ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: BUDOWNICTWO z. 95 Nr kol.1559

Artur NOWOŚWIAT*
Politechnika Śląska

WPŁYW CZASU POGŁOSU NA ZROZUMIAŁOŚĆ MOWY W POMIESZCZENIU ZAMKNIĘTYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono wpływ czasu pogłosu na współczynniki RASTI, określające zrozumiałość mowy w pomieszczeniu. Do tego celu wykorzystano wyprowadzone przez Houtgasta i Steenekena [4] oraz opisane przez Rutkowskiego [7] zależności funkcji MTF od czasu pogłosu pomieszczenia, a następnie zastosowano je. do wyznaczenia współczynników RASTI. Wyniki obliczeń przedstawiono na wykresach zależności wskaźnika zrozumiałości mowy RASTI od czasu pogłosu oraz funkcji MTF od częstotliwości modulacji amplitudowej w zależności od czasu pogłosu.

THE INFLUENCE OF REVERBERATION TIME ON THE SPEECH INTELLIGIBILITY IN ROOMS

Summary. The paper desribes the influence of the reverberation time on the RASTI-index, defining the speech intelligibility in rooms. To gain this aim the relation between the MTF function and the reverberation time, derived by Houtgast and Steeneken [4] and developed by Rutkowski [7], has been used. The same relation has also been applied to calculate the RASTI- index.

1. Wstęp

Zjawiska akustyczne wewnątrz pomieszczeń towarzyszą nam w życiu codziennym. Zrozumiałość mowy i brzmienie muzyki są zwykle podstawowymi czynnikami uwzględnianymi przy ocenie jakości akustycznej wnętrz. Jednym z ważniejszych problemów w akustyce wnętrz podejmowanych w ciągu ostatniego ćwierćwiecza jest zagadnienie zrozumiałości mowy w pomieszczeniach o charakterze kulturalno – rozrywkowym [3, 7, 10].

Badania nad tym zagadnieniem doprowadziły do określenia wpływu podstawowych parametrów akustycznych wnętrza na obwiednię amplitudową dźwięku. Powiązanie wyników

*Opiekun naukowy: Dr hab. Tadeusz Zakrzewski, prof. Politechniki Śląskiej

tych badań ze stosowanymi dotychczas miarami zrozumiałości mowy w pomieszczeniach umożliwiło opracowanie nowych, fizycznych metod oceny zrozumiałości w różnego rodzaju salach. Na podkreślenie zasługują opracowane przez Houtgasta i Steenekena metody wyznaczania wskaźników STI (Speech Transmission Index) i RASTI (Rapid Speech Transmission Index) [4]. Przedstawili oni koncepcję dotyczącą fizycznej oceny zrozumiałości mowy, opierając się na wyznaczonej uprzednio w pomieszczeniach funkcji przeniesienia modulacji amplitudowej MTF (Modulation Transfer Function) [2].

Funkcja MTF oraz wskaźniki STI zostały opisane w pracach [3, 7, 8], a przedstawione w formie referatu na II Konferencji Doktorantów Wydziałów Budownictwa Wisła - 2001 przez autora tej pracy [5].

Celem tego artykułu jest przedstawienie przykładu numerycznych obliczeń RASTI od czasu pogłosu oraz MTF od częstotliwości modulacji amplitudowej sygnału akustycznego pobudzającego pomieszczenie.

2. Wskaźnik transmisji mowy RASTI

Modyfikacja dźwięków o zmiennym natężeniu w pomieszczeniach ma zasadniczy wpływ na zrozumiałość mowy. Istnieje związek pomiędzy fizycznymi zmianami oryginalnej obwiedni amplitudowej mowy a stopniem jej zrozumiałości. Rezultaty wielu badań [9,10, 11] dowiodły, że zrozumiałość mowy w pomieszczeniach jest uzależniona od takich wielkości, jak: poziom sygnału mowy, poziom zakłóceń, czas pogłosu i struktura amplitudowo – czasowa odbić dźwięku. Prekursorami nowych metod dotyczących fizycznej oceny zrozumiałości mowy byli Houtgast i Steeneken [4]. Przedstawili oni koncepcję stanowiącą alternatywę dla skomplikowanych obliczeń zaprezentowanych przez Krytera i ustalili związek pomiędzy funkcją MTF i krzywą zaniku dźwięku w pomieszczeniu, oraz wprowadzili definicję współczynnika modulacji amplitudowej:

$$m(f)=\frac{\left|\int_0^\infty e^{2\pi jFt}r(t)dt\right|}{\int_0^\infty r(t)dt}\left(1+10^{\frac{-S/N}{10}}\right)^{-1}, \tag{1}$$

gdzie: $r(t)$ jest kwadratem odpowiedzi impulsowej pomieszczenia, F jest częstotliwością modulacji amplitudy sygnału nadanego, a S/N stosunkiem sygnału do szumu (średniego

natężenia dźwięku zmodulowanego nadanego do pomieszczenia do natężenia szumu zakłócającego).

