

dr inż. arch. Andrzej K. Kłosak<sup>1)</sup>

# Zagadnienia akustyczne w projektach budynków użyteczności publicznej

*Acoustical aspects of the design process of public buildings*

DOI: 10.15199/33.2015.08.02

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące akustyki: budowlanej, środowiska i wnętrz na przykładzie kilku wybranych projektów, które miały przyjemność konsultowania w zakresie akustycznym, m.in. właśnie ukończonego budynku Międzynarodowego Centrum Kongresowego w Katowicach (autorstwa JEMS Architekci). Omówiono zakres i rodzaje projektów akustycznych, które powinny zostać wykonane w celu zapewnienia odpowiedniego komfortu akustycznego w projektowanych budynkach. Ponadto na przykładach przedstawiono poprawne rozwiązania akustyczne i skutki pominięcia aspektów akustycznych podczas projektowania. **Słowa kluczowe:** akustyka wnętrz, akustyka budowlana, izolacyjność akustyczna, czas pogłosu.

**Abstract.** Paper discusses building, environmental and room acoustics based on several examples, where author was the acoustical consultant, ie. International Congress Centre in Katowice (architect: JEMS Architekci, Warsaw). Types and scope of acoustical designs required to achieve acoustical comfort was described. Correct and incorrect examples of building design on acoustics were also shown.

**Keywords:** room acoustics, building acoustics, sound insulation, reverberation time.

Celem akustyki w budynkach jest zapewnienie komfortowych warunków akustycznych, dostosowanych do funkcji pomieszczeń oraz sposobów ich wykorzystania przez użytkowników. Akustyka architektoniczna, podobnie jak akustyka budowlana, jest nierozdzielnie związana z projektem architektonicznym obiektu. Konsultant akustyczny nie jest jednak samodzielnym projektantem, a przynajmniej bywa nim bardzo rzadko, dlatego też współpraca i zrozumienie pomiędzy architektem a konsultantem akustycznym są kluczowe do uzyskania odpowiedniego poziomu komfortu akustycznego.

Jednym z powodów opracowania, w ramach Komitetu Technicznego nr 253 ds. Akustyki Architektonicznej, którego jestem członkiem, czwartej części PN-B-02151 [4] dotyczącej akustyki wnętrz, było uczulenie projektantów na istnienie takich właściwości wnętrza jak czas pogłosu czy zrozumiałość mowy, czego przykładem mogą być Dźwiękowe Systemy Ostrzegawcze (DSO). Uwzględnienie w projektach wnętrz wymagań dotyczących czasu pogłosu zawartych we wspomnianej normie pozwala

ła m.in. uzyskać poziom zrozumiałości komunikatów ostrzegawczych DSO wymagany odrębnymi przepisami. W artykule przedstawiono najważniejsze powiązania pomiędzy architekturą a akustyką występujące w budynkach. Zilustrowano je przykładami projektów i realizacji, w których uczestniczyłem jako konsultant akustyczny. Omówienie tych relacji wydaje się istotne również z tego powodu, że im na wcześniejszym etapie projektowania rozpocznie się współpraca architekta i akustyka, tym większa jest szansa na spójne połączenie architektonicznej formy i akustycznej funkcji.

Główne relacje pomiędzy architekturą a akustyką, występujące w projektowanych obiektach, można podzielić na cztery grupy:

- wpływ akustyki na układ funkcjonalny pomieszczeń w budynku;
- wpływ akustyki na konstrukcję budynku;
- wpływ akustyki na instalacje w budynku;
- wpływ akustyki na wnętrza budynku.

## Wpływ akustyki na układ funkcjonalny pomieszczeń w budynku

W tym przypadku należy na jak najwcześniejszym etapie projektu rozważyć wspólnie z akustykiem lokalizację

