

# Akustyka w obiektach użyteczności publicznej

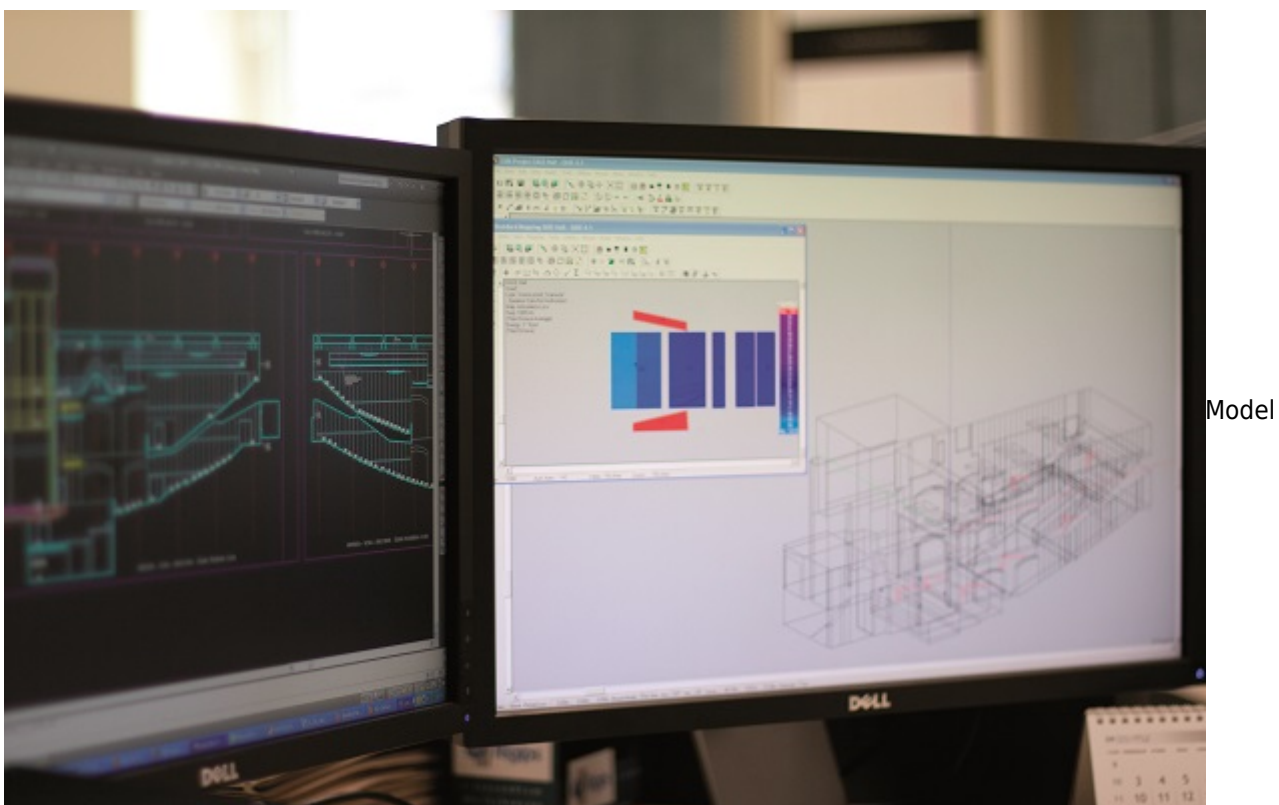
**Interdyscyplinarna dziedzina nauki, jaką jest akustyka, nierozzerwalnie wiąże się z budownictwem. Na etapie powstawania budynku akustykę należy traktować jako branżę projektową, która dzieli się na kilka głównych zagadnień: ochronę budynku i jego pomieszczeń przed hałasem i drganiami, kontrolę emisji hałasu i drgań z budynku do otoczenia, akustykę wewnątrz i elektroakustykę.**

Obowiązek uwzględniania w procesie budowlanym zagadnień akustycznych wynika w polskim prawie z:

- ustawy z dn. 27.04.2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2013 r. poz. 1232, z późn. zm.)
- ustawy z dn. 7.07.1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. z 2010 r. Nr 243, poz. 1623, z późn. zm.)
- rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dn. 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690, z późn. zm.)
- rozporządzenia Ministra Środowiska z dn. 14.06.2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. z 2014 r., poz. 112).