Podobną definicję podał Schroeder [8]

$$m(f)=\frac{\int_0^\infty h^2(t)e^{-j\omega t}dt}{\int_0^\infty h^2(t)dt}, \tag{2}$$

gdzie: $\omega = 2\pi f$ (f – częstotliwość modulacji amplitudowej).

Zakładając, że przeniesienie modulacji amplitudowej w funkcji częstotliwości odbywa się podobnie jak przeniesienie sygnału przez filtr dolnoprzepustowy pierwszego rzędu, oraz przyjmując eksponencjalny charakter zanikania dźwięku Schroeder podał wyrażenie określające odpowiedź impulsową pomieszczenia „zmodulowaną stochastycznie" w postaci wzoru [8,9]:

$$h(t)=e^{-\frac{t}{\tau}}w(t), \tag{3}$$

gdzie: $w(t)$ jest realizacją stacjonarnego szumu białego opisanego również przez autora w pracy [6].

Uwzględniając przyjęte założenia, Schroeder uzyskał wyrażenie określające współczynnik modulacji amplitudowej w postaci :

$$|m(f)|=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{2\pi fT}{13.8}\right)^2}}. \tag{4}$$

Zachodzi przy tym zależność: $MTF=|m(f)|$.

Wyznaczenie współczynników RASTI opiera się na określeniu stopnia redukcji współczynnika modulacji amplitudowej $m(f)$ spełniającego zależność:

$$m(f)=\frac{1}{\sqrt{1+\left(2\pi f\frac{T}{13.8}\right)^2}}\cdot\frac{1}{1+10^{\frac{-S/N}{10}}}, \tag{5}$$

gdzie:

f – częstotliwość [Hz],

T – czas pogłosu [s],

S/N – stosunek sygnału do szumu [dB].

Ocena systemu transmisji dźwięku dokonywana jest przez rodzinę krzywych MTF. Aby uzyskać wartość STI, znając $m(f)$ wprowadza się pozorny stosunek sygnału do szumu

$\left(S/N\right)_{app}$ [1], gdzie app – oznacza wskaźnik pozorny. Wyprowadza się go z zależności (5), przy założeniu że warunki pogłosowe nie wpływają na modulacyjną funkcję przeniesienia i określa z zależności:

$$\left(S/N\right)_{app} = 10\log\frac{m(f)}{1-m(f)}. \tag{6}$$

Współczynnik STI można wówczas zapisać w postaci [5] :

$$STI \equiv \left(S/N\right)_{app}. \tag{7}$$

Celem uzyskania normalizacji wprowadzonego wskaźnika STI należy wykorzystać następujące warunki ograniczające:

$STI = 1.0$, gdy $\left(S/N\right)_{app} \geq 15$ dB.

$STI = 0.0$, gdy $\left(S/N\right)_{app} \leq -15$ dB.

Natomiast średnią wartość stosunku sygnału do szumu określamy jako

$$\overline{\left(S/N\right)} = \frac{1}{18}\sum_{F=0.4}^{20}\left(S/N\right). \tag{8}$$

Tak wyznaczone wartości średnie sygnału do szumu można również wykorzystać do wyznaczania wartości RASTI z zależności:

$$RASTI = \frac{\overline{\left(S/N\right)}+15}{30}. \tag{9}$$

Znormalizowane metody STI i RASTI określają zrozumiałość mowy poprzez zidentyfikowanie i ocenę wpływu pomieszczenia, tzn. warunków panujących w nim, na sygnał dźwiękowy odbierany przez słuchaczy.

Opisana wyżej, a zaproponowana przez Houtgasta i Steenekena stosunkowo prosta w swej istocie miara zrozumiałości mowy wzbudziła duże zainteresowanie wśród akustyków wnętrz.

