

Zrozumiałość mowy

Security Systems

ST/SEP-ST5 | 08/09/2015 | © Robert Bosch GmbH 2015. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



BOSCH

Zrozumiałość mowy

- Sygnał mowy
- Czynniki wpływające na zrozumiałość mowy
- Pomiary

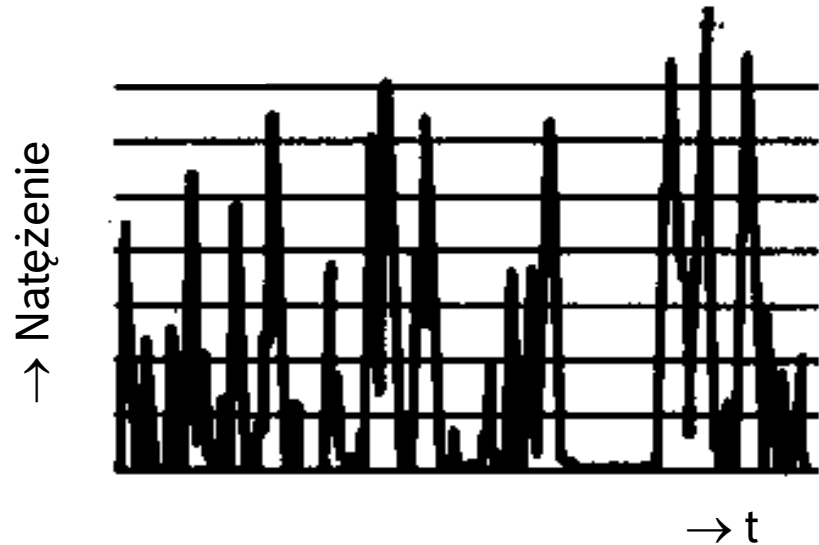


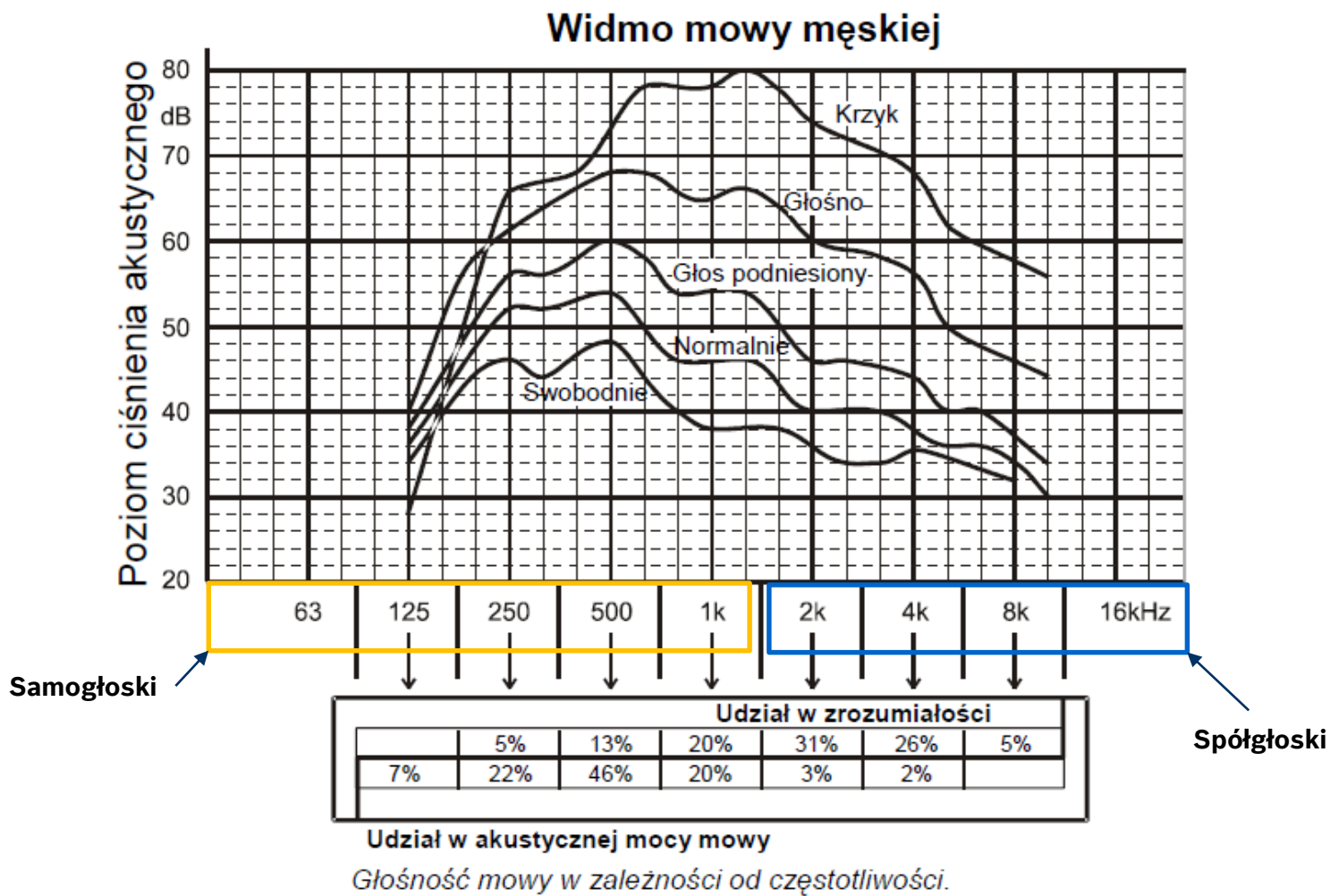
→ Samogłoski

- A, E, I, O, U, Y
- Wolne zmiany
- Czas trwania
30 – 300 ms
- Przenoszą energię
dźwięku

→ Spółgłoski

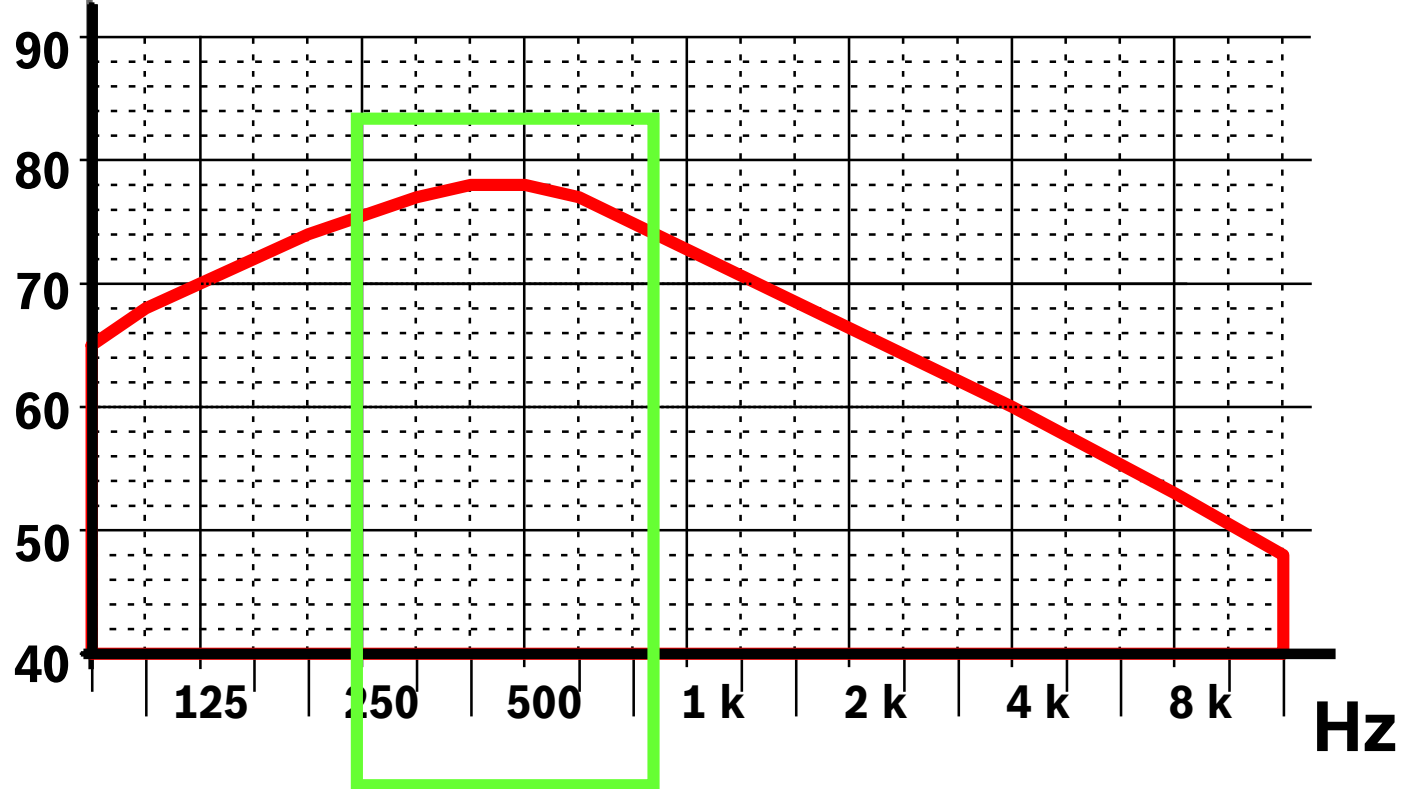
- Pozostałe litery alfabetu
- Szybkie zmiany
- Czas trwania 10 – 100 ms
- Obejmują zakres 2 – 9 kHz
- Najważniejsze z punktu widzenia zrozumiałości mowy