Dokumenty te mają w większości charakter wymogów ogólnych skupiających się na ochronie budynków i środowiska przed hałasem i drganiami.

Szczegółowe wymagania i wytyczne do projektowania w szerszym zakresie branży akustycznej zawierają normy. Dopóki nie zostaną przywołane w ustawie lub rozporządzeniu, ich stosowanie jest jednakże dobrowolne.



i wyniki symulacji akustycznej na potrzeby prac projektowych dla Opery na Zamku w Szczecinie – fot. P. Z. Kozłowski

Do najistotniejszych norm obligatoryjnych, z punktu widzenia projektowania akustycznego budynków, zaliczają się:

- PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania
- PN-B-02151-2:1987 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach – Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach

- PN-B-02170:1985 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki
- PN-B-02171:1988 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wskazuje, że budynki użyteczności publicznej i ich pomieszczenia należy chronić przed drganiami i hałasem zewnętrznym (spoza budynku), drganiami i hałasem pochodzącymi od instalacji i urządzeń stanowiących wyposażenie techniczne budynku, hałasem powietrznym i uderzeniowym bytowym (z innych pomieszczeń budynku) oraz hałasem pogłosowym.

Przepisy prawne w zakresie akustyki skupiają się na bezpieczeństwie – ochronie przed hałasem i drganiami – ze względu na ich ewidentnie szkodliwy wpływ na zdrowie i samopoczucie ludzi oraz na konstrukcję budynków.

Długotrwała ekspozycja organizmu na nadmierny hałas skutkuje nie tylko osłabieniem słuchu. Wskutek narażenia na hałas o poziomie uznanym za bezpieczny dla narządu słuchu, może wystąpić wiele negatywnych skutków fizjologicznych, umysłowych i psychicznych, m.in.:

- reakcja stresowa organizmu
- pobudzenie układu nerwowego (a poprzez niego oddziaływanie na inne narządy i ogólny stan zdrowia, np. podwyższenie ciśnienia krwi)
  - osłabienie motywacji
  - dyskomfort i rozdrażnienie
- wpływ na zachowania społeczne i zdrowie psychiczne.

Przy połączonym oddziaływaniu hałasu i wibracji (którego źródłem może być ruch pojazdów ciężkich) następuje nawarstwienie niekorzystnych efektów. Wówczas nawet poziom równoważny dźwięku A wynoszący 70 dB może, wskutek długotrwałej ekspozycji, wywołać niewielkie upośledzenia słuchu.

Z braku wymogów prawnych, projektowanie budynków w zakresie akustyki wewnątrz i systemów elektroakustycznych opiera się aktualnie na zasadach wiedzy technicznej (z wyjątkiem dźwiękowych systemów ostrzegawczych, których wymóg stosowania w określonych kategoriach budynków jako elementu ochrony przeciwpożarowej został zawarty w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 7.06.2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów, Dz.U. z 2010 r. Nr 109 poz. 719).



