

Anna TELATYCKA*

ARCHITEKTURA TEATRU DŹWIĘKIEM MALOWANA

Postrzeganie dźwięku może następować na dwóch płaszczyznach – wzrokowej i słuchowej. Oba te wymiary przenikają się wzajemnie. Poprzez tworzenie geometrycznych wzorów dźwięki kreują materię. Cymatyka to nauka, dzięki której możemy zobaczyć kształty wytworzone przez konkretne częstotliwości dźwięku. Wibracje dźwiękowe zagęszczają materię, tworząc rozmaite wzory. Kształty struktur fizycznych również wytwarzają dźwięki (wibracje) zazwyczaj w postaci infradźwięków niesłyszalnych dla ludzkiego ucha. W architekturze można odkryć zależności z figurami powstałymi podczas oddziaływania dźwięku na materię. Każdy obiekt może być generatorem bądź wzmacniaczem energii fal dźwiękowych. Architektoniczne kształty mogą odnosić się do figur Chladniego. Figury te odzwierciedlają miejsca, gdzie występują węzły fali stojącej. Kształt widowni sali widowiskowej (teatralnej) jest ustalany na etapie projektowania architektonicznego. Poprawne rozmieszczenie foteli oraz przejść między nimi na płaszczyźnie widowni może być ściśle związane z jej kształtem i wymiarami. Płaszczyzna ta, drgając, wymusza rozmieszczenie przejść w miejscach, gdzie występują węzły ciśnienia akustycznego, natomiast foteli w miejscach strzałek ciśnienia akustycznego. Jest to nowe podejście do kształtowania architektury wnętrz dla widowni sal widowiskowych.

Słowa kluczowe: architektura, akustyka, dźwięk, cymatyka, architektura słuchowa, audytywna architektura wnętrz

1. WPROWADZENIE. UZASADNIENIE PODJĘCIA TEMATU

Zjawiska akustyczne zachodzące w przestrzeni obiektów widowiskowych w znacznej mierze pozostają wciąż nie do końca rozpoznane. Współczesne metody projektowania takich przestrzeni, zwłaszcza związane z osiągnięciem oczekiwanych

* Politechnika Poznańska, Wydział Architektury, Instytut Architektury i Planowania Przestrzennego. ORCID: 0000-0001-5845-5161.

parametrów akustycznych, opierają się przeważnie na poprawianiu własności dźwiękowych za pomocą sprzętu elektroakustycznego. W moim przekonaniu tego typu działania powinny stanowić alternatywę ostateczną, a nie jedyną. Poszukiwanie rozwiązań opartych na naturalnych zjawiskach akustycznych zachodzących w przestrzeni sal widowiskowych powinny stanowić priorytet. Uzasadnieniem takiego podejścia jest to, że źródło dźwięku brzmi w sposób naturalny i oryginalny w sytuacji, gdy nie jest ono przetwarzane przez urządzenia techniczne.

Problematyka propagacji dźwięku w przestrzeni sal widowiskowych jest bardzo szeroka. Dotyczy ona wszelkich elementów składowych tej przestrzeni.

Kształtowanie układu widowni może mieć kluczowe znaczenie dla odbioru dźwięku w sali. Widownia sal widowiskowych jest płaszczyzną, która drga jako odpowiedź na pobudzenie dźwiękiem. Drgania te mogą być przyczynkiem do badań nad odpowiednim ustawieniem foteli na tej płaszczyźnie. „Wszystko jest dźwiękiem i określoną wibracją. Ta wibracja z kolei nadaje kształt wszelkim formom. Ten sam ton dźwiękowy tworzy zawsze ten sam kształt tworzony przez tzw. fale stojące” [Nuta 2023a].

Z racji, że projektowanie przestrzeni widowiskowych nie jest praktyką codzienną, poszukiwanie praktycznych metod ułatwiających projektowanie w tym zakresie wydaje się przydatne i zasadne.

Na słuchowy kontakt między wykonawcą a widzem ma wpływ dźwięk bezpośredni oraz akustyczny wpływ pomieszczenia, który decyduje o zrozumiałości mowy i jakości brzmienia muzyki. Na wpływ pomieszczenia składa się wiele czynników opisanych w literaturze, takich jak ukształtowanie sceny, fosy orkiestrowej, balkonów czy sufitu. Wpływ powierzchni widowni również odgrywa znaczącą rolę i będzie on rozważany w tej pracy. Informacje dostępne w literaturze na temat wpływu widowni powinny być poszerzone o możliwość kształtowania układu foteli oraz przejść między nimi według pewnych zależności.

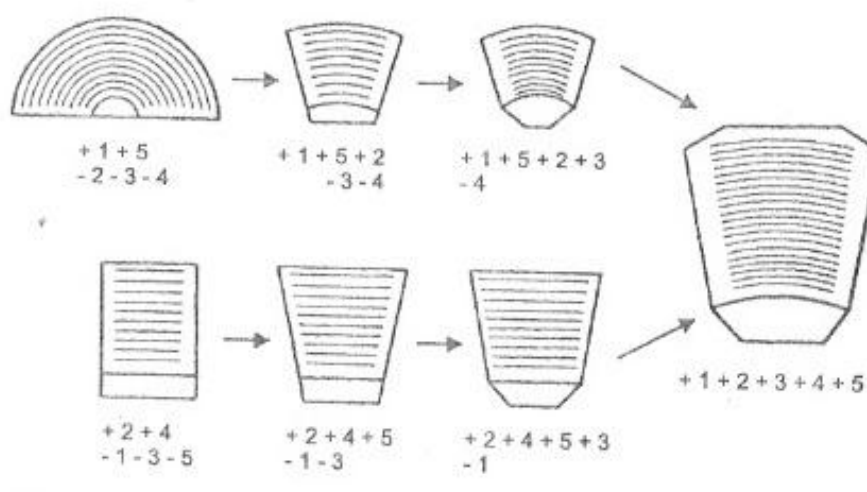
2. STAN BADAŃ

Podjęta w tekście problematyka ma szeroki wachlarz zagadnień, jednak z punktu widzenia celów artykułu można go zawęzić do czterech grup tematycznych związanych z:

- sferą zagadnień odnoszących się do powiązania kształtu widowni ze zjawiskami akustycznymi,
- badaniami akustyki sali *in situ* oraz symulacjami komputerowymi,
- obszarem wiedzy dotychczasowego sposobu kształtowania rozmieszczenia foteli oraz przejść między nimi na widowni,
- odwzorowaniem dźwięku na danej płaszczyźnie za pomocą cymatyki.

