

**Wybrane zagadnienia
w zakresie budownictwa,
architektury i gospodarki
przestrzennej**

Wybrane zagadnienia w zakresie budownictwa, architektury i gospodarki przestrzennej

Redakcja:
Zbigniew Czyż
Monika Maciąg

Lublin 2017

Recenzenci:

- dr inż. Mariusz Kłonica
- dr inż. Agata Czarnigowska
- dr inż. Grzegorz Kłosowski
- dr inż. Krzysztof Dziedzic
- dr inż. Marcin Szlachetka
- dr inż. Mirosław Szala
- dr Marta Dmitruk

Wszystkie opublikowane rozdziały otrzymały pozytywne recenzje.

Skład i łamanie:
Sandra Czarniecka

Projekt okładki:
Marcin Szklarczyk

© Copyright by Wydawnictwo Naukowe TYGIEL sp. z o.o.

ISBN 978-83-65598-92-9

Wydawca:
Wydawnictwo Naukowe TYGIEL sp. z o.o.
ul. Głowackiego 35/341, 20-060 Lublin
www.wydawnictwo-tygiel.pl

Spis treści

<i>Lea Kazanecka-Olejniki</i> Zastosowanie ruchu w architekturze adaptacyjnej	7
<i>Witold Szymański</i> Anamorfozy – perspektywa zniekształcona.....	17
<i>Witold Szymański</i> Odwzorowanie perspektywiczne w nasklepiennym malarstwie późnego baroku...	39
<i>Adam Krawiec, Patrycja Stasiak</i> Konstrukcja łupinowa i jej zastosowanie w architekturze nowoczesnej i współczesnej.....	55
<i>Daria Bręczewska-Kulesza</i> Drewniane elementy dekoracyjne w fasadach kamienic czynszowych z końca XIX i początku XX stulecia	68
<i>Henryk Żelazny, Bartłomiej Bednarz</i> Badania wytrzymałościowe jesionu stosowanego do wykończeń pod kątem wykorzystania na elementy konstrukcyjne.....	82
<i>Witold Szymański, Henryk Dąbrowski</i> Przestrzenne struktury pneumatyczne i możliwość ich wykorzystania w systemach awaryjnego budownictwa mieszkaniowego	94
<i>Joanna Styczeń, Arkadiusz Urzędowski</i> Zastosowanie pomiarów termowizyjnych do oceny jakościowej strat ciepła w budynkach jednorodzinnych.....	109
<i>Monika Garbacz</i> Możliwość wczesnego wykrywania porażenia mikrobiologicznego budynków za pomocą matrycy wieloczułnikowej.....	121
<i>Katarzyna Stromczyńska, Ewa Hanus-Fajerska, Przemysław Czaja</i> Ekran akustyczny jako potencjalne ogrodzenie wertykalne	134
<i>Jakub Siwiec</i> Modelowanie parametryczne w projektowaniu geometrii korytarza trasy drogowej.....	144
Indeks Autorów	160

Zastosowanie ruchu w architekturze adaptacyjnej

1. Wstęp

Ciągle przemiany można zaobserwować w wielu aspektach otaczającego świata. Dotyczą one zarówno przestrzeni, jak i technologii, mody, komunikacji, żywności, jednostki. Wraz z upływem czasu następują nieuniknione przekształcenia, mogące definiować proces projektowy [1]. Obiekt, który nie uwzględnia tego założenia pozostaje projektowo obojętny na nadchodzące przemiany, ale nie pozostaje poza ich działaniem.

Technologia na kilka sposobów odpowiada na zmienne potrzeby dużej liczby ludności i związaną z tym różnorodność. Segmentacja społeczeństwa na podstawowe grupy pozwala producentom urządzeń elektronicznych wyróżnić główne typy użytkowników. W tych ramach tworzona jest chwilowa oferta konsumencka. Każdy może w niej wybrać urządzenie, które najbardziej mu odpowiada. Jednak narzędzia takie, jak np. komputer, telefon podlegają dalszej personalizacji przez przemiany. Urządzenie staje się czymś osobistym ze względu na dokonywane w nich zmiany i udoskonalenia związane z konkretną osobą: wybór koloru, aplikacji, dźwięku, programów, tła. Technologia pozwala użytkownikowi na personalizację przez szereg adaptacji w ramach jej systemu.

Na jakie przemiany gotowa jest architektura? Użytkownicy bezustannie ich dokonują chociażby po to, aby sprawić, że zastane miejsce stanie się ich własnym. Wprowadzając się do nowego mieszkania przynoszą swoje meble, przedmioty, ustawiają je według własnych upodobań.

Adaptacja przestrzeni oznacza dopasowanie danego miejsca, o określonym przeznaczeniu, strukturze, funkcji, zasadzie działania, które w procesie modyfikowania tych czynników, zostaje przystosowane do nowej potrzeby. Może to być dokonane między innymi poprzez przebudowę, będącą nieprojektowaną początkowo ingerencją w istniejącą strukturę obiektu. Kiedy jednak czas i idące za nim zmiany stają się podstawą projektową, może to oznaczać tworzenie struktur o formie gotowej do przemian, im dedykowanej. Uwzględnienie przyszłej adaptacji jako podstawa projektowa pojawia się coraz częściej we współczesnych założeniach. Jednym z nich jest idea Open Building, N. J. Habrakena, formy otwartej, która jest przystoso-

¹ lea.kazanecka@gmail.com, Katedra Architektury Użyteczności Publicznej i Podstaw Projektowania, Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska

wana do nadchodzących zmian ze strony różnorodnych użytkowników, zarówno indywidualnych, jak i kolektywnych [2]. Architektura o zmiennym potencjale charakteryzuje się wykorzystaniem narzędzi budowlanych, umożliwiających dokonywanie transformacji.

Można wyróżnić wiele powodów dokonywania adaptacji w architekturze. Wśród tych potrzeb wyróżnia się odniesienie do zmiennych: warunków środowiska, funkcji miejsca, potrzeb komunikacyjnych, potrzeb jednostki. Celem pracy jest zdefiniowanie zamierzenia, związanego z dokonywaniem danej adaptacji, w ramach których następnie zostaną wyróżnione sposoby ich dokonywania przez wprowadzenie ruchu, narzędzia je umożliwiającego. Tym samym analizowane przykłady architektoniczne, pokażą możliwości transformacji w ramach ruchu wybranych fragmentów lub całości obiektu.

2. Adaptacja do zmiennych warunków środowiska

Współczesna architektura proekologiczna na wiele sposobów podchodzi do kształtowania obiektów. Obecne są różne nurty, w ramach których definiowane są ich cele i postulaty. Jednym z nich jest poszukiwanie adaptacyjności architektury [3]. Znaczenie tego słowa jest jednak w tym kontekście szerokie. Oznacza to między innymi ochronę istniejących obiektów i próbę ich ponownego wykorzystania, aby ograniczyć rozrost tkanki budowlanej i zapewnić jej ochronę. Pojęcie to dotyczy także uznania upływu czasu za czwarty wymiar projektu, który powinien zostać uwzględniony w kształtowaniu architektury proekologicznej [4]. Jest to możliwe przez szereg takich działań, jak tworzenie interaktywnych powłok elewacyjnych, wykorzystanie materiałów typu SMART, podążanie obiektu za słońcem.



Rysunek 1. Zdjęcia dwóch etapów przekształceń elementów pawilonu HygroSkin, ich otwarcie i zamknięcie [5].

HygroSkin to pawilon, który uzyskuje zmienność poprzez biomimetyzm, naśladowanie natury [6]. Naturalne zjawiska posłużyły do stworzenia „żywej skóry”, czyli zewnętrznych przegród, które reagują na zmiany w otoczeniu. W tym celu wykorzystano ciekłą sklejkę, w której nacięto trójkątne element-

ty, składające się w formę wielokątnego, zmiennego otworu. Trójkątne fragmenty sklejk rozchylają się lub zamykają w zależności od wilgotności otoczenia, kontrolując tym samym klimat wewnętrzny bez potrzeby angażowania użytkownika w proces zmian. Automatyczna reakcja materiału pozwala na ciągłą adaptację. K. Zielonko-Jung pisze o materiałach typu smart materials, intelligent materials, datując ich powstanie na II poł. XX wieku jako efekt rozwoju przemysłu np. kosmicznego [7]. Materiały adaptacyjne to jednak także między innymi sklejka, a wykorzystanie jej naturalnych właściwości daje możliwość dopasowania do zmiennych warunków miejsca przez ruch jej elementów. Rozwiązania tego typu stanowią alternatywę dla kontrolowania warunków wewnętrznych przez technologię np. klimatyzację, dając rozwiązanie naturalne, nie wymagające uwagi użytkownika i dodatkowych kosztów eksploatacyjnych.



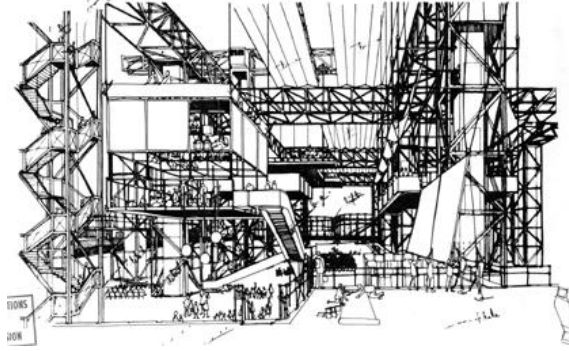
Rysunek 2. Zdjęcie domu Heliotrop [8].

Ruch jako metodę adaptacji do zmiennych warunków środowiska wykorzystuje także architektura solarna. Ideą tego typu architektury jest jak najlepsze wykorzystanie energii słonecznej w architekturze, zarówno poprzez rozwiązania pasywne jak i aktywne [9]. Jednym z tego typu rozwiązań jest ciągle podążanie za słońcem. Wykorzystał to R. Dish w projekcie jego domu własnego, Heliotrop [10]. Wykorzystuje on maksymalnie zyski z promieniowania słonecznego, bezustannie podążając za słońcem. Cały budynek podlega obrotowi, adaptując się do zmiennego środowiska, oferując urozmaicone widoki, relacje z otaczającym go krajobrazem.

Wprowadzenie ruchu w obiekcie architektonicznym pozwala na zapewnienie jego adaptacyjności do środowiska zarówno poprzez wykorzystanie technologii, jak i rozwiązań, nie wymagających energii. Architektura proekologiczna pozostaje tym samym w ścisłej relacji z otaczającym ją środowiskiem, nie pozostając obojętną na zyski i straty energetyczne, przestrzenne z nim związane.

3. Adaptacja do zmiennej funkcji

Istotnym celem adaptacji obiektu jest pojawiająca się w nim zmiana funkcjonalna. Budynki często istnieją dłużej niż funkcja, dla której zostały zaprojektowane. Oznacza to, że po zakończeniu jednego sposobu użytkowania, pojawia się następny w ramach już istniejącej struktury. Aby obiekt odpowiadał nowym potrzebom może ulegać przebudowie.



Rysunek 3. Rysunek C. Price'a, pokazujący obiekt w trakcie ciągłych przekształceń [11].

Inną formę adaptowania obiektu zaproponował C. Price w projekcie koncepcyjnym Fun Palace [12]. Miejsce rozrywki miało być całkowicie zależne od użytkownika poprzez wykorzystanie technologii i modułowych elementów. Miało ulegać ciągłemu konstruowaniu i dekonstruowaniu za pomocą mobilnych narzędzi: ścian, podłóg, platform, sufitów, schodów. Przedstawiając je, użytkownicy mogliby uzyskać przestrzeń dedykowaną dowolnie wybranej przez siebie funkcji. Zaproponowano więc przestrzeń, o zdefiniowanych elementach, których ułożenie może odpowiadać potrzebom chwilowych rozrywek. Projekt stał się podstawą do budowy Centre Pompidou, a także wielu koncepcji przestrzeni adaptacyjnych, obiektów, w których założono konieczność dostosowywania miejsca do potrzeby, a nie dostosowywania potrzeby do miejsca.



Rysunek 4. Zdjęcia przedstawiające Kitchen Monument w jednej z zaadaptowanych przestrzeni [13]

Innym rozwiązaniem dla zmiennych potrzeb są przestrzenie poszukujące miejsca, w którym ich funkcja, bądź możliwości będą wykorzystane. Takim obiektem jest Kitchen Monument, mobilna instalacja [14]. Składa się ona z prostopadłościanu, służącego za przedsionek, garderobę, miejsce na urządzania, a także pneumatycznej bańki, która jest z niego rozkładana. Bańka utworzona jest z przezroczystego materiału. Odbywają się w niej różnorodne wydarzenia, w zależności od potrzeb użytkowników i miejsca. Od 2006 roku poszukiwała miejsc, które mogłaby czasowo zaadaptować: parków, przestrzeni pod mostem, podwórek, placów, przejść. Niektóre funkcje publiczne potrzebne są jedynie czasowo i odpowiedzią na to stała się rozkładana i przenośna instalacja. Pozwoliła nie tylko na utworzenie chwilowej funkcji w danym miejscu, ale także na wielokrotne wykorzystanie jednej struktury poprzez nieustanne poszukiwanie przez nią przestrzeni możliwej do zaadaptowania. Charakteryzuje ją także nieduży wpływ na zastane środowisko. Zmienia relacje przestrzenne kiedy chwilowo istnieje w wybranym punkcie, ale nie zmienia go trwale, nie pozostawiając po sobie śladu.



Rysunek 5. Zdjęcie terenu przeznaczanego na EXPO 2015 oraz plan infrastruktury, która pojawiła się podczas wydarzenia [15].

Adaptacja może się także pojawiać jako efekt nagłej potrzeby znalezienia przestrzeni, którą można wykorzystać na czasowe wydarzenia. Tego typu działania dokonywane są na potrzeby koncertów, festiwali, sytuacji, w których to wyjątkowe wydarzenie definiuje transformację. Wystawa światowa Expo odbywa się cyklicznie w różnych miejscach na świecie. W 2015 roku odbyła się w Mediolanie pod hasłem „Wyżywienie planety, energia dla życia”, odwołując się do globalnych problemów [16]. Na jej potrzeby zaadaptowano obszar ponad 1 km², tworząc na nim dwie główne drogi krzyżujące się ze sobą oraz kilkudziesięciu tymczasowych pawilonów. Podczas trwania festiwalu były one atrakcją dla licznych użytkowników, kiedy wydarzenie się zakończyło pozostała infrastruktura i przestrzeń, która nie miała już funkcji. Część pawilonów zaprojektowano w taki sposób aby móc ponownie wykorzystać ich materiały, część została przeniesiona w inne miejsca. Autorzy zaprojektowali nie tylko same obiekty, ale także ich dalsze funkcjonowanie i możliwość wykorzystania, będąc świadomymi tymczasowości założenia. Obecnie obszar jest dedykowany różnorodnym wydarzeniom i aktywnościom rozrywkowym w ramach Experience rESTATEaMilano.

Oznacza to czasowe pozostawienie ogólnej zasady działania w ramach kulturalnej promocji miasta, tworząc jednak nowe miejsce i funkcje [17].

Zagadnienie adaptacyjności na potrzeby funkcjonalne jest niezwykle złożone. Zdefiniowane przestrzenie, w ramach, których oferowany jest szereg możliwości funkcjonalnych pozwalają na koegzystowanie trwałość i przekształcalność obiektu. Jednak zmianom mogą podlegać miejsca, w których powstaje chwilowa funkcja, a które nie były jej dedykowane. Istotne są wtedy relacje pomiędzy środowiskiem zastanym, a nową strukturą. Obiekty mobilne, które mogą ulegać transformacji pozwalają na zapewnienie wymaganej funkcji bez konieczności trwałej ingerencji w miejsce.

4. Adaptacja do zmian komunikacyjnych

Poszukiwanie zmienności może także wynikać ze zmiennych potrzeb komunikacyjnych. To samo miejsce może być wykorzystywane do poruszania się pieszych, rowerów, a następnie samochodów. Przy skrzyżowaniach komunikacji wodnej i lądowej stosowane są mosty, pozwalające na koegzystowanie wielu sposobów poruszania. Ruch mostów umożliwia zmienność tras przemieszczania się, ich otwieranie i zamykanie. Innym aspektem jest relacja pomiędzy arteriami komunikacyjnymi, a przylegającymi do nich obiektami. Występuje różnica pomiędzy ruchem użytkowników, którzy w czasie otwarcia obiektu mogą do niego wejść, a kiedy pozostaje on zamknięty i obojętny na ruch przechodniów.



Rysunek 6. Zdjęcia Gateshead Millenium Bridge w dwóch etapach ruchu [18].

Przykładem możliwości przekształceń związanych z potrzebami komunikacyjnymi jest Gateshead Millenium Bridge [19]. Most, będący przejściem pieszym, jest poddawany powtarzalnym przekształceniom, które umożliwiają przepłynięcie łodzi. Struktura składa się z dwóch łuków, kładki pieszej i elementu konstrukcyjnego. Płynące rzeką obiekty mogą kontynuować podróż w tym miejscu, kiedy struktura wykona obrót o 40° , unosząc oba łuki w podobnej pozycji, nad chwilowe połączenie komunikacyjne.



Rysunek 7. Elewacja Storefront for Art and Architecture [20].

Storefront for Art and Architecture to organizacja zajmująca się promocją i rozwojem sztuki i architektury. Aktualną fasadę jej budynku zaprojektował V. Acconci i S. Holl jako czasową instalację [21]. W elewacji obiektu utworzono obracające się panele, które manipulują granicą pomiędzy usługą, a ulicą. Otwierają lub zamykają wnętrze w zależności od chwilowych potrzeb, otwarcia lub zamknięcia funkcji, rodzaju odbywającej się aktywności, potrzeb użytkowników, prowadzących wydarzenia wewnątrz. Ruch każdego z paneli pozwala na transformację relacji komunikacyjnych. Powstaje narzędzie, dające użytkownikom stałą kontrolę nad nim. Działanie nie jest koniecznością, ale formą tworzenia zmiennej relacji obu przestrzeni w nietradycyjnej formie, podkreślającą unikatowość miejsca, a także wytyczającą przyszłe możliwości architektoniczne.

Przekształcenia związane z komunikacją mogą być odpowiedzią na coraz bardziej złożone struktury przemieszczania się, nakładanie się wielu kierunków ruchu. Pozwala to także na projektowanie przestrzeni dopasowanych do czasowych zmian w istniejącym w danym miejscu ruchów.

5. Adaptacja w poszukiwaniu personalizacji

Twórcy projektujący przestrzenie dla wielu nieidentycznych jednostek lub przestrzenie, które nie są dedykowane zdefiniowanym użytkownikom, niekiedy poszukiwali rozwiązania, które pozwalałoby im na uwzględnienie ich zróżnicowanych potrzeb. Temu zagadnieniu poświęcona była wspomniana idea Open Building, J. Habrakena. Postulował on współpracę pomiędzy potrzebami społeczności i indywidualnych użytkowników, wskazując na ich niejednorodność i potrzebę zmienności. Architektura miała za zadanie wspierać zmiany i oferować zestaw narzędzi ją umożliwiających.



Rysunek 8. Wnętrze domu Naked House w dwóch różnych etapach przekształceń [22].

Naked House autorstwa Sh. Bana to dom zaprojektowany dla czteroosobowej rodziny [23]. Twórca nie znał ich, otrzymał natomiast wytyczne, w których istotna była przyszłych mieszkańców potrzeba wspólnego przebywania, otwartości, ograniczonej prywatności. Na ich podstawie powstał dom, który może ulegać ciągłym przekształceniom. Uzyskane informacje pozwoliły na zaprojektowanie otwartego planu, w którym umieszczono cztery przesuwne sześciany, pomieszczenia. Mogą one być swobodnie przestawiane, tworząc wzajemne relacje zależne od potrzeb mieszkańców. Ta adaptacyjność przestrzeni, uzyskana przesuwaniem wewnętrznych elementów w stałej strukturze zewnętrznej, nadała jej nieskończone możliwości, personalizując poszukiwane wnętrze.



Rysunek 9. Elewacja Kiefer Technic Showroom [24].

Istotna jest także adaptacyjność, pozwalająca na personalizację, w strukturach bardziej złożonych, kiedy mamy do czynienia z wieloma mieszkańcami, których potrzeby mogą się różnić. Jednym z elementów budynku, który może być bezustannie i indywidualnie kontrolowany są osłony przeciwsłoneczne. Kiefer Technic Showroom to obiekt biurowy, którego fasada definiowana jest przez ciągle przekształcenia [25]. Personalizacja następuje poprzez ruch aluminiowych paneli, kontrolowany przez użytkownika lub program, w zależności od danej sytuacji.

Złożone struktury społeczne wpływają na architekturę. Aby zapewnić wielu użytkownikom jednej przestrzeni personalizacji, a także tworzenia wspólnoty, architektura może tworzyć narzędzia, w ramach których oba zagadnienia będą równie istotne. Poprzez możliwość reagowania, obiekt staje się miejscem własnym, spersonalizowanym, odpowiadającym rzeczywistym potrzebom danej osoby. Architektura nie musi pozostawać obojętna.

6. Wnioski

W obliczu złożonych potrzeb funkcjonalnych, komunikacyjnych, prośrodowiskowych i indywidualnych, architektura nie powinna pozostawać obojętna na zmiany. Ruch jako narzędzie architektury adaptacyjnej pozwala na tworzenie obiektów przekształcalnych lub o przekształcalnych elementach, mobilnych, konstruowanych i dekonstruowanych, a przede wszystkim reagujących. Tworzenie formy otwartej, podążającej za myślą N. J. Habrakena i C. Price'a, może stać się podstawą do projektowania ukierunkowanego na aktualną sytuację i zadania, w którym czas i jednostka stają się elementem definiującym miejsce.

Literatura

1. Zielonko-Jung K., Marchwiński J. *Łączenie tradycyjnych i zaawansowanych technologii w architekturze proekologicznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2012, s. 20-23.
2. Kronenburg R. *Flexible Architecture that Responds to Change.*, Laurence King Publishing, 2007, s. 55-86.
3. Wines J., Jodidio P. *Zielona architektura*, Taschen, 2008, s. 64-68.
4. Zielonko-Jung K., Marchwiński J. *Łączenie tradycyjnych i zaawansowanych technologii w architekturze proekologicznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2012, s. 21-23.
5. <http://www.archdaily.com/424911/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-achim-menges-architect-in-collaboration-with-oliver-david-krieg-and-steffen-reichert> [dostęp: 26.03.2017].
6. Correa D., Krieg O. D., Menger A., Reichert S., Rinderspacher K., Hydroskin: *A climatic-responsive prototype project based on the elastic and hygroscopic properties of wood*, portal: papers.cumincad.org, http://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia13_033.content.pdf, [data dostępu: 15.02.2017].
7. Zielonko-Jung K., Marchwiński J., op cit., s. 40-47.
8. <http://www.rolfdisch.de/index.php?p=home&pid=78#a287>, [data dostępu: 15.02.2017].
9. Schittich Ch. *Solar architecture : strategies, visions, concepts*, München : Edition Detail - Institut für Internationale Architektur-Dokumentation ; Basel etc. : Birkhäuser, 2003, s.9-11.
10. Daniels K., Low-Tech, Light-Tech, High-Tech : building in the information age, Birkhäuser, 1998, s. 122-123.
11. <http://www.audacity.org/SM-26-11-07-01.htm>, [data dostępu: 15.02.2017].
12. Stanley M.: *The Fun Palace: Cedric Price's experiment in architecture and technology.*, Technoetic Arts, Vol.3(2), 2005, p. 73-92.
13. <http://raumlabor.net/kuchenmonument-2/>, [data dostępu: 15.02.2017].
14. Seanwook K. *Constructio and Design Manual Mobile Architecture*, Dom Publishers, 2012, s. 561-566.
15. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/de-villes-en-metropoles/articles-scientifiques/complements/12019exposition-universelle-de-2015-au-service-de-la-metropolisation-milanaise>, [data dostępu: 15.02.2017].
16. Cull N. J. *Editorial: Digesting the Milan Expo*, 2015, Place Branding and Public Diplomacy Vol. 11(3), 2015, s.169.

