



Anna Sygulska*

Modyfikacje przestrzenne sceny teatru operowego na potrzeby koncertu

Spatial modifications of the stage of the opera house for the needs of a concert

Wprowadzenie

Do adaptowania sceny operowej na potrzeby koncertu stosuje się zabudowę sceny muszlą koncertową. W teatrach operowych wykorzystuje się ją, gdy prezentowana jest wersja koncertowa spektaklu operowego albo podczas recitalu czy gali operowej, gdy soliści i orkiestra występują na scenie. Na ilustracji 1 pokazano schematyczny przekrój typowej sali operowej i typowej sali koncertowej. Scena operowa jest typem sceny pudełkowej, w kształcie prostopadłościanu, przypomina pudło z wyciętym otworem, przez który widzowie obserwują akcję sceniczną. Tworzy odrębną przestrzeń w stosunku do audytorium. Natomiast estrada sali koncertowej wraz z audytorium znajdują się w tej samej przestrzeni.

Scena sali operowej nie spełnia wymagań stawianych salom koncertowym – potrzebne są modyfikacje architektoniczne, aby ją przystosować. Wraz z nadsceniem stanowi ona bardzo dużą przestrzeń. Kubatura nadscenia w stosunku do kubatury audytorium jest znacznie większa. Proporcje nadscenia do audytorium są różne np.: Grand Theatre de Bordeaux – 2,9; Magyar Állami Operaház w Budapeszcie – 1,93; Festspielhaus w Bayreuth – 2,8; Teatr Wielki w Poznaniu – 2,26. Umieszczenie orkiestry na pustej scenie dałoby efekt rozproszenia dźwięku w nadsceniu, mogłoby również wywołać inne niekorzystne efekty akustyczne, np. echo. Ponadto optymalne wartości parametrów akustycznych dla sal koncertowych są

Introduction

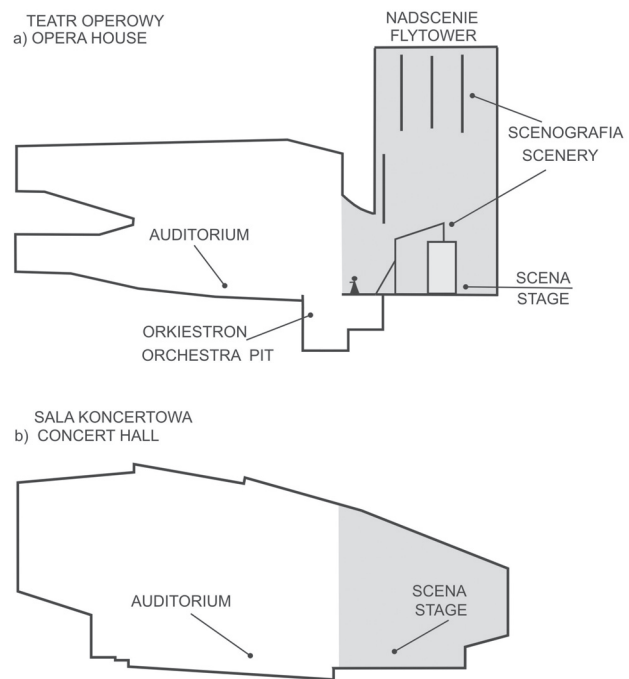
In order to adapt the opera stage for the needs of a concert, one applies the orchestra shell. In opera houses, it is applied either when a concert version of an opera spectacle is staged or during a recital or an opera gala when soloists perform on the stage to the accompaniment of the orchestra. Figure 1 shows the schematic longitudinal section of a typical opera house and of a typical concert hall. The opera stage is the proscenium stage (also known as the picture frame stage); therefore, it is a stage resembling a box with a cut-out large opening (the proscenium arch), through which spectators watch stage action. It creates a space separated from the auditorium, whereas in the concert hall the stage and the auditorium are in the same space.

The stage of the opera house is not suitable for the needs of a concert; therefore, architectural modifications are required in order to adapt the stage to meet these needs. The stage of the opera house alongside the flytower form a very huge space. The cubature of the flytower is much bigger by comparison with the cubature of the auditorium. The ratios of the flytower to the auditorium differ, e.g. Grand Theatre de Bordeaux – 2.9; Magyar Állami Operaház in Budapest – 1.93; Festspielhaus in Bayreuth – 2.8; Teatr Wielki (Grand Theatre) in Poznań – 2.26. The placement of the orchestra on an empty stage would result in sound diffusion in the flytower. Moreover, the optimal values of acoustic parameters for concert halls differ from those for opera halls, e.g. the recommended reverberation time RT for the opera is 1.3–1.6 s, whereas for the concert it is 1.7–2.1 s. In order to adapt acoustic conditions of the opera house for the needs of a concert, one encloses the stage. The enclosure joins the stage and the auditorium

* Wydział Architektury Politechniki Poznańskiej/Faculty of Architecture, Poznan University of Technology.

inne niż dla sal operowych, przykładowo zalecany czas pogłosu RT dla opery wynosi 1,3–1,6 s, natomiast dla koncertu 1,7–2,1 s. Aby dostosować warunki akustyczne opery, wykorzystuje się zabudowę, która łączy przestrzeń sceny z przestrzenią widowni i tworzy warunki podobne do występujących w salach koncertowych [1]. Wieża sceniczna zostaje odcięta, aby scena wraz z audytorium stanowiła jedną przestrzeń. Zostaje również przykryty kanał orkiestrowy (il. 2b), dzięki czemu źródło dźwięku w postaci osoby śpiewaka lub instrumentów jest przesunięte bliżej publiczności. Muszla koncertowa jest potrzebna do zapewnienia dobrych warunków akustycznych dla muzyków na scenie. Wpływa ona także na zmiany parametrów akustycznych na widowni. Odbicie dźwięku wewnątrz zabudowy oraz rozproszenie dźwięku od powierzchni jej ścian sprawia, że dźwięk na widownię dociera wymieszany i jednolity. Odpowiednio zaprojektowana muszla koncertowa musi zatem spełniać wymogi architektoniczne i akustyczne.