2.1. Ustalenie kształtu widowni

„Teoria falowa zakłada, że można traktować pomieszczenie jako zespół rezonatorów” [Sadowski 1976]. Każdy taki rezonator ma swoją określoną częstotliwość rezonansową. Pomieszczenie zostaje pobudzone do drgań. Każda powierzchnia w pomieszczeniu drga. Po wyłączeniu źródła dźwięku zanikają fale bezpośrednie, które powodowały drgania wymuszone. Przez jakiś czas pozostają jednak naturalne drgania własne pomieszczenia, które tworzą pogłos. Częstotliwości własne zależą od wymiarów pomieszczenia, dlatego też powinny być one odpowiednio dobrane. Większość sal ma rzut prostokątny, wachlarzowaty lub podkowiasty. Dla sal prostokątnych można znaleźć spory zbiór zaleceń projektowych zawarty w literaturze fachowej. Na rys. 1 pokazano rzuty pomieszczeń wraz z podstawowymi zaleceniami akustycznymi.



Rys. 1. Rzuty sal spełniających (+) lub niespełniających (-) wymagań akustycznych 1–5: 1 – możliwie mała odległość między źródłem dźwięku a słuchaczami, 2 – możliwie mały kąt widzenia od mówcy w kierunku słuchaczy, co ma związek z kierunkowością dźwięku, 3 – usytuowanie powierzchni, które kierują dźwięk w pobliżu źródła dźwięku, 4 – zapobieganie koncentracji fal dźwiękowych, 5 – równomierne rozmieszczenie częstotliwości własnych pomieszczenia w widmie częstotliwości (rzuty odbiegające od koła lub prostokąta o współmiernych bokach pozwalają uniknąć nakładania się modów własnych). [Kulowski 2007]

Należy pamiętać również o tym, aby unikać kształtów sal, w których powstaje echo lub dźwięk jest ogniskowany. Aby wyrównać nagłośnienie, stosuje się nachylenie widowni, zwiększając wysokość kolejnych rzędów o ponad 12 cm, zapewniając przy tym dotarcie fali bezpośredniej do każdego słuchacza [Sadowski 1976].

2.2. Badania akustyki sali *in situ* oraz symulacje komputerowe

Analizę akustyki wnętrza można przeprowadzić podczas badań *in situ* bądź w programie komputerowym na modelu pomieszczenia. Jest to szczególnie ważne dla pomieszczeń o akustyce kwalifikowanej, gdzie niedopuszczenie do powstania usterek akustycznych, takich jak: powstawanie echa czy zbyt niska zrozumiałość mowy, jest tylko częścią całego projektu akustycznego.

Większość dostępnych programów do analizy akustyki wewnątrz wykorzystuje do symulacji metodę śledzenia promieni i źródeł pozornych. Falę akustyczną rozważa się jako dyskretny zbiór promieni dźwiękowych, które rozprzestrzeniają się z prędkością propagacji dźwięku. Niosą one jednakową część energii emitowanej przez źródło, która jest tracona w kolejnych odbiciach proporcjonalnie do współczynnika pochłaniania dźwięku powierzchni ograniczającej. Metody komputerowe posługują się geometrycznym modelem propagacji dźwięku. Konieczne jest więc wykonanie geometrycznego modelu pomieszczenia (w którym będą rozchodziły się promienie dźwiękowe) wraz z modelem źródła dźwięku i odbiornika. Fale dźwiękowe podlegają prawu zwierciadlanego odbicia od ścian (kąąt odbicia jest równy kątowemu padania).

Dzięki symulacjom komputerowym można kształtować własności akustyczne pomieszczeń zgodnie z ich przeznaczeniem i funkcją.

Badania te pozwalają m.in. na:

- określenie parametrów akustycznych,
- określenie kształtu pomieszczenia oraz profilu sufitu, ścian i widowni,
- dobór materiałów wykończeniowych,
- przystosowanie akustyki do nagłośnienia.

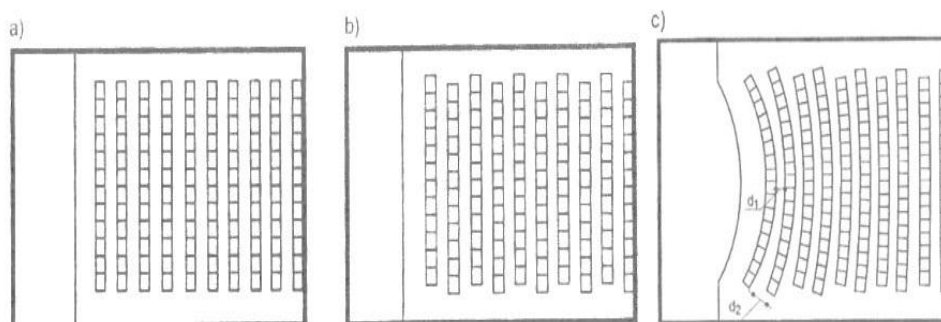
Badania *in situ* natomiast są wykonywane w istniejących już pomieszczeniach, dlatego też zmiana kształtu sali może być bardzo trudna lub nawet niemożliwa.

2.3. Obszar wiedzy dotychczasowego sposobu kształtowania rozmieszczenia foteli oraz przejść między nimi na widowni

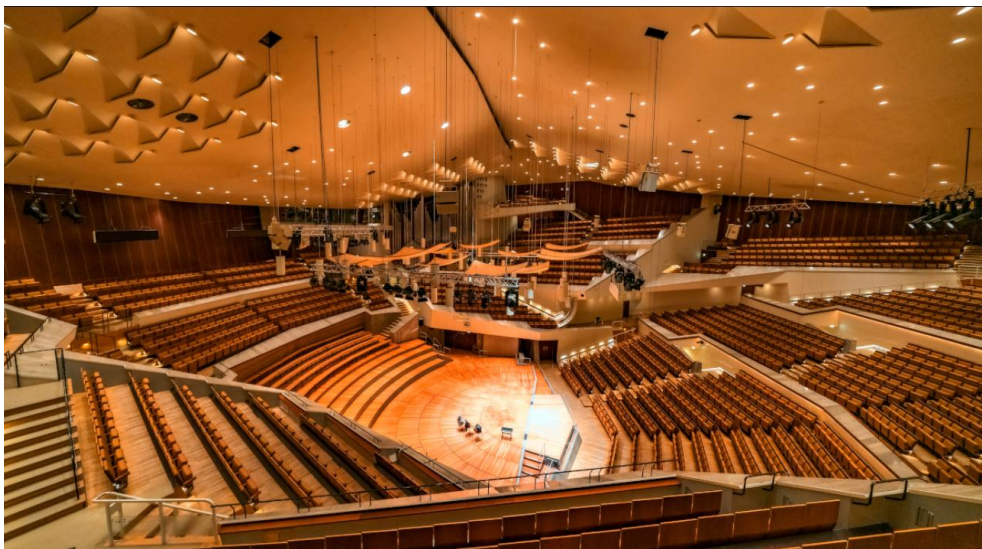
Dotychczas rozmieszczenie foteli kształtowano pod względem estetycznym oraz rozmieszczenia wymaganej liczby przejść ewakuacyjnych. Liczba miejsc, drogi ewakuacji oraz szerokość przejść między fotelami wynikają z przepisów budowlanych [Neufert 2002] i zaleceń projektowych.