17. <http://www.experiencemilano.it/> , [data dostępu: 15.02.2017].
18. <http://www.amusingplanet.com/2013/09/gateshead-millennium-bridge-worlds-only.html> , [data dostępu: 31.03.2017].
19. Davey P., Forster K.W. *Exploring Boundaries: The Architecture of Wilkinson Eyre*, Springer Science & Business Media, 2007, s. 36-47.
20. <http://storefrontnews.org/general-info/about-storefront/> , [data dostępu: 15.02.2017].
21. Acconci V., Holl S., Ritter A., Bregenz K., Archiv Kunst Architektur, Acconci, Holl: Storefront for Art and Architecture, Hatje Cantz, 2000, s. 45-47.
22. http://www.shigerubanarchitects.com/works/2000_naked-house/ , [data dostępu: 15.02.2017].
23. Jeska S. *Transparent Plastics: Design and Technology*, s. 70-75.
24. <http://www.archdaily.com/89270/kiefer-technic-showroom-ernst-giselbrecht-partner> , [data dostępu: 15.02.2017].
25. Schaeffer O., Vogt M. M., *MOVE: Architecture in Motion - Dynamic Components and Elements*, s. 216-217.

Zastosowanie ruchu w architekturze adaptacyjnej

Niejednokrotnie życie budynku jest dłuższe niż istnienie funkcji, dla której został on zaprojektowany. Zmieniające się potrzeby, formy użytkowania, warunki otoczenia wyznaczają możliwość projektowania architektury skupionej na przekształcalności. Realizacja tego założenia jest możliwa poprzez wprowadzenie ruchu w architekturze.

Celem pracy jest określenie potrzeby adaptacji architektury i możliwości wykorzystania ruchu w projektowaniu przestrzeni o tym potencjale. Architektura traktowana jest często jako element stały przestrzeni. W erze mobilność, technologii i rosnącej indywidualizacji, nadanie architekturze cech zmiennych zdaje się jednak coraz bardziej istotne.

Metody wykorzystane do przygotowania opracowania bazują na analizie literatury przedmiotu, a także studium wybranych przypadków, które będą reprezentatywne dla omawianego problemu. W wyniku przeprowadzonych badań określone zostały podstawowe rodzaje ruchu, które umożliwiają projektowanie przestrzeni dedykowanych adaptacyjności, dopasowaniu do zmiennych potrzeb użytkownika i przeistoczeń funkcjonalnych.

Praca pozwoliła na wyznaczenie potrzeb zastosowania adaptacyjności, a także możliwości i potencjału wprowadzania ruchu. Jest tym samym wyznacznikiem dla dalszych badań skutków stosowania przekształcalności i reagowania otoczenia na wprowadzane zmiany.

Słowa kluczowe: ruch, adaptacyjność, forma otwarta, przekształcalność

Using movement in architecture as an ability to adapt

Often enough existence of a building is longer than existence of function for which it was dedicated. Changing needs, forms of usage, conditions of a surrounding dictate necessity for creating architecture focused on ability to change, adapt. Its implementation is possible through introducing movement of elements in architecture.

The goal for work is to define need for adaptation in architecture and possibilities of using movement as a tool of creating space with that potential. Architecture is often created as a constant element. During times of mobility, technology and growing personalization, giving architecture changeable features seems even more essential.

Scientific methods used for creating this report are focused on analysis of existing literature material, analysis of selected examples that are representative for the topic. As a result, elementary needs and kinds of movements and ideas that led to creation of adaptable spaces.

The paper allowed defining reasons for architectural transformation through movement. In that way it is a foundation for further research over adaptability, responding and inevitable change in architecture.

Key words: movement, adaptation, open form, transformation

Anamorfozy – perspektywa zniekształcona

1. Wstęp

Praca przedstawia wyniki badań w dziedzinie odbić sferycznych, których model geometryczny stanowi *rzut środkowo-refleksyjny względem sfery*. Zaprezentowano wyniki eksperymentów, dotyczące jednej z klas tego rzutu, anamorficznego przekształcenia sferycznego – anamorfozę sferyczną. W odróżnieniu od anamorfoz walcowych, ta klasa anamorfoz nie była stosowana w sztuce i nie jest opisana w literaturze przedmiotu.

Niniejsza praca zawiera też uwagi dotyczące tekstów źródłowych poświęconych optyce – w tym katoptryce (teorii odbić) oraz perspektywie i anamorfozom nierefleksyjnym i refleksyjnym (walcowym stożkowym i graniastym). Autor przytacza wybór fotografii wspomnianych tekstów i rysunków oraz fotografie oryginalnych anamorfoz z XVII i XVIII wieku z terenu Europy i Chin, rysunki 1-5.

Wszystkie starodruki oraz eksponaty pochodzą z kolekcji Wernera Nekesa¹⁾ i zostały udostępnione przez niego samego. Posiada on jeden z największych na świecie zbiorów nowożytniej sztuki iluzji, w tym perspektywy, jest także jej znawcą.

Autor na podstawie zgromadzonego materiału badawczego i źródeł historycznych, ale również tego jaki dostępny jest powszechnie, a dotyczy anamorfoz jako szczególnej odmiany perspektywy, nie znalazł dowodu na istnienie w przeszłości anamorfoz sferycznych, które są przedmiotem jego pracy badawczej, to domniemanie autora potwierdził Werner Nekes².

2. Krytyczne omówienie materiału historycznego i wnioski

Ze znanych autorowi źródeł, przytaczanych też przez innych autorów opracowań fenomenu anamorfoz wynika, że ich twórcy stosowali perspektywę kolinearną dla anamorfoz nierefleksyjnych (np. czaszka na obrazie Ambasadorowie H. Holbeina lub anamorfozy Leonarda da Vinci) i anamorfoz refleksyjnych z użyciem luster płaskich tworzących układ graniastosłupa.

W okresie późniejszym zaczęto stosować do anamorfoz refleksyjnych perspektywę niekolinearną do odwzorowań powierzchni walca lub stożka na

¹ witold.szymanski@pwr.edu.pl, Zakład Geometrii Wykreślnej, Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej

płaszczyznę. Nie stosowano jednak odwzorowania powierzchni kuli, dlatego właśnie nie powstały anamorfozy sferyczne.

Powierzchnie walca i stożka jako rozwijalne nadawały się do umieszczania na nich siatek prostokątnych lub pseudoprostokątnych, na nierozwijalnej powierzchni kuli jest to niemożliwe.

Prostota odwzorowania 2-wymiarowej powierzchni stożka i walca na 2-wymiarowe płaskie tło: $(R^2 \rightarrow R^2)$ z zastosowaniem siatek, a nie metodą bezpośredniej projekcji światłem lub przy użyciu geometrycznego modelu rzutowania środkowo-refleksyjnego, nie zmuszała twórców i praktyków sztuki anamorfoz do rzutowania trójwymiarowych obiektów umieszczonych w (geometrycznej) przestrzeni wewnętrznej lustra walcowego lub stożkowego na 2-wymiarową płaszczyznę: $(R^3 \rightarrow R^2)$.

Można sądzić, że gdyby zastosowano używany wtedy geometryczny aparat rzutowania środkowo-refleksyjnego do odwzorowania: $(R^3 \rightarrow R^2)$ to prawdopodobnie powstałyby odwzorowania sferyczne z użyciem luster kulistych.

Dopiero współcześnie – choć ciągle są to rzadkie przypadki – nieliczni artyści, np. Gianni Miglietta e Stella Battaglia, dla stworzenia anamorfozy sferycznej na tle płaskim, użyli rzutników światła (metoda projekcji stosowana w przestrzeni fizycznej nie wymaga stosowania modeli geometrycznych i znana była już starożytnym Grekom. Rzutowanie światłem często stosowano w okresie późnego Baroku do wykonywania iluzjonistycznych malowideł nasklepiennych. Źródło światła stanowiły baterie świec – wystarczało to do odrzutowania siatki geometrycznej, wykonanej ze sznurów, na sklepienie i następnie przeniesienie za jej pomocą zaprojektowanych form). Znane jest też użycie *camery obscury* do odwzorowań perspektywicznych w malarstwie.

Innym powodem nie podejmowania problemu anamorfoz sferycznych (poza brakiem precyzyjnego rzutnika światła i luster dużych rozmiarów) mogło być to, że odwzorowanie powierzchni kuli na płaszczyznę jest trudne. Używając jednak zdefiniowanego przez autora (w jego poprzednich pracach badawczych, wymienionych w spisie literatury) rzutu środkowo-refleksyjnego, uzyskujemy siatki złożone z łuków krzywych stożkowych i krzywych innych niż stożkowe.

Definiując geometrycznie model przekształcenia anamorficznego, autor zweryfikował go doświadczalnie uzyskując anamorfozy na płaszczyźnie i powierzchniach rozwijalnych a następnie ich odbicia, w wyniku, których powstały iluzje form przestrzennych. Anamorfozy te przedstawiały zniekształcone obrazy obiektów przestrzennych z przestrzeni wewnątrz lub na zewnątrz sferycznej. Anamorfozy sferyczne można realizować na dowolnej powierzchni gładkiej, np. walcowej lub stożkowej, ale także na płaszczyźnie

lub układzie kilku płaszczyzn stosując wspomniane stworzone przez autora geometryczne modele.

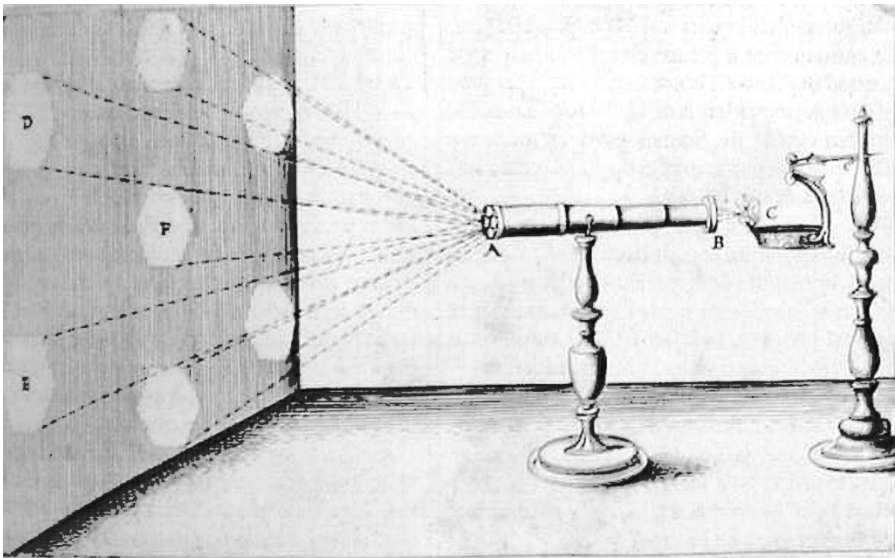
Czym innym jednak jest tworzenie anamorfoz poprzez użycie rzutników światła. Należy oczywiście podkreślić, że metoda ta nie wymaga jakiegokolwiek wiedzy z zakresu geometrii i perspektywy i jest chętnie, choć rzadko stosowana w zakresie sztuk wizualnych.



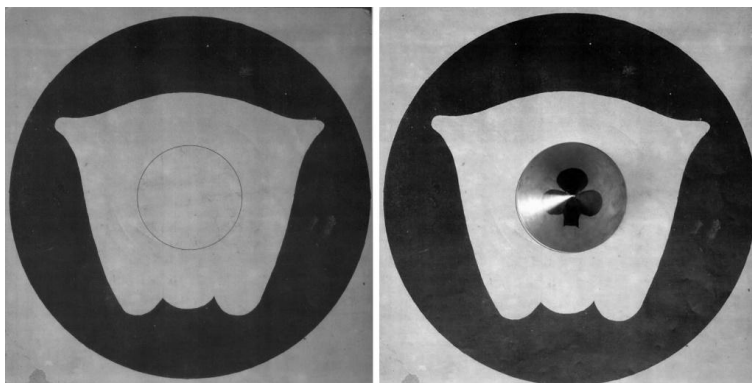
Rysunek 1. Rycina przedstawiająca anamorfozę walcową. Ze zbiorów Wernera Nekesa



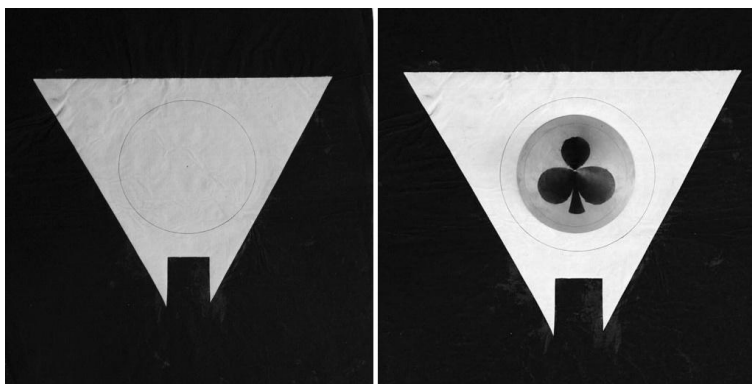
Rysunek 2. Werner Nekes z modelem anamorfozy ze swojej kolekcji



Rysunek 3. Model rzutnika światła. Rycina ze zbiorów Wernera Nekesa



Rysunek 4. Anamorfoza na płaszczyźnie (z lewej) i jej odbicie w lustrze stożkowym, (z prawej), Chiny, druga połowa XVII w. Obiekt ze zbiorów Wernera Nekesa



Rysunek 5. Anamorfoza na płaszczyźnie (z lewej) i jej odbicie w lustrze stożkowym (z prawej), Francja, pierwsza połowa XVIII w. Obiekt ze zbiorów Wernera Nekesa

Prezentowane niżej rysunki przedstawiają niektóre z własności perspektywicznego przekształcenia względem sfery refleksyjnej i uzyskiwania na tej drodze anamorfoz szczególnych obiektów, jakimi są okręgi sfery refleksyjnej, rysunki 6-12. I tak, Anamorfozami płaskimi, przyjętych okręgów na sferze, są pęki krzywych stożkowych, a równika – krzywa czwartego rzędu. W przedstawionym przykładzie, rysunki 8-9, dla przyjętych parametrów układu przestrzennego, jest to Ślimak Pascala.

Problem ze zdefiniowaniem wspomnianego przekształcenia okazał się zapewne przeszkodą w stworzeniu i popularyzowaniu anamorfoz sferycznych przez artystów i praktyków tej sztuki. Jednak rozwijalne powierzchnie luster walcowych i stożkowych nie stwarzały twórcom anamorfoz takich trudności ponieważ wiadomo było, że anamorfozami tworzących powierz-

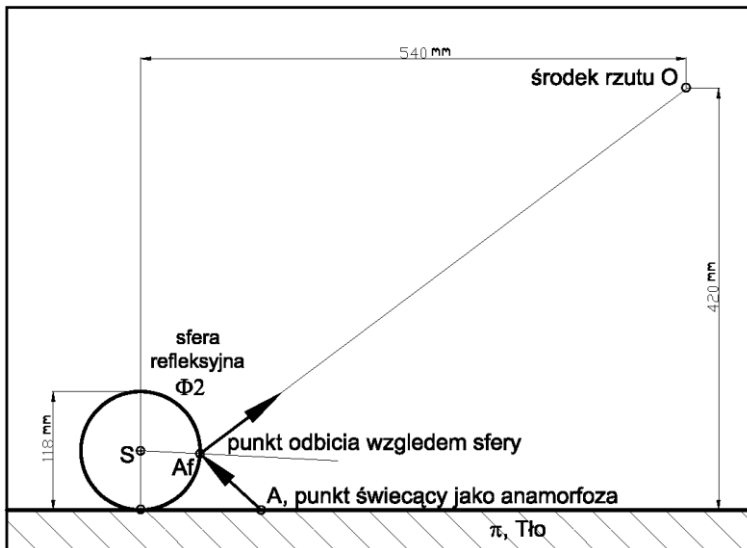
chni walcowych i stożkowych są pęki prostych, a anamorfozami okręgów tych powierzchni są okręgi. Dlatego też konstruowanie siatek anamorficzych dla tych lusterek nie było trudne. Przyczyniło się to do sukcesu komercyjnego artystów propagujących ten rodzaj sztuki iluzyjnej, osadzonej w myśli konstruktywistycznej teoretyków perspektywy, już czasów Renesansu.

W prezentowanym materiale historycznym odnajdujemy sposoby pojmowania odwzorowań perspektywicznych, w tym anamorfozy. Da się zauważyć pasję w rozstrzyganiu nawet prostych kwestii.

Dziwi natomiast brak bardziej zaawansowanego poziomu analizy zjawisk odbicia. Znana jest bowiem podstawowa zależność teorii odbić – *isoptic* (równo widzenie) – reprezentowana jednak tylko poprzez *Okrąg Apolloniusza*. Dopiero w 1832 roku Jacob Steiner definiuje klasę krzywych *Apollonian isoptic cubic* – krzywych trzeciego stopnia spełniających własność *isoptic*.

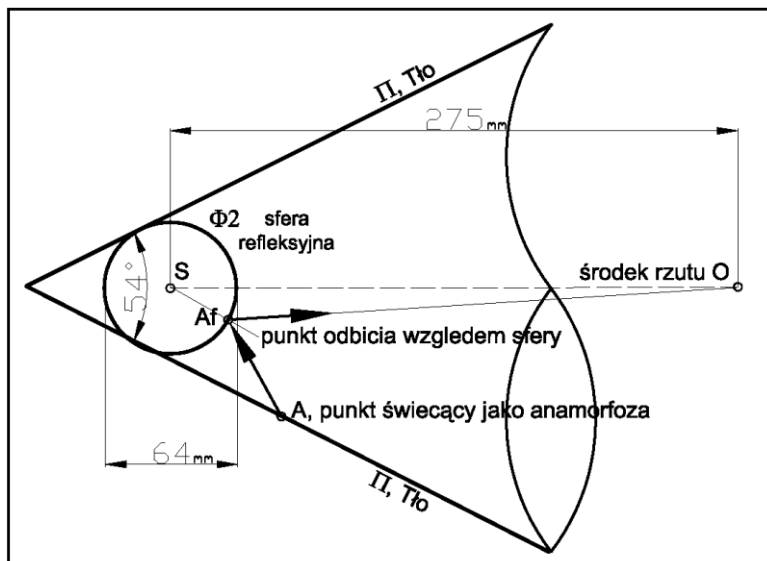
Niniejsza praca przedstawia w syntetycznym ujęciu zastosowanie rzutu środkowo – refleksyjnego w rozwiązaniu problemu anamorfoz sferycznych. Prezentowany tutaj wybór przykładów, pochodzących z badawczych prac autora, stanowi znakomity układ odniesienia dla osiągniętych wcześniej wyników jego pracy. Niniejszy artykuł nie jest pracą z zakresu historii nauki, autor uznał więc, że prezentowany materiał nie wymaga głębszej analizy i poprzestał na syntetycznym komentarzu.

Pojęcia użyte w tekście oraz do opisu rysunków 6-12 zostały zdefiniowane w poprzednich pracach autora.

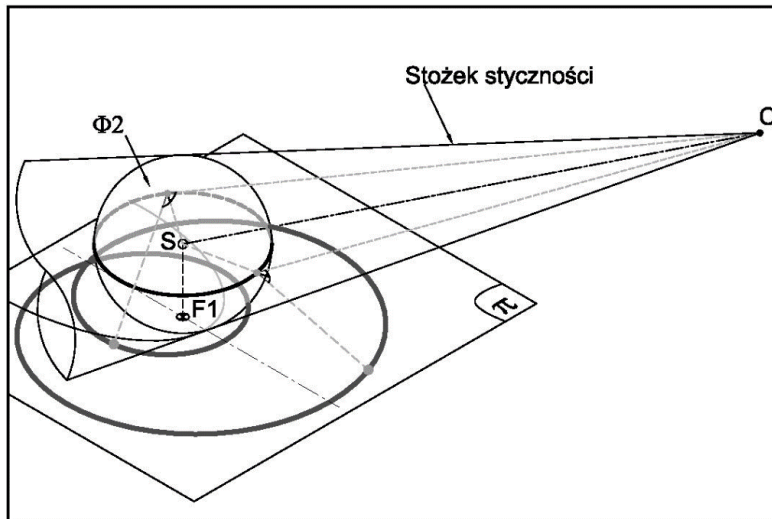


Rysunek 6. Schemat modelu układu przestrzennego dla rzutu środkowo – refleksyjnego względem sfery na płaszczyznę, zastosowany do generowania anamorfoz sferycznych płaskich.

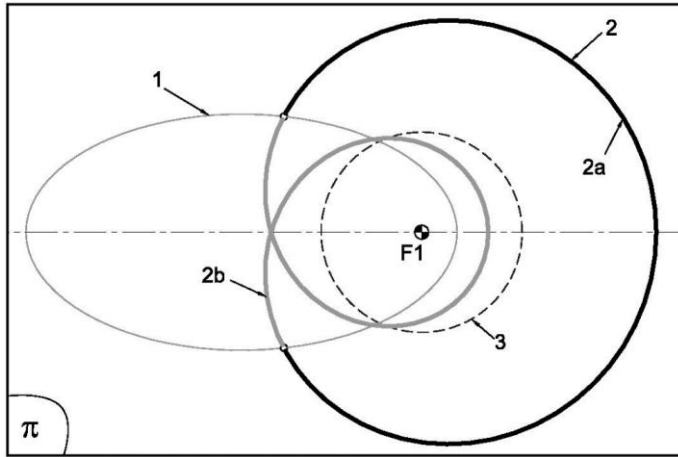
Praca własna autora.