Wielk

a Sala Koncertowa NOSPR w Katowicach - zdjęcie z pomiarów akustycznych – fot. P. Z. Kozłowski

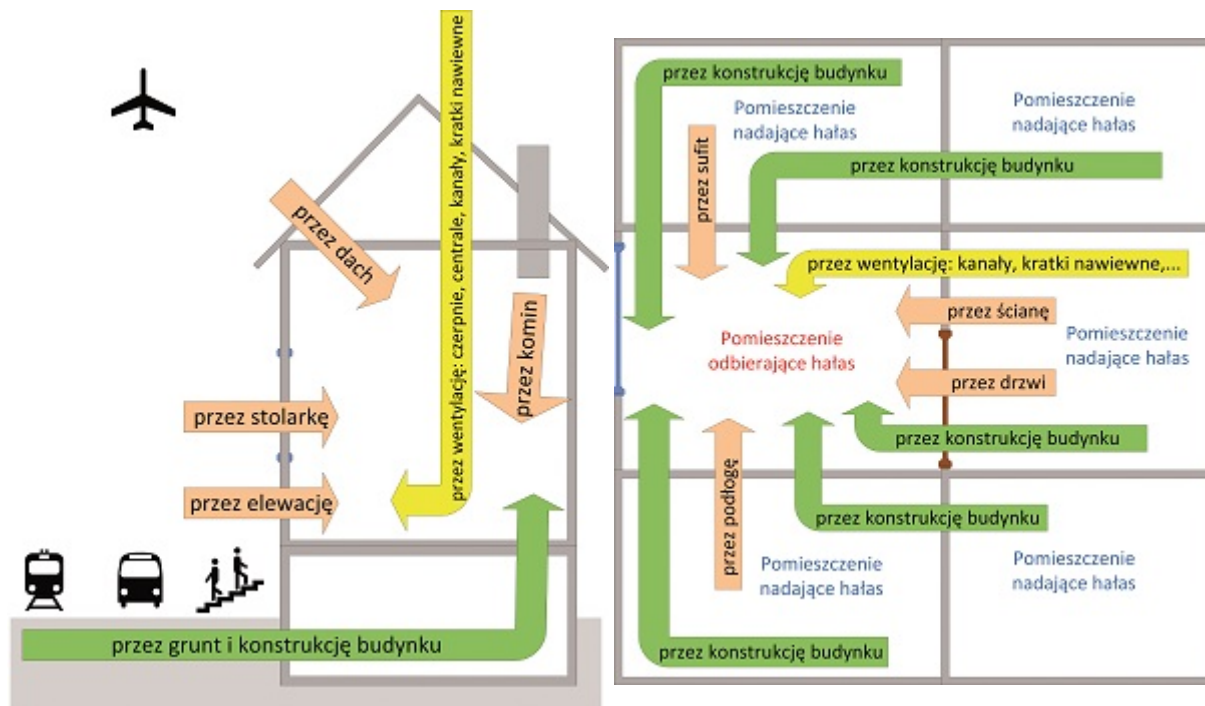
Jednakże właściwości akustyczne wnętrz oraz parametry akustyczne systemów elektroakustycznych także oddziałują na samopoczucie i stan zdrowia użytkowników budynków. Zła zrozumiałość mowy w pomieszczeniach do pracy i nauki, brak przystosowania sal kinowych do odtwarzania mowy i muzyki czy niezapewnienie choćby podstawowego komfortu akustycznego w obiektach sportowych i handlowych, znacząco obniżają jakość użytkowania pomieszczeń.

W ostatnich latach można zaobserwować w zakresie problemów akustycznych wzrost świadomości inwestorów, użytkowników, projektantów i wykonawców obiektów budowlanych oraz ustawodawców – przejawiający się choćby umieszczeniem w rozporządzeniu w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku zapisu dotyczącego konieczności ochrony pomieszczeń przed hałasem pogłosowym (powstającym w wyniku odbić fal dźwiękowych od przegród ograniczających pomieszczenie). Zapis ten stanowi istotny krok ku określeniu wymagań dla parametrów akustycznych wnętrz, które wcześniej nie podlegały w Polsce żadnym regulacjom prawnym. W przyszłości wyżej wymienione rozporządzenie prawdopodobnie przywoła do obligatoryjnego stosowania normy PN-B-02151-4 (Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Wymagania dotyczące czasu pogłosu), która zostanie wkrótce opublikowana.