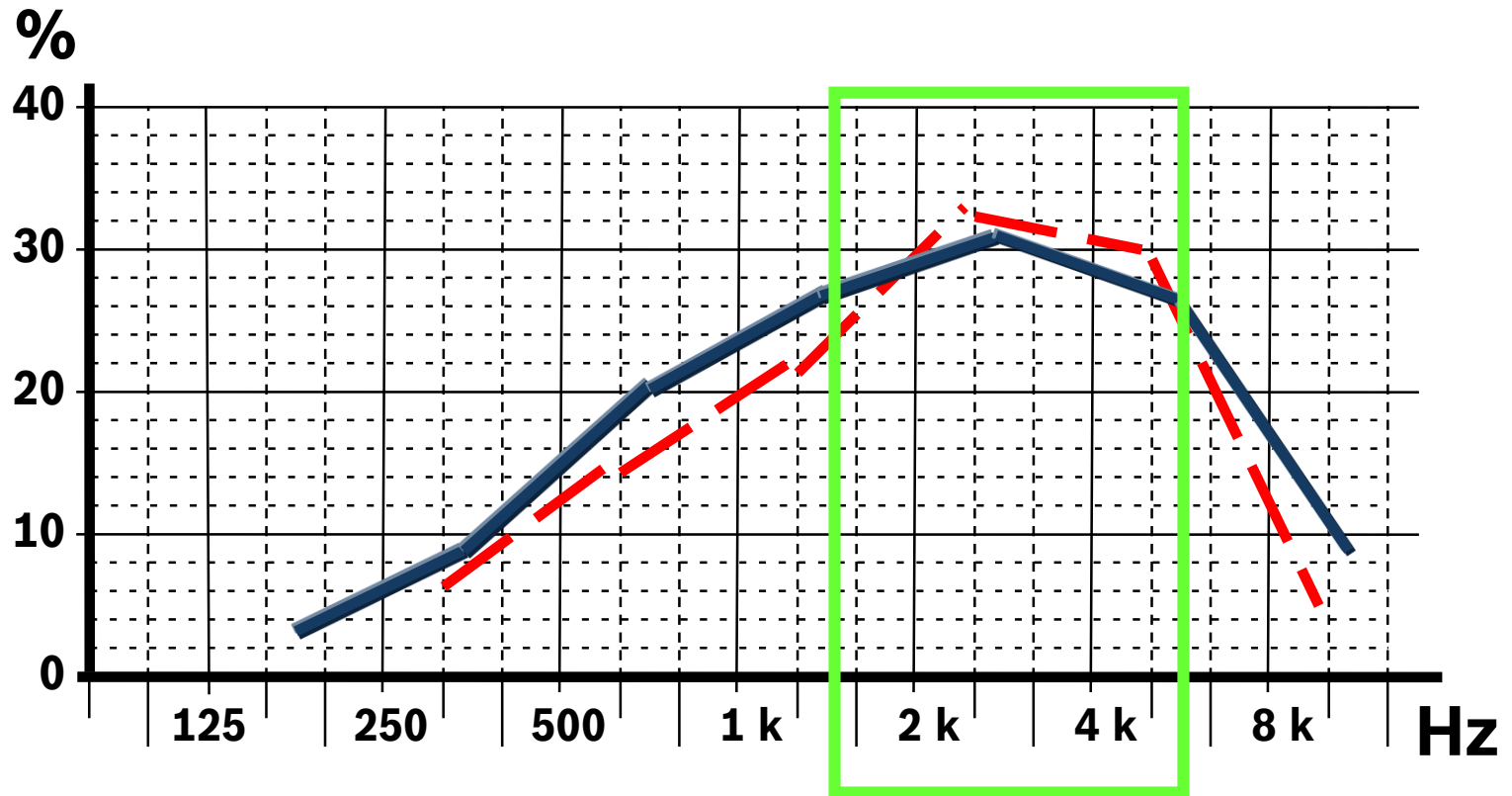


Udział w akustycznej mocy mowy

dB (SPL)



Udział w zrozumiałości mowy



Zrozumiałość mowy



Mówca



Przekaz



Słuchacz



BOSCH

Czynniki związane z drogą transmisji

- **Stosunek S/N mowy.** Szum powoduje maskowanie lub przytłumianie sygnału głosowego,

Jesteśmy w stanie znieść dużą dozę szumów w sygnale zanim zrozumiałość spadnie znacząco, ale gdy spadek się rozpocznie jest bardzo gwałtowny

- **Pogłos** – powstaje z odbić dźwięku i powoduje ich rozmycie, przez co staje się mniej czysty i wyraźny – mniej zrozumiały.



Czynniki związane z drogą transmisji

- **Echa** – jeśli echo pojawia się dużo później niż pierwsze pojawienie się dźwięku, powoduje pogorszenie zrozumiałości.

W przypadku ciągłej mowy, echo poprzednio wypowiedzianych sylab ukrywa lub zniekształca brzmienie następnych, czyniąc je trudniejszymi do zrozumienia. Opóźnienie i poziom echa są głównymi zmiennymi wpływającymi na jego stopień uciążliwości.

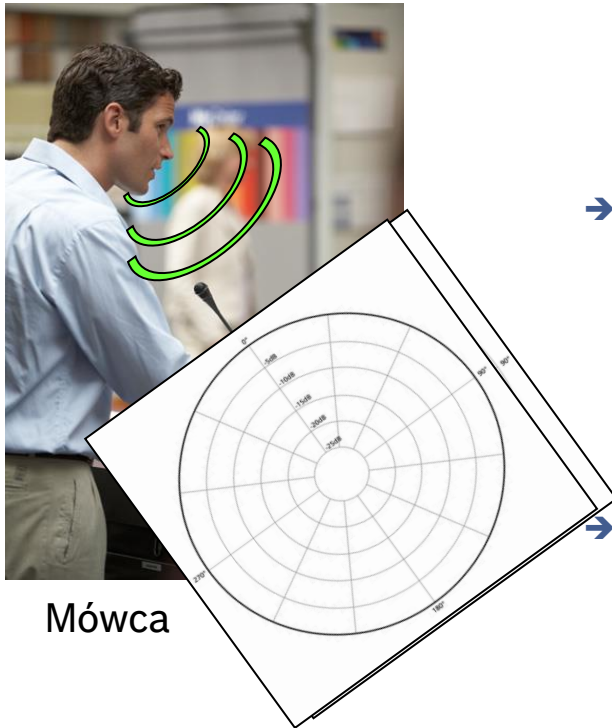
- **Zniekształcenia** – występują, jeśli jeden z elektrycznych lub elektroakustycznych komponentów systemu powoduje zniekształcenia sygnału oryginalnego.

Np. obcinanie przez wzmacniacz może z idealnego sygnału na wejściu uczynić trudnym do zrozumienia na wyjściu.



→ Mówca

- Mówi wyraźnie
- Blisko mikrofonu



→ Mikrofon

- Użyć mikrofonu kierunkowego (kardioidalnego)

→ Zamiennie można korzystać z nagranych komunikatów



Zrozumiałość mowy

- Umieszczenie i rodzaj głośnika związane są z następującymi kwestiami:
- Wystarczający poziom ciśnienia akustycznego
 - Stosunek sygnał / szum
 - Akustyka pomieszczenia
 - Stosunek dźwięku bezpośredniego do pogłosowego
 - Zapobieganie docieraniu silnie opóźnionego dźwięku



Słuchacz



BOSCH



*Hałas
z wentylatorów
w tunelu drogowym*



*Niski stosunek
sygnał / szum*

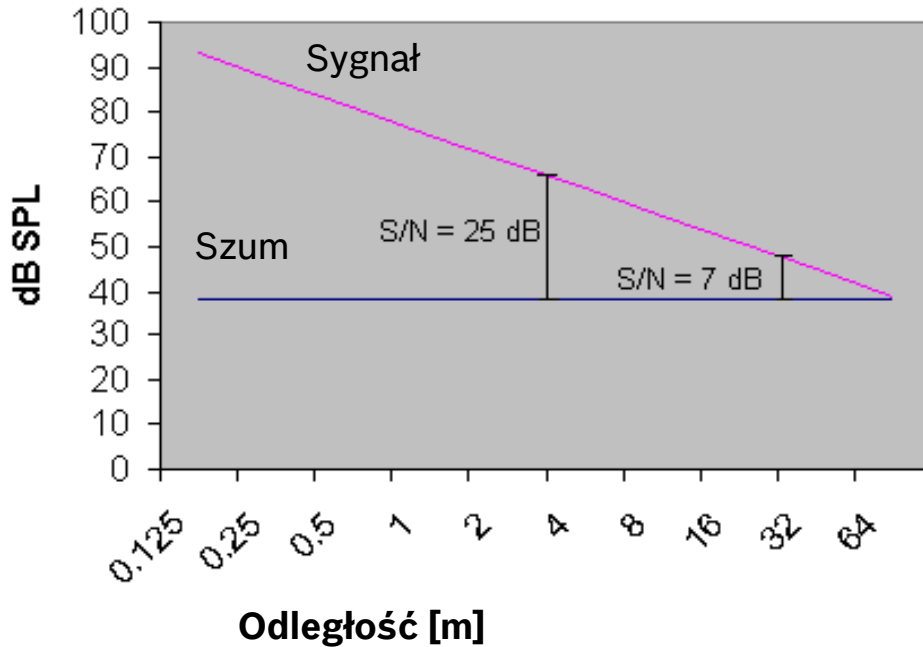


*Wysoki stosunek
sygnał / szum*

- Aby uzyskać dobrą zrozumiałość mowy, wymagany jest stosunek sygnał / szum na poziomie co najmniej 10 dB.



Poziom ciśnienia akustycznego



- Zakłada się, że w większości przypadków poziom hałasu jest stały.
- Poziom ciśnienia akustycznego (SPL) z głośnika zmniejsza się w funkcji odległości.
 - Odległość między słuchaczem a głośnikiem musi być ograniczona.