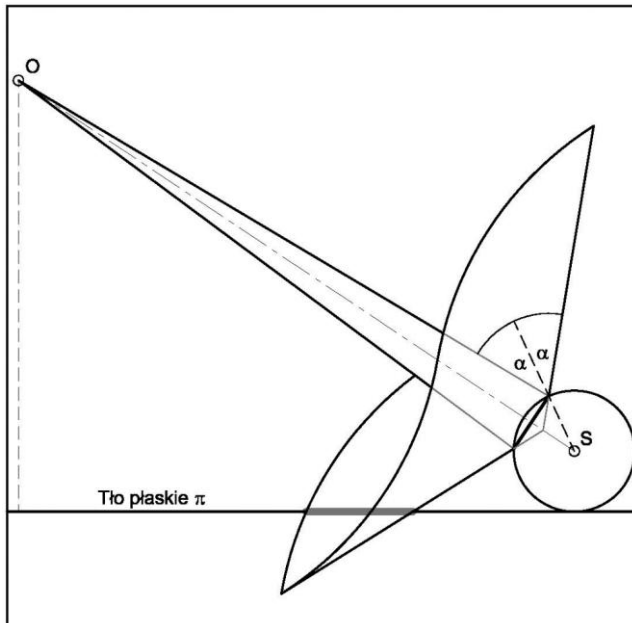
Rysunek 7. Schemat modelu układu przestrzennego dla rzutu środkowo-refleksyjnego względem sfery na powierzchnię stożkową, zastosowany do generowania anamorfoz sferycznych stożkowych. Praca własna autora.



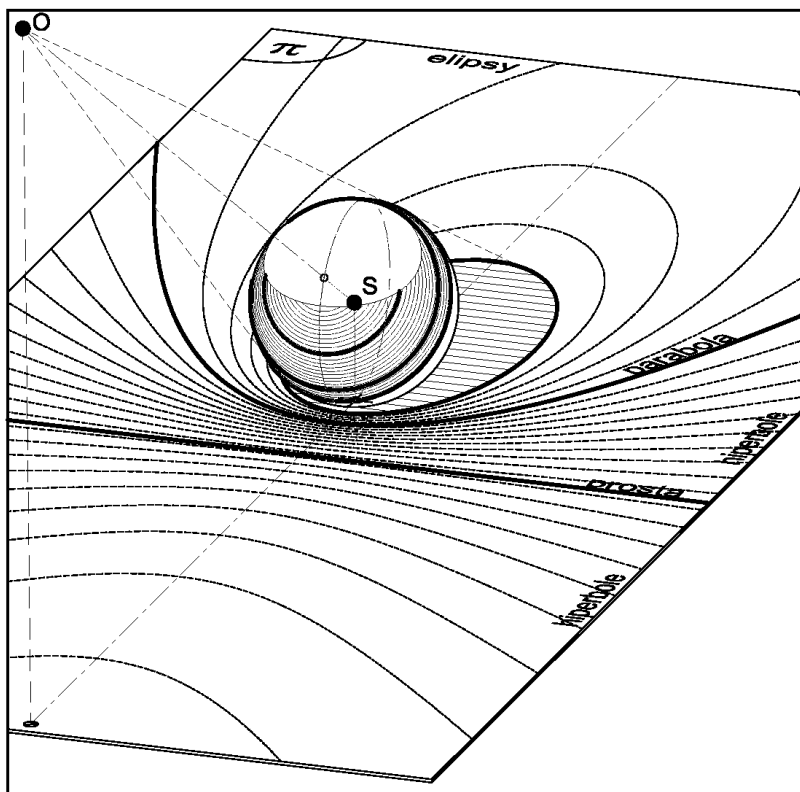
Rysunek 8. Przykład układu przestrzennego dla rzutu środkowo-refleksyjnego względem sfery Φ^2 oraz obraz równika sfery w rzucie środkowo-refleksyjnym. Praca własna autora.



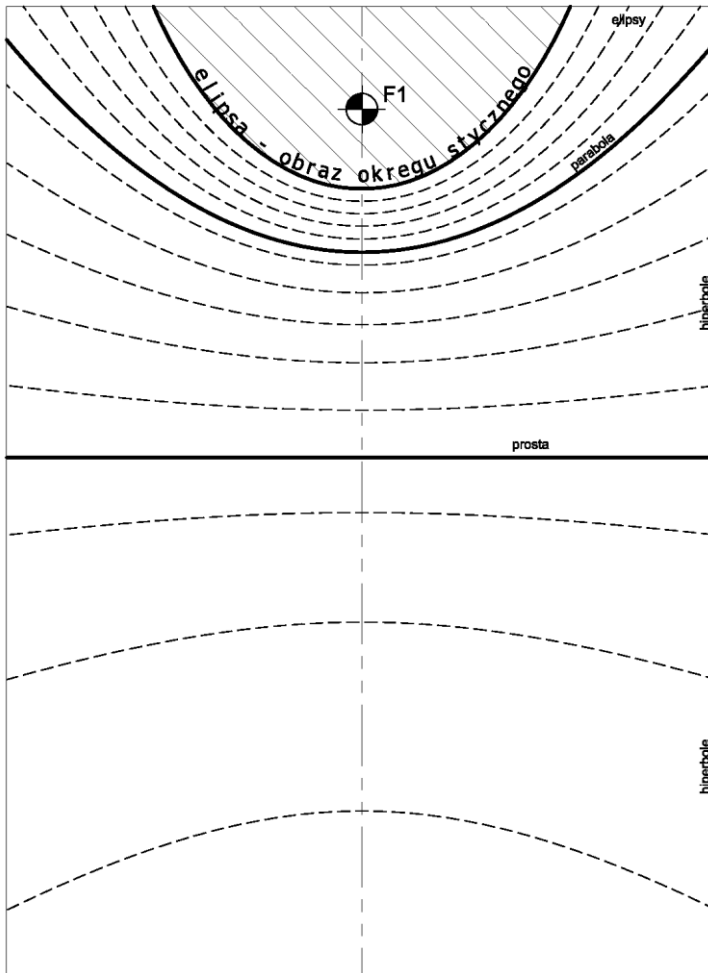
Rysunek 9. Ślimak Pascala – obraz równika sfery w rzucie środkowo-refleksyjnym.
 1 – elipsa przekroju płaszczyzną π stożka styczności o wierzchołku O względem sfery Φ , 2 – obraz równika sfery w rzucie środkowo-refleksyjnym względem sfery Φ^2 , 2a – obraz równika sfery w rzucie środkowo-refleksyjnym względem sfery wypukłej, 2b – obraz równika sfery w rzucie środkowo-refleksyjnym względem sfery wklęsłej, 3 – zarys sfery Φ^2 , F_1 – ognisko elipsy przekroju stożka styczności, jako, punkt styczności sfery Φ^2 , z płaszczyzną π . Praca własna autora.



Rysunek 10. Schemat układu przestrzennego dla generowania anamorfóz okręgów sfery w rzucie środkowo-refleksyjnym względem sfery na tło płaskie. Praca własna autora.



Rysunek 11. Przykład układu przestrzennego dla generowania anamorfoz na tło płaskie, okręgów sfery, prostopadłych do OS , w rzucie środkowo-refleksyjnym względem sfery owal na sferze jako obraz prostej niewłaściwej płaszczyzny π będącej jego anamorfozą, w rzucie środkowo-refleksyjnym na sferę okrąg jako obraz prostej właściwej, będącej jego anamorfozą okrąg jako obraz paraboli, będącej jego anamorfozą okrąg jako obraz elipsy przekroju, będącej jego anamorfozą dwa punkty na sferze jako obraz punktu niewłaściwego prostej właściwej, będącego ich anamorfozą. Praca własna autora.



Rysunek 12. Pęki krzywych stożkowych jako anamorfozy na tło płaskie, okręgów sfery, prostopadłych do OS w rzucie środkowo-refleksyjnym względem sfery. Praca własna autora.

3. O pewnym zastosowaniu luster sferycznych [2]

Mimo długiej i bogatej tradycji tego szczególnego odwzorowania perspektywicznego, jakim jest anamorfoza, niewiele jest przykładów zastosowania przez artystów i praktyków szczególnej jej odmiany tzn. anamorfozy sferycznej. Niewielu jest też badaczy, którzy poświęcają jej swoją uwagę publikując nowe opracowania teoretyczne.

Niniejszy rozdział w syntetyczny sposób przedstawia wyniki badań autora w dziedzinie geometrii odbić i anamorfoz sferycznych. W szczególności wyniki eksperymentów dotyczące ich zastosowań w anamorficznym

przekształceniu sferycznym [3]. Wynikiem tego przekształcenia jest anamorfoza [4] sferyczna. **Wspomniane przekształcenie nie zostało dotychczas wystarczająco opisane w literaturze przedmiotu.**

Geometrycznie anamorfoza sferyczna jest obrazem punktu lub dowolnego zbioru punktów przyjętego w przestrzeni wewnątrzsferycznej lub na zewnątrzsferycznej powstającym w rzucie środkowo-refleksyjnym względem sfery. Fizycznie zaś jest przeciwobrazem obrazu pozornego powstającego poprzez odbicie anamorfozy względem powierzchni refleksyjnej. W wyniku takiego odbicia obraz pozorny tworzy iluzję założonego obiektu przestrzennego.

Na uwagę zasługuje też wspomniany problem odbić sferycznych. Jest on jednym z klasycznych problemów geometrii oraz optyki, znany jest jako *Problemem Alhazena* [5]. Christiaan Huygens [6] uogólnił rozwiązanie Alhazena uzupełniając je o pewne warianty. Od tego czasu w literaturze spotyka się różne określenia tego zagadnienia. Najbardziej znane to: *Alhazen's Optical Problem* i *Billiard Problem*. Są one obecne w literaturze przedmiotu, gdzie wciąż znajdują nowe interpretacje i metody rozwiązań.

W swojej pracy pt. *Odwzorowanie punktów przestrzeni w rzucie środkowo-refleksyjnym na sferę*, zdefiniował i podał oryginalne rozwiązanie problemu odbić sferycznych Wykorzystał w nim zdefiniowaną przez siebie na gruncie geometrii wykreślnej pewną krzywą trzeciego stopnia, która spełnia dwa postulaty Jacoba Steinerja,; *isoptic* [7] (dwa dowolne odcinki płaszczyzny, „widoczne” są pod jednakowymi kątami z punktów tych krzywych) oraz *supplementary* [8] (kąty tworzone przez punkty tych krzywych i końce wspomnianych odcinków dopełniają się do 180 stopni).

Rodzina krzywych Steinerja znana pod nazwą *Apollonian isoptic cubic curves* została zbadana także przez Van Reesa i współcześnie przez Gomesa Teixeirę. Nie były one jednak dotychczas zastosowane w zakresie: *Alhazen's Optical Problem* oraz *Billiard Problem*.

Autor w następnej swojej pracy, *Anamorfoza sferyczna jako szczególny przypadek rzutu środkowo-refleksyjnego na sferę*, zdefiniował przekształcenie anamorficzne i zastosował je do tworzenia anamorfoz sferycznych dowolnych zbiorów punktów przestrzeni.

Bogaty materiał ilustracyjny dobrze określa charakter odbić sferycznych, a na tym tle w szczególności odwzorowań anamorficznych. Podano przykłady anamorfoz wielościanów foremnych i półforemnych zrealizowane na płaszczyźnie, powierzchni walcowej i stożkowej oraz obrazy odbić niektórych spośród nich, co w pełni uwidocznia charakter tego odwzorowania.

Perspektywa malarska, nazwijmy ją klasyczną, to potoczna nazwa przekształcenia perspektywicznego. Dzieli się ono na wiele klas i typów. Przekształcenie anamorficzne jest jedną z klas tego przekształcenia

Przekształcenie perspektywiczne jest rzutem środkowym. W rzucie tym jest realizowana pewna zależność pomiędzy: środkiem rzutu (w projekcji fizycznej jest nim oko), obiektem a jego obrazem. Owa zależność decyduje o klasie, tego przekształcenia.

W perspektywie klasycznej obiektem jest forma przestrzenna o wymiarze 3, która jest rzutowana najczęściej na płaszczyznę, co w wyniku daje obraz o wymiarze 2, np. rysunek, fotografię, ($R^3 \rightarrow R^2$), rysunek 13.

W przekształceniu anamorficznym obiektem jest umieszczona na płaszczyźnie lub innej powierzchni, forma (rysunek) zwana anamorfozą, ma ona wymiar 2, rysunek 14, 15, 16, 17. W wyniku jej perspektywicznego przekształcenia powstaje przestrzenny obraz o wymiarze 3, ($R^2 \rightarrow R^3$), rysunek 18, 19, 20, 21.

Ponieważ celem przekształcenia perspektywicznego jest obraz, to żyjąc w trójwymiarowym świecie, nasze zainteresowanie, w naturalny sposób skierujemy w stronę anamorfozy i jej trójwymiarowej wizualizacji. Jak dokonuje się odwzorowanie, w którym obrazem przestrzeni dwuwymiarowej jest przestrzeń trójwymiarowa? Czy to jest możliwe, czy nie są to „Czary z Hiszpańskiego Zamku” [9]?

Przyjrzyjmy się dokładniej aparatowi przekształcenia anamorficznego. Tym co różni rzut w perspektywie klasycznej od rzutu anamorficznego jest lustro. Alicja przeszła na drugą stronę lustra do Krainy Czarów, my właśnie tam zajrzemy; tam powstaje przestrzenny obraz płaskiej anamorfozy.

Czym więc są odbicia zwierciadlane? Geometrycznie nazwiemy je rzutem perspektywiczno-refleksyjnym. Stanowi on jedną z klas rzutu perspektywicznego. Nie wnikając w naturę odbić, stwierdzimy, że tylko odbicia względem płaskich luster o zerowej krzywiznie zachowują kształt, a więc formę obiektu odbijanego, np. obrazem linii prostej jest prosta (przekształcenie ma charakter liniowy). Gdy jednak zakrzywiamy powierzchnię lustra, wówczas spowoduje to deformację obrazu, np. obrazem prostej jest krzywa (przekształcenie ma charakter nieliniowy), rysunek 20. Wraz ze wzrostem krzywizny lustra wzrasta też deformacja obrazu.

Obiekty, których obrazy tworzymy w wyniku odbić, mogą istnieć na płaszczyźnie, dowolnych powierzchniach lub w przestrzeni. Co zaś tyczy luster to poza płaskimi do najprostszych zakrzywionych zaliczymy lustra stożkowe, walcowe i sferyczne.

Powróćmy do przekształcenia anamorficznego, odpowiedzmy na pytanie, czemu służą, jakie cele realizujemy poprzez anamorfozy, na czym polega magia tego tajemniczego rzutu, który nieco w ukryciu towarzyszy już od 500 lat rozwojowi klasycznej perspektywy?

Anamorfozy też ewoluują w tym czasie. Dotychczas służą one do swoistej gry z widzem, jak się dzieje to na obszarze sztuki i architektury, ale wykorzystywane były także do celów szyfrowania (np. dla celów wojskowych) informacji, tekstów i rysunków za pomocą układów luster (Leonardo da Vinci).

Ta gra z widzem to iluzyjna gra formą przestrzenną, ale też, (co jest może i ważniejsze) tworzeniem obrazu zniekształconej, nierozpoznawalnej w swym kształcie anamorfozy, która dopiero w wyniku odbicia względem przyjętego lustra dla stałego punktu obserwacji przekształca się w formy znane i niezdeformowane, rysunek 18, 21.

Przeciwnie jest w odniesieniu do odbić obiektów, które anamorfozami nie są, deformacji, bowiem ulega ich obraz, rysunek 22.

Interesująca jest, więc odpowiedź na kolejne pytanie: jak przebiegała ewolucja rzutu anamorficznego? W wyniku bardzo prostej analizy uzyskamy w konkluzji zaskakującą odpowiedź na to pytanie.

Ustalmy dwie zmienne, warunkujące obraz anamorficzny. Pierwszą z nich są własności obiektu, a więc anamorfozy, drugą, rodzaj użytego lustra.

Znane anamorfozy są formami geometrycznymi, zbiorami punktów i linii na płaszczyźnie. Ale tę dwuwymiarową płaszczyznę można przecież dowolnie zakrzywić czy przekształcić. Zdziwienie budzi fakt, że żaden z twórców anamorfoz dotychczas tego ani nie zbadał ani nie opisał. A przecież najprostszymi zakrzywionymi dwuwymiarowymi powierzchniami są rozwijalne powierzchnie walca i stożka, nie wspominając już o sferze, bądź dowolnie zakrzywionych powierzchniach wypukłych.

Drugą zmienną stanowi lustro. Oprócz płaskich, istnieją lustra walcowe stożkowe, sferyczne, i inne, o zmiennej krzywiznie, choćby takie, jakie spotykamy w gabinecie luster czy współczesnej architekturze, rysunek 22.

W wyniku tego przeglądu przykładów uzyskamy dziewięć par anamorfoza–lustro: trzy anamorfozy na płaszczyźnie dla lustra stożkowego, walcowego i sferycznego, trzy anamorfozy na powierzchni stożkowej dla tych samych trzech luster, oraz trzy anamorfozy na powierzchni walcowej dla tychże luster.

Historia anamorfoz zna zaledwie dwie z pośród tych dziewięciu: anamorfozę na płaszczyźnie dla lustra stożkowego i anamorfozę na płaszczyźnie dla lustra walcowego. Odpowiedź na pytanie dlaczego rozwój przekształcenia anamorficznego przebiegał właśnie tak wymaga oddzielnego omówienia.

Chcąc choćby w części wypełnić siedem pustych miejsc autor skonstruował i zbadał prezentowane tu: anamorfozę na powierzchni stożkowej i jej odbicie sferyczne, oraz anamorfozę na powierzchni walcowej w takim odbiciu. Pierwsza z nich przedstawia kopułę Fullera, druga zaś dwunastościan platoński, rysunek 16, 21, 15, 18.

4. Podsumowanie

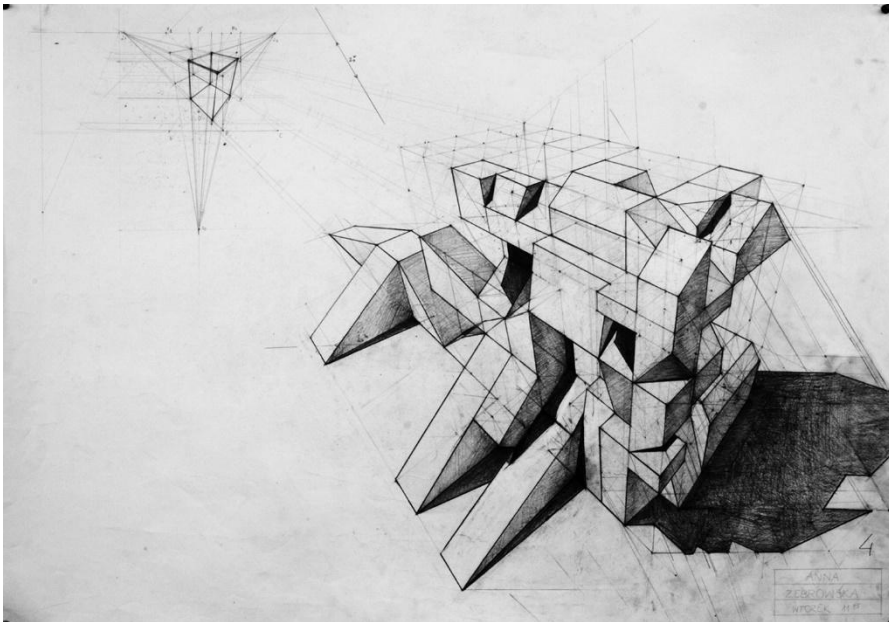
Przytoczone rozwiązania anamorfoz sferycznych zostały poprzedzone rozwiązaniem przez autora, na gruncie geometrii wykreślnej, problemu odbić sferycznych, zarówno dla zwierciadeł wypukłych, jak i wklęsłych.

Rozwiązanie tego problemu stało się możliwe po zdefiniowaniu (na gruncie geometrii wykreślnej) i zbadaniu przez niego pewnej krzywej trzeciego stopnia o własnościach *isoptic* oraz *supplementary*, rysunek 23, 24 (interesujące jest, że własność *isoptic* wykorzystali starożytni Grecy, do wytyczenia głównego traktu na Akropolu). Jeden z twórców geometrii rzutowej Jakob Steiner w 1832 roku zdefiniował tę krzywą, nie dostrzegł jednak możliwości zastosowania jej w teorii odbić sferycznych.

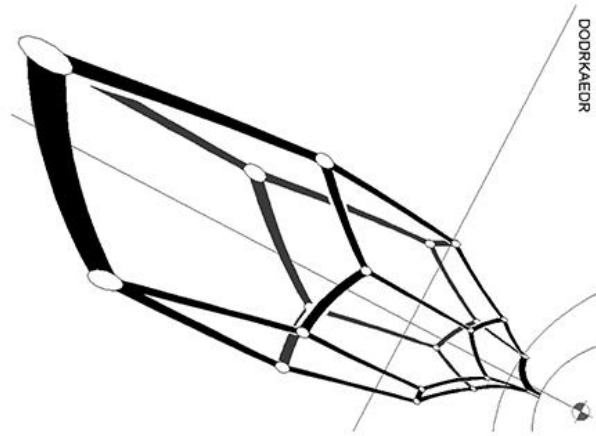
Można sądzić, że dalsze badania autora umożliwią realizację anamorfoz na dowolnych powierzchniach wypukłych (okołosferycznych), jak i zastosowanie lusterek o dowolnej geometrii, do zastosowań w sztuce i architekturze.

Rozwój grafiki komputerowej pozwoli zastosować przekształcenia anamorficzne w układach dynamicznych, które będą mogły być wykorzystane w technikach filmowych.

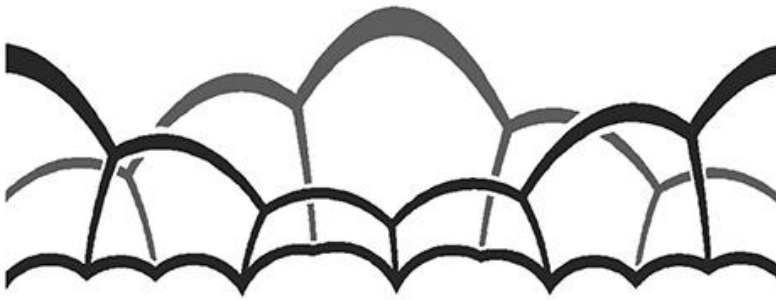
Snując refleksję filozoficzną możemy stwierdzić, że Wszechświat jest bez wątpienia swoistą anamorfozą, którą rozszyfrowujemy, używając jednak dotychczas nie całkiem właściwych lusterek.