Ustawienie foteli w rzędach oraz przejść między nimi jest naturalnym sposobem rozmieszczenia widzów na widowni. Bardzo rzadko odstępuje się od takiego ustawienia. Układ taki jest jednak przyczyną pewnych niedogodności akustycznych, ponieważ tworzy szczególne warunki odbicia fali. Wynikiem mogą być następujące zjawiska [Barron 1995: 1088-1098]:

- Przejścia między rzędami mogą mieć charakter wnęk rezonansowych. Z wysokości oparcie foteli oraz szerokości przejść między nimi wynika ich częstotliwość rezonansowa, która znajduje się w przedziale ok. 250-500 Hz. Skutkuje to zmniejszeniem poziomu dźwięku w tym zakresie częstotliwości, a co za tym idzie – może prowadzić do zniekształceń barwy odbieranego dźwięku [Kulowski 2007]. Efekt ten można zminimalizować poprzez zróżnicowanie szerokości przejść między rzędami (rys. 2) lub wprowadzenie zmiennej przewyżki między rzędami, rosnącej wraz z odległością od sceny. Rozwiązanie to umożliwi również uzyskanie poprawy widoczności.
- Fala bezpośrednia, która pada na widownię, ugina się na krawędzi oparcie foteli oraz na głowach widzów, następnie odbija się od kolejnego rzędu oparcie i widzów, wskutek czego interferuje z kolejną nadchodzącą falą. Układ takich uginających się fal powtarza się regularnie, co jest przyczyną zaburzeń barwy dźwięku w szerokim zakresie częstotliwości. Efekt ten można wytłumaczyć za pomocą teorii tzw. filtrów grzebieniowych [Everest 2004]. Skutek ten można zminimalizować poprzez unikanie ustawienia foteli jeden za drugim (rys. 2). Przesunięcie kolejnych rzędów o pół szerokości fotela poprawia akustykę całej sali oraz odbiór zarówno dźwiękowy, jak i wizualny przez pojedynczego widza.
- Dla widowni o płaskiej podłodze lub z małą przewyżką rzędów ustawienie foteli jeden za drugim powoduje powstanie cienia akustycznego obejmującego tylny fotel co jest powodem zniekształcenia barwy dźwięku [Beranek 1962]. Dla dużych sal o rozległej widowni korzystne jest podzielenie tego obszaru na mniejsze o układzie tarasowym. Można w ten sposób uzyskać odpowiednie rozproszenie dźwięku. Przykładem takiej sali jest Filharmonia w Berlinie (rys. 3).



Rys. 2. Przedstawienie kolejnych rzędów widowni. a) układ powtarzalny, b) poprzeczne przesunięcie rzędów o pół szerokości fotela, c) zróżnicowanie szerokości przejść między rzędami w centralnej części widowni i w częściach bocznych [Kulowski 2007]



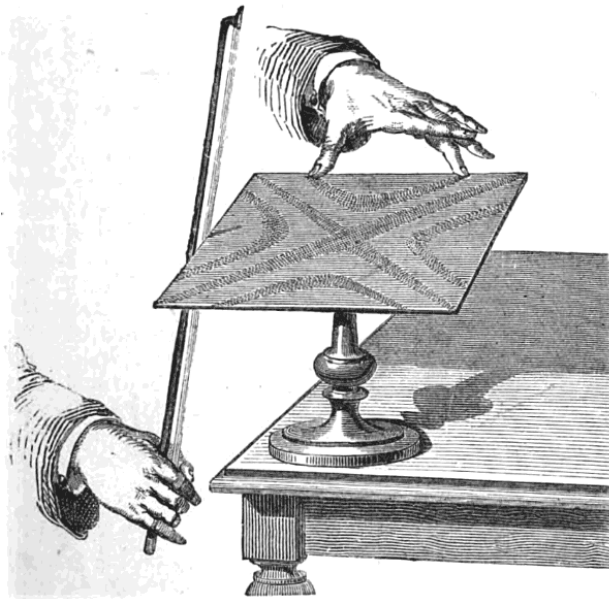
Rys. 3. Sala Filharmonii w Berlinie o tarasowym układzie widowni. Kubatura – 25 000 m³, widownia – 2230 miejsc. Architektura: Hans Scharoun, akustyka: Lothar Cremer [Polskie radio 2023]