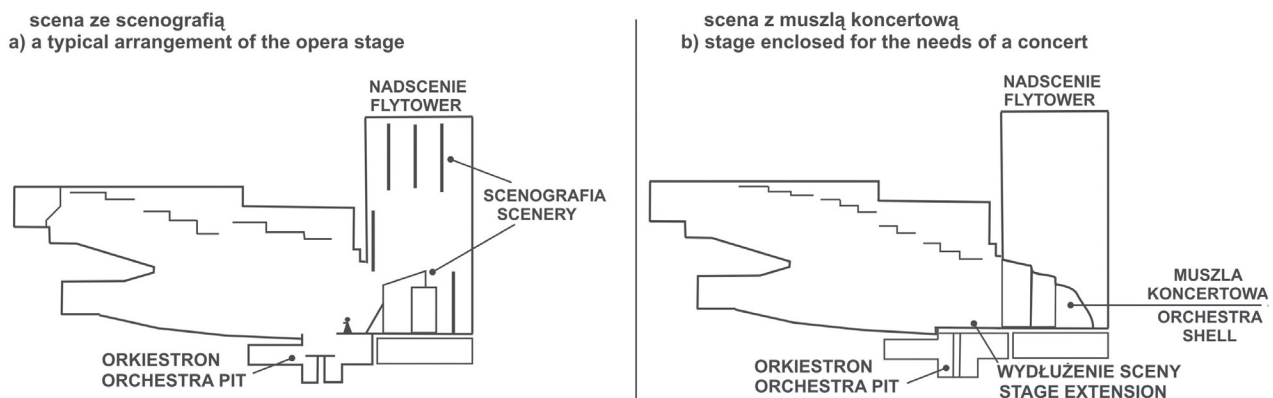
Omawiana problematyka była analizowana przez wielu autorów. Przede wszystkim należy tu wymienić pracę Bradleya [3], w której przedstawiono pomiary parametrów akustycznych dla różnych typów zabudowy sceny. Analizowano trzy duże sale, w których zastosowano muszle koncertowe o różnej architekturze, a także wykonano pomiary na widowni dla sceny pustej i zabudowanej. Warto również wspomnieć o dwóch pracach, których autorami są Farina, Fausti i Pompoli [1], [4]. Poruszono w nich problematykę konstrukcji muszli koncertowej w Teatro Comunale w Cagliari. Fausti i Prodi omówili projekt nowej muszli koncertowej w Operze Romo Valli w Reggio Emilia [5]. Natomiast Orłowski w pracy [6] opisał przystosowanie sali Milton Keynes Theatre. W projekcie poza wprowadzeniem muszli koncertowej został zastosowany ruchomy sufit nad widownią. Z kolei w pracy [7], której autorami są Cocchi, Garai i Tavernelli, przedstawiono proces projektowania muszli koncertowej przy użyciu programu komputerowego. Zagadnienia adaptacji sali operowej na potrzeby koncertu prezentują również książki Beranka [8], Egana [9] i Izenoura [10].



Il. 1. Przykładowy teatr operowy i sala koncertowa – schemat ukazujący różnice przestrzenne (oprac. autorki)

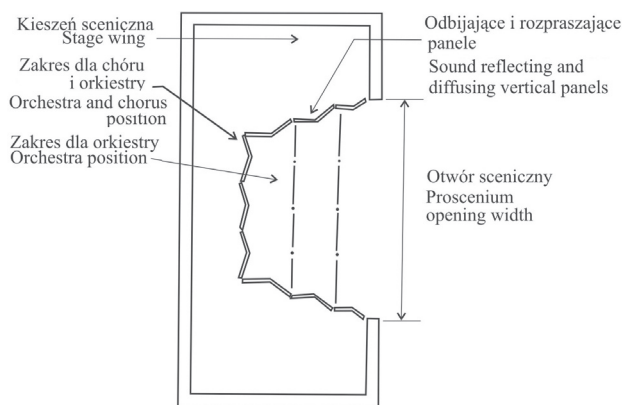
Fig. 1. An exemplary opera house and a concert hall – the scheme shows spatial differences (drawn by the author)

together so as to create conditions similar to those existing in concert halls [1]. The flytower is cut off so that the stage forms one space alongside the auditorium. Also, the orchestra pit is covered (Fig. 2b), by means of which the sound source (a singer or musical instruments) is shifted towards the audience. The orchestra shell is also needed to provide good acoustic conditions for musicians on the stage. Moreover, it has an influence on the change in acoustic parameters in the auditorium. The sound reflection within the enclosure as well as sound diffusion from the surface of its walls enable the sound to reach the audience well-blended and uniform. A duly designed orchestra shell has to meet architectural and acoustic requirements.



Il. 2. Przekrój podłużny: a) typowa aranżacja sceny operowej, b) scena zabudowana na potrzeby koncertu (na podstawie [2])

Fig. 2. The longitudinal section: a) typical arrangement of the opera stage, b) stage enclosed for the needs of a concert (on the basis of [2])



Il. 3. Rzut ukazujący przykład aranżacji sceny muszlą koncertową (na podstawie [9])

Fig. 3. The view shows an exemplary arrangement for a stage with an orchestra shell (on the basis of [9])

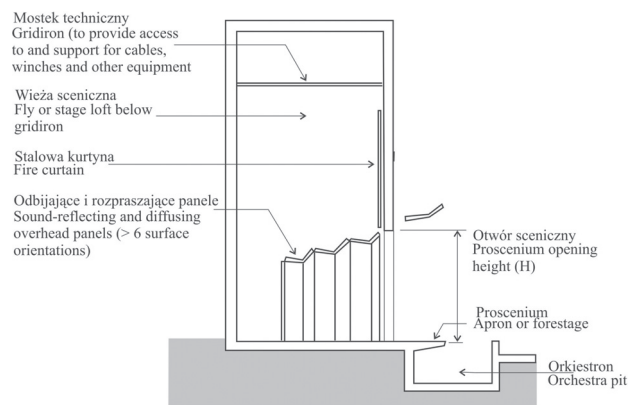
Wymogi architektoniczne stawiane muszłom koncertowym

Muszla koncertowa swoją wielkością dostosowana jest do liczności muzyków biorących udział w koncercie. Pełen skład osobowy przewiduje udział orkiestry, chóru i solistów. Na ilustracji 3 pokazane są trzy możliwe warianty położenia tylnej ściany muszli w zależności od typu produkcji muzycznej (pełen skład osobowy, sama orkiestra lub recital kilku muzyków). Na ilustracji 4 na przekroju pokazano elementy nadscenicy i muszli koncertowej¹. Nadscenica pełni różne funkcje. Znajdują się tam liczne galerie, pomosty, windy, mostki oświetleniowe, a w większych teatrach otwarte pomieszczenia do przechowywania dekoracji. Jest to jednak przestrzeń, w której przede wszystkim mieści się scenografia podwieszona linami do sztankiet (sztankiety – belki nad sceną do podwieszenia dekoracji). Sztankiety z podwieszoną dekoracją przemieszczają się od powierzchni sceny do poziomu stropu technicznego [11].