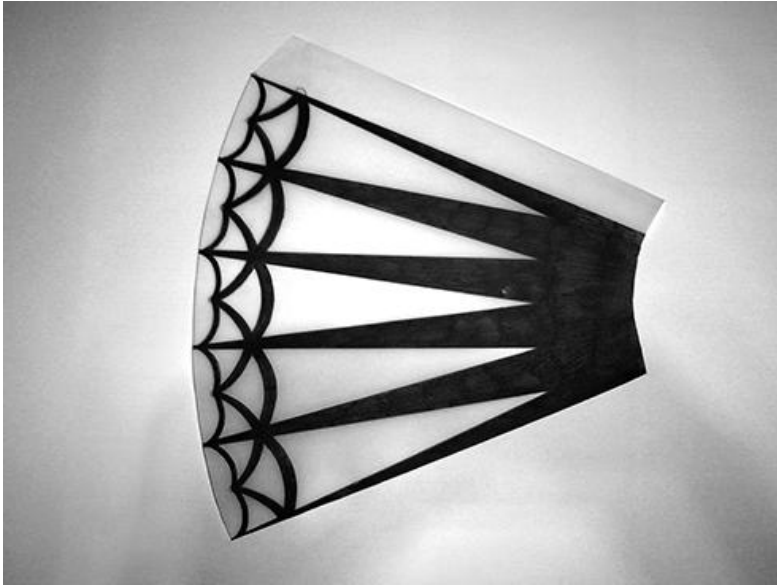
Rysunek 13. Projekt układu przestrzennego w perspektywie. Praca studentów wykonana pod kierunkiem autora.



Rysunek 14. Anamorfoza sferyczna na płaszczyźnie, dwunastościanu foremnego. Praca własna autora.



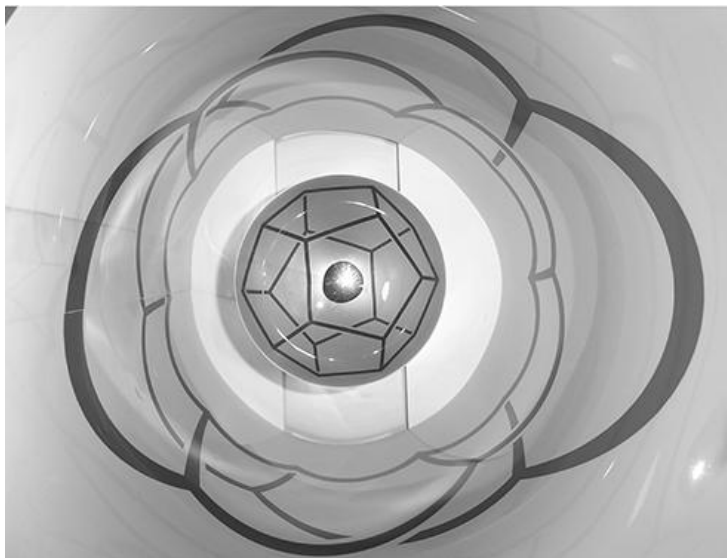
Rysunek 15. Anamorfoza na powierzchni walcowej, dwunastościanu foremnego, w rozwinięciu na płaszczyźnie. Praca własna autora.



Rysunek 16. Anamorfoza sferyczna na powierzchni stożkowej, kopuły Fullera (będącej przekształceniem dwunastościanu foremnego), w rozwinięciu na płaszczyźnie. Praca własna autora. Fot. J. Olek.



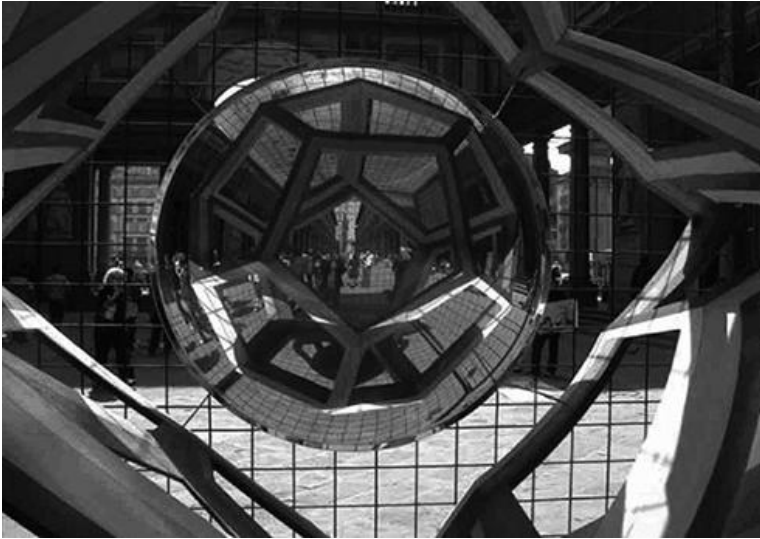
Rysunek 17. Anamorfoza sferyczna na powierzchni walcowej, dwudziestościanu foremnego w rozwinięciu na płaszczyźnie. Praca własna autora.



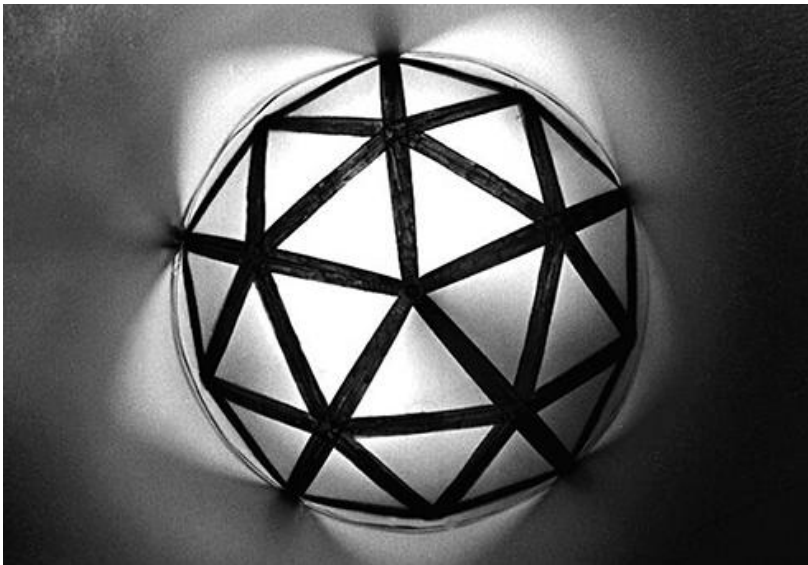
Rysunek 18. Anamorfoza na powierzchni walcowej, dwunastościanu foremnego, odbita względem zwierciadła sferycznego. Praca własna autora. Fot. M. Hamera.



Rysunek 19. Anamorfoza na powierzchni walcowej, dwunastościanu foremnego, odbita względem zwierciadła sferycznego. Praca własna autora. Fot. M. Hamera.



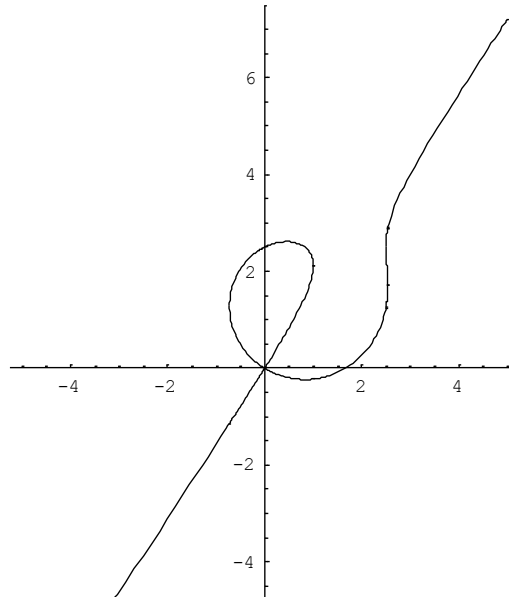
Rysunek 20. Anamorfoza na układzie czterech płaszczyzn dwunastościanu foremnego, odbita względem zwierciadła sferycznego – instalacja i fotografia: Gianni Miglietta i Stella Battaglia.



Rysunek 21. Anamorfoza na powierzchni stożkowej, kopuły Fullera, odbita względem zwierciadła sferycznego. Praca własna autora. Fot. J. Olek.



Rysunek 22. Odbicie obiektów przestrzennych względem zwierciadła sferycznego. Praca własna autora. Fot. W. Szymański.



Rysunek 23. Przykład *isoptic cubic curve*. Równanie krzywej:
 $(bcx^2 + adx^2 - bx^3 - dx^3 - 2acxy + 2bdxy + ax^2y + cx^2y - bcy^2 - ady^2 - bxy^2 - dxy^2 + ay^3 + cy^3) = 0$
 Wykres krzywej przy zadanych parametrach: $a=1, b=2, c=3, d=4$. Wyprowadzenie równania
 i wykres krzywej – praca własna autora.

```
In[1]:= << Graphics 'ImplicitPlot'
In[2]:= kr = (b * x - a * y) ^2 * ( (c - x) ^2 + {d - y} ^2) -
            (d * x - c * y) ^2 * ((a - x) ^2 + {b - y} ^2) // Factor
Out[2]:= (-bc + ad + bx - dx - ay + cy)
            (bcx^2 + adx^2 - bx^3 - dx^3 - 2acxy + 2bdxy + ax^2y +
            cx^2y - bcy^2 - ady^2 - bxy^2 - dxy^2 + ay^3 + cy^3)
In[3]:= (bcx^2 + adx^2 - bx^3 - dx^3 - 2acxy + 2bdxy + ax^2y + cx^2y -
            bcy^2 - ady^2 - bxy^2 - dxy^2 + ay^3 + cy^3)
Out [3] = bcx^2 + adx^2 - bx^3 - dx^3 - 2acxy + 2bdxy +
            ax^2y + cx^2y - bcy^2 - ady^2 - bxy^2 - dxy^2 + ay^3 + cy^3
In[4]:= kr1 =
            (bcx^2 + adx^2 - bx^3 - dx^3 - 2acxy + 2bdxy + ax^2y + cx^2y -
            bcy^2 - ady^2 - bxy^2 - dxy^2 + ay^3 + cy^3) /.
            {a -> 1, b -> 2, c -> 3, d -> 4}
Out[4]:= 10 x^2 - 6 x^3 + 10 xy + 4 x^2 y - 10 y^2 - 6 xy^2 + 4 y^3
In[5]:= ImplicitPlot [kr 1== 0, {x, -5, 5}]
```

Rysunek 24. Równanie *isoptic cubic curve* w aplikacji *Matematyka* – praca własna autora.

Przypisy

[1] Werner Nekes (1944-2017). Werner Nekes Collection. W ciągu ostatnich dziesięcioleci Werner Nekes zebrał unikalną kolekcję dzieł, które łącznie stanowią historię kultury mediów wizualnych; anamorfozy.

[2] Treść artykułu została przedstawiona przez autora na konferencji *Journées de l'Action Culturelle: Oeuvre ultime* na Uniwersytecie Marca Blocha w Strasburgu, 28.04.2005.

[3] Przekształceniem anamorficznym nazwiemy przekształcenie perspektywiczne zastosowane do generowania anamorfozy. Natomiast anamorfozą skutek tego przekształcenia, czyli uzyskany obraz.

[4] anamorfoza (gr. anamorphosis – odkształcenie) – obraz, którego proporcje wypaczono wg. określonych zasad tak, że tylko oglądany w pewnych warunkach zyskuje wygląd czytelny. („Mały słownik terminów plastycznych”, Krystyna Zwolińska, Zaslav Malicki, WP Warszawa 1974)

[5] Ibn al-Hajsam, Alhazen (965-1038). Najwybitniejszy fizyk islamu. Zajmował się teorią światła, załamywaniem i rozszczepianiem się promieni słonecznych.

[6] Christiaan Huygens (1629-1695) – holenderski fizyk, astronom i matematyk. W dziedzinie matematyki zajmował się badaniem krzywych.

[7] iso- (gr. isos = równy), optic (ang., optyczny)

[8] supplementary (ang., uzupełniający)

[9] Jimi Hendrix, „Spanish Castle Magic”, The Jimi Hendrix Experience, Axis: Bold as Love, MCD 11601, MCA, USA, 1997.

Literatura

1. Glaeser G. *Reflections on Spheres and Cylinders of Revolution*, Journal for Geometry and Graphics Volume 3, No 2, 1999.
2. Lapaine Miljenko, *Valentin's problem*, Eight international conference on engineering design graphics and descriptive geometry, Volume 1, Austin, Texas, USA, 1998.
3. Baltrusaitis J. *Anamorphoses les perspectives depravees*, Flammarion, Paris 1984.
4. Szymański W., *Odwzorowanie punktów przestrzeni w rzucie środkowo-refleksyjnym na sferę*, Prace Naukowe Instytutu Architektury i Urbanistyki Politechniki Wrocławskiej No 23, Seria: Studia i Materiały No 6, Wrocław 1987.
5. Szymański W. *Anamorfoza sferyczna jako szczególny przypadek rzutu środkowo-refleksyjnego na sferę*, Raport serii: sprawozdanie nr J-1/S-624, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2004.
6. Kemp M., *The Science of Art, Optical themes in western art from Brunelleschi to Seurat*, Yale University Press, New Haven and London 1990.

Anamorfozy – perspektywa zniekształcona

Praca przedstawia wyniki badań w dziedzinie odbić sferycznych, których model geometryczny stanowi *rzut środkowo-refleksyjny względem sfery*. Zaprezentowano wyniki eksperymentów, dotyczące jednej z klas tego rzutu, anamorficznego przekształcenia sferycznego – anamorfozę sferyczną. W odróżnieniu od anamorfoz walcowych, ta klasa anamorfoz nie była stosowana w sztuce i nie jest opisana w literaturze przedmiotu.

Geometrycznie anamorfoza sferyczna jest obrazem punktu lub dowolnego zbioru punktów przyjętego w przestrzeni wewnątrzsferycznej lub nazewnątrzsferycznej, powstającym w rzucie środkowo-refleksyjnym względem sfery. Fizycznie zaś jest przeciwobrazem obrazu pozornego uzyskanym poprzez odbicie anamorfozy względem powierzchni refleksyjnej. W wyniku takiego odbicia obraz pozorny tworzy iluzję założonego obiektu przestrzennego. Ponadto uzyskano, na gruncie geometrii wykreślnej, oryginalne rozwiązanie klasycznego problemu geometrii i optyki, znanego jako *Problem Alhazena*.

Anamorfozy jako odmiana perspektywy towarzyszą od 500 lat rozwojowi perspektywy klasycznej, której rolę w rozwoju architektury, sztuki i poznania trudno przecenić. Jest ona nadal podstawowym narzędziem obrazowania i kształcenia wyobraźni nie tylko architektów i artystów.

Bogaty materiał ilustracyjny przedstawia przykłady anamorfoz sferycznych uzyskanych geometrycznie (w odróżnieniu od ich uzyskiwania metodą projekcji świetlnej) poprzez zastosowanie, zdefiniowanego w innej pracy tego autora, *rzutu środkowo – refleksyjnego względem sfery*.

Słowa kluczowe: rzut środkowo-refleksyjny, problem Alhazena, anamorfozy

Anamorphosis or perspective distorted

The paper presents a problem of reflections in a spherical mirror, both convex and concave, which has not yet been solved on the grounds of descriptive geometry and classical mathematics.

The central-reflexive projection as well as the aforementioned curve and its properties were not investigated up to date and are not known within the scope of descriptive geometry. By means of the adopted projection technique, the author will define and investigate a number of transformation classes, including reflections for arbitrary planes, because (when adhering to the continuity requirement) they can be locally regarded as an approximation of a sphere.

Thus, the solution will become a universal investigation tool. In particular, the problem of spherical anamorphosis as created on a plane or surface will be investigated, (and this should be emphasized) which even for the anamorphoses used up to (i.e. conical and cylindrical) is not known.

It should be noted here that anamorphoses as a variety of perspective accompany for 500 years the development of classical perspective, which contribution to the progress of architecture, arts and knowledge is hard to understate. It still constitutes an essential tool for imaging and imagination training, and this is true not only for architects and artists. That was one of the reasons that drew the author's attention to the phenomenon of spherical anamorphoses as being not yet fully investigated. Without them our knowledge of perspective transformations will never be complete.

Keywords: central-reflexive projection, Alhazen's Optical Problem, anamorphosis

Odwzorowanie perspektywiczne w nasklepiennym malarstwie późnego baroku

„Ars sine scientia nihil est” Jean Mignot

1. Wprowadzenie

Zaskakujące jest, że niejasne na gruncie geometrii, schematy i szablony perspektyw Andrea Pozzo, słynnego twórcy traktatu o perspektywie (*Prospettiva di pittori e architetti*, Roma 1693) i jego kontynuatorów posiadały walory praktyczne. Znajduje to wyraz w wielu znakomitych dziełach sztuki iluzyjnego malarstwa nasklepiennego.

Pozzo wykazał, że do natury zjawisk fizycznych (w tym przypadku rzutu środkowego) sięgać można także intuicyjnymi nurtami poznania rzeczywistości. Nie są one jedyną stosowaną w sztuce formą poznania ale dominują w każdej z epok (może z wyjątkiem sztuki starożytnej Grecji szczególnie okresu helleńskiego, opartej w wielkiej mierze o zdobycze nauki). I jakkolwiek giganci renesansu i baroku dzięki genialnej wyobraźni i intuicji, dokonywali odkryć, czasem epokowych, to komentarze, opisy, próby ich analiz, jakich dokonywali uczeni komentatorzy ich prac, dowodzi niezrozumienia przez nich istoty opisywanych zagadnień, w szczególności perspektywy, o którą spierali się już między sobą [1, 7]. Dobrze taki stan umysłów oddają (parafrazując) słowa Paula Diraca:

„Są fizycy, którzy liczą te swoje równania i niewiele z tego wynika. Są też tacy, tych jest kilku, którzy zanim policzą znają już rozwiązanie.” [2]

Można zauważyć, że podziały lub spory w zakresie metod i definiowania perspektywy na gruncie geometrii, optyki, psychofizjologii i teorii widzenia, wynikają z różnej interpretacji i pojmowania tego samego zjawiska – rzutu środkowego (należy wspomnieć o tym, że aparat perspektywy – rzut środkowy stanowi prawo fizyki – każdy punkt świecący emituje środkową wiązkę promieni o kształcie kuli, rozchodzących się we wszystkich kierunkach przestrzeni, natomiast do oka dociera wiązka promieni światła z otaczającej przestrzeni, które przecinają się w ognisku jego układu optycznego, realizując, geometrycznie rzecz ujmując, tę sama zależność) i to niezależnie

¹ witold.szymanski@pwr.edu.pl, Zakład Geometrii Wykreślnej, Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej

od tego czy rozpatrujemy je w przestrzeni geometrycznej czy przestrzeni wizualnej człowieka. Obraz perspektywiczny obiektów przestrzeni geometrycznej dla określonego punktu – środka rzutu lub przestrzeni fizycznej dla obserwatora w tym punkcie jest zawsze taki sam i nie zależy od powierzchni (tła perspektywicznego), na którym obrazy owych obiektów powstały (w tym także na siatkówce oka ludzkiego). I aby widzieć tak samo różne obrazy tego samego obiektu realizowane na dowolnie różnych powierzchniach (np. sklepień) spełnić trzeba zaledwie jeden warunek, dokonywać obserwacji z punktu z którego obrazy te były rzutowane, wyjaśnia to rysunek 1. Wiedzieli o tym, praktycy perspektywy, twórcy nasklepiennych malowideł, używając wiązki światła jako aparatu rzutowania. Dzięki temu na powierzchniach sklepień można było tworzyć, zniekształcone obrazy przedstawianych scen i układów przestrzennych, będące w istocie anamorfozami.

Historia perspektywy dowodzi jednak, że zależność ta nie była, i nie jest także dzisiaj, równie jasna dla wielu historyków i komentatorów perspektywy!

2. Przekształcenie perspektywiczne

Przekształcenie perspektywiczne to odwzorowanie geometryczne płaszczyzny rzutowej w nią samą $R^2 \rightarrow R^2$, przestrzeni rzutowej w nią samą $R^3 \rightarrow R^3$, oraz przestrzeni w płaszczyznę $R^3 \rightarrow R^2$ i płaszczyzny w przestrzeń $R^2 \rightarrow R^3$. Aparatem tego odwzorowania jest rzut środkowy. Jednoimiennie odwzorowania $R^2 \rightarrow R^2$ i $R^3 \rightarrow R^3$ są wzajemnie jednoznaczne, tzn., że punktom układu $U_1 \in R^2$ odpowiadają punkty układu $U_2 \in R^2$ i odwrotnie punktom układu $U_2 \in R^2$ odpowiadają punkty układu $U_1 \in R^2$ i punktom układu $U_1 \in R^3$ odpowiadają punkty układu $U_2 \in R^3$ a punktom układu $U_1 \in R^3$ odpowiadają punkty układu $U_2 \in R^3$.

Odwzorowania przestrzeni niejednoimiennych są wzajemnie niejednoznaczne (jedno-wieloznaczne), np. punktom układu $U_2 \in R^3$ odpowiadają punkty w układzie $U_1 \in R^2$ a punktom układu $U_1 \in R^2$ nie odpowiadają punkty w układzie $U_2 \in R^3$.

W płaskiej przestrzeni rzutowej przekształcenie perspektywiczne jest kolineacją, oznacza to, że obrazem prostej w jednym układzie jest prosta w drugim układzie.

Dotyczy to w szczególności przekształcenia $R^3 \rightarrow R^2$ nazywanego potocznie perspektywą.

Znane i powszechnie stosowane są też perspektywy niekolinearne, np. perspektywa na powierzchni walcowej, stożkowej, sferze, lub perspektywy na płaszczyźnie realizowane z wykorzystaniem refleksyjnych układów optycznych, noszących nazwę anamorfoz refleksyjnych. Przekształcenia $R^3 \rightarrow R^2$ realizowane są najczęściej w przestrzeni fizycznej. Płaskie lub przestrzenne obiekty przestrzeni R^3 rzutowane są na R^2 , którą stanowić może

dowolna (gładka lub nieciągła) powierzchnia, a w szczególności płaszczyzna. Zastosowania tego przekształcenia w sztuce znane są pod bardzo różnymi nazwami choć stanowią wynik zastosowania tego samego aparatu rzutowania środkowego, stanowiącego niezmiennik każdej perspektywy.

3. O perspektywie Renesansu i Baroku

W Średniowieczu perspektywę na płaszczyźnie nazywano po prostu *perspektywą*. W Renesansie *perspectiva artificialis* oznaczała perspektywę geometryczną, linearną, zbieżną, centralną, planimetryczną, kolinearną i olbrzymią ilość jej odmian opracowanych i stosowanych przez malarzy renesansu. Podstawę dla niej stanowiły traktaty Leone Battista Albertiego *De pictura* (O malarstwie, 1435) i Piero della Francesca *De prospectiva pilgendi* (nazywana też *aplicata, practica*) [2].

„Obok tej *perspectiva artificialis* odróżniano *perspectiva naturalis* (subiektywna), czyli optykę, wiedzę matematyczno – przyrodniczą, zwaną przez całe średniowiecze również *perspektywą* (np. u Vitellona), a rozwijaną głównie w związku z astronomią i nauką o świetle.” [2, str. 27].