2.4. Odwzorowanie dźwięku na danej płaszczyźnie za pomocą cymatyki

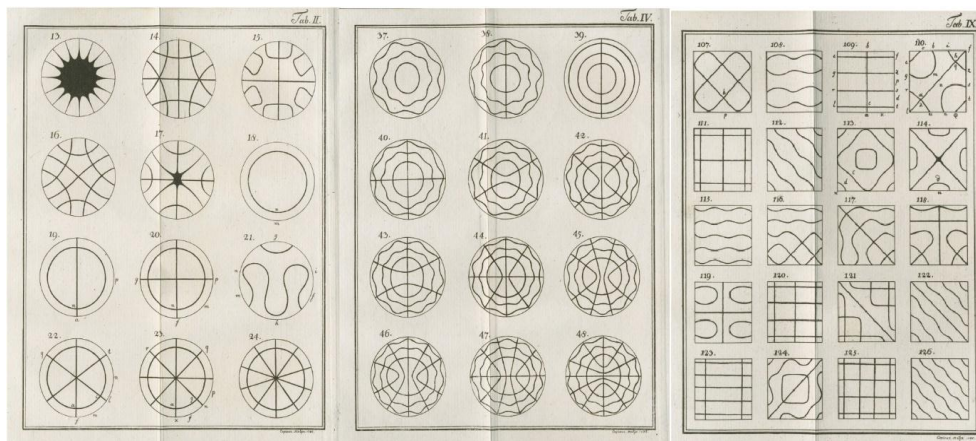
Cymatyka jest nauką o falach dźwiękowych i ich oddziaływaniu na substancje fizyczne. Zajmuje się ona wizualizacją dźwięku poprzez wprawianie w drgania obiektów, w wyniku czego generowane są fale stojące. Jeżeli pokryjemy płytę warstwą piasku, soli lub cieczy, to na skutek drgań, drobinki tych substancji gromadzą się w liniach węzłowych, tworząc ciekawe wzory. Kształt i ilość węzłów i strzałek zależą od częstotliwości siły wymuszającej drgania oraz częstości drgań własnych płytki, a także od warunków brzegowych, czyli miejsca zamocowania i wprawiania w drgania. Nazwę cymatyka zaproponował szwajcarski fizyk Hans Jenny, który wprowadził to pojęcie w latach 70. XX w. Nazwa pochodzi od greckiego słowa „kyma” oznaczającego falę. Zjawisko to obserwowali tacy uczeni, jak: Leonardo Da Vinci (1452-1519), Galileo Galilei (1564-1642), Robert Hooke (1635-1703) czy Ernst Chladni (1756-1827).

Chladni w sposób bardzo spektakularny wielokrotnie demonstrował to zjawisko w różnych ośrodkach naukowych, dlatego też nazwane zostało ono jego nazwiskiem. Chladni przy pomocy smyczka pobudzał do drgań miedzianą płytę pokrytą warstwą piasku (rys. 4). W zależności od miejsca pobudzenia krawędzi płyty i przyciśnięcia palca otrzymywał różne figury. Na rys. 5 widać różne przykłady figur Chladniego.

Swoje doświadczenia Chladni opisał w książkach: *Entdeckungen über die Theorie des Klagen* w 1787 r. oraz *Die Akustik* w 1802 r.



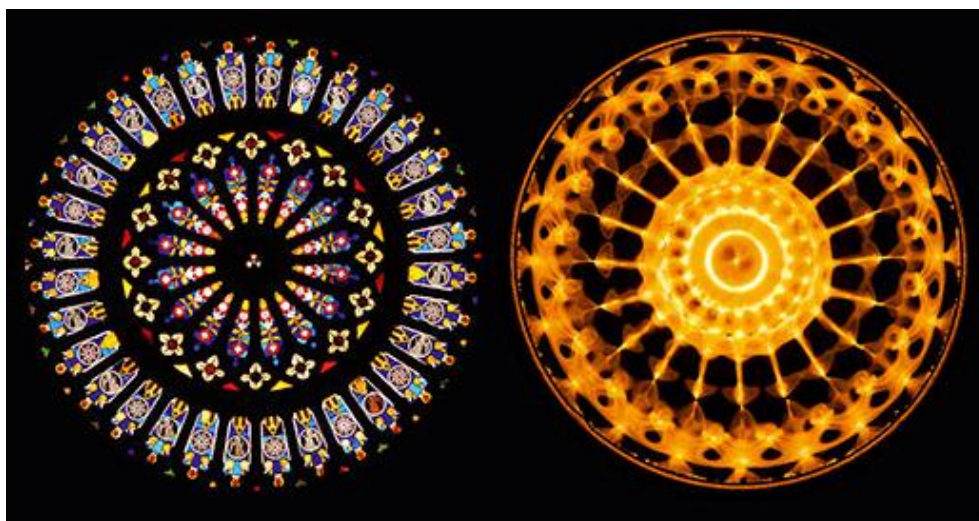
Rys. 4. Pokazanie sposobu otrzymywania figur Chladniego przy użyciu smyczka oraz metalowej płyty [Welthellsicht 2023]



Rys. 5. Przykłady figur Chladniego [Wordpress 2018]

Figury Chladniego można również uzyskać, pobudzając płytę przy pomocy głośnika, wzmacniacza oraz generatora sygnałów akustycznych. Badania Chladniego poszerzał dr Hans Jenny, rejestrując na taśmie filmowej wpływ dźwięku na proszki i płyny. Wykonane przez niego badania wskazywały, że drgania dźwiękowe wytwarzają geometryczne kształty [Gibała-Kapecka 2020]. Dla niskich częstotliwości dostrzegał koła opisane pierścieniami, a dla wysokich figury z większą liczbą kręgów umieszczonych koncentrycznie wokół koła. Wraz ze wzrostem częstotliwości rosła złożoność ukształtowania tych form. Efekty swoich badań Hans Jenny udokumentował w dziele *Cymatics. A Study of Wave Phenomena and Vibration* [Jenny 1967, 1974].

Cymatykę zgłębiał również Alexander Lauterwasser, badając jako medium wodę. Prowadził koncerty „światło–dźwięk–woda”, podczas których oglądano na ekranie zmiany kształtu wody jako odpowiedź na wykonywaną muzykę (kamera była umieszczona nad szklanym naczyniem z wodą). Kształty były wielobarwne, ponieważ naczynie z wodą było oświetlane kolorowymi reflektorami. Co ciekawe, kształty różniły się w zależności od rodzaju muzyki [Słojewska 2010]. Niektóre z kształtów, które tworzy drgająca powierzchnia wody, przypominają detal architektoniczny, jakim jest rozeta [Telatycka 2023] (przykład na rys. 6).



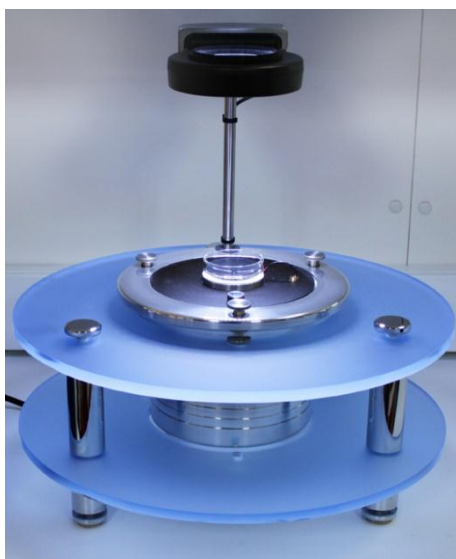
Rys. 6. Porównanie cymatycznego kształtu wytworzonego na powierzchni wody do rozety [Lauterwasser 2023]

Japoński naukowiec Masaru Emoto dowiódł, że woda może magazynować informacje oraz je odzwierciedlać. Jego badania polegały na obserwacji ułożenia cząsteczek wody pobudzonej dźwiękiem, a następnie zamrożonej. Jej kryształki formowały się w rozmaite wzory krystaliczne. Masaru jako pierwszy dowiódł do-

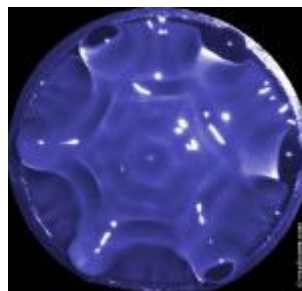
świadczalnie możliwość energetyzowania „materii nieożywionej”. Wszystko jest wibracją, energia jest wibracją, a wibracja jest życiem [Nutao 2023b].

