



Ta piękna nowa hala wymaga adaptacji akustycznej

Budowanie bezpiecznych hal sportowych

Bogdan Leszko

Przemyślane projektowanie hal sportowych uwzględnia zarówno potrzeby komunikacji, jak i bezpieczeństwo użytkowników, w tym ochronę przed hałasem. Budowanie dużych kubatur rodzi niebezpieczeństwo powstania niekontrolowanego hałasu zagrażającego zdrowiu ludzi.

O tym pisaliśmy w Z:A_01_2008. Tym razem skupimy się na rozwiązaniach wprowadzanych na etapie projektowym – które będą ograniczały hałas pogłosowy – oraz na sposobach dodatkowego wytlumienia wewnątrz i poprawy akustyki w budynkach już istniejących.

Nowoczesna technika audio-wideo oraz oczekiwania publiczności stawiają halom sportowym wysokie wymagania. Im większe obiekty, tym większe jest niebezpieczeństwo powstania potężnego, niekontrolowanego hałasu będącego efektem interakcji dźwięku z niekorzystnym wpływem zamkniętej przestrzeni architektonicznej. Większość problemów związanych z hałasem pogłosowym, utratą zrozumiałości mowy i zagrożeniem wywołanym hałasem można rozwiązać na etapie projektowania architektonicznego.

Estetyka czy akustyka?

Architekci i projektanci wewnątrz starają się spełniać wymagania swoich klientów. Jednak hale o błyskotliwym wyglądzie i zaskakujących efek-

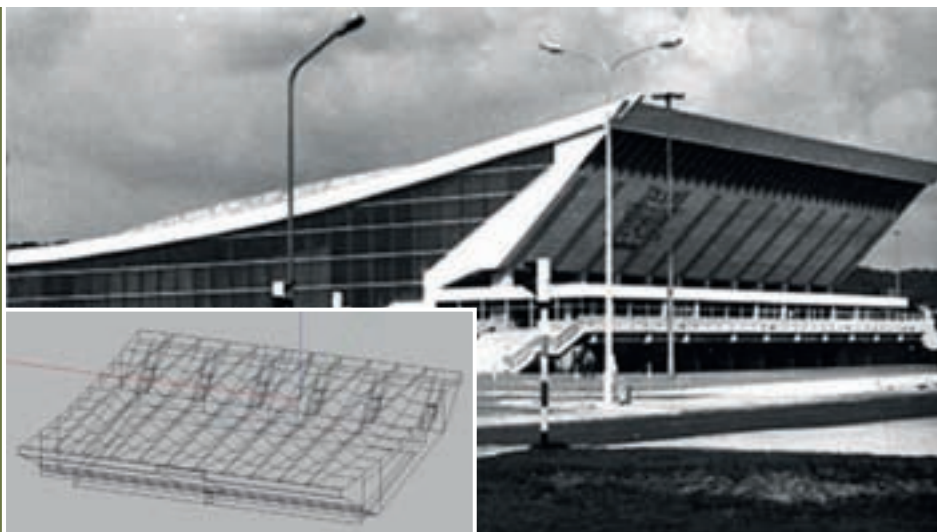
tach oświetleniowych nie muszą być bezpieczne w użytkowaniu. Byłem kiedyś świadkiem, jak architekt szczylił się swoim projektem i estetyką wnętrza łukowatej hali sportowej, świetnie wykorzystującej oświetlenie dzienne. Nie zdawał sobie jednak sprawy, że zaprojektował coś, co generowało wszystkie rodzaje zakłóceń: pogłos, echa, efekt flangera itp., i żeby móc halę użytkować, inwestor musiał wydać duże pieniądze na zniwelowanie tych problemów. Dlatego pamiętajmy, że wprawdzie hale mogą świetnie wyglądać, lecz jednocześnie duże i twarde płaszczyzny niezmiennie mają niekorzystne właściwości akustyczne. Płaski dach nad płaską areną z pewnością wygenerowałby niekorzystne efekty w postaci echa i fal „stojących”. A już największe z możliwych

problemy z dźwiękiem stwarzają zakrzywione do środka ściany i sufity w kształcie kopuły!

