

Projektowanie akustyki sal sportowych

Większość istniejących sal sportowych w Polsce, również tych najnowszych, ma fatalną akustykę, znacznie ograniczającą ich funkcjonalność. Jednak od stycznia tego roku nowe przepisy budowlane nakładają na architektów obowiązek zadbania o właściwą akustykę projektowanych obiektów.

Akustyka wewnątrz w salach sportowych wpływa na ich funkcjonalność – wadą dyskwalifikującą pomieszczenie jest słaba zrozumiałość mowy będąca przede wszystkim skutkiem silnego pogłosu. Obiekty sportowe zwykle mają bardzo dużą kubaturę i są wykończone twardymi materiałami, a wtedy czas pogłosu jest bardzo długi: wynosi 4–5 sek. w niedużych salach gimnastycznych i 6–7 sek. w większych halach widowiskowo-sportowych. Zdarzają się obiekty, w których czas pogłosu przekracza 10 sek. Inną uciążliwością pogłosowych sal sportowych jest hałas. W ty-powej sali sportowej, równoważny poziom dźwięku L_{Aeq} (średni energetycznie) dla całej lekcji WF-u utrzymuje się na poziomie 80 dB(A). W trakcie gier zespołowych z dopingiem wzrasta do 85–90 dB(A). Hałas jest szczególnie dokuczliwy dla nauczycieli WF-u i szczególnie w przypadku największych hal sportowych, dzielonych kurtynami na części, tak aby mogły być w nich przeprowadzane zajęcia dla kilku klas równoległe.



Projektując zarówno małe sale gimnastyczne jak i duże hale sportowe trzeba wziąć pod uwagę różnorodne ich wykorzystanie. Podczas zajęć wychowania fizycznego akustyka sali sportowej powinna ułatwiać komunikację werbalną między nauczycielem a uczniami, i to przy odległości rzędu kilkunastu metrów. Tymczasem jeżeli sala jest bardzo pogłosowa to taka komunikacja jest możliwa na dystansie ledwie 3–4 m. Podobnie jest w przypadku akademii, apeli i występów artystycznych, czy w czasie przeprowadzanych w salach sportowych językowych egzaminów maturalnych, w trakcie których część pytań musi być odtworzona (i zrozumiana!) z nagrań. W takim przypadku zwykle używa się nagłośnienia, którego poprawne działanie w pogłosowym pomieszczeniu wymaga znacznego skrócenia dystansu między poszczególnymi słuchaczami a najbliższymi im głośnikami (znów do 3–4 m), co jest niepraktyczne, a często niemożliwe.

Norma

Opublikowana w 2015 r. norma PN-B-02151-4:2015-06 „Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w

„pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań” jest pierwszą polską normą określającą wymagania względem akustyki wewnątrz w budynkach użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego – w tym także w salach sportowych. Norma PN-B-02151-4:2015-06 znalazła się wśród norm przywołanych w ostatnio znalezionym rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Wymagania względem sal sportowych określone są jako maksymalny dopuszczalny czas pogłosu i są podane dla dwóch zakresów kubatur (czas pogłosu zależy w dużym stopniu właśnie od objętości pomieszczenia). W przypadku pomieszczeń znacząco mniejszych niż 5000 m³ należy jednak dążyć do mniejszych wartości.