3. Wyniki obliczeń

Fale akustyczne, które występują wewnątrz pomieszczenia, ulegają rozproszeniu wskutek wielokrotnych odbić od powierzchni ograniczających to pomieszczenie. Ponieważ część energii akustycznej padającej na te powierzchnie jest pochłaniana, odbić takich – dla danej fali akustycznej – będzie tym więcej, im chłonność akustyczna tego pomieszczenia jest

mniejsza. Tak więc chłonność akustyczna pomieszczenia ma wpływ na „jakość akustyczną" pomieszczenia.

Poniżej przedstawiono algorytm wyznaczania wskaźnika RASTI. Bardzo ważną rolę w tym algorytmie odgrywa zależność (4), gdyż wiąże przeniesienie modulacji amplitudowej w pomieszczeniu nie tylko z prędkością tych zmian, ale również z czasem pogłosu pomieszczenia.

Algorytm postępowania przy wyznaczeniu RASTI:

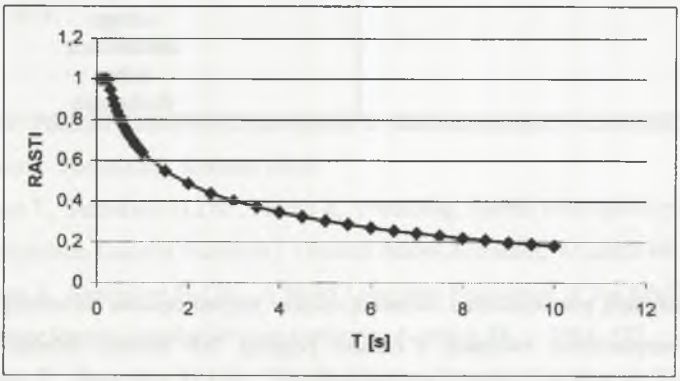
- Wyznaczamy współczynniki redukcji modulacji $m(f)$ na podstawie zależności (4).
- Wyznaczamy na podstawie zależności (6) pozorne stosunki sygnału do szumu, przyjmując przy tym:

$\left(S/N\right)_{app} \geq 15$ dB przyjmujemy $\left(S/N\right)_{app} = 15$ dB.

$\left(S/N\right)_{app} \leq -15$ dB przyjmujemy $\left(S/N\right)_{app} = -15$ dB.

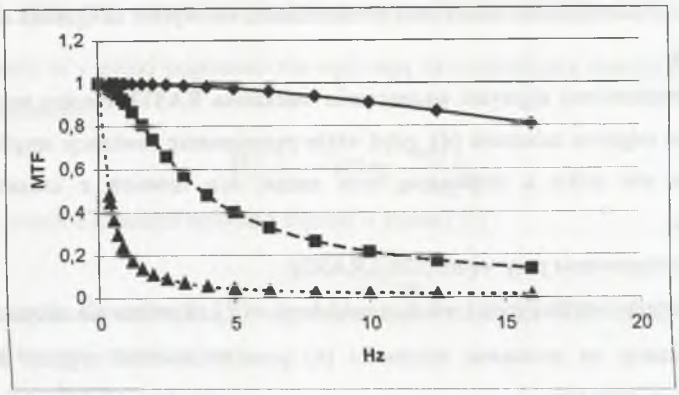
- Obliczamy średnią arytmetyczną z zależności (8) w przedziale 0.4 – 20 Hz.
- Wyznaczamy wskaźniki RASTI z zależności (9).

Na podstawie tak przyjętego algorytmu wyznaczamy wartości współczynnika zrozumiałości mowy w zależności od czasu pogłosu, co zostało przedstawione poniżej na rysunku 1. Na rysunku 2 zamieszczono obliczone przebiegi funkcji MTF w skali liniowej znormalizowanej do jedności. Linią ciągłą przedstawiono zależność MTF od częstotliwości dla czasu pogłosu 0,1 s, linią przerywaną dla 1 s, a kropkowaną dla 10 s.



Rys. 1. Wykres przedstawiający zależność wskaźnika zarozumiałości mowy RASTI od czasu pogłosu T

Fig. 1. The graph of the relation between the speech inelligibility RASTI- index and the reverberation time



Rys. 2. Funkcja MTF w zależności od częstotliwości modulacji amplitudowej
——— Czas pogłosu 0.1 s
– – – – Czas pogłosu 1 s
..... Czas pogłosu 10 s
Fig. 2. The relation between the MTF function and the amplitude modulation frequency
——— Reverberation time 0.1 s
– – – – Reverberation time 1 s
——— Reverberation time 10 s

Obliczone wartości RASTI można przyporządkować subiektywnej skali zrozumiałości mowy, co obrazuje tabela 1.