Zrozumiałość mowy



Peron: 66 dB



Muzeum: 54 dB



Hala odlotów na lotnisku: 66 dB



Cichy korytarz: 50 dB



BOSCH

Zrozumiałość mowy



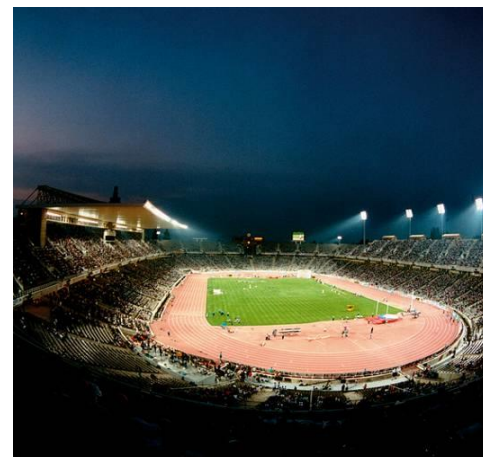
Fabryka przemysłu ciężkiego: 100 dB



Klasa szkolna: 62 dB



Park wodny: 84 dB



Stadion: 80 dB



BOSCH

Zrozumiałość mowy



Komora
bezechowa



Salon



Sala gimnastyczna

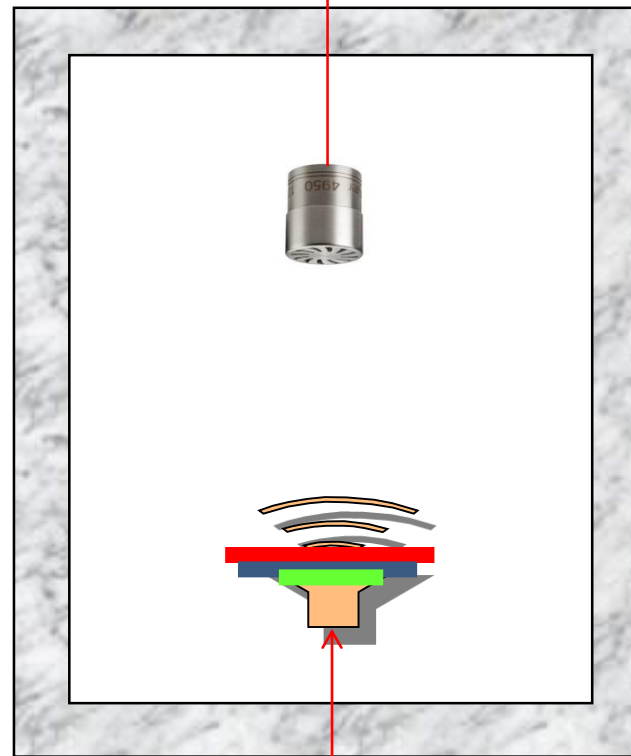
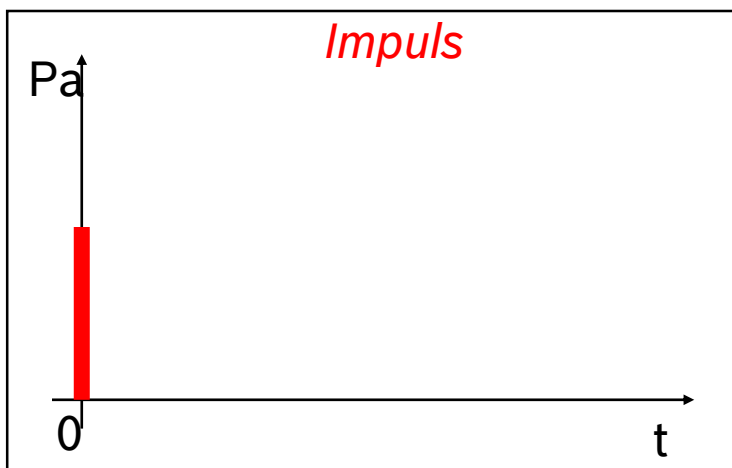
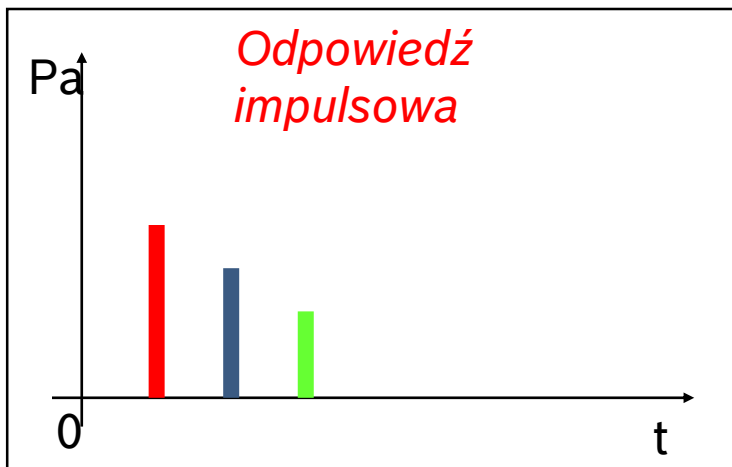


Katedra



BOSCH

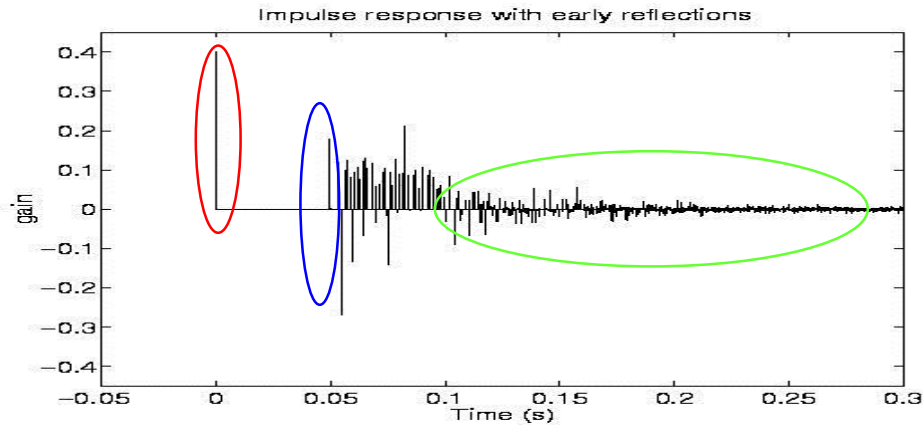
Zrozumiałość mowy



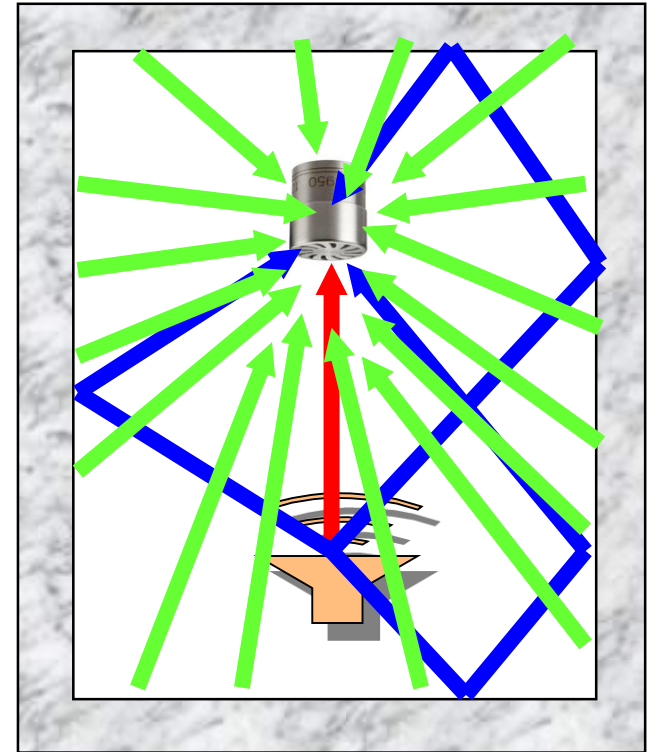
BOSCH

Zrozumiałość mowy

- Odpowiedź impulsowa może być podzielona na 3 części.



Właściwości
Dźwięk bezpośredni
Właściwości

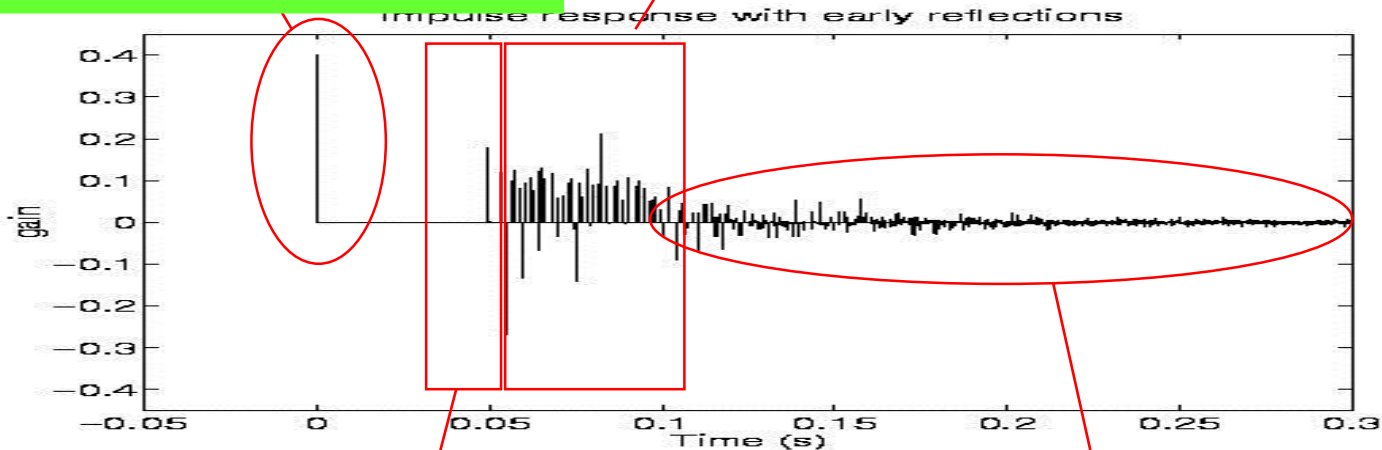


BOSCH

Zrozumiałość mowy

Bezpośredni poziom ciśnienia akustycznego (SPL) powinien być maksymalny.

Silne późne odbicia (po 50 ms) mogą powodować echo i mocno zmniejszać zrozumiałość mowy.



Mogą pojawiać się wczesne odbicia (przed 50 ms).

Część pogłosowa nie może być zbyt długa ani mieć zbyt wysokiego poziomu.

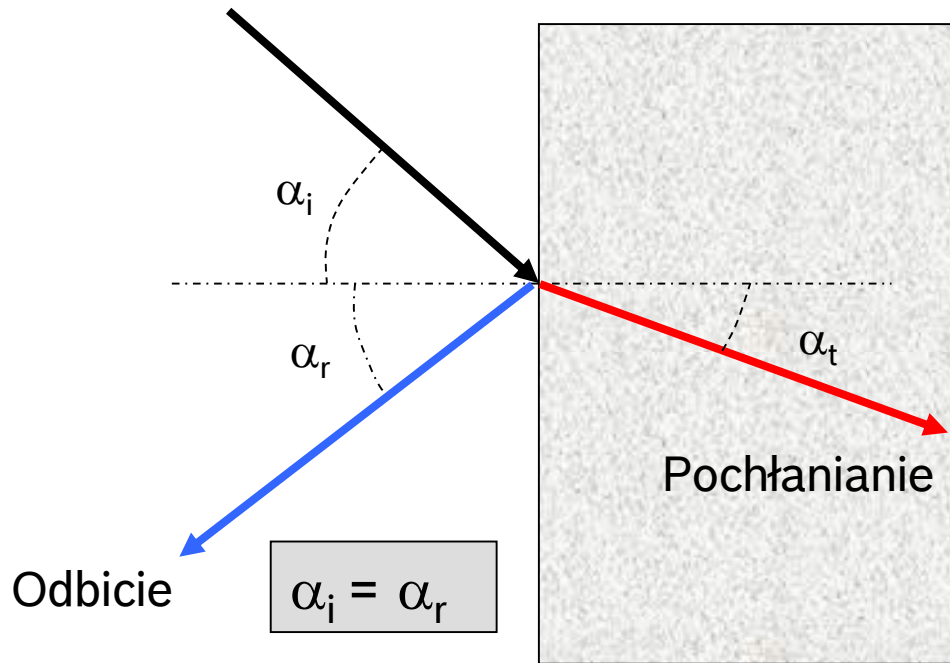


BOSCH

Zrozumiałość mowy

→ Odbicie / pochłanianie

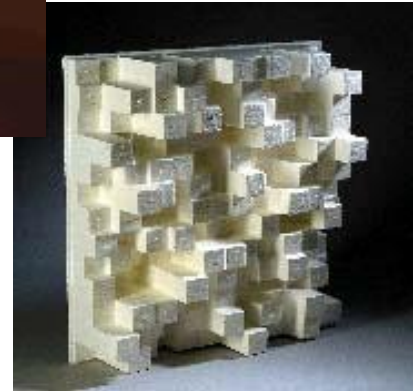
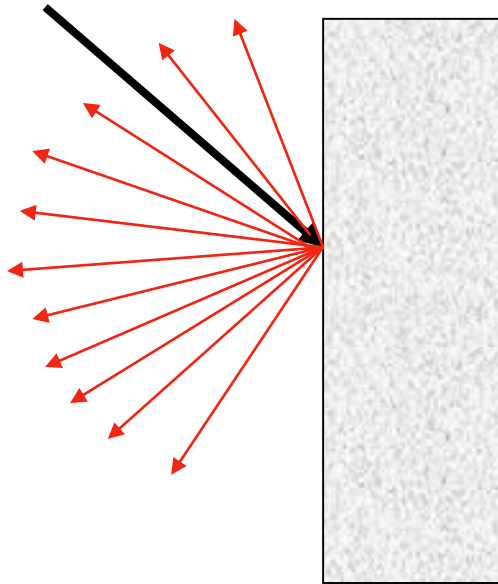
- Powierzchnie pochłaniające zmniejszają poszczególne odbicia i pogłos.
- Zwiększenie pochłaniania zmniejsza czas pogłosu.