Muszla koncertowa może być zaprojektowana jako zwarta zabudowa (Salle Wilfrid Pelletier w Montrealu i Eastman Theatre w Nowym Jorku) bądź z paneli dostawianych do siebie (Opera of the National Arts Centre w Ottawie i Alberta Jubilee Auditorium w Albercie). Muszle koncertowe odcinają nadscenicy lub włączają ją w przestrzeń audytorium (il. 5). W przypadku gdy szczeliny w muszli koncertowej łączą wieżę sceniczną z audytorium, usuwa się wiszące tam elementy scenografii, a przestrzeń tę traktuje się jak komorę pogłosową.

Projektując muszlę koncertową, należy wziąć również pod uwagę styl wnętrza sali teatru operowego. Dobre rozwiązania zapewniają jedność stylu. Jest to ważne zagadnienie, gdyż wielokrotnie koncerty odbywają się przy

¹ O tym, że w teatrze występuje nadscenica, zwane inaczej sznurownią lub wieżą sceniczną, można mówić, gdy sufit nad sceną znajduje się ponad 1,5 m nad sufitem proscenium (proscenium jest to obszar między kurtyną a kanałem orkiestrowym, natomiast w przypadku przykrycia kanału orkiestrowego – między kurtyną a widownią). Optymalna wysokość nadscenicy to 2,5 do 3,5 wysokości okna sceny powiększona o wysokość stropu technicznego oraz o przestrzeń dachu z kłapami dymowymi.



Il. 4. Przekrój nadscenicy ukazujący przykład aranżacji sceny muszlą koncertową (na podstawie [9])

Fig. 4. The stagehouse section shows an exemplary arrangement for a stage with an orchestra shell (on the basis of [9])

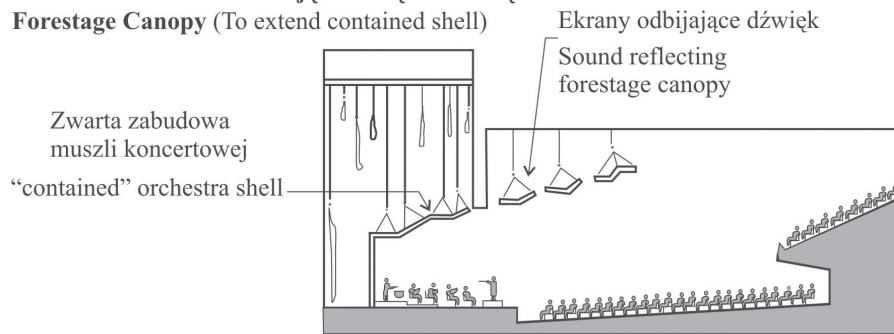
In the literature concerning the issue, Bradley's [3] publication plays an important role. The author presents the investigation of acoustic parameters for different types of stage enclosures. Three big halls were analyzed, in which orchestra shells of different architecture were applied. The measurements in the auditorium were taken for empty and enclosed stages. Papers [1] and [4] by Farina, Fausti and Pompoli address the issue of the structure of the orchestra shell in Teatro Comunale in Cagliari. The paper by Fausti and Prodi [5] discusses the design of the new orchestra shell in Romo Valli Opera House in Reggio Emilia. In paper [6], Orłowski presents the adaptation of the Milton Keynes Theatre Hall for the needs of a concert. Apart from the introduction of the concert shell, a movable ceiling above the auditorium was applied. The paper [7] by Cocchi, Garai and Tavernelli shows the process of the design of the concert shell by means of a computer program. Adaptation issues of the opera house for the needs of a concert are also shown in books by Beranek [8], Egan [9] and Izenour [10].

Architectural solutions for orchestra shells

The size of the orchestra shell is determined by the number of performing musicians. The full set consists of the orchestra, the choir and soloists. Figure 3 shows three possible options depending on the type of music production – the full set, only the orchestra or a recital for a couple of musicians. The stagehouse section in Figure 4 shows elements of the flytower and of the orchestra shell¹. The flytower performs a multitude of functions. There are many galleries, catwalks, lifts, and light ladders there. However, first of all it is a space in which scenery, suspended on

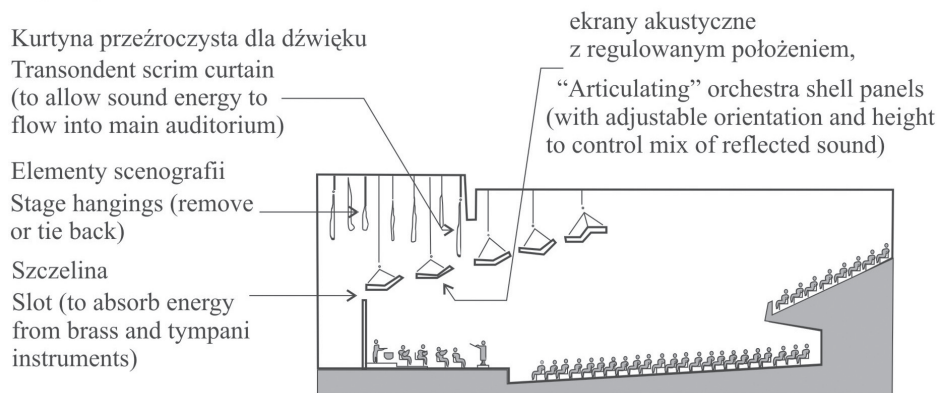
¹ It can be assumed that a theatre has a flytower (in other words a stagehouse, known also as a stage tower), when the ceiling above the stage is more than 1.5 m above the proscenium ceiling (proscenium is the area between the curtain and the orchestra pit; when the orchestra pit is covered, it is the area between the curtain and the auditorium). The optimal height of the flytower is from 2.5 to 3.5 of the height of the proscenium opening enlarged by the height of the fly loft and by the area of the roof with smoke dampers.

