

Czucie i wiara silniej mówi do mnie niż mędrca szkiełko i oko.

Rozpoczęty w sierpniowym EP kurs audio wzbudził wielkie zainteresowanie i zebrał mnóstwo pochwał od Czytelników. Oto trzecia i przedostatnia część tego kursu. Dotyczy parametrów. A właściwie dotyczy fundamentalnego sporu: czy oceniać sprzęt na podstawie obiektywnego pomiaru parametrów, czy też zadowolić się subiektywną oceną „na słuch”? Przypomina to wielki, dziejowy spór romantyzmu z oświeceniem – czucie i wiara czy szkiełko i oko?

Parametry

technika i kuglarstwo

czyli kupowanie wzmacniaczy „na wagę”

Nie ulega wątpliwości, że sprzęt audio może być lepszy lub gorszy. Tylko jak to jednoznacznie określić?

Problem jest aktualny mniej więcej od stu lat. Mimo upływu czasu i gwałtownego rozwoju techniki, nadal nie ma krótkiej odpowiedzi na postawione pytanie. Odpowiedź: *zmierzyć parametry*, przynajmniej z dwóch powodów okazuje się zbyt uproszczona. Po pierwsze: jakie parametry mierzyć, jak, i w jakich warunkach? Dalej pokażemy, że obiektywne mierzone parametry techniczne nie zawsze mogą zbliżyć do odpowiedzi na pytanie o jakość sprzętu, a tym bardziej o jakość dźwięku. Nie ma też wątpliwości, że bardzo ważna jest subiektywna ocena zarówno sprzętu, jak i wytwarzanego przezeń dźwięku – zagadnienie to było omówione w poprzednim artykule. Po drugie, w grę wchodzi właściwości ludzkiego zmysłu słuchu, a można nawet powiedzieć właściwości umysłu ludzkiego. Problem percepcji dźwięku jest bardzo skomplikowany i ma duży wpływ na ocenę dźwięku.

Tu należy wspomnieć o dwóch skrajnych grupach. Jedni twierdzą, iż w ogóle nie można określić jakości sprzętu i dźwięku za pomocą parametrów technicznych. Niektórzy uściślają takie twierdzenie: ponieważ w grę wchodzi bardzo subtelne i trudne do uchwycenia czynniki, jakości sprzętu audio nie da się określić za pomocą *obecnie wykorzystywanych* parametrów. Tacy twierdzą, że stosowane dziś sposoby pomiarów nadal

są prymitywne, więc tak uzyskane elementarne parametry nie mogą być podstawą do określenia jakości i wierności dźwięku. Twierdząc, że chodzi o proste pomiary ilościowe, a nie jakościowe sugerują, iż mierzone dziś parametry nie reprezentują wszystkich istotnych aspektów związanych z jakością dźwięku.

Z drugiej strony osoby „o orientacji technicznej” twierdzą, lub przynajmniej „czują przez skórę”, że muszą istnieć techniczne sposoby określenia jakości sprzętu audio. Twierdzą też, że zaawansowana technika XXI wieku pozwala poddać analizie wszystkie szczegóły związane z parametrami sprzętu audio, a nawet wytwarzanego przezeń dźwięku.

Tylko na pozór istnieje nieprzebrana przepaść między takimi skrajnymi opiniami. Otóż w obydwu jest wiele prawdy. Problem w tym, o czym tak naprawdę rozmawiamy?

Mapa zainteresowań

Wiadomo, że domowy system audio składa się z kilku ogniw: odtwarzacza, ewentualnie przedwzmacniacza/korektora, wzmacniacza mocy, głośników/kolumn i kabli połączeniowych. Ale nie tylko! Na ostateczny efekt, duży, a nawet ogromny wpływ mają właściwości pomieszczenia oraz specyficzne cechy naszego zmysłu słuchu.

Tymczasem paradoksalnie, ogromnie dużo uwagi poświęca się najprostszemu składnikowi systemu: kablom i klasycznym wzmacniaczom mocy.

Fot. 1 pokazuje „kierunkowe” kable głośnikowe Velum LS-G, których dwa odcinki po 2,4 m kosztują kilkanaście tysięcy złotych. Tymczasem ani kable, ani wzmacniacz mocy, wcale nie mają największego wpływu na ostateczną jakość dźwięku. Okazuje się, że czym bardziej nowoczesne jest urządzenie elektroniczne lub czym bardziej złożone są jego właściwości i zasady działania, tym mniej uwagi poświęca się parametrom takiego urządzenia. A już sprawa akustyki pomieszczenia i właściwości zmysłu słuchu dla wielu pseudoaudiofilów są zagadnieniami zupełnie obcymi.

Z punktu widzenia trzeźwego obserwatora, takie podejście można uznać za całkowicie bezsensowne. Logika podpowiada, że najwięcej uwagi należałoby poświęcić tym ogniom łańcucha audio, które mają największy wpływ na końcowy efekt. Spośród urządzeń technicznych, **najbardziej wnikliwie wypadałoby zająć się właściwościami oraz parametrami głośników i kolumn**, które bezapelacyjnie mają największy wpływ. **Fot. 2** pokazuje kolumnę o wielkości porównywalnej z budką telefoniczną. Dużo uwagi należałoby też poświęcić współczesnym odtwarzaczom, tym bardziej, że dziś powszechnie wykorzystywana jest kompresja stratna,



Fot. 1.

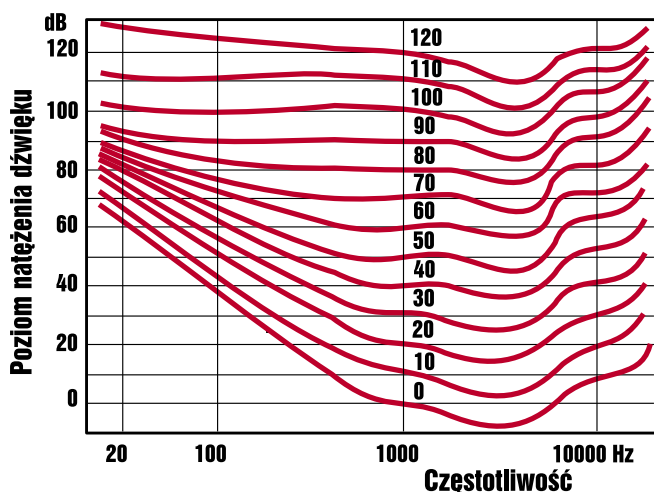


Fot. 2.

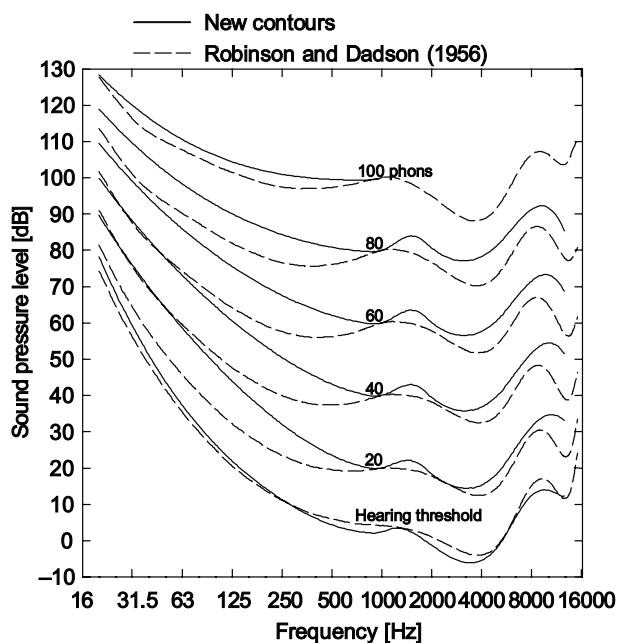
przynosząca problemy, jakich nie było wcześniej. Oczywiście należałoby też zająć się właściwościami akustycznymi pomieszczenia odsłuchowego oraz specyfiką zmysłu słuchu.

Ale tak nie jest – wbrew wszelkiej logice najwięcej uwagi poświęca się najbardziej prymitywnym składnikom systemu audio: parametrom wzmacniaczy mocy oraz enigmatycznym, rzekomo niemierzalnym właściwościom kabli. Dwa poprzednie artykuły, zamieszczone w EP 8

i 9/2008, pokazały część przyczyn takiego stanu rzeczy, natomiast w tym weźmiemy kolejno pod lupę właściwości, parametry i specyfikę wszystkich ogniw systemu audio. Wróćmy więc do postawionych wcześniej pytań: o czym tak naprawdę rozmawiamy? Czy o możliwości liczbowego, matematycznego, technicznego określenia parametrów sprzętu? Czy raczej o całościowej ocenie sprzętu i dźwięku, uwzględniającej także czynniki subiektywne?



Rys. 3.



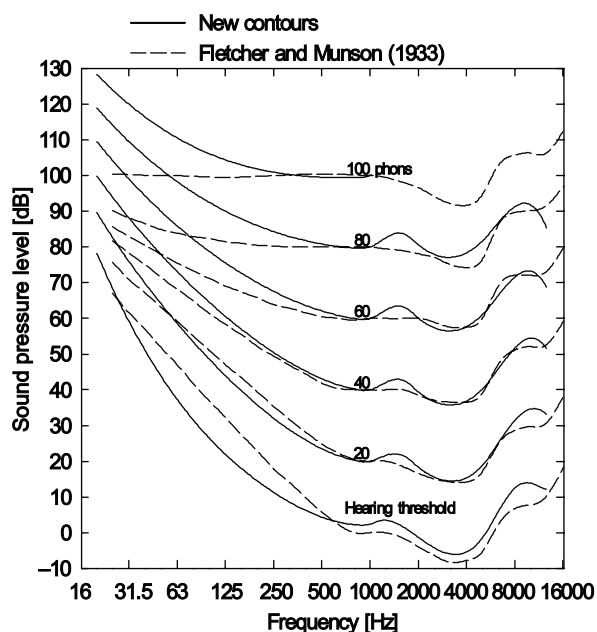
Rys. 4.

