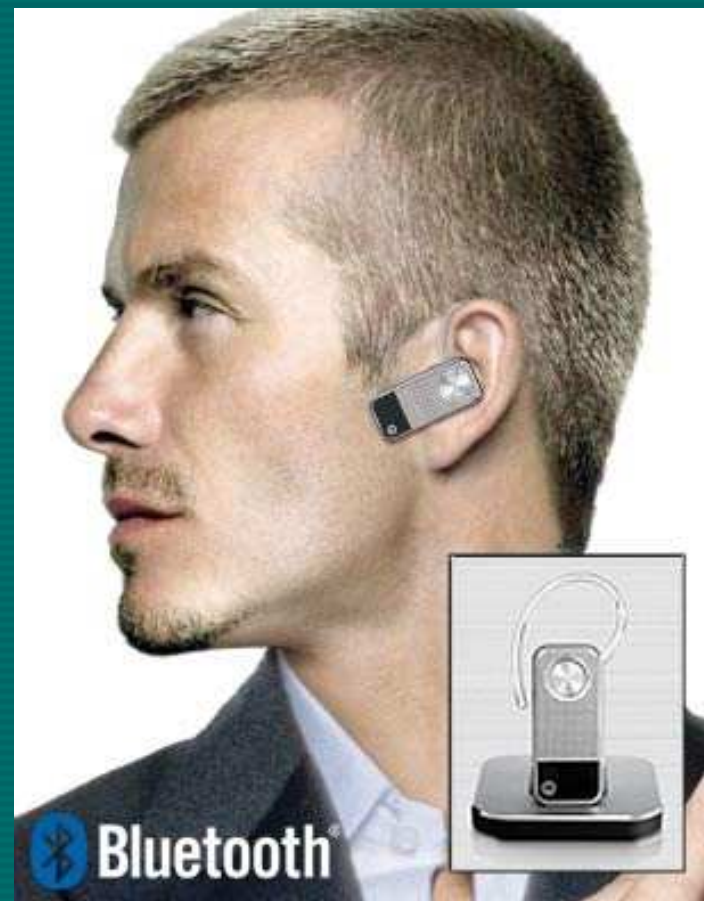
Układ regulacji	Układ kompensacji
Zmienna sterująca zależy od odchylenia zmiennej sterowanej od wartości zadanej. Niemożliwe jest całkowite usunięcie zakłóceń , gdyż zmiana zmiennej sterującej wymaga uprzednio wystąpienia odchylenia zmiennej sterowanej od wartości zadanej.	Zmienna sterująca zależy od zakłócenia, a zmiana zmiennej sterującej nie wymaga uprzedniego wystąpienia odchylenia zmiennej sterowanej . Teoretycznie możliwe jest całkowite usunięcie wpływu zakłócenia na zmienną sterowaną.
Przebiegi nieustalone wywołane zmianą zakłóceń mają charakter tłumionych oscylacji, ponieważ potrzebna do usunięcia wpływu zakłóceń wartość zmiennej sterującej jest określana metodą poszukiwań. Wywołuje to długotrwałe stany nieustalone.	Przebiegi nieustalone wywołane zmianą zakłócenia nie mają charakteru tłumionych oscylacji. Wartość zmiennej sterującej potrzebna do usunięcia wpływu zakłócenia jest bezpośrednio obliczana, dzięki czemu stany nieustalone wywołane zmianą zakłócenia mogą być teoretycznie nieskończenie krótkie.
Jakość stabilizacji nie jest w sposób krytyczny zależna od dokładności, z jaką znany jest model matematyczny obiektu i od dokładności, z jaką jest realizowany algorytm regulacji. Niewielkie zmiany parametrów obiektu nie wymagają adaptacji algorytmu regulacji.	Jakość stabilizacji zależy w sposób krytyczny od dokładności, z jaką jest znany model matematyczny obiektu, i dokładności, z jaką zrealizowano algorytm kompensacji. Niewielka nawet zmiana parametrów obiektu wymaga adaptacji algorytmu kompensacji.
Regulacja automatyczna zabezpiecza zmienną sterowaną przed wpływem wszystkich możliwych zakłóceń oddziałujących.	Kompensacja automatyczna zabezpiecza zmienną sterowaną tylko przed wpływem tych zakłóceń, które są mierzone i przez odpowiedni algorytm kompensacji oddziałują na zmienną sterującą.

Inne zastosowania ARH – dostępne produkty

Firma MOTOROLA wyprodukowała bezprzewodową słuchawkę **Motorola MOTOPURE H12 Bluetooth Headset** wykorzystującą aktywną redukcję hałasu.