Muszla koncertowa odcinająca wieżę sceniczną Forestage Canopy (To extend contained shell)



Wieża sceniczna sprzężona z muszlą

Coupled Stagehouse (With open articulating shell to allow flow of lowfrequency sound energy)



Il. 5. Przekrój przez salę z muszlą koncertową odcinającą nadscenie i z muszlą koncertową, która włącza nadscenie w przestrzeń audytorium (na podstawie [9])

Fig. 5. The longitudinal section across the hall with an orchestra shell cutting off the flytower and with the orchestra shell which includes the flytower into the area of the auditorium (on the basis of [9])



Il. 6. Rose Theater at Jazz at Lincoln Center w Nowym Jorku (przedruk za zgodą Artec Consultants Inc, New York, USA)

Fig. 6. Rose Theater at Jazz at Lincoln Center in New York (reprinted with permission of Artec Consultants Inc, New York, USA)

częściowo zapalonym światłem. Przykładem teatru, gdzie muszla koncertowa stanowi ściśle połączenie z audytorium, jest Rose Theater at Jazz at Lincoln Center w Nowym Jorku (proj. Rafael Viñoly Architects, ARTEC acoustics) (il. 6). Jedność stylu zabudowy koncertowej z architekturą widowni osiągnięto tu poprzez kontynuację balkonów w zabudowie. Oprócz spektakli operowych w Rose Theater odbywają się również koncerty muzyki jazzowej, klasycznej, a także przedstawienia baletu i tańca współczesnego. Tak szeroki wachlarz możliwości osiągnięto dzięki adaptacji sceny i audytorium. Na ilustracji 7

lift lines, is attached to battens (a batten is a beam above the stage to suspend scenery). The battens move from the surface of the stage to the level of the fly loft [11].

The orchestra shell may be designed as a solid enclosure or as a set of panels brought together.

Orchestra shells cut the flytower off or they include it in the auditorium space (Fig. 5). If the slits in the orchestra shell connect the stage house with the auditorium, pieces of scenery usually hanging there are removed, and the whole area is considered as a reverberation chamber.

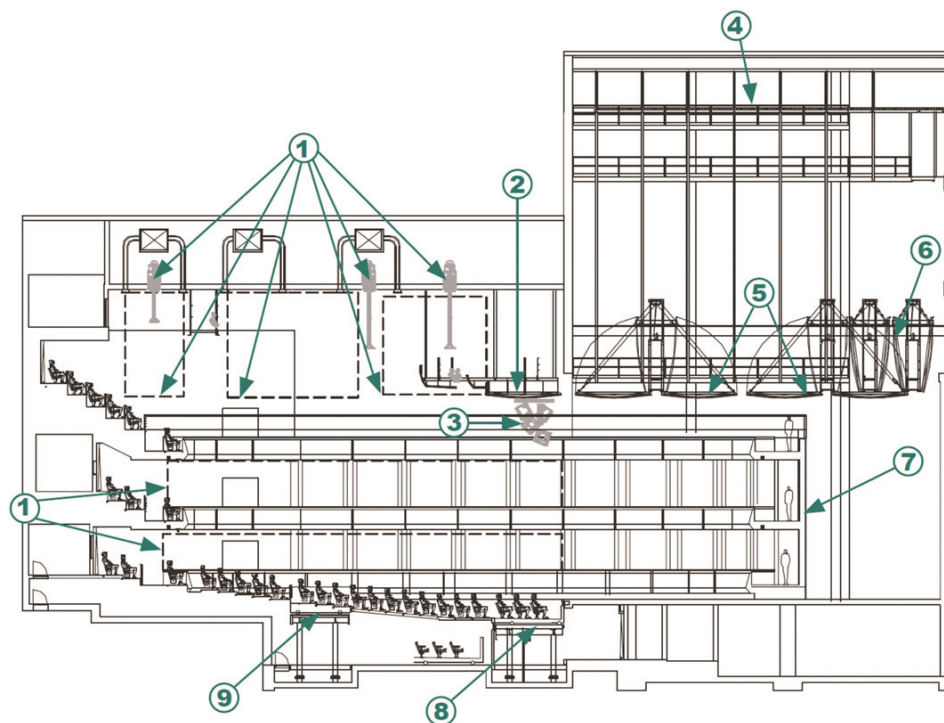
While designing an orchestra shell, one should also allow for the style of the interior of an opera house. Good solutions retain the unity of style with the auditorium. It is an important issue, as many a time concerts are held by a partly-lit auditorium. An example of a hall in which the orchestra shell constitutes an extension of the auditorium is Rose Theater at Jazz at Lincoln Center, USA (by Rafael Viñoly Architects, ARTEC acoustics) (Fig. 6). The unity of style of the enclosure and architecture of auditorium was achieved by means of the continuation of the balconies in the enclosure. Beside opera performances, the theatre is not only used for jazz and classical music concerts, but is also adapted for the needs of ballet and modern dance. The vast array of options can be achieved through adaptation of the stage. Figure 7 describes elements of acoustic adaption. On the side walls there are acoustic banners and curtains which can be extended to absorb energy during an amplified music performance. The fixed acoustic "eyebrow" (in front of the proscenium arch) reflects sound energy to the audience area (No. 2). The loudspeaker array cluster provides sound

opisane są elementy służące do adaptacji akustycznej. Na bocznych ścianach znajdują się mobilne kurtyny akustyczne, które po rozwinięciu służą do pochłaniania dźwięku podczas koncertów z nagłośnieniem (na il. 7 oznaczone jako 1). Ekran akustyczny w obszarze proscenium odbija dźwięk ze sceny i kieruje na widownię (2). Głośniki dla produkcji muzycznych wymagających nagłośnienia znajdują się również w obszarze proscenium (3). Wieża jest zapleczem technicznym na potrzeby przedstawień scenicznych (4). Ruchome ekrany akustyczne nad sceną służą do odcięcia wieży scenicznej podczas koncertu (5). Ekrany akustyczne w pozycji złożonej pokazano jako 6. Zabudowa sceny tworząca rodzaj muszli koncertowej składa się z 11 paneli, które w sumie zapewniają miejsca siedzące dla 124 osób (7). W obrębie audytorium znajdują się windy gwarantujące wielofunkcyjność sali (8 i 9). Zabudowa w postaci ruchomych paneli umożliwia różne rozwiązania. Można je obracać, żeby zapewnić dodatkowe miejsca siedzące na scenie lub dookoła niej, albo odwrócić, aby zapewnić powierzchnię odbijającą dźwięk. Jest to rodzaj zabudowy sceny, który różni się od typowej muszli koncertowej ze względu na to, że w sposób aktywny wykorzystuje się przestrzeń sceny poza panelami. Dzięki możliwościom aranżacyjnym, jakie stwarzają panele, można dostosować sposób dostarczania wczesnej i późnej energii

