

Bomba akustyczna, czyli o nagłaśnianiu pomieszczeń

**Dla realizatorów
nagłośnienia.**



W artykule przedstawiono podstawowe informacje dotyczące nagłaśniania dużych pomieszczeń, takich jak sale szkolne, aule, hale sportowe, itd. Przedstawione wiadomości okażą się bezcenne dla wszystkich, których okoliczności zmuszają do nagłaśniania najróżniejszych obiektów na czas

narod, zebrań i różnych imprez okolicznościowych.

Oprócz omówienia kluczowych zależności podano wskazówki pomocne przy realizacji systemów nagłośnienia.

Temat jest wprawdzie bardzo poważny, ale przedstawiony bardzo przystępnie, więc

każdy chętny może skorzystać z wielu cennych spostrzeżeń i rad.

Zagadnienie nagłaśniania dużych pomieszczeń uchodzi za bardzo trudne. Faktycznie, zaprojektowanie dobrego nagłośnienia do dużego obiektu wymaga ogromnej wiedzy

i praktycznego doświadczenia. Często jednak zachodzi pilna potrzeba nagłośnienia jakiegoś sporego obiektu przez osoby nie mające ani niezbędnej wiedzy teoretycznej, ani żadnego doświadczenia w tym zakresie. W niniejszym artykule podane są najbardziej podstawowe informacje, które pozwolą zrozumieć najistotniejsze problemy i uniknąć typowych błędów.

Podstawową sprawą jest zrozumienie specyficznych zjawisk związanych z dźwiękiem i właściwościami słuchu ludzkiego. Oto trzy kluczowe zagadnienia:

1. Jak wiadomo fala dźwiękowa odbija się od przeszkód, a przy odbiciach i podczas przejścia przez dowolny ośrodek jest częściowo pochłaniana, czyli maleje jej energia (głośność).

2. Słuch ludzki ma specyficzne właściwości. Charakterystyka czułości jest logarytmiczna, co umożliwia słyszenie dźwięków w bardzo szerokim zakresie głośności. Mechanizm słyszenia i rozpoznawania mowy jest bardzo skomplikowany. Dają przy tym znać o sobie szczególnie cechy, mało znane nieprofesjonalistom. Na przykład pojawienie się kilku jednakowych dźwięków przychodzących z różnym opóźnieniem obniża zrozumiałość mowy bądź powoduje inne niekorzystne skutki.

3. Choć rozważania teoretyczne zazwyczaj opierają się na jakichś umownych stosunkowo prostych sygnałach testowych, rzeczywiste sygnały dźwiękowe, zarówno mowa, jak i muzyka, są złożoną mieszaniną przebiegów o zmieniających się częstotliwościach, amplitudach i fazach.

Na początek warto uświadomić sobie, co się dzieje z dźwiękiem w pomieszczeniu. Na **rysunku 1a** przedstawiono układ do wytwarzania impulsowego sygnału testowego. Do głośnika doprowadzony jest sygnał zawierający pewną liczbę cykli przebiegu sinusoidal-

nego o częstotliwości akustycznej. Głośnik zamieni ten przebieg na impuls dźwiękowy trwający w czasie t_0 do t_1 . Powietrze zacznie drgać i powstanie impuls ciśnienia akustycznego jak na **rysunku 1b**. Gdyby głośnik i słuchacz znajdowali się w otwartym polu, do słuchacza po pewnym czasie Δt dotarłby ten impuls dźwiękowy - zobacz **rysunek 1c**. Czas opóźnienia Δt wyznaczony jest przez odległość głośnik - słuchacz oraz przez prędkość dźwięku w powietrzu (wynoszącą około 340m/s):

$$\Delta t = l / v$$

gdzie l - odległość, v - prędkość dźwięku.

Trzeba mieć świadomość, że ten czas opóźnienia może być stosunkowo duży. Już przy odległości rzędu 30m opóźnienie wynosi prawie 100 milisekund, czyli 0,1s, a przy odległości 10m, około 30ms, co jak się okazuje, jest wartością stosunkowo dużą. Na otwartej przestrzeni problem opóźnień zazwyczaj nie gra jednak większej roli.