Czynniki subiektywne i rozrzut

Jeśli gotowi jesteśmy uwzględnić czynniki subiektywne, to prawda leży gdzieś pośrodku. Otóż dzisiejsza rozwinięta technika rzeczywiście pozwala precyzyjnie analizować najróżniejsze parametry sprzętu, a także dźwięku i to z uwzględnieniem szeregu właściwości psychoakustycznych. Szeregu, ale nie wszystkich. Nie sposób na przykład uwzględnić różnic między poszczególnymi ludźmi oraz „rozrztu” upodobań estetycznych, preferencji, sugestii, przyzwyczajzeń, sympatii i antypatii.

Ponadto, w niektórych kwestiach dotyczących pomiarów audio mówi się o przeciętnych, uśrednionych właściwościach. A jeśli mowa o wartościach przeciętnych, warto przytoczyć znany przykład o delikwencie, który ma głowę w zamrażalniku lodówki, a nogi w rozgrzanym piekarniku. Przeciętna temperatura jego ciała jest... optymalna.

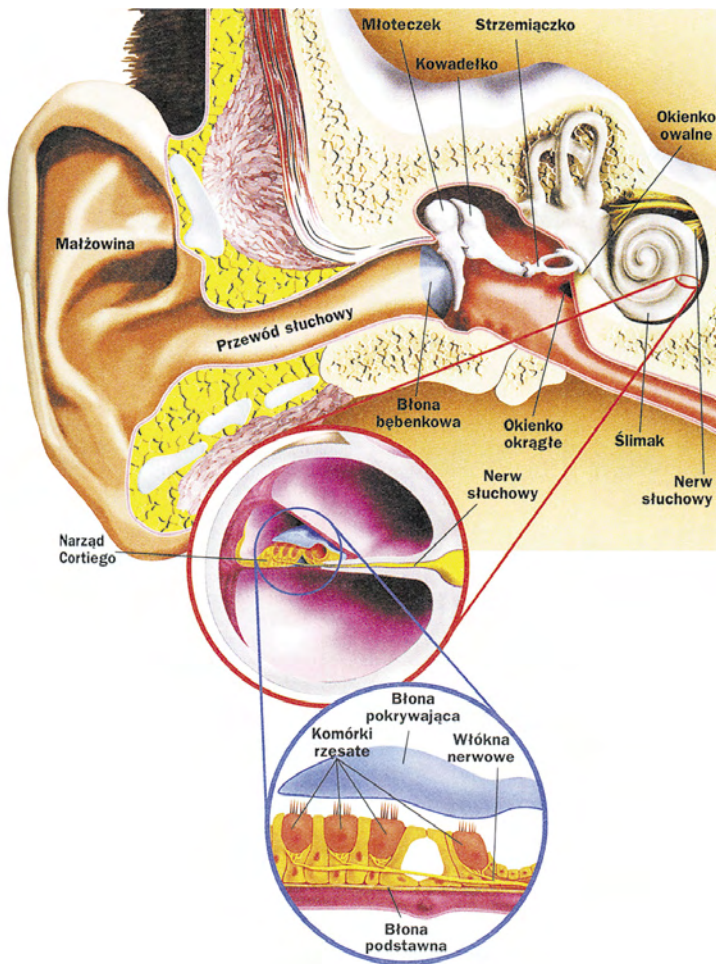
Oparcie się na wartościach średnich pomija skrajne przypadki, a te także mogą się okazać istotne, zwłaszcza w przypadku opinii o systemach audio, ponieważ oprócz elektroniki i głośników, w grę wchodzi też właściwość słuchu ludzkiego. A tu trzeba się liczyć z dużymi odchyleniami od wartości średnich. Pomińmy taki temat jak słuch muzyczny. Rozważmy inny, dość prosty przykład, mianowicie często wykorzystywane w praktyce *krzywe jednakowej głośności*. Tylko na pozór wszystko jest jasne. Do dziś w podręcznikach spotyka się opublikowane w roku 1933 krzywe jednakowej głośności według Fletchera-Munsona (rys. 3), wyznaczone w badaniach z wykorzystaniem słuchawek odtwarzających pojedyncze, czyste tony. Osoby poddawane testom określały głośność poszczególnych tonów względem tonu odniesienia 1000 Hz. Później Churchar i King w roku 1937 przedstawili wyniki własnych, niezbyt udanych eksperymentów. Następnie w roku 1956 Robinson i Dadson przedstawili wyniki badań, które zostały uznane za bardziej dokładne i stały się podstawą międzynarodowego standardu ISO226. Z czasem zestawienie wyników szerokich badań z różnych ośrodków uniwersyteckich doprowadziło do rewizji standardu (ISO226:2003) i pokazało, że krzywe Robinsona-Dadsona są nieprawidłowe, i że w praktyce znacznie lepsze okazują się stare krzywe Fletchera-Munsona, a konkretnie często wykorzystywana w praktyce przy pomiarze szumów tak zwana krzywa A, odpowiadająca głośności 40 dB. Rys. 4 pokazuje porównanie krzywych Robinsona-Dadsona i Fletchera-Munsona (linie przerywane) z nowym standardem (linie ciągłe). Krzywe Robinsona-Dadsona przy ważnych w praktyce niskich poziomach, różnią się od nowego standardu nawet o 10...15 dB. Nie ma pełnej jasności, dlaczego wyniki wcześniejszych badań okazały się tak rozbieżne. Jedną z przyczyn na pewno była metodologia pomiarów. Wcześniejsze pomiary były dokonywane z użyciem słuchawek odtwarzających czyste tony sinu-



soidalne, a więc w warunkach zupełnie sztucznych, przy sygnale docierającym z dwóch stron, a nie z jednego kierunku, z przodu. W późniejszych, znacznie dokładniejszych badaniach wykorzystywano także głośniki i komory bezchowe; stosowano też różnorodne sygnały, nie tylko pojedyncze tony sinusoidalne. I takie dokładniejsze badania pokazały między innymi, iż ludzki zmysł słuchu nieco inaczej reaguje na pojedyncze czyste tony, a inaczej na szerokopasmowy szum. Warto wspomnieć o tych szczegółach, ponieważ przy pomiarach parametrów szumowych wykorzystuje się krzywe ważące – filtry mające symulować właściwości ludzkiego zmysłu słuchu. Do tego wątku jeszcze powrócimy.

Co istotne, podczas wcześniejszych eksperymentów nie utrwalono dokładnych informacji o wieku osób badanych, ich płci, rasie, a to też mogło mieć istotne znaczenie. Na przykład wiadomo, że działanie ludzkiego zmysłu słuchu jest bardzo skomplikowane (rys. 5) i nie do końca poznane. Wiadomo, że z wiekiem słuch staje się gorszy. Starsi mężczyźni przede wszystkim tracą słuch w zakresie wyższych częstotliwości, a często tony niskie słyszą dobrze. U starszych kobiet jest z grubsza biorąc, odwrotnie. Ponadto, oczywiście występują duże różnice między poszczególnymi osobami. Omówiony przykład pokazuje, że przyjęte przeciętne, uśrednione wartości mogą bardzo daleko odbiegać od własności słuchu konkretnej osoby, a to może przekładać się na opinię tej osoby o jakości dźwięku.

Powyższe informacje potwierdzają pogląd, że dotychczasowe, a już na pewno wcześniejsze metody pomiarowe, są niedoskonałe i nie uwzględniają w pełni właściwości słuchu ludzkiego. To fakt, jednak nie można z tego wyciągać zbyt daleko idących wniosków. Osoby całkowicie negujące potrzebę i znaczenie pomiarów technicznych powołują się na takie przykłady, często zupełnie nie rozumiejąc wchodzących tu w grę licznych szczegółów; nie znając zagadnienia nie proponują też żadnych pomiarów czy rozwiązań alternatywnych. Omówiony przykład absolutnie nie jest dowodem, że pomiary techniczne się niemiernodajne i niepotrzebne. Nie



Rys. 5.



Rys. 6.

neguje sensu pomiarów technicznych, a jedynie wskazuje, iż liczbowe wyniki, zależnie od sposobu pomiaru, mogą być obciążone niewielkimi w sumie błędami, czy raczej powtarzalnymi odchyłkami. A odchyłka nawet o kilka decybeli nie jest istotnym problemem.

Owszem, jeśli za podstawowy cel uznamy zadowolenie właściciela czy użytkownika, wszelkie parametry techniczne tracą znaczenie, a kluczowymi właściwościami okażą się: cena, opinia innych, a najbardziej prawdopodobnie wygląd zewnętrzny – patrz pokazany na fot. 6 przykład wzmacniaczy PMA (Pyramide Mono Amplifier) słynnej szwajcarskiej firmy Nagra, kosztujących kilkadziesiąt tysięcy złotych. Nie ma jednak wątpliwości, że parametry techniczne i ich pomiary były i są jak najbardziej pożyteczne. Jeśli tak, to niezbędne są jakieś punkty oparcia, normy, pozwalające przeprowadzać powtarzalne porównania i pomiary, nawet gdyby były w jakimś sensie niepełne. I słusznie, że takie normy są oparte na uśrednionych wynikach licznych gruntownych, różnorodnych testów. Wyniki pomiarów są na przykład niezbędne dla dźwiękowców w studiach radiowych czy nagraniowych, żeby mogli obiektywnie sprawdzić, czy ich sprzęt się nie zestarzał i czy „trzyma parametry”. Parametry techniczne pozwalają też sprawdzić, czy producenci nie oszukują i czy ich sprzęt ma deklarowane właściwości. Parametry techniczne interesują też wielu melomanów, choćby po to, żeby sprawdzić związek między wrażeniami z prób odsłuchowych, a parametrami technicznymi. Istnieje wystarczająco dużo powodów, żeby poszerzyć wiedzę i zająć się powtarzalnymi, technicznymi aspektami i sposobami pomiaru parametrów sprzętu audio. Przy okazji warto zająć się też związanymi z tym niejasnościami i nadużyciami. Zanim jednak kolejno omówimy parametry techniczne poszczególnych urządzeń audio, trzeba zająć się czymś bardziej podstawowym: pomiarami dźwięku oraz związanymi z tym ograniczeniami i problemami.