Perspektywa o jakiej mówimy służyła do tworzenia perspektywicznych obrazów przestrzeni fizycznej na płaszczyźnie dzieła malarskiego (później także na innych powierzchniach). Wymusiło to stworzenie wielu metod obserwacji i tworzenia schematów do jej konstruowania. Czołowymi reprezentantami tego nurtu są Albrecht Dürer i Leonardo da Vinci (reprezentanci nurtu konstruktywizmu ówczesnej sztuki), którzy stosowali np. ramki kadrowe (tzw. *furta* Dürera) z układami odniesienia w formie siatek prostokątnych, rysunek na szkłe, odbicie lustrzane (tożsame z perspektywicznym obrazem przestrzeni). Metody te znakomicie ilustrują drzeworyty Dürera oraz jego traktat z 1525 roku, *Pouczenie o użyciu cyrkla i liniału do wykonywania pomiarów*, dzieła nie przetłumaczonego na język polski [3]. Związki pomiędzy perspektywą ludzkiego oka a perspektywą uzyskiwaną poprzez stosowanie bezpośredniej obserwacji oraz stosowanie schematów lub konstrukcji z użyciem elementów geometrycznych zauważyli już starożytni Grecy. Prawdopodobnie nie wiedzieli, że perspektywa ludzkiego oka powstaje na sferycznej siatkówce ale byli świadomi tego, iż obrazami wzrokowymi linii prostych są łuki krzywych (w literaturze przedmiotu wspomniane jest doświadczenie Euklidesa przecięcia stożka widzenia sferą [2]).

Nie można nie wspomnieć o jednej z klas rzutu środkowego – anamorfozach, pobocznym nurcie nowożytnej perspektywy mających swoją 500 letnią historię. W renesansie anamorfozy, stosowano rzadko zapewne ze względu na skomplikowaną naturę tego odwzorowania oraz brak zainteresowania iluzją wizualną z wykorzystaniem zniekształconej perspektywy.

Nieliczne przykłady to eksperymenty z anamorfozami Leonarda, obraz H. Holbeina, *Ambasadorowie*, choć już w roku 1434 Jan van Eyck w *Małżeństwie Arnolfinich*, wyraża zainteresowanie odbiciami sferycznymi, stając się nieświadomie prekursorem wykorzystania odbić w perspektywie, zastosowanych później w okresie baroku do stworzenia anamorfoz refleksyjnych, zarówno w Europie jak i Chinach.

Historycy sztuki wiele spekulowali na temat niekolinearnej perspektywy i jej związków z perspektywą oka ludzkiego oraz psychofizjologią widzenia osiągając kontrowersyjne wnioski [2].

Grecy zgodnie z metodologią ich nauki, stosowali regułę odpowiedniości, byty abstrakcyjne – formalizmy powstałe w zakresie *speculum mentis* weryfikowali w doświadczeniach fizycznych – *speculum mundi*, i odwrotnie dla zjawisk fizycznych poszukiwali modeli teoretycznych.

Stworzenie przez nich podstaw teoretycznych odbić względem luster płaskich, sferycznych, parabolicznych a zapewne walcowych i stożkowych oraz kontynuacji tych badań dużo później przez Alhazena, stało się podstawą do opracowania w okresie baroku anamorfoz refleksyjnych, z zastosowaniem układów optycznych jakie stanowiły lustra walcowe, stożkowe i graniaste.

Nasklepienne anamorfozy (nierefleksyjne) zwane częściej kwadraturami, jako ważny nurt iluzji perspektywicznej, rozwinęli w XVII i XVIII wieku Andrea Pozzo i jego kontynuatorzy. Użyli oni jednak innych warunków geometrycznych oraz innych środków realizacji perspektywicznych obrazów niż ich poprzednicy. Tło perspektywiczne stanowiło nie płaskie płótno, czy ściana a dowolnie skonfigurowane sklepienie lub kopuła. Zmieniła się również skala przedstawienia, malowidło nasklepienne, nie będące jednak freskiem (z wł. fresco – świeży) choć często błędnie jest tak nazywane, było tak duże jak samo wnętrze a właściwie jego sklepienie. Przebywając wewnątrz Auli i percypując malowidła nie sposób odmówić słuszności stwierdzeniu:

„...wszystkie dostrzegane zjawiska i obrazy trwają bardzo krótko, co chwila zmienia się siła światła, barwa, cienie, a w ślad za tym również ilość dostrzeganych szczegółów. Tworzy to swego rodzaju iluzję i ten rodzaj malarstwa iluzyjnego, przenikającego się z formą architektoniczną, dla którego forma ta w realnej przestrzeni fizycznej znajdowała kontynuację w przestrzeni iluzyjnej malowidła, tworząc z nią spójną całość zacierającą granice pomiędzy tym, co realne i ludzkie (profanum), a tym, co idealne i duchowe (sacrum), stał się istotnym i ważnym nurtem w rozwoju perspektywy i sztuki. Należy zauważyć, że taki zabieg miał na celu odpowiednie kształtowanie wrażeń i przeżyć określonych przedmiotów estetycznych poprzez poznanie treści zawartych w tych przedmiotach i ich naśladowanie...”
[4, str. 4].

„...a każdorazowe obcowanie z dziełem sztuki wywołuje właściwy stosunek emocjonalny...” [5, str. 325].

4. Wnioski

Spośród wielu ukształtowanych osiągnięć poznawczych człowieka należy wyróżnić zdolność do wyobrażeń przestrzennych. Człowiek jest zdolny do tworzenia harmonii nigdy przedtem nie istniejących, a jednocześnie potrafi je także postrzegać. Postrzeganie jest aktywnością człowieka... [6, str. 94].

W tym miejscu należy dokonać kilku wyjaśnień. Literatura przedmiotu potwierdza chaos pojęciowy i metodologiczny w jakim pogrążył się problem perspektywy i jej wpływu na rozwój sztuk wizualnych. Wyniknął on zapewne z wielu przyczyn. Zasadniczą wydaje się nieprzygotowanie teoretyczne twórców traktatów o perspektywie w zakresie naukowych poznania, metod geometrycznych oczywiście. Naukowa teoria perspektywy – geometria rzutowa powstała dopiero w pierwszej połowie XIX wieku a jej głównym współtwórcą był szwajcarski matematyk Jacob Steiner (nie malarz bynajmniej) [8].

O wcześniejszych dociekaniach renesansowych a później barokowych praktyków perspektywy powiedzieć można, że posługiwali się wprawdzie formą geometryczną ale nie stworzyli teorii i metodologii perspektywy. Jednak historycy sztuki interpretując traktaty o perspektywie, przeszacowują ich wartość nadając im rangę bez mała naukowych, powtarzając nie w pełni kompetentne (jak można sądzić) opinie o wadze dokonań teoretycznych takich gigantów jak Jan Baptysta Alberti, Andrea Pozzo czy też paru pomniejszych, wyrażane przez im współczesnych [1]. Owszem z traktatów owych wynikają pożyteczne wzory do zastosowań w malarstwie płaskim, ściennym a później nasklepiennym. Zawarte w nich opisy i schematy perspektywy poza walorami praktycznymi, nie mają jednak wartości naukowej, zarówno w sensie metodologicznym – jako aparatu badawczego, jak i pojęciowym. Nie posiadają waloru uogólnienia, nie są oparte o twierdzenia i dowody. Powodem było zapewne niedostateczne przygotowanie w dziedzinie metodologii naukowego poznania i pobieżna znajomość geometrii euklidesowej, która stanowiła podstawę nowoczesnej nauki.

Historykom sztuki – to zrozumiałe brak wiedzy geometrycznej, nie mogą więc pełnić roli historyków nauki w tym zakresie ani wypowiadać się wiarygodnie na ten temat. Wątpliwa znajomość geometrii w szczególności geometrii rzutowej nie daje podstaw do wartościowań w geometrycznym zakresie perspektywy. Sprostac temu mogą jedynie historycy nauki odpowiedniej specjalności.

Olbrzymi rozstrzał pojęć dotyczących perspektywy, zmieniających się wraz z epokami, i w zależności od teoretyka – artysty, błędy formalne i logiczne, nie rozróżnianie warunków perspektywy od jej aparatu odzworo-

wania, własności przedstawianych obiektów od własności ich perspektywicznego obrazu, mylenie przyczyny ze skutkiem jest nazbyt częste i to nie tak częste w samych traktatach i pracach o perspektywie ale w ich niefachowych komentarzach. Mówiąc prościej zdarza się, że o perspektywie piszą wdając się w spory między sobą, wartościując dzieła, autorzy poważnych opracowań, tacy, którzy jak sami to szczerze wyznają, na perspektywie się nie znają [7, str. 250]. Dowodów na to w literaturze poświęconej perspektywie jest tak dużo, że można byłoby stworzyć słownik błędów [7,8].

Często opracowania z zakresu historii sztuki odnoszące się do zagadnień perspektywy mają charakter kompilacyjny i wrywkowy. Do wyjątków zaliczyć można pracę K. Bartla *Perspektywa malarska* [8]. Autor pomija jednak, wspomniany wcześniej, ważny nurt w 500 letnim rozwoju nowożytnej perspektywy, towarzyszący jej od samego początku, chodzi oczywiście o anamorfozy. Tę odmianę perspektywy, która wymagała właśnie najbardziej zaawansowanego aparatu geometrycznego.

A oto niektóre z zagadnień perspektywy (podane w dużym uproszczeniu) opisywane i komentowane w literaturze nie zawsze właściwie:

- Perspektywa jest metodą = fałsz
- Perspektywa jest obrazem = prawda
- Obrazy perspektywiczne mogą istnieć na dowolnej powierzchni = prawda
- Aparatem każdej perspektywy jest rzut środkowy = prawda
- Istnieją perspektywy jedno dwu lub wielozbiegowe = fałsz (punkt perspektywicznego zbiegu to perspektywa kierunku, nie ma więc jedno, dwuzbiegowej czy wielozbiegowej perspektywy)
- Perspektywa geometryczna jest przybliżeniem perspektywy ludzkiego oka = fałsz
- Obiekt przestrzenny można rzutować na dowolną powierzchnię uzyskując różne obrazy, które obserwowane z środka rzutu są tożsame = prawda (Oznacza to, że nie istnieje problem perspektywy ludzkiego oka w sensie, w jakim się twierdzi, że perspektywa na płaskim tle jest tylko niedoskonałym przybliżeniem perspektywy ludzkiego oka. Tego, że takiego problemu nie ma dowiedli swoimi dokonaniem zarówno twórcy iluzyjnego malarstwa nasklepiennego jak i twórcy anamorfoz zarówno nierefleksyjnych (w tym Leonardo) jak i refleksyjnych walcowych i stożkowych (eksperymenty wykonane przez autora artykułu z refleksyjnymi anamorfozami sferycznymi w pełni to potwierdzają). Inną kwestią jest odpowiedź na pytanie czy byli oni w pełni świadomi swoich odkryć i czy przekazali to przekonanie swoim kontynuatorom. Bowiem i współcześnie czynione są wysiłki z konstruowaniem obrazu perspektywicznego, który miałby najdoskonalej imitować perspektywę ludzkiego oka. Teoretycy ci, a należał do

nich i K. Bartel, być może dlatego, że nie rozstrzygał zagadnienia anamorfoz, widzą problem, który nie istnieje).

- Własnością perspektywy jest to, że zawiera linię horyzontu i podstawy = fałsz (są to elementy formalne perspektywicznego obrazu, na aparat perspektywy nie ma żadnego wpływu to co przedstawia się za jego pomocą).

Kierunek określa prosta. Ponieważ w przestrzeni istnieje nieskończenie wiele kierunków to istnieje co najmniej tyle samo prostych. Kierunkowi można przyporządkować nieskończenie wiele prostych wzajemnie równoległych. Ponieważ perspektywę kierunku określa jeden punkt, to obraz wszystkich kierunków przestrzeni wypełni całe tło perspektywiczne.

W literaturze spotyka się do dziś mocno ugruntowany błąd logiczny, którego wynikiem jest przekonanie o istnieniu perspektywy 1-, 2-, 3-zbiegowej [7, 8].

Z „jakiegoś powodu”(?) w literaturze przedmiotu brak opisu np. perspektywy 17-zbiegowej, 24-zbiegowej itd., itp. Ale dlaczego? Owszem obraz perspektywiczny obiektów przestrzeni czyli ich perspektywa zawiera perspektywy kierunków ich liniowych krawędzi (jeśli takie istnieją) bowiem np. sfera lub inna powierzchnia o nieliniowych brzegach nie reprezentują kierunku i np. perspektywa kuli nie zawiera punktu zbiegu perspektywicznego.

Jeśli istniałyby perspektywy 1-, 2-, 3-zbiegowe (czyli perspektywy zbiegów?) to istniałaby też perspektywa n-zbiegowa, co oczywiście prowadzi to do absurdu. Można zaś stwierdzić, że dana perspektywa zawiera taką to a taką, określoną liczbę punktów zbiegu. Z tego wynika, że aparat perspektywy nie ma wpływu na to ile punktów zbiegu istnieje w danej perspektywie – a może być ich dowolnie wiele.

Można pytać o aparat perspektywy zastosowany przez artystę, np. o to czy zastosował tło płaskie i realizował kolineację, czy użył jak barokowi twórcy malowideł nasklepiennych tła (sklepienia) o kształcie dowolnej powierzchni geometrycznej w wyniku czego uzyskiwał niekolinearny obraz (perspektywę niekolinearną) obiektów przestrzennych.

Błędy pojęciowe i logiczne, implikujące błędy metodologiczne, wynikają często z tego, że przyczynę utożsamia się ze skutkiem. I tak np. stwierdzić należy, że nie ma różnych perspektyw, różne zaś mogą być formalne konstrukcje ich obrazów. Aparat perspektywy czyli rzut środkowy jest jej niezmiennikiem i można go stosować, jak wspomnieliśmy, do jakiegokolwiek powierzchni (choć w klasycznym malarstwie najczęściej jest nią płaszczyzna).

Kolejny mit to twierdzenie, że perspektywa płaska (kolinearna) jest tylko przybliżeniem perspektywy ludzkiego oka (Takie przekonanie stało się powodem dociekań i sporów wielu teoretyków perspektywy. Jednym z przykładów jest spór o perspektywę sferyczną, której E. Panofsky przypisuje grecki – starożytny rodowód [2]. Eksperymenty z taką perspektywą wykony-

wane już współcześnie spotykały się z krytyką wyznawców klasycznej perspektywy. Wyników tych dociekań nie zaaprobowano (z wyjątkami) malarstwo, a sztuka wizualna nie włączyła ich do swojego dziedzictwa.

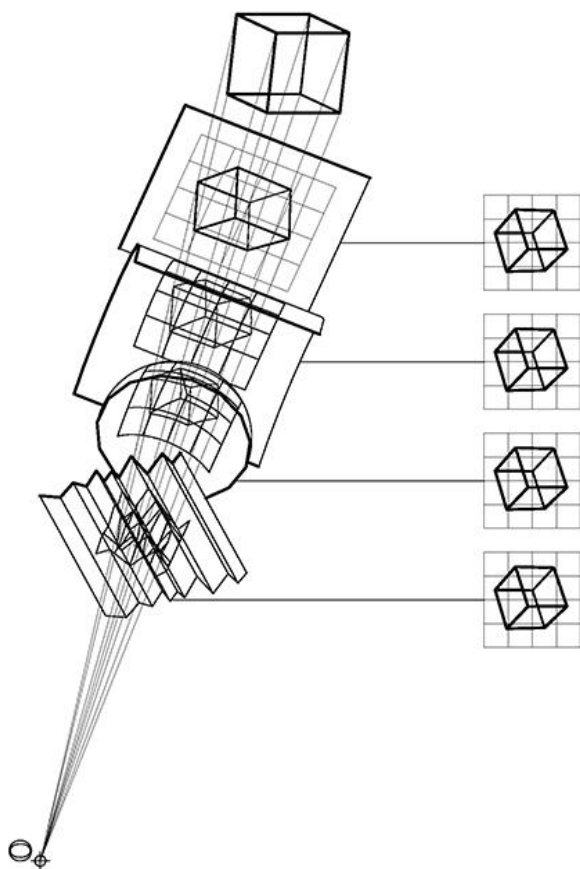
Natomiast sami artyści, a mamy tu na myśli wybitnych twórców iluzyjnego malarstwa nasklepiennego okresu późnego baroku, Pozza oraz jego uczniów, sukcesorów i kontynuatorów, prześcignęli wiedzą praktyczną myśl teoretyczną (owocującą, jak wspomniano nieadekwatnością modeli rzutowania środkowego).

Łatwo wykazać, że długie poszukiwania wielkiej unifikacji perspektywy łączącej niekolinearną perspektywę oka ludzkiego i płaską perspektywą geometryczną (znane i opisane są przykłady rzutowania perspektywicznego obrazu ze sfery na powierzchnię walcową i rozwinięcia jej na płaszczyźnie a także inne sposoby tworzenia hybryd perspektywy sferycznej i płaskiej), były skazane na fiasko.

Sięgamy po znaną konstrukcję Euklidesa – przecięcia stożka widzenia tłem perspektywicznym [2]. Tak więc przyjmijmy dowolny obiekt przestrzenny P^2 w przestrzeni R^3 . Przyjmijmy aparat perspektywy – o środku rzutów w punkcie O , podstawę rzutów – tło perspektywiczne jako dowolną powierzchnię Π^2 , w szczególnym przypadku płaszczyznę R^2 .

Rzutyjmy P^2 na Π^2 z punktu O , tak, że dla każdego punktu $A_n \in P^2$ istnieje tylko jedna prosta przechodząca przez ten punkt i przechodząca przez punkt O . Ogół takich prostych utworzy wiązkę rzutującą $W(A_n, O)$. Powierzchnia Π^2 przetnie wiązkę $W(A_n, O)$ tworząc perspektywiczny obraz $(P^2)^I \in \Pi^2$. Zauważmy, że przecinając wiązkę rzutującą każdą inną dowolną powierzchnią uzyskamy tyle samo obrazów obiektu P^2 . Obrazy te będą wzajemnie (perspektywicznie) zgodne. Interpretując powyższą relację w wizualnej przestrzeni fizycznej, w której środkowi O odpowiadać może punkt świecący lub oko, stwierdzimy, że perspektywiczna zgodność obrazów powstałych na każdej z dowolnych powierzchni (stanowiących tła perspektywiczne) dla obserwatora w punkcie O odbierana jest jako zjednoczenie wszystkich powstałych obrazów w jeden obraz. Jednak dla każdego innego obserwatora obrazy te postrzegane będą niezależnie.

Tę sytuację wyjaśnia rysunek 1. Jest to przykład rzutowania siatki prostokątnej i obrazu sześciianu, wpisanego w tę siatkę, na dowolne powierzchnie i widok tych rzutów z punktu rzutowania oraz z dowolnego punktu obserwacji.

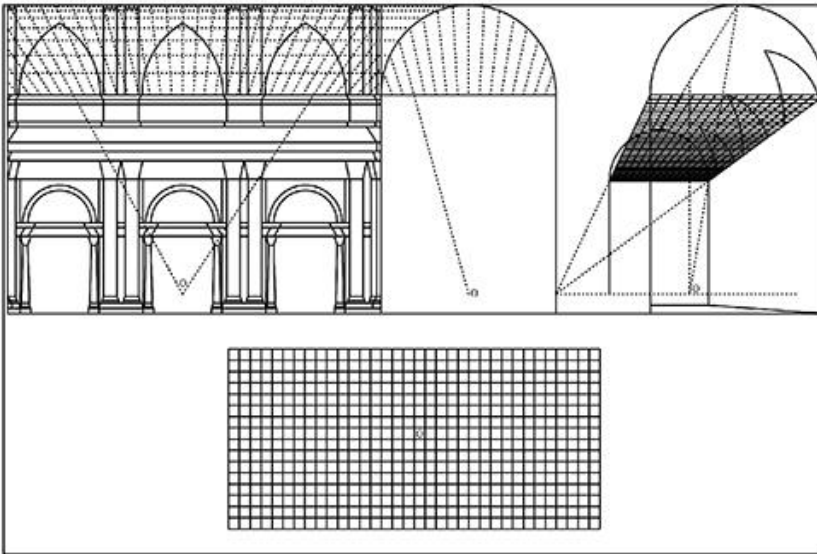


Rysunek 1. Przykład rzutowania siatki prostokątnej na dowolne powierzchnie i widok tych rzutów z punktu rzutowania oraz z dowolnego punktu obserwacji. Rysunek autora

Jeśli przyjmimy, że tło perspektywiczne stanowi powierzchnia sklepienia, np. kolebkowego, paraboloidalnego, sferycznego lub o dowolnie złożonej geometrii, na której wykonano malowidło, to już samo to iż jego twórcy ustalali punkt (rzadziej kilka punktów), z którego obserwacja przedstawionych scen tworzyła najdoskonalszą iluzję trójwymiarowych form i trójwymiarowej przestrzeni, świadczy o właściwym pojmowaniu zjawiska rzutowania środkowego na dowolne powierzchnie. Te zniekształcone obrazy na powierzchniach sklepień, które ze środka perspektywicznego rzutu widoczne są bez zniekształceń są anamorfozami [9].

W piśmiennictwie przedmiotu określa się je jako kwadratury nazywając ich twórców kwadraturzystami. Tymczasem określenie to nie wyjaśnia perspektywicznej istoty odkształcenia, a jedynie sposób (rzutowanie światłem)

w jaki się dokonuje. Trywializuje ono proces powstawania obrazu anamorficznego na sklepieniu utożsamiając go z pomocniczym w gruncie rzeczy narzędziem jakim jest siatka kwadratów powstała z rozciągniętych sznurów. Nadto pojęcie „kwadratura” odnosi się do innych dziedzin wiedzy a bezkrytyczne (by nie rzec potoczne) w tym przypadku jego użycie dowodzi nierozumienia geometrycznej złożoności natury tego przekształcenia, o którym tak szeroko rozpisywali się teoretycy perspektywy i liczni historycy sztuki baroku. Wiadomo, że stosowano przy ich wykonaniu techniki projekcji światłem. Powszechnie stosowanym sposobem było rzutowanie siatki kwadratowej, wykonanej z napiętych sznurów, na sklepienie za pomocą punktowego źródła światła (jak wynika z przekazów, była nim najczęściej bateria świec) [10], rysunek 2.



Rysunek 2. Rzutowanie siatki kwadratowej, wykonanej z napiętych sznurów, na sklepienie za pomocą punktowego źródła światła. Rysunek autora, wykonany na podstawie reprodukcji zamieszczonej w: Bernhard Kerber, Andrea Pozzo, Berlin – New York 1971

Geometrycznie jest to dyskretne odwzorowanie płaszczyzny na dowolną powierzchnię. W efekcie uzyskiwano rzut kwadratów sieci na sklepienie jako jej cień. Projekt malowidła wykonywano w małej skali na płaskim podkładzie i następnie nanoszono nań rysunek siatki kwadratowej. Ponieważ każdemu kwadratowi na projekcie malowidła odpowiadał zdeformowany kwadrat na sklepieniu, to przeniesiony na sklepienie obraz był także zdeformowany w stosunku do płaskiego odpowiednika. Świadczy to jednoznacznie

o świadomości natury rzutu środkowego, jako zjawiska fizycznego i znajomości podstawowych jego własności geometrycznych.