Chłonność akustyczna

Co w takim razie należy zrobić, aby zapewnić w sali sportowej poprawną akustykę i spełnić wymagania normy? Przede wszystkim należy zadbać o odpowiednią chłonność akustyczną pomieszczenia. Jak już wspomniałem wcześniej, typowe wykończenie sal sportowych (tynk, szkło, blacha trapezowa, podłoga sportowa itd.) jest bardzo „twarde” akustycznie i nie zapewnia wystarczającej chłonności. Zwykle należy ją zwiększyć 4-5 krotnie, wprowadzając do sali odpowiednią ilość materiałów dźwiękochłonnych. Do tego bardzo istotne jest rozmieszczenie tych materiałów. Najlepiej byłoby rozmieścić je równomiernie na wszystkich powierzchniach ograniczających pomieszczenie: ścianach, suficie a nawet podłodze. Byłby to najbardziej efektywny sposób wykorzystania materiałów dźwiękochłonnych, niestety całkowicie nierealny. W praktyce większość materiałów instalowanych jest na suficie pomieszczenia, a tylko 20-30% na ścianach. Istotny jest dobór systemów pod kątem ich właściwości dźwiękochłonnych. Warto wybierać rozwiązania charakteryzujące się wysoką dźwiękochłonnością. Ułatwi to nieco projektowanie, bo materiału będzie potrzebna nieco mniej niż w przypadku mniej efektywnych rozwiązań i łatwiej będzie znaleźć na niego miejsce. Wszystkie poniższe zalecenia dotyczą właśnie materiałów silnie dźwiękochłonnych (ważony wskaźnik pochłaniania dźwięku $\alpha_w \geq 0,9$).



Sala sportowa przy SP nr 3 w Gogolinie. Dźwiękochłonny sufit podwieszany na całej powierzchni sali. Dźwiękochłonne panele ściennie instalowane na ścianie szczytowej na poziomie I piętra (szare pola). Fot.: Szymon Polański

Sufity

Materiały dźwiękochłonne na sufitach mogą być montowane na różne sposoby, każdy ma jakieś wady i

zalety. Istotny jest dobór systemu pod kątem jego właściwości dźwiękochłonnych, ale także odporności na uderzenia. Odporność mechaniczna systemów dźwiękochłonnych powinna być dopasowana do stopnia narażenia na uderzenia piłkami.

Sufity podwieszane zakrywające całą powierzchnię dachu

Rozwiązanie pozwalające na zakrycie instalacji technicznych oraz elementów konstrukcyjnych. Dostyc kłopotliwe w przypadku sal sportowych ponieważ utrudnia dostęp do instalacji (płyty sufitowe muszą być zabezpieczone przed wybijaniem przez piłki, więc ich demontaż jest utrudniony).

W powierzchni sufitu muszą być montowane odporne na uderzenia oprawy oświetleniowe czy też kratki instalacji wentylacyjnej (i również zabezpieczone przed wybijaniem) co jeszcze komplikuje montaż. Konsekwencją jest też obniżenie wysokości sali, co może być niekorzystne np. w przypadku rozgrywania meczów siatkówki. Poza tym wystawia sufit na mocniejsze uderzenia. Stosując tą metodę udaje się pokryć ok. 90% powierzchni sufitu (pozostałe 10% zajmują oprawy oświetleniowe oraz elementy wentylacyjne).

Sufity podwieszane montowane w polach pomiędzy dźwigarami i płatwiami

Dostyc prosty i pewny montaż stosowany w przypadku konstrukcji z drewna klejonego. Kanały wentylacyjne są wtedy zwykle prowadzone poniżej sufitu, a oprawy oświetleniowe instalowane na dźwigarach lub płatwiach. Wadą jest stosunkowa duża ilość odpadów wynikająca z konieczności docięcia płyt do elementów konstrukcji dachowej. Istotna jest odległość sufitów od twardej powierzchni ponad nim (np. blachy trapezowej). Dobrze, żeby było to 20 cm lub więcej, ponieważ pustka powietrzna sprawia, że taki ustrój dźwiękochłonny lepiej sprawuje się w niskich częstotliwościach (125-250 Hz). Stosując tą metodę udaje się pokryć ok. 90% powierzchni sufitu (pozostałe 10% elementy konstrukcyjne dachu).

Sufity podwieszane w formie pasów i ekranów instalowanych w polach pomiędzy dźwigarami i płatwiami – bez łączenia się z nimi

Rozwiązanie stosowane najczęściej w przypadku stalowej lub żelbetowej konstrukcji dachu. Podobnie jak w poprzednim przypadku kanały instalacyjne są wieszane poniżej sufitu, a oprawy oświetleniowe montowane na elementach konstrukcyjnych. Taki montaż jest dostyc prosty i ma też inną istotną zaletę – jest stosunkowo tani bo jest praktycznie bezodpadowy, ponieważ wymiary pól i pasów układanych z płyt dźwiękochłonnych są wielokrotnością ich modułów. Przy takim sposobie montażu udaje się zwykle pokryć ok. 70% powierzchni dachu, co jest na ogół wystarczające. Warto pamiętać jednak o dwóch „pułapkach”. Dobrze, żeby takie pasy sufitu dźwiękochłonnego były instalowane w pewnej odległości od lica blachy, ale nie więcej niż 20 cm.