pomieszczeń głośnych w stosunku do pomieszczeń chronionych. Pozwala to uniknąć później znacznych kosztów, np. wykonania zabezpieczeń pomieszczeń głośnych w zakresie izolacyjności akustycznej. Przedstawię to na przykładzie jednego z projektów budynków biurowych, gdzie kontakt z akustykiem nastąpił dopiero na etapie projektu wykonawczego. Pomieszczenia techniczne z głośnymi źródłami hałasu (ok. 100 dBA) zostały zlokalizowane bezpośrednio nad kondygnacją biurową. Wcześniejsza współpraca architekta z akustykiem mogłaby zaowocować lokalizacją głośnych pomieszczeń np. na najniższym poziomie garażu albo sformułowaniem wytycznych dla projektantów wentylacji dotyczących maksymalnego poziomu emisji hałasu od urządzeń. Takie działanie pozwoliłoby uniknąć konieczności pogrubienia stropów pod pomieszczeniami technicznymi (do 30 cm), zwiększenia grubości warstw w podłogach pływających (wełna mineralna 15 cm + płyta wylewki 10 cm) oraz obłożenia ścian od wewnątrz płytami gipsowo-kartonowymi z dodatkową warstwą materiału dźwiękochłonnego, bez pewności, że zastosowane rozwiązanie zapewni komfort użytkownikom pracującym bezpośrednio pod pomieszczenia-

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Architektury; archAKUSTIK, Kraków; e-mail: aklosak@pk.edu.pl

mi technicznymi. W innym projekcie, brak zasięgnięcia rady akustyka i zlokalizowanie wentylatorni zaraz przy sali widowiskowej spowodowały konieczność zmiany central wentylacyjnych na bardzo drogie, najcichsze dostępne na rynku, a zbyt mała odległość między centralami a salą spowodowała, że zabrakło miejsca na zamontowanie efektywnych tłumików na czerpniach i wyrzutniach powietrza w sali. Ponadto, pokrycie dachu lekkimi płytami warstwowymi ze styropianem jako materiałem izolacji termicznej spowodowało ryzyko przenikania dźwięku z centrali przez dach do wnętrza sali. W efekcie konieczne było zastosowanie dodatkowych okładzin dźwiękoizolacyjnych pod dachem sali wzdłuż pomieszczenia wentylatorni.

### Wpływ akustyki na konstrukcję budynku

Wpływ akustyki na konstrukcję budynku oznacza, że obciążenie użytkowe stropów międzykondygnacyjnych nie jest jedynym elementem, który wpływa na ich grubość, np. na parterze budynku biurowego zaprojektowano pomieszczenia usługowe, a na wyższych kondygnacjach biura. Z konstrukcyjnego punktu widzenia, strop pomiędzy parterem a pierwszym piętrzem niczym się nie różni od stropów wyższych kondygnacji, gdyż poddany jest identycznym obciążeniom użytkowemu. W przypadku typowej kondygnacji biurowej zakładane zwykle obciążenie użytkowe wynosi  $3 \text{ kN/m}^2$ . Z tego powodu konstruktor zastosował płyty żelbetowe identycznej grubości (20 cm) jako stropy międzykondygnacyjne, ponieważ z nadkładkiem wytrzymują to obciążenie. Niemniej jednak pomieszczenia usługowe zlokalizowane na parterze docelowo mogą być wynajęte np. na klub fitness z głośną muzyką, a w efekcie wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych stropu oddzielającego usługowy parter od biur pierwszego piętra będą zupełnie inne niż stropów oddzielających od siebie kondygnacje biurowe położone wyżej. Oznacza to, że z przyczyn akustycznych (a nie konstrukcyjnych) strop nad parterem powinien mieć znacznie większą grubość, aby jego masa powierzchniowa zapewniła odpowiednią izolacyjność akustyczną, zgodnie z zasadami tzw. prawa masy (im większa

masa powierzchniowa, tym wyższa izolacyjność od dźwięków powietrznych).

