

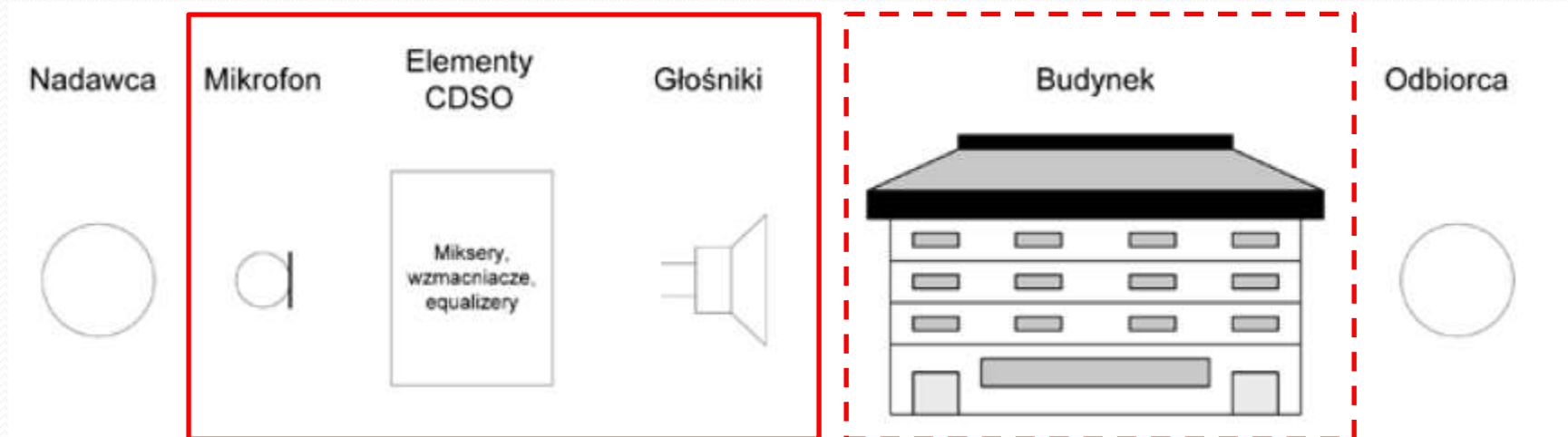
# Zrozumiałość mowy w warunkach zakłóceń

Józef Kotus

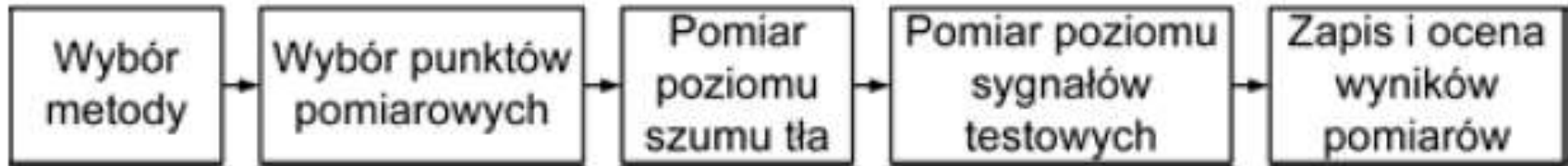
# Wprowadzenie

- Zrozumiałość mowy nie jest fizyczną wartością jak ampery, wolty.
- Jest to miara stopnia, w jakim rozumiemy język mówiony, i jako taka jest skomplikowanym zjawiskiem uzależnionym od wielu zmiennych.
- W procesie rozumienia mowy możemy wyróżnić:
  - Próg detekcji mowy
  - Próg rozumienia mowy

# Poligon badań



# Etapy pomiaru zrozumiałości komunikatów DSO



- Zrozumiałość mowy powinna być oceniana w najgorszych możliwych do wystąpienia warunkach, uwzględniając poziom hałasu generowany przez urządzenia pracujące w czasie pożaru, np. wentylatory oddymiające.