Tabela 1

Zależność między współczynnikami RASTI a zrozumiałością mowy [1]

RASTI	Zrozumiałość mowy
0.0 – 0.30	zła
0.30 – 0.45	uboga
0.45 – 0.60	dostateczna
0.60 – 0.75	dobra
0.75 – 1.00	doskonała

4. Wnioski

Jakość akustyczną pomieszczenia określają między innymi opisane wcześniej wskaźniki STI, RASTI bezpośrednio związane z czasem pogłosu. Ich wartość zależna od zmian chłonności akustycznych wewnętrznych ścian pomieszczenia określa końcowy rezultat jego własności akustycznych.

W pracy przedstawiono przykład obliczeń przebiegów funkcji m(f) w zależności od częstotliwości modulacji amplitudowej sygnału, oraz przebieg wskaźnika RASTI w funkcji

czasu pogłosu pomieszczenia T. Wyniki pokazują istotną zależność pomiędzy wskaźnikami zrozumiałości mowy a czasem pogłosu. Z otrzymanej charakterystyki wskaźnika RASTI w funkcji czasu pogłosu wynikają następujące spostrzeżenia:

- dla czasu pogłosu T = 0.1 s RASTI = 1 , co kwalifikuje zrozumiałość mowy w przyjętej skali ocen jako doskonałą,
- dla czasu pogłosu T = 1 s RASTI = 0.64, co kwalifikuje zrozumiałość mowy w sali na granicy pomiędzy słabą i dobrą,
- dla czasu pogłosu T = 10 s RASTI = 0.18, co kwalifikuje zrozumiałość mowy w sali jako zdecydowanie złą.

Otrzymane wyniki są analogiczne do rezultatów otrzymanych przez Rutkowskiego w pracy [7].

Omówione w tym artykule związki funkcji MTF z własnościami akustycznymi pomieszczenia, w szczególności ze zrozumiałością mowy, świadczą o tym, że jest ona dobrą estymatą, której analiza może być użyteczna w praktyce do określania „dobrej akustyki" pomieszczeń.

Związki między wskaźnikami RASTI a czasem pogłosu mogą być wykorzystane podczas projektowania sal audytoryjnych lub podczas poprawiania własności akustycznych sal już istniejących.

LITERATURA

1. Gołaś A: Podstawy sterowania dźwiękiem w pomieszczeniach, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Kraków 2000.
2. Houtgast T., Steeneken H.J.M., Plomp R.: Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function I. General Room Acoustics, Acustica **46**, 1980, 60 – 72.
3. Houtgast T., Steeneken H.J.M.: A Multi Language Evaluation of the RASTI- Method for Estimating Speech Intelligibility in Auditoria, Acustica **54**, 4, 1984, 185 – 199.
4. Houtgast T., Steeneken H.J.M.: The Modulation Transfer Function in Room Acoustics, Brüel – Kjaer Techn. Rev. **3**, 1985, 3- 12.
5. Nowoświat A.: Wykorzystanie funkcji przeniesienia modulacji MTF sygnału w badaniach akustyki wnętrz, Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Budownictwo **z. 93** Gliwice 2001, 353 – 362.

6. Nowoświat A.: Optimal control of a Duffing oscillator under parametric and external excitations, Journal of Theoretical and Applied Mechanics **40**, 2, 2002, 435 – 447.
7. Rutkowski L: Modyfikacja dźwięków o zmiennej częstotliwości w pomieszczeniach, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1999.
8. Schroeder M. R.: Modulation Transfer Functions. Definition and Measurement, Acustica **49**, No3, 1981, 179 – 182.
9. Środecki K., Śliwiński A.: Application of correlation methods for an investigation of the acoustic field in a room. Archives of Acoustics 16,2, 1991, 355 – 367.
10. Zakrzewski T.: Badania własności akustycznych sali widowiskowej w Miejskim Domu Kultury w Czyżowicach, Ekspertyza badawcza, Gliwice 1998.
11. Zakrzewski T.: Akustyka budowlana. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice1997.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. Antoni Śliwiński

Abstract

In the first part of the paper the STI and RASTI (speech transmission and rapid speech transmission indices) and their dependence on reverberation time has been described. Following the algorithm for RASTI index calculation depending on the reverberation time has been presented. The results of calculations for RASTI against reverberation time and the dependence of the MTF function on the modulation frequency for few values of reverberation time are illustrated.