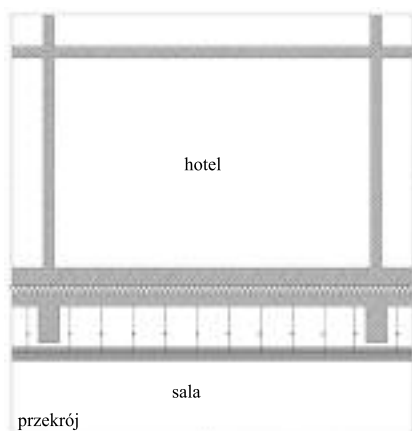
Jak trudne i kosztowne są późniejsze zmiany w konstrukcji budynku w celu spełnienia wymagań akustycznych, mogą świadczyć np. projekty studiów fitness, które konsultuję akustycznie dla jednej z międzynarodowych firm. Przy wyborze lokalizacji nowego studia fitness podstawowym kryterium są względy pozabudowlane (lokalizacja, dojazd, otoczenie). Przykładowo, jedno ze studiów fitness w Poznaniu miało być zlokalizowane na parterze budynku biurowego. Analizy i badania akustyczne zlecone przez inwestora wykazały, że izolacyjność akustyczna żelbetowych stropów płytowych grubości 28 cm jest dosyć duża ( $D_{n,TA1} \geq 60 \text{ dB}$ ) i po niewielkich zabiegach spełni wymaganie  $R'_w + C \geq 65 \text{ dB}$ . Natomiast wartość ta drastycznie zmniejszyła się w pobliżu elewacji, gdzie  $D_{n,TA1} \geq 47 \text{ dB}$ . Dokładniejsze analizy wykazały, że najprawdopodobniej główną przyczyną jest źle wykonana pod względem akustycznym fasada szklana z profili aluminiowych. Wbrew pozorom nie chodziło o izolacyjność akustyczną fasady od dźwięków powietrznych (gdyż ta była wystarczająca), ale o wzdłużne przenoszenie dźwięku. Podwodem takiego stanu rzeczy był m.in. brak „czopów” z wełny mineralnej mocowanych zwykle na końcach poszczególnych odcinków słupów i rygli takich fasad oraz sztywne mocowanie pionowych słupów przez jeden wspólny łącznik stalowy do stropów poszczególnych kondygnacji. Te błędy powodowały przenoszenie dźwięku wzdłuż fasady pomiędzy kondygnacjami. Stojąc w pobliżu słupka fasady na wyższych kondygnacjach, można było wyraźnie usłyszeć dźwięki emitowane przez głośnik ustawiony na parterze. Przy spodziewanych poziomach dźwięku w studiu fitness (dużo wyższych niż w typowym biurze, wynoszących zwykle  $80 - 100 \text{ dB (A)}$ ), muzykę wyraźnie słyszano by w biurach na wyższych kondygnacjach. Naprawa fasady była zbyt droga oraz powodowała utratę na nią gwarancji wykonawcy (!). Jednocześnie, kluczowy z architektonicznego punktu widzenia był niezaburzony dostęp światła słonecznego do wnętrza studia i możliwość obserwacji otoczenia przez osoby ćwiczące. Z tego powodu, rozwiązanie, które zostało za-

proponowane, a następnie zrealizowane, obejmowało wybudowanie wewnątrz planowanego studia fitness, w odległości 100 cm równoległe do istniejącej fasady, ścian przeszklonych o podwyższonej izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych. Przez odpowiednie zaprojektowanie styku tych ścian z istniejącą podłogą podniesioną oraz zastosowanie materiału dźwiękochłonnego pomiędzy szklanymi ścianami w celu ograniczenia pogłosu i maksymalizacji izolacyjności akustycznej, osiągnięto zamierzony efekt, oddzielając źródło dźwięku (w tym przypadku muzykę ze studia fitness) od wadliwej fasady.

W innym projektowanym budynku, hotelu na Podhalu, projektant bezpośrednio pod częścią hotelową zaplanował salę koncertową, gdzie miała być grana muzyka rockowa. Z akustycznego punktu widzenia pomysł lokalizowania pomieszczeń chronionych jak pokoje hotelowe (w których dopuszczalny hałas w porze nocnej nie powinien przekraczać  $25 \text{ dBA}$ ), bezpośrednio nad pomieszczeniami głośnymi (o spodziewanym poziomie dźwięku rzędu  $115 \text{ dBA}$ ) jest niedopuszczalny. Niemniej można próbować ograniczyć transmisję dźwięku do pomieszczeń chronionych, ale wymaga to olbrzymiej ingerencji w konstrukcję budynku: część hotelową należałoby w pełni oddzielić od części koncertowej, opierając hotel na stropie sali przez warstwy wibroizolacyjne. Ponadto w celu ograniczenia transmisji dźwięków o niskiej częstotliwości, pod stropem należałoby zamontować wielowarstwowy sufit dźwiękoizolacyjny z płyt gipsowo-kartonowych, odsunięty od stropu co najmniej  $80 - 100 \text{ cm}$  (rysunek 1).