# Analiza hałasu

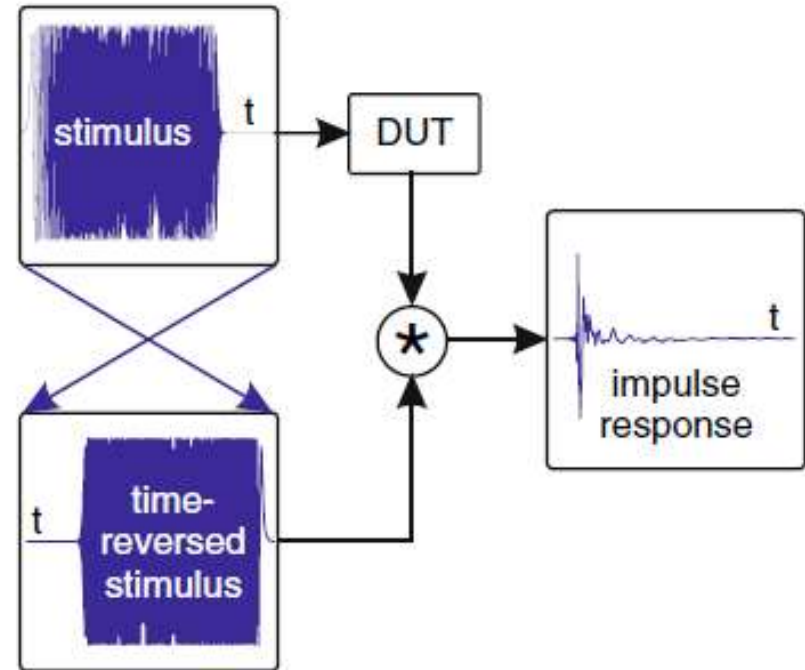
- Analiza poziomu i widma hałasu w trakcie warunków „normalnych” w obiekcie
- Wyznaczanie poziomu hałasu w pasmach o szerokości 1 oktawy
- Zgromadzone dane mogą być wykorzystane w estymacji końcowego wyniku wskaźnika STI

# Pomiar odpowiedzi impulsowej

- Propozycja wykorzystania sygnału poprzedzającego komunikat do wyznaczenia aktualnej odpowiedzi impulsowej pomieszczenia
- Odpowiedź impulsowa powinna być wyznaczana w efektywnym przedziale częstotliwości
- Sygnałem testowym może być sygnał typu sweep o liniowej zmianie częstotliwości od około 200 Hz do 4kHz (w oparciu o PN EN ISO 3382)

# Pomiar odpowiedzi impulsowej

- Zasada działania
- DUT – badane pomieszczenie
- Pobudzenie: sygnał **sweep** o zadanych parametrach
- Parametry pobudzenia dobierane indywidualnie dla danego pomieszczenia



# Pomiar czasu pogłosu

- Wyznaczona uprzednio odpowiedź impulsowa pomieszczenia zostanie wykorzystana do wyznaczenia czasu pogłosu w pasmach 1/3 oktawy lub w skali barków
- Wyznaczony czas pogłosu umożliwi estymację „hałasu pogłosowego” i umożliwi dopasowanie charakterystyki filtru adaptacyjnego
- Wyznaczony czas pogłosu umożliwi dobranie parametrów algorytmu transpozycji czasu sygnału mowy



# Estymacja wskaźnika STI

- Wyznaczona uprzednio odpowiedź impulsowa pomieszczenia oraz informacje o poziomie i widmie hałasu zostaną wykorzystane do estymacji wskaźnika STI
- System DSO może raportować zmiany wskaźnika STI powstałe na skutek modyfikacji wprowadzonych w obiekcie (remonty, przebudowy, zmiany aranżacji itp..)

# Metody pomiaru zrozumiałości mowy DSO



# Wymagane wartości zrozumiałości mowy w zależności od wybranej metody pomiaru

Metoda pomiaru	Wymagana wartość (0,7 na skali CIS)
Wskaźnik transmisji mowy STI	0,5 [-]
Wskaźnik transmisji mowy STIPA	0,5 [-]
Wskaźnik zrozumiałości mowy SII	0,5 [-]
Fonetyczne zrównoważone oceny wyrazowe PB	94 [%] (256 wyrazowe) lub 77 [%] (1000 wyrazowe)
Zmodyfikowany test rymów MRT	94%
Strata wyrazistości spółgłosek %AI <sub>cons</sub>	12%

# Zrozumiałość mowy

- Mowa zajmuje pasmo od 125 Hz do 8 kHz.
- Najwięcej energii w paśmie od 300 Hz do 3 kHz.
- Amplituda składowych sygnału o różnych częstotliwościach podlega modulacji w trakcie mowy.
- Szum tła, odbicia dźwięku i pogłos zaburzają te modulacje, pogarszając zrozumiałość mowy.
- Spółgłoski są bardziej istotne dla zrozumiałości mowy niż samogłoski.