reinforcement during non-acoustic performances. Acoustic ceilings shown in stored position are shown in No. 6. The enclosure consists of 11 concert towers which provide seating for 124 people (No. 7). The lifts in the auditorium enable multifunctionality of the hall (No. 8 and 9). The enclosure in the form of movable towers promotes application of different solutions. The towers can be turned to provide additional seating on or around the stage, or can be reversed to provide a reflective surface. This is an enclosure rather than a shell because the space over the towers is used as part of the active acoustic volume. The towers can be arranged and adjusted so that early energy and late energy can be reflected back to reach the musicians and the audience, the result of which is a more balanced and homogeneous sound. Thus, in comparison with an enclosed orchestra shell, the movable elements of a concert enclosure offer considerable flexibility as far as stage acoustics are concerned.

Acoustic requirements for orchestra shells

The purpose of orchestra shells is to enable the auditorium to achieve acoustic conditions required for a concert. To meet acoustic requirements, it is vital to pay special attention to the material used for the construction of the orchestra shell as well as the structure of the material.



Il. 7. Przekrój Rose Theater at Jazz at Lincoln Center wraz z opisem przyjętych rozwiązań (przedruk za zgodą Artec Consultants Inc, New York, USA)

Fig. 7. The longitudinal section of the Rose Theater at Jazz at Lincoln Center along with the description of the adapted solutions (reprinted with permission of Artec Consultants Inc, New York, USA)

1. mobilne kurtyny akustyczne/acoustic banners and curtains
2. ekran akustyczny w obszarze proscenium/fixed acoustic "eyebrow"
3. głośniki/loudspeaker array cluster
4. wieża sceniczna/stage tower and flyloft
5. ruchome ekrany akustyczne nad sceną/retractable acoustic ceiling
6. ekrany akustyczne w pozycji złożonej/acoustic ceilings shown in stored position
7. panele/concert towers
8. winda/forestage lift
9. winda/house sound mix lift

tak, by dotarła do muzyków i do audytorium. W rezultacie uzyskiwany jest bardziej wyrównany i jednolity dźwięk. Przedstawiony system w porównaniu z typową muszlą koncertową zapewnia większą elastyczność aranżacji sceny.

Wymogi akustyczne stawiane muszłom koncertowym

Zabudowa sceny muszlą koncertową ma doprowadzić do osiągnięcia na widowni warunków akustycznych odpowiednich dla koncertu. Aby spełnić wymogi akustyczne, należy zwrócić uwagę na materiał używany do konstrukcji zabudowy sceny, jak również na jego strukturę.

Material użyty do konstrukcji

Muszla koncertowa powinna być zbudowana z masywnych paneli. Z danych zamieszczonych w literaturze przedmiotu wynika, że pozytywny efekt akustyczny zostanie osiągnięty, kiedy masa jednostkowa stosowanych elementów wyniesie od 5 do 10 kg/m². W badaniach opisanych w pracy [3] muszle koncertowe pełniły funkcję wzmacniającą dźwięk przy masie około 8 kg/m². Z przeprowadzonych przez autorkę badań w Teatrze Wielkim w Poznaniu wynika, że lekka zabudowa sceny nie powoduje wzmocnienia dźwięku na widowni [12]. Prowadzone pomiary miały na celu określenie parametrów akustycznych, takich jak czas pogłosu i poziom ciśnienia akustycznego na widowni. W celu poznania wpływu muszli koncertowej na akustykę widowni ocenie poddano dwa przypadki: scenę pustą i scenę z muszlą koncertową². Dla sceny z muszlą koncertową średni poziom dźwięku na widowni zmalał o mniej więcej 2,2 dB. Powodem tego są materiały użyte do konstrukcji zabudowy w postaci cienkiej sklejki o grubości 3 mm. Również duża ilość wiszących tkanin za zabudową powoduje silne pochłanianie dźwięku. Przy użyciu programu komputerowego RAY MODEL przeanalizowano także zabudowę sceny muszlą koncertową w projekcie Opery Kameralnej w Kaliszu [13]. Z badań tych wynika, że po zastosowaniu muszli koncertowej nastąpiła znaczna poprawa warunków akustycznych na widowni. W analizach numerycznych przyjęta zabudowa była masywna i szczelna, tak więc nastąpił wzrost poziomu dźwięku na widowni, który wyniósł od 4 do 6 dB w zależności od punktu pomiarowego [12]. Czasami, aby uzyskać dobre wymieszanie dźwięku pomiędzy różnymi sekcjami orkiestry, stosuje się materiały lekko pochłaniające dźwięk przy sekcji instrumentów blaszanych i perkusji. Takie rozwiązanie zastosowano np. w Academy of Music w Filadelfii, gdzie za sekcją instrumentów dętych blaszanych umieszczono płótno zamiast masywnej przegrody [8].