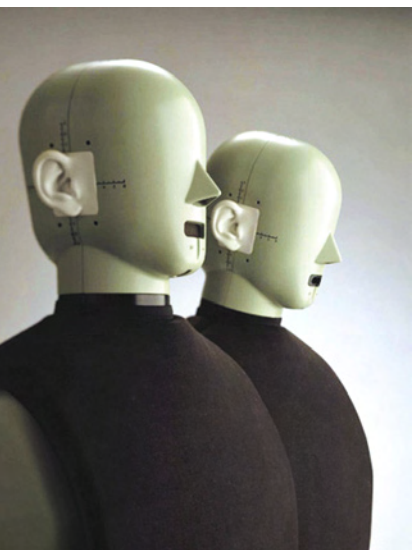
Sztuczne ucho?

Wydawałoby się, że najbardziej sensownym i obiektywnym sposobem określania właściwości sprzętu audio, będą wyniki pomiarów wytwarzanego dźwięku, dokonywane z użyciem mikrofonów referencyjnych wysokiej jakości. Może i Ty Czytelniku widzisz sens wykorzystania jakiegoś „standardowego sztucznego ucha”, które pozwoliłoby w powtarzalny sposób zmierzyć „efekt finalny”, czyli parametry wytworzonego dźwięku w docelowych warunkach, gdzie sprzęt pracuje na stałe.

Owszem, w przypadku profesjonalnych systemów nagłośnienia oraz w innych zastosowaniach dokonuje się tego rodzaju pomiarów, a ich wyniki są cenne i jak najbardziej użyteczne w praktyce. Jednak tak napraw-



Fot. 7.



Fot. 8.



Fot. 9.

dę, nie są to pomiary parametrów sprzętu audio, tylko pomiary parametrów akustycznych obiektów: sal konferencyjnych i koncertowych, hal sportowych, a nawet stadionów. A jeśli chodzi o sztuczne ucho, to w rozmaitych systemach pomiaru dźwięku, jak ten pokazany na fot. 7, dostępne są nie tylko mierniki (miernik na pierwszym planie, na drugim „piłkopodobne” źródło dźwięku wszechkierunkowego). W niektórych sytuacjach rzeczywiście wykorzystuje się manekiny z uszami (fot. 8), a do tego dwa mikrofony pomiarowe, wzmacniacze i przetworniki oraz komputer do analizy wyników. Fotografie 7 i 8 pochodzą z materiałów firmowych i pokazują sprzęt bardzo znanej duńskiej firmy Brüel & Kjær, specjalizującej się w pomiarach dźwięków oraz wibracji.

W przypadku domowych zestawów audio, podobne badania przeprowadza się bardzo rzadko. Jeśli już wykonuje się proste pomiary dźwięku domowych systemów audio, to ich celem jest

jedynie sprawdzenie równomierności charakterystyki amplitudowej – czy wszystkie zakresy pasma akustycznego są odtwarzane na jednakowym poziomie. Zazwyczaj wykorzystuje się do tego generatory szumu różowego i analizatory widma, choć spotyka się też inne sposoby, na przykład z przestrajnymi losowo generatorami lub wąskopasmowym szumem uzyskanym przez filtrowanie szumu różowego. Zwykle nie wykorzystuje się natomiast płynnie przestrajanych generatorów, ponieważ powstające wtedy fale stojące utrudniają analizę – to zresztą bardzo szeroki temat, wykraczający poza ramy artykułu o parametrach sprzętu.

Tak czy inaczej, szczegółowe pomiary dźwięku w warunkach domowych byłyby bardzo silnie obciążone wpływem odbić i rezonansów pomieszczenia odsłuchowego. Z jednej strony byłoby to wadą, ponieważ z uwagi na wpływ pomieszczenia odsłuchowego nie pozwoliłoby porównać poszczególnych zestawów i ich składników. Z drugiej strony można byłoby to traktować jako zaletę, ponieważ tylko takie pomiary w miejscu docelowego użytkowania uwzględniłyby nie tylko „mierzone sztucznie” parametry poszczególnych składników zestawu audio, ale też inne, odzwierciedlające pozytywny i negatywny wpływ pomieszczenia odsłuchowego.

Aby wyeliminować wpływ pomieszczenia odsłuchowego, pomiary dźwięku danego systemu audio można byłoby przeprowadzać w tak zwanej komorze bezechowej. Jest to pomieszczenie, którego wszystkie ściany, strop i podłoga są wyłożone materiałami pochłaniającymi energię fal dźwiękowych. Często wykorzystywane są elementy z wełny mineralnej, gąbki, bądź pianki, mające kształt klinów, jak na fot. 9, pokazującej komorę bezechową we francuskich laboratoriach LCPC. Na marginesie: określenie *komora bezechowa* oraz *anechoic room/chamber* są też używane w odniesieniu do pomieszczeń tłumiących nie fale dźwiękowe, tylko fale elektromagnetyczne, co prowadzi do pomyłek i nieporozumień, jak w przypadku dyskusji na forum:

www.audiostereo.pl/Najwieksza_na_swiecie_komora_bezechowa_37310.html, gdzie zamieszczono fotografię komory bezechowej, tłumiącej promieniowanie elektromagnetyczne, służącej do pomiarów awioniki samolotu.

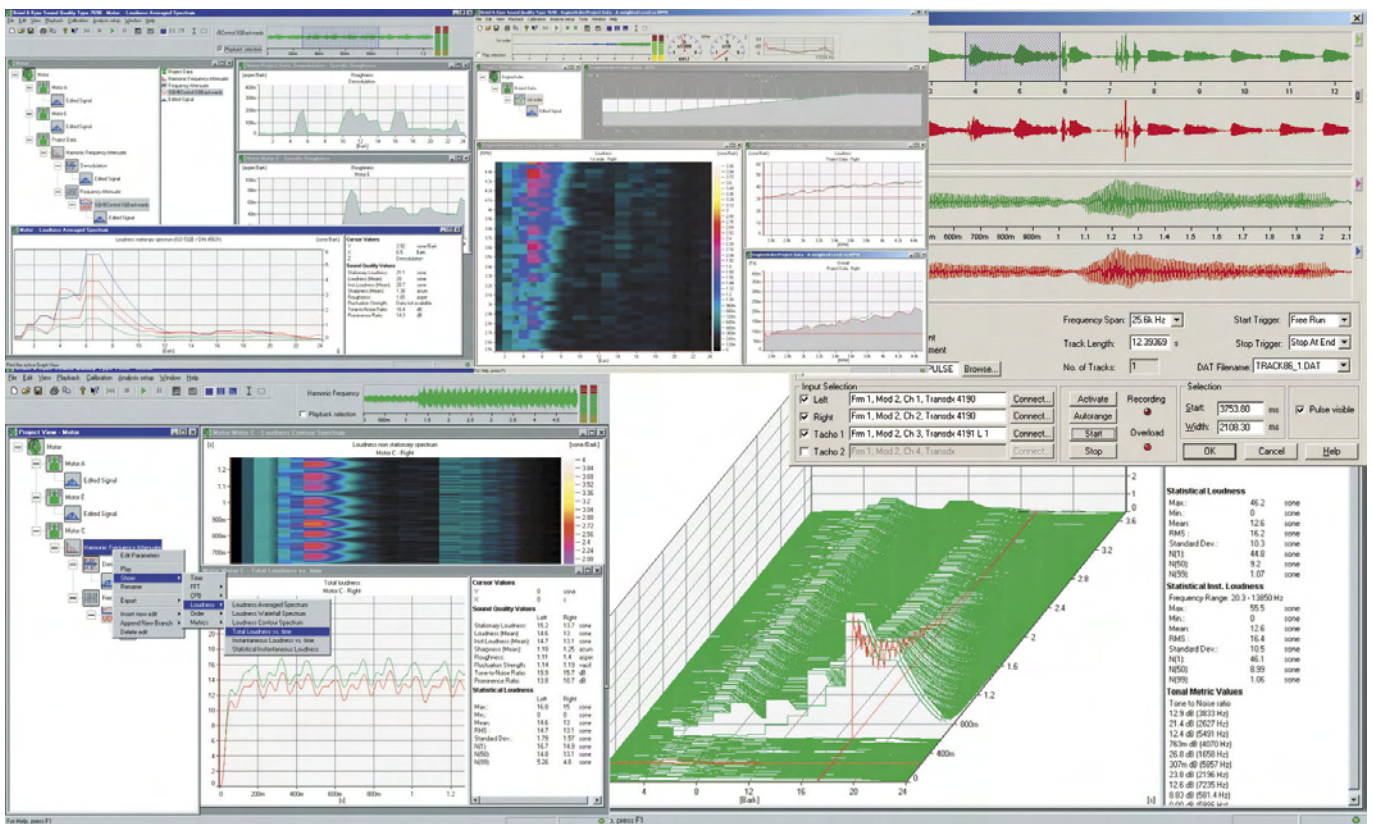
Wykorzystanie akustycznej komory bezechowej zapewniłoby powtarzalność pomiarów dźwięku, ale wtedy z kolei warunki pomiarów niewiele miałyby wspólnego z rzeczywistością.

Generalnie takich kompleksowych badań i analiz dźwięku wytwarzanego przez domowe instalacje audio nie przeprowadza się, choć współczesny stan techniki pozwalałby na ich przeprowadzenie, analizę i wyciągnięcie wniosków. Rys. 10 pokazuje kilka zrzutów ekranowych z programu *PULSE (Application for Analysing and Improving Sound Quality)* firmy Brüel & Kjær (www.bksv.com). W przypadku oceny jakości dźwięku w grę wchodzi wiele czynników, a oprócz właściwości akustycznych pomieszczenia, także kolejne specyficzne cechy i ograniczenia ludzkiego słuchu. Warto mieć przynajmniej ogólne pojęcie o tych zagadnieniach. Poświęćmy tym sprawom nieco uwagi, zanim przejdziemy do omawiania technicznych parametrów sprzętu.

Warunki akustyczne

Czasem podczas budowy lub remontu ktoś wchodzący do pustego pomieszczenia mówi: *ale tu dobra akustyka*. Mówi tak, ponieważ każdy dźwięk brzmi w takim pomieszczeniu inaczej, niż zazwyczaj. Inaczej – jakby dłużej czy pełniej. Przypomina to specyficzne warunki akustyczne spotykane w kościołach i katedrach. Nieliczni błędnie twierdzą, że słychać echo, inni prawidłowo stwierdzają, że to pogłos.

