

## CZAS POGŁOSU POMIESZCZENIA PROSTOPADŁOŚCIENNEGO W FUNKCJI JEGO DŁUGOŚCI

Artur NOWOŚWIAT\*, Marcelina OLECHOWSKA, Jan ŚLUSAREK

Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska  
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice,

email: {artur.nowoswiat, marcelina.olechowska, jan.slusarek}@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono czasy pogłosu w symulowanym pomieszczeniu, dla którego zmieniano cechy geometryczne. Zmiana polegała na tym, że pomieszczenie wydłużano przy jednoczesnym skracaniu szerokości, tak aby kubatura pomieszczenia się nie zmieniała. Ponadto dobierano tak chłonność akustyczną przegród ograniczających pomieszczenie, aby we wszystkich analizowanych sytuacjach mieć taką samą powierzchnię pochłaniającą. Symulacje wykonane były za pomocą programu ODEON. Na podstawie tak wykonanych symulacji możliwe będzie wyznaczenie błędu szacowania czasu pogłosu modelami statystycznymi wynikający z geometrii pomieszczenia.

**Słowa kluczowe:** Czas pogłosu, model Sabine'a, długość pomieszczenia, ODEON

### 1. WPROWADZENIE

Klasyczna teoria statystyczna pozwala w sposób uproszczony obliczać czas pogłosu pomieszczeń. Wiele takich modeli opisano w przeglądowej pracy [3]. Jednakże metody Sabine'a czy Eyringa nie uwzględniają błędów czy też niedokładności tego przybliżenia. Teoria statystyczna w swojej istocie mówi, że im bardziej rozproszone jest pole akustyczne w pomieszczeniu tym błąd przybliżenia czasu pogłosu modelem Sabine'a czy Eyringa jest mniejszy. W ostatnich latach pojawiło się wiele prac opisujących metody dyfuzyjne. Jedną z pierwszych prac opisujących nieskomplikowany model była publikacja Picauta z zespołem [5]. Bardziej skomplikowane modele z zadanymi warunkami brzegowymi z uwzględnieniem współczynników absorpcji badane były w kolejnych pracach Picauta [6], [7]. Podobnie jak Picaut badania długich pomieszczeń prowadził Kraszewski [1]. Jak opisano we wspomnianych pracach sposób rozproszenia pola akustycznego w pomieszczeniu wpływa na wartość

czasu pogłosu oraz wpływa na niedokładność przybliżenia metodami teoretycznymi. Niewątpliwie geometria pomieszczenia wpływa na sposób rozproszenia dźwięku. Badania wpływu stosunku długości liniowych pomieszczenia na czas pogłosu opublikowano w pracy [2]. Wspomniane badania zainspirowały autorów do wykonania wstępnych badań dotyczących wpływu długości pomieszczenia na niedokładność przybliżenia czasu pogłosu.

### 2. SYMULACJE

Symulacje komputerowe zostały wykonane za pomocą ODEON (wersja oprogramowania 11.0). Jak piszą Passero i Zannin [4] oprogramowanie to wykorzystuje metodę promieniową, w której obliczane są wczesne odbicia przy użyciu kombinacji metodą źródła obrazu i jego odbicie. Natomiast późne odbicia są obliczane metodą śledzenia promienia [8].

Rozważane pomieszczenie zamodelowano w taki sposób, aby analizować czas pogłosu w funkcji stosunku długości do szerokości pomieszczenia, uniezależniając go od kubatury

i powierzchni pochłaniających. W niniejszej pracy rozważano dwa rodzaje pomieszczeń, które miały taką samą kubaturę a różniły się powierzchnią pochłaniającą. Kubatura rozważanych pomieszczeń wynosiła  $V=2700 \text{ m}^3$ . Rozważano dwa przypadki różniące się powierzchnią pochłaniającą. W pierwszym przypadku powierzchnia ta wynosiła  $A=216 \text{ m}^2$ , w drugim  $1728 \text{ m}^2$ . Stała powierzchnia pochłaniająca utrzymana została poprzez zastosowanie materiałów na ścianach i suficie o jednakowych współczynnikach pochłaniania dźwięku, natomiast pochłanianie podłogi zmieniano w taki sposób,

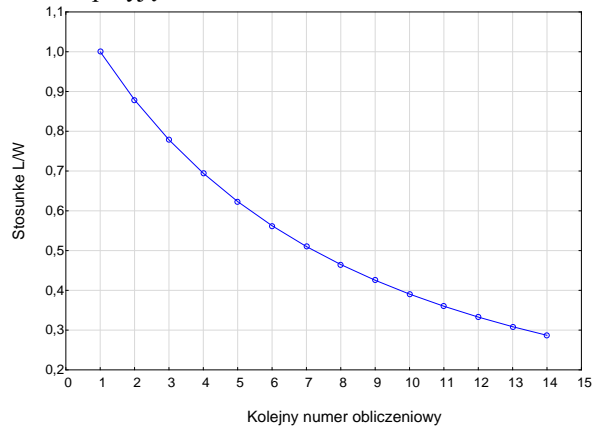
\* Autor korespondencyjny, e-mail: artur.nowoswiat@polsl.pl

aby całkowita chłonność pomieszczenia dla wszystkich zmian stosunku długości do szerokości była stała. Przyjęte współczynniki pochłaniania podłogi dla poszczególnych pomieszczeń zapisano w tabeli 1.