Naukowcy dowiedli, że dźwięki mogą wprawiać w ruch materię i nadawać jej określone kształty. Dźwięk jest falą mechaniczną, która przechodzi przez ośrodek materialny.

Nazwa cymatyka stała się inspiracją dla nazwy urządzenia, jakim jest cymaskop (rys. 6). Jest on modyfikacją urządzeń służących do generacji figur Chladniego. Główną jego częścią jest kołowa membrana pobudzana do drgań przy pomocy głośnika, na której nanoszono warstwę drobnych cząsteczek. Krótco po wynalezieniu tego urządzenia okazało się jednak, że najlepszym medium jest czysta woda charakteryzująca się dużym napięciem powierzchniowym i natychmiastową odpowiedzią na wymuszające wibracje. Przy pomocy kamery rejestruje się powstające na powierzchni cieczy figury. Przykład takiej figury został przedstawiony na rys. 7. Należy pamiętać o tym, że fala dźwiękowa jest falą kulistą. Cymatoskop obrazuje przekrój fali dźwiękowej (rys. 9).

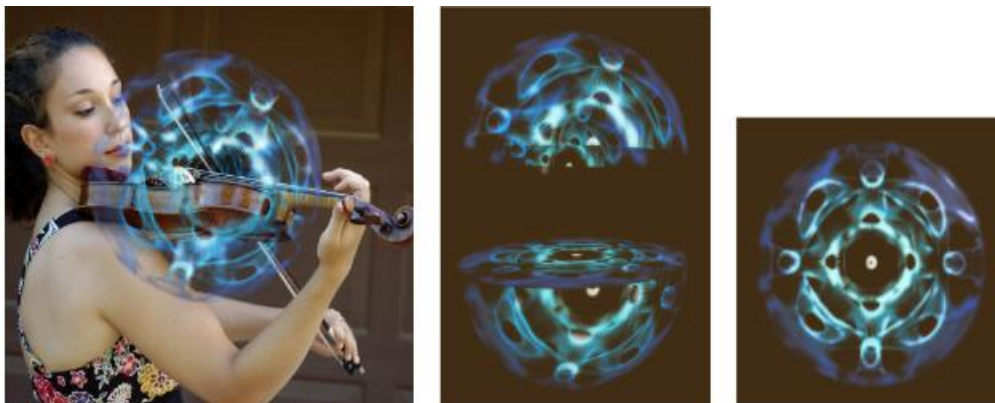


Rys. 7. Cymaskop [Cymascope 2023]



Rys. 8. Jedno z pierwszych zdjęć wody wykonane przy pomocy cymaskopu w 2005 r. [Cymascope 2023]

Cymatyka jest zjawiskiem triadycznym. Częstotliwość wzbudzenia generuje dynamiczną falę stojącą, która tworzy pozorną formę stacjonarną. W rzeczywistości formy te przedstawiają jedynie iluzję trwałości. Ich genezę można badać w różnych fazach oscylacji, oglądając je za pomocą kamery, jeśli dobierze się różne czasy otwarcia migawki.



Rys. 9. Przedstawienie dźwięku jako fali kulistej oraz jej przekroju, który może być odwzorowany w cymatoskopie [Cymascope 2023]

3. ROZWAŻANIA

Dźwięk może być odzwierciedlony pewnymi formami geometrycznymi. Gdy materia fizyczna wibruje dźwiękiem, przyjmuje określone formy. Celem mojej pracy jest kontynuacja tego kierunku badań, z naciskiem na badanie związku między sygnałem dźwiękowym i wynikającym z niego wzorem cymatycznym. Czy te wzorce mogą mieć odzwierciedlenie w układzie rozmieszczenia widowni sal widowiskowych? W moim przekonaniu warto podjąć próbę takiego zobrazowania drgającej płaszczyzny widowni, gdyż może się to okazać pomocne jeszcze na etapie projektowania sali. Ponieważ wzór cymatyczny jest zależny od częstotliwości pobudzenia to rozmieszczenie widowni również powinno być zależne od przeznaczenia pomieszczenia. Należy się zastanowić nad rodzajem pobudzenia, którym można byłoby to zbadać – czy powinny to być tony (każdy ton ma swoje alikwoty, czyli kolejne harmoniczne), pewne fragmenty muzyczne, czy może szum biały, jako dźwięk o płaskim widmie w całym zakresie częstotliwościowym. Najprostsze do obserwacji są tony, ponieważ odwzorowują one pewną formę, która nie podlega ciągłym zmianom jak fragment utworu muzycznego – tylko które tony brać pod uwagę? Czy wysokości tych tonów powinny być zależne od wymiarów pomieszczenia? A może do badań wykorzystać szum jako sygnał „uniwersalny”. Dotychczas przeprowadzane badania przez naukowców nie wykorzystywały tego typu sygnałów do pobudzenia ośrodka do drgań. Może taki sygnał spowoduje znaczne rozproszenie badanego materiału, z czego nie będzie można odczytać cymatycznego wzoru, a może wręcz przeciwnie – stanie się idealnym sygnałem do badań.

Badania rozkładu widowni należałoby przeprowadzić na materiale o kształcie odpowiadającym badanej sali. Ważne są tutaj również warunki brzegowe drgającego obiektu. Nie może to być drgająca płyta o wolnych brzegach pobudzona do drgań smyczkiem w jednym miejscu płyty. Sala teatralna jest częścią budowli architektonicznej, której krawędzie są „stałe” (nie drgają swobodnie). Widownia może mieć różne kształty, więc badania powinno się przeprowadzić dla różnych sytuacji.