BOSCH

Zrozumiałość mowy

- Rozpraszanie: fale dźwiękowe odbijają się we wszystkich kierunkach
 - Powoduje to powstanie pogłosu



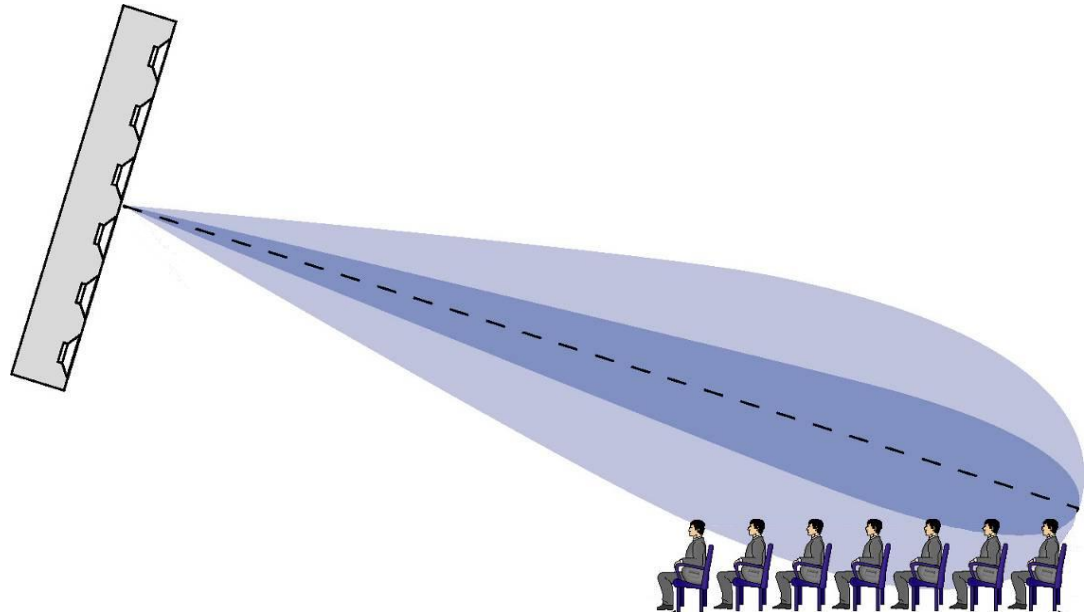
- Powierzchnie rozpraszające zapobiegają powstawaniu silnych odbić



BOSCH

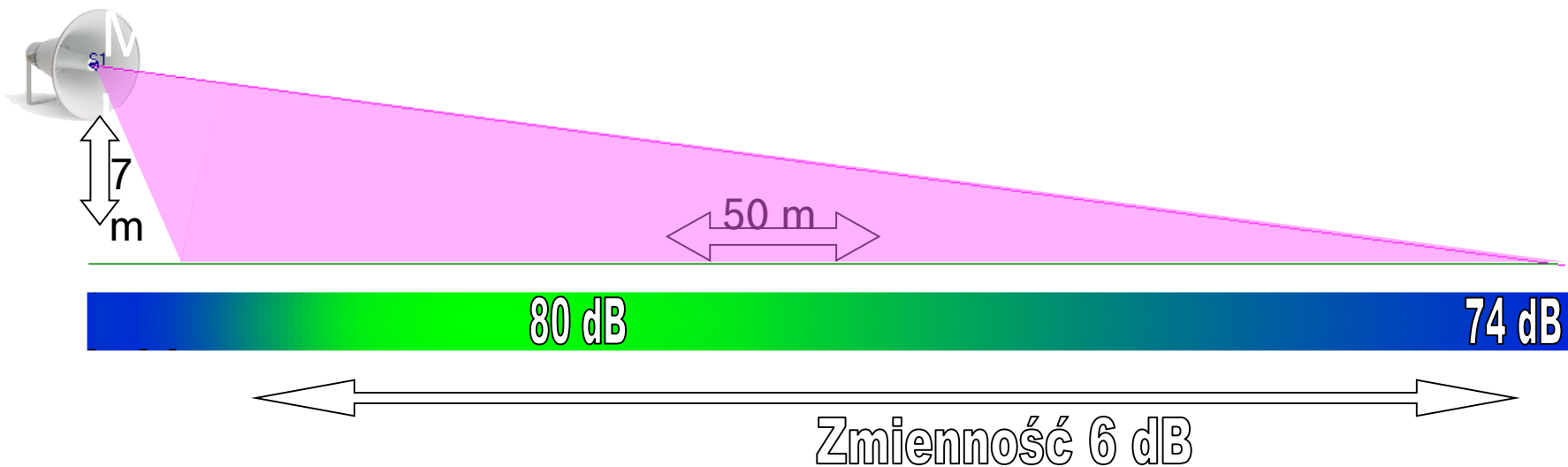
Zrozumiałość mowy

- Maksymalizacja stosunku dźwięku bezpośredniego do pogłosowego (D/R)
 - Skierowanie optymalnie głośnika na publiczność (ważne jest pozostawanie w bezpośredniej widoczności wszystkich słuchaczy).
 - Minimalizacja efektu przenikania dźwięku do obszarów, w których nie jest konieczny.

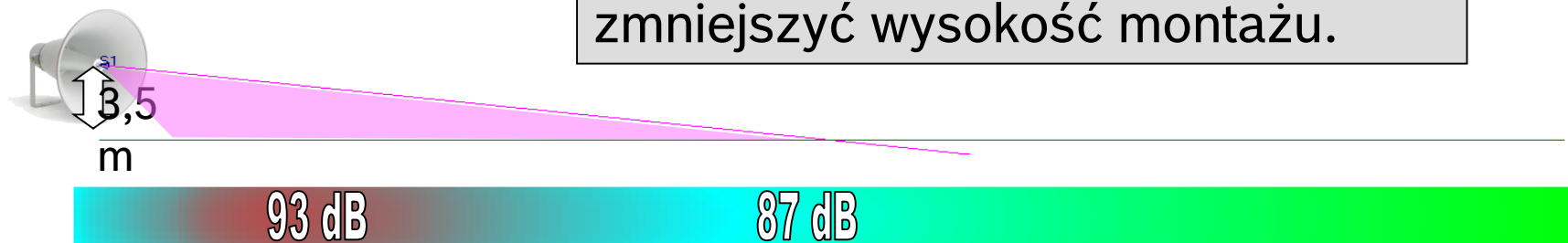


BOSCH

Zrozumiałość mowy



Aby zwiększyć stosunek D/R,
zmniejszyć wysokość montażu.

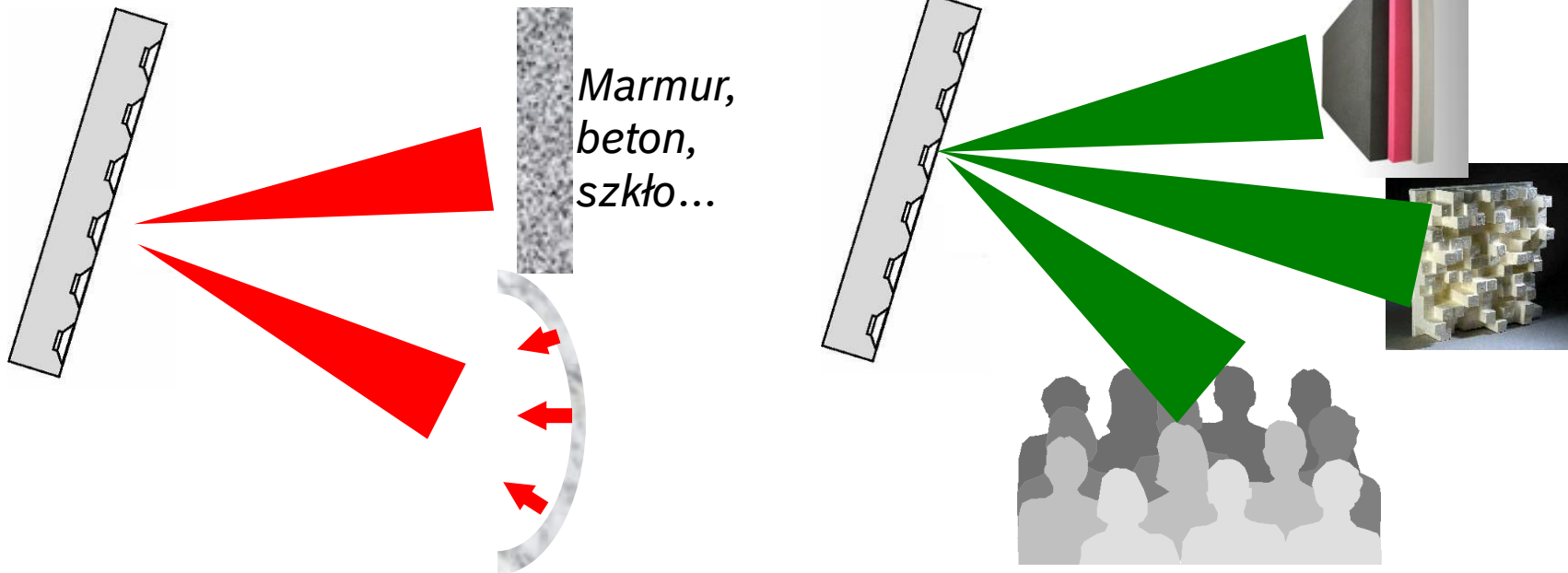


BOSCH

Zrozumiałość mowy

→ Zapobieganie silnym odbiciom

- Nie kierować na twarde powierzchnie, w szczególności w przypadku bardzo kierunkowych źródeł dźwięku.
- Nie kierować na struktury wklęsłe, aby zapobiec odbiciom ogniskowanym.
- Kierować na obszary pochłaniające / rozpraszające.