Tabela 1. Współczynnik pochłaniania podłogi  
Table 1. Floor absorption coefficient

Stosunek L/W	Współczynnik pochłania dźwięku	
	Powierzchnia pochłaniająca	
	216 m <sup>2</sup>	1728 m <sup>2</sup>
1	0,100	0,800
0,88	0,100	0,799
0,78	0,100	0,797
0,69	0,099	0,795
0,62	0,099	0,791
0,56	0,098	0,787
0,51	0,98	0,782
0,46	0,97	0,776
0,43	0,096	0,770
0,39	0,096	0,764
0,36	0,095	0,757
0,33	0,094	0,750
0,31	0,093	0,743
0,29	0,092	0,736

Rozważano pomieszczenia o stosunku długości  $L$  do szerokości  $W$  tak jak na rysunku 1. Przy czym stosunek  $L/W=1$  przyjęto dla  $L=30m$  i  $W=30m$

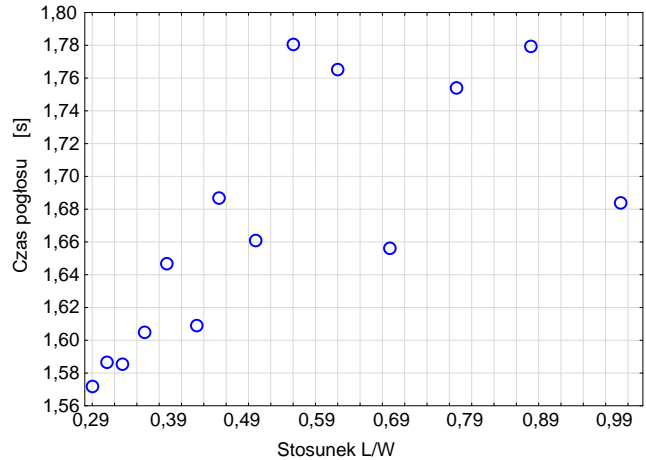


Rys. 1. Rozważane stosunki długości pomieszczenia do jego szerokości

Fig. 1. The ratios of length to width

### 3. WYNIKI

Symulowano 14 pomieszczeń, w których przyjęto wartość współczynnika pochłaniania dźwięku 0,1 dla wszystkich częstotliwości w oktawie oraz 14 pomieszczeń, w których przyjęto wartość współczynnika 0,8. Pomieszczenia różniły się stosunkiem długości do szerokości tak jak przedstawiono to na rysunku 1. Do analizy przyjęto czas pogłosu, jako średnia z czasów dla częstotliwości 500, 1000 i 2000 Hz. Wyniki dla pierwszego przypadku przedstawiono na rysunku 2.

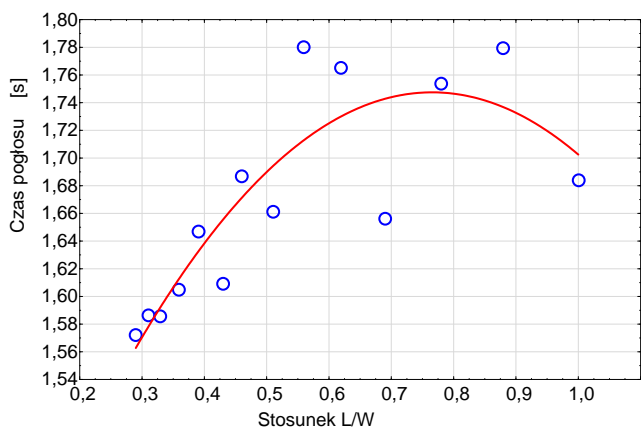
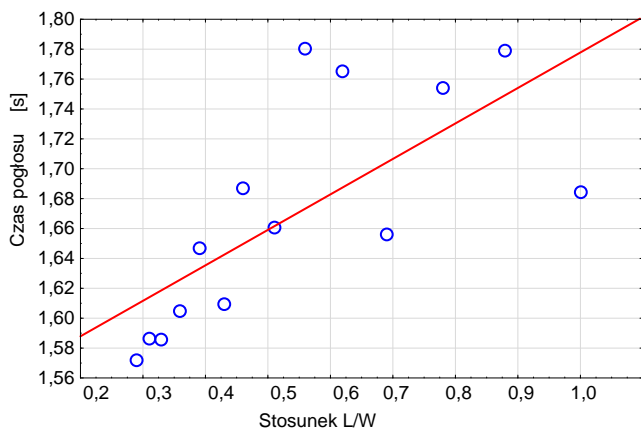