Słuchawka ta posiada dodatkowy mikrofon, który ma za zadanie rejestrować zakłócenia z otoczenia, dzięki czemu hałas z zewnątrz jest aktywnie redukowany. Technikę wykorzystywaną w tym urządzeniu nazwano Crystal Talk.



Inne zastosowania ARH – dostępne produkty

Zastosowanie w aparatach słuchowych

APARATY FLASH firmy WIDEX Polska

System Intensyfikacji Mowy z aktywną redukcją hałasu

System Intensyfikacji Mowy z aktywną redukcją hałasu (SIS) tłumi hałas i wydobywa z niego mowę. Dzięki działaniu Integratora Dynamicznego, SIS z redukcją hałasu w aparacie Flash działa w połączeniu z Lokalizatorem Flash dla zapewnienia lepszego rozumienia mowy i komfortu słyszenia, nawet w hałaśliwym otoczeniu



widex  Flash™
easy listening



Inne zastosowania ARH – dostępne produkty

Jabra SP5050 Bluetooth Speakerphone



zestaw głośnomówiący Bluetooth firmy Jabra z aktywną redukcją hałasu zapewnia lepszą jakość rozmowy podczas jazdy zmniejszając znacznie wszelkie szумы otoczenia.

Kierunki rozwoju ARH

W jakim kierunku powinny iść prace przyszłościowe związane z rozwojem metody aktywnych?



Kierunki rozwoju ARH

- Uczony amerykański L.J. Eriksson w artykule „Active sound and vibration control : a technology in transition” wprowadza dla metod aktywnych „nowy model rozwoju technologicznego”, który składa się z 3 faz:
 - *faza płynna* - lata 80-te
 - *faza przejściowa* - lata 90-te
 - *faza gatunkowa* (charakterystyczna) – od 2000r.



Zmiany technologiczne metod aktywnych

Faza płynna

- różne surowce technologiczne
- duża różnorodność pomysłów, patentów
- wysokie koszty
- wielość instytucji i firm

- różnorodność algorytmów
- różnorodność prób zastosowań
- częstotliwość 20-250Hz

Faza przejściowa

- powstanie dominujących technologii
- rozwój procesów produkcyjnych
- selekcja instytucji i firm
- obniżanie kosztów

- algorytmy i odpowiednie filtry
- ukierunkowane zastosowania (falowody, pompy, samochody, samoloty)
- częstotliwość 20-500Hz

Faza charakterystyczna

- powstanie trwałego przemysłu wytwórczego elementów metod aktywnych
- postęp w badaniach naukowych
- kilku liderów na rynku
- niskie koszty

- nowe algorytmy
- różnorodność technologii i zastosowań
- zmniejszenie wymiarów i ciężaru
- specjalne mikroprocesory
- rozszerzanie zakresu częstotliwości

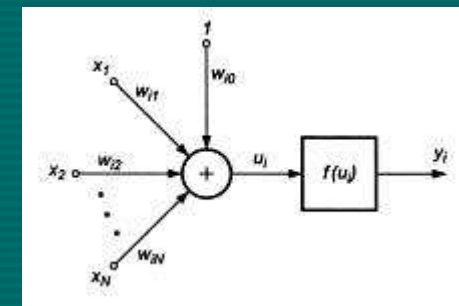
Kierunki rozwoju ARH

- Rozwój metod aktywnych jest obecnie ściśle związany z rozwojem algorytmów sterowania oraz rozwojem nowych technologii w dziedzinie przetwarzania sygnałów.

W najbliższych latach należy spodziewać się:

- Intensyfikacji badań oraz opracowania nowych zastosowań praktycznych związanych z układami wielokanałowymi
- Rozwoju badań i prób zastosowania do metod aktywnych sieci neuronowych oraz algorytmów genetycznych.

Algorytmy genetyczne znajdują zastosowanie w poszukiwaniu optymalnych lokalizacji przetworników, a także w zagadnieniach sterowania układów ze sprzężeniem zwrotnym.



Kierunki rozwoju ARH

UKŁADY WIELOKANAŁOWE

Przykłady zastosowań:

- System NOVACS (Noise and Vibration Active Control System) opracowany w Laboratorium Mechaniki i Akustyki (CNRS) w Marsylii – jest to system ogólnego przeznaczenia, umożliwiający zarówno redukcję hałasu jak i drgań.
- Uniwersalny cyfrowy system badań nad aktywną kompensacją parametrów pola akustycznego. System umożliwia zdefiniowanie zarówno jednokanałowej jak i wielokanałowej struktury układu sterującego.
- Tłumienie hałasu w falowodach akustycznych powyżej częstotliwości odcięcia falowodu.
- Tłumienie hałasów w otwartej bądź zamkniętej przestrzeni

W obu powyższych przypadkach ważne jest odpowiednie rozmieszczenie źródeł i detektorów.