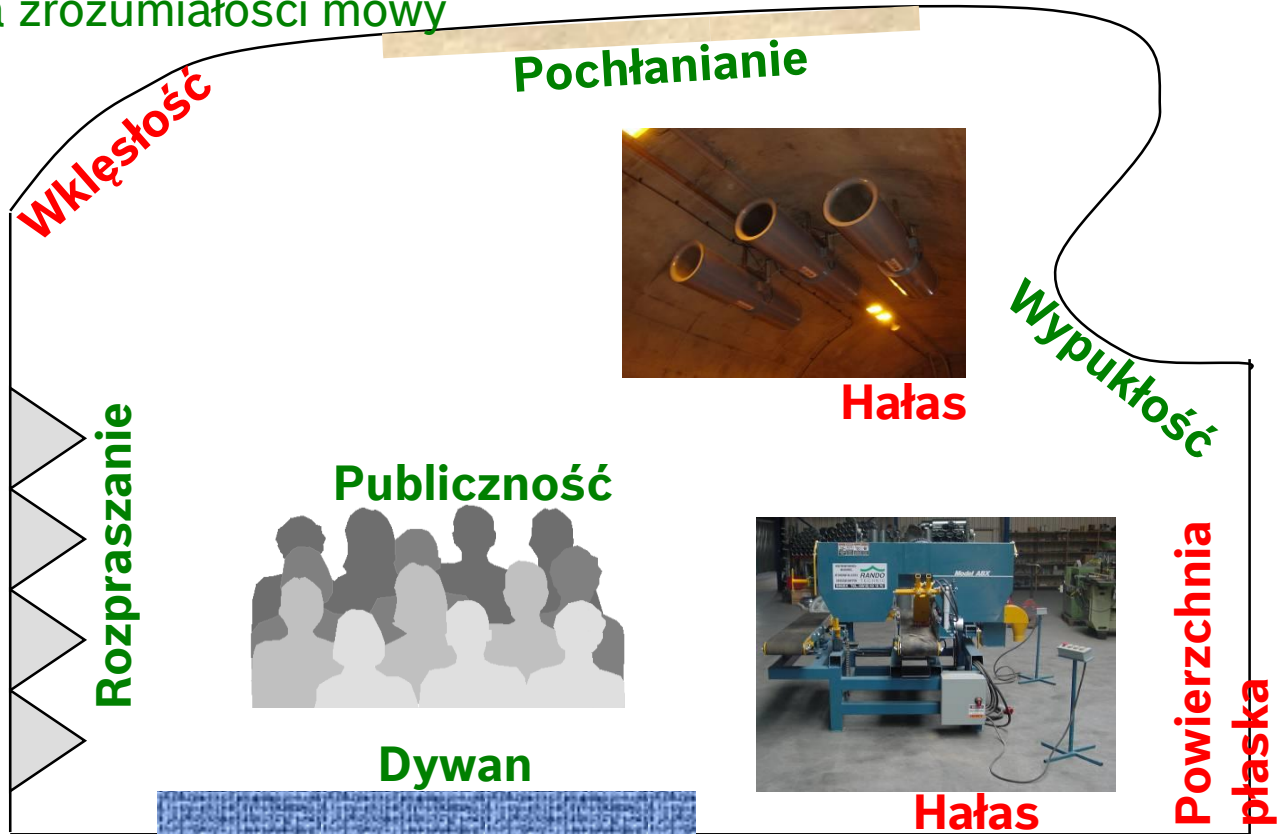


BOSCH

Zrozumiałość mowy

Niekorzystne dla zrozumiałości mowy


Korzystne dla zrozumiałości mowy



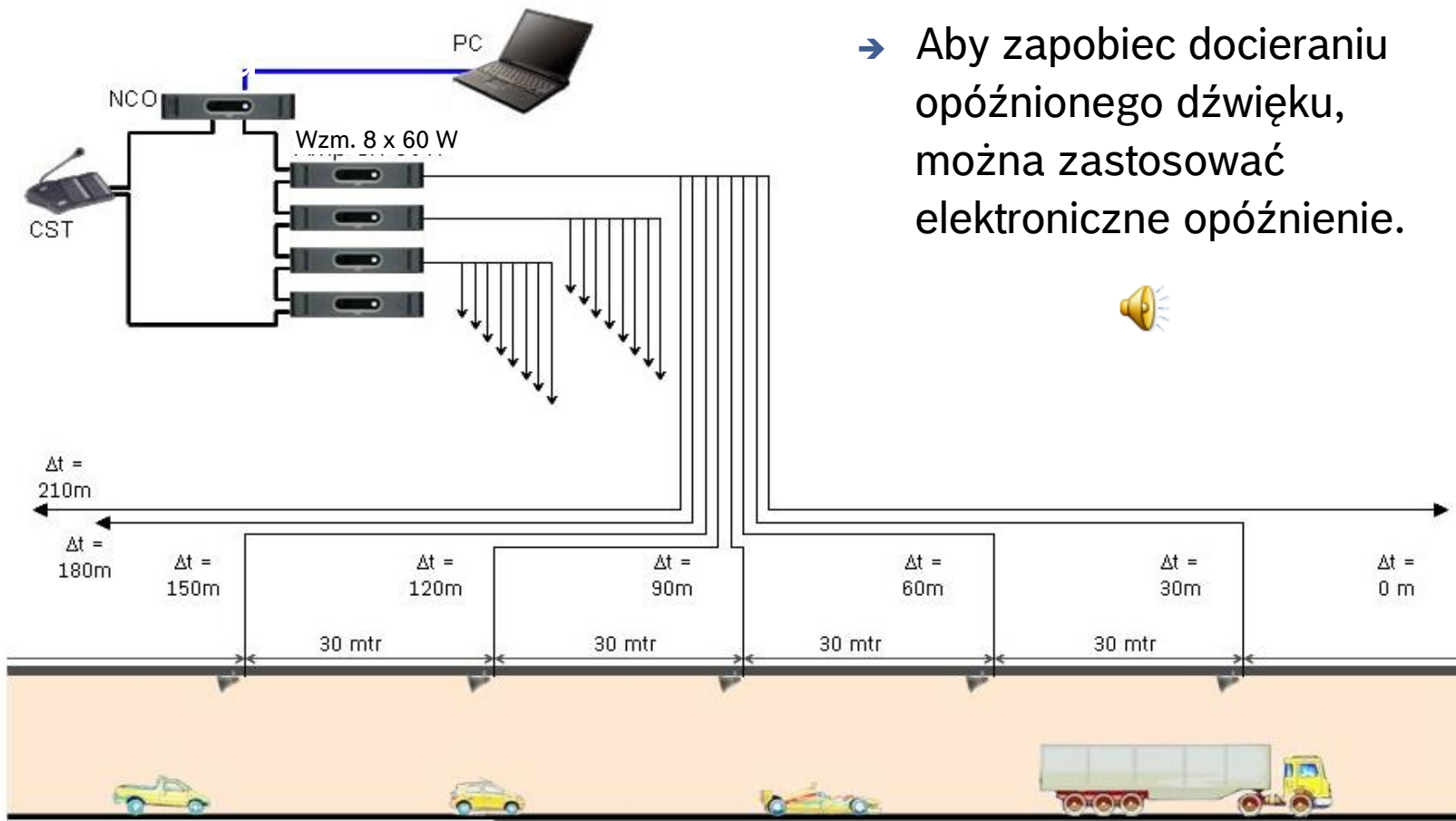
BOSCH



- Opóźniony dźwięk może stanowić problem, kiedy:
 - Używamy silnie kierunkowych głośników (głośniki tubowe, matryce liniowe, kolumny).
 - Głośniki skierowane są w tym samym kierunku; pomiędzy tymi głośnikami występuje odległość.

- Przykłady: 
 - Tunele drogowe
 - Perony
 - Terminale na lotniskach
 - Wystąpienia na żywo (kościół, meczet, konferencja)

Zrozumiałość mowy



BOSCH



Metody pomiaru zrozumiałości

Podział metod zrozumiałości mowy

→ Subiektywne

→ Ilościowe:

- AI
- STI
- STIPA

Metody subiektywne

- **Metody subiektywne są najczęściej stosowane w badaniach akademickich**, lub w rzadkich przypadkach, by rozwiązać dyskusję dotyczącą jakości zainstalowanego systemu audio. Badacze próbujący znaleźć nowy wgląd na to, jak dana zmienna wpływa na zrozumiałość mowy skorzystaliby właśnie z takiej metody.
- **Metody subiektywne są trudne, nużące oraz drogie.** Dla przykładu, aby otrzymać wiarygodne wyniki, należy użyć setek, a nawet tysięcy słów dla danej lokacji. Potrzebni są wyszkoleni nadawcy i odbiorcy. Należy także bardzo uważać na uprzedzenia eksperymentatorów lub podmiotów. Środowisko, w którym przeprowadzany jest test musi być ściśle kontrolowane, co często jest trudne lub niemożliwe do osiągnięcia w systemie oddanym do użytku.

Metody subiektywne

- **Ogólnie rzecz biorąc, przeprowadzanie testów subiektywnych wymaga poziomu umiejętności rzadko spotykanego poza kręgami naukowymi.**
- **Dodatkowo, metody te nie mogą być wykorzystywane w ogóle do przewidywania zrozumiałości na etapie projektowania; jeśli system nie został zainstalowany lub budynek zbudowany, odbiorcy nie mają czego słuchać.**

Pomiary zrozumiałości mowy

Kosch	Sen	Sez	Telf	Spom	Wob	Prab	Nul
Las	Schnar	Blem	Telf	Mig	Mig	Schlussch	Zasch
Ban	Nel	Log	Bin	Notsch	Buk	Gluk	Slub
Pruk	Spom	Schuk	Bler	Plun	Rilf	Kok	Ras
Dotsch	Wem	Bitsch	Schest	Rift	Krog	Schrors	Frasch
Tim	Tid	Mis	Net	Bilf	Dur	Kluf	Jaft
Sup	Bir	Frob	Tos	Dog	Tir	Flin	Schrup
Pliif	Prast	Sip	Pirs	Wet	Peng	Plutsch	Nong
Brek	Zid	Laz	Dab	Mom	Spid	Schug	Gef
Lors	Bib	Nel	Prir	Griz	Dut	Psar	Sliz
Duf	Tist	Lob	Buf	Krulf	Strag	Strest	Jub
Frelf	Dulf	Plot	Lap	Blost	Krolf	Druk	suft

- Jedna osoba czyta logatomy (nic nieznaczące wyrazy jednosylabowe) umieszczone w zdaniach.
- Słuchacze mają zapisać te słowa.
- Zrozumiałość = (liczba prawidłowo zapisanych logatomów) / (liczba logatomów)