Zaskakujące jest przy tym to, że sale średniej wielkości zwykle cechują się lepszymi właściwościami akustycznymi niż małe i bardzo duże. W małym pomieszczeniu energia fal odbitych jest duża (nie tracąc mocy na krótkim odcinku), dlatego mocno oddziałuje (jak choćby w łazience). Natomiast w dużej hali poważniejszym problemem są słyszalne echa. Zjawisko wynika z większych odległości i opóźnień czasowych odbitej energii (w stosunku do źródła). Wartości są na tyle wysokie, że nasze ucho – a raczej mózg – postrzega to jako wyraźne echo. Tak zwana „stała czasowa” słyszenia człowieka, czyli różnica, przy której człowiek wyraźnie rozróżnia dwa dźwięki, to ok. 50 ms. W takim czasie dźwięk pokonuje odległość ok. 15-20 m, a przecież w dużych halach dystanse są dłuższe.

Właśnie dlatego niezauważalne pogorszenie zrozumiałości mowy w złej akustyce małego pomieszczenia, w odniesieniu do projektowanej dużej hali, urasta do gigantycznego problemu, którego rozwiązanie jest trudne i kosztowne! Aby sprawdzić warunki pogłosowe, wystarczy wykonać proste doświadczenie: w pustej hali sportowej klaśnij w ręce, a zobaczysz, jak hala „śpiewa” jeszcze długo po ustaniu źródła dźwięku. Im dłuższy jest „śpiew”, tym większy będzie problem z hałasem pogłosowym. W wielofunk-

Hala Olivia w Gdańsku została znakomicie zaprojektowana, to prawdopodobnie najlepszy kształt bryły i dachu



cyjnych halach widowiskowo-sportowych, przy wypełnionej widowni, nie powinien trwać dłużej niż 2 sekundy. Źle zaprojektowane i niewłaściwie zbudowane polskie hale sportowe „śpiewają” niekiedy nawet 12 sekund!

Dźwięk nie zanika

Dźwięku nie można zatrzymać. Promienisty sposób rozchodzenia się energii akustycznej oznacza, że o sposobie jej ogniskowania lub rozproszenia decyduje kształt wnętrza hali. Oddziaływanie skupionej energii jest ogromne, zatem projektowanie hal z zakrzywionymi ścianami i sufitami w kształcie kopuły tworzy – już z definicji – problemy z akustyką. Wklęsłe płaszczyzny powodują koncentrację fali dźwiękowej w określonych miejscach. Gdy punkt skupienia przypadnie w miejscu, gdzie sytuowana jest widownia, przedziwne „efekty” dźwiękowe staną się nieuniknione. Dobrym przykładem jest planetarium. W jego centrum trudno używać mikrofonu bez niebezpieczeństwa powstania potężnych sprzężeń. Warto wymienić również polskie hale z okresu sprzed poprawy ich akustyki: halę Torwar w Warszawie, Halę Stulecia (dawna Hala Ludowa) we Wrocławiu, halę w Krośnie czy Halę Tysiąclecia w Sopocie.

Punkty skupienia występują w różnych miejscach i zależą od usytuowania źródeł dźwięku (czytaj: głośników). Kształty kopułowe potęgują dźwięk, czego przykładem mogą być muszle koncertowe, budowane w czasach, gdy nie znano głośników i wzmacniaczy. Przy współczesnej technice audio, emitującej z wielu miejsc potężne energie, takie rozwiązania nie pomagają.