Wzory, które powstaną, są miejscami występowania węzłów modów drgań pomieszczenia, co jest związane z gorszymi warunkami akustycznymi panującymi w tych miejscach. Propozycją autorki jest dążenie do takiego rozmieszczenia foteli na widowni, aby przejścia między nimi znajdowały się właśnie w miejscach występowania tych węzłów. Może dałoby się ustalić pewne wzorce typowego ustawienia foteli w zależności od kształtu widowni oraz przewidywanych wydarzeń scenicznych odbywających się w sali.

Wzory cymatyczne mogą być trudne do takiego zinterpretowania przestrzeni, by odpowiednio ustawić w niej rzędy foteli zgodnie z odwzorowaniem dźwięku. Pomocne tu mogą być również odstępstwa od ustawienia rzędowego.

Jedną z takich metod została już przedstawiona w tym tekście i jest to ustawienie tarasowe. Być może wielkość i rozmieszczenie tych tarasów zgodnie ze wzorem cymatycznym stworzy optymalne warunki do odbioru dźwięku w sali. Balustrady tarasów mogą znajdować się w miejscach występowania węzłów drgań dla całej powierzchni widowni. Podział przestrzeni widowni na mniejsze części jest na pewno korzystny ze względu na rozproszenie dźwięku w pomieszczeniu i warto się zastanowić, czy układ tego podziału może mieć tu znaczący wpływ na odbiór dźwięku przez słuchacza.

Inną metodą może być również stworzenie widowni ze stolikami i kanapami bądź krzesłami (układ kawiarniany). Wtedy też łatwiej będzie zaaranżować przestrzeń zgodnie z odwzorowaniem wzoru cymatycznego. Taki układ ma swoje wady, ponieważ pomieści mniejszą liczbę widzów w sali, natomiast daje ono niepowtarzalny, kameralny klimat oraz sprawia wrażenie eleganckiego wnętrza. Układ taki został zastosowany w nowej sali Teatru Capitol (rys. 10) oraz Teatru Sabat w Warszawie (rys. 11), która pełni również funkcję restauracji. Zastosowanie kanap zamiast krzesel może zwiększyć liczbę miejsc na widowni.

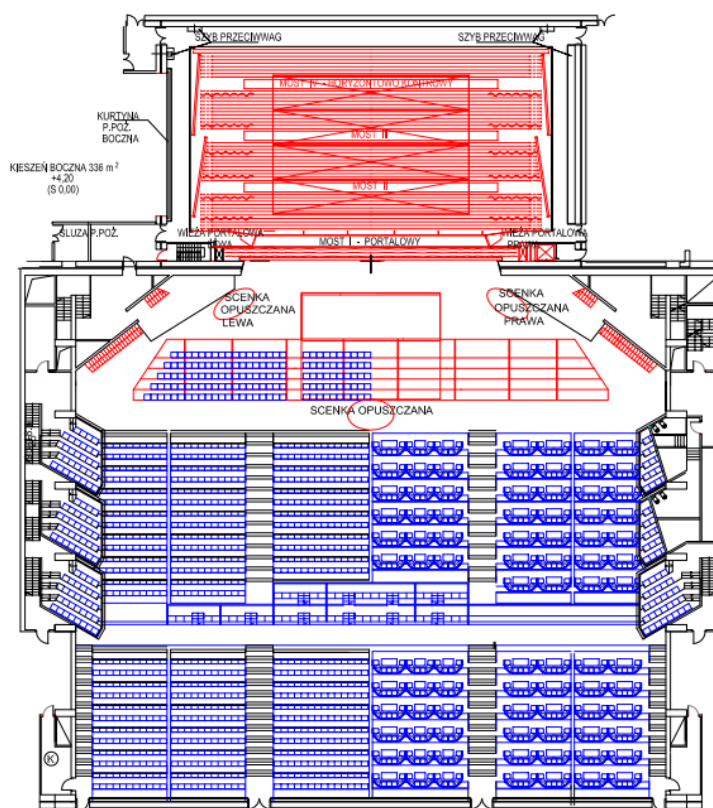
Dobrym pomysłem może okazać się również zastosowanie zmiennego układu widowni w zależności od zaplanowanego wydarzenia scenicznego. Można to uzyskać poprzez użycie obrotowych segmentów widowni. W nowoczesnych teatrach mechanizuje się nie tylko scenę, ale także widownię. Najczęściej są to ruchome pomosty. Możliwe jest zastosowanie przebudowy widowni dzięki zapadniom zmieniającym ukształtowanie podłogi, bębnom obracającym widownię lub jej część, lub elementom obrotowym podłogi widowni, które pozwalają na przebudowę widowni z fotelami na widownię ze stolikami [Gumiński 2008] (rys. 12).



Rys. 10. Nowa scena „Capitol by night” otwarta 7.10.2023 na 15-lecie Teatru Capitol [e-teatr 2023]



Rys. 11. Teatr Sabat w Warszawie [Teatr Sabat 2023]

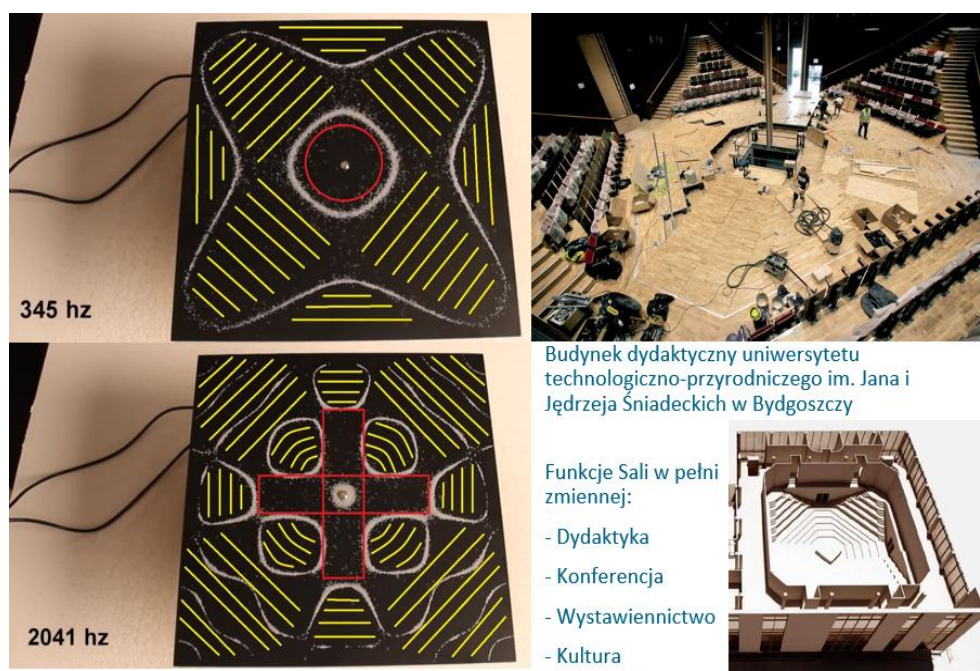


Rys. 12. Projekt Centrum Kongresowo-Widowiskowego w Warszawie. Rzut. Autorzy: architektura – Józef Chmiel, technologia – Jerzy Gumiński, 2001 [Gumiński 2008]