# Wskaźnik transmisji mowy STI

- Jest to najczęściej stosowana metoda pomiaru zrozumiałości mowy.
- Sposób wykonania pomiarów opisany został w normie PN-EN 60268-16:2011
- STI jest obiektywną miarą, która umożliwia określenie zrozumiałości mowy przekazywanej przez nadawcę do odbiorcy przez kanał transmisyjny.
- Początki tej metody sięgają lat 70. ubiegłego wieku.
- Powstała ona w laboratorium TNO w Holandii.
- Głównym celem jej opracowania było ilościowe określenie stopnia pogarszania się zrozumiałości komunikatu przekazywanego przez system audio.
- Metoda pomiaru miała być z założenia szybka i obiektywna.

# Wskaźnik transmisji mowy STI

- W metodzie STI wykorzystywany jest specjalny sygnał, który zastępuje mowę.
- Sygnał testowy, tak jak mowa, obejmuje dwa widma: słyszalne i modulacyjne.
- Widmo słyszalne modelowane jest przy użyciu szumu, który składa się z 7 pasm oktawowych o częstotliwościach środkowych w zakresie od 125 Hz do 8 kHz.
- Następnie pojedyncze zakresy oktawowe mogą być modulowane 14 częstotliwościami w odstępach jedna trzecia oktawy w zakresie od 0,63 Hz do 12,5 Hz.
- Z tego powodu należy wykonać 98 pomiarów, które stanowią kombinację widma słyszalnego i modulacyjnego

# Speech Transmission Index

- STI – *Speech Transmission Index*
- Miara zrozumiałości mowy przesyłanej akustycznie
- IEC 60268-16: *Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*
- Skala od 0 (najgorsza) do 1 (najlepsza).



# Speech Transmission Index

- Uwzględniane parametry i zjawiska:
  - poziom i rozkład widmowy sygnału mowy,
  - poziom zakłóceń tła,
  - pojedyncze odbicia (echo),
  - pogłos,
  - zjawiska psychoakustyczne (maskowanie).

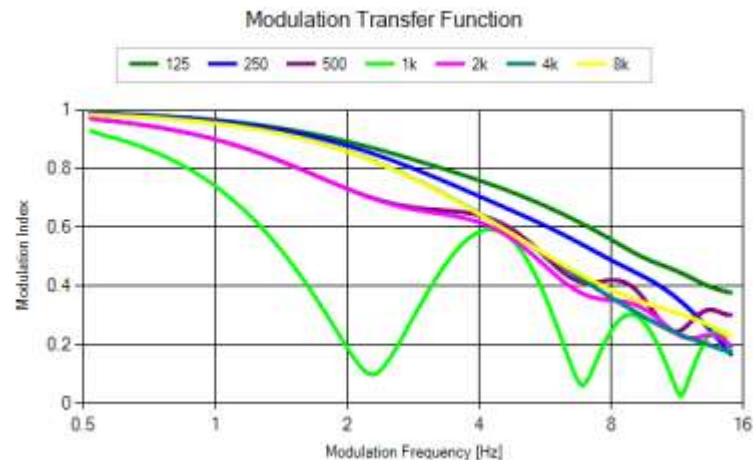


# Metoda pomiaru STI

- Sygnał testowy: syntetyczny, o strukturze przypominającej sygnał mowy.
- Podział na 7 pasm oktawowych.
- W każdym paśmie wprowadza się modulację poziomą widma, ze zmienną częstotliwością.
- Zakłócenia (szum, pogłos) zaburzają te modulacje.
- Badany jest indeks modulacji w odebranym sygnale.

# Metoda pomiaru STI

- *Modulation Transfer Function* (MTF) – funkcja indeksu modulacji (MI) dla poszczególnych pasm.
- Idealnie: płaska,  $MI = 1$ .
- Płaska, mniejsze MI: wpływ szumu tła.
- Opadająca: wpływ pogłosu.
- Opadająca i rosnąca: wpływ echa.