Przyczyną powstawania echa i pogłosu są odbicia dźwięku, a także stosunkowo mała prędkość dźwięku w powietrzu, wynosząca około 340 m/s, co oznacza, że na przykład w ciągu jednej dziesiątej sekundy (100 ms) dźwięk przemierzy drogę 34 m. Fala dźwiękowa odbija się od przeszkód, a przy odbiciach i podczas przejścia przez dowolny ośrodek jest częściowo pochłaniana, czyli maleje jej energia (głośność). Poszczególne materiały mają odmienne właściwości akustyczne, jednak można w uproszczeniu przyjąć, że dźwięk najlepiej odbija się od gładkich, twardych powierzchni. Są one dla dźwięku dosłownie niczym lustro dla pro-

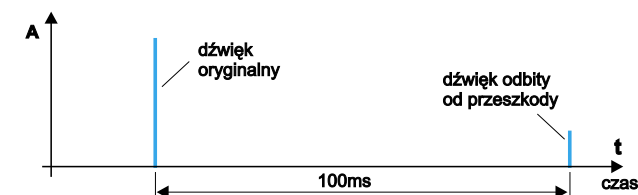


Rys. 10.



mieni świetlnych, natomiast materiały miękkie i porowate słabo odbijają, a za to w znacznym stopniu pochłaniają dźwięk. Pochłanianie w gruncie rzeczy polega na tym, że energia fali dźwiękowej w takim materiale ulega zamianie na ciepło.

O echu mówimy wtedy, gdy dźwięk odbija się od przeszkody (na przykład od ściany lasu), oddalonej o co najmniej kilka metrów. Wtedy opóźnienie wynosi co najmniej 100 ms i nasz zmysł słuchu rejestruje opóźniony, oddzielny dźwięk – ilustruje to rys. 11. O pogłosie mówimy wtedy, gdy odległości i czasy opóźnienia są mniejsze, a ucho i umysł nie są w stanie oddzielić dźwięku odbitego od bezpośredniego. Trzeba jednak pamiętać, że w pomieszczeniach nie występuje prosta sytuacja z jednym dźwiękiem odbitym. Ilustruje to rys. 12a. Po pierwsze, do słuchacza dociera nie tylko dźwięk bezpośredni (zaznaczony kolorem zielonym), ale także zaznaczone kolorem pomarańczowym dźwięki odbite od ścian, podłogi i sufitu pomieszczenia, a więc docierające dłuższą drogą, opóźnione. W dużych salach, halach i na stadionach czas opóźnienia tych dźwięków może wynosić kilkadziesiąt milisekund lub więcej, co może powodować występowanie wyraźnego echa.



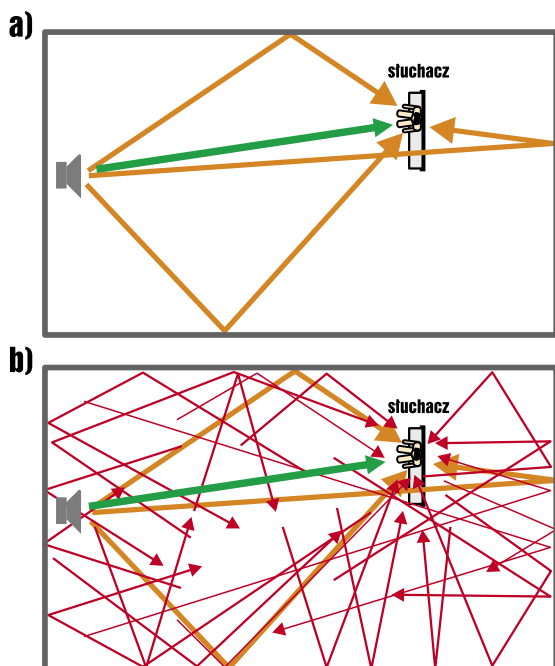
Rys. 11.

W warunkach domowych, w pokojach o rozmiarach kilku metrów, te opóźnienia są rzędu kilku do kilkunastu milisekund.

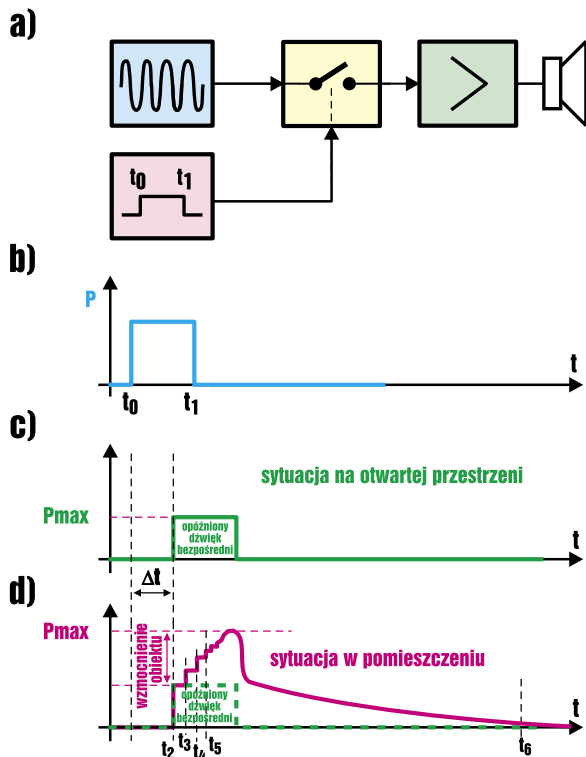
Na tym niestety problem się nie kończy. Przecież ani słuchacz, ani otoczenie, nie pochłaniają od razu całego wytwarzanego dźwięku. Wytworzony dźwięk wielokrotnie odbija się od ścian, sufitu i podłogi pomieszczenia. Przy kolejnych odbiciach część energii zostaje pochłonięta, niemniej można powiedzieć, że pomieszczenie wypełnia się dźwiękami odbitymi, co ilustruje rys. 12b.

Taka sytuacja rzeczywiście 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 napędza pomieszczenie odsłuchowe równomiernie.

Warto dokładniej uświadomić sobie, co się dzieje z dźwiękiem w pomieszczeniu. Przeprowadźmy więc eksperyment myślowy. Na rys. 13a przedstawiony jest w uproszczeniu układ do wytwarzania impulsowego sygnału testowego. Do głośnika doprowadzony jest sygnał zawierający pewną liczbę cykli przebiegu sinusoidalnego o częstotliwości akustycznej. Głośnik zamieni ten przebieg na impuls dźwiękowy trwający przez czas od



Rys. 12.



Rys. 13.

t_0 do t_1 . Powietrze zacznie drgać i powstanie impuls zmiennego ciśnienia akustycznego jak na rys. 13b. Gdyby głośnik i słuchacz znajdowali się nie w pomieszczeniu, tylko gdzieś w otwartym polu, do słuchacza po pewnym czasie Δt , dotarłby ten impuls dźwiękowy (rys. 13c). Czas opóźnienia Δt jest wyznaczony przez odległość głośnik – słuchacz oraz przez prędkość dźwięku w powietrzu (wynoszącą około 340 m/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 30 m opóźnienie wynosi prawie 100 milisekund, czyli 0,1 s, a przy odległości 5 m, około 15 ms, 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. Załóżmy, że w pomieszczeniu odległość słuchacza od głośnika jest taka sama, jak w sytuacji na wolnym powietrzu. Dlatego również tu, po czasie Δt do słuchacza dociera bezpośredni sygnał z głośnika. Na rys. 13d jest to chwila t_2 . 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.

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. Oznacza to, że po przyjęciu opóźnionych sygnałów, zaznaczonych na rys. 12a kolorem pomarańczowym, poziom ciśnienia akustycznego rośnie. Ale to nie koniec. Zgodnie z rys. 12b, 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. Gdy impuls dźwiękowy się skończy (w chwili t_1), dźwięk na obiekcie nie zaniknie ani natychmiast, ani po czasie Δt , czyli w chwili t_2 . Wskutek wielokrotnych odbić całe pomieszczenie stopniowo niejako „napęłni się” dźwiękami odbitymi, opóźnionymi w stosunku do pierwotnego dźwięku z głośnika – porównaj rys. 12b.

Co jeszcze ważniejsze, po zaniku pierwotnego impulsu, poziom ciśnienia akustycznego nie spadnie nagle do zera, tylko będzie malał stopniowo. Po jakimś czasie, w chwili oznaczonej t_6 ciśnienie spadnie do wartości, powiedzmy o 60 dB mniejszej od ciśnienia maksymalnego p_{max} .

Rys. 13 ilustruje 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.

Z rys. 13d można też określić kolejny bardzo ważny parametr pomieszczenia, mianowicie **czas pogłosu**. Jest to czas, w którym ciśnienie dźwięku spadnie o 60 dB od maksymalnej wartości. Przyjęto umownie spadek aż o 60 dB ze względu na logarytmiczną charakterystykę czułości ucha ludzkiego, ale to już inna sprawa.

Czas pogłosu to „zgrubny parametr”, nieprecyzyjnie określający stopień wytłumienia pomieszczenia odsłuchowego. Zresztą czas pogłosu nie jest stały – zależy od częstotliwości, a powodem jest fakt, że poszczególne materiały w różnym stopniu odbijają i pochłaniają dźwięki o różnych częstotliwościach.