### Ochrona przed hałasem i drganiami

Projektowanie ochrony przeciwdźwiękowej budynków jest zasadniczym powodem do pojawienia się w zespole projektowym specjalisty ds. akustyki. Punktem wyjścia jest identyfikacja potencjalnych źródeł i dróg propagacji hałasu i drgań.

Możliwe drogi propagacji hałasu zewnętrznego do budynku oraz hałasu wewnętrznego pomiędzy pomieszczeniami przedstawia rysunek nr 1.



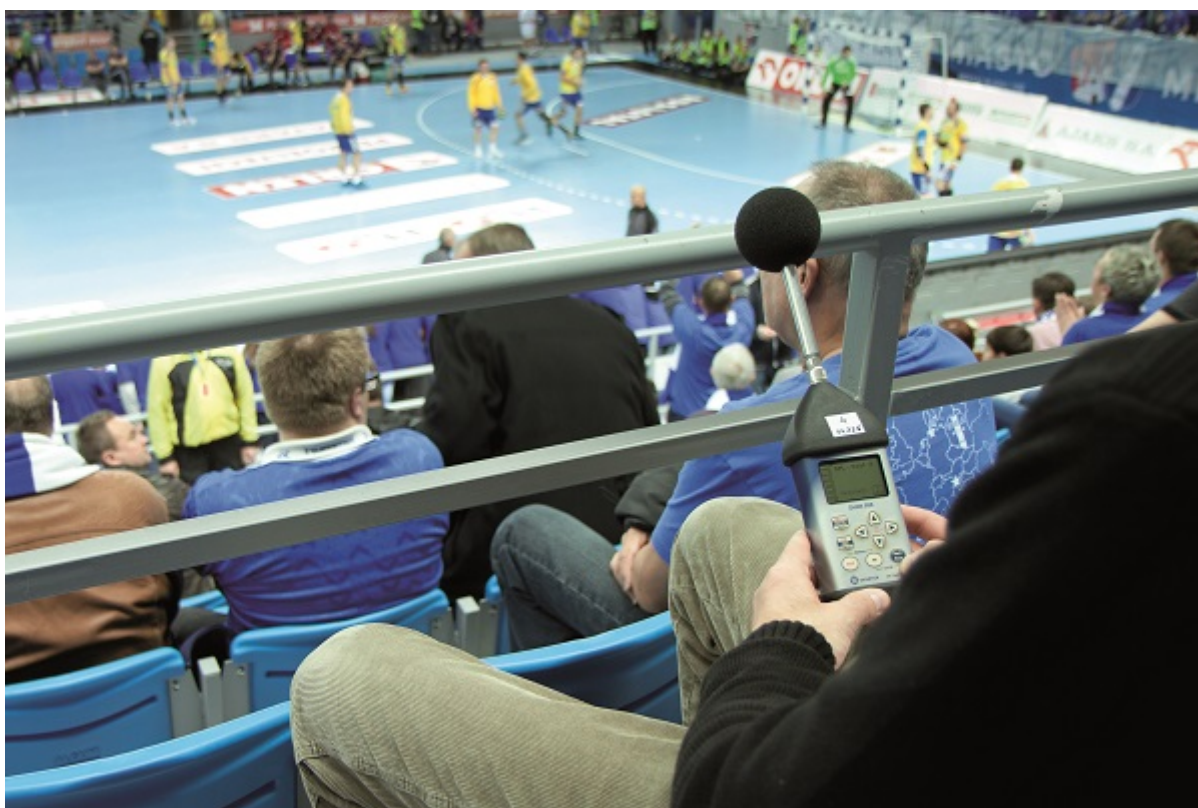
Rys. 1. Drogi przedostawania się hałasu zewnętrznego do pomieszczenia w budynku i hałasu wewnętrznego pomiędzy pomieszczeniami budynku