### Wpływ akustyki na instalacje w budynku

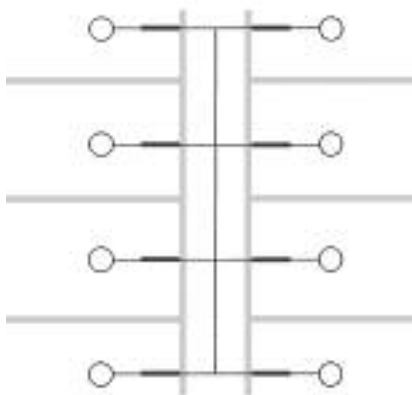
Wpływ ten jest zwykle dostrzegalny dopiero na budowie, i to w odwrotnej relacji: instalacje wentylacyjne, najczęściej o znacznych przekrojach kanałów, przebijają ściany pomiędzy pomieszczeniami chronionymi, powodując zmniejszenie izolacyjności akustycznej ścian, a co za tym idzie brak możliwości spełnienia wymagań w zakresie izolacyjności akustycznej ścian bez konieczności przebudowy całego systemu wentylacji. Poprawny układ



Rys. 1. Przykład ograniczenia transmisji dźwięków powietrznych z sali koncertowej, w której ma być grana muzyka rockowa, do zlokalizowanego nad nią hotelu – opis rozwiązania w artykule

Fig. 1. Example of possible reduction of airborne sound transmission from rock concert hall to hotel above

kanałów wentylacyjnych powinien być zaprojektowany w taki sposób (rysunek 2), aby wszystkie kanały prowadzone były w ogólnodostępnych korytarzach, a wejścia do poszczególnych pomieszczeń zostały wyposażone w tłumiki akustyczne o odpowiedniej długości i tłumieniu. Niestety, bardzo często z uwagi na ograniczenia wysokości pomieszczeń i szerokości korytarzy, kanały wentylacyjne prowadzone są w poprzek pomieszczeń, równoległe do korytarzy, co powoduje przenikanie hałasu pomiędzy pomieszczeniami.



Rys. 2. Poprawny schemat systemu wentylacji zapobiegający przenikaniu hałasu pomiędzy pomieszczeniami oraz z korytarza. Na wlotach do każdego z pomieszczeń zaznaczono tłumiki akustyczne (grubą czarną linią); w celu uproszczenia pokazano tylko wentylację nawiewną

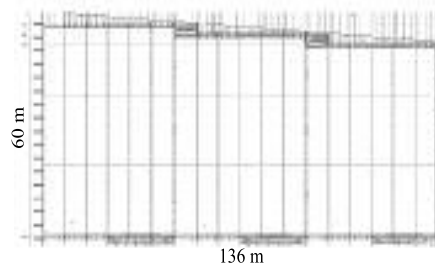
Fig. 2. Correct layout of HVAC system in office building (dampers shown in bold line)

Kwestie instalacyjne (zwłaszcza wentylacji i klimatyzacji) oraz przeciwpożarowe wpływają często w negatywny sposób na rozwiązania akustyczne. Brak konsultanta ds. akustyki w zespole projektowym oraz niestety brak świadomości wśród projektantów branżowych o akustycznych aspektach projektowanych przez nich instalacji powoduje często przyjęcie na etapie projektu takich koncepcji systemu wentylacji, który nie pozwala na późniejsze spełnienie wymagań akustycznych. Przykładem niech będzie jeden z projektów, w którym projektanci wentylacji przyjęli następujące rozwiązanie: nawiew do pomieszczeń biurowych odbywał się przez kanały doprowadzone do każdego z pomieszczeń, natomiast wywiew został poprowadzony w korytarzach zlokalizowanych wzdłuż pomieszczeń biurowych. W celu umożliwienia przepływu powietrza z biur w stronę korytarzy przewidziano, we wszystkich drzwiach prowadzących z korytarzy do biur, kratki wentylacyjne. Z uwagi na wymagania przeciwpożarowe zostały one wykonane jako pęczniące. Niestety, jak się okazało w trakcie wyboru dostawcy, takie drzwi nie mają praktycznie żadnej izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych (a wymagania są jasno określone w aktualnej PN-B-02151-3) [3]. W opisanym przypadku utrzymanie koncepcji wentylacji przy jednoczesnym spełnieniu wymagań akustycznych jest nieosiągalne. Wymagania projektu wentylacji i minimalnej powierzchni czynnej kratki wentylacyjnej stoją w bezpośredniej sprzeczności z wymaganiami akustycznymi i koniecznością ograniczenia tej powierzchni, aby zapobiec przenikaniu dźwięku. Być może istniała możliwość przeniesienia kratki z drzwi na ściany, i przez to zwiększenia grubości samych kratki, a co za tym idzie umożliwienia zastosowania tłumików ścian zewnętrznych), ale na późnym etapie projektu tak dużej zmiany nie można było wprowadzić. Poza tym, izolacyjność nawet najlepszych nawietrzaków jest zwykle dosyć mała, a przepływ powietrza – ograniczony. Nie oznacza to, że koncepcja nawiewu w biurach i wywiewu przez przyległy korytarz jest niemożliwa do poprawnego rozwiązania pod względem akustycznym. Wymaga to jednak szcze-