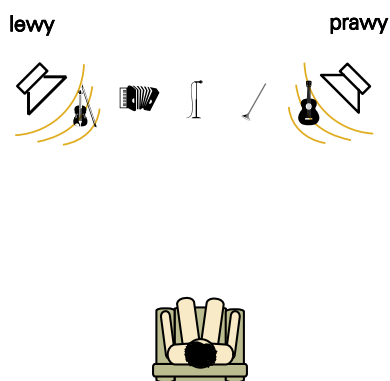
Przy dokładniejszej analizie można byłoby badać powstawanie w pomieszczeniu fal stojących o różnych częstotliwościach. Jest to związane także z rezonansami, a takie rezonanse wynikają z geometrycznych rozmiarów i kształtu pomieszczenia. Nietrudno się domyślić, że dźwięki odbijające się między przeciwległymi ścianami zaowocują powstaniem rezonansów, przy czym częstotliwości rezonansowe są odwrotnie proporcjonalne do odległości między ścianami. Oprócz ścian, duże znaczenie mają też meble i inne przedmioty w pomieszczeniu. Mają one wpływ nie tylko na rezonanse, ale też dodatkowo rozpraszają i tłumią dźwięk. Ogromne znaczenie mają też wszelkie użyte materiały. Najogólniej biorąc, **pomieszczenie zawierające wiele rozmaitych przedmiotów i elementów wyposażenia, zwłaszcza miękkich, będzie miało krótszy czas pogłosu**. W warunkach domowych właśnie takie pokoje lepiej sprawdzają się jako pomieszczenia odsłuchowe, natomiast przeciętny pokój, bez dodatkowych elementów wytłumiających, takich jak miękka wykładzina podłogowa, ciężkie zasłony czy kotary, mają właściwości akustyczne dalekie od optymalnych, co objawia się zbyt długim czasem pogłosu.

Maksymalne ciśnienie akustyczne w sali (na rys. 13d oznaczone p_{max}) jest większe niż na otwartym powietrzu – porównaj rys. 13c i 13d. Wzrost ciśnienia można wyrazić w decybelach – jest to tak zwane **wzmocnienie obiektu**. Wzmocnienie to wynika właśnie z odbić. Czym większe odbicia i czym słabsze przy tym tłumienie dźwięku, tym większe wzmocnienie, ale raczej nie ma się z czego cieszyć – jak się za chwilę okaże, wzmocnienie to w większości przypadków okazuje się szkodliwe.

Oczywiście, czas pogłosu w katedrze we Fromborku, czy nawet w kościele w Oliwie, jest rzędu wielu sekund. Wielokrotnie odbijające się fale dźwiękowe znakomicie wzbogacają i pogłębiają głos zainstalowanych tam organów. Tak wielki czas pogłosu i znaczne wzmocnienie obiektu niewątpliwie są zaletą w czasie koncertu muzyki organowej. W tym przypadku właściwości akustyczne przypominają pudło rezonansowe, a przez to stają się niejako częścią instrumentu. Niemniej takie właściwości są czymś wyjątkowym, niecodziennym i zazwyczaj niepożądanym. Ze względu na ogromny pogłos, zrozumienie słów księdza, który próbowałby wygłosić tam kazanie bez starannie dobranego systemu nagłośnienia, byłoby co najmniej trudne. Aby zapewnić akceptowalną zrozumiałość, stosuje się systemy nagłośnienia, zawierające wiele małych głośników, by poziom dźwięku bezpośredniego docierającego do słuchaczy z głośników był znacząco większy od poziomu pogłosu.

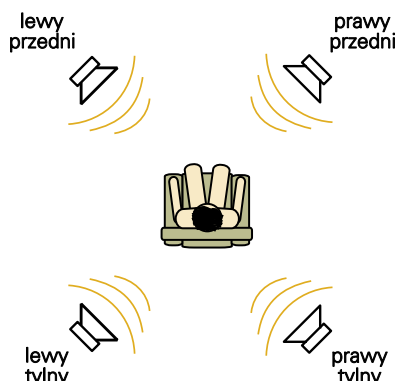
Jak widać, duży pogłos może być zaletą lub wadą, zależnie od sytuacji. Podobnie jest na przeciwległym „biegunie”. Na otwartej przestrzeni prawie nie ma odbić. Jednak tam może występować szum wiatru i inne „obce” odgłosy. „Sterylne” warunki: brak odbić pogłosu oraz wszelkich dźwięków zewnętrznych można osiągnąć sztucznie, w komorze bezechowej. Komora bezechowa tłumi zarówno odbicia dźwięku, jak też jest znakomicie odizolowana od dźwięków zewnętrznych. Każdy, kto miał okazję przebywać w takiej komorze, potwierdzi bardzo dziwne wrażenie wywołane nie tylko przez brak dźwięków zewnętrznych, ale właśnie bliski zeru

INSTALACJA STEREOFONICZNA



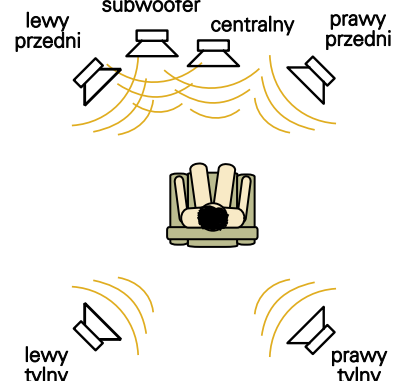
Rys. 14.

INSTALACJA KWADROFONICZNA



Rys. 15.

INSTALACJA TYPU "SURROUND"



Rys. 16.

czas pogłosu. W sumie taka „akustyczna sterylność” daje bardzo nieprzyjemne wrażenie, u niektórych po kilku minutach wielka cisza wywołuje ból głowy. Także odsłuch muzyki w takich warunkach daje specyficzne odczucia. Wrażenie jest interesujące, ale dziwne i w sumie obce.

Można powiedzieć, że jesteśmy od urodzenia przyzwyczajeni do niedoskonałego środowiska akustycznego. Za normalne uważamy rozmaite szumy tła, a całkowita cisza „dziwnie dzwoni w uszach”, czego piszący te słowa często doświadcza nad jednym z mazurskich jezior. Od urodzenia jesteśmy też przyzwyczajeni do pomieszczeń o czasie pogłosu rzędu pół sekundy lub mniejszym. Takie pomieszczenia uważamy za „normalne”. Jeśli czas pogłosu pomieszczenia jest zdecydowanie krótszy, powstaje wrażenie, że dźwięk jest zubożony, suchy i nienaturalny. Gdy czas pogłosu jest zdecydowanie dłuższy, dźwięk jest wprawdzie bogatszy i pełniejszy, ale ogólnie biorąc, nieprecyzyjny i „rozmażany”.

Nasze bardzo silne, długoletnie przyzwyczajenia, związane z odbiciami, tłumieniem i pogłosem są też ściśle związane z naszymi umiejętnościami określania kierunku, z którego przychodzi dźwięk, a także z innymi możliwościami i ograniczeniami naszego zmysłu słuchu.

Temu zagadnieniu też należy poświęcić nieco uwagi, by wyrobić sobie zrównoważony pogląd na praktyczne znaczenie parametrów sprzętu audio.

Mono, stereo, kwadro i inne sposoby oszukiwania

Na początku był... głośnik. Jeden głośnik. Czyli przekaz monofoniczny. Wprowadzenie w latach 60. przekazu stereofonicznego było ogromnym krokiem jakościowym w stosunku do monofonicznego. Dwa jednakowe głośniki rozmieszczone przed słuchaczem, po jego prawej i lewej stronie, umożliwiły wytworzenie wrażenia panoramy dźwiękowej. Słuchając dobrze nagranych utworów stereofonicznych można zamknąć oczy i umiejscowić poszczególnych wykonawców i instrumenty w panoramie między głośnikami. Ilustruje to rys. 14. W latach 70. wydawało się, że kolejnym milowym krokiem będzie wprowadzenie kwadrofonia - systemu cztero-kanałowego - rys. 15. W założeniu kwadrofonia powinna zrealizować dookólną panoramę dźwiękową. Kwadrofonia z różnych względów nie zyskała jednak popularności. W Polsce wyprodukowano wprawdzie kwadrofoniczny odbiornik radiowy Cezar, jednak kwadrofoniczne transmisje radiowe, realizowane we Wrocławiu, nie wyszły poza stadium eksperymentów. O kwadrofonii zapomniano. Mniej więcej w tym czasie pojawiły się wielogłośnikowe systemy z określeniem *surround* w nazwie. Nazwa niewątpliwie miała sugerować, iż słuchacz jest niejako zanurzony w dźwięku dookólnym, otaczającym słuchacza ze wszystkich stron. Najpierw, jeszcze w latach siedemdziesiątych systemy *surround* trafiły do najlepszych kin i rzeczywiście zrobiły wielkie wrażenie na widzach. Potem pojawiły się domowe systemy dźwięku dookólnego mające w nazwie słowo *surround*. Takie systemy zawierały pięć lub sześć głośników - rys. 16, przy czym szósty głośnik - *subwoofer* przeznaczony był tylko do odtwarzania basów. Głośnik centralny pomagał bardziej precyzyjnie zrealizować pano-

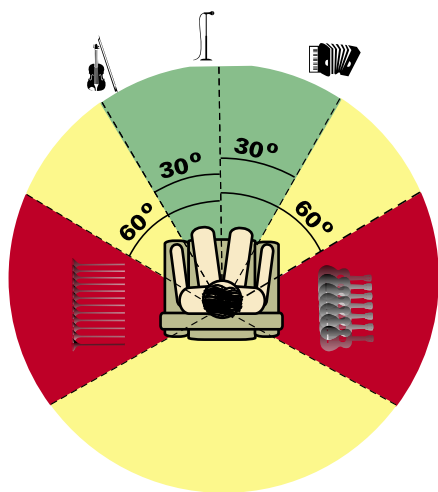
ramę dźwiękową z przodu słuchacza. Dwa głośniki tylne miały za zadanie wzbogacić obraz dźwiękowy z boków i z tyłu.