Zasadniczy mechanizm izolowania przeciwdźwiękowego poszczególnych pomieszczeń wynika z prawa masy, które wskazuje, że izolacyjność akustyczna przegrody budowlanej rośnie wraz z jej masą. Stąd biorą się standardowe problemy z hałasem przechodzącym między pomieszczeniami, które rozdzielone są przegrodami z materiałów lekkich. Niejednokrotnie jednak z uwagi na uwarunkowania konstrukcyjne nie możemy sobie pozwolić na bardzo masywne przegrody. W takich sytuacjach korzysta się z lekkich przegród warstwowych wykorzystujących nieco inne mechanizmy wpływające na wypadkową izolacyjność przegrody. Izolacyjność akustyczna takich przegród wynika m.in. z wielowarstwowości, zachowania odpowiednich proporcji pomiędzy grubościami warstw płyt i pustek powietrznych wypełnionych materiałem



pochłaniającym oraz odpowiedniego dobrania konstrukcji nośnych poszczególnych warstw. Izolacyjność samej przegrody oddzielającej dwa pomieszczenia ma ograniczony wpływ na całkowitą izolacyjność akustyczną pomiędzy tymi pomieszczeniami. Dzieje się tak głównie z uwagi na zjawisko przenikania bocznego, które powoduje, że hałas generowany w jednym pomieszczeniu jest transmitowany do sąsiadujących z nim pomieszczeń poprzez wszystkie przegrody stykające się z przegrodami ograniczającymi to pomieszczenie. Przekazywanie energii pomiędzy powiązаныmi stropami i ścianami jest na tyle skuteczne, że transmisja hałasu odbywa się nie tylko w przypadku pomieszczeń bezpośrednio ze sobą sąsiadujących.

Zagadnienia ochrony przeciwdźwiękowej wpływają na projektowanie i realizację instalacji budynku. Często zapomnianym elementem jest pośrednia transmisja hałasu pomiędzy pomieszczeniami. Efektem standardowego błędu projektowego jest transmitowanie hałasu pomiędzy dobrze odizolowanymi konstrukcyjnie pomieszczeniami poprzez kanały wentylacyjne. Również niedostateczna izolacyjność akustyczna drzwi prowadzących z poszczególnych pomieszczeń na wspólny korytarz może spowodować, że dźwięki pomiędzy pomieszczeniami będą przedostawać się za pośrednictwem takiego korytarza. Istotną drogą przechodzenia hałasu pomiędzy pomieszczeniami są wszelkie nieszczelności przegród – niedostatecznie uszczelnione otwory do prowadzenia instalacji czy szczeliny pod drzwiami.



Orlen

Arena w Płocku - zdjęcie z pomiarów akustycznych – fot. P. Z. Kozłowski

W ramach projektowania ochrony przed hałasem i drganiami wykonuje się szereg różnorodnych pomiarów akustycznych.

Pomiary wstępne pozwalają określić założenia projektowe, np. rozwiązania konstrukcyjne budynku w zależności od poziomu drgań gruntu w lokalizacji posadowienia budynku lub poziomu hałasu w otoczeniu budynku. Takie pomiary są też istotne dla skalibrowania akustycznego modelu obliczeniowego, wykorzystywanego do prognozowania narażenia elewacji projektowanego budynku na hałas.

Pomiary kontrolne jeszcze w czasie trwania budowy dają szansę na wprowadzenie ewentualnych zmian do zastosowanych rozwiązań lub poprawienie wykonania elementów budowlanych. Takim pomiarom mogą również zostać poddane poszczególne elementy budowlane – np. stolarka okienna w celu weryfikacji zgodności parametrów akustycznych z projektem.

Pomiary powykonawcze pozwalają stwierdzić osiągnięcie zamierzonych parametrów (parametrów izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych czy poziomu dźwięku w pomieszczeniach) i zgodność wykonania z projektem.

## **Kontrola emisji hałasu do otoczenia**

W przypadku obiektów użyteczności publicznej głównym źródłem hałasu emitowanego do otoczenia są systemy wentylacyjne i klimatyzacyjne.