Problemy metod subiektywnych

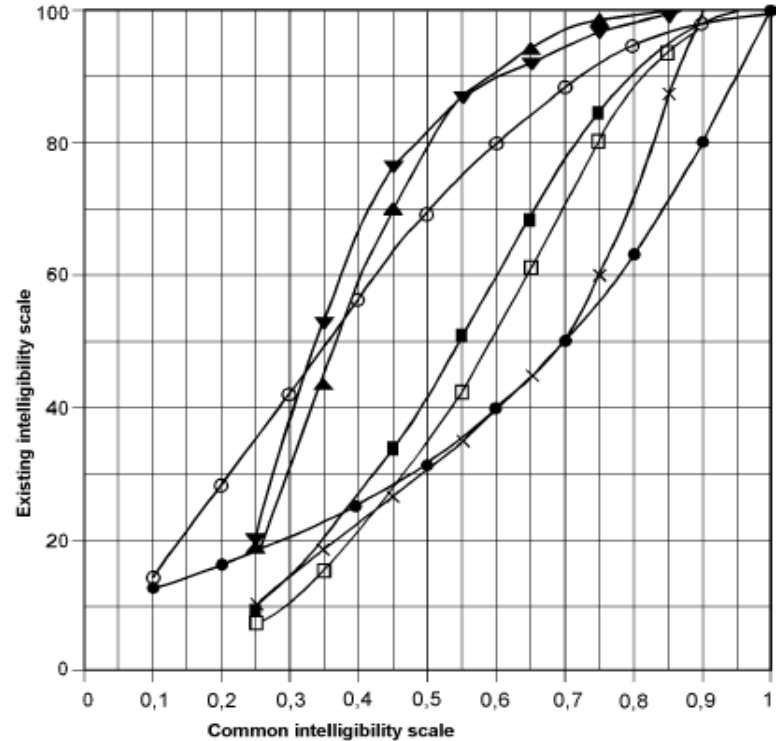
- Ścisła metoda subiektywna kontroluje zmienne, o których wiadomo, że wpływają na zrozumiałość. Na przykład, nadawca w teście subiektywnym nie powinien być znany odbiorcom (i vice versa).
- Potrzebna jest duża ilość odbiorców, aby odpowiednio odwzorować populację. Wykorzystanie jednego lub dwóch podmiotów nie spełnia tego wymagania.
- Potrzeba użyć wystarczającej ilości słów, aby uzyskać rzeczywiste i prawidłowe wyniki.
- Ponieważ zmienne, wpływające na zrozumiałość w testach nieformalnych nie są kontrolowane, wyniki nie są powtarzalne.

Metody ilościowe

Ponieważ testy subiektywne są takie trudne do przeprowadzenia oraz ponieważ testy nieformalne nie dają prawidłowych, powtarzalnych wyników, stworzono metody pomiaru zrozumiałości mowy oparte na pomiarach wielkości akustycznych, w przeciwieństwie do wykorzystania ludzi.

Zrozumiałość mowy

- Alcons: utrata artykulacji spółgłosek
- STI: współczynnik transmisji mowy
 - RaSTI: szybki (Rapid) STI
 - STIPA: STI do systemów nagłośnieniowych (Public Address)
- CIS: wspólny wynik zrozumiałości (Common Intelligibility Score)



- ▼ Phonetically balanced word scores (256 words)
- ▲ Short sentences
- Percentage articulation of consonants (100-% Alcons)
- Phonetically balanced word scores (1 000 words)
- 1 000 syllables
- × Articulation index (AI)
- Speech transmission index (STI x 100)

IEC 4039



BOSCH

Alcons: Articulation loss of consonants

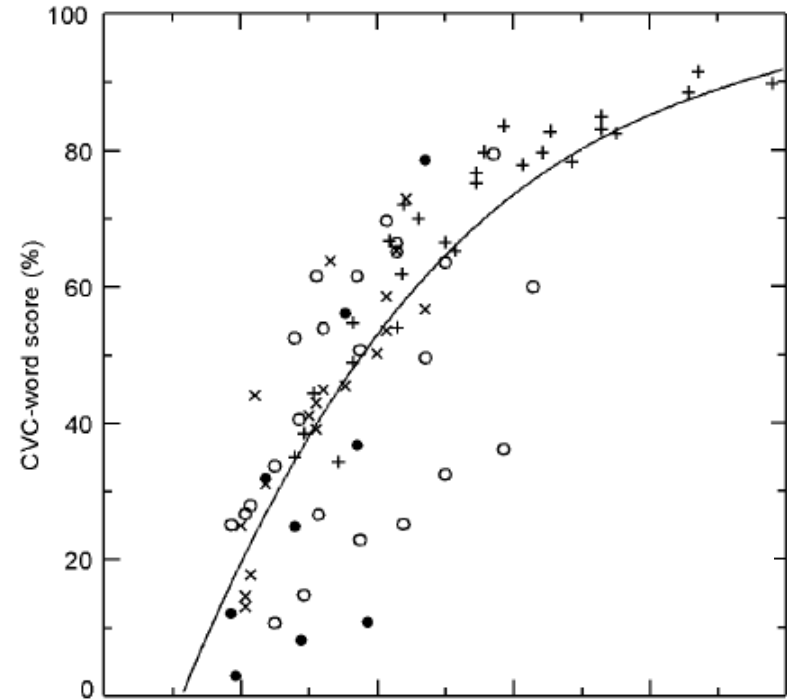
- Opracowana dla sytuacji, w których dominujący wpływ na zrozumiałość mają poziomy sygnału i szumów tła – np. systemy telefoniczne.
- Peutz zauważył, że utrata artykulacji spółgłosek, nie głosek w znaczącym stopniu zmniejsza zrozumiałość mowy
- Główne odkrycia - zrozumiałość jest proporcjonalna do:
 - Czas pogłosu w pomieszczeniu;
 - Rozmiaru pomieszczenia;
 - Odległości pomiędzy mówcą a słuchaczem
- Od 1986 możliwy jest pomiar Alcons z analizatorem TEF

Alcons: Articulation loss of consonants

- Alcons ma wartość procentową pomiędzy 0% (idealna zrozumiałość) i 100% (przekaz niezrozumiały).
 - Do systemów nagłośnieniowych zalecane jest maksimum 15% AI.
- Metoda Alcons nie bierze pod uwagę akustyki pomieszczeń (echa i pogłos) oraz zniekształceń nieliniowych (np. z przeładowanego wzmacniacza). Z tych powodów nie jest najlepsza do PA.

STI: Speech Transmission Index

- STI jest modelem który porównuje sztuczny sygnał testowy mowy z otrzymanym wyników.
- Uwzględnia wszystkie czynniki na drodze transmisji nadawca-odbiorca, wpływające na zrozumiałość.
- Każdy punkt wykresu posiada określone odchylenie spowodowane:
 - pogłosem
 - szumem
 - kompresją
 - ...



Metoda ustandaryzowana przez IEC i opublikowana w normie IEC 268, cz. 16.

STI: Speech Transmission Index

Podejście stosowane w metodzie STI bazuje na teorii, że zdolność zrozumienia mowy jest w największym stopniu zdeterminowana przez prawidłową percepcję niskoczęstotliwościowych modulacji nośnego sygnału mowy, które są związane z fluktancjami rytmu rzeczywistej mowy.

Mowa składa się z dwóch widm:

- Słyszalnego - 100Hz – 10kHz, przedstawianego za pomocą 7 oktaw środkowych. Ma dużo niższą częstotliwość niż zakres częstotliwości słyszalnych (kilka Hz). Dźwięki słyszalne można modulować przez modulację amplitudy sygnału szeroko zakresowego.
- widma modulacyjnego - definiującego tempo wypowiedzianych fonemów zwane. Można je przedstawić za pomocą 14 częstotliwości rozmieszczonych co 1/3 oktawy.

STI: Speech Transmission Index

Sygnał pomiarowy – znormalizowany – to szum modulowany – 14 częstotliwości w 7 oktawach, co daje razem 98 pomiarów potrzebnych do określenia STI.

→ Zalety:

- Wpływ szumu tła oraz pogłosu są automatycznie brane pod uwagę i nie trzeba stosować współczynników korekcyjnych, aby otrzymać wyniki
- Pomiar dokonywany jest w obecności sygnału użytecznego i szumu tła.
- Pomiar STI może być wykonywany w czasie krótszym niż 10s.

STI zmienia się od 0 (b. źle) do 1 (b. dobrze).
STI 0.5 – zrozumiałość ok. 80% słów oraz 95% zdań.

Rapid STI (RaSTI)

Oct. band	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 kHz
F ₁ = 0,63 Hz					■		
F ₂ = 0,8 Hz					■		
F ₃ = 1,0 Hz			■				
F ₄ = 1,25 Hz					■		
F ₅ = 1,6 Hz					■		
F ₆ = 2,0 Hz			■				
F ₇ = 2,5 Hz					■		
F ₈ = 3,15 Hz					■		
F ₉ = 4,0 Hz			■				
F ₁₀ = 5,0 Hz					■		
F ₁₁ = 6,3 Hz					■		
F ₁₂ = 8,0 Hz			■				
F ₁₃ = 10 Hz					■		
F ₁₄ = 12,5 Hz					■		
L dB							

- Szybsza wersja STI
 - 9 pomiarów w 2 pasmach oktawowych o częstotliwościach 500 i 2000Hz
- Metoda wychodzi z obiegu z uwagi na obarczenie błędami.


STIPA: STI for Public Address

- STIPA składa się z sygnału testowego z predefiniowanego zestawu dwóch częstotliwości modulujących dla 7 pasm oktaowych o częstotliwościach środkowych w zakresie od 125 Hz do 8 kHz.
- Sygnał testowy pomija niewspółzależne modulacje wymagane do właściwej interpretacji zniekształceń nieliniowych.
- Sygnał STIPA oparty jest na męskim widmie mowy, ponieważ tylko taki został dotychczas zwalidowany.