Jeżeli ekrany będą podwieszane niżej, to staną się „łapaczem piłek”. Instalując tego typu ekrany, należy też pamiętać o elementach stężających, zapobiegających bujaniu się sufitu po trafieniu piłką (bo pasy sufitu w tym wypadku nie są mocowane ani do ścian, ani do dźwigarów).



Hala sportowa Koło w Warszawie. Panele dźwiękochłonne instalowane w polach pomiędzy elementami konstrukcji dachu. Dźwiękochłonne panele ściennie instalowane za drabinkami gimnastycznymi oraz na ścianie szczytowej po obu stronach ścianki wspinaczkowej. Fot.: Szymon Polański

Pogłos

Pogłos jest zjawiskiem stopniowego zanikania energii dźwięku w pomieszczeniu po wyłączeniu źródła dźwięku. Jest związany z występowaniem dużej liczby odbić fal dźwiękowych od powierzchni ograniczających to pomieszczenie oraz przedmiotów w nim się znajdujących. Jeżeli odstęp czasowy pomiędzy kolejnymi odbiciami docierającymi do słuchacza jest mały (przyjmuje się zwykle, że mniejszy niż 50 ms), zlewają się one w jeden ciągły dźwięk. Ponieważ każde kolejne odbicie fali dźwiękowej i każdy metr pokonywanej przez nią przestrzeni oznacza pewną utratę energii (wskutek pochłaniania dźwięku przez powietrze oraz odbicia od kolejnych powierzchni), kolejne odbite dźwięki docierające do słuchacza są coraz cichsze. Z tego powodu każdy impuls dźwiękowy w pomieszczeniu nie urywa się nagle jak w przestrzeni otwartej, tylko stopniowo zanika. Tempo tego zaniku zależy od wielkości, ukształtowania i wykończenia pomieszczenia. Im mniejsza kubatura i im większa chłonność akustyczna pomieszczenia, tym pogłos jest słabszy. Słabszemu pogłosowi sprzyja także równomierne rozłożenie powierzchni dźwiękochłonnych w pomieszczeniu, a także obecność elementów rozpraszających dźwięk.

Pogłos mierzony jest wielkością zwaną czasem pogłosu T [sek.] – jest to czas potrzebny na zmniejszenie, po wyłączeniu źródła dźwięku, poziomu ciśnienia akustycznego we wnętrzu o 60 dB.

Wartości czasu pogłosu dla różnych pasm częstotliwości (dla tego samego pomieszczenia) mogą znacznie się od siebie różnić.

Jeżeli w pomieszczeniu o odczuwalnym pogłosie (długim czasie pogłosu) zamiast dźwięków impulsowych (np. klaśnięcia) wytwarzany jest ciągły sygnał dźwiękowy (np. przemowa), mamy do czynienia ze stale utrzymującym się pogłosem, który zwiększa poziom dźwięku i niekorzystnie wpływa na zrozumiałość mowy. W pobliżu źródła dźwięku dominuje dźwięk bezpośredni, a w dalszych partiach pomieszczenia przeważają dźwięki odbite (mówimy wtedy o polu pogłosowym). O ile w pobliżu źródła zrozumiałość mowy i czytelność innych sygnałów dźwiękowych emitowanych przez źródło jest zwykle bardzo dobra, to w polu pogłosowym gwałtownie się pogarsza. Odległość od źródła, w którym zaczyna się pole pogłosowe zależy od kubatury pomieszczenia i czasu pogłosu. Im dłuższy jest czas pogłosu, tym pole pogłosowe zaczyna się bliżej źródła.