W zamkniętym pomieszczeniu sytuacja wygląda zupełnie inaczej. Również tu po czasie Δt do słuchacza dociera sygnał z głośnika. Na **rysunku 1d** jest to chwila t_2 . Dlatego nieco później, w chwili t_3 do słuchacza dociera pierwszy dźwięk odbity, na przykład od bliższej ściany. Następnie w chwili t_4 pojawia się kolejny dźwięk, odbity od drugiej dalszej ściany, który miał nieco dłuższą drogę do przebycia. W chwili t_5 dociera dźwięk odbity od tylnej ściany bądź od wysoko umieszczonego sufitu. Ilustruje to **rysunek 2a**.

W zasadzie zgodnie z zasadami dodawania się fal, w zależności od fazy kolejnego nadchodzącego dźwięku, amplituda może się zwiększać lub zmniejszać. Nie wchodząc

w szczegóły, mając jedynie na uwadze, że rzeczywiste przebiegi akustyczne są skomplikowaną mieszaniną wielu różnych składowych należy przyjąć, iż sygnały te się dodają, czyli poziom ciśnienia akustycznego rośnie. Dźwięki nadal odbijają się od ścian i wszystkich przedmiotów w pomieszczeniu. Po chwili t_6 do słuchacza zaczynają docierać kolejne dźwięki, także te wielokrotnie odbite od przeszkód. Ciśnienie akustyczne rośnie aż do chwili t_7 . Gdy impuls dźwiękowy się skończy (w chwili t_1), dźwięk na obiekcie nie zaniknie ani natychmiast, ani po czasie Δt . Wskutek wielokrotnych odbić całe pomieszczenie stopniowo niejako „napelni się” dźwiękami odbitymi, opóźnionymi w stosunku do pierwotnego dźwięku z głośnika - porównaj **rysunek 2b**. Dlatego po zaniku pierwotnego impulsu, poziom ciśnienia akustycznego nie spadnie nagle, tylko będzie stopniowo malał. Po jakimś czasie, w chwili oznaczonej t_8 ciśnienie spadnie do wartości, powiedzmy o 60dB mniejszej od ciśnienia maksymalnego p_{max} .

Taka sytuacja wystąpi, ponieważ jak wiadomo, głośniki promieniują dźwięk nie tylko w jednym kierunku, ale w dość szerokim kącie. Nie jest w tej chwili istotne, że kąt promieniowania jest tym większy, im mniejsza jest częstotliwość. W każdym razie głośnik promieniuje (węższą czy szerszą) wiązkę fal dźwiękowych, która odbija się od wszystkich twardych i gładkich przedmiotów jak światło od lustra.

Ponieważ te odbicia następują wielokrotnie, pogłos napelnia salę równomiernie. Zaznaczono to obrazowo na **rysunku 2c**, zawierającym wykres ciśnienia oraz szkicowy przekrój sali.

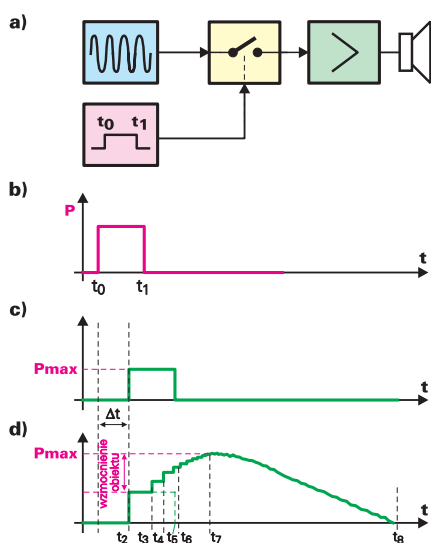
Wróćmy jednak do rysunku 1d. Ilustruje on kilka bardzo ważnych parametrów pomieszczenia. Nietrudno się domyślić, że czasy t_3 , t_4 i t_5 są wyznaczone przez wymiary geometryczne obiektu i zależą od umiejscowienia słuchacza.