Rys. 2. Czas pogłosu w funkcji stosunku L/W pomieszczeń o chłonności akustycznej 216 m<sup>2</sup>

Fig. 2. Reverberation time as the function of L/W ratio of rooms having the sound absorption of 216 m<sup>2</sup>

Analizując wykres przedstawiony na rysunku 2 można zauważyć, że pomimo stałej kubatury i stałej powierzchni pochłaniającej czas pogłosu zależy od stosunku  $L/W$ . Przeanalizowano zatem jaki jest stopień korelacji czasu pogłosu ze stosunkiem  $L/W$ .

Wykres 2 nie pozwala w stopniu jednoznacznym określić czy mamy do czynienia z korelacją liniową czy nieliniową. Dlatego przedstawiono na wykresach 3 dwie analizy. Pierwsza dotyczyła przypadku regresji liniowej, natomiast druga regresji nieliniowej.



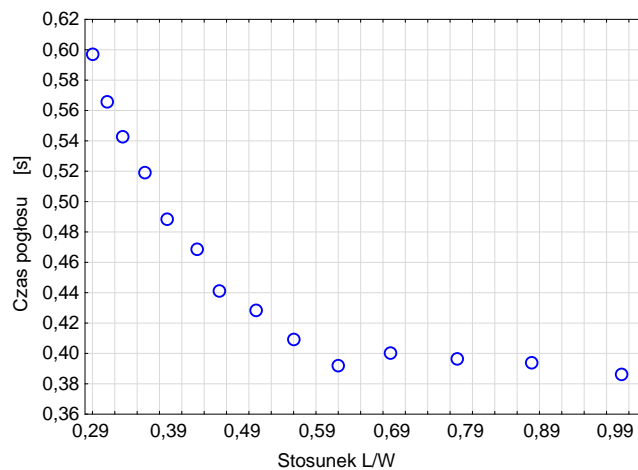
Rys. 3. Regresja liniowa i nieliniowa  
Fig. 3. Linear and nonlinear regression

Analizując wyniki regresji liniowej można zauważyć, że korelacja pomiędzy czasem pogłosu a stosunkiem L/W jest na wysokim poziomie i wynosi  $r = 0,71$  przy prawdopodobieństwie testowym  $p = 0,0047 < 0,05$ , oznaczającym istotność statystyczną wyników.

Ponieważ badanie to nie dotyczy prognozowania tylko analizy wyników „historycznych”, dla których granicznym punktem jest stosunek  $L/W = 1$ , zatem można zauważyć, że prawdopodobnie lepszą regresją będzie wielomian drugiego stopnia.

Wyniki tej analizy pokazują korelację na poziomie  $r = 0,86$  przy prawdopodobieństwie testowym  $p = 0,00069 \ll 0,05$ . Ponadto wszystkie zmienne modelu są statystycznie istotne. Błąd standardowy estymacji wielomianem drugiego stopnia oznaczający przeciętną niedokładność szacowania czasu pogłosu wynosi  $0,042$  s. Ponieważ wykazano istotność statystyczną zmiennych modelu wielomianem stopnia drugiego, więc uznano ten model za optymalny.

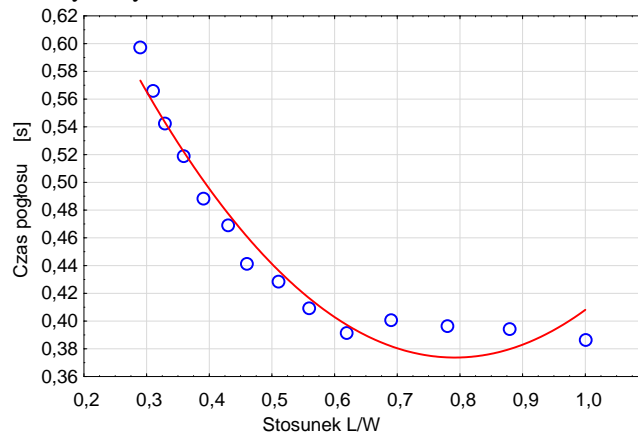
Podobnej analizie poddano pomieszczenia o powierzchni pochłaniającej  $1728$  m<sup>2</sup>.



Rys. 4. Czas pogłosu w funkcji stosunku L/W pomieszczeń o chłonności akustycznej  $1728$  m<sup>2</sup>  
Fig. 4 Reverberation time as the function L/W ratio of having the sound absorption of  $1728$  m<sup>2</sup>

Analizując wykres przedstawiony na rysunku 4 można zauważyć, że pomimo stałej kubatury i stałej powierzchni pochłaniającej czas pogłosu zależy od stosunku L/W. Przeanalizowano zatem jaki jest stopień korelacji czasu pogłosu ze stosunkiem L/W.