Objęcie projektowaniem akustycznym kontroli emisji hałasu może potencjalnie przynieść duże oszczędności finansowe względem konieczności ograniczenia nadmiernej emisji hałasu w już istniejącym budynku.

W ramach projektowania w tym zakresie tworzy się model przestrzeni urbanistycznej, umieszcza w nim modele źródeł akustycznych projektowanego budynku i symuluje sytuację docelową. W przypadku przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu pochodzącego z projektowanego budynku optymalizuje się lokalizacje istotnych źródeł akustycznych i dobiera zabezpieczenia przeciwhałasowe, np. obudowy akustyczne.

## **Akustyka wewnątrz**

Docelowe parametry akustyczne wnętrza są wypadkową prac na wszystkich etapach procesu projektowego i budowlanego. Projektowanie w tym zakresie rozpoczyna się na etapie koncepcyjnym od określenia kubatur pomieszczeń i ukształtowania ich geometrii. Precyzyjne kształtowanie właściwości akustycznych wnętrza realizuje się na kolejnych etapach projektowania poprzez rozplanowanie przestrzenne obszarów funkcjonalnych pomieszczenia, dobór struktury przegród otaczających pomieszczenie i ich wykończenia, dobór i rozmieszczenie adaptacji akustycznej oraz elementów wyposażenia.

Z punktu widzenia akustyki operujemy zasadniczo trzema rodzajami materiałów, zapewniającymi pochłanianie, odbijanie lub rozpraszanie fali akustycznej. Nie ma tu jednak sztywnego podziału – ten sam materiał może odbijać fale akustyczne w pewnym zakresie częstotliwości, podczas gdy w innym zakresie ma właściwości pochłaniające. Z uwagi na dużą rozpiętość długości fal akustycznych nie istnieją uniwersalne materiały działające jednakowo dla pełnego pasma akustycznego. Obok wyboru materiału, na właściwości akustyczne danej okładziny ma wpływ sposób jej obróbki i montażu – odpowiednie perforowanie powierzchni czy tworzenie pustych przestrzeni za okładziną.

Choć w kształtowaniu parametrów akustycznych wnętrza, szczególnie tych o podwyższonych wymaganiach akustycznych jak sale teatralne, widowiskowe czy audytoria, stosuje się często rozwiązania dedykowane danemu pomieszczeniu (projektowane indywidualnie specjalistyczne ustroje akustyczne), podkreślić należy, że adaptacja akustyczna to nie tylko używanie materiałów mających w swojej nazwie słowo „akustyczny”.

Akustykę wnętrza kształtują wszystkie materiały znajdujące się w pomieszczeniu, a kreuje się ją przede wszystkim stosując klasyczne materiały budowlane i wykończeniowe.



Widowiskowo-Sportowa w Kątach Wrocławskich - zdjęcie z pomiarów akustycznych - fot. P. Z. Kozłowski

Docelowe parametry akustyczne pomieszczenia ustala się w zależności od jego przeznaczenia – należy ustalić, czy pomieszczenie jest przeznaczone do pracy i nauki, odbioru mowy czy muzyki, czy przewidziano w nim zastosowanie systemu elektroakustycznego.

Spektrum parametrów akustycznych, których wartości określa się w projekcie i których osiągnięcie można weryfikować pomiarowo i/lub obliczeniowo, jest szerokie. Jednym z najważniejszych parametrów określającym warunki akustyczne panujące w pomieszczeniu jest czas pogłosu (czy też w funkcji częstotliwości – charakterystyka czasu pogłosu). Tym parametrem posługują się nawet najprostsze projekty akustyki wnętrz opracowywane dla pomieszczeń, w których satysfakcjonujące jest osiągnięcie zaledwie elementarnego komfortu akustycznego.