Struktura materiału

Równowaga akustyczna (balance), wymieszanie dźwięku (blend) i zespołowość (ensemble) są istotnymi pa-

Material used for construction

An orchestra shell should be built of massive panels. The literature analyses show that a positive acoustic effect will be attained when unit mass of the used elements will be within the scope of 5 to 10 kg/m². In the research presented in paper [3], orchestra shells performed the function of reinforcing sound with mass of about 8 kg/m². The research conducted by the author in the Teatr Wielki in Poznań shows that a lightweight stage enclosure does not reinforce sound in the auditorium [12]. The aim of the investigation was to determine acoustic parameters such as reverberation time and sound pressure level in the auditorium. To examine the influence of the concert shell on the acoustics in the auditorium, two cases were analyzed: an empty stage and a stage with a concert shell². The average sound pressure level in the auditorium diminished by about 2.2 dB. The reason for this is the materials used to put up the enclosure, which is 3 mm-thick plywood. Also, a huge number of hanging fabrics behind the enclosure causes considerable sound absorption. Additionally, the enclosure of the stage with an orchestra shell in the design of Chamber Opera in Kalisz was analyzed with the RAY MODEL computer program [13]. The computer analyses show that after applying the orchestra shell there was a huge improvement in acoustic conditions in the auditorium. In numerical analyses, the adopted enclosure was massive and tight. This resulted in the increase of sound level in the auditorium, which was from about 4 to 6 dB depending on the measuring point in the auditorium [12]. Occasionally, to attain good sound blend of different orchestra sections, materials slightly absorbing sound are applied; the materials are placed by the sections of brass and percussion instruments. Such solution has been applied in the Academy of Music in Philadelphia, where canvas has been applied in lieu of a massive partition behind the section of brass wind instruments [8].

Structure of the material

The acoustic balance, sound blend, and ensemble are substantial parameters for the stage design. Good acoustic balance means that none of the groups of instruments is dominant. Proper sound blend means that particular instrument sections sound consistent, whereas ensemble means good mutual hearing between all the sections of the orchestra. Many factors have a crucial impact on the parameters, e.g. location of the orchestra, proportions of the stage, solutions for the walls and the ceiling as well as structure of the material. Orchestra shells often are designed so that the surface of the enclosure diffuses sound. The effect of sound diffusion is attained by surface texture, just like in the Eastmann Theater in New York (architectural elements such as pilasters, cornices,

² Badania wykonano metodą szumu przerywanego w sześciu pasmach oktawowych. Do pomiarów wykorzystano analizator dźwięku Svan 912 AE.

² The investigations were carried out by means of interrupted noise method in six octave bands. Sound Level Meter Svan 912 AE was used for measurements.

rametrami dla projektowanej sceny. Dobra równowaga akustyczna oznacza, że żadna z grup instrumentów nie dominuje nad pozostałymi. Odpowiednie wymieszanie dźwięku oznacza, że poszczególne sekcje instrumentów brzmią spójnie. Natomiast zespolowość to dobra wzajemna słyszalność pomiędzy poszczególnymi sekcjami orkiestry. Na parametry te decydujący wpływ ma wiele czynników, np. rozmieszczenie orkiestry, proporcje sceny, rozwiązanie sufitu i ścian, a także struktura materiału użytego do konstrukcji zabudowy. Muszle koncertowe często projektowane są tak, aby powierzchnia zabudowy rozpraszała dźwięk. Efekt rozproszenia dźwięku uzyskuje się poprzez rozrzeźbienie ścian i sufitu muszli. Tego typu rozwiązanie zastosowano w Eastmann Theater w Nowym Jorku, gdzie zaprojektowano takie elementy architektoniczne, jak pilastry, gzymsy, boniowanie. Wykorzystuje się też inne zabiegi architektoniczne, między innymi naprzemienne ułożenie materiałów o różnych własnościach akustycznych (np. Teatro Comunale w Cagliari), panele z elementami w kształcie piramidki (Recital Hall, Wilfrid Laurier University w Ontario), ruszt z drewnianych listewek (Opera Romo Valli w Reggio Emilia) i inne. Ze względu na akustykę ważne jest również rozwiązanie obszaru proscenium. Jako przedłużenie sufitu muszli koncertowej często montuje się tam ekrany. Mają one za zadanie wzmacnianie dźwięku instrumentów smyczkowych i tym samym niedopuszczenie do zagłuszenia ich przez instrumenty znajdujące się w głębi sceny, których dźwięk jest wzmacniany przez tylną ścianę muszli [8].

Czas pogłosu

Pogłosowość pomieszczenia jest określana ilościowo przez czas pogłosu. Jest to podstawowy parametr służący do opisanego własności akustycznych pomieszczenia. Czas pogłosu RT (reverberation time) jest to czas, po którym poziom natężenia dźwięku zmaleje o 60 dB po wyłączeniu ciągłego źródła dźwięku. Oznacza się go na podstawie krzywej zaniku dźwięku. Czas pogłosu można też obliczyć teoretycznie w sposób przybliżony na podstawie znajomości współczynników pochłaniania dźwięku materiałów, z których wykonane jest wnętrze pomieszczenia.

Ma tutaj zastosowanie wzór Sabine'a (1):

$$RT = \frac{0,161V}{A} \quad (1)$$

gdzie:

- RT – czas pogłosu [s],
- V – objętość pomieszczenia [m^3],
- $A = Sa$ – całkowita chłonność akustyczna [m^2]
- S – pole powierzchni wewnętrznej pomieszczenia [m^2]
- a – średni współczynnik pochłaniania dźwięku

Z powyższego wzoru wynika, że na czas pogłosu ma wpływ kubatura i użyte materiały wykończeniowe. Czas pogłosu jest wprost proporcjonalny do kubatury, czyli im większa objętość, tym dłuższy czas pogłosu. Natomiast wpływ materiałów związany jest ze współczynnikiem a . Współczynnik pochłaniania dźwięku a jest używany do oceny stopnia pochłaniania dźwięku przez materiał. Całkowite pochłonięcie dźwięku oznaczone jest przez $\alpha = 1$, natomiast

rustication). Also, other architectural solutions are applied, such as the alternate use of materials of different acoustic features, like in Teatro Comunale in Cagliari; panels with pyramid-shaped elements in Recital Hall, Wilfrid Laurier University in Ontario, a grid of wooden slats in the Romo Valli Opera House in Regio Emilia and others. For the sake of good acoustics, a solution to the issue of the proscenium area is also important. Thus, acoustic screens are often placed there as the extension of the ceiling of the orchestra shell. The acoustic screens are to reinforce sound of string instruments and to prevent them from being drowned out by instruments located more deeply into the stage, whose sound is reinforced by the back wall of the orchestra shell [8].

Reverberation time

Reverberation is described quantitatively by reverberation time. This is a basic parameter used to determine acoustic properties of the interior. Reverberation time (RT) is a measure of the rate of decay of sound. It is defined as the time in seconds required for sound intensity in a room to drop 60 dB from its original level [6].