Czas pogłosu jest parametrem najczęściej stosowanym do opisu akustyki wnętrza. Mimo że niedoskonały, mówi nam dużo o charakterze akustycznym pomieszczenia. Jeśli wnętrze charakteryzuje się relatywnie krótkim czasem pogłosu, to znaczy, że jest cichsze, panują w nim lepsze warunki do komunikacji słownej (naturalnej czy z użyciem nagłośnienia), a w odbiorze subiektywnym wydaje się bardziej przytulne.



Sala sportowa w Pilicy poddana adaptacji akustycznej. Panele dźwiękochłonne instalowane jako ekrany w polach pomiędzy elementami konstrukcji dachu (pokrywając ok. 67% powierzchni dachu). Dźwiękochłonne panele ściennie instalowane na ścianach szczytowych nad okładziną klinkierową i drabinkami. Fot.: Łukasz Barcz

Pochłanianie dźwięku i chłonność akustyczna

Fala dźwiękowa docierająca do przeszkody może także zostać przez nią pochłonięta lub odbita. Stopień dźwiękochłonności danego materiału określają współczynniki pochłaniania dźwięku α , które przyjmują wartości z zakresu 0-1. Jeżeli dla danego materiału i dla danego pasma częstotliwości współczynnik α przyjmuje wartość 0,6, oznacza to, że materiał ten pochłania 60% energii padającej na niego fali dźwiękowej, a odbija 40%. Możemy się spotkać z następującymi wielkościami charakteryzującymi pochłanianie dźwięku przez materiał:

α_s – pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku, wyznaczany laboratoryjnie dla 18 pasm tercjowych (100 Hz, 125 Hz, 160 Hz itd.)

α_p – praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku, wyliczany dla 6 pasm oktaowych (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz itd.) na podstawie wartości α_s

α_w – ważony wskaźnik pochłaniania dźwięku, jednoliczbowy wskaźnik wyliczany wg PN-EN ISO 11654 z wartości α_p w pasmach 250–4000 Hz.

Znając własności dźwiękochłonne materiałów użytych we wnętrzu, można obliczyć chłonność akustyczną całego pomieszczenia:

$$A_{\text{pom}} = S_1 \times \alpha_1 + S_2 \times \alpha_2 + S_3 \times \alpha_3 + \dots$$

gdzie:

S_n – pole powierzchni poszczególnych elementów ograniczających wnętrze (ściany, okna, sufit itd.)

α_n – właściwy dla tego elementu współczynnik pochłaniania dźwięku.

Obliczając chłonność akustyczną pomieszczenia można także uwzględnić chłonność akustyczną powietrza w nim zawartego oraz znajdujących się w nim obiektów (np. mebli). Dla tego samego pomieszczenia chłonność

akustyczna w różnych pasmach częstotliwości może się znacznie różnić.

Odporność na uderzenia wg DIN 18032-3:1997-04 i PN-EN 13964:2004

Materiały wykończeniowe stosowane w salach sportowych powinny być odporne na uderzenia. Sprawdza się to testując je wg procedury opisanej w normie DIN 18032-3:1997-04. Metoda ta została także podana w normie PN-EN 13964:2004 (załącznik normatywny D). Warto pamiętać, że badaniu poddany musi być cały system (panele dźwiękochłonne, profile, wieszaki, łączniki itd.).

- Systemy zakwalifikowane jako 1A mogą być stosowane w wielofunkcyjnych salach sportowych, w których uprawia się gry zespołowe z wykorzystaniem piłek o dużej energii kinetycznej (takie jak piłka ręczna, czy tenis). Dobierając rozwiązania na sufit warto rozważyć zastosowanie systemów klasy 1A zwłaszcza w przypadku stosunkowo niskich pomieszczeń ($h < 7$ m), ponieważ siła uderzeń może być tutaj największa.
- Systemy zakwalifikowane jako 2A są polecane do sal, gdzie używa się piłek o niższej energii kinetycznej, używanych w siatkówce czy koszykówce. Systemy sufitowe w tej klasie mogą być także stosowane w bardzo wysokich pomieszczeniach, których wysokość przekracza 12 m.
- Systemy zakwalifikowane jako 3A zaleca się do stosowania na sufitach w pomieszczeniach, w których nie uprawia się sportów z użyciem piłek (np. sale do gimnastyki korekcyjnej, sale fitness czy korytarze szkolne).

