

Drgania mechaniczne przegród ograniczających pomieszczenie w kontekście dopuszczalnych poziomów hałasu

Mgr inż. Krzysztof Nering, dr inż. Alicja Kowalska-Koczwarą, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stypuła, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Sprzężenie mechano-akustyczne, choć nie jest często stosowane przy projektowaniu obiektów przeznaczonych na stały pobyt ludzi, to jest do pewnego stopnia obecne w literaturze światowej. W [1] zaprezentowano próbę powiązania poziomu przyspieszeń drgań mechanicznych stropu z poziomem hałasu w pomieszczeniu. W [2] autorzy wykonali pomiary poziomu hałasu i przyspieszeń drgań stropów. Dokonali kalibracji modelu obliczeniowego przy użyciu różnych metod: wzoru Kurzweila [1], SEA (ang. *Statistical Energy Analysis*), elementów brzegowych, obliczeń opartych o całąkę Rayleigha. W [3] użyto do kalibracji modelu MFS (ang. *Method of Fundamental Solutions*). W [4] autorzy wykonali analizę poziomu hałasu w pomieszczeniu pochodzącego od drgającej płyty z wykorzystaniem sformułowania promieniowania dźwięku (por. [5]). Analizy wykonano z wykorzystaniem postaci drgań płyty w kontekście normy [6].

2. Metodyka wykonania obliczeń

2.1. Założenia odnoszące się do geometrii i parametrów analizowanego pomieszczenia

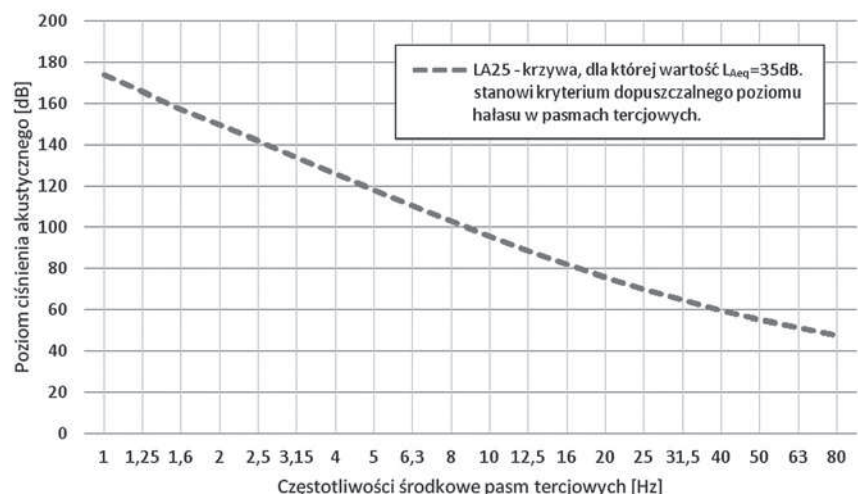
Analizowane pomieszczenie to pomieszczenie biurowe o wymiarach podłogi 4x5 m z wysokością pomieszczenia wynoszącą 3 m. Założono, że czas pogłosu pomieszczenia wynosi 0,8 s dla każdego z analizowanych pasm tercjowych. Ściany ograniczające pomieszczenie

Rys. 1. Krzywa LA25 stanowiąca założone wymaganie dopuszczalnego poziomu hałasu dla poszczególnych pasm tercjowych