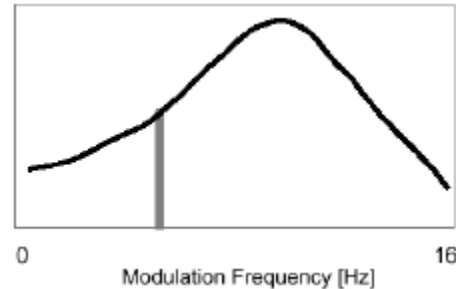
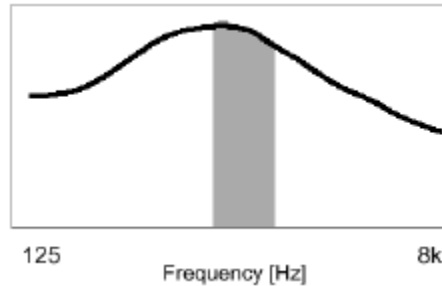


# Metoda pomiaru STI

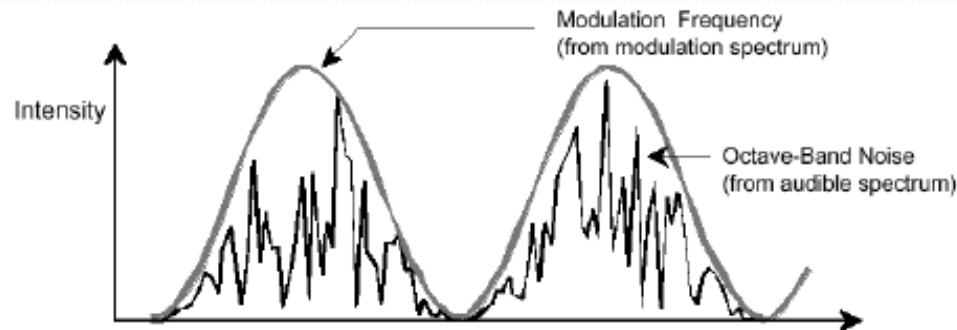
- Pomiar STI jest przeprowadzany dla 7 pasm oktawowych i 14 częstotliwości modulujących (98 pomiarów).
- Długotrwały pomiar (ok. 15 minut).
- STI jest obliczane na podstawie MTF uzyskanych dla każdej częstotliwości modulującej.
- Uwzględniany jest model psychoakustyczny.