Maksymalne ciśnienie akustyczne w sali (na rys. 1d oznaczone p_{max}) jest większe niż na otwartym powietrzu - porównaj rysunki 1c i 1d. Wzrost ciśnienia można wyrazić w decybelach - jest to tak zwane **WZMOCNIENIE OBIEKTU**. Wzmocnienie to wynika z odbić. Czym większe odbicia, tym większe wzmocnienie, ale nie ma się z czego cieszyć - jak się za chwilę okaże, wzmocnienie to jest szkodliwe.

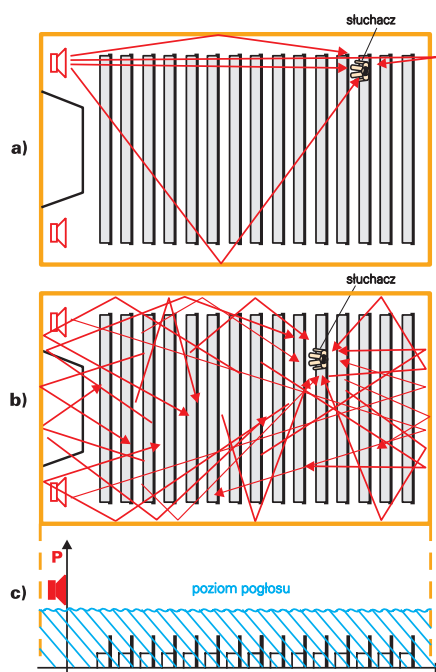
Z rysunku 1d można też określić kolejny bardzo ważny parametr pomieszczenia, mianowicie **CZAS POGŁOSU**. Jest to czas, w którym ciśnienie dźwięku spadnie o 60dB od maksymalnej wartości. Przyjęto umownie spadek aż o 60dB ze względu na logarytmiczną charakterystykę czułości ucha ludzkiego, ale to już inna sprawa.

Dokładna analiza rysunku 1d wskazuje na możliwość budowy **bomby akustycznej**. Opis budowy bomby akustycznej przedstawiony jest w ramce.

Rys. 1



Rys. 2



Jak zrobić bombę akustyczną?

Aby wykonać bombę akustyczną, należy zbudować komorę (pomieszczenie) o dowolnym kształcie i wymiarach liniowych minimum 1m, której wewnętrzne ściany odbijałyby dźwięk w 100 procentach. W ścianę takiej komory wbudować głośnik o dowolnej mocy, dołączyć głośnik do wzmacniacza i stopniowo „napompować” komorę energią akustyczną (porównaj rysunek 2b). Ponieważ ściany komory idealnie odbijają dźwięk, więc dostarczona energia nie ginie, tylko stopniowo gromadzi się w postaci (coraz większych) drgań powietrza. Gdy drgania powietrza staną się wystarczająco duże i silne, komora eksploduje.

Na identycznej zasadzie można podjąć próbę budowy akumulatora akustycznego, gromadzącego energię w postaci fal dźwiękowych.

Oczywiście budowa opisanej bomby jest możliwa tylko w teorii. Tak samo mało realna byłaby budowa „akumulatora akustycznego”, choćby dlatego, że nie można zbudować powierzchni, która idealnie, w stu procentach odbijałaby dźwięk. Zawsze część energii dźwięku odbija się od przeszkód, a część jest tłumiona, czyli zamienia się na ciepło. Tak samo jest przy przechodzeniu dźwięku przez dowolny ośrodek (powietrze, cegłę, metal, szkło) - część energii dźwięku zamienia się na ciepło. Tym samym nie da się „wpompować” do komory i zmagazynować przez długi czas dowolnych ilości energii. Po włączeniu głośnika poziom ciśnienia dźwięku nie będzie rósł w nieskończoność, tylko ustabilizuje się na jakimś poziomie, zależnym od właściwości głośnika i od strat występujących podczas odbić. Po wyłączeniu głośnika, poziom dźwięku będzie malał, tym szybciej, im większe są straty energii przy odbijaniu.