Zrozumiałość mowy

- Mierniki ręczne
 - Acoustilizer NTI
 - Ivie IE-35
 - Gold-line DSP2B
- Pod uwagę brane są wszystkie czynniki wpływające na zrozumiałość mowy
- Uwagi:
 - W przypadku hałasów o charakterze wysokich impulsów miernik często pokazuje zafałszowaną wartość.
 - Poziom odtwarzania powinien być podobny do poziomu sygnału przy ewakuacji.

 sygnał pomiarowy



BOSCH

Dokonywanie pomiarów

- Pomiar zrozumiałości mowy powinien być wykonany w kilku punktach pomiarowych wybranych zgodnie z poniższymi wymaganiami:

Obszar różny akustycznie m2	Minimalna ilość pkt. pomiar.
Poniżej 25	1
25 do 100	3
100 do 500	6
500 do 1500	10
1500 do 2500	15
Powyżej 2500	15 na 2500m2

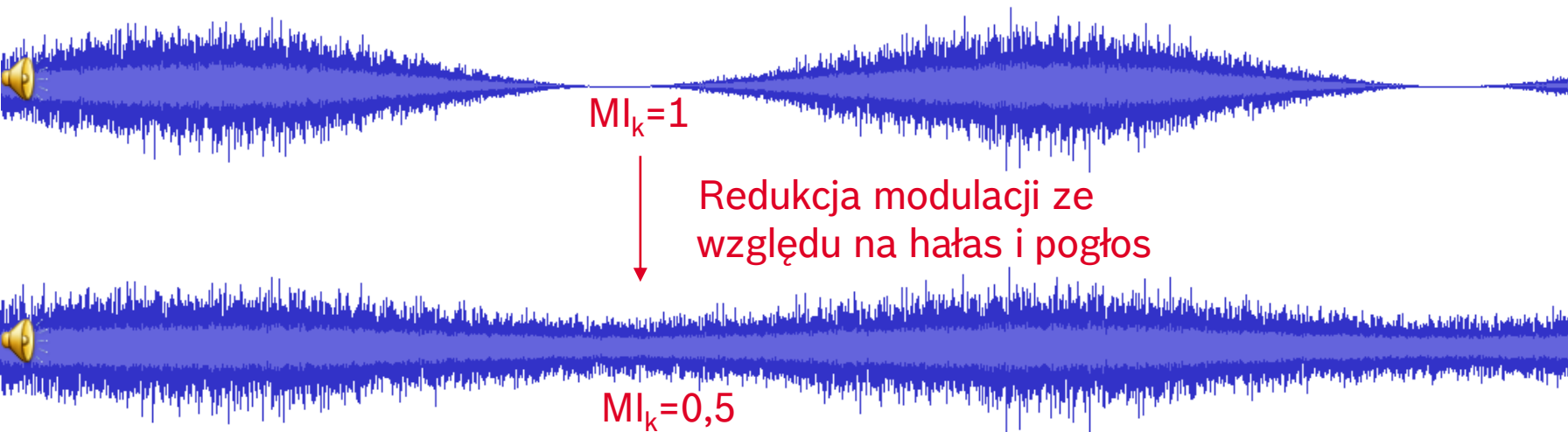
→ Miernik ręczny mierzy współczynnik STIPA

- Szybka wersja współczynnika STI
- Pomiar współczynnika STIPA trwa ok. 15 s





















BOSCH

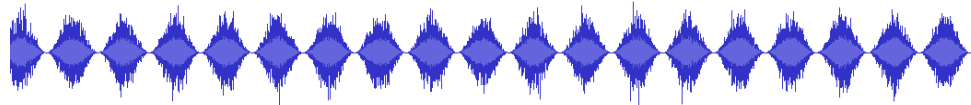
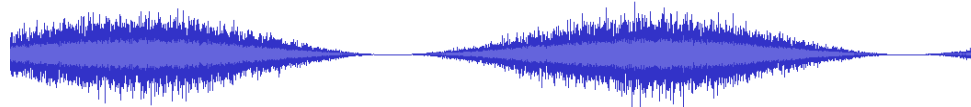
- Określa, do jakiego stopnia zredukowane są modulacje w sygnale, jako funkcja modulacji częstotliwości.



BOSCH

Schemat pomiarów

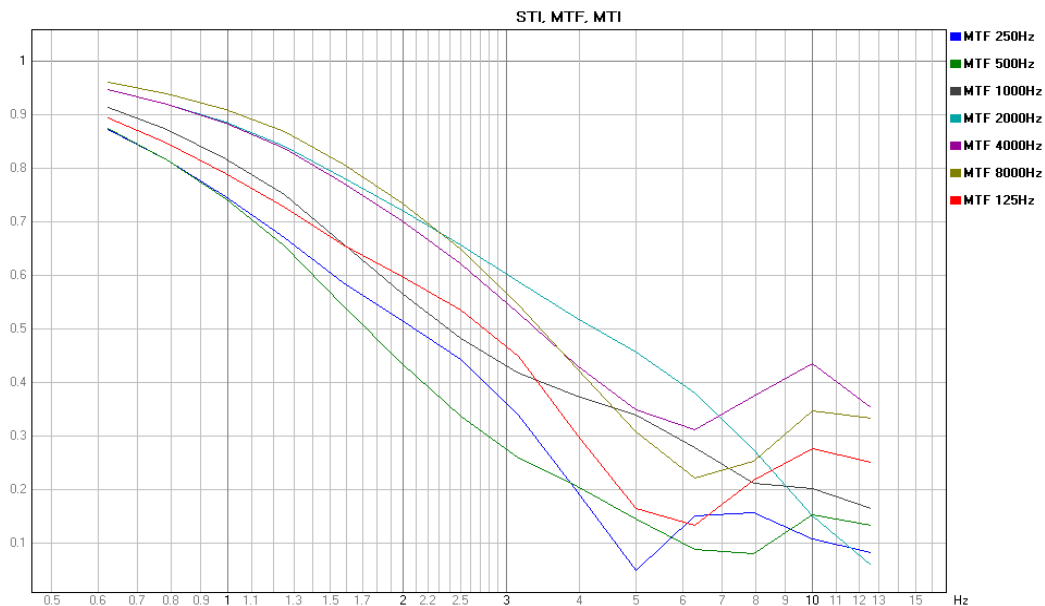
Pasmo oktawowe	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
$F_1=0,63$ Hz							
$F_2=0,8$ Hz							
$F_3=1,0$ Hz							
$F_4=1,25$ Hz							
$F_5=1,6$ Hz							
$F_6=2,0$ Hz							
$F_7=2,5$ Hz							
$F_8=3,15$ Hz							
$F_9=4,0$ Hz							
$F_{10}=5,0$ Hz							
$F_{11}=6,3$ Hz							
$F_{12}=8,0$ Hz							
$F_{13}=10$ Hz							
$F_{14}=12,5$ Hz							



BOSCH

Zrozumiałość mowy

Pasma oktauwowe	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
$F_1=0,63$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_2=0,8$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_3=1,0$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_4=1,25$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_5=1,6$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_6=2,0$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_7=2,5$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_8=3,15$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_9=4,0$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_{10}=5,0$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_{11}=6,3$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_{12}=8,0$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_{13}=10$ Hz	■	■	■	■	■	■	■
$F_{14}=12,5$ Hz	■	■	■	■	■	■	■



Kształt jak filtr dolnoprzepustowy



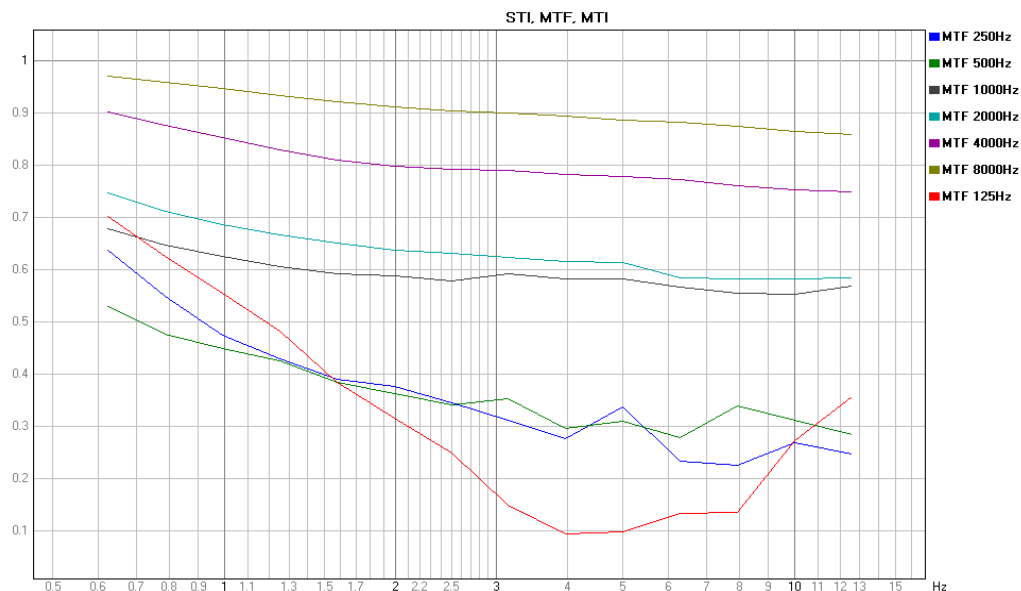
Problem pogłosu



BOSCH

Zrozumiałość mowy

Pasmo oktauwowe	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
$F_1=0,63$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_2=0,8$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_3=1,0$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_4=1,25$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_5=1,6$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_6=2,0$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_7=2,5$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_8=3,15$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_9=4,0$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_{10}=5,0$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_{11}=6,3$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_{12}=8,0$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_{13}=10$ Hz	█	█	█	█	█	█	█
$F_{14}=12,5$ Hz	█	█	█	█	█	█	█



Sumaryczna krzywa przesunięta
w dół



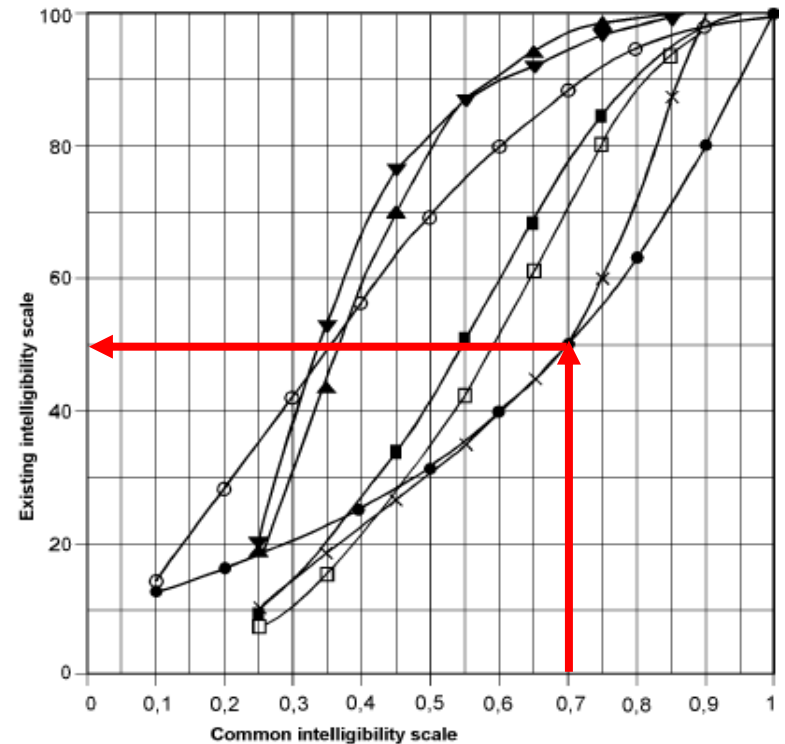
Problem szumów



BOSCH

Zrozumiałość mowy

- Norma dotycząca dźwiękowych systemów ostrzegawczych IEC 60849 wymaga wyniku **CIS > 0,7**.
- Jest to równe wartości parametru **STI na poziomie 0,5**.