Analogowe systemy *Surround* i *Surround Sound* tylko przez krótki czas wydawały się realizacją marzenia, by dać słuchaczowi wręcz idealne warunki odsłuchu. Dość proste sposoby analogowego kodowania sygnału głośnika centralnego oraz sygnału głośników tylnych (jednakowego w obu głośnikach) nie zapewniały dobrych wrażeń. Analogowy sygnał Surround był w rzeczywistości nieco zmodyfikowanym sygnałem stereofonicznym. Co ciekawe, wielu posiadaczy takich instalacji przekonywało się szybko, że lepszy dźwięk uzyskuje się po przełączeniu na tryb stereofoniczny, a nie surround. Na przełomie stuleci pojawiły się i upowszechniły cyfrowe systemy wielokanałowe. Z początku w ich nazwach też można było znaleźć określenie Surround, dziś pozostało jedynie określenie **Home Cinema – kino domowe**. Źródłem wielokanałowego sygnału dźwiękowego są dziś najwyższymi płyty DVD z filmami. Każda płyta DVD obok filmu może zawierać, i zwykle zawiera, ścieżkę dźwiękową 5.1-kanałową, to znaczy 5 zupełnie *niezależnych* „pełnych” kanałów audio, plus kanał dla subwoofera. Z takim samym cyfrowym dźwiękiem wielokanałowym 5.1 mamy też do czynienia w przekazach niektórych stacji satelitalnych. Natomiast w systemach audio współpracujących z komputerami, przeznaczonych dla miłośników gier komputerowych, można spotkać zestawy audio zawierające osiem czy dziesięć kolumn, oznaczane 7.1 i 9.1. Fot. 17 pokazuje zestaw GigaWorks S750 firmy Creative.

Rozwój systemów audio zdaje się sugerować, iż czym więcej kolumn, tym lepiej. Jest w tym stwierdzeniu ziarno prawdy, jednak koniecznie trzeba wiedzieć o pewnych istotnych ograniczeniach. Do problemu nierzetelnego podawania parametrów przez wytwórców i handlowców jeszcze wrócimy. Na razie zajmijmy się choć trochę znacznie ważniejszym problemem percepcji dźwięku przez człowieka.



Fot. 17.



Rys. 18.

zmysł słuchu pozwala lokalizować źródła dźwięku. Można zamknąć oczy i określić „na słuch” gdzie znajduje się źródło dźwięku. Dotyczy to jednak rzeczywistych źródeł dźwięku, na przykład instrumentów na estradzie. Przy odtwarzaniu dźwięku przez głośniki nie jest to wcale takie proste i oczywiste.

Ótóż z grubsza biorąc, lokalizacja dźwięku za pomocą dwóch uszu możliwa jest dzięki:

1. Różnicom czasowym – wystarczą do tego znikome różnice czasowe pomiędzy sygnałami docierającymi do obu uszu, nie większe niż 0,0007 sekundy (0,7 ms).
2. Różnicom głośności – wynikającym z faktu, że dla dźwięków o częstotliwości powyżej 1 kHz głowa stanowi istotną przeszkodę. Dla wysokich częstotliwości akustycznych różnice poziomów sygnałów związane z „cieniem akustycznym głowy” mogą sięgać aż 20 dB.
3. Wnoszonym przez małżowiny zniekształceniom dźwięków docierających do obydwu uszu. Skomplikowany kształt małżowiny powoduje, że dźwięki docierające z różnych kierunków odbijają się od jej fałdów w odmienny sposób i specyficznie opóźnione dodają się do dźwięków bezpośrednich, docierających do naszego „przetwornika”. Można powiedzieć, że z uwagi na kształt małżowiny, dźwięki przychodzące z różnych kierunków są w inny sposób podbarwiane. I właśnie te subtelne podbarwienia też pomagają lokalizować pozycję źródła dźwięku. Dzięki wszystkim tym czynnikom, a przede wszystkim dzięki zadziwiającym właściwościom analitycznym mózgu, zdrowy młody człowiek jest w stanie z dużą dokładnością zlokalizować źródło dźwięku przed sobą, a także zauważyć przesunięcie tego źródła o zadziwiająco mały kąt, rzędu 1 stopnia. Należy jednak wyraźnie podkreślić, że dotyczy to jedynie stosunkowo wąskiego obszaru, mianowicie kąta $\pm 30^\circ$ z przodu słuchacza. Ilustruje to rys. 18. Znacznie mniej precyzyjna jest lokalizacja i odczucie ruchu źródeł dźwięku z obszaru objętego kątem $\pm 60^\circ$. Najgorzej jest w zakresie kątów zbliżonych do $\pm 90^\circ$ – tu przesunięcie źródła dźwięku daje się zauważyć, dopiero gdy wynosi ono 30° . Z tyłu głowy zdolność lokalizacji źródła trochę się poprawia, ale jest znacznie gorsza, niż z przodu, ponieważ zredukowana jest pozytywna rola małżowin usznych.

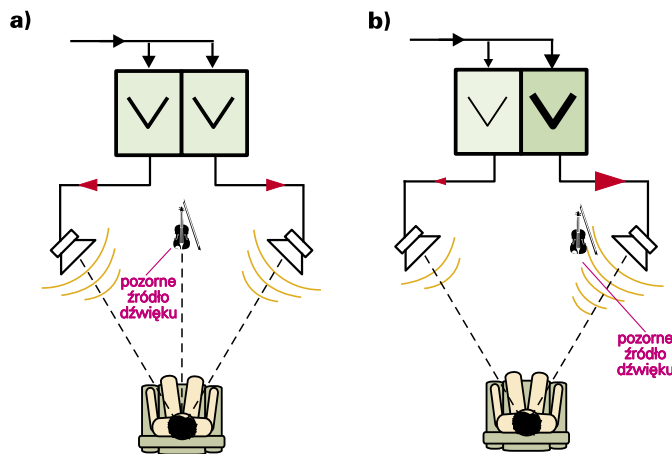
Odnotowujemy **ważny wniosek – precyzyjna lokalizacja źródeł dźwięku w (prawdziwej) panoramie dźwiękowej jest możliwa tylko w wąskim obszarze z przodu słuchacza**, w obszarach zaznaczonych na rys. 18 kolorem zielonym. Kolory żółty i czerwony wskazują obszary, gdzie lokalizacja pozornego źródła dźwięku jest nieprecyzyjna i wręcz niemożliwa.

Co ważne, podane właśnie informacje dotyczą prawdziwych źródeł dźwięku, umieszczonych przed słuchaczem. Prawdą jest też, że można w sztuczny sposób stworzyć wrażenie obecności źródła dźwięku w miejscu, gdzie wcale go nie ma, czyli stworzyć wirtualne źródło dźwięku. Dwa bardzo podobne sygnały, docierające do obu uszu są przez mózg traktowane jako pochodzące z jednego (wirtualnego czyli pozornego) źródła

Ograniczenia zmysłu słuchu

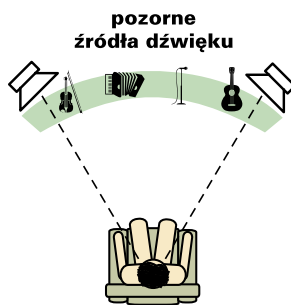
Teksty i rysunki z materiałów reklamowych sugerują, że systemy wielokanałowe z pięcioma czy sześcioma głośnikami umożliwiają „zanurzenie słuchacza w panoramie dźwięku” i odtworzą dźwięk dokładnie tak, jak w rzeczywistej sali koncertowej. Niestety, jest to niemożliwe z wielu względów.

Prawdą jest, że

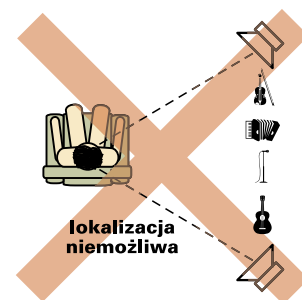


Rys. 19.

umieszczonego między dwoma głośnikami. Gdy dźwięki z obu głośników są jednakowe, źródło wydaje się umieszczone pośrodku między kolumnami (rys. 19a). Za pomocą potencjometru balansu/panoramy można zmienić położenie tego pozornego źródła dźwięku na linii między głośnikami – porównaj rys. 19b. Zmysł słuchu daje się oszukać, a umiętny reżyser dźwięku może bez większych problemów rozmieścić na panoramie dźwiękowej nie tylko jeden, ale wiele instrumentów i głosów (rys. 20).

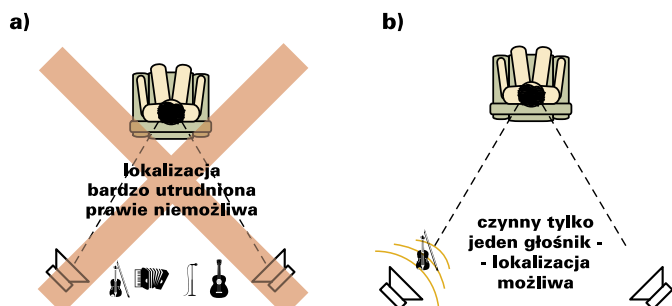


Rys. 20.

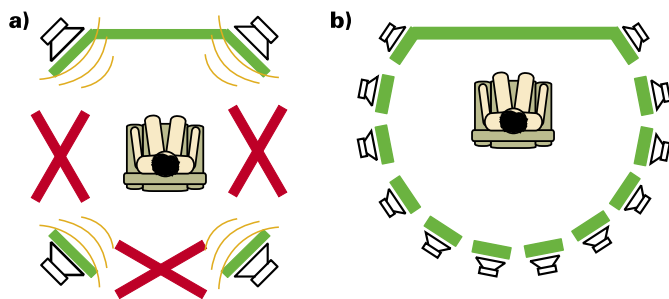


Rys. 21.

Może się wydawać, że ustawiając dwie kolumny z boku słuchacza, też można uzyskać wrażenie panoramy dźwiękowej z boku, jak na rys. 21. Niestety, w odróżnieniu od sytuacji z rys. 19, tak nie jest! Tym razem słuch nie daje się oszukać, ponieważ główną rolę odgrywa tylko jedno ucho. Jedno ucho nie jest w stanie porównać głośności sygnałów z obu kolumn i w najlepszym przypadku zmysł słuchu traktuje dźwięki przychodzące z obu kolumn jako dwa oddzielne sygnały. W rezultacie subiektywne wrażenie słuchacza jest dziwne – nie tylko nie potrafi zlokalizować pozornego bocznego źródła, ale na dodatek dźwięk jakby „pływa” między głośnikami. Na pewno nie da się w prosty sposób za pomocą dwóch głośników stworzyć wrażenia panoramy bocznej – dlatego rys. 21 jest przekreślony. Podobna sytuacja, chociaż mniej ostro, występuje również z tyłu (rys. 22a). Jeżeli jednak gdzieś z tyłu lub z boku umieszczone jest prawdziwe źródło dźwięku albo czynny jest tylko jeden głośnik, jego lokalizacja jest jednak możliwa, choć nie jest zbyt precyzyjna (rys. 22b).