Należy przypomnieć, że owa wiedza ma długą historię, zapoczątkowaną przez Greków i ich euklideską geometrię [2].

Kontynuatorami racjonalnej myśli Greków w Renesansie stają się w szczególności jego giganci: Albrecht Dürer, oraz Leonardo da Vinci, którzy tworzą i popularyzują liczne schematy i pouczenia. Dotyczy to także tak wyrafinowanych odmian perspektywy jak anamorfozy. Pozzo w następnej już epoce daje się poznać jako wybitny malarz i popularyzator zastosowań rzutu środkowego w malarstwie, w szczególności, nasklepiennym [10], [11, str. 37-46]. Jednak poza walorami praktycznymi traktat *Pozza Perspectiva pictorum et architectorum* nie posiada wartości naukowej.

Kazimierz Bartel, wybitny znawca i teoretyk perspektywy, docenia wartość artystyczną rysunków Pozzo, ale jako geometrę ocenia go krytycznie. Zwraca uwagę na kompilacyjny charakter dzieła, określa elipsy Pozzo jako „linie bardzo dalekie od właściwego kształtu” [8].

Wielu historyków sztuki (nie mających kompetencji do analizy naukowej) wyraża bardzo daleko idące uznanie dla dokonań Pozza, np. Jerzy Kowalczyk (historyk sztuki) ocenia arbitralnie, nie uzasadniając tego dostatecznie, wykład Pozzo jako metodyczny podręcznik geometrii widząc w nim epokowego odkrywcę tajemnic perspektywy [11]. Przypomnijmy tu raz jeszcze, że naukowe definicje rzutu środkowego, jako aparatu perspektywy, powstały wraz z geometrią rzutową w XIX wieku.

Pozzo zaś i malarze jego czasów opanowali wiele praktycznych sztuczek i sposobów przydatnych w malarstwie do realizacji przedstawień perspektywicznych dowolnego obiektu na dowolnej powierzchni. Nie wymagało to jednak w najmniejszym stopniu jakiegokolwiek znajomości geometrii. Do osiągnięcia zadziwiających i wspaniałych dzieł malarstwa nasklepiennego, poza wyobraźnią i kunsztem warsztatowym w zupełności wystarczała projekcja światłem! I jest to wprawdzie znany, ale chętnie pomijany fakt.

5. Analiza geometryczna malarskiego przedstawienia Auli Leopoldina – reprezentatywnego przykładu iluzyjnego malarstwa nasklepiennego

Aula Leopoldyńska nazywana Aulą Leopoldina mieści się w Kompleksie Leopoldyńskim, jaki obecnie stanowi Uniwersytet Wrocławski. Nazwę tę przyjęto dla upamiętnienia Cesarza Leopolda I, który przekazał Jezuitom tymczasowo w roku 1659, dziedziczony przez Habsburgów zamek cesarski. Kompleks powstawał na przełomie XVII i XVIII wieku. Składał się z kościoła ukończonego w 1700 roku, kolegium a później Uniwersytetu, Wiadomo, że na obydwu szczeblach *mathesis* oprócz geometrii i astronomii wykładano architekturę. Kompleks rozbudowywany był do 1741 roku kiedy to:

„...w doprowadzeniu do końca tego ambitnego i wielkiego dzieła epoki baroku stanęło na przeszkodzie zajęcie Śląska przez Prusy. Z planowanej 220 m fasady, według planu z 1727 r, zrealizowano 166m, ...w rozległym widoku z północy Leopoldina stawiała się niezwykle pierwszymoplanowym monumentem w panoramie Wrocławia... W Auli Leopoldyńskiej ...na szczególną uwagę zasługuje główna scena malarstwa kwadraturowego, jak cały cykl zrealizowany w 1732 roku przez morawskiego malarza Johanna Christopha Handkego, przedstawiająca apoteozę Mądrości Bożej pod postacią unoszącej się w przestworzach Gołębicy – Ducha Świętego. Umieszczona w środku ukazuje zgodnie z założeniami sztuki Pozza za pomocą punto stabile, jedność dualistycznie pojmowanego bytu – materii i ducha, świata realnego i idealnego...” [12], rysunek 3, 4.



Rysunek 3. Iluzyjne malowidło nasklepienne w Auli Leopoldyńskiej we Wrocławiu.
Fotografia autora.



Rysunek 4. Iluzyjne malowidło nasklepienne w Auli Leopoldyńskiej we Wrocławiu.
Fotografia autora

Pomijając wiele interesujących danych historycznych i z zakresu sztuki, które można by przytoczyć, odpowiemy na pytanie o to co przedstawiają, na gruncie geometrii, malarskie formy zastosowanych układów perspektywicznych.

Na wstępie trzeba stwierdzić, że mimo niekorzystnych warunków przestrzennych Auli, osiągnięto zadowalający wynik w zakresie stworzonej perspektywicznej iluzji (temu przede wszystkim służyło iluzjonistyczne nasklepienne malarstwo baroku). Niekorzystne warunki stanowią:

- Mała wysokość wnętrza i duży wymiar podłużny ma zasadniczy niekorzystny wpływ na obserwację obrazów na sklepieniu. Przejawia się to tym, że obserwacja całości z jednego tylko punktu jest prawie niemożliwa, jeśli za cel autor przedstawienia stawiał jak najdalej posuniętą iluzję trójwymiarowej przestrzeni, w której rozgrywały się sceny i narracja o ustalonej tematyce. Dlatego przewidziano trzy punkty obserwacji; w przedniej, środkowej i tylnej części. Wymusza to na obserwatorze dynamiczną percepcję, w ruchu wzdłuż wnętrza (czego można uniknąć przy zastosowaniu jednego punktu obserwacji). Perspektywiczny obraz na sklepieniu jest więc obserwowany z wielu pozycji. Powoduje to jego zniekształcenia w czasie obserwacji. Ale nie o dostrzeganie deformacji autorowi chodziło. Chodziło o zupełne przeciwieństwo. To właśnie zdeformowana forma nasklepiennej anamorfozy ma wywoływać wrażenie niezdeformowanej przestrzeni. W Auli Leopoldyńskiej nie było to jednak w pełni możliwe. Będąc świadomi tych ograniczeń tym bardziej docenimy to iluzjonistyczne dzieło.

- Następnym ograniczeniem jest prawie płaski strop (geometrycznie jest to połączenie płaszczyzny środkowej części sklepienia z powierzchniami walcowymi po obu stronach). Daje to w efekcie bardzo spłaszczone sklepienie kolebkowe o pseudoeliptycznej krzywiznie. wysokość wnętrza i duży wymiar podłużny ma zasadniczy niekorzystny wpływ. Z takimi warunkami spotkał się malarz i nie mógł zapewne wpłynąć na ich zmianę. Przyjmijmy jednak dla uproszczenia, że sklepienie ma postać powierzchni walca eliptycznego (o dużym wprowadzie zróżnicowaniu osi). Przy tym założeniu możemy zdefiniować krzywizny obrazów perspektywicznych: form liniowych i form nieliniowych (jeśli mają postać krzywych stożkowych, które w barokowym malarstwie były powszechnie stosowane). I tak utworami rzutowania środkowego na powierzchnie kwadratowe – kwadryki, których kształty miały ówczesne sklepienia; sferyczne, elipsoidalne i tak jak w przypadku Auli Leopoldina – kolebkowe, są: 1. łuki stożkowych, krzywych płaskich 2 rzędu – tworzących iluzję form prostopadłościennych lub liniowych, odniesionych np. do przedstawień form architektonicznych. 2. łuki krzywych przestrzennych 4 rzędu – tworzących iluzję kół, elips, oraz łuków tych krzywych. Kształty te użyteczne były w wyobrażeniach zarówno form architektonicznych jak też postaci świętych (zwróćmy uwagę na to, że w malarstwie forma i schemat geometryczny, zawsze odgrywały wielką rolę, zarówno w kompozycji, jak też w analizie formy ludzkiego ciała), form symbolicznych, takich jak herby, godła lub przedmioty kultu.

Na koniec należy wspomnieć o innych cechach Auli Leopoldyńskiej, związanych z ukształtowaniem przestrzennym, a mianowicie o warunkach akustycznych, które sytuują Aulę na czele szeregu sal koncertowych Wrocławia. Odpowiednie ukształtowanie odbić oraz warunków pogłosowych (przez dużą ilość elementów drewnianych) wzmacnia dodatkowo wrażenia bliskości wykonywanych zdarzeń muzycznych i nadanie im określonej aury. Jak podają źródła literaturowe, ...istnieją tylko dwa rodzaje sztuk uprawianych przez ludzi. Po pierwsze, sztuki zapośredniczone przez zmysł wzroku, jak na przykład rzeźba i malarstwo; po drugie, zapośredniczone przez mowę i dźwięk – poezja, powieść, dramat i muzyka. Spośród wszystkich ludzkich zmysłów wzrok i słuch miały i nadal mają największy wpływ na naszą wizję świata... [13, str. 24]. Pomimo niezbyt szczęśliwego rozwiązania komunikacyjnego, które powoduje przenikanie dość znacznej porcji dźwięków niepożądanych (hałas komunikacyjny), na tle dźwięków dochodzących ze stosunkowo małej estrady, ów hałas jest tłem, ale tło zachowuje się tak, jakby było częścią formy, która na nim spoczywa. Do tła jako do części formy odnoszą się wszelkie sądy charakteryzujące wzajemne zależności między formą-częścią a formą główną [14]. Na szczęście mechanizmy postrzegania powodują, że słuchacze mogą oddzielić formę (dźwięki muzyczne) od tła (hałas), a piękno kompozycji przestrzennej Auli

Leopoldyńskiej i malarstwa iluzyjnego częstokroć pozwalają przenieść się słuchaczowi (wizyowi) w inną rzeczywistość.

Literatura

1. Rzepińska M., Leone B.A. *O Malarstwie, Teksty źródłowe do dziejów teorii sztuki*, PAN, Wrocław-Warszawa-Kraków 1963.
2. Feynman R.P. *Przyjemność poznawania*, Warszawa, 2006.
3. Białostocki J. *Albrecht Dürer jako pisarz i teoretyk*, Wrocław 1956.
4. Ludwig B. *Zastosowanie iluzji perspektywicznej w monumentalnych dekoracjach wnętrz śląskich świątyń w okresie późnego baroku*, [w:] *Architektus* nr 2, str.3, Wrocław 2004.
5. Chwistek L. *Przeżycia estetyczne*, [w:] *Wybór pism estetycznych*, Universitas, Kraków 2004.
6. Lorenz K. *Regres człowieczeństwa*, PIW, Warszawa 1986.
7. Gonbrich E.H. *Sztuka i złudzenie*, Warszawa 1981.
8. Bartel K. *Perspektywa Malarska*, tom I, II, Warszawa 1960, 1958.
9. Baltrusaitis J. *Anamorphoses les perspectives depravees*, Flammarion, Paris, 1984.
10. Kerber B., Andrea P., Walter de Gruyter – Berlin-New-York 1971.
11. Żaba A., Czajor J. *Traktat Andea Pozzo „Perspectiva pictorum et architectorum” jako nowoczesny podręcznik dla barokowych kwadraturzystów*, [w:] *Biuletyn Polskiego Towarzystwa Geometrii i Grafiki Inżynierskiej* Zeszyt 6 (1998/9).
12. Dziurla H., Mozzymas J. *Harmonia sfer w projekcie Leopoldiny, O nauce i sztuce*, Studium Generale, Wrocław 2004.
13. Bronowski J. *Źródła wiedzy i poznania*, PIW, Warszawa 1984.
14. Żurawski J. *O budowie formy architektonicznej*, [w:] *Wybór pism estetycznych*, Universitas, Kraków 2008.
15. Smith A. Mark *Alhazen's Debt to Ptolemy's „Optics”*, Nature, Experiment and the Science, edited by Trevor H. Levere and William R. Shea, Kluwer, Dordrecht 1990.
16. Russo L. *Zapomniana rewolucja – grecka myśl naukowa a nauka nowoczesna*, Universitas, Kraków 2005.
17. Szymański W. *Odwzorowanie punktów przestrzeni w rzucie środkowo-refleksyjnym na sferę*, *Prace Naukowe Instytutu Architektury Urbanistyki Politechniki Wrocławskiej* No23, Seria: *Studia i Materiały* No 6, *Prace studialne Zakładu Geometrii Wykreślnej i Perspektywy Malarskiej*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1987.
18. Szymański W. *Rzut środkowo-refleksyjny na sferę a pewne rodzaje przekształceń anamorficznych*, Raport serii: SPR nr I–1/S– 866/09, Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury Zakład Geometrii Wykreślnej i Perspektywy Malarskiej, Wrocław 2009.
19. Machniewicz S. *Estetyka życia codziennego*, w: *Wybór pism estetycznych*, Universitas, Kraków 2012.
20. Wallis M. *Sztuka i znaki*, [w:] *Wybór pism estetycznych*, Universitas, Kraków 2004.
21. Kemp M. *The Science of Art, Optical themes in western art from Brunelleschi to Seurat*, Yale University Press, New Haven and London 1990.

Odwzorowanie perspektywiczne w nasklepiennym malarstwie późnego baroku

W pracy przedstawiono analizę przyczyn wielu nieporozumień i sporów obecnych w komentarzach, opracowaniach, analizach i opisach historyków i teoretyków sztuki, dotyczących traktatów poświęconych zagadnieniom perspektywy w sztuce renesansu i baroku. Wskazano i zdefiniowano błędy pojęciowe i metodologiczne jakich dopuszczają się oni w swoich opracowaniach, a także wyjaśniono ich przyczyny.

Przypomniano podstawowe własności przekształcenia perspektywicznego. Wspomniano także o układach perspektywy. Przeanalizowano metody pracy artystów okresu późnego baroku specjalizujących się w nasklepiennym malarstwie iluzyjnym.

Stwierdzono, że malowidła te zwane kwadraturami są w istocie anamorfozami, czyli perspektywą zniekształconą. Anamorfoza jako jedna z klas perspektywy, towarzyszy głównemu jej nurtowi już od ponad 500 lat.

Na tym tle przeprowadzono analizę geometryczną iluzyjnych malowideł na sklepieniu Auli Leopoldina, w kompleksie Leopoldyńskim Uniwersytetu Wrocławskiego.

Określono charakter deformacji perspektywicznych. Wykazano, że stanowią one łuki płaskich krzywych stożkowych oraz przestrzennych krzywych 4 – rzędu.

Słowa kluczowe: malowidła nasklepienne, iluzja, anamorfozy nierefleksyjne

Perspective Projection in Ceiling Painting of Late Baroque

In this work, the author presented the reasons for many misunderstandings and arguments in some commentaries, analyses, studies and descriptions by art historians and theoreticians. They refer to treatises devoted to the issues of perspective in the art of the Renaissance and Baroque. Some conceptual and methodological errors present in their studies have been defined. Also, the reasons for making those mistakes have been explained.

The basic properties of perspective transformation and systems have been mentioned. The ways the late Baroque artists worked have been analyzed. Especially the works of those who specialized in illusionist ceiling paintings.

It has been concluded that those paintings called quadratures are in fact anamorphoses or distorted perspective. Anamorphoses, one of perspective types, have been part of the main trend for more than 500 years.

Against this background, the illusionist paintings on the ceilings of Wrocław University Aula Leopoldina have been analyzed.

The character of perspective deformations has been identified. It has been proved that they are the gaps of flat conic sections and space curves of the 4th kind.

Keywords: ceiling painting, illusion, non-reflective anamorphosis

Konstrukcja łupinowa i jej zastosowanie w architekturze nowoczesnej i współczesnej

1. Wstęp

Konstrukcja łupinowa to przykrycie krzywiznowe, dźwigar powłokowy, cienkościenna (kilka cm) konstrukcja budowlana, betonowa, żelbetowa lub kompozytowa lekkie konstrukcje nośne, spełniające przeważnie funkcję przykrycia (sklepienia, dachy), o dużej rozpiętości, bardzo małej grubości (stosunek grubości powłoki do jej rozpiętości wynosi od 1:500 do 1:1000), o powierzchni geometrycznie uformowanej – prosto lub krzywokreślnej, obrotowej (różnego rodzaju kopuły) lub specjalnej (np. w kształcie parasola, muszli, itp.). Konstrukcje tego typu służą do przekrywania dużych powierzchni niedzielonych podporami, np. hal przemysłowych, sportowych, targowych, pawilonów wystawowych, dworców kolejowych, hangarów, kościołów. Zaczęto je stosować na początku XX wieku.

Jednak już w starożytności budowano kopuły o rozpiętości dochodzącej do kilkudziesięciu metrów. Żelbetowe kopuły wznoszone obecnie mogą mieć kilkusetmetrowe średnice u nasady. Kopuły należą do grupy obrotowych powłok dwukrzywiznowych o krzywiznie południkowej i równoleżnikowej. Grubość powłoki jest niewielka i nie przekracza zazwyczaj 7-8 cm, nawet przy rozpiętości przekraczającej 100 m. Dzieje się tak między innymi dlatego, że nie występują w niej momenty zginające, a obciążenia zmienne są niewielkie. Konstrukcja przykryta kopułą składa się z powłoki, która przekazuje parcie poziome i obciążenie na pierścień monolityczny (wieniec) biegnący u nasady kopuły. Wieniec przekazuje obciążenia pionowe na podpory (ściany lub słupy) wsparte na fundamentach. Grubość powłoki w kopułach monolitycznych jest zawarta na ogół w granicach 4-8 cm.

Zbroi się je siatkami z prętów 0,6 lub 0,8 (przy większych rozpiętościach). Zbrojenie składa się z prętów biegnących równoleżnikowo oraz prostopadłych do nich, przebiegających południkowo. Należy dążyć do tego, aby rozstaw prętów nie przekraczał 20 cm. Zbrojenie umieszcza się pośrodku przekroju powłoki.

¹ krawiecadam94@gmail.com, Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, www.bais.p.lodz.pl

² patusias2@interia.pl, Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, www.bais.p.lodz.pl

Jedynie w strefie blisko wieńca podporowego, ze względu na występujące tam momenty zginające, zwiększa się grubość powłoki i umieszcza dwie siatki zbrojenia – w pobliżu dolnej i górnej jej powierzchni.

Przy wykonywaniu kopuł, zwłaszcza tych o dużych rozpiętościach, występują duże trudności wykonawcze związane przede wszystkim z przygotowaniem prac i materiałochłonnego deskowania. Istnieją sposoby uniknięcia tego mankamentu, jak np. obetonowanie samonośnej siatki zbrojeniowej bez użycia deskowania. Coraz częściej wznosi się kopuły z elementów prefabrykowanych – najczęściej z płyt żebrowych lub panwiowych.

2. Cel pracy

Celem pracy jest przedstawienie idei konstrukcji łupinowej oraz przeanalizowanie konkretnych przykładów budynków, które zostały za jej pomocą wykonane.

W ramach publikacji przedstawiono oraz scharakteryzowano twórczość czterech najwybitniejszych architektów, którzy zasłynęli dzięki tej konstrukcji oraz pięć przykładów budowli powstałych za jej pomocą.

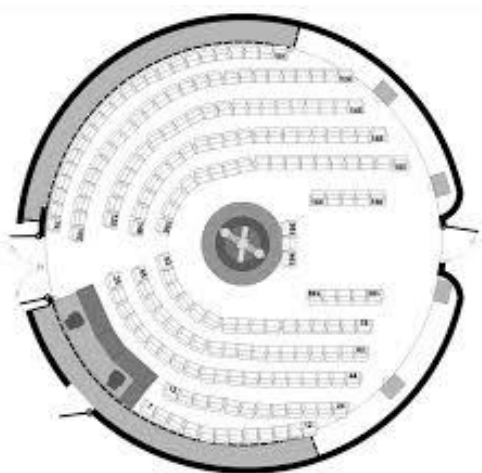
3. Planetarium Zeissa w Jenie

Pierwszym przykładem konstrukcji łupinowej jest budynek który powstał w latach 1924-1926. Planetarium zaprojektowali Hans Schlag (1890-1970) i Johannes Schreiter (1872-1957). Jest to pierwsza kopuła w której zastosowano w ten sposób rewolucyjny system konstrukcyjny. Obiekt ten został wykonany z żelazno-betonowa. W konstrukcji użyto blisko 8000 metalowych prętów różnej długości. Wewnętrzna średnica kopuły, będąca ekranem na którym wyświetlane są gwiazdy, ma średnicę 23 metrów. Planetarium Zeissa jest najstarszą tego typu budowlą na świecie.

W październiku 2006 roku założono tu system projektorów laserowych, który pozwolił pokrywać obrazem rozgwieżdżonego nieba całą kopułę. Od tamtego momentu budynek planetarium stanowi jeden z dwóch budynków tego typu na świecie, które oferują pokazy, podczas których ekranem staje się cała powierzchnia kopuły.



Rysunek 1. Bryła Planetarium w Zeissa, Źródło: [7]



Rysunek 2. Rzut Planetarium w Zeissa, Źródło: [7]

4. Twórczość Felix`a Candeli

Felix Candela jest najprawdopodobniej największym mistrzem przekryć łupinowych, architekt pochodzenia hiszpańskiego, który od 1940 roku pracuje w Meksyku. Candela jest realizatorem łupin monolitycznych.

Jego twórczość charakteryzują konstrukcje hiperboliczne, pozwalające na wielką różnorodność kształtów oraz łatwość w wykonaniu, ponieważ pozbawione są one elementów łukowych w deskowaniu łupiny. W sylwecie Meksyku kilkaset łupin Candeli stało się już punktem charakterystycznym.

W mieście tym rozwój wyżej wymienionej konstrukcji jest bardzo wysoki. Przyczyniło się do tego kilka elementów m.in. wysoka cena stali, która jest niezbędna przy konstrukcjach szkieletowych oraz bardzo tania siła robocza – elementy te narzucają konieczność budowania metodami rzemieślniczymi. Tego typu metody stosuje właśnie Candela w swoich kompozycjach

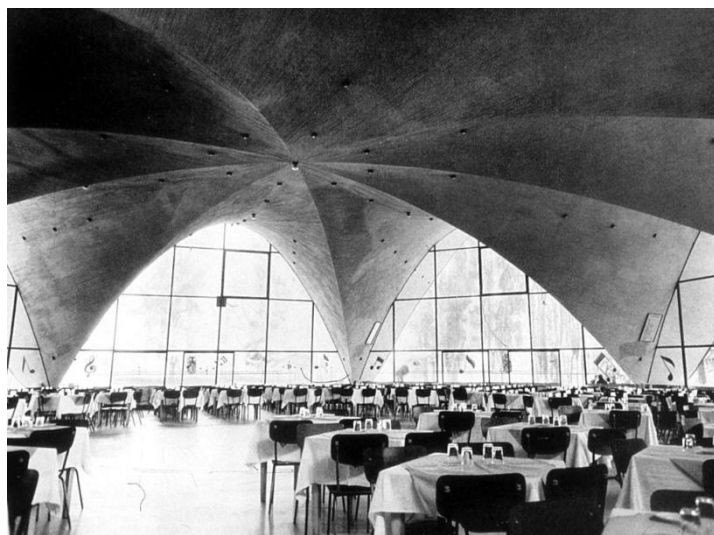
o zaskakującej wielkości, delikatności oraz sile zarazem. Architekt umie znajdować ciągle nowe formy łupin, operując jedną powierzchnią paraboloidy hiperbolicznej. Łączy on wiedzę konstruktora oraz wyobraźnię architekta z umiejętnościami wykonawcy i właśnie to przyczyniło się do jego ogromnego sukcesu. Felix Candela w architekturze kieruje się uwagą intuicją oraz prawami natury [10].