Jedna z hal sportowych na gdańskim wybrzeżu otrzymała niekorzystne dla prawidłowej akustyki łukowate sklepienie, ale za to wykonane z falistej blachy. Blacha wprawdzie nie

wytłumia nadmiar energii dźwiękowej, ale jej mocno pofalowana powierzchnia trochę ją rozpraszała. Architekci wewnątrz przekonali jednak inwestora, że „ładniej będzie”, gdy na blachę nałoży się gładki, suchy tynk. Rzeczywiście, estetyka wnętrza zyskała. Jednak ogromny hałas pogłosowy nie pozwalał uzyskać wymaganej zrozumiałości mowy – pomimo zainstalowania bardzo dobrej i kosztownej aparatury dźwiękowej. Inwestor musiał wydać kolejne pieniądze i pokryć gładkie sklepienie materiałami porowatymi, które rozpraszają i wytłumią nadmiar dźwięku.

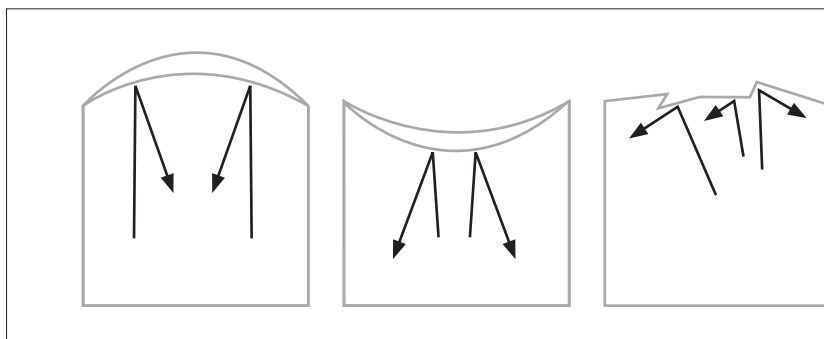
Bryła i materiały

Różnorodność dostępnych materiałów budowlanych, wykończeniowych oraz technologii oferuje architektom rozwiązania dla rozmaitych wyzwań. Jednak największą przeszkodą jest brak wiedzy. Właśnie w halach sportowych bardzo często proponowany jest dach wygięty w kształcie półwalca. Tymczasem dach wklęsły, o nieregularnym kształcie, umożliwiłby naturalne rozproszenie energii dźwiękowej. Takie rozwiązanie pozwoliłoby uniknąć ogniskowania dźwięku i ograniczyło-

by powstawanie zjawiska echa, które znacznie utrudnia zrozumienie słów. Rysunek powyżej pokazuje dobrze zaprojektowany dach gdańskiej hali Olivia.

Dobrym przykładem jest też hala widowiskowo-sportowa budowana między Sopotem a Gdańskiem. Wewnętrzna powierzchnia dachu została uformowana w postaci piramidek, obłożonych miękkimi panelami z wełny mineralnej. Dzięki temu fale docierające do sufitu zostaną rozproszone. Takie rozwiązanie jednocześnie pozwoliło zdecydowanie zwiększyć powierzchnię wełny mineralnej (czyli ogólną powierzchnię pochłaniania), niż gdyby obłożono nią płaski sufit. W ten sposób, nie zmieniając zewnętrznej formy budowli, zmodyfikowano ją od wnętrza.

Jednakże prawidłowy kształt dachu i bryły hali sportowej zazwyczaj nie wystarczą, aby zlikwidować hałas pogłosowy i uzyskać w niej wymaganą zrozumiałość mowy. Jeśli w pomieszczeniu występują niekorzystne zjawiska akustyczne, to zmieniając parametry tego pomieszczenia (powierzchnię absorbującą dźwięk, kształt tej powierzchni, rodzaj materiałów wykończeniowych), wpłyniemy na rozmiar »



RYS. 1. Sklepienie akustycznie najgorsze, dobre i najlepsze



Sala sportowa zbudowana z bloków akustycznych



Sala sportowa z wytłumieniem w postaci płyt z wełny drewnianej

» tych zjawisk. Zatem poprawa zrozumiałości mowy w obiektach kubaturowych należy do zakresu akustyki architektonicznej.

Pieniądże przeznaczone na poprawę słyszalności w pomieszczeniu pozwolą zaoszczędzić inwestorowi wielokrotnie więcej środków, które musiałby wydać na elektroniczne korygowanie słabej jakości wytwarzanego w nim dźwięku. Kompromisowe rozwiązanie wymaga bowiem użycia systemu nagłośnienia, który będzie bardziej skomplikowany i kosztowniejszy!