Inne parametry, którymi posługuje się projektant akustyki w projektowaniu i ocenie właściwości pomieszczenia, to m.in.: wskaźnik transmisji mowy (STI, STIPA, RASTI), wartość zrozumiałości według CIS, czas wczesnego zaniku EDT, ITDG (opóźnienie pierwszego odbicia), siła dźwięku G, wskaźnik udziału energii bocznej LEF, wskaźniki przejrzystości  $C_{80}$  lub  $C_{50}$  i wyrazistości  $D_{50}$ .

Wiele parametrów akustycznych pomieszczenia (w tym czas pogłosu) można określić na podstawie pomiarów odpowiedzi impulsowej pomieszczenia.

Na potrzeby kreowania akustyki wnętrz badania akustyczne wykonuje się nie tylko w celu weryfikacji parametrów wnętrza w ramach prowadzenia nadzoru akustycznego. Realizuje się je również na innych etapach procesu projektowo-budowlanego, np. przed rozpoczęciem prac projektowych dotyczących modernizacji istniejącego obiektu lub na zaawansowanym etapie wykończenia pomieszczenia – w celu przeprowadzenia strojenia akustyki wnętrza, czyli doboru ostatecznej konfiguracji adaptacji akustycznej.

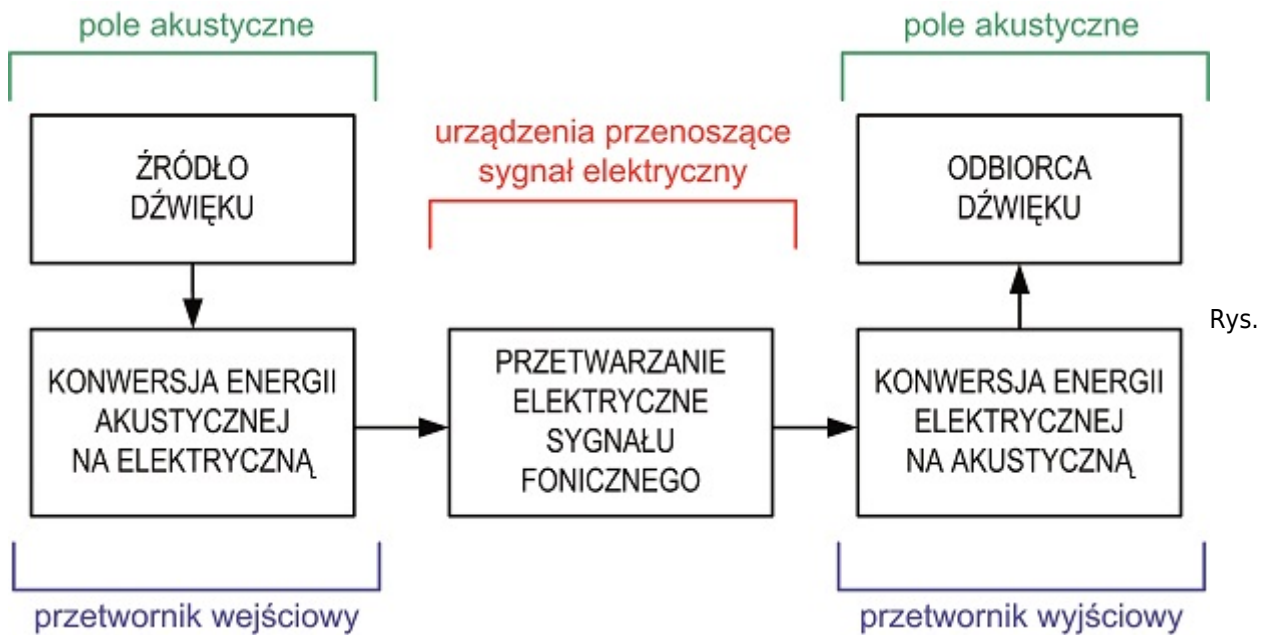
### **Systemy elektroakustyczne**

Dziedzina akustyki obejmuje również systemy elektroakustyczne. W obiektach użyteczności publicznej realizuje się przede wszystkim systemy:

- nagłośnieniowe – we wszelkiego rodzaju pomieszczeniach widowiskowych, audytoryjnych, konferencyjnych, kinowych, w których planuje się elektroakustyczne odtwarzanie muzyki, mowy czy chociażby efektów dźwiękowych towarzyszących mowie/muzyce naturalnej
- telekomunikacyjne – w tym interkomowe
- rozgłoszeniowe – w tym DSO (dźwiękowe systemy ostrzegawcze).