Rys. 22.



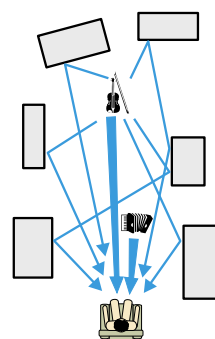
Rys. 23.

Godna wzmianki jest też sprawa niskich częstotliwości. Prawie wszyscy wiedzą, że głośniki promieniują tony niskie we wszystkich kierunkach i że w pomieszczeniach nie sposób zlokalizować ich źródła. Nie trzeba więc stosować czterech lub więcej kolumn wysokiej jakości, przenoszących także najniższe tony. Wystarczy jeden wspólny głośnik niskotonowy (subwoofer), i nie jest specjalnie ważne, gdzie jest on umieszczony. Dzięki obecności subwoofera, pozostałe kolumny systemu mogą być małe, bo przenosić będą tylko średnie i wysokie częstotliwości. Ponadto jeden subwoofer zmniejsza problem interferencji fal stojących o niskiej częstotliwości – fale dźwiękowe o częstotliwości 30...300 Hz mają długość 10...1 m, czyli porównywalną z rozmiarami pomieszczenia odsłuchowego.

I kolejny szczegół: trzeba pamiętać, że wszystkie dotychczasowe rozważania dotyczą panoramy dźwiękowej umieszczonej w jednej, poziomej płaszczyźnie. Nie wspomnieliśmy o rozróżnianiu kierunków góra – dół. Dopiero w systemach z taką możliwością można byłoby mówić o prawdziwym dźwięku przestrzennym, trójwymiarowym, w skrócie 3D (D od dimension – wymiar). Oczywiście wymagałoby to zastosowania kolejnych głośników umieszczonych na różnych wysokościach.

Mamy kolejny **ważny wniosek: nasz zmysł słuchu potrafi lokalizować pojedyncze, rzeczywiste źródła dźwięku z boków i z tyłu, jednak skazana jest na niepowodzenie próba oszukania słuchu przez wytworzenie z tyłu lub z boku pozornego źródła dźwięku za pomocą pary głośników**. Z uwagi na te właściwości słuchu, na pozór logiczna idea wytworzenia pełnej panoramy przez zastosowanie czterech głośników (rys. 23a) okazuje się chybiona już w założeniu – ze względu na specyfikę zmysłu słuchu, słuchacz nie będzie mógł lokalizować źródeł dźwięku w panoramie z boków i z tyłu. Aby jako tako mógł zlokalizować boczne i tylne źródła dźwięku, trzeba byłoby tam umieścić wiele głośników, jak pokazuje rys. 23b. Tu wyjaśnia się pytanie dotyczące sensu zwiększania liczby głośników z boków i z tyłu w systemach wielokanałowych 7.1 czy 9.1. Nie ma natomiast sensu zwiększanie liczby głośników z przodu, ponieważ w tym obszarze można prawidłowo wytworzyć wirtualne źródła dźwięku za pomocą dwóch przednich głośników i to bez głośnika centralnego.

Wniosek może być zaskakujący: **wierność odwzorowania panoramy dźwiękowej przez współczesny cyfrowy, wielokanałowy system 5.1 jest niewiele lepsza, niż przez zwyczajny system stereofoniczny**. Nic dziwnego, że do dziś wielu miłośników wiernego brzmienia pozostało przy klasycznej stereofonii. Trzeba też pamiętać, że podstawowym zadaniem wielokanałowych systemów kina domowego wcale nie jest poprawienie wierności przekazu. W przypadku efektów specjalnych do filmów i gier komputerowych, a także licznych utworów muzycznych chodzi o to, by wywrzeć wrażenie na słuchaczu i spotęgować efekt wizualny. Dlatego celowo stosuje się różne sztuczki techniczne, na przykład dające złudzenie ruchu źródła dźwięku. O ile wrażenie ruchu obok słuchacza, zwłaszcza z przodu, można stworzyć stosunkowo prosto, o tyle wrażenie zbliżania się i oddalania źródła dźwięku, wbrew pozorom nie jest łatwe do uzyskania. Nie wystarczy tylko zmiana natężenia. Ogólnie biorąc, nasz słuch nie najlepiej ocenia odległość źródła dźwięku. W przypadku dźwięków naturalnych zazwyczaj potrafimy z dobrym przybliżeniem ocenić odległość od źródła dźwięku. Zmysł słuchu wykrywa bowiem subtelności związane nie tyle z różnicami dźwięków docierających do obydwu uszu,



Rys. 24.

tylko z odbiciami i szumami otoczenia. Niebagatelną rolę odgrywają tu także nabyte i zapamiętane doświadczenia dotyczące głośności poszczególnych instrumentów, głosu ludzkiego, itp.

Przykładowo dźwięk z dalekiego źródła będzie słaby, a towarzyszący mu szum otoczenia – silny. Z kolei przybliżanie i oddalanie źródła dźwięku wywołują nie tylko zmiany głośności, ale także subiektywnie odczuwanej barwy. Związane jest to z zawężaniem pasma słyszenia przy cichszych dźwiękach (charakterystyka psfometryczna). Ważne jest, że do ucha słuchacza trafia nie tylko dźwięk bezpośredni, ale także dźwięki odbite i opóźnione. Chodzi o opóźnienia rzędu dziesiątek i setek milisekund, wynikające z ukształtowania otoczenia i znajdujących się tam przeszkód. Ilustruje to rys. 24. W sumie chodzi o subtelności trudno wykrywalne nawet z pomocą skomplikowanej aparatury elektronicznej. Jednak ucho i mózg potrafią te drobne podbarwienia wykryć, przeanalizować i właśnie na ich podstawie oszacować odległość źródła dźwięku.

Natomiast stworzenie dobrego złudzenia ruchu dźwięku do i od słuchacza jest bardzo trudne, prawie niemożliwe. Do uzyskania wrażenia oddalania się bądź przybliżania, prócz zwykłych zmian głośności w poszczególnych kanałach, stosuje się takie sposoby, jak zmianę barwy w zakresie niskich tonów czy odwracanie fazy w wąskich pasmach częstotliwości.

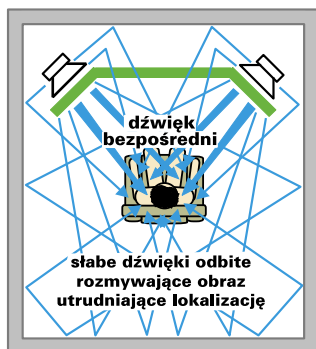
Filmowi realizatorzy dźwięku powszechnie stosują w filmach akcji standardowe chwytły, które trzeba przyznać, robią duże wrażenie. Polega to na wykorzystaniu przeciwległych głośników. Na początku dźwięk pochodzi tylko z jednego z nich, potem stopniowo włącza się przeciwległy głośnik i dźwięk niejako „przechodzi przez słuchacza”. Można tego doświadczyć w kinie (nawet domowym), wyposażonym w aparaturę surround, gdy wydaje się, że samolot lub pociski wręcz przelatują przez głowę. Do uzyskania tego spektakularnego efektu specjaliści od dźwięku wykorzystują specyficzną właściwość słuchu w zakresie niższych częstotliwości. Mamy z nią do czynienia także wtedy, gdy używamy słuchawek (a także gdy słuchamy własnego głosu). Powstaje wtedy wrażenie, że źródło dźwięku znajduje się wewnątrz głowy. Podobne wrażenie „dźwięku wewnątrz głowy” i ruchu „przez głowę” można wytworzyć w systemie czterogłośnikowym z niezależnie sterowanymi głośnikami tylnymi - ilustruje to rys. 25.

Dużą rolę w wytwarzaniu efektów odgrywa też subwoofer, czyli głośnik przetwarzający najniższe częstotliwości. Wrażenia wybuchów, drgań, a nawet kołysania są silne także dlatego, że niskie częstotliwości, odbierane są nie tylko uchem, ale też w pewnym sensie całym ciałem, ponieważ ciało odczuwa i przenosi takie drgania.

Przedstawione rozważania prowadzą do następującej prawdy: **zgodnie z nazwą, system kina domowego jest przeznaczony przede wszystkim do stworzenia „kinowych efektów” podczas oglądania filmów i gier komputerowych, a nie do poprawienia wierności przekazu**.

Dalsze ograniczenia

Podane elementarne i w sumie uproszczone informacje nie wyczerpują problemów związanych ze zmysłem słuchu. Na przykład na rysunkach 19 i 20 pokazano, że jednakowe sygnały, różniące się tylko głośnością, stwarzają iluzję, iż źródło dźwięku jest umieszczone w pewnym punkcie między przednimi głośnikami. Jest to prawda, ale pod pewnymi warunkami. Otóż w procesie słyszenia bardzo ważną rolę odgrywają słabe dźwięki



Rys. 26.

odbite. Dźwięki odbite od bliskich przedmiotów, przychodzące do ucha w czasie nie dłuższym niż 30 ms po dźwięku bezpośrednim (przychodzącym z przodu) mają duży wpływ na wytworzony obraz dźwiękowy – ogólnie biorąc, rozmywają pozorne źródło dźwięku i słuchacz nie może go konkretnie zlokalizować w panoramie. Pierwsze odbicia, przychodzące po kilkunastu...kilkudziesięciu milisekundach mają zupełnie inny wpływ na odczucia słuchacza, niż (naturalny czy sztuczny) pogłos przychodzący po kilkuset milisekundach. W sumie te niepozorne składowe związane z odbiciami, choć mają małą amplitudę i trudno je analizować za pomocą elektronicznego sprzętu pomiarowego, mają decydujący wpływ na subiektywnie odczuwaną wierność przekazu.

I tu dochodzimy do kolejnego ważnego szczegółu. Te opóźnione sygnały rozmywające obraz to:

- dźwięki odbite, które zostały zarejestrowane przez mikrofon i są częścią przekazu lub
- odbicia, które pojawiły się dopiero w pomieszczeniu odsłuchowym odbiorcy (rys. 26).