Rozwiązania technologiczne

Aby zredukować pogłos, i tym samym wpłynąć na poprawę zrozumiałości mowy, w „hała-

śliwych” halach sufit i gładkie ściany wyklada się miękkimi i porowatymi panelami akustycznymi. Są one produkowane z wełny mineralnej lub sprasowanej słomy drewnianej i bardzo dobrze „chlona” energię (w zakresie średnich i wysokich częstotliwości) docierającą do powierzchni ograniczających wnętrze hali. Innym rozwiązaniem jest pozostawienie na etapie budowy porowatej, nieotynkowanej ściany. Surowa ściana ceglana powyżej wysokości 3 m (zwłaszcza z dziurawki, a takie rozwiązanie stosowane jest np. w studiach telewizyjnych) dobrze rozprasza energię. Oszczędzamy przy tym część kosztów tynkowania i malowania.

Przy budowie ścian można też wykorzystać „bloki akustyczne”, wykonane z bardzo twardego i ciężkiego betonu, znacznie redukujące hałas pogłosowy. Mają one specyficzną budowę, z wnękami rezonatorowymi wygaszającymi nadmiar energii dźwiękowej w zakresie niskich częstotliwości. Dwie duże szczytowe ściany, zbudowane z takich „bloków akustycznych”, mają tak silne właściwości tłumiące nadmiarowy hałas, jak niemal połowa sufitu hali pokrytego miękkimi panelami dźwiękochłonnymi z wełny mineralnej. Dlatego mogą zapewnić największe oszczędności, redukując część kosztów tynkowania i malowania ściany, a także pokrywania sufitu panelami dźwiękochłonnymi. Ponadto „bloki akustyczne” są rodzajem tłumików, nastrojonych na niskie częstotliwości (ok. 150 Hz), których nie są w stanie wygłuszyć żadne panele dźwiękochłonne. W niektórych „huczących” halach jest to jedyne efektywne rozwiązanie.

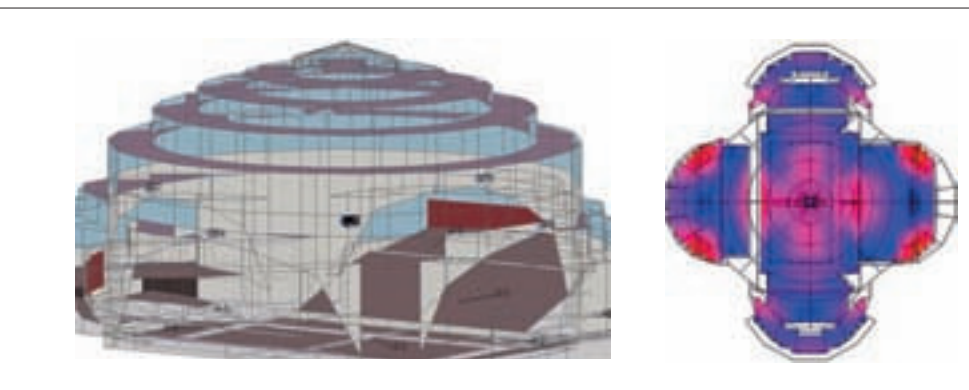
Panele dźwiękochłonne najczęściej są mocowane do blaszanego dachu dopiero na końcu procesu budowlanego. Jest też inne rozwiązanie: ocieplane, dachowe płyty typu „sandwich”, z wewnętrznym perforowaniem (zaprojektowane do pokrywania wielkopowierzchniowych hal sportowych i produkcyjnych), jednocześnie pełniące rolę paneli dźwiękochłonnych.