4.1. Los Manantiales

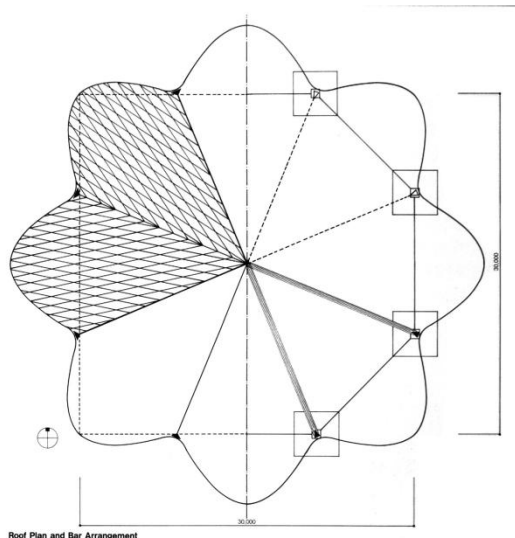
Głównym przykładem efektownego i eleganckiego wykorzystania konstrukcji łupinowym jest Los Manantiales jest z pierwszych projektów Felix'a Candeli. Składa się z czterech przecinających się hiperboloid tworzących w swojej formie odwrócony kwiat lilii. Dzięki zastosowaniu tych brył doszedłem do stworzenia dynamicznej i wyjątkowo lekkiej konstrukcji. Budynek w swoim założeniu został na początku zaprojektowany w innej lokalizacji jednak powstał obok płynącego ogrodu w okolicy Xochimilco w Meksyku. Dach jest kolisty układem czterech zakrzywionych krawędzi hiperboloidy, które przecinają się w punkcie środkowym. Plan jest promieniście symetryczny o maksymalnej średnicy 43 metrów. Odległości pomiędzy podporami wynosi 32 metry. Przycięte płaszczyzny na obwodzie w celu utworzenia przekrzywiona paraboliczną zwis, powłoka jednocześnie wznosi się w górę i na każdym falowania. Ścieżki siły z tych nawisy działać w kierunku przeciwnym do siły wzdłużnej łukowatej redukcyjnych naporem skierowanym na zewnątrz. Dzięki temu we wnętrzu nie ma potrzeby stosowania dodatkowych podpór słupów czy też podciągów. Przez to powstaje ogromna przestrzeń mogąco pomieścić w sobie funkcje eleganckiej restauracji wewnątrz przepięknego parku. Jedynymi powierzchniami transparentnymi wnętrza były olbrzymie doświetlenia znajdujące w skrzydłach Jednak sam konstruktor wyklucza tworzenie górnych doświetleni ze względu na negatywny wpływ na stateczność konstrukcji. Sam twórca wiedząc iż budynek stoi w przestrzeniach sejsmicznych postanowił zastosować specjalny system fundamentów płynących. Dzięki temu budynek zachował się do dnia dzisiejszego.



Rysunek 3. Rzut Los Manantiales, Źródło: [1]



Rysunek 4. Wnętrze Los Manantiales, Źródło: [1]



Rysunek 5. Rzut Los Manantiales, Źródło: [1]

5. Twórczość Santiago Calatravy

Na szczególne miejsce wśród współczesnych architektów oraz konstruktorów zasługuje hiszpański mistrz Santiago Calatrava. Jego projekty nabierają niezwykłych kształtów, a przy tym nie tracą funkcjonalności i nowoczesności.

Twórca ten cały czas eksperymentuje z tworzywem i formą, zadziwiając swoimi kolejnymi projektami, a jednocześnie sprawiając, że są one w stanie sprostać coraz to nowym wyzwaniom w zakresie wytrzymałości i bezpieczeństwa przy sprawianiu wrażenia niezwykle lekkości i nowoczesnej formie. Tworzy on budynki o rzeźbiarskich, odważnych kształtach. W projektach tego twórcy kluczową rolę odgrywa światło. Zastosowanie ażurowych elementów w konstrukcjach oraz wykorzystywanie w zyskujący sposób szklanych elementów gwarantują bardzo dobre doświetlenie obiektów, a wykorzystywanie gry światła do podświetlenia wybranych elementów eksponuje walory architektoniczne, dodając niejednokrotnie lekkości.

Ze względu na rozmach i niepokorne formy brył hiszpańskiego architekta, Santiago Calatravy bywają często krytykowane, ale posiadają też olbrzymie grono fascynatów.

Architekt nadaje swoim projektom dynamiki, projektując je w postaci smukłych rzeźb, które zostały „zawieszone na moment w przestrzeni”. Formy te bardzo często sprawiają wrażenie jakby przeczyły prawom fizyki jednak zostały zaprojektowane w taki sposób, aby spełniały wszystkie normy budowlane. W swych projektach zamiast koncentrować masę obiektu na

podparciu, zgodnie z prawem grawitacji, przesuwają ją w inny punkt, rozwiązując problemy strukturalne przez analizę sił rozciągania, ściskania i skręcenia.

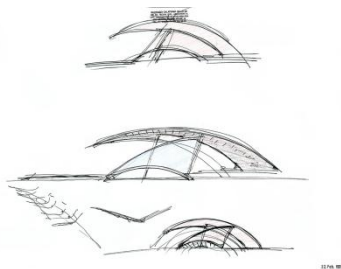
W swoich szkicach kompozycji szczególną uwagę poświęca połączeniom, które stają się esencjonalne w jego fascynacji ruchem. Symetria i asymetria konstrukcji stają się dla niego istotnymi elementami dynamiki [12].

5.1. Auditorio de Tenerife

Przykładem zastosowania konstrukcji łupinowej w obiekcie Santiago Calatravy jest budynek Auditorio de Tenerife, który spełnia podwójną funkcję: audytorium – siedziby Orkiestry Symfonicznej Teneryfy, oraz symbolu architektury miasta Santa Cruz na Teneryfie. Twórca od czasów studenckich interesował się architekturą bazującą na naturze. W swoich rozważaniach nad tym budynkiem bardzo dużą uwagę skupił nad formą bryły, w której możemy wyróżniać trzy elementy konstrukcji: skrzydło, muszla i żagle. Piętnastometrowa platforma stanowi zadaszenie podstawy budynku, na którego bokach osadzone są dwa stożkowe łuki o rozpiętości 60 m wykonane z białego betonu. Muszla zwieńczająca salę symfoniczną zbudowana jest ze stożkowatych powierzchni o podwójnej krzywiznie, tworząc kopułę. Kopuła, wykonana z betonu zbrojonego o grubości 50 cm, osiąga wysokość 51,6 m. Betonowe żagle, które znajdują się po obu bokach muszli, mają kształt cylindryczny. Trzeci łuk chroni południowe wejście, tworząc nadmorski taras. Nad nim wznosi się ogromne skrzydło, które zakrywa cały budynek. Opiera się ono o wierzchołek muszli na wysokości 51,6 m i od tego punktu wznosi się na 56 m. Sama bryła swoim wyglądem mocno budzi kontrowersje ze względu na lekkość konstrukcji powoduje wrażenie zatrzymanej w czasie zawieszanej w powietrzu. Jednak konstrukcja samego jest bardzo wytrzymała i zdolna przenieść obciążenie trzy razy większe niż sam waży. Wewnątrz budynku znajdziemy główną salę symfoniczną na 1716 widzów, w której wystawiane są również opery, oraz sala kameralna dla 442 osób. Budynek swoją formą i lekkością zachwyca architektów, konstruktorów jak i zwykłych użytkowników czy obserwatorów.



Rysunek 6. Bryła Auditorio de Tenerife, Źródło: [5]



Rysunek 7. Szkice Auditorio de Tenerife, Źródło: [5]

6. Twórczość Eero Saarinen`a

Architekt pochodzi z Finlandii. Zamiłowanie do zawodu odziedziczył po ojcu (znanym architekcie). Specjalizował się w budynkach użyteczności publicznej, siedzibach firm a także kilku projektach kościołów. Mimo iż jego kariera nie trwała stosunkowo długo, uważany jest za jednego z najwybitniejszych amerykańskich architektów XX wieku.

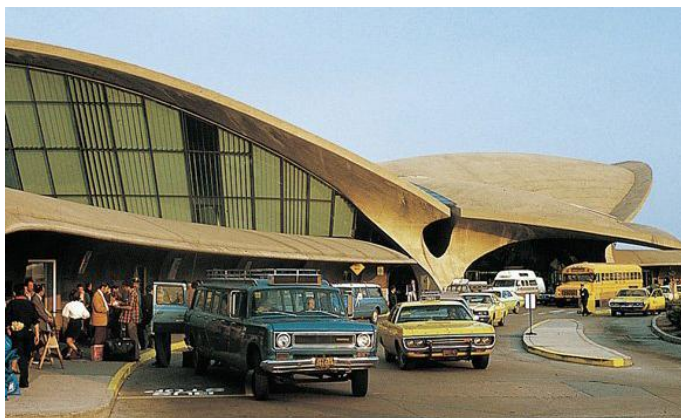
6.1. Home Terminal Trans World Airlines na Lotnisku Kennedy`ego w Nowym Jorku

Jednym z kolejnych przykładów konstrukcji łupinowej jest terminal lotniska w Nowym Jorku. Obiekt ten tylko powstał latach 1956-1962 r. Jego twórcą jest Eero Saarinen jest to amerykański architekt inżynier. Współtworzył specyficzny dla Stanów Zjednoczonych, zindustrializowany styl międzynarodowy, wzbogacony o doświadczenia europejskiego modernizmu. Z betonu formował śmiało, organiczne formy. Wynalazł nowe materiały, które w łatwy sposób implementował w budownictwie, m.in. eksportując z materiałami samochodowymi, skonstruował szyby, które odbijały 70% światła słonecznego dobiegającego zewnątrz, a przyciemniały wewnątrz budynku. Widać to doskonale na przykładzie terminalu w którym to właśnie zostało założone w elewacjach.

Architekt również zaproponował pokryć ściany betonowe porcelanową emalię, stal z naturalną warstwą patyny, nazwaną COR-TEN, dzięki której metal nie ulegał korozji i był zabezpieczony przed opadami atmosferycznymi. Sama bryła została zainspirowana naturą ruchem zwierzęciem sam budynek przypomina swoją formą wzbijającego się ku górze ptaku. Dzięki temu obiekt ten nabiera bardzo dynamicznej i eleganckiej formy pozwalającej wyróżnić się na tle innych istniejących lotnisk na całym świecie.



Rysunek 8. Bryła Terminalu Trans World Airlines na Lotnisku Kennedy'ego w Nowym Jorku,
Źródło: [2]



Rysunek 9. Elewacja Terminalu Trans World Airlines na Lotnisku Kennedy'ego w Nowym Jorku, Źródło: [2]

7. Twórczość Jorn`a Utzon`a

Architekt pochodzi z Kopenhagi. W 1957 roku wygrał niespodziewanie konkurs na projekt Opery w Sydney. To właśnie ten budynek jest jego najbardziej znanym dziełem. Mimo iż wcześniej został nagrodzony za sześć innych konkursów architektonicznych, budynek Opery był jego pierwszym projektem zagranicznym. Złożony przez Utzona projekt był jedynie wstępnym szkicem, mimo to jeden z jurorów konkursu (Eero Saarinen) określił pracę Utzona jako „genialną” i oświadczył iż nie jest w stanie poprzeć żadnej innej propozycji. Utzon był drugą osobą na świecie, której praca znalazła się na Liście Światowego Dziedzictwa Kultury UNESCO za życia [10].

7.1. Opera w Sydney

Sama niezwykle konstrukcja łupin stanowiła dużą zagadkę dla inżynierów. Udało się ją rozwiązać dopiero w 1961 r., kiedy Utzon sam opracował jej rozwiązanie. Pierwotnie zaprojektowane eliptyczne elementy zastąpił elementami stanowiącymi części kuli. Utzon powiedział, że inspiracją dla tego projektu była prosta czynność obierania pomarańczy: po połączeniu 14 łupin budynku w całość otrzymalibyśmy doskonałą kulę. Choć Utzon stworzył niezwykle nowatorskie projekty wnętrza budynku, nie był ich w stanie zrealizować. Opera w Sydney to najbardziej widowiskowy i rozpoznawalny przykład budynku wykonanego w konstrukcji łupinowej [9].

Pod koniec lat czterdziestych XX wieku zapadła decyzja o budowie reprezentacyjnego gmachu opery. Na miejsce inwestycji wybrano półwysp Bennelong Point, na którym istniała nieczynna zajezdnia tramwajowa.

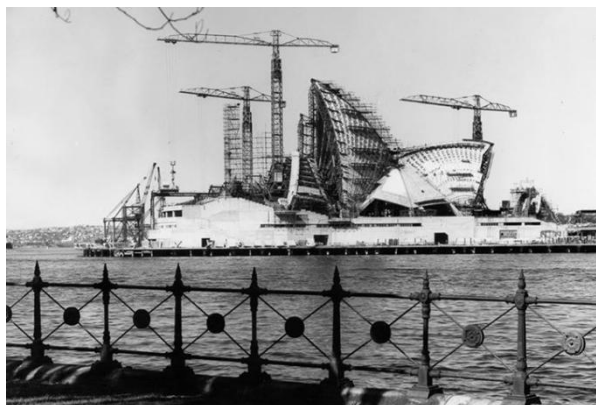
W celu sfinansowaniu budowy zorganizowano loterię. Konkurs architektoniczny na projekt Opery wygrał w roku 1957 duński architekt Jørn Utzon. Jury wybrało projekt spośród 222 przesłanych przez przedstawicieli 32 państw świata, mimo że autor nie spełnił warunków konkursu – dostarczył tylko ogólny szkic. Jego architektem i twórcą jest Jørn Utzon, który został uhonorowany w roku 2003 Nagrodą Pritzкера. Budynek opery został wpisany 28 czerwca 2007 roku na listę światowego dziedzictwa UNESCO. Budynek w stylu nowoczesnego ekspresjonizmu, położony na przylądku Bennelong Point w Sydney. Budowę rozpoczęto w roku 1959. Występowały liczne trudności spowodowane nietypową formą łupin sklepienia. Wskutek tego koszty budowy przekroczyły wielokrotnie pierwotny kosztorys, a oddanie budynku do użytku w dniu święta narodowego 26 stycznia przesunięto z roku 1965 na 1973. Wynikające z tego spory spowodowały, że autor projektu opuścił w roku 1966 Australię.

Grupa młodych architektów australijskich (Peter Hall, Lionel Todd i David Littlemore) doprowadziła projekt do końca. Niestety cięcia oszczędnościowe obniżyły standard wykończenia i pogorszyły akustykę. Szkielet dachu waży 161000 ton i podtrzymuje go 350 km kabla. Na „żaglach” ułożono ponad milion szwedzkich antygrzybiczych płytek ceramicznych, które lśnią w słońcu i nie wymagają czyszczenia. W gmachu są betonowe sklepienia wachlarzowe wsparte na stalowych żebrach i 6225 m² barwionego szkła. Znajdują się tam też największe kurtyny świata, oraz największe organy mechaniczne. W gmachu jest pięć sal, w których odbywają się przedstawienia teatralne i baletowe oraz koncerty, znajdują się tu również kino i dwie restauracje. W sali operowej mieści się 1550 osób, w koncertowej 2700, w teatralnej 550, a w sali muzyki kameralnej 420. Budowa Sydney Opera House kosztowała w sumie ponad 400 milionów marek.

Otwarcie nastąpiło 20 października 1973 – na uroczystości z tej okazji pojawiła się królowa Elżbieta II.



Rysunek 10. Opera w Sydney, Źródło: [2]



Rysunek 11. Opera w Sydney, Źródło: [2]

8. Podsumowanie

Konstrukcja łupinowa miała ogromne znaczenia dla formowania i kształtowania brył architektonicznych. Działania w dużym stopniu opierały się na inspiracjach naturą a architekci pracujący nad tymi formami spędzali wiele czasu na skomplikowanych obliczeniach konstrukcji, bez użycia zaawansowanych technologii. Twórcy, o których jest mowa zazwyczaj nie byli tylko architektami ale również budowlancami, inżynierami i wynalazcami. Same te konstrukcje do lat obecnych wywołują ogromne emocje wśród obserwatorów. Zachwycają elegancją, kunsztem wykonania oraz co najważniejsze – lekkością.

Często same te formy wyglądają jakby były zawieszone w czasie (przeczą prawą fizyki). Jednak ich konstrukcji jest tak wykonana że potrafi wytrzymać

ogromne obciążenia mimo że często ma ona grubości zaledwie paru centymetrów. Dodatkowo wewnątrz bryły nie są potrzebne stosowania dodatkowych formy wzmocnień takich jak słup, podciąg konstrukcja które w pewien sposób burzą wnętrza. Budynki te dzięki tym zaletom nadają się na wnętrza hal, lotnisk, oper itp. Wiele form architektonicznych wykonanych w tej konstrukcji budzą kontrowersje i często wyprzedzają/zawstydzają swoją formą współczesne budynki ze stali i szkła. Jednak największą bolączką tego typu konstrukcji jest pracochłonność wykonania prac przy tworzeniu bryły. Co w prosty sposób przekłada się na duży koszt wykonania prac budowlanych. Obecnie przekrycia z konstrukcji łupinowych budzą zachwyt wśród społeczeństwa i wnoszą do krajobrazu element różnorodności oraz swobody.

Literatura

1. Faber C. *Candela und seine Schalen*, Verlag Georg D.W. Callwey (1965).
2. Oswald L. *Sydney Builds an Opera House*, Sydney, Ziegler, (?197).
3. Pelkonen E. Eero Saarinen: Shaping the Future, Paperback – May 31, 2011.
4. Máté M. Pier Luigi Nervi (Seria: Architektura i Architektki Świata Współczesnego), Akadémiai Kiadó, Warszawa: Arkady 1978.
5. Jodidio P. *Santiago Calatrava*, Taschen.
6. <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/konstrukcja-lupinowa;3935426.html>
7. <http://www.travelin.pl/atrakcja-turystyczna/planetarium-slaskie>
8. <http://www.archdaily.com/496202/ad-classics-los-manantiales-felix-candela>
9. <http://www.auditoriodetenerife.com/>
10. <http://www.dania.com.pl/m,245,j%C3%B8rn-utzon.html>
11. <http://gotoworks.pl/nowe-trendy-w-budownictwie/lupinowe-konstrukcje-w-budownictwie-swiatowym/>
12. http://www.greatbuildings.com/buildings/Los_Manantiales.html
13. <https://en.wikiarquitectura.com/building/los-manantiales-restaurant/>
14. <https://www.knoll.com/designer/Eero-Saarinen>
15. <https://www.swiat-szkla.pl/kontakt/4110-santiago-calatrava-kreator-piekna-przestrzeni.html>
16. <http://www.tenerife-information-centre.com/auditorio-de-tenerife.html>
17. <https://www.sydneyoperahouse.com/our-story/househistory.html>
18. http://sydney.lovetotravel.pl/opera_w_sydney

Konstrukcja łupinowa i jej zastosowanie w architekturze nowoczesnej i współczesnej

Pierwowzory przestrzennych konstrukcji nośnych istnieją wszędzie wokół nas. Konstrukcja łupinowa to przykrycie krzywiznowe, dźwigar powłokowy, cienkościenna (kilka cm) konstrukcja budowlana, betonowa, żelbetowa lub kompozytowa lekkie konstrukcje nośne, spełniające przeważnie funkcję przykrycia (sklepienia, dachy), o dużej rozpiętości, bardzo małej grubości. Największy rozkwit tego przekrycia przypada na XX wiek i właśnie wtedy powstały najbardziej okazałe formy architektoniczne. Wśród twórców można wymienić wiele nazwisk, które reprezentują te okazałe formy, jednak do najwybitniejszych należą m.in. Felix

Candela, Santiago Calatrava, Eero Saarinen, Jorn Utzon. Każdy z budynków, który został omówiony w pracy stanowi ikonę architektury wykorzystującej przekrycia z konstrukcji łupinowej.

Słowa kluczowe: konstrukcja łupinowa, przekrycie, żelbet, kompozyt

Shell construction and its application in modern and contemporary architecture

The spatial support structures are everywhere around us. The shell construction is a curved cover, girder, thin-walled construction (RC), concrete, reinforced concrete or composite lightweight construction structures, which generally cover the function of covering (vaults, roofs) with a large span, very thin thickness. The greatest bloom of this cover is in the twentieth century and it was then that the most magnificent architectural forms were created. Among the creators, there are many names that represent these magnificent forms. Felix Candela, Santiago Calatrava, Eero Saarinen, Jorn Utzon. Each of the buildings that was discussed in the work is an icon of architecture using shell construction.

Keywords: shell construction, cover, reinforced concrete, composite

Drewniane elementy dekoracyjne w fasadach kamienic czynszowych z końca XIX i początku XX stulecia

1. Wstęp

Drewno było często wykorzystywanym materiałem budowlanym w architekturze mieszkalnej, zarówno do konstrukcji jak i dekoracji budynków. Wznoszono domy w całości z drewna, gdzie używano go zarówno do konstruowania ścian, dachów jak i snycersko opracowanych elementów dekoracji. Często występowało w połączeniu z innymi materiałami. Służyło na przykład do konstrukcji ścian w technice szkieletowej, gdzie belki stanowiły szkielet, wypełniany różnymi materiałami. W budowlach murowanych z cegły czy kamienia stosowano drewniane stropy i więźby dachowe. Wszędzie występowały drewniane stolarki drzwiowe i okienne. Wraz z rozwojem technik budowlanych zmieniały się używane materiały. W XIX wieku, w rozwijającym się budownictwie miejskim coraz częściej używano cegły, a pod koniec stulecia wprowadzano inne, nowocześniejsze materiały jak beton, żelazo, stal czy żelbet na początku XX stulecia. Obok licznej jeszcze grupy budynków drewnianych, powstawały murowane kamienice czynszowe, o większej trwałości i gabarytach. Mimo to formy drewniane cały czas były obecne i to nie tylko jako elementy konstrukcji ale także wystroju fasad.²

W budownictwie czynszowym z drewna formowane były różne elementy architektoniczne i dekoracyjne. Używano drewnianych gzymsów, daszków, balustrad, werand, w konstrukcji szkieletowej projektowano wykusze i szczyty budynków. Nie zawsze jednak doceniano walory estetyczne tego materiału. W zależności od mody panującej w danym okresie, drewno jako materiał było „ukrywane” i „udawało” inny surowiec, bądź było uwypuklane i nadawało charakter elewacji. Drewniane elementy konstrukcyjne czy dekoracyjne były bardziej popularne w krajach, gdzie żywa była tradycja drewnianej czy szkieletowej architektury miejskiej.