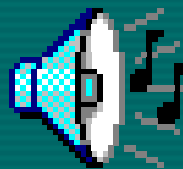
Kierunki rozwoju ARH

Wyle Laboratories w USA, pracujące dla Departamentu Obrony czy NASA prowadzi badania nad zastosowaniami systemu aktywnej redukcji hałasu w zamieszkiwanych obszarach w pobliżu większych lotnisk lub militarnych baz lotniczych.

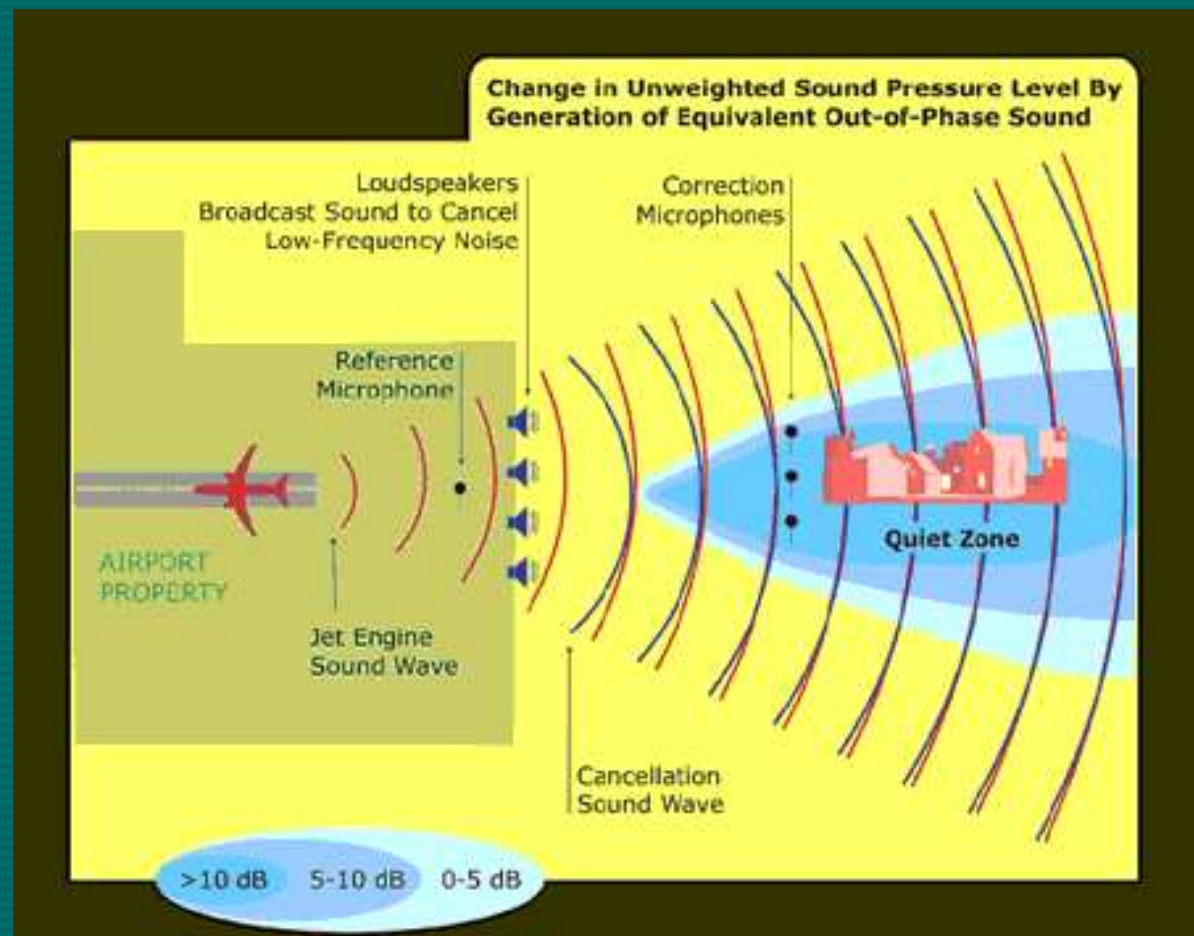
Zalety:

- system skuteczniejszy niż ekrany przeciwdźwiękowe
- tańszy niż budowa 'wyciszonych' budynków.
- dobrze tłumi drgania i niskie częstotliwości
- zapewnia większe możliwości lokalizacji lotnisk

