

Andrzej Szczepanik

ZASTOSOWANIE POMIARÓW IMPULSOWYCH DO OCENY AKUSTYKI POMIESZCZEŃ

Streszczenie. W pracy przedstawiono zasadę badania pomieszczeń dźwiękami impulsowymi i przedyskutowano pewne zjawiska związane z odbiciem impulsów dźwiękowych od powierzchni. Przytoczono wyniki badań. Podano kryteria oceny akustyki pomieszczeń.

Własności akustyczne pomieszczeń można określać między innymi przez analizę (zanikania) dźwięków impulsowych emitowanych w badanym pomieszczeniu. Jedną z zasadniczych informacji o pomieszczeniu jest czas pogłosu, który można wyliczyć lub pomierzyć i w taki sposób ocenić "akustykę" pomieszczenia.

W wypadku analizy krzywych zanikania dźwięku przy pomiarze obwiedni amplitud malejących fal akustycznych, możemy orientacyjnie analizować kształt spadku poziomu natężenia dźwięku. Tak dokonany pomiar pogłosu metodą tradycyjną nie lokalizuje pewnych własności akustycznych pomieszczenia i nie pozwala prześledzić pierwszych odbić dźwięku. Dlatego wprowadzono pomiary zanikania emitowanego impulsu dźwiękowego. Analiza wyników pomiarów pozwala wyciągnąć prawidłowe wnioski dotyczące pierwszych odbić i oceny wpływu poszczególnych płaszczyzn pochłaniających dźwięk na rodzaj pola akustycznego pomieszczenia.

Dalszą konsekwencją stosowania tych pomiarów jest ustalenie kryteriów jakości pomieszczeń przeznaczonych do odbioru muzyki w tym kin stereoofonicznych. Pomiary także mogą być przydatne przy stosowaniu zabezpieczeń akustycznych przed nadmiernym hałasem.

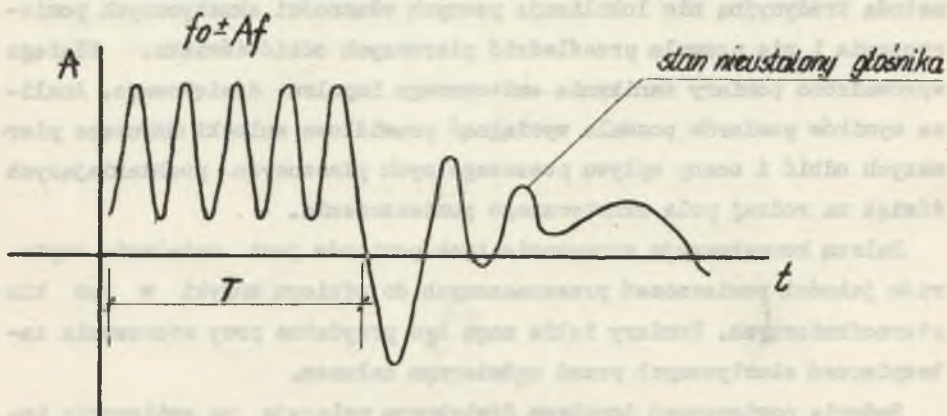
Badania pomieszczeń impulsem dźwiękowym polegają na emitowaniu impulsu o czasie trwania T , rzędu milisekund. Fala dźwiękowa emitowana

w pomieszczeniu odbija się od płaszczyzn, a kolejne odbicia odbierane są przez mikrofon i rejestrowane np. na oscyloskopie w formie zanikających odbitych impulsów dźwiękowych. Zasadniczo można emitować impuls przez dwa źródła.