gółowej analizy na etapie projektu, uwzględniającej czynniki wentylacyjne, ochrony pożarowej i izolacyjności akustycznej oraz, co zwykle najbardziej istotne, konsekwencje dotyczące estetyki wnętrza i całkowitego kosztu wykonania.

## Wpływ akustyki na wnętrza w budynku

Wpływ akustyki na wnętrza w budynku można zaobserwować np. w projekcie otwartego Międzynarodowego Centrum Kongresowego w Katowicach (MCK). W budynku znalazło się kilka pomieszczeń, w których akustyka jest istotna. Pierwsze to sala wielofunkcyjna (rysunek 3, fotografia 1) przeznaczona wyłącznie na imprezy, koncerty i spotkania z wykorzystaniem nagłośnienia. Z uwagi na olbrzymią kubaturę (ponad 100 tys. m<sup>3</sup>) oraz duże wymiary (136 x 60 x 12 m; 8000 m<sup>2</sup> powierzchni) poprawne rozwiązanie jej akustyki było kłopotliwe. Zwłaszcza że z przyczyn funkcjonalnych (trwałość) najniższy pas ścian wokół sali musiał być wykonany z betonu. Jakikolwiek nawet pojedyncze odbicie dźwięku od ściany w tak dużym pomieszczeniu



Rys. 3. Sala wielofunkcyjna w Międzynarodowym Centrum Kongresowym w Katowicach; projekt: JEMS Architekci, Warszawa; konsultacje akustyczne A. Kłosak, archAKUSTIK

Fig. 3. Plan of Multipurpose hall in International Congress Centre in Katowice (MCK)



Fot. 1. Wnętrze oddanej do użytkowania sali wielofunkcyjnej w projekcie MCK w Katowicach

Photo 1. Finished Multipurpose hall in MCK, Katowice

generuje opóźnienie rzędu prawie sekundy i może być słyszalne jako wyraźne echo. Aby temu przeciwdziałać, wszystkie ściany (od wysokości 2,5 m) oraz sufit zostały pokryte materiałem dźwiękochłonnym. Na większości ścian, w celu zwiększenia ich chłonności w całym zakresie częstotliwości, materiał dźwiękochłonny został odsunięty o ok. 60 cm od znajdujących się za nim ścian żelbetonowych. Dodatkowo, dolny betonowy pas wokół ścian został zaprojektowany z prefabrykatów betonowych o mocno pofalowanej powierzchni (rysunek 4, fotografia 2), dzięki czemu uzyskano maksymalne rozpraszanie dźwięku i ograniczenie słyszalnych odbić od tych ścian. Sala może być dzielona na trzy mniejsze odpowiednio dobranymi ścianami przesuwными o dużej izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych ( $R'_{A1} = 45$  dB) oraz dźwiękochłonnej powierzchni ( $\alpha_w = 0,50$ ) pokrytej materiałem dźwiękochłonnym w postaci płyt perforowanych. Wszystkie te działania przyczyniły się do uzyskania bardzo komfortowych warunków akustycznych. Czas pogłosu sali wielofunkcyjnej zmierzony podczas pierwszej imprezy organizowanej w MCK wynosił

ok. 1 s w całym paśmie częstotliwości. Pozwoliło to m.in. na dobre odseparowanie nagłośniania poszczególnych stoisk od siebie oraz uzyskanie bardzo dobrej zrozumiałości mowy z niezależnych systemów nagłaśniających poszczególne strefy targów.

Kolejne pomieszczenie w MCK, w którym wpływ akustyki jest również widoczny, to Audytorium (rysunek 5).