Analiza drgań powierzchni widowni może stanowić zupełnie nowe podejście do tworzenia projektu architektonicznego wnętrza sal teatralnych. Naukowcy wykonali szereg doświadczeń, które wykazały, że pobudzając obiekt energią akustyczną, wprawiamy go w drgania, a za kształt cymatycznego modelu tego pobudzenia odpowiada głównie częstotliwość jego drgań. Wzajemne oddziaływanie sił w trakcie istnienia ruchu, a także jednoczesne tworzenie form i figur to ważna cecha procesów falowych i wibracyjnych [Jenny 1969]. Wibracje powierzchni widowni niewątpliwie mają wpływ na jakość odbieranego dźwięku przez widza.

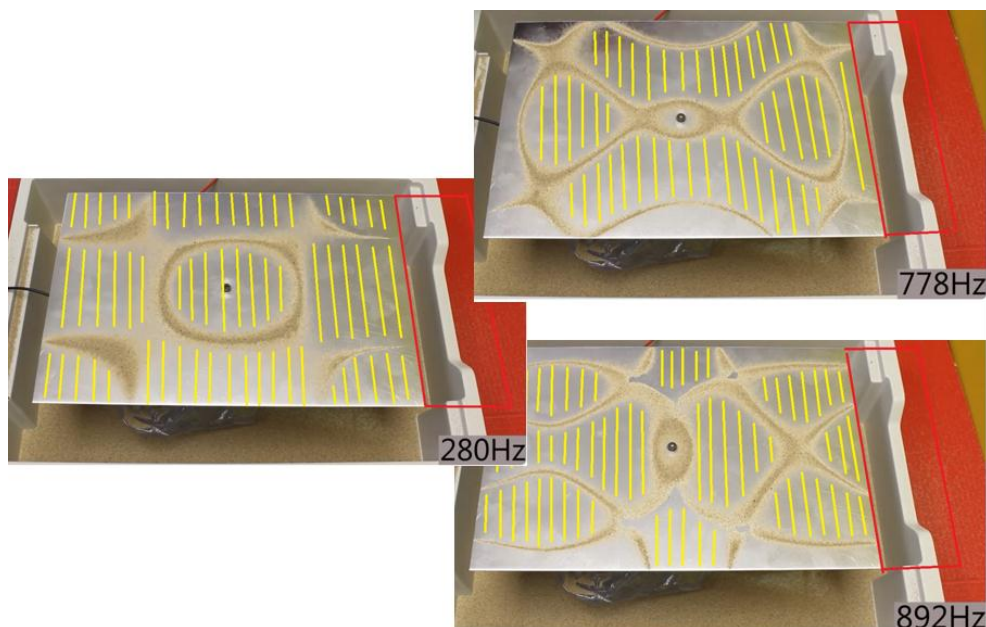
Ponieważ mój układ badawczy jeszcze nie jest gotowy, chciałam pokazać przykładowe rozmieszczenie widowni, które można uzyskać z przeprowadzonych badań. Na drgających płytach widać rezonanse dla przykładowych częstotliwości. W liniach węzłowych umieszczony jest piasek. Kolorem czerwonym oznaczyłam propozycję umieszczenia sceny, a kolorem żółtym możliwość ustawienia rzędów widowni.

Pierwsze przykłady odnoszą się do płyt kwadratowych (rys. 13). W Polsce, jak i na świecie występują sale na planie kwadratu. Przykładem jest sala wielofunkcyjna, która mieści się w budynku dydaktycznym Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Jest to sala w pełni zmienna. Na górnym przykładzie przedstawiłam możliwość zastosowania okrągłej sceny lub równie dobrze mogłaby być tam scena kwadratowa umiejscowiona centralnie na środku sali. Rysunek dolny przedstawia przykład dla sceny z podestami.



Rys. 13. Przykłady propozycji rozmieszczenia rzędów widowni dla sal na planie kwadratu wraz z odniesieniem do przykładu takiej sali, która mieści się w budynku dydaktycznym Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy [na podstawie YouTube 2013]

Kolejne przykłady dotyczą modów drgań płyt prostokątnych (rys. 14), ponieważ wiele sal ma taki układ. Z przedstawionych wyników można jednoznacznie stwierdzić, że analiza modalna może mieć wpływ na optymalne rozmieszczenie słuchaczy na widowni.



Rys. 14. Przykłady drgań płyt prostokątnych wraz z proponowanym rozmieszczeniem rzędów widowni dla sal o rzucie prostokątnym [na podstawie YouTube 2014]

3. PODSUMOWANIE

Dźwięk jest wartościowym tworzywem stosowanym w kształtowaniu przestrzeni architektonicznej posiadającym walory użytkowe, estetyczne, wzbogacające percepcję otoczenia człowieka. Twórcze kształtowanie dźwięku wzbogaca przestrzeń w architekturze, a stosowane odrębnie wyraża cechy odpowiadające formowanej przestrzeni architektonicznej.

Widownia sal widowiskowych może mieć różny kształt. Analiza literaturowa wskazuje na projektowanie sal w określonych kształtach, które są optymalne pod względem akustyki.

Każdy obiekt fizyczny może być generatorem lub wzmacniaczem drgań akustycznych. Drgania te mogą być odwzorowane jako geometryczne kształty, które pokazują rozmieszczenie strzałek oraz węzłów ciśnienia akustycznego. Powierzchnia widowni również jest obiektem drgającym, w związku z czym istnieją na niej miejsca występowania maksymalnego oraz minimalnego ciśnienia akustycznego dla danego sygnału pobudzenia. Dotychczas rozmieszczenie foteli kształtowano pod względem estetycznym oraz rozmieszczenia liczby wymaganych przejść ewakuacyjnych.

Analiza literaturowa wskazuje na potrzebę uszczegółowienia badań akustycznych widowni nad zależnością kształtu sali w stosunku do realizowanych wydarzeń scenicznych.