Wróćmy teraz do głównego wątku. **Rysunek 3** pokazuje, jak zmienia się ciśnienie dźwięku (i subiektywnie odczuwana głośność) w audytorium na otwartej przestrzeni w zależności od odległości słuchacza od głośnika. Na początek można przyjąć, że ciśnienie dźwięku zmniejsza się o 6dB przy podwojeniu odległości od głośnika. Zależność ta nie budzi wątpliwości - ze zwiększaniem odległości od głośnika ciśnienie (i głośność) zmniejsza się. Na rysunku 3 pokazuje to linia czerwona.

W otwartej przestrzeni zazwyczaj występują jednak jakieś szumy tła, na przykład szum wiatru w gałęziach drzew, szum prze-

jeżdżających pojazdów, głosy ptaków i ludzi. W uproszczeniu można śmiało przyjąć, że dla danego audytorium poziom szumów tła jest stały i praktycznie nie zależy od odległości od głośnika. Przecież nie pochodzą one z głośnika, tylko z wielu różnych dalekich źródeł. Na rysunku 3 szumy tła, jednakowe na całej powierzchni audytorium, zaznaczono kolorem fioletowym. Nie ulega wątpliwości, że dobrą słyszalność będą mieć słuchacze w obszarze, gdzie dźwięk z głośnika jest silniejszy od szumów tła co najmniej o kilka decybeli. Zadziwiające właściwości ucha ludzkiego powodują, że nawet w obszarze, gdzie dźwięk z głośnika jest o kilka decybeli

słabszy od szumów tła, jeszcze można zrozumieć treść przekazu słownego, jednak słuchacze muszą wyłączać uwagę i szybko się męczyć.

Rysunek 4 pokazuje, podobną zależność dla pomieszczenia zamkniętego. W tym wypadku ze względu na izolacyjne działanie ścian, szumy tła (zaznaczone fioletowo) są znacznie mniejsze. Niemniej jednak w czasie działania głośnika pomieszczenie (komora) wypełnia się dźwiękiem wielokrotnie odbitym (kolor niebieski).

Ten opóźniony, wielokrotnie odbity dźwięk nie pomaga, tylko przeszkadza. Ucho ludzkie rozróżnia dwa identyczne dźwięki jeśli przychodzą w odstępie większym niż około 0,1s - jest to zjawisko echa. Jeśli natomiast czas między nimi jest mniejszy, dźwięki te niejako zlewają się w jeden i to z różnymi niekorzystnymi konsekwencjami - mówimy wtedy o zjawisku pogłosu. Mówiąc opisowo, te opóźnione dźwięki „rozmywają” obraz dźwiękowy, a praktycznie - zmniejszają zrozumiałość przekazu słownego. Ścisłej biorąc, pewien niewielki pogłos jest nawet pożądany, bez niego dźwięk brzmi dziwnie i mógłby męczyć słuchaczy, ale to zupełnie inna sprawa.

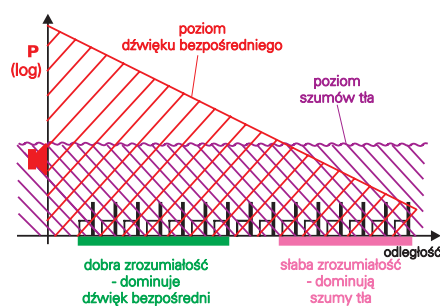
W tej chwili istotne jest jednak, że w praktyce pogłos jest zawsze zbyt duży, a ta mieszanina dźwięków wielokrotnie odbitych, w różnym stopniu opóźnionych, to nic innego jak bełkot i dudnienie zmniejszające zrozumiałość mowy. Czym słabsze wytłumienie, czyli czym więcej w sali przedmiotów twardych i gładkich, tym większy pogłos i gorsza zrozumiałość. Co istotne, ponieważ są to wielokrotne odbicia, wytworzone **ciśnienie pogłosu będzie jednakowe w całym obiekcie** - porównaj rysunek 2c. Tymczasem **ciśnienie bezpośredniego dźwięku z głośnika nie jest jednakowe w całym obiekcie**. Również i tutaj blisko głośnika, w tak zwanym polu dźwięku bezpośredniego, zrozumiałość jest dobra. Jednak wszędzie tam, gdzie poziom pogłosu jest większy niż dźwięku bezpośredniego (w tak zwanym polu pogłosu), zrozumiałość jest zdecydowanie zła.