Tabela 1. Wartości czasu pogłosu w zależności od objętości pomieszczenia

Pomieszczenie	Czas pogłosu [sek.]
Sale gimnastyczne, hale sportowe i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu, $V < 5000 \text{ m}^3$	1,5
Sale gimnastyczne, hale sportowe i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu, $V > 5000 \text{ m}^3$	1,8

Maksymalny czas pogłosu wg PN-B-02151-4:2015-06

Norma określa maksymalne dopuszczalne wartości czasu pogłosu m.in. dla sal sportowych. Podane wartości nie mogą być przekroczone w żadnym z pasm oktaowych z zakresu 250–4000 Hz. Wymaganie dotyczy pomieszczeń wykończonych, z trwale zamocowanymi elementami wyposażenia i umeblowania, ale bez obecności ludzi.

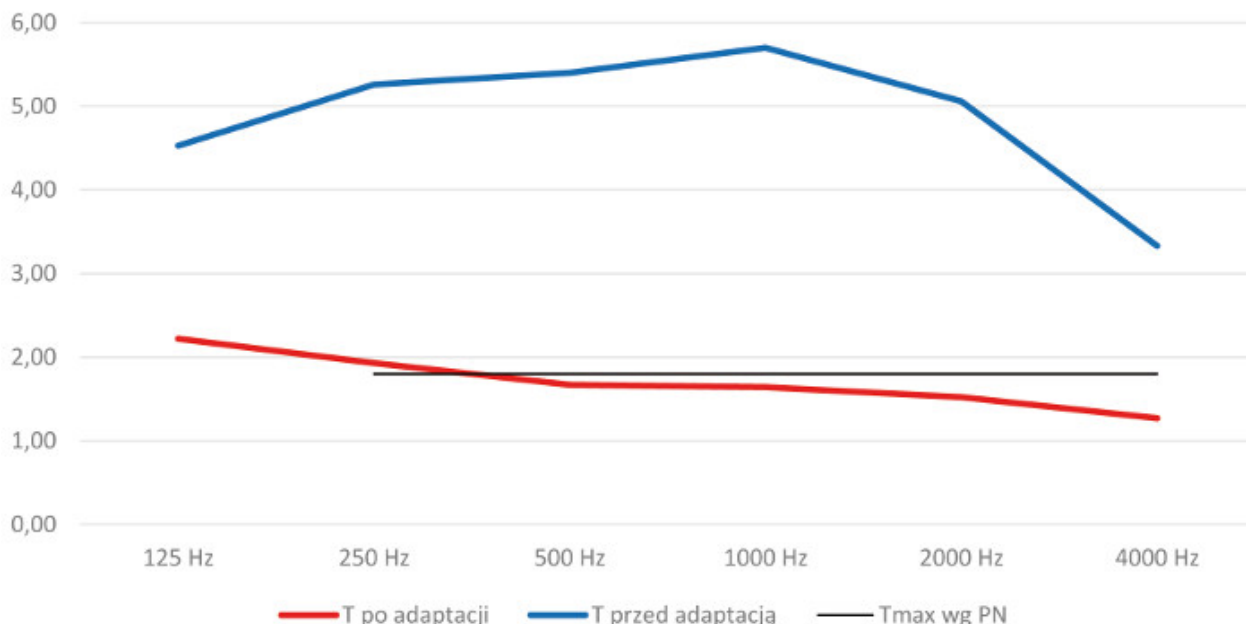


Hala sportowa Koło w Warszawie. Panele dźwiękochłonne instalowane w polach pomiędzy elementami konstrukcji dachu. Dźwiękochłonne panele ściennie instalowane za drabinkami gimnastycznymi oraz na ścianie szczytowej po obu stronach ścianki wspinaczkowej. Fot.: Szymon Polański

Ściany

Najbardziej kłopotliwe jest rozmieszczenie paneli dźwiękochłonnych na ścianach sali sportowej, co wynika z nieuniknionych kolizji z oknami, drzwiami, wyposażeniem sportowym itd. Trudno dać jakieś uniwersalne ale precyzyjne wskazówki. Należy się kierować kilkoma zasadami:

- dźwiękochłonne panele ściennie muszą być; jeśli zostawimy gładkie, twarde i do tego równoległe powierzchnie ścian to wielokrotne odbicia poziomo rozchodzących się fal dźwiękowych będą odpowiadały za długi czas pogłosu oraz powstawanie niekorzystnych zjawisk akustycznych, takich jak trzepoczące echo czy fale stojące
- panele dźwiękochłonne powinny być rozmieszczane mniej więcej na tej wysokości na której znajdują się źródła dźwięku oraz jego odbiorniki (słuchacze, a precyzyjniej ich uszy, czy też mikrofony systemu nagłośnieniowego); niepotrzebna jest więc instalacja paneli dźwiękochłonnych tuż pod sufitem w sali która ma 8 czy 10 m wysokości; raczej powinny to być pasy instalowane od wysokości ok. 100 cm ponad poziomem płyty boiska do ok. 100–200 cm ponad górnym poziomem widowni (jeżeli taka widownia jest)
- zasadniczo powinna wystarczyć instalacja ciągłych pasów na dwóch przyległych ścianach (jednej szczytowej i jednej podłużnej); można też rozłożyć tą samą powierzchnię paneli na wszystkich ścianach instalując zamiast ciągłych pasów osobne ekrany; przy czym bardzo ważne jest w takim przypadku aby ekrany znajdujące się na przeciwległych ścianach były ułożone „na mijankę” (tak aby naprzeciwko przerwy między panelami na jednej ścianie, był panel na drugiej); oczywiście jeśli na wszystkich czterech ścianach zainstaluje się ciągłe pasy paneli dźwiękochłonnych, to nie będzie błędem
 - ściany powinny być pokryte panelami co najmniej w 10–20%
 - panele ściennie mogą być instalowane za drabinkami gimnastycznymi
 - nie ma sensu ich instalować za ściankami wspinaczkowymi czy za składanymi trybunami
- warto się zastanowić nad instalacją paneli dźwiękochłonnych na dodatkowej warstwie (ok. 50 mm) wełny szklanej o niskiej gęstości; zwiększy to grubość ustrojów ściennych, ale pozwoli znacznie zwiększyć pochłanianie dźwięków w niskich częstotliwościach (w paśmie 125 Hz nawet 3–4 krotnie).



Wykresy przedstawiające wartości czasu pogłosu pomierzone w sali sportowej w Pilicy przed i po adaptacji akustycznej. Na osi Y wartości czasu pogłosu w sekundach, na osi X częstotliwości oktawowo w hercach. Udało się spełnić wymagania PN-B--02151-4:2015-06 (niewielkie przekroczenie w paśmie 250 Hz mieści się w granicach tolerancji dopuszczalnych przez normę)

Pomieszczenia połączone

Należy bezwzględnie zwrócić uwagę na wykończenie pomieszczeń przyległych do sali sportowej i otwartych na nią. Pomieszczenia takie jak korytarze, galerie biegnące za widownią należy po prostu traktować jako część sali sportowej i wyposażać w dźwiękochłonne sufity podwieszane (zwykle tutaj nie są już potrzebne rozwiązania odporne na uderzenia). Problemem mogą być również pomieszczenia, które są w zasadzie oddzielone ścianą, ale połączone wąskim przejściem, korytarzykiem, otwartą klatką schodową itp. Możemy mieć wtedy do czynienia ze zjawiskiem tzw. pomieszczeń sprzężonych akustycznie. Jeżeli sala sportowa będzie dobrze wytłumiona, a takie przyległe pomieszczenie będzie twardo wykończony, to fala dźwiękowa z sali sportowej będzie wnikała do niego i pobudzała go akustycznie. W efekcie w sali sportowej będzie słyszalny pogłos dobiegający z takiej dolepiszonej „komory pogłosowej”.

mgr inż. arch. Mikołaj Jarosz
Stowarzyszenie na Rzecz Lepszej Akustyki
w Budynkach „Komfort Ciszy”