# Metoda pomiaru STI

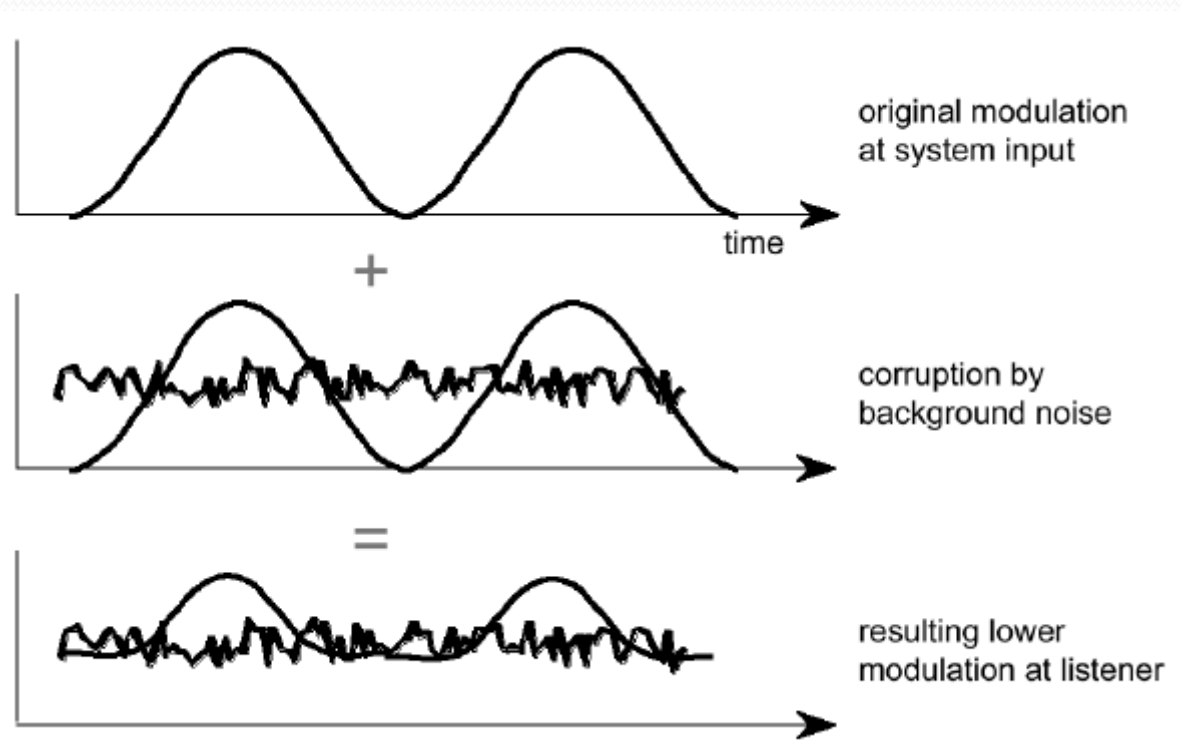
1000 Hz



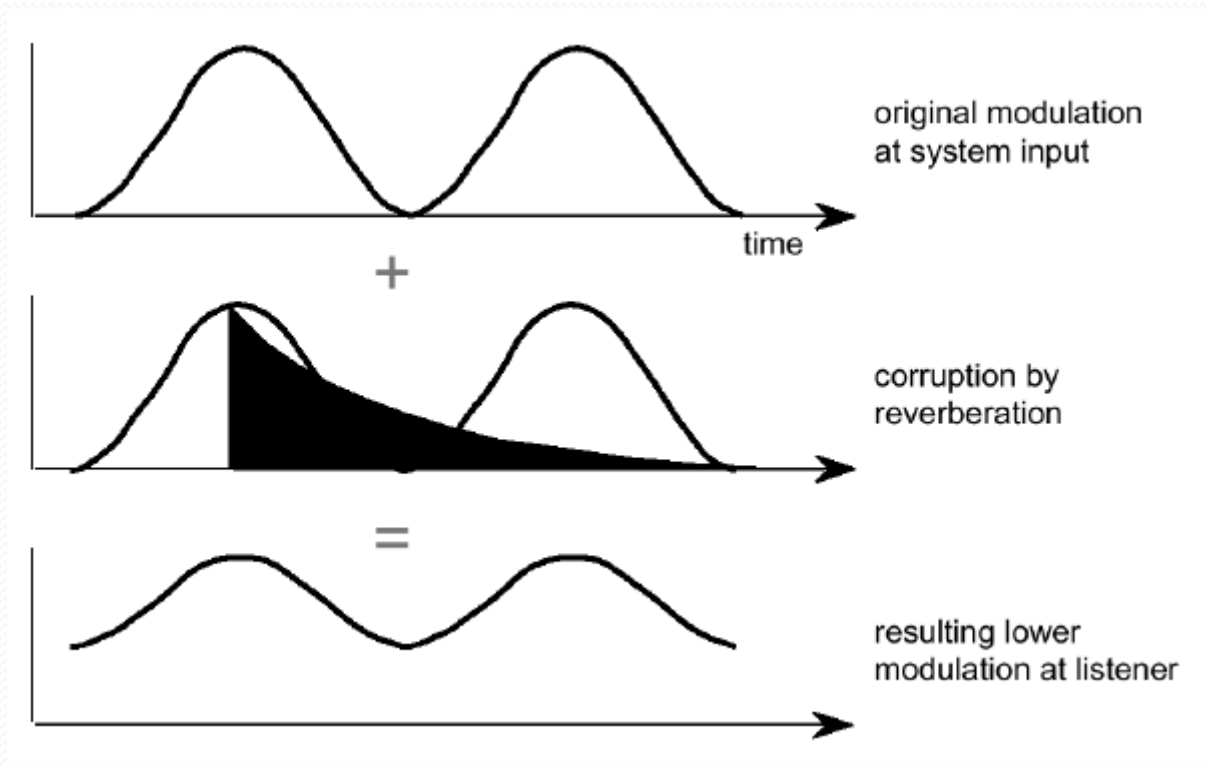
4 Hz



# Metoda pomiaru STI



# Metoda pomiaru STI



# STI-PA

- STI-PA: *Speech Transmission Index for Public Address systems*
- Uproszczenie STI do badania systemów alarmowych.
- Opracowane przez firmy Bose i TNO.
- Jedna funkcja MTF, 7 pasm oktawowych, dwie częstotliwości modulacji w każdym paśmie.
- Wymagania: brak zakłóceń impulsowych, brak dużych nieliniowości.