Zarejestrowana demonstracja obszaru objętego aktywną redukcją hałasu

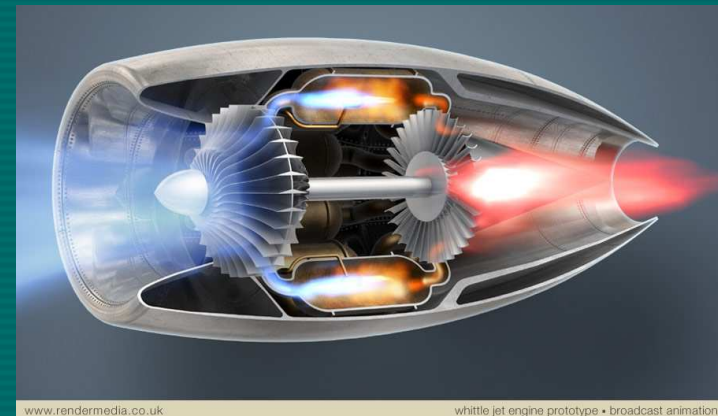


F109 error mic



Inne kierunki rozwoju

- Prowadzenie dalszych badań w kierunku zwiększenia skuteczności metod aktywnych w zakresie częstotliwości znacznie wyższych od 250 Hz (nawet do 1000Hz)
- Zastosowanie metod aktywnych do technicznych układów niestabilnych, głównie w układach przepływowych. Klasycznym przykładem są tu badania hałasu emitowanego podczas spalania w palnikach. Wiąże się to z nowym kierunkiem wiedzy – termoakustyką.
- Zjawiska termoakustyczne występują w silnikach lotniczych. Wykonane zostały badania z których wynika, że zastosowanie sprzężenia zwrotnego oraz sterowanie zjawiskami akustycznymi może doprowadzić do stabilizacji pracy silnika.
- Aktywna redukcja może być zastosowana również w sprężarkach, które charakteryzuje niestabilność pracy

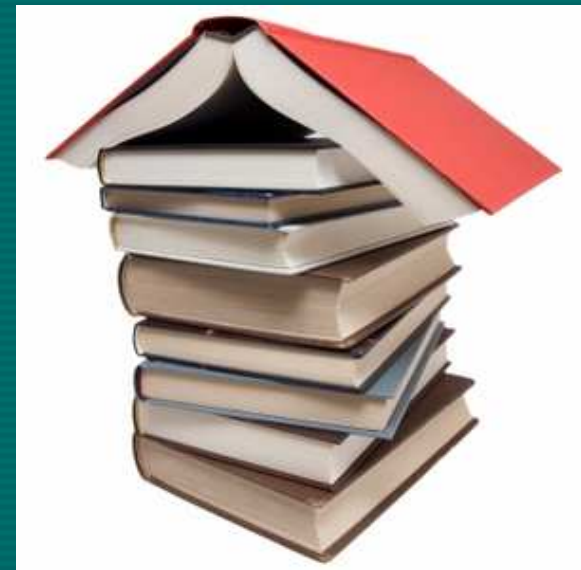


Podsumowanie

- Od przeszło 40 lat aktywne metody redukcji hałasu pasjonują generacje pracowników nauki i inżynierów
- Największy rozwój nastąpił w ciągu ostatnich 20 lat, m.in. dzięki znacznemu obniżeniu kosztów i zastosowaniu cyfrowych procesorów sygnałowych (DSP)
- W chwili obecnej dobre rezultaty w zmniejszaniu zagrożenia hałasem przynosi równoległe stosowanie metod pasywnych i aktywnych redukcji hałasu, szczególnie że te ostatnie są skuteczne w obniżaniu zagrożenia hałasem niskoczęstotliwościowym.
- Metody aktywnej redukcji hałasu nie są i nie będą lekarstwem na każdy rodzaj hałasu. Są wspaniałym uzupełnieniem innych metod redukcji hałasu

Bibliografia

- „Metody aktywne redukcji hałasu” – Z. Engel, G. Markiewicz, L. Morzyński, W.M. Zawieska, Warszawa 2001 CIOP
- „Wybrane cyfrowe systemy aktywnej redukcji hałasu” – G. Markiewicz, Warszawa 2002, CIOP PIB
- <http://www.wylelabs.com/services/arc/acousticresearch/activenoisecontrol.html>
- <http://www.widex.com.pl/?a=cms.view&id=2&d=66&PHPSESSID=5fd4bbebf28f4f5202df54cfc9cb2c0c>
- zasoby internetu



Dziękujemy za uwagę