Pierwszy sposób polega na wytwarzaniu fali akustycznej przez strzał z pistoletu startowego. Czas trwania tego impulsu wynosi ok. 0,22 ms. Widmo częstotliwościowe zawiera częstotliwości od 1000 Hz - 4000 Hz. Kształt impulsu odbiega znacznie od prostokąta, ponadto nie jest zbadaana powtarzalność kształtów impulsów np. dla kilkuset nabojęw. Powoduje to trudności w analizie czasowej przebiegu zanikania dźwięku. Dodatkowy kłopot wynika z krótkiego czasu trwania T .

Drugi sposób polega na emitowaniu impulsu przez głośnik. Niedogodnością tej metody są stany nieustalone w cewce głośnika po skończonym pobudzeniu. Istnieją jednak możliwości zmniejszenia czasu stanu nieustalonego w głośniku po skończonym impulsie oraz możliwości kontroli tego czasu.

Zasadniczą zaletą jest możliwość ustalenia dowolnego czasu trwania T impulsu o częstotliwości $f_0 \pm \Delta f$, gdzie Δf - ograniczona jest warunkiem $\Delta f = 1/T$. W prostokątnym impulsie winno znaleźć się co najmniej 10 pełnych okresów częstotliwości $f_0 \pm \Delta f$. Na rys. 1 przedstawiony jest kształt impulsu na cewce głośnika zdjęty oscylograficznie.



Rys. 1. Kształt impulsu na uzwojeniach głośnika

Można założyć, że w czasie T emitowana jest fala akustyczna o częstotliwości $f_0 \pm \Delta f$.

W omawianych pomiarach długość czasu T jest ograniczona z góry wielkościami pomieszczeń natomiast minimalną wielkość determinują możliwości aparaturowe oraz kąt podania fali akustycznej i inne czynniki. Największy czas T (dopuszczalny) wynosi dla dużych pomieszczeń 10 ms, dla małych od 3 ms - 5 ms. Zachowana jest wtedy rozdzielczość odbitych impulsów od poszczególnych powierzchni pomieszczenia.

W celu przeanalizowania dolnej wielkości czasu T oraz kształtu krzywych zanikania impulsów należy rozpatrzeć zjawisko odbicia fali dźwiękowej padającej pod pewnym kątem Θ na płaszczyznę.

Założmy, że na płaszczyznę pada fala dźwiękowa wyrażona:

$$F_0 |t'| = \begin{cases} 0 & \text{przy } t' < 0 \\ 1 & \text{przy } 0 < t' < T \\ 0 & \text{przy } t' > T \end{cases}$$

$$t' = t - \frac{1}{c}(x \sin \Theta + y \cos \Theta),$$

gdzie

c - prędkość dźwięku w powietrzu

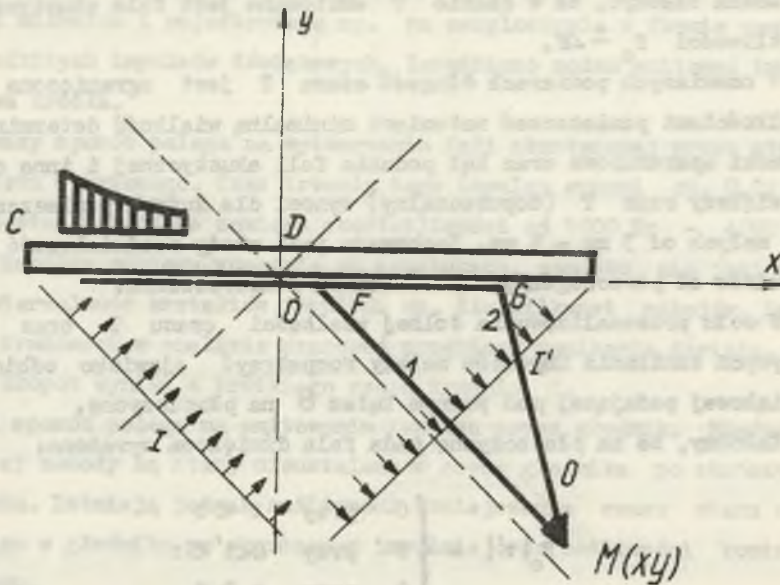
t - czas.