Rysunek 5 zwiera analogiczne charakterystyki dwóch pomieszczeń o jednakowej wielkości, z zainstalowanymi takimi samymi głośnikami, ale o zdecydowanie różnym stopniu wytłumienia.

Rysunki 4 i 5 pozwalają zrozumieć bardzo ważne zależności praktyczne. Chodzi przede wszystkim o **zrozumiałość mowy**. Pogłos i echo są zdecydowanie szkodliwe - zmniejszają zrozumiałość.

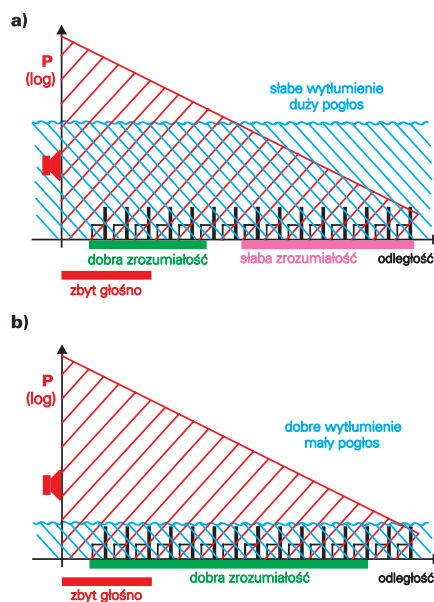
W przypadku muzyki sytuacja jest zupełnie inna. Tu opóźnione odbicia mogą wzbogacać dźwięk, o czym nietrudno się przekonać podczas koncertu organowego odbywającego się w (niemal pustej, bardzo słabo wytłumionej) katedrze. Koncert organowy

Rys. 3



Rys. 4

Rys. 5



w tym wnętrzu zachwyca, natomiast ze względu na ogromny pogłos, bardzo trudno jest w sposób zrozumiały przekazać mowę.

Problem pogłosu

Na problem pogłosu „nadziewają się” niedoświadczeni, nieświadomi amatorzy. Dysponując jakimś mikserem, stuwatomym wzmacniaczem i dwiema potężnymi kolumnami próbują nagłośnić dużą salę gimnastyczną czy aulę. Jeśli przez taką instalację przekazywany jest program słowny, jakość nagłośnienia najczęściej jest katastrofalna. W pobliżu kolumn jest zdecydowanie za głośno, natomiast w miejscach bardziej oddległych głośność jest wprawdzie wystarczająca, jednak słychać tylko niezrozumiały bełkot. Sytuacja jest paradoksalna - głośność mierzona przyrządem jest dobra na prawie całej powierzchni obiektu, jednak zrozumiałość jest fatalna. Charakterystyka takiego obiektu jest podobna do tej na rysunku 5a.

Zwiększenie głośności, mające na celu zwiększenie głośności dźwięku bezpośredniego absolutnie nic nie daje, ponieważ jednocześnie zwiększa się pogłos. Moc wzmacniacza nie ma tu zresztą nic do rzeczy - do nagłośnienia programem słownym dużej sali gimnastycznej wystarczy wzmacniacz o mocy 5...10W.

Jest wiele dróg poprawy sytuacji. Doraźnym, mało skutecznym sposobem jest korekcja charakterystyki częstotliwościowej. Ponieważ **współczynnik pochłaniania dźwięku poszczególnych materiałów silnie zależy od częstotliwości** i zwykle jest znacznie gorszy przy niskich częstotliwościach, zazwyczaj **OBCIĘCIE NISKICH CZĘSTOTLIWOŚCI ZAUWAŻALNIE POPRAWIA SYTUACJĘ**, likwidując nieprzyjemne dudnienie.