Czy już widzisz kolejny ważny problem?

Weźmy przykład koncertu w filharmonii. Obecny tam słuchacz oprócz dźwięków bezpośrednich, przychodzących wprost od orkiestry, odbiera też dźwięki odbite od ścian i sufitu tego dużego pomieszczenia oraz szum otoczenia i ewentualne inne odgłosy. Wszystko to tworzy w jego mózgu niepowtarzalne wrażenie.

Jak wiernie zapisać i odtworzyć ten skomplikowany obraz dźwiękowy w warunkach domowych?

Idealem wiernego odtworzenia muzyki jest zapewnienie słuchaczowi takiego wrażenia, jakie miałby na koncercie. Do jego uszu powinny dotrzeć dokładnie takie i tylko takie dźwięki, jakie występują tam podczas nagrywania materiału. Niestety, jest to niemożliwe...

Bo jak zapisać taki obraz dźwiękowy? Czy umieścić wiele mikrofonów przy poszczególnych instrumentach i ich grupach, a potem za pomocą wielokanałowego miksera próbować rekonstruować panoramę dźwiękową? Ale co z dźwiękami tła i odbiciami?

A może lepiej umieścić wiele kierunkowych mikrofonów na środku sali, zbierających sygnały z poszczególnych kierunków? Tylko co potem zrobić z takim wielokanałowym sygnałem?

A może zrealizować coś takiego jak sztuczne uszy, a raczej sztuczna głowa? Tylko jak wymodelować małżowiny uszne i czy w ogóle taki pomysł jest sensowny? Czy przypadkiem nie uzyskalibyśmy sygnału stereofonicznego, który trzeba by odtwarzać jedynie za pomocą słuchawek?

Nietrudno dojść do wniosku, że żaden ze sposobów realizacji nagrania nie jest doskonały. W praktyce przy nagraniach realizatorzy w sztuczny sposób kreują panoramę dźwiękową i bardzo często wprowadzają sztuczny pogłos, który wzbogaca dźwięk. Odbiega to daleko od naturalnego obrazu dźwiękowego, ale jest celowym zamierzeniem artystycznym.

Kwestia realizacji nagrania to tylko połowa problemu. Nawet gdyby udało się jakimś cudem zapisać i odtworzyć dźwięk wielokanałowy w domu, to oprócz oryginalnych składników pojawiają się tam odbicia i podbarwienia, wynikające z właściwości pomieszczenia odsłuchowego.

Słuchawki pozwalają uniknąć odbić i pogłosu, jednak tylko teoretycznie rozwiązują problem. Choć oprócz stereofonicznych można też zrealizować wielokanałowe, „dookólne” słuchawki (były takie próby), prawie wszyscy chcą słuchać dźwięku z głośników, a nie słuchawek. I to nie ze względu na gorszą jakość (wprost przeciwnie), tylko z uwagi na silne przyzwyczajenia. A jeśli trzeba dźwięk odtwarzać przez głośniki, to od razu nasuwa się wniosek, że dla uzyskania jak największej wierności odtwarzania, należałoby tłumić wszelkie odbicia w pomieszczeniu odsłuchowym, by specy-

fika pomieszczenia odsłuchowego nie fałszowała oryginalnego przekazu. Tu nasuwałby się prosty i oczywisty wniosek: aby idealnie wiernie odtworzyć słuchaczowi wszystkie niuansy i nie fałszować oryginalnego obrazu dźwiękowego, pomieszczenie w którym słucha on muzyki nie powinno dodać żadnych własnych odbić i podbarwień. Teoretycznie, nawet w domu można zrealizować komorę bezechową, stosując w pomieszczeniu wiele miękkich materiałów i powierzchni pochłaniających dźwięk. Okazuje się jednak, że nawet najwymyślniejsze współczesne systemy reprodukcji dźwięku nie są w stanie wiernie odtworzyć wszystkich subtelności atmosfery koncertowej, a dla zdecydowanej większości słuchaczy odsłuch w „idealnie” wytlumionym pomieszczeniu choć robi duże wrażenie, jest nienaturalny, a nawet nieprzyjemny.

Tymczasem w każdym normalnym pomieszczeniu odsłuchowym też występują dodatkowe odbicia dźwięku (rys. 23).

Podsumowanie

W artykule zostały z grubsza zasygnalizowane złożone zagadnienia techniczne i artystyczne. Na pewno nie ma możliwości idealnie wiernego odwzorowania w warunkach domowych obrazu dźwiękowego jakiegokolwiek koncertu. Nawet jeśli celem nie jest uzyskanie jak największej wierności, zawsze występuje problem wpływu akustyki pomieszczenia odsłuchowego.

Tymczasem wielu elektroników i audiofilów, rozdyktowanych nad parametrami sprzętu audio, pomija fakt, że w ostatecznym obrazie dźwiękowym kluczową rolę odgrywają słabe dźwięki odbite. Owszem, głośne dźwięki „podstawowe” są najbardziej zauważalne, ale ostateczna jakość odtwarzanej muzyki zależy właśnie od bardzo subtelnych składników – od słabych dźwięków odbitych. Można to śmiało porównać do wina. Wiadomo, że wino to mieszanina ponad osiemdziesięciu procent wody, kilkunastu procent alkoholu i poniżej 1 procenta „drobnych dodatków”. Na każdej butelce podana jest procentowa zawartość alkoholu i rodzaj wina (fot. 27). Jednak o jakości wina wcale nie decyduje zawartość alkoholu ani kolor, tylko kompozycja wspomnianych „drobnych dodatków”, których nie sposób w pełni zbadać drogą analizy chemicznej. Jakość wina trzeba ocenić smakując je i zachwycając bukietem. To właśnie te niemal niemierzalne, subtelne dodatki decydują o walorach trunku. Oczywiście ogromne znaczenie mają przyzwyczajenia i indywidualny gust.



Fot. 27.

Podobnie jest z dźwiękiem. Tu również ogromne znaczenie mają długoletnie przyzwyczajenia i osobiste upodobania. Niemniej warto pamiętać, że takie przyzwyczajenia i subiektywne odczucia w sumie wynikają jednak z obiektywnych, technicznych parametrów. Nie ulega wątpliwości, że każde pomieszczenie ma niepowtarzalną właściwość akustyczną, wynikającą zarówno z wymiarów, kształtu i użytych materiałów, jak też z umieszczonych wewnątrz mebli i innego wyposażenia. Wprawdzie można byłoby mierzyć czas pogłosu dla różnych zakresów częstotliwości, rezonanse i fale stojące, jednak precyzyjne określenie wszystkich właściwości akustycznych byłoby bardzo trudne, a wręcz niemożliwe, choćby z uwagi na mnóstwo czynników składających się na finalną akustykę pomieszczenia. Przetawienie krzesła, stolika, wazonu z kwiatami zmienia w jakimś niewielkim stopniu właściwość dźwiękowe. Akustyka konkretnego pomieszczenia jest jak odcisk palca – niepowtarzalna. Podobnie niepowtarzalne są gatunki i roczniki wina, jednak mało kto potrafi to ocenić. Jakże wielu potrafi rozróżnić jedynie elementarne właściwości wina takimi nieprecyzyjnymi określeniami jak: słodkie, kwaśne, cierpkie...

I oto doszliśmy do przyczyny licznych nieporozumień. Przedstawione w artykule rozważania wcale nie są wodą na młyn dla przeciwników wszelkich pomiarów i parametrów technicznych. Otóż trzeba wyraźnie

podkreślić, że omawiane czynniki nie dotyczą sprzętu elektronicznego, tylko ostatnich ogniw systemu audio – właściwości akustycznych pomieszczenia oraz specyfiki zmysłu słuchu.

Owszem – właściwości akustycznych pomieszczenia nie można dokładnie opisać zestawem liczb-parametrów. Nawet gdyby było można, o ostatecznej ocenie dźwięku zadecydują subiektywne cechy słuchu oraz przyzwyczajenia i upodobania. **Nie oznacza to, że nie warto niczego mierzyć.** Prawdą jest, że wrażenia nie da się przedstawić za pomocą cyferek, ale do tej chwili mówiliśmy o właściwościach akustycznych pomieszczenia i percepcji dźwięku, a nie o parametrach sprzętu audio. **Wniosków, które są prawdą w odniesieniu do akustyki pomieszczenia, nie wolno wprost przenosić na parametry elektronicznego sprzętu audio.** Wykorzystanie wniosków dotyczących zawilgości akustyki w odniesieniu do urządzeń elektronicznych jest nieuprawnionym nadużyciem. Choćby dlatego, że „elektroniczne” właściwości sprzętu audio są w sumie radykalnie mniej skomplikowane od akustycznych właściwości pomieszczeń. Właściwości sprzętu elektronicznego dużo łatwiej poddają się matematycznemu opisowi, niemniej i tam spotykamy się z nader interesującymi sytuacjami. Omówimy je w dalszej części cyklu, już za miesiąc.

Piotr Górecki

R
E
K
L
A
M
A

KONTAKT PCC



www.crcind.com

PROFESJONALNY WYGLĄD PŁYTEK DRUKOWANYCH



KONTAKT PCC jest preparatem usuwającym pozostałości po lutowaniu.

- Usuwa wszystkie typy topnika, nie pozostawiając żadnych osadów
- Szybko wysycha
- Nie uszkadza płytek drukowanych i ich warstwy ochronnej
- Zapewnia doskonałą czystość płytek drukowanych
- Przeciwdziała powstawaniu powierzchniowych prądów błądzących
- Zapewnia wysoką wytrzymałość izolacji

Ponadto w naszej ofercie pełna oferta materiałów chemicznych dla elektroniki i przemysłu firm:
CRC- KONTAKT CHEMIE, ELECTROLUBE, WACKER







04-761 Warszawa, Zwoleńska 43/43a
tel. 022 615 73 71, 022 615 64 31; fax: 022 615 73 75
info@semicon.com.pl, www.semicon.com.pl



PRENUMERATA NIE ZMIENI CAŁEGO ŚWIATA
ale MOŻE ZMIENIĆ TWÓJ ŚWIAT

str. 22