**Rys. 5. Audytorium w MCK**

*Fig. 5. Auditorium hall in MCK, Katowice*

Koncepcja przestrzenna zakładała pomieszczenie o kubaturze ok. 5 000 m<sup>3</sup>, nieregularnych, asymetrycznych ścianach i suficie, mieszczące ok. 600 słuchaczy. W celu spełnienia wytycznych przestrzennych oraz wytycznych dotyczących czasu pogłosu uzgodniono z projektantem, że jako materiał na wykończenie ścian i sufitu zostanie zastosowana siatka cięto-ciągniona z zamocowaną na jej spodzie warstwą mate-

styki przez architekta. Czasami nieźmiernie trudno jest dobrać taki materiał czy rozwiązanie, aby zapewniając komfort akustyczny użytkownikom, sprostać minimalistycznym potrzebom estetycznym twórcy projektu. Ostateczna decyzja zawsze należy do architekta. Znajomość istniejących w budynkach relacji pomiędzy architekturą a akustyką może pomóc w na-

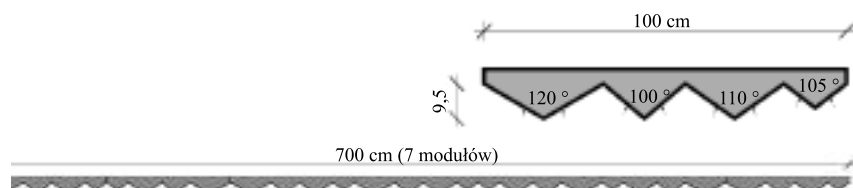
wiązaniu konstruktywnego dialogu architekta z konsultantem akustycznym i sprawić, że akustyka stanie się istotnym elementem kształtowania klimatu architektonicznego w budynkach. Dzięki temu zyska architektura i użytkownicy.

*Fotografie – archiwum Autora*

## Literatura

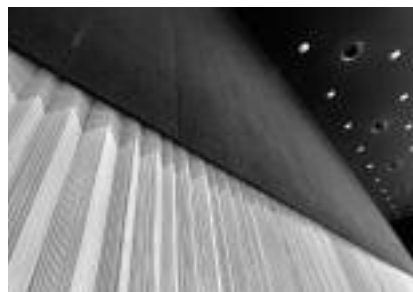
- [1] PN-B-02151-2:1987 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
- [2] PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania.
- [3] prPN-B-02151-3:2015 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania. – projekt aktualizacji normy.
- [4] PN-B-02151-4:2015 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań.
- [5] DIN 4109:1989-11, Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise.
- [6] Instrukcja ITB 369/2002: Właściwości dźwiękoizolacyjne przegród budowlanych i ich elementów. ISBN 83-7321-847-5.
- [7] Hull, R. 2001. „Survey of intensity levels of music in health clubs across the United States. Data collection – unpublished”. Wichita State University, Wichita.
- [8] IDEA Health and Fitness Association, 2001, „Recommendations for Music Volume in Fitness Settings”.

*Przyjęto do druku: 07.07.2015 r.*



**Rys. 4. Przekrój poziomy przez modułarny, prefabrykowany element betonowy (górną) oraz układ 7 modułów (dół), którymi pokryto dolny pas ścian, służący rozproszeniu dźwięku i ograniczeniu echa (sala wielofunkcyjna, Międzynarodowe Centrum Kongresowe w Katowicach)**

*Fig. 4. Section through sound diffusing, prefabricated element (MCK Katowice)*



**Fot. 2. Sala wielofunkcyjna w MCK w Katowicach – widok na okładzinę dźwiękochłonną z płyt z wełny drzewnej oraz betonowy element rozpraszający dźwięk**

*Photo 2. Sound absorbing wall cladding (upper part) and sound diffuser (lower part) in Multipurpose hall in MCK, Katowice*

riału dźwiękochłonnego. Badania wykonane w Zakładzie Akustyki ITB potwierdziły bardzo wysoki stopień chłonności akustycznej tak wykonanego ustroju w całym paśmie częstotliwości (125-4 kHz). Czas pogłosu w sali zaprojektowano na poziomie ok. 0,5 s, co pozwoliło na bezproblemowe dobranie systemu nagłośnienia.

## Podsumowanie

Znalezienie rozwiązania, które spełnia funkcjonalne potrzeby i jednocześnie wpisuje się w architektoniczną wizję obiektu, wymaga wiedzy, doświadczenia, a co najważniejsze zrozumienia potrzeby uwzględnienia aku-