Jednak przede wszystkim na ile to możliwe, **NALEŻY WYTLUMIĆ OBIEKT**, wprowadzając materiały pochłaniające dźwięk (wykładzina dywanowa, grube zasłony, kotary, itp.). To jest zdecydowanie najlepszy sposób poprawy jakości dźwięku. Przykładową charakterystykę po wytlumieniu pokazuje rysunek 5b - przy takiej samej głośności dźwięku bezpośredniego pogłos zmniejszył się i więcej słuchaczy znalazło się w obszarze dobrej zrozumiałości.

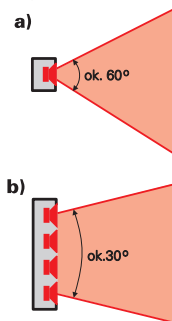
W przypadku większych sal wytlumienie nie rozwiązuje wszystkich trudności, ponieważ różnica poziomów głośności między pierwszymi a ostatnimi rzędami jest nadal zbyt duża. W pobliżu głośnika(-ów) głośność jest za duża. To problem znany wszystkim elektroakustykom. Co zrobić?

Aby zmniejszyć różnicę głośności między pierwszymi a ostatnimi rzędami, w instalacjach nagłośnieniowych stosuje się zupełnie inne kolumny niż w domowych instalacjach stereo. Kolumny przeznaczone do nagłośnienia mają z reguły **kilka jednakowych głośników umieszczonych jeden nad drugim**,

i właśnie dzięki temu kąt promieniowania dźwięku w płaszczyźnie pionowej zdecydowanie się zmniejsza i co bardzo ważne - **spadek ciśnienia w funkcji odległości jest mniejszy niż wcześniej wspomniano**. Charakterystyki zestawów z jednym i kilkoma głośnikami są pokazane na **rysunku 6**. Zwiększenie liczby głośników i umieszczenie ich jeden nad drugim nie ma nic wspólnego ze zwiększaniem mocy, tylko właśnie ze zmniejszeniem kąta promieniowania. Taka i tylko taka konstrukcja jest w pełni godna nazwy **KOLUMNY** - dla ścisłości nie należałoby nazywać kolumnami domowych (audiofilskich) **ZESTAWÓW GŁOŚNIKOWYCH**. Przebieg zmian ciśnienia akustycznego po zastosowaniu kolumn o wąskim kącie promieniowania jest pokazany na **rysunku 7**.

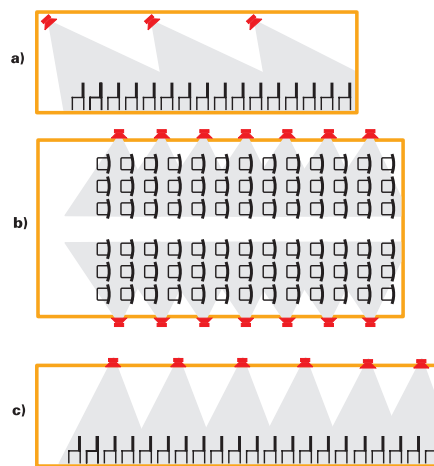
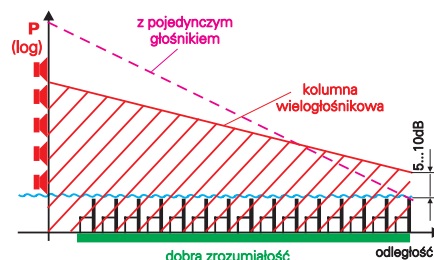
W ten sposób dopiero złożenie trzech kroków:

- wytlumienie pomieszczenia,
- zastosowanie odpowiednich kolumn i
- skierowanie ich dokładnie na słuchaczy (a nie na ściany pomieszczenia) zapewni pożądany efekt. Niestety, jak wspomniano, nie zawsze jest to możliwe. Nie zawsze można wy-



Rys. 6

Rys. 7

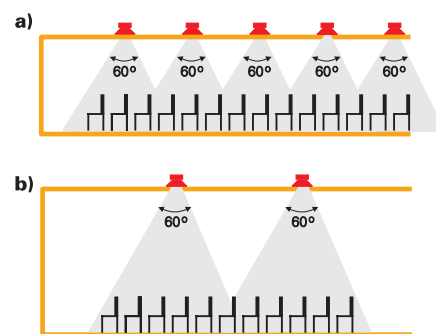


Rys. 8

tlumić pomieszczenie, przykładowo wspomnianą salę gimnastyczną, rzadko do dyspozycji stoją prawdziwe kolumny. Dlatego trzeba szukać innych środków.