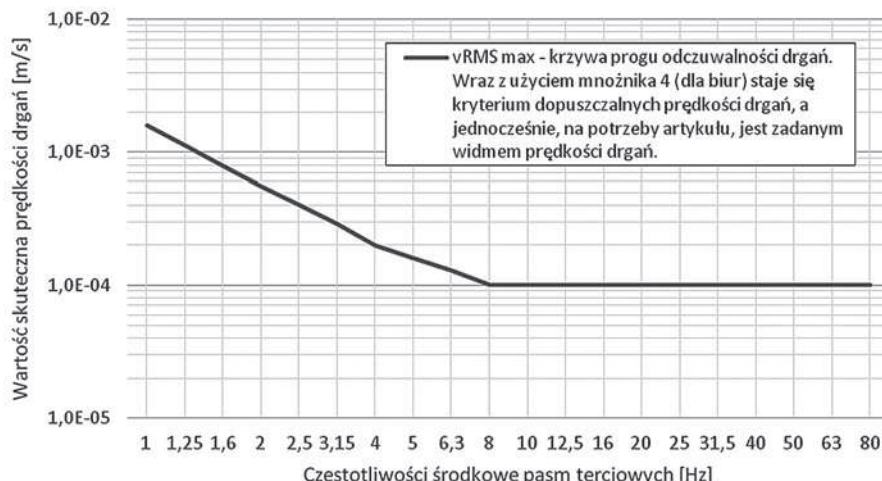
są wykonane ze ścian gipsowo-kartonowych z podwójnej płyty 2x12,5 mm, a stropy wyższej i niższej kondygnacji są wykonane z żelbetu o grubości 200 mm. Jedną z przegród pionowych pomieszczenia stanowi szklenie fasady wzdłuż krótszego boku złożone z szyby o grubości 4 mm.

2.2. Założenia odnoszące się do wielkości wibroakustycznych

Norma [7] stanowi, że dopuszczalny poziom hałasu w pomieszczeniu biurowym wynosi $L_{Aeq} = 35$ dB. Na potrzeby artykułu wartość jednoliczbową dopuszczalnego poziomu hałasu utożsamia się z krzywą LA25 zaprezentowaną na rysunku 1. Krzywa ta stanowi kryterium dopuszczalnego poziomu hałasu dla przypadków, których analizy odbywają się w pasmach tercjowych (jak to przyjęto w artykule). Wartości skuteczne prędkości drgań określające próg odczuwalności drgań przez człowieka zamieszczono na rysunku 2. Próg komfortu w pomieszczeniu biurowym uzyskuje się natomiast poprzez zastosowanie do wartości określających próg odczuwalności drgań przez ludzi mnożnika o wartości 4 (zgodnie z normą [8]). Dopuszczalne wartości drgań dla pomieszczeń biurowych, na potrzeby tej pracy, są zakładane jako widmo drgań.



Rys. 2. Krzywa progów odczuwalności drgań przez człowieka [8]



3. Analityczne określenie poziomu hałasu pochodzącego od drgającej płyty

Jednym ze sposobów określania mocy akustycznej drgającej płyty jest wzór zawarty w [5], zestawiony poniżej:

$$W = \rho_0 c_0 S \langle \tilde{v}^2 \rangle \sigma \quad (1)$$

gdzie:

W – moc akustyczna [W],

ρ_0 – gęstość powietrza [kg/m³],

c_0 – prędkość rozchodzenia się fal podłużnych w powietrzu [m/s],

S – pole powierzchni elementu drgającego [m²],

$\langle \tilde{v}^2 \rangle$ – kwadrat prędkości drgań normalnych do płyty uśredniony w czasie i przestrzeni [m/s] [2],

σ – współczynnik promieniowania dźwięku [-]. Obliczany na podstawie metody dokładnej (por. [9]).

W celu określenia poziomu hałasu od drgającej płyty w pomieszczeniu, przy znanej mocy akustycznej płyty można zastosować następujący algorytm:

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} - 10 \log \frac{A}{4} \quad (2)$$

$$W_0 = 10^{-12} [W] \quad (3)$$

$$A = 1,161 \frac{V}{RT} \quad (4)$$

gdzie:

A – chłonność akustyczna pomieszczenia według Sabine’a [m²],

V – objętość pomieszczenia [m³],

RT – czas pogłosu pomieszczenia [s].