Sabine's equation is applied here (1):

$$RT = \frac{0.161V}{A} \quad (1)$$

where:

- RT – reverberation time [s]
- V – volume of room [m^3]
- $A = Sa$ – total absorption of room [m^2]
- S – surface area [m^2]
- a – mean absorption coefficient

The above equation indicates that cubature and applied finishing materials influence reverberation time. Reverberation time is proportional to cubature, i.e. the bigger cubature, the longer reverberation time. The influence of applied materials is connected with a coefficient. Absorption coefficients are used to rate material's effectiveness in absorbing sound. A perfect sound absorber will absorb 100% of incident sound; thus, a is 1.0. A perfectly reflecting surface would have a of 0.0. The absorption coefficient of a material varies with frequency. Coefficients are typically published at the six standard frequencies of 125; 250; 500; 1000; 2000; and 4000 Hz [14].

The required reverberation time of a particular interior depends on its function. The greater participation of speech, the lower reverberation time the room should have. As it was mentioned before, required reverberation time for a concert is longer than for an opera. After enclosing the stage with the orchestra shell, it often happens that reverberation time is too short. In order to lengthen reverberation time, different solutions are applied. One of these is connecting the orchestra shell to the stage house. What is attained in such a case is a kind of reverberation chamber. The condition that must be met in order to use the flytower as the reverberation chamber is to remove sound absorbing materials situated there, such as pieces of scenery. In opera halls or multi-purpose halls used intensely for a variety of functions, there

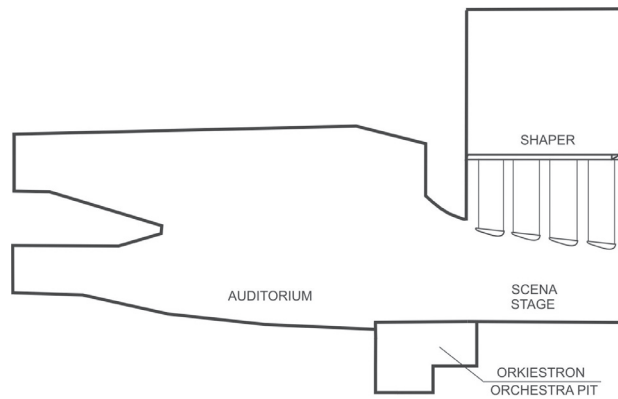
całkowite odbicie przez $\alpha = 0$. Wartość współczynnika pochłaniania zależy od częstotliwości dźwięku i jest typowo podawana dla sześciu pasm oktawowych, które wynoszą odpowiednio: 125; 250; 500; 1000; 2000 i 4000 Hz [14].

Wymagany czas pogłosu pomieszczenia zależy od jego funkcji. Im większy udział mowy, tym mniejszy pogłos powinno mieć pomieszczenie. Jak wcześniej wspomniano, wymagany czas pogłosu dla koncertu jest większy niż dla opery. Po zabudowaniu sceny muszli koncertową zdarza się, że czas pogłosu jest za krótki. W celu zwiększenia czasu pogłosu stosuje się różne rozwiązania. Jedną z możliwości jest połączenie muszli koncertowej z wieżą sceniczną – tworzy się wtedy rodzaj komory pogłosowej. Warunkiem wykorzystania nadscenia jako komory pogłosowej jest usunięcie znajdujących się tam materiałów pochłaniających dźwięk, takich jak elementy scenografii. W salach operowych lub wielofunkcyjnych wykorzystywanych intensywnie dla różnych funkcji może się jednak zdarzyć sytuacja, gdy ze względów organizacyjnych niemożliwe będzie usunięcie scenografii z nadscenia. Wtedy przestrzeń wieży scenicznej zamiast zwiększać czas pogłosu będzie dźwięk pochłaniać. Rozwiązaniem tego problemu może być tzw. shaper wraz z ekranami akustycznymi [15]. Jest to jakby drugi sufit, który zostaje opuszczony, aby odciąć część wieży scenicznej (il. 8). Również scenografia wisząca w nadsceniu znajduje się ponad shaperem. Do konstrukcji użyto masywnych materiałów, w których umieszczono również oświetlenie. Zamontowanie shapera zajmuje około godziny. Shaper zastosowano między innymi w Bass Hall w Fort Worth w Teksasie.

Farina, Fausti i Pompoli w swojej pracy [1] zalecają usunięcie znajdujących się na widowni materiałów pochłaniających dźwięk, aby uzyskać wartości czasu pogłosu odpowiednie dla koncertu. W salach wielofunkcyjnych o regulowanej akustyce sytuacja jest prostsza, gdyż audytorium ma przewidzianą możliwość regulacji czasu pogłosu widowni. Widoczne jest zatem, że nie można rozpatrywać akustyki muszli koncertowej w oderwaniu od audytorium.

Wnioski

Adaptacja sceny na potrzeby koncertu jest niezbędna, ponieważ koncert ma inne wymagania przestrzenne i akustyczne niż przedstawienie operowe. Dobra adaptacja wymaga wielu zabiegów mających na celu odpowiednie zaprojektowanie muszli koncertowej. Istotne jest zarówno dostosowanie jej do architektury audytorium, jak i wykonanie projektu zgodnego z wymaganiami akustycznymi. Przede wszystkim muszla koncertowa powinna mieć masywną konstrukcję, ponieważ zapewni to wzmocnienie dźwięku. Równie istotne jest, aby struktura materiału, z którego zbudowana jest muszla, zapewniała rozproszenie dźwięku. Kolejny wymóg stanowi zapewnienie odpowiedniego czasu pogłosu. W teatrach operowych czas pogłosu jest za krótki, należy zatem zwiększyć pogłosowość wnętrza. Analizy wykazały, że możliwe są różnorodne rozwiązania muszli koncertowych, które spełniają akustyczne i architektoniczne wymagania.



Il. 8. Ilustracja idei shapera (oprac. autorki)

Fig. 8. The illustration of the idea of the shaper (drawn by the author)

may be a situation when, due to organizational issues, it will be impossible to remove scenery from the flytower. In such a case, the space of the stage house will absorb sound instead of lengthening reverberation time. In order to apply single acoustic screens above each instrument section as well as to eliminate the absorbing area, one applies the so-called “shaper” [15]. This is as a kind of second ceiling, which is moved down so as to cut off a part of the stage house (Fig. 8). Also, scenery hanging in the flytower is situated above the “shaper”. For its construction massive materials were used in which also lighting was placed. Installing the “shaper” takes one hour or so. The “shaper” was installed inter alia in Bass Hall in Fort Worth in Texas.