Widmo impulsu f_0 wyrazimy:

$$F_0(\omega) = \frac{1}{j\omega\sqrt{2T}}(e^{j\omega T} - 1)$$

Na rys. 2 przedstawiono schematycznie padającą falę dźwiękową (impulsową) na warstwę materiału.

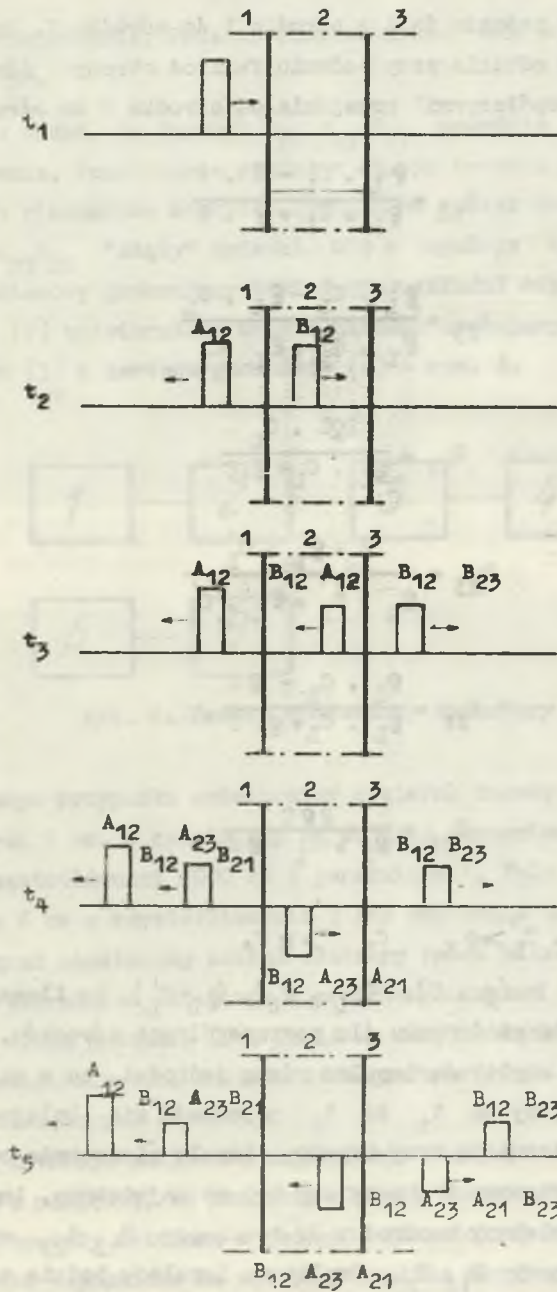
Pod wpływem fali akustycznej padającej pod kątem powstają drgania giętne (kołnocydencyjne) warstwy. Prędkość rozchodzenia się fal giętnych C_g jest proporcjonalna do $\sqrt{2Tf}$ i powyżej pewnej wartości " f " jest większa od szybkości dźwięku w wodzie. Szybkość "śladu" impulsu na płaszczyźnie równa jest $c/\sin \Theta$ i jeśli $C_g > c/\sin \Theta$, a tak jest zwykle w praktyce, to fala giętna w materiale wzbudzona przez impuls



Rys. 2. Poglądowy szkic fali akustycznej impulsowej padającej na warstwę materiału

wyprzedza ślad impulsu. Fala akustyczna wzbudzona drganiami giętymi płaszczyzny osiąga punkt obserwacji wcześniej od fali odbitej I' . Powoduje to istnienie pewnego poziomu ciśnienia akustycznego pomimo tego, że fali odbitej nie ma jeszcze w punkcie obserwacji. Drgania giętne CFM lub CGM powodują rozmycie sygnału w czasie $t' < 0$, czyli w punkcie pomiarowym będzie istniał poziom ciśnienia akustycznego wcześniej niż impuls odbity. Utrudnia to analizę obserwowanych krzywych zaniku impulsów dźwiękowych i jest widoczne na oscylogramach przytoczonych w tej pracy. Powyższy sposób wy tłumaczenia jest słuszny przede wszystkim dla cienkich warstw. "Rozmycie" sygnału, a także pojawienie się impulsów odbitych dodatkowych może być spowodowane następującym zjawiskiem. Załóżmy, że normalny kąt padania $\Theta = 0$ i rozpatrzmy schematycznie odbicie się impulsu w czasie na rys. 3.

Założmy, że czas T impulsu jest mniejszy od czasu przejścia fali przez warstwę. Niech A_{12} - współczynnik odbicia przy padaniu fali na płaszczyznę warstwy od strony ośrodka 1 na ośrodek 2. B_{12} - współczyn-



Rys. 3. Poglądowy szkic kolejnych odbić impulsów fali akustycznej w trzech ośrodkach

nik przejścia przy padaniu fali z ośrodka 1 do ośrodka 2. Analogicznie A_{23} - współczynnik odbicia przy padaniu fali od strony ośrodka 2 na ośrodek 3. B_{23} - współczynnik przejścia od ośrodka 2 do ośrodka 3.

$$A_{12} = \frac{g_L \cdot c_L - g \cdot c}{g_L \cdot c_L + g \cdot c}$$

$$A_{23} = \frac{g'_L \cdot c'_L - g_L \cdot c_L}{g'_L \cdot c'_L + g_L \cdot c_L}$$

$$B_{12} = \frac{2g_L \cdot c_L}{g_L \cdot c_L + g \cdot c}$$

$$B_{23} = \frac{2 \cdot g'_L \cdot c'_L}{g_L \cdot c_L + g'_L \cdot c'_L}$$

$$A_{21} = \frac{g_L \cdot c_L - g \cdot c}{g_L \cdot c_L + g \cdot c}$$

$$B_{21} = \frac{2g \cdot c}{g_L \cdot c_L + g \cdot c}$$

Zakładamy, że $g'_L \cdot c'_L > g_L \cdot c_L > g \cdot c$.

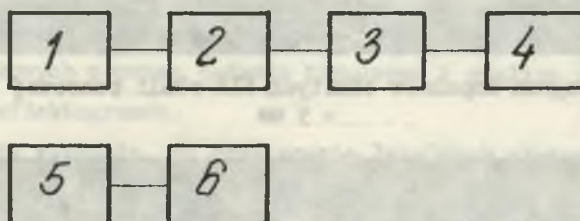
Grubość warstwy h a $(g \cdot c)$, $(g_L \cdot c_L)$, $(g'_L \cdot c'_L)$ to iloczyny gęstości ośrodka i prędkości dźwięku dla poszczególnych ośrodków.

Jeżeli założymy amplitudę impulsu równą jedności, to w miarę upływu czasu (oznaczono czasy od t_1 do t_5 pojawiają się kolejne impulsy, np. w czasie t_3 istnieją trzy impulsy, impuls pierwotnie odbity A_{12} jest to impuls podstawowy i chcemy aby był on największy, impuls odbity od ośrodka 3 istniejący w ośrodku 2, to znaczy $B_{12} A_{23}$ oraz impuls w ośrodku 3, to znaczy $B_{12} B_{23}$. Amplituda impulsów będzie się zmniejszała proporcjonalnie do wielkości kolejnych iloczynów współczynników

odbicia i przenoszenia. Przerwy czasowe między kolejnymi impulsami wynoszą $T_0 = \frac{2h}{c_L}$.

Z rysunku widać, że impuls $B_{12} A_{23} B_{21}$ powoduje rozmycie sygnału na oscylogramie. Praktycznie sygnał w czasie trwania powyżej 1 ms powoduje tylko nieznaczne rozmycie sygnału na skutek wewnętrznych odbić. Impuls $B_{12} A_{23} B_{21}$ "zdąży" zmieścić się w impulsie A_{12} .

Skład pomiarowy generujący taki sygnał składał się z generatora 2102 Brüela (1) uniwibratora wraz z układem bramującym (2) wzmacniacza akustycznego (3) i zestawu głośników (4) - rys. 4.

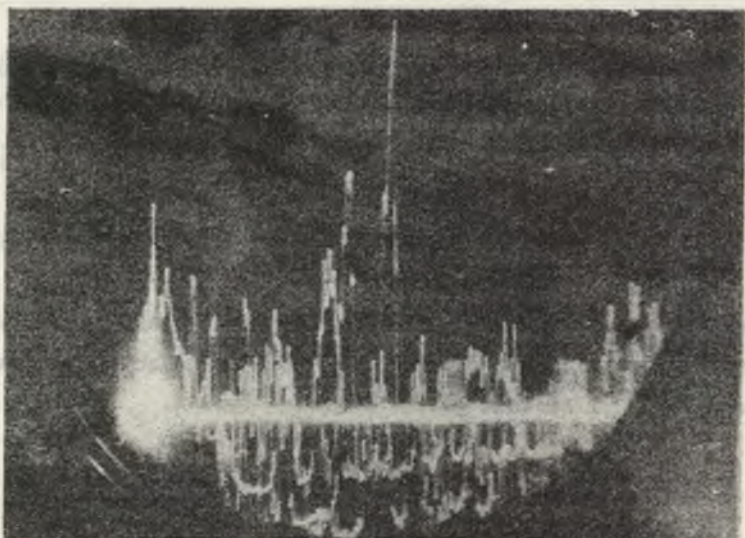


Rys. 4. Zestaw stosowanej aparatury

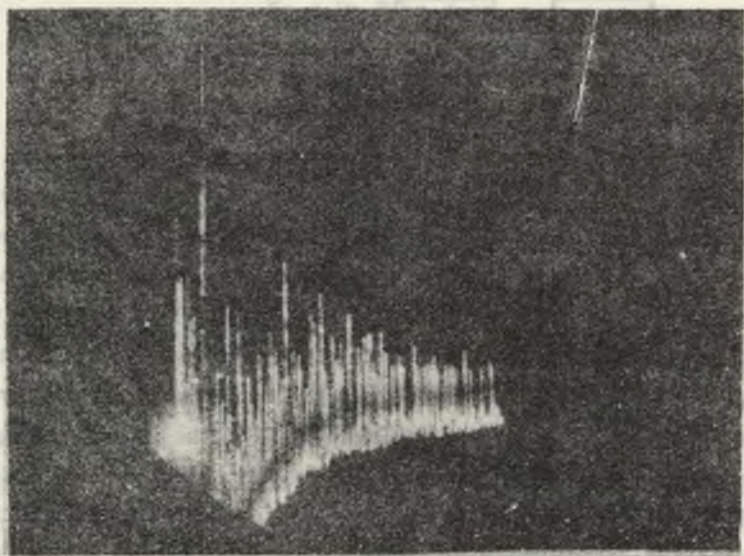
W omawianym przypadku uniwibrator otwierał bramkę układu bramkującego na okres 6 ms. W czasie tym na wejście wzmacniacza podawany był sygnał o częstotliwości 2000 Hz z generatora 1. Fala akustyczna o czasie trwania 6 ms z częstotliwością 2 kHz emitowana została w pomieszczenie. Sygnał akustyczny został odebrany przez mikrofon pojemnościowy (5) wraz z wtórnikiem katodowym i przedwzmacniaczem i podawany na oscyloskop z długą poświatą (6). Zapis na oscyloskopie był fotografowany aparatem małoobrazkowym. Zostało sfotografowanych kilka procesów zanikania fal dźwiękowych (rys. 5).

Obecnie istnieje możliwość rejestracji zanikających impulsów na oscyloskopie z pamięcią, co znacznie ułatwia obserwację sygnałów. Opisane pomiary zostały dokonane w jednym z katowickich kin.

Jak krótko wspomniano na wstępie, analiza oscylogramów ma ułatwiać ocenę własności akustycznych pomieszczeń.



Rys. 5a. Oscylogram impulsów odbitych dla skali czasowej 1 działka =
= 5 ms



Rys. 5b. Oscylogram impulsów odbitych dla skali czasowej 1 działka =
= 20 ms

Rozwijając szerzej możliwości wykorzystania tych badań należy rozpatrzyć trzy przypadki.

Jeżeli stosujemy zabezpieczenia akustyczne przed nadmiernym hałasem niejednokrotnie (przy stosowaniu materiałów pochłaniających) potrzebna jest znajomość udziału w pochłanianiu poszczególnych powierzchni pomieszczenia np. sufitu, podłogi wraz z maszynami lub ścian bocznych. Analiza oscylogramów przy pewnym położeniu źródła i mikrofonu pozwala na ocenę udziału w pochłanianiu poszczególnych powierzchni. Dzięki temu możemy praktycznie sprawdzić nasze obliczenia teoretyczne. W wielu przypadkach jest to najlepszy sposób na określenie wpływu kształtu pomieszczenia i rodzaju materiałów wewnątrz pomieszczenia, na pole akustyczne. Wiąże się z tym metoda oceny pola akustycznego np. teatrów, sal widowiskowych poprzez badania impulsowe i analizę statystyczną uzyskanych reflektogramów.

Analiza ta wykazała, że przy ocenie lokalnych własności pola akustycznego ważnym parametrem jest czas, w którym opóźnione (pewna procentowo liczba wszystkich leżących w danej strefie geometrycznej) odbicia dźwięku mają poziom mniejszy o założoną wartość dB. Innymi słowy należy znać czas, który upłynie od przyjęcia bezpośredniego sygnału w badaną strefę do momentu, gdy pojawi się 90% odbić z poziomami niższymi od poziomu sygnału bezpośredniego np. o 20 dB, czyli ogólnie należy określić czas opóźnienia Δt dla $n\%$ odbić i poziomów N dB. Na podstawie badań statystycznych określono ΔN i wynosi ono - 12 dB szukana wartość t zależy wtedy od badanej strefy miejsc.

Pomiary impulsowe w pewnym lokalnym polu przy złożonym ΔN i dla 90% odbić mają wykazać czy czas opóźnienia Δt dla tych odbić jest zgodny z założonym. Jeżeli to nastąpi, to zostanie zapewniona właściwa odbieralność sygnałów akustycznych w badanej strefie. Następne zastosowanie pomiarów impulsowych jest wymagane przy projektowaniu kin stereofonicznych. Reflektogram powinien wykazywać określony kształt tzn. dla założonego Δt opóźnienia, pierwsze odbicie po sygnale bezpośrednim nie mogą przekraczać ΔN równego 20 dB. Ponadto pomierzony czas pogłosu metodą standardową winien być zgodny z założonym.

APPLICATION DES MEASURES D'IMPULSION POUR APPRECIATION
ACOUSTIQUE DES SALLES

R é s u m é

Dans ce travail on a présenté d'une méthode de la mesure des impulsions acoustiques. En outre on a donné des exemples les résultats de mesures et la possibilité d'application ces mesures pour appréciation acoustique des salles.

EVALUATION OF ROOM ACOUSTICS BY MEANS OF IMPULS MEASUREMENTS

S u m m a r y

Paper contents: the principle of acoustics testing of rooms by means impuls measurements, short discussion about reflection effect of acoustics impuls from thin layer, results of researches and criteria evaluation of room acoustics.