4. Analiza poziomu hałasu pochodzącego od drgań przegród w budynku biurowym

4.1. Rezultaty analizy

Widmo drgań o kierunku normalnym do płyty dla stropów utożsamiono z dopuszczalnym progiem odczuwalności drgań zgodnych z normą [8] (por. rys. 2) dla pomieszczeń biurowych. Widmo drgań o kierunku normalnym do płyty dla ścian i szklenia utożsamiono z pełną wartością prędkości drgań dla ścian. Drgania w płaszczyźnie płyt pominięto ze względu na znikomy udział w generowaniu hałasu. W obliczeniach założono pełne widmo prędkości drgań przegrody takie samo jak w kryterium komfortu

w rozumieniu normy [8], czyli czterokrotnie zwiększone wartości określające próg odczuwalności drgań przez ludzi. Takie założenie ma na celu pokazanie, które pasma tercjowe w tym kryterium mogą generować hałas przekraczający krzywą LA25.

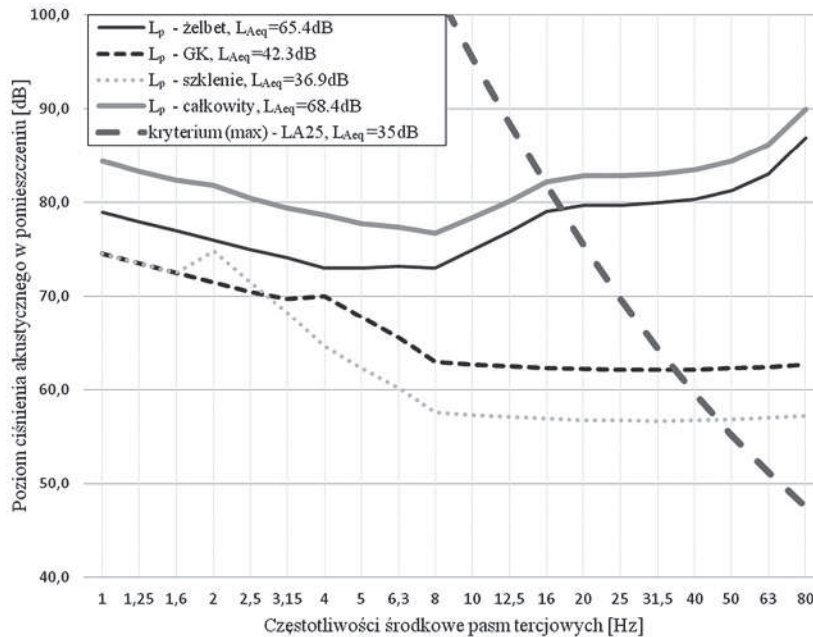
Obliczone w wyniku zastosowanego algorytmu poziomy hałasu w pomieszczeniu od poszczególnych źródeł drgań wraz z sumarycznym poziomem hałasu w pomieszczeniu zestawiono na rysunku 3. Krzywe oznaczają:

- L_p – żelbet – uśredniony poziom hałasu w pomieszczeniu od pojedynczego drgającego stropu,
- L_p – płyta GK – uśredniony poziom hałasu w pomieszczeniu od pojedynczej drgającej ściany gipsowo-kartonowej,
- L_p – szklenie – uśredniony poziom hałasu w pomieszczeniu od szklenia fasady,
- L_p – całkowity – sumaryczny uśredniony poziom hałasu w pomieszczeniu od wszystkich drgających przegród,
- LA25 – krzywa LA25 (kryterium).

4.2. Analiza uzyskanych wyników

Przekroczenie całkowitego poziomu rozpoczyna się od częstotliwości środkowej pasma równej 20 Hz (por. rys. 3). Najbardziej prawdopodobną przyczyną tego zjawiska jest dominujący wpływ emisji hałasu z drgających stropów względem emisji hałasu ze ścian czy szklenia fasady. Pomimo takich samych wartości prędkości drgań w tych pasmach tercjowych poziom hałasu od ściany rośnie. Prawdopodobną przyczyną jest niska częstotliwość koincydencji – częstotliwości, w której następuje wzmożona emisja energii akustycznej. Dla stropów żelbetowych wynosi ona 91 Hz, podczas gdy dla ścian gipsowo-kartonowych i szklenia fasady wynosi odpowiednio 1319 Hz i 3034 Hz.