# STI a STI-PA

STI

		Modulation Frequencies													
		0.63 Hz	0.8 Hz	1 Hz	1.25 Hz	1.6 Hz	2 Hz	2.5 Hz	3.15 Hz	4 Hz	5 Hz	6,3 Hz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz
Octave Bands	125 Hz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	250 Hz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	500 Hz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	1 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	4 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	8 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

STI-PA

		Modulation Frequencies													
		0.63 Hz	0.8 Hz	1 Hz	1.25 Hz	1.6 Hz	2 Hz	2.5 Hz	3.15 Hz	4 Hz	5 Hz	6,3 Hz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz
Octave Bands	125 Hz			✓							✓				
	250 Hz														
	500 Hz	✓							✓						
	1 kHz						✓							✓	
	2 kHz				✓							✓			
	4 kHz		✓							✓					
	8 kHz							✓							✓



# STI-PA: zalecenia

- Minimalne STI dla dobrej zrozumiałości: 0,5.
- Poziom dźwięku testowego: 70-80 dB SPL.
- Wykonanie 3 pomiarów, uśrednienie STI.
- Powtarzalność pomiarów: różnice  $< 0,03$  STI.
- Jeśli różnice są większe: uśrednienie z 6 pomiarów.
- Przed testem: pomiar STI dla szumu tła, wymagane  $< 0,2$ .
- Zakłócenia impulsowe, w tym mowa, zawyżają wynik.
- Pomiar w różnych warunkach: bierzemy najgorszy wynik.

# Pomiar laboratoryjny

- Jeżeli nie można przeprowadzić pomiarów w docelowych warunkach lub wyeliminować szumu impulsowego:
  - pomiar szumów w docelowym miejscu,
  - odtworzenie układu głośnik-słuchacz w laboratorium,
  - wytworzenie szumu nieimpulsowego o takim samym poziomie i rozkładzie widmowym,
  - pomiar STI.

# Metoda Schroedera

- Obliczanie STI metodą Schroedera:
  - pomiar odpowiedzi impulsowej za pomocą MLS,
  - obliczenie FFT z kwadratu odpowiedzi impulsowej,
  - obliczenie MTF, a dalej STI.
- Wymagania:
  - brak elementów nieliniowych w torze fonicznym,
  - brak ruchów powietrza.

# Współczynnik utraty spółgłosek

- *ALC: Articulation Loss of Consonants*
- Wywodzi się z czasów badań odsłuchowych.
- Równanie Farrela Beckera:  
$$ALC = 170,5405 e^{-5,419 * STI} [\%]$$
- Im mniejsza wartość, tym lepiej.

# Estymacja kosztów adaptacji akustycznej

- Na podstawie kosztów obniżenia czasu pogłosu
- Koszt zwiększenia chłonności akustycznej pomieszczenia do wartości umożliwiającej uzyskanie zadanego czasu pogłosu
- Całkowity koszt adaptacji obejmuje między innymi nakłady na: projekt, materiały, wykonawstwo.

# Miernik STI-PA

- Acoustilyzer AL-1 (NTI Audio)
- pomiar STI-PA
- pomiar czasu pogłosu
- pomiar SPL
- dostępny sygnał testowy



# Talk-box

- Źródło sygnału testowego do pomiaru STI
- symuluje usta (charakterystyka kierunkowa i widmowa)
- można wykorzystać manekin HATS



# DIRAC

- *DIRAC Room Acoustics Software*  
– oprogramowanie firmy Brüel & Kjær.
- Pomiar odpowiedzi impulsowej pomieszczeń.
- Pomiar STI metodą Schroedera.



Dziękuję za uwagę