In paper [1], Farina, Fausti and Pompoli advise on how to attain reverberation time values recommended for the concert by removing sound absorbing materials in the auditorium. This is much simpler in multi-purpose houses with adjustable acoustics, as the auditorium is architecturally adapted to regulate reverberation time of the auditorium area. Therefore, acoustics of the orchestra shell cannot be considered in isolation from the auditorium.

Conclusions

Adaptation of the stage for the needs of a concert is necessary as spatial and acoustic requirements for a concert differ from those for an opera performance. An expert adaptation involves a series of steps in order to properly design a concert shell whose congruence with the architecture of the auditorium is as important as the acoustic requirements. In the first place, the concert shell should have a solid construction since this quality ensures sound reinforcement. Next, the structure of the material should ensure sound diffusion, and appropriate reverberation time should be considered, too, because it is, as a rule, too short in opera houses. Therefore, the reverberation time of the interior must be increased. Analyses show that actually various concert shells can meet acoustic and architectural conditions.

Translated by
Kamila Korus

Bibliografia/References

- [1] Farina A., Fausti P., Pompoli R., *The acoustical shell of the "Nuovo Teatro Comunale" in Cagliari*, [w:] *Proceedings of the 15th International Congress on Acoustics, Trondheim, Norway, 26–30 June, 1995*, Vol. 2, 449–452.
- [2] *Design guide: music and drama centers*, Department of Defense USA, UFC 4-740-08AN, 1 March 2005.
- [3] Bradley J.S., *Some effects of orchestra shell*, „Journal of the Acoustical Society of America” 1996, 100(2), 889–898.
- [4] Pompoli R., Farina A., Fausti P., *The acoustics of the „Nuovo Teatro Comunale” in Cagliari*, [w:] *Proceeding of the 1995 International Auditoria Conference „Opera and Concert Hall Acoustics”, London Gatwick 10–12 Feb. 1995*, <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Papers/062-IOA95> [accessed: 29.08.2014].
- [5] Fausti P., Prodi N., *On the testing of renovations inside historical opera houses*, „Journal of Sound and Vibration” 2002, 258(3), 563–575.
- [6] Orłowski R., *Multi-purpose halls and variable acoustics*, „International Congress Forum Acusticum Sevilla 2002, Sevilla, Spain, September 16–20, 2002”, <http://webistem.com/acoustics2008/acoustics2008/cd1/data/fa2002-sevilla/forumacusticum/archivos/rba02010.pdf> [accessed: 29.08.2014].
- [7] Cocchi A., Garai M., Tavernelli C., *Boxes and sound quality in an Italian opera house*, „Journal of Sound and Vibration” 2000, 232(1), 171–191.
- [8] Beranek L.L., *Music, acoustics and architecture*, John Wiley and Sons, New York–London 1962.
- [9] Egan M.D., *Architectural acoustics*, McGraw-Hill, New York 1988.
- [10] Izenour G.C., *Theater design*, Yale University Press, New Haven 1996.
- [11] Wojciechowski M., *Projektowanie w zakresie techniki i technologii teatralnej*, wykład 21 maja 2002 w siedzibie Opery Krakowskiej.
- [12] Sygulska A., *The adaptation of the stage in opera house for concert*, [w:] *58th Open Seminar on Acoustics, 13–16 September 2011, Gdańsk–Jurata*, Polskie Towarzystwo Akustyczne Oddział Gdański, German Acoustical Society DEGA, Gdańsk–Jurata, 2011, T. 2, 297–308.
- [13] Kulowski A., *Algorithmic representation of the ray tracing technique*, „Applied Acoustics” 1985, 18, 449–469.
- [14] Everest F.A., Pohlmann K.C., *Master handbook of acoustics*, 5th ed., McGraw Hill, USA 2009.
- [15] Jaffe J.C., *Innovative approaches to the design of symphony halls*, „Acoustical Science and Technology” 2005, 26, 2, 240–243.

Streszczenie

Teatr operowy jako przestrzeń kulturalna i muzyczna jest wpisany w strukturę przestrzenną miasta. W obrębie swojej struktury architektonicznej podlega modyfikacjom. W pracy podjęto problematykę przystosowania sceny operowej na potrzeby koncertu. Adaptacja sceny jest niezbędna, gdyż przedstawienie operowe stawia inne wymagania przestrzenne i akustyczne niż koncert. Wraz ze zmianami przestrzennymi w obrębie sceny następują zmiany własności akustycznych na widowni. Na podstawie konkretnych realizacji przedstawiono różne typy muszli koncertowych oraz wskazano powiązania pomiędzy architekturą muszli koncertowej a akustyką. Dodatkowo przedstawiono wnioski z symulacji komputerowych dla obiektu projektowanego i z badań doświadczalnych w obiekcie rzeczywistym. Analizy wskazują, że jest to istotne zagadnienie architektoniczne, albowiem brak wiedzy o wymaganiach architektoniczno-akustycznych dla projektowanych muszli koncertowych skutkuje tym, że konstrukcja ta nie spełnia swojej funkcji.

Słowa kluczowe: muszle koncertowe, teatr operowy, scena operowa, koncert

Abstract

The opera house as a cultural and musical area writes itself well into the spatial structure of the city. Within its own architectural structure, it is subject to modifications. The following paper addresses the issue of adapting the opera stage for the needs of a concert. Adaptation of the stage is necessary as the opera performance has different spatial and acoustic requirements from those of the concert. Alongside spatial changes within the stage, acoustic properties in the auditorium change. On the basis of concrete realizations, different types of orchestra shells have been shown and connections between orchestra shell architecture and acoustics have been pointed out. In addition, conclusions of computer simulations for an object whose design is under way, and conclusions of investigation in an actual object have been presented here. The analyses point out that it is a crucial architectural issue. Lack of knowledge of architectural-acoustic requirements for orchestra shells results in constructions not performing their function.

Key words: orchestra shells, opera house, opera stage, concert



Katedra we Fromborku,
dekoracja ściany kruchty zachodniej
(fot. E. Łużyniecka)

The cathedral in Frombork,
wall decoration of the west vestibule
(photo by E. Łużyniecka)