Model kształtu widowni sali widowiskowej wraz z generatorem sygnałów akustycznych może stanowić podstawę badań akustycznych oraz określania rozwiązań architektoniczno-akustycznych.

Kształtowanie sal widowiskowych, w szczególności rozmieszczenia elementów na widowni, powinno zapewniać jej zmienność mającą na celu uzyskanie optymalnej jakości odbioru sygnałów akustycznych zharmonizowanych z planowanymi wydarzeniami scenicznymi.

Istnieje konieczność dalszego podejmowania badań nad sposobami praktycznego kształtowania rozwiązań architektoniczno-akustycznych.

LITERATURA

- Barron M., 1995, *Bass sound in concert auditoria*, "Journal of the Acoustical Society of America", vol. 97, no. 2, pp. 1088-1098.
- Beranek L.L., 1962, *Music, acoustics and architecture*, J. Wiley and Sons, New York.
- Chladni E.F.F., 1787, *Entdeckungen über die theorie des Klagen*, Weidmanns Erben und Reich, Leipzig.
- Chladni E.F.F., 1802, *Die Akustik*, Breitkopf Und Härtel, Leipzig.
- Cremer L., Müller H., 1982, *Principles and Applications of Room Acoustics*, Applied Science Publishers, London–New York, vol. 1, rozdz. 1.6.4.
- Cymascope, 2023, *Home*, <https://cymascope.com/> (dostęp: 10.11.2023).
- E-teatr, 2023, *Warszawa. Otwarcie sceny "Capitol by night" na 15-lecie Teatru Capitol*, <https://e-teatr.pl/warszawa-otwarcie-sceny-capitol-by-night-na-15-lecie-teatru-capitol-41577> (dostęp: 10.11.2023).
- Everest A.F., 2004, *Podręcznik akustyki*, Wydawnictwo Sonia Draga, Katowice, s. 411-434.
- Gibała-Kapecka B., 2020, *Dźwięk przestrzenny – poczucie otoczenia dźwiękiem*, in *AW Journal*, Kraków.
- Gumiński J., 2008, *Porozmawiajmy o technologii teatru*, Drukarnia WIST Antoni Wierzbowski, Łódź.
- Jenny H., *Cymatics*, 2023, *A Study of Wave Phenomena and Vibration*, vol. 1: *The Structure and Dynamics of Waves and Vibrations*, 1967; vol. 2: *Wave Phenomena, Vibrational Effects and Harmonic Oscillations with their Structure, Kinetics and Dynamics*, 1974, https://monoskop.org/images/7/78/Jenny_Hans_Cymatics_A_Study_of_Wave_Phenomena_and_Vibration.pdf (dostęp: 15.12.2023).
- Jenny H., 1969, *Cymatics: the sculpture of vibrations*, "The Unesco Courier", pp. 4-9.
- Kulowski A., 2007, *Akustyka sal*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, s. 86, 101-103.
- Lauterwasser A., 2023, *Wasser-Klang_Bilder Chladnische Klangfiguren*, <http://www.wasserklangbilder.de/> (dostęp: 10.11.2023).
- Neufert E., 2002, *Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego*, Arkady, Warszawa.

- Nutao, 2023a, *Cymatyka – coś więcej niż tylko muzyka*, <http://www.nutao.pl/cymatyka-cos-wiecej-niz-tylko-muzyka/> (dostęp: 11.11.2023).
- Nutao, 2023b, *Masaru Emoto i jego eksperymenty z wodą*, <http://www.nutao.pl/masaru-emoto-i-jego-eksperymenty-z-woda/> (dostęp: 11.11.2023).
- Polskie Radio, 2020, *Od Mozarta do Schuberta. Koncert w Filharmonii Berlińskiej*, <https://www.polskieradio.pl/8/688/artukul/2436176,od-mozarta-do-schuberta-koncert-w-filharmonii-berlińskiej> (dostęp: 9.11.2023).
- Sadowski J., 1976, *Akustyka architektoniczna*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, s. 122, 132.
- Słojewska I., 2010, *Dialog muzyki z wodą*, „Czwarty Wymiar”, nr 7, s. 48-49.
- Teatr Sabat, 2023, *Restauracja – Widownia*, www.teatr-sabat.pl/pl/restauracja (dostęp: 10.11.2023).
- Telatycka A., 2023, *Próba interpretacji znaczeń róży kościelnej (rozety) odwzorowanej z pomocą cymatyki*, „Ignatianum”, t. 29, nr 4, s. 167-184.
- YouTube, 2013, *Amazing Resonance Experiment*, <https://www.youtube.com/watch?v=vw-JAgrUBF4w> (dostęp: 30.12.2023).
- YouTube, 2014, *Chladni Plate*, <https://www.youtube.com/watch?v=jNerQRoQ3AI> (dostęp: 20.12.2023).
- Welthellsicht, 2020, *Welthellsicht – moje spojrzenie na świat*, <https://welthellsicht.blogspot.com/2020/03/geniusz-akustyki-ktory-przewidzia-swoja.html> (dostęp: 10.11.2023).
- Wordpress, 2018, *Ernst Chladni: czy można zobaczyć dźwięk? (1787)*, <https://kierul.wordpress.com/2018/04/28/ernst-chladni-czy-mozna-zobaczyc-dzwiek-1787/> (dostęp: 10.11.2023).

THEATER ARCHITECTURE PAINTED WITH SOUND

Summary

Sound perception can occur on two levels – visual and auditory. Both of these dimensions interpenetrate each other. By creating geometric patterns, sounds create matter. Cymatics is the science that allows us to see the shapes created by specific sound frequencies. Sound vibrations compact matter, creating various patterns. The shapes of physical structures also produce sounds (vibrations), usually in the form of infrasound that is inaudible to the human ear. In architecture, you can discover relationships with figures created when sound interacts with matter. Any object can be a generator or amplifier of sound wave energy. The architectural shapes may refer to Chladni's figures. These figures reflect the places where the nodes of the standing wave occur. The shape of the audience of the auditorium (theater) is determined at the architectural design stage. The correct arrangement of seats and transitions between them in the audience area may be closely related to its shape and dimensions. This plane, vibrating, forces the arrangement of transitions in places where there are sound pressure nodes, and seats in places of maximum sound pressure level. This is a new approach to shaping interior architecture for the audience of auditoriums.

Keywords: architecture, acoustics, sound, cymatics, auditory architecture, auditory interior design