¹ Zakład Historii i Konserwacji Zabytków Architektury, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy, <http://wbis.utp.edu.pl>

² W artykule murowaną kamienicę czynszową wydzielono jako osobną grupę budowli. Nie wzięto pod uwagę domów drewnianych, które stanowią odrębny problem badawczy.

I tak częściej spotkać można tego typu dekoracje w miastach na północy Europy niż na południu, gdzie architektura szkieletowa nie była tak popularna. Drewniane motywy dekoracyjne modne stały się na przełomie XIX i XX stulecia, zwłaszcza w Niemczech, Szwajcarii i krajach północnej Europy, jak również na ziemiach polskich.

2. „Udawanie i ukrywanie” – drewniane elementy dekoracji fasad kamienic w okresie historyzmu

W okresie historyzmu, szczególnie w drugiej połowie XIX stulecia, elementy wykonane z drewna skrzętnie ukrywano pod warstwą tynków i gipsu oraz farby. W tym czasie kamienica miała imitować, w mniejszym lub większym stopniu, renesansowe i barokowe pałace, rzadziej budowle średniowieczne. W związku z tym elementy dekoracji w architekturze pałacowej wykute z kamienia, w domach dochodowych wykonywano z drewna lub stiuku. Masowo stosowano na przykład drewniane gzymsy podokapowe, które otynkowane i pomalowane na odpowiedni kolor „udawały” te same elementy budowli pałacowych wycięte z kamienia.³ [1, s. 55-94] Takie rozwiązanie było łatwiejsze w obróbce i oczywiście dużo tańsze, co pozwalało na szerokie zastosowanie. Gzymsy czasem wsparte były na drewnianych konsolkach, również odpowiednio „zamaskowanych”.



Rys. 1. Balkon kamienicy przy ul. Pańskiej 4 w Grudziądzu, (fot. autorki)

³ Problemy fasadowości, „nieszczerości form” i zasadę „stylowej osłony” XIX-wiecznej fasady omówił szczegółowo P. Karkowski w artykule [1, s.55-94].

Od lat siedemdziesiątych XIX wieku używano detali architektonicznych masowo produkowanych, za pomocą form klejowych z różnych mas, mocowanych na żelaznych prętach. [2, s. 143] Niekiedy w elewacjach pojawiały się drewniane werandy, zazwyczaj jednak umieszczane były przy tylnych częściach budynków, gdzie łączono je z prywatnymi izbami mieszkalnymi.⁴ Bardzo rzadko w tym okresie można było spotykać balkony lub loggie o drewnianej konstrukcji, które umieszczone zostały w fasadach kamienic i były ich głównym elementem kompozycyjnym, nadającym charakter całej elewacji. Interesującym przykładem takiego rozwiązania jest kamienica przy ul. Pańskiej 4 w Grudziądzu (il. 1), wzniesiona w czwartej ćwierci XIX wieku. [3] W strefie I piętra umieszczono wyjątkowo dekoracyjny balkon, zajmujący całą szerokość elewacji. Otoczony został drewnianą, ażurową balustradą, ozdobioną wijącymi się formami roślinnymi i groteskowymi. Po środku umieszczono dwa lwy, a na płycinach wydzielających osie, popiersia w renesansowych strojach i nakryciach głowy. Całość zwieńczono daszkiem wspartym na drewnianych podporach. Bogato zdobione stylizowanymi liśćmi akantu i żłobieniami oraz opaskami kolumny z głowicami kompozytowymi, dźwigały stylizowane belkowanie o ażurowej, rzeźbiarskiej formie, wzbogacone motywami palmetek i akantów, przesłaniające konstrukcję dachu. Wszystkie elementy pomalowano kontrastującymi ze sobą farbami – ciemną i białą, co bardziej przypomina tego typu konstrukcje żeliwne lub kute niż balustrady drewniane, mniej popularne w czwartej ćwierci XIX-stulecia. Występowanie takiej oryginalnej konstrukcji w Grudziądzu świadczy o wysokim poziomie miejscowego snycerstwa.



Rys. 2. Balkon kamienicy przy ul. Groblowej 13 w Grudziądzu, (fot. autorki)

⁴ Pokoje od frontu należały do tak zwanej reprezentacyjnej części mieszkania.

Innym przykładem drewnianego balkonu w fasadzie budynku o cechach neorenesansu północnoeuropejskiego jest elewacja kamienicy przy ul. Groblowej 13, (il. 2) również w Grudziądzu. Tu na osi fasady, nad wejściem głównym umieszczono dwa balkony, ograniczone drewnianymi, pełnymi balustradami z masywnymi tralkami. Zapewne wszystkie drewniane elementy były pierwotnie otynkowane i „udawały” elementy murowane. W architekturze doby historyzmu można także spotkać, choć nieczęsto, zwieńczenia ryzalitów lub wykuszy w formie drewnianego dachu, wspartego na drewnianych kolumnach. Równie rzadkie było używanie drewnianych, zdobionych snycersko opraw okien w facjatkach.

3. Drewno jako ozdoba fasad kamienic na przełomie XIX i XX w.

3.1. Geneza – przemiany stylistyczne i malownicze traktowanie architektury

Wraz z nadchodzącym kolejnym stuleciem, zmieniła się moda na wystrój elewacji. Architektura czynszowa przełomu XIX i XX wieku przejawiała typowy dla tego okresu pluralizm stylowy. Nastąpił rozkwit różnych form, sprzeciwiających się sztywnym kanonom historyzmu i często występujących w lokalnych odmianach. W końcu XIX wieku zyskał na znaczeniu aspekt „malowniczości” propagowany już dużo wcześniej przez teoretyków nurtu romantycznego Williama Glipina i Johna Ruskina. Dążenie do zróżnicowania faktur i użytych materiałów spowodowało pojawienie się w fasadach zaprojektowanych w nurcie malowniczego historyzmu takich materiałów jak surowa cegła, cios lub kamień czy drewno. [1, s. 73] Fasady komponowane były z wielu elementów architektonicznych jak balkony, loggie, wykusze, wieżyczki, co dawało duże możliwości do włączenia form drewnianych. Stosowano je zwłaszcza w odmianie historyzmu malowniczego zwanej cottage, nawiązującej do angielskich wiejskich domostw czy willi. Architektura wysp brytyjskich leży u podstaw jeszcze jednego, rozwijającego się na przełomie XIX i XX wieku stylu nazwanego Landhaus. W końcu XIX stulecia w Europie wzrosło zainteresowanie architekturą angielską, a zwłaszcza fenomenem wygodnego, swobodnie projektowanego domu, powiązanego z ogrodem. W tego typu budynkach obok cegły i kamienia również chętnie stosowano drewniane konstrukcje szkieletowe. Szczególnym propagatorem tego modelu budownictwa na terenach Niemiec stał się berliński architekt Hermann Muthesius. Stworzył nowy typ domu jednorodzinnego opartego na architekturze angielskiej, łącząc jej cechy z wiejskim budownictwem z Dolnej Saksonii. [4] Na polu czynszowej architektury miejskiej propagatorami stylu Landhaus byli inni berlińczycy – Alfred Messel i Albert Gessner. Pierwszy był zwolennikiem romantycznej architektury, stosował wiele elementów zaczerpniętych z architektury angielskiej,

między innymi szczyty podzielone konstrukcją szkieletową, drewniane balkony, galerie czy werandy [5, s. 127-151]. Twórczość Messela stała się inspiracją dla innych architektów. Między innymi jego wpływy pojawiły się w architekturze Wrocławia (np. u Fritza Engela, H. Gödicke) [6, s. 115-116]⁵, Poznania (np. u Oskara Hoffmanna, spółki Böhmer i Preul) [7, s. 174-177] czy Bydgoszczy (np. u Paula Böhma, Fritza Weidnera) [8, s. 89], gdzie możemy znaleźć wiele budynków powstałych w tym duchu.



Rys. 3. Fragment ostatniej kondygnacji kamienicy przy ul. Słowackiego 3 w Bydgoszczy, (fot. autorki)



Rys. 4. Szczyt budynku przy ul. Gimnazjalnej 2 w Strzelnie, (fot. autorki)

⁵ We Wrocławiu idee niemieckiego Landhausu rozpowszechnił Hans Poelzig, który zaprojektował wzorcowy dom, uznany w krótkie za typowy śląski dom, nawiązujący do śląskiej, wiejskiej chałupy. Jednak na wrocławskich projektantów kamienic dochodowych dużo większy wpływ wywarły dzieła kolegów z Berlina, patrz: [6, s. 115-116].

Na powrót drewnianych konstrukcji wpłynęła zapewne również moda na poszukiwania „stylu narodowego”. Jego elementów szukano nie tylko w drewnianej architekturze ludowej, ale również w tradycyjnej, regionalnej architekturze miejskiej. Sprowadzało się to do wykorzystywania konstrukcji szkieletowych, bądź ich imitacji w wieżyczkach, szczytach i ryzalitach lub do opracowania szczytów z mocno wysuniętymi okapami i dekoracją snycerską. Takie rozwiązania były popularne w kamienicach czynszowych, szczególnie na ziemiach niemieckich, a co za tym idzie także w na ziemiach polskich będących w tym okresie pod zaborem pruskim. Poza tym modny stał się również tak zwany styl szwajcarski, który wywarł największy wpływ na architekturę willową i uzdrowiskową, jednak echa jego przenikały również do architektury domów dochodowych.

I tak jak jeszcze w drugiej połowie XIX wieku drewno było materiałem skrzętnie ukrywanym w elewacjach frontowych, tak już pod koniec stulecia zagościło jako element nadający specjalny charakter fasadom kamienic. Jako paradoks można uznać fakt, iż nie wszędzie w tego typu budownictwie, a zwłaszcza przy stosowaniu tak zwanego „stylu narodowego” używano drewna. Teraz bywało odwrotnie – nie drewno „udawało” kamień lecz inne, nowoczesne materiały „udawały” drewno⁶, co zresztą pokutuje do dzisiaj.

Pod koniec XIX i na początku XX stulecia powstało sporo realizacji, w których wykorzystano różne drewniane elementy do kompozycji fasad. Nie były to jednak nurty wiodące, często stosowano np. „imitacje fachówki w tynku” [7, s. 151]⁷ czy nakładanie na ścianę z pełnego muru desek „udających” konstrukcję szkieletową muru pruskiego. Drewniane dekoracje w tym okresie występowały znacznie częściej na zachodnich i północnych terenach ziem polskich, tam gdzie było największe oddziaływanie architektury niemieckiej. Wpływy te widać również bardziej w dużych miastach niż w mniejszych ośrodkach, chociaż i w tych ostatnich zdarzały się tego typu realizacje.

3.2. Dekoracyjne konstrukcje szkieletowe i ich imitacje

W kamienicach wzniesionych na przełomie XIX i XX stulecia czy to w stylu malowniczego historyzmu, szczególnie w bliskiej architekturze angielskiej odmianie cottage, czy też pod wpływem stylu Landhaus lub szeroko rozumianej secesji, drewna używano najczęściej do wykończenia

⁶ Na przykład we Lwowie popularne były elementy w stylu zakopiańskim wykonywane jednak w nowoczesnych technologiach – narzucie tynkowym, ściany elewacji wykonane z cegły imitowały formy drewnianych profili, „konstrukcje drewniane” wykonywane były w formie cementowych zbrojonych belek patrz: [9, s 209 - 213, 231].

⁷ Jedną z bardziej udanych realizacji tego typu jest „Kamienica pod Żabami” w Bielsku-Białej przy pl. Wojska Polskiego 12, patrz: [10].

górných partii budynków. Popularne było stosowanie szczytów, zazwyczaj trójkątnych z wysuniętym na wypustach płatwi stolcowych okapem, często zaopatrzonych w pazdur z pionowo stojącą szpicą, dekorowaną snycersko. (rys. 4) Takie rozwiązania dachów, już nieco wcześniej, często spotykane były w mniejszych kamienicach usytuowanych na przedmieściach dużych miast czy w mniejszych ośrodkach miejskich. Dekoracjami pokrywano także końce płatwi lub krokwiny podtrzymujące kratownice. Ażurowe wzory wycinane były na konstrukcjach wypełniających fragmenty szczytów. Brzegi szczytów wykańczano dekoracyjnie wyciętymi wiatrownicami. Czasem górną część szczytu pokrywano odeskowaniem.



a. Bydgoszcz, ul. Cieszkowskiego 12



b. Poznań, ul. Matejki 44 – szczyt w trakcie remontu



c. Poznań, ul. Roosevelta 5

d. Bydgoszcz, ul. Cieszkowskiego 3

Rys. 5. Różne formy dekoracji „szkieletowych” szczytów i wieżyczek, (fot. autorki)

W większych ośrodkach ściany szczytów wznoszono w konstrukcji szkieletowej lub jej imitacji, z wykorzystaniem desek nałożonych na pełen mur, co pozwalało na osiągnięcie podobnego efektu estetycznego. Szczyty, w zależności od ich wielkości poprzecinane były słupami, regłami i krzyżulcami, tworząc niepowtarzalne wzory. Wśród nich znajdowały się proste kratownice z kwadratowymi lub prostokątnymi polami, gdzie czasem umieszczano dekoracje sztukatorską o formach secesyjnych.⁸ Inne dzielono krzyżulcami bądź pseudo krzyżulcami, co dawało różnorodne wzory jak na przykład stylizowane drzewka, krzyże św. Andrzeja, fale, łuki, stylizowane płomienie i serca. Pozwalało to na nadanie indywidualnego wizerunku kamienicom, wyróżnienie ich w ciągłej zabudowie pierzejowej. Zgodnie z modą na asymetrię i zróżnicowanie kompozycji fasad szkieletowe szczyty wieńczyły wykusze, ryzality, czasem facjatki oraz części budynków. Chętnie umieszczano je w narożnych wykuszach czy wieżyczkach. Często nakładano na przykład wykusze na ryzality, zwiększając w ten sposób światłocieńność i plastykę elewacji. Wielokondygnacyjne kamienice czynszowe z tego typu rozwiązaniami fasad można znaleźć w wielu polskich miastach, jak na przykład Łodzi, Poznaniu, Bydgoszczy, Gdańsku czy Wrocławiu.

Oprócz szczytów, konstrukcji szkieletowej używano również w innych, górnych partiach budynków, często w ścianach poddasza czy ostatniej kondygnacji mieszkalnej. Pięknie zachowane drewniane dekoracje częściej można spotkać na terenie Niemiec, gdzie tradycyjnie architektura o konstrukcji szkieletowej była bardzo popularna i bardziej zadbana w okresie powojennym. Do świetnych przykładów takich budynków wzniesionych

⁸ Niestety tego typu dekoracje zachowały się w niewielkim stopniu, znane są głównie ze starych fotografii czy w projektów kamienic.

w stylu secesji należy tak zwany Sonnenhaus w Coburgu, przy Alexandrinen straÙe 4. (rys. 7)



a. Grudziądz, ul. Kosynierów Gdyńskich 5



b. Bydgoszcz, ul. Cieszkowskiego 11



c. Łódź, ul. Piotrkowska 86



d. Bydgoszcz, ul. Gdańska 69

Rys. 6. Różne formy opracowania i dekoracji okien facjat i poddaszy, (fot. autorki)



Rys. 7. Coburg, „Sonnenhaus”, Alexandrinen straÙe 4, (fot. autorki)

Zastosowana tu konstrukcja szkieletowa ryzalitu falistymi liniami podkreśla wykroje okien I piętra i duże, okrągłe okno na III kondygnacji. Drewniane elementy stosowane były również do wykończenia różnego kształtu wieżyczek, jeszcze bardziej urozmaicających elewacje. W niektórych budynkach spotkać można było całe partie ostatniej kondygnacji lub poddasza wykonane w konstrukcji szkieletowej. Tu również posługiwano się dekoracyjnymi układami krzyżulców.



a. Bydgoszcz, ul. Królowej Jadwigi 4



b. Grudziądz, ul. Sienkiewicza 31

Rys. 8. Różne formy dekoracji snycerskich, (fot. autorki)

3.3. Wykończenia okien, balkonów i loggii

W kamienicach z przełomu XIX i XX wieku często stosowano drewniane wykończenia okien facjatek lub nawet okienek poddasza, na których umieszczano ciekawe dekoracje snycerskie. I tu znów występuje duża różnorodność wzorów. Od małych, odeskowanych szczytów ze skromną dekoracją, po rzeźbione w geometryczne wzory słupki ujmujące okna i wspierające daszki facjatek. (rys. 6) Świadczy to o ogromnej dbałości o szczegóły wśród ówczesnych budowniczych, detale te są przecież praktycznie niewidoczne z poziomu ulicy. Drewno stosowano również do wykonania balkonów i loggii. I te elementy architektoniczne wykonywane były według rozmaitych wzorów. Spotkać można było drewniane balustrady płycinowe, o misternej dekoracji snycerskiej (rys. 8) lub skonstruowane z prostych, wąskich desek, z wycinanymi na przykład koniczynkami.

Często balkony zaopatrzone były w zadaszenia wsparte na rzeźbionych, drewnianych słupach, z przewiązkami, toczonymi kulami, kostkami, przewężeniami itp. U góry konstrukcję daszku przysłaniano odeskowaniem lub łukami tworzącymi arkady, wzorem renesansowych, pałacowych krużganek. Te ostatnie często występowały w loggiach. Drewniane dekoracje rzadko „schodziły” niżej, do strefy przyziemia. Tu spotkane były drewniane, dwuspadowe daszki nad wejściami do budynków, wsparte na dekorowanych konsolkach lub kroksztynach, z odeskowanymi szczytami. Te, rzadkie już detale zapewne ulegały znacznym zniszczeniom i były usuwane podczas współcześnie przeprowadzanych remontów.



Rys. 9. Okno z dekoracyjnymi słupkami, Gdańsk Wrzeszcz, ul. Bohaterów Getta Warszawskiego 9, (fot. autorki).

Bardzo rzadko występującym elementem były rzeźbione słupki między oknami. (rys. 9) Występowały również w mniejszych, kilkurodzinnych domach. Rzeźbienia przybierały kunsztownie wykonane, plastyczne formy o motywach roślinnych, maszkaronów, czasem były zwieńczone stylizowanymi formami głowic w porządkach starożytnych.

3.4. Werandy

Odrębnym elementem mającym wpływ na wygląd elewacji frontowych, a występującym tylko w nielicznych miastach były kilkukondygnacyjne werandy, zajmujące znaczną część fasady. Werandy takie pojawiały się w niewielkich i kameralnych, wolnostojących kamienicach Trójmiasta, np. w Sopocie czy Gdańsku Wrzeszczu i Oliwie. (rys. 10 i 11) Kilkuosiove i kilkukondygnacyjne, drewniane konstrukcje były mocno przeszklone, zazwyczaj szkłem o zróżnicowanej fakturze i kolorach, które niestety bardzo rzadko dotrwało do naszych czasów. I tu używano dekoracji snycerskiej, najczęściej w pasie płycin podokiennych. W skromniejszych realizacjach w umieszczano tam drewniane nakładki, nawiązujące do architektury murowanej. W bardziej ozdobnych stosowano opracowanie snycerskie, wycinając pasy ażurowych wzorów o różnych formach. Prawdziwym „zagłębiem” tak dekorowanych werand jest gdańska Oliwa. Dodatkowo snycerską dekorację umieszczano w szczytach i na pазdurach.



Rys. 10. Werandy w fasadzie kamienicy przy ul. Sobótki 5 w Gdańsku Wrzeszczu, (fot. autorki)

4. Podsumowanie

Drewniane elementy konstrukcyjne i dekoracyjne, snycerskie dekoracje bardzo wzbogacały fasady kamienic czynszowych. Nadawały im indywidualnego charakteru, wzbogacały fakturę, plastykę i walory światłocieniowe elewacji. Niestety wiele z tych elementów „zginęło” z powodu braku renowacji czy przy nieprawidłowo wykonywanych remontach, kiedy to często łatwiej i taniej było je po prostu usunąć niż poddać renowacji. Dlatego też coraz rzadziej zdobią kamienice polskich miast. A szkoda, ponieważ mają bardzo duże walory estetyczne i świadczą o szerokich korzeniach architektury miejskiej oraz o możliwościach architektów i wszechstronnych zainteresowaniach inwestorów. Optymistycznie nastroja fakt coraz częstszych w ostatnich latach, prawidłowo wykonywanych remontów konserwatorskich w trakcie, których odtwarzane są zniszczone elementy, a fasadom nadawane pierwotne formy.



Rys. 11. Fragment dekoracji werandy, Gdańsk Oliwa, ul. Polanki 128, (fot. autorki)

Literatura

1. Krakowski P. *Fasada dziewiętnastowieczna. Ze studiów nad architekturą wieku XIX*, „Zeszyty naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego”, Prace z Historii Sztuki, z. 16, 1981, s. 55-94.
2. Krassowski W. *Ascetyczna ozdoba w architekturze 2 poł. XIX wieku*, [w:] *Sztuka 2 połowy XIX w.* Materiały z sesji SHS, Łódź 1971, Warszawa 1973, s. 143.
3. Fijałkowska I. *Detale w grudziądzkiej architekturze* (PDF), <http://www.it.gdz.pl/> [dostęp: 17.03.2017].
4. Muthesius H. *Das englische Haus: Entwicklung, Bedingungen, Anlage, Aufbau, Einrichtung und Innenraum*. Bd. 1–3. 1., Berlin 1904-1905.
5. Posener J. *Berlin auf dem Wege zu einer neuen Architektur. Das Zeitalter Wilhelms II*, München, 1979, s. 127-151.

6. Tomaszewicz A. *Wrocławski dom czynszowy 1808-1918*, Wrocław 2003, s. 115-116.
7. Skuratowicz J. *Architektura Poznania 1890-1918*, Poznań 1991, s. 174-177.
8. Bręczewska-Kulesza D. *Najpiękniejsze, bydgoskie kamienice czynszowe*, Bydgoszcz 2014, s. 89.
9. Lewicki J. *Między tradycją a nowoczesnością. Architektura Lwowa lat 1893-1918*, Warszawa 2005, s. 209-213, 231.
10. Janoszek E. *Perły architektury Bielska-Białej. Budowle kunsztownie cyzelowane*, (PDF), www.bielsko-biala.pl, [dostęp: 17.03.2017].

Drewniane elementy dekoracyjne w fasadach kamienic czynszowych z końca XIX i początku XX stulecia

Drewno odgrywało istotną rolę w artystycznym opracowaniu fasad kamienic czynszowych z końca XIX i początku XX wieku. Z drewna formowane były różne elementy architektoniczne i dekoracyjne. Nie zawsze jednak doceniano walory estetyczne tego materiału. W zależności od mody panującej w