- ▼ Phonetically balanced word scores (256 words)
- ▲ Short sentences
- Percentage articulation of consonants (100-% Alcons)
- Phonetically balanced word scores (1 000 words)
- 1 000 syllables
- × Articulation index (AI)
- Speech transmission index (STI x 100)

IEC 4039



BOSCH

Zrozumiałość mowy

→ Porady:

- Współczynnik STI mierzyć w ciszy.
- Widmo hałasu mierzyć oddzielnie.
- Wyznaczyć wartość współczynnika STI w hałasie przy pomocy narzędzia obliczeniowego.



Measuring the Speech Intelligibility with realistic environmental noise is often not applicable. This program combines "noiseless" recorded STI-PA results with environmental noise spectra and predicts the resulting STI value. STI-PA and RTA results (1/3 and 1/1 octave) recorded and stored with the Acoustilyzer may be imported (use the MiniLINK Software to transfer these results from the AL1 to the PC).

1. Load/add STI-PA files Load STI-PA Files Add STI-PA Files
2. Select result unit STI CIS
3. Load/add RTA NOISE files Load NOISE Files Add NOISE Files
4. Select RTA NOISE input values LEQ SPL
5. Add comments in "yellow fields" in sheets "STI-PA" and "Noise RTA"
6. Investigate colored results. Font turns to blue for STI smaller 0.5.

0	STI	0.3	0.45	0.6	0.75	1.0
		BAD	POOR	FAIR	GOOD	EXCELLENT
0	CIS	0.48	0.65	0.78	0.88	1.0

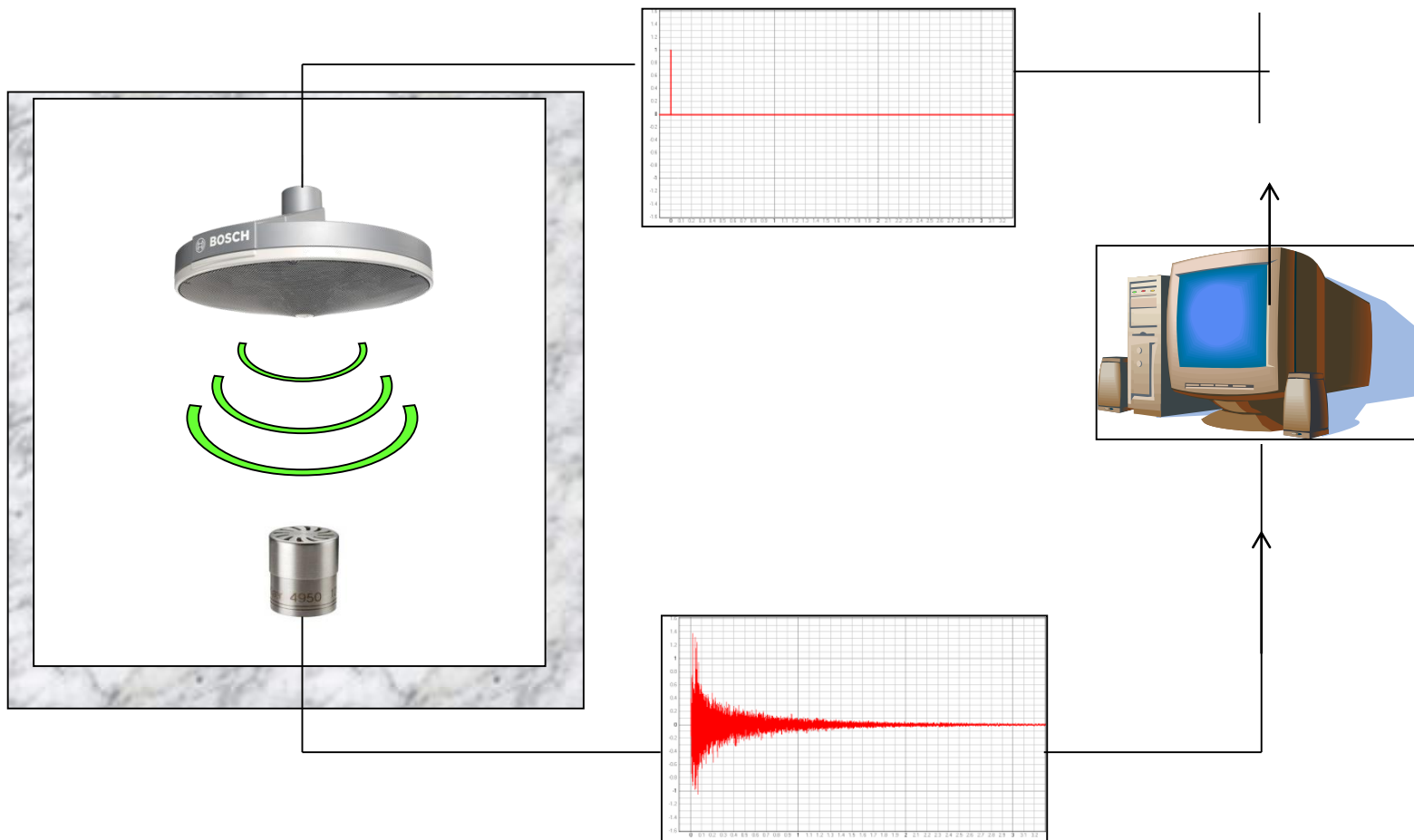
Result unit: STI
Noise values: SPL
Manual Recalculation

STI-PA Files	Comment	STI-PA Status	Orig Value	RTA Noise Files	Comment
A124 STI-PA		OK	0,89	0,77	
		Average	0,89	0,77	
		Sigma			
		Minimum	0,89	0,77	
		Maximum	0,89	0,77	



BOSCH

Współczynnik STI z odpowiedzi impulsowej



Zrozumiałość mowy

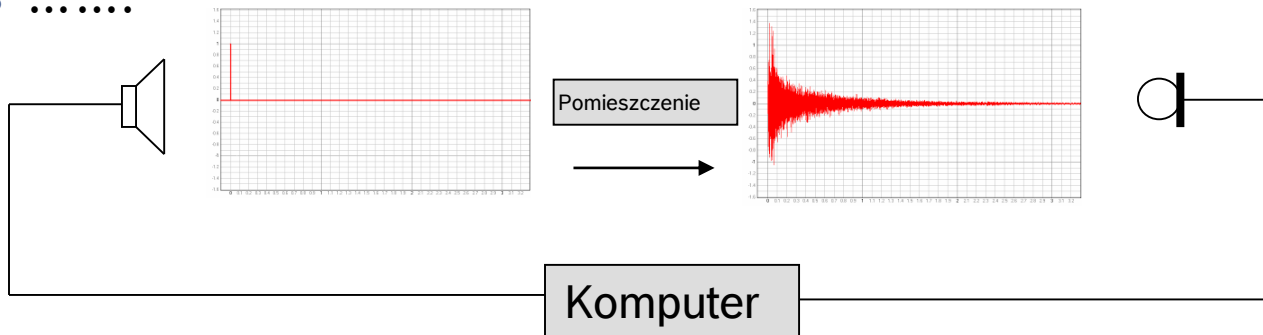
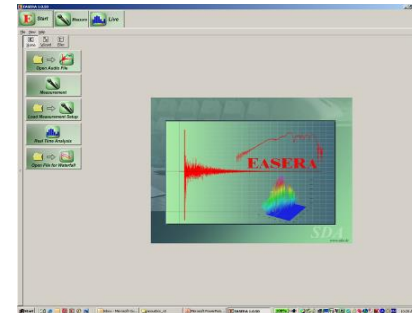
→ Możliwość wyznaczenia pełnego współczynnika STI i wszystkich innych wersji STI

- Więcej szczegółów: użyteczne do rozwiązywania problemów

- Zajmuje więcej czasu niż przy użyciu miernika ręcznego

→ Do tego celu dostępnych jest kilka programów:

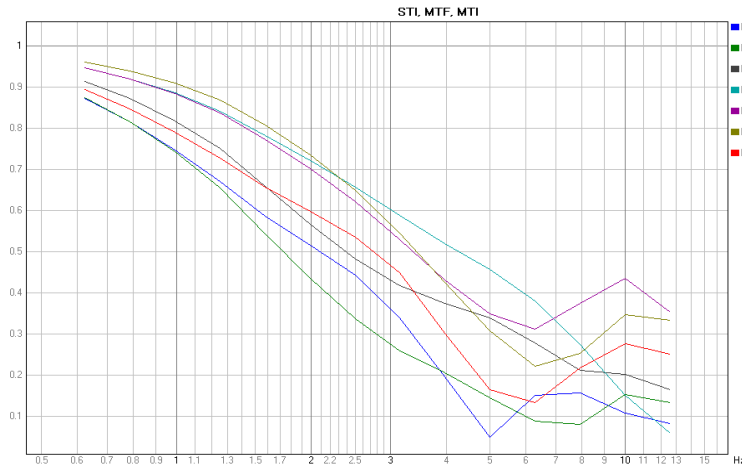
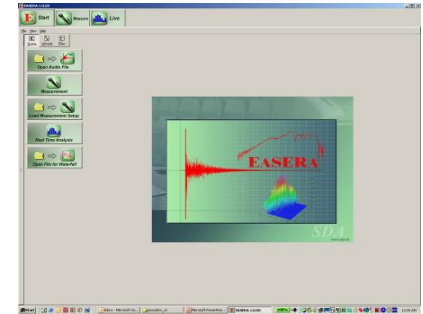
- MLSSA ("Melissa")
- Dirac
- EASERA
-



BOSCH

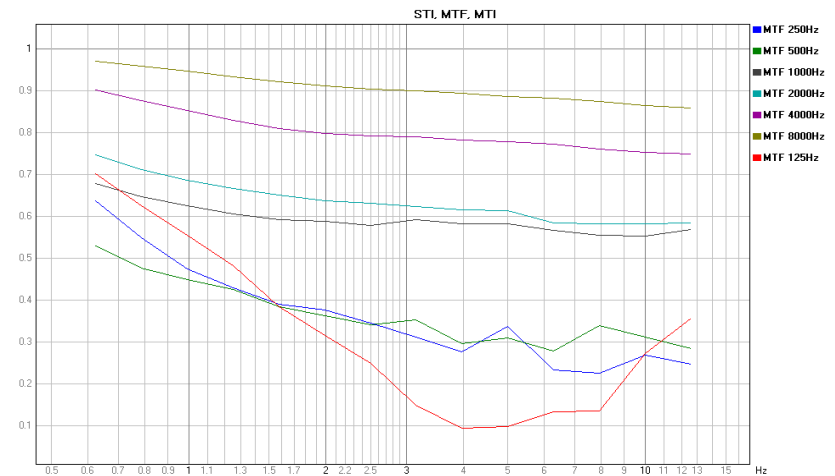
Zrozumiałość mowy

→ Odpowiedź impulsowa użyteczna do rozwiązywania problemów



Problem pogłosu

Problem hałasu



BOSCH