Na podstawie wykresu 4 uznano, że mamy do czynienia z korelacją nieliniową. Dlatego przedstawiono następujące analizy na rys. 5.



Rys. 5. Regresja nieliniowa  
Fig. 5. Nonlinear regression

Analizując wyniki regresji nieliniowej można zauważyć, że korelacja pomiędzy czasem pogłosu a stosunkiem L/W jest na wysokim poziomie i wynosi  $r = 0,98$  przy prawdopodobieństwie testowym  $p \ll 0,05$ , oznaczającym istotność statystyczną wyników. Ponadto wszystkie zmienne modelu są statystycznie istotne. Błąd standardowy estymacji wielomianem drugiego stopnia oznaczający przeciętną niedokładność szacowania czasu pogłosu wynosi  $0,016$  s.

#### 4. WNIOSKI

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki symulacji określając wpływ stosunku długości do szerokości pomieszczenia na czas pogłosu w nim występujący.

- Z otrzymanych wyników symulacji wnioskujemy, iż stosunek długości do szerokości pomieszczenia wpływa na czas pogłosu w nim występujący.
- Charakter zmian czasu pogłosu dla analizowanych pomieszczeń różniących się stosunkiem L/W jest zdecydowanie inny dla pomieszczeń słabo wylumianych niż pomieszczeń bardzo dobrze wylumionych.
- Dla pomieszczeń o chłonności akustycznej 216 m<sup>2</sup> czas pogłosu rośnie wraz ze wzrostem stosunku L/W, natomiast dla pomieszczeń o chłonności akustycznej 1728 m<sup>2</sup> czas pogłosu maleje wraz ze wzrostem stosunku L/W. Oczywiście te niewielkie zmiany czasu pogłosu mogą być na poziomie błędów metody numerycznej, jednak różny charakter tych zmian może być istotnym spostrzeżeniem w aspekcie niepewności szacowania czasu pogłosu.

Ostatni z przedstawionych wniosków jest na tyle ciekawy, że autorzy postanowili w najbliższej przyszłości przeanalizować wpływ wymiarów liniowych pomieszczenia na pogłos w nim występujący. Ponadto w kolejnych pracach obliczenia numeryczne wykonane będą za pomocą różnych programów, tj. ODEON, EASE i CARA.

Całość tych prac pozwoli określić niedokładność szacowania czasu pogłosu za pomocą formuł teoretycznych i modeli numerycznych.

#### REVERBERATION TIME OF THE CUBOID ROOM IN THE FUNCTION OF ITS LENGTH

**Summary:** The article presents the reverberation time in a simulated room for which geometric features have been changed. The change involved lengthening the room with a simultaneous reduction of the width, ensuring that the cubic volume of the room remained unchanged. In addition, the acoustic absorption of the partition walls was chosen in the way ensuring that in all analyzed situations the same absorption surface was selected. The simulations were carried out with the use of ODEON software. Based on such simulations, the error of the reverberation time estimation can be determined by statistical models resulting from the geometry of the room.

#### Literatura

[1] Kraszewski J. *Computing Reverberation Time in a 3D Room Model Using a Finite Difference Method Applied for the Diffusion Equation.*, Archives of Acoustics, **37**(2), (2012), 171-180.

[2] Nowoświat A., Olechowska M. *An attempt to determine impact of a room shape on the reverberation time.*, ACEE, **4**(3), (2010), 73-80.

[3] Nowoświat A., Olechowska M. *Investigation Studies on the Application of Reverberation Time.*, Archives of Acoustics, **41**(1), (2016), 15-26.

[4] Passero C.R.M., Zannin P.H.T. *Statistical comparison of reverberation time measured by the integrated impulse response and interrupted noise methods, computationally simulated with ODEON software, and calculated by Sabine, Eyring and Arau-Puchades' formulas.*, Appl. Acoust., **71**, (2010) 1204-1210

[5] Picaut J., Simon L., Polack J. *A mathematical model of diffuse sound field based on a diffusion equation*, Acta Acustica, **83**, (1997), 614-621.

[6] Picaut J., Simon L., Hardy J. *Sound field modelling in streets with diffusion equation*. J. Acoust. Soc. Am. **106**, 5, (1999), 2638-2645.

[7] Picaut J., Simon L., Polack J. *Sound field in long rooms with diffusely reflecting boundaries*. Appl. Acoust., **56**, (1999), 217-240.

[8] Skrzypczyk J. *Metody Perturbacyjne I. Nowa metodologia algebraiczna. Zastosowania w mechanice i akustyce*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010.