Surowe, betonowe i płaskie ściany można również obłożyć akustyczną płytą ze „słomy drewnianej” (nasączona niepalnym magnezem), która rozprasza i tłumi dźwięki. Jednocześnie jest ona bardzo odporna na uderzenia i nie wymaga specjalnych zabiegów przy montażu. Natomiast w obiektach o skomplikowanej i zdobionej architekturze zastosowanie może znaleźć „tynk akustyczny”. Celulozowa pianka, natryskiwana bezpośrednio na podłoże, nie wymaga (dla warstwy o grubości kilku centymetrów) stosowania rusztów ani konstrukcji. W wielu mniejszych halach sportowych spotkać się można z przeszklonymi ścianami. Powinny one jednak mieć, zamiast płaskiej formy, raczej kształt harmonijki.

Nie zabijać akustyki

Walka z hałasem nie powinna oznaczać dążenia do całkowitego wytłumienia energii dźwiękowej, lecz jedynie zredukowanie jej nadmiaru do poziomu, na którym nie jest już uciążliwa i nie przeszkadza widzom w odbiorze widowiska, a u zawodników nie obniża zdolności koncentracji. Tymczasem projektanci, którzy inaczej podchodzą do tego zagadnienia, często popadają w skrajność i wszelkimi sposobami próbują zdławić dźwięk w hali, niejednokrotnie doprowadzając inwestora do poważnego uszczuplenia budżetu.

Ponad 100 lat temu Wallace Clement Sabine stworzył matematyczny wzór na obliczanie czasu pogłosu w pomieszczeniu, bazując na jego objętości, powierzchni ścian i całkowitej chłonności akustycznej materiałów użytych do zbudowania konstrukcji. Korzystając z danych, dostarczanych przez producentów materiałów wykończeniowych, można obliczyć spodziewany dla hali czas pogłosu. Nawet szacunkowe, bardzo przybliżone dane podane przez architektów z pewnością uchroniłyby inwesto-



RYS. 2. Wirtualny model wrocławskiej Hali Stulecia wymagał matematycznego opisanego aż 750 różnych płaszczyzn
RYS. 3. Wynik komputerowej symulacji akustyki w postaci kolorowej mapy izobarycznej poziomu ciśnienia dźwięku SPL

Wytyczne normy PN-EN60849 w zakresie parametrów komunikatu ewakuacyjnego, słyszanego przez ludzi, określają takie zaprojektowanie systemu nagłośnienia alarmowego, aby informacja była dobrze zrozumiała – nie tylko słyszalna i czytelna. Stopień zgodności odbieranego dźwięku z oryginałem – tym wychodzącym z głośnika – określa się skalą STI („Speech Transmission Index”), w której 1 oznacza oryginał. Niekorzystna akustyka psuje oryginalny dźwięk komunikatów mogących uratować ludzkie życie.



Hala Torwar – dzięki symulacjom komputerowym uzyskano kompromis między kosztami a komfortem akustycznym



Wzór do naśladowania – wklęsły dach z elementami rozpraszająco-tłumiącymi

row przed nieprzewidzianymi wydatkami, jakie będą musieli ponieść przy „naprawianiu” akustyki. Dlatego obowiązkiem projektanta jest poinformowanie klienta, że skoncentrowanie się tylko na estetyce hali może odbić się negatywnie na uzyskaniu wymaganego poziomu zrozumiałości mowy.

Jednocześnie rozwój technologii audio spowodował, że istnieje głębokie, błędne przekonanie (projektantów, inwestorów i właścicieli obiektów), że problem komfortu słuchania i komunikacji dźwiękowej można rozwiązać, stosując najnowocześniejsze elektroniczne wynalazki, a jedyna trudność wiąże się z ograniczeniami budżetu.

Komputerowe „leczenie”

Tymczasem już podczas II wojny światowej dwaj inżynierowie, pracujący w laboratoriach Bella, wyprowadzili jedno z najbardziej użytecznych równań matematycznych, opisujących to, co dzieje się z dźwiękiem na drodze pomiędzy jego źródłem a uszami słuchaczy. Można zatem obliczyć zarówno wielkość i sposób rozchodzenia się energii dźwiękowej w hali, jak również wielkość i miejsce zamocowania materiałów dźwiękochłonnych, a także przeprowadzić symulację efektów nagłośnienia z przewidywanego miejsca umocowania głośników.