Dość skutecznym, względnie prostym i tanim rozwiązaniem jest też zwiększenie liczby kolumn (głośników) i takie ich rozmieszczenie, **by każdy słuchacz znalazł się w zasięgu dźwięku bezpośredniego**. Przykłady pokazuje **rysunek 8**. Sposób z rysunku 8a może okazać się ryzykowny na dużych, wysokich salach. (na małych do 100m² nie jest problemem), bo znaczna różnica czasu w docieraniu dźwięku z sąsiednich głośników również zmniejszy zrozumiałość. Ważne jest odpowiednie ustawienie głośników, by w miarę możliwości do słuchaczy nie docierały bezpośrednie dźwięki z dwóch głośników różnie oddalonych. Dlatego w długiej wąskiej sali lepiej umieścić głośniki z jednej lub obu stron - rysunek 8b. Zawsze bezpieczne jest nagłośnienie sufitowe wg rysunku 8c - kilka czy kilkanaście głośników pracujących z bardzo małą mocą.

Uwaga! O ilości głośników nie decyduje moc. Można stosować głośniki o niewielkiej mocy. Celem jest zapewnienie jak największej równomierności. W zasadzie do prawidłowego rozmieszczenia głośników niezbędna byłaby znajomość ich charakterystyk promieniowania, co wcale nie jest takie proste, bo kąt promieniowania zależy od typu głośnika i zmniejsza się z częstotliwością. Przeciwny akustyk - amator nie musi się w to wgłębiać. Do wstępnych planów może przyjmując kąt promieniowania głośnika umieszczonego na suficie równy 60 stopni.



Rys. 9

Przykładowo w popularnym systemie nagłośnienia sufitowego czym niższa sala, tym głośników powinno być więcej, by każdy słuchacz znalazł się w zasięgu dźwięku bezpośredniego - ilustruje to **rysunek 9**. W rzeczywistości przy planowaniu rozmieszczenia głośników należałoby zrobić dwa rysunki: przekrój i rzut z góry i tak zaplanować ich rozmieszczenie, by 60-stopniowe stożki przecinały się na poziomie uszu słuchaczy (około 1,1m nad podłogą). Sposób taki jest wypróbowany i daje znakomite rezultaty.

Przy nagłośnieniu sufitowym występuje korzystna sytuacja, jeśli chodzi o odbicia i pogłos. Dźwięk z głośników trafia nie w gołe ściany, od których mógłby się odbijać, tylko wprost w audytorium (słuchaczy, krzesła), które na pewno zapewni lepsze wytlumienie niż goła ściana.

Podane właśnie podstawowe informacje przeznaczone są dla osób, które okazjonalnie mają do czynienia z nagłaśnianiem pomieszczeń. Absolutnie nie wyczerpują one tematu. Wprost przeciwnie - jest to tylko drobny ułamek wiedzy, jaką muszą posiadać profesjonalści projektujący systemy nagłośnienia do istniejących i nowo budowanych obiektów.