Rysunek nr 2 przedstawia model pojęciowy systemu elektroakustycznego. Coraz więcej obiektów jest na stałe wyposażanych w pomieszczenia studyjne oraz systemy umożliwiające rejestrację wielośladową imprez.

Systemy elektroakustyczne często funkcjonują w połączeniu z systemami prezentacji obrazu, łącznie stanowiąc systemy audiowizualne lub multimedialne.



2. Model pojęciowy systemu elektroakustycznego

Podczas gdy projekt akustyki budowlanej jest często częścią projektów architektury, konstrukcji i instalacji, projekt systemu elektroakustycznego stanowi samodzielny dokument branżowy.

Projekt systemu elektroakustycznego obejmuje następujące elementy:

- określenie wymagań funkcjonalnych, jakościowych i strukturalnych systemu
- dobór i rozmieszczenie zestawów i urządzeń głośnikowych – często w oparciu o symulacje komputerowe z wykorzystaniem trójwymiarowego modelu akustycznego
  - opracowanie schematów blokowych obrazujących wszystkie połączenia pomiędzy przyłączami sygnałowymi, szafami sprzętowymi i urządzeniami
- rozmieszczenia urządzeń, tras kablowych, przyłączy sygnałowych, szaf sprzętowych pokazane na rzutach i przekrojach architektonicznych
  - wytyczne do zasilania elektrycznego systemów lub pełny projekt zasilania elektrycznego
- szczegółowy opis projektowy zawierający zasadę działania systemu, wykaz urządzeń, linii kablowych itp.

Na jakość sygnału akustycznego pochodzącego z systemu elektroakustycznego w danym pomieszczeniu mają wpływ parametry akustyki wnętrza. Te dwa zagadnienia projektowe wiążą się ze sobą ściśle. Na przykład duża pogłosowość pomieszczenia może znacząco pogarszać zrozumiałość mowy nadawanej z systemu elektroakustycznego, mimo że sam system został dobrze zaprojektowany. W przypadku kompleksowych, z punktu widzenia akustyki, projektów do symulacji komputerowych nagłośnienia można wykorzystać te same modele akustyczne, które powstają w ramach projektu akustyki wnętrza.





monia Szczecińska - zdjęcie z pomiarów akustycznych z publicznością – fot. P. Z. Kozłowski

Osiągnięcie założonych parametrów systemu elektroakustycznego weryfikuje się na podstawie pomiarów akustycznych, które można podzielić na pomiary nagłośnienia (poziomu dźwięku, poziomu ciśnienia akustycznego, widma, równomierności pokrycia, zrozumiałości mowy) oraz pomiary samej instalacji elektroakustycznej (symetrii połączeń, tłumienności, skuteczności izolacji).

Pomiary są wykorzystywane także w procesie strojenia systemów nagłośnienia, czyli optymalizowania ustawień parametrów procesorów głośnikowych, wzmacniaczy, zestawów głośnikowych pod kątem danego wnętrza lub przestrzeni.

Projektowanie akustyczne obejmuje nie tylko specjalistyczne, drogie rozwiązania dedykowane obiektom widowiskowym, ale głównie proste do zastosowania wytyczne w zakresie architektury, konstrukcji i instalacji niegenerujące znaczących kosztów, będące niuansami na wczesnym etapie projektowym, natomiast niemożliwe lub drogie przy próbie zastosowania w już istniejących budynkach.

dr inż. Piotr Z. Kozłowski  
Politechnika Wroclawska  
współautor:  
mgr inż. Karolina Czajkowska-Kibler