Warszawska hala Torwar była pod koniec lat 90. pierwszym obiektem w Polsce, w którym z sukcesem zastosowano komputerowe symulacje akustyki dla modelowania zrozumiałości mowy i dokładnego określenia wielkości potrzebnych materiałów dźwiękochłonnych. Właściwa współpraca z architektem i wykonawcą budowlanym już na etapie projektowania pozwoliła, za pomocą tylko jednego działania, uzyskać aż 3 efekty:

- ograniczyć hałas w hali (zgodnie ze standardem UE),

- zwiększyć bezpieczeństwo przez możliwość użycia systemu Voice Alarm,
- radykalnie zredukować wielkość (czyli także koszt) aparatury nagłośnieniowej.

Stosując wirtualnie różne materiały dźwiękochłonne, kilkadziesiąt razy symulowano wyłożenie nimi sufitu, aż uzyskano kompromis pomiędzy właściwościami akustyczno-mechanicznymi płyty z wełny mineralnej i kosztami jej ułożenia. Pokrycie sufitu dźwiękochłonnymi płytami stanowiło niemały wydatek, ale dzięki temu zmniejszono w hali hałas pogłosowy co najmniej o 6 dB. To oznacza, że zgodnie z prawami elektroakustyki, można było ograniczyć wielkość aparatury nagłośnieniowej aż o 75%! Zamiast więc 40 kosztownych wzmacniaczy, jest ich tylko 10, nie mówiąc już o ograniczeniu wielkości zastosowanych głośników.

W wyniku tych działań uzyskano radykalne skrócenie czasu pogłosu z 10 do 1,5 sekundy i zaskakującą poprawę zrozumiałości mowy, dzięki czemu bardzo dobrze słyszalne są wszystkie komunikaty. To jednocześnie pozwoliło przystosować halę do komfortowego odbioru muzyki rozrywkowej w czasie koncertów i kongresów. Stopień zrozumiałości mowy 0,5 STI – absolutnie wymagany dla zastosowania Dźwiękowego Systemu Ostrzegawczego – występuje nawet w miejscach najbardziej oddalonych od głośników.

Nie lekceważysz nagłośnienia

Współczesny system nagłośnieniowy w hali sportowej pełni 3 funkcje:

- dostarcza rozrywki w postaci programu muzycznego,
- przekazuje informacje od sprawozdawcy,
- kieruje akcją ewakuacyjną (w przypadku ogłoszenia alarmu pożarowego lub terrorystycznego).

Beztroskie projektowanie dużych kubatur hal sportowych doprowadzić może do:

- pogorszenia komunikacji dźwiękowej,
- braku komfortu dla publiczności,
- stworzenia obszarów niebezpiecznych dla zdrowia człowieka,
- obniżenia stopnia bezpieczeństwa,
- zawyżenia kosztów urządzeń dźwiękowych i dodatkowych wydatków inwestora,
- utraty możliwości użytkowania obiektu zgodnie z przeznaczeniem,
- utraty spodziewanych dochodów (co wynika z niemożliwości użytkowania).

Gdyby można było dostarczyć dźwięk wyłącznie do ludzkich uszu, to 100-tysięczny tłum kibiców wymagałby zastosowania głośników o mocy zaledwie 64 watów. Wielkość urządzeń audio służących do nagłośnienia hal wyraźnie wskazuje, że jedynie część generowanego dźwięku trafia do celu, czyli do uszu słuchaczy. Większość ucieka w przestrzeń. Niestety, w przestrzeń zamkniętą ścianami i dachem. Dlatego należy ją na to przygotować, prawidłowo projektując halę sportową.

Ilustracje pochodzą z archiwum autora

Bogdan Leszko

info@bellsonic.org.pl

Konsultant dźwiękowy,
prezes Stowarzyszenia Bellsonic,
biegły sądowy, członek
Voice Alarm Safety Approval