Sekrety kuchni

Zaprojektowanie systemu nagłośnienia dla istniejącego obiektu jest odpowiedzialnym i trudnym zadaniem. Bodaj jeszcze trudniejsze jest zaprojektowanie systemu nagłośnienia od podstaw, jeszcze przed wybudowaniem obiektu. Należy wtedy przeprowadzić skomplikowane obliczenia i symulacje. Oczywiście najpierw trzeba mieć jasne pojęcie o celu - inna ma być akustyka dużej sali wykładowej czy auli, gdzie jedynie przekazywane będą programy słowne, a inna wymagana jest na sali koncertowej. Ogromnym problemem jest uzyskanie jednakowej jakości (nie tylko głośności) dźwięku na całym obiekcie, zwłaszcza, gdy występują tam balkony, loggie, itp. W praktyce nie jest to możliwe i w niektórych miejscach audytorium jakoś dźwięku jest gorsza. Planując liczbę, rodzaj i rozmieszczenie głośników (kolumn) należy uwzględnić wiele istotnych czynni-

ków. Przede wszystkim niezbędna jest znajomość właściwości akustycznych materiałów ścian, podłogi, sufitu, wyposażenia, siedzeń, słuchaczy, itp. Należy więc ustalić z architektem planowane materiały ścian sufitu, podłogi, wykończenia itd. Najważniejszym parametrem określającym właściwości materiałów pod względem akustycznym określa **WSPÓLCZYNNIK POCHŁANIANIA** (absorpcji). Dla materiału idealnie odbijającego byłby on równy zeru, dla idealnie pochłaniającego - równy 1. Ogólnie biorąc powierzchnie twarde, gładkie mają mały współczynnik absorpcji, przykładowo dla otynkowanej ściany z cegły wynosi on około 0,02. Natomiast dla grubej warstwy waty szklanej około 0,8. W pierwszym przypadku przy odbiciu tylko 2% energii dźwięku jest pochłaniane, czyli zamienia się na ciepło, w drugim aż 80%. Reszta dźwięku się odbija i powoduje powstanie pogłosu. Ogólnie biorąc, zazwyczaj dąży się do uzyskania jak najkrótszego czasu pogłosu, co oznacza możliwie dobre wytlumienie obiektu.

Obecnie do symulacji warunków akustycznych wykorzystuje się lepsze i gorsze (droższe i tańsze) programy komputerowe. Przy takich symulacjach należy także uwzględnić obecność słuchaczy, ponieważ właściwości obiektu zauważalnie poprawiają się przy pełnym audytorium. W podręcznikach akustyki można znaleźć obszernie tabele ze współczynnikami absorpcji nie tylko materiałów, ale i audytorium. I tak jedno ze źródeł podaje dla częstotliwości 1kHz wartość 0,46 dla osoby dorosłej, 0,42 dla ucznia szkoły średniej i studenta, a 0,32 dla ucznia szkoły podstawowej. Nie jest jednak pewne,

czy przy dokładnych symulacjach uwzględnia się obecność łysych. Nie ulega wątpliwości, że dźwięk lepiej odbija się od świecącej łysiny, niż od głowy owłosionej. O ile obecność łysych pogarsza właściwości systemu, o tyle obecność brodaczy - polepsza. Redakcja nie dysponuje informacją, jaki jest współczynnik absorpcji łysego, brodatego studenta.

Mówiąc poważnie, przy takich symulacjach chodzi o jak najdokładniejsze określenie właściwości obiektu, w przeciwnym wypadku wyniki symulacji będą zupełnie różniąc się z rzeczywistością. I właśnie dokładne określenie *wszystkich* potrzebnych parametrów jest największym problemem zarówno przy próbach symulacji, jak i przy obliczeniach „na piechotę”. Przez długie lata uzyskanie dobrej akustyki (i systemu nagłośnienia) było bardziej kwestią doświadczenia i intuicji niż obliczeń. Dziś dużą pomocą są programy komputerowe, jednak ze względu na złożoność zagadnienia nadal są one tylko pomocą, a nie gwarancją uzyskania optymalnych warunków. Sam program to za mało. Dlatego do projektowania zarówno samych sal koncertowych, jak i ich systemów nagłośnienia, wciąż wynajmowani są elektroakustycy, którzy mają nie tylko wiedzę teoretyczną, ale przede wszystkim zdobyli doświadczenie przez długoletnią praktykę. Przedstawiony artykuł zasygnalizował jedynie niektóre problemy związane z nagłaśnianiem - ich wyczerpujące omówienie wykracza zdecydowanie poza ramy tego artykułu.