Poniżej częstotliwości koincydencji pojawia się zjawisko izolacyjności promieniowania, dokładniej omówione w [10] i powoduje znaczne obniżenie emisji energii akustycznej. Efekty tego zjawiska są widoczne na rysunku 3. Pomimo takiego samego widma prędkości drgań poziom hałasu od poszczególnych przegród jest bardzo zróżnicowany. Dla przegrody masywnej o niskiej częstotliwości



Rys. 3. Poziomy hałas w pomieszczeniu od poszczególnych źródeł oraz sumaryczny poziom hałasu w pomieszczeniu

koincydencji emisja hałasu jest o ponad 20 dB wyższa w częstotliwościach słyszalnych (od 20 Hz). Dla przegród lekkich przekroczenie następuje w okolicy częstotliwości środkowej pasm 40 i 50 Hz.

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano wyniki analizy poziomu hałasu pochodzącego od różnych przegród, od ciężkich – takich jak żelbet po lekkie typu płyta gipsowo-kartonowa. Analizie podlegało pomieszczenie o charakterze biurowym, co miało swój wpływ na przyjęte wartości poziomu komfortu w tym pomieszczeniu. Zaprezentowana w artykule analiza analityczna pozwala na wyciągnięcie pewnych wniosków:

- dla częstotliwości równych i większych od 20 Hz w przypadku przegrody masywnej, jaką jest strop żelbetowy, osiągnięcie dopuszczalnego kryterium prędkości drgań dla pomieszczeń biurowych oznacza przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu ze względu na przekroczenie wartości krzywej LA25 oraz przekroczenie dopuszczalnych wartości poziomu hałasu L_{Aeq} o około 30 dBA,
- analogiczna sytuacja jak w przypadku przegrody masywnej istnieje dla częstotliwości równych i większych

od ok. 40 Hz w przypadku przegrody lekkiej, jaką jest ściana g-k lub szklenie, jednak w znacznie mniejszym stopniu względem przegrody masywnej (do 7 dBA),

- w odniesieniu do przegród lekkich osiągnięcie dopuszczalnych wartości prędkości drgań w znacznie mniejszym stopniu przyczynia się do przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu,
- zjawisko izolacyjności promieniowania jest pomocne w przypadku, gdy częstotliwość koincydencji dla przegrody ma większą wartość – w znacznej części przypadków mowa tu o przegrodach lekkich.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kurzweil L. G., Ground-borne noise and vibration from underground rail systems, *Journal of Sound and Vibration*, 66/1979, str. 363–370
- [2] Nagy A. B., Fiala P., Marki F., Augusztinovicz F., Degrande G., Jacobs S., Brassens D., Prediction of interior noise in buildings generated by underground rail traffic, *Journal of Sound and Vibration*, 293/2006, str. 680–690
- [3] Colaço A., Costa P. A., Amado-Mendes P., Magalhães F., Godinho L., Experimental validation of a FEM-MFS hybrid numerical approach for vibro-acoustic prediction, *Applied Acoustics*, nr 141, 2018, str. 79–92
- [4] Szeląg A., Stypuła K., Kamiński T., Sound Radiation by Vibrating Building Partitions in Terms of Acceptable Vibration Values, *Acta Physica Polonica A*, 125/2014, str. 122–126
- [5] Cremer L., Heckl M., Petersson B., *Structure-Borne Sound – Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies*, 3rd edition, Berlin: Springer-Verlag, 2005
- [6] PN-B-02171:1988 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach
- [7] PN-B-02151-2:2018-01 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach
- [8] PN-B-02171:2017-06 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach
- [9] PN-EN 12354-1:2002 Akustyka budowlana – Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami
- [10] Nurzyński J., Współczynnik promieniowania dźwięku ścian szkieletowych z płyt gipsowo-kartonowych, *Prace Instytutu Techniki Budowlanej*, 145/2006, str. 55–71

PRZEGLĄD

Serdecznie zapraszamy autorów do publikowania

w „Przeglądzie Budowlanym”

90 lat

MIESIĘCZNIK POLSKIEGO ZWIĄZKU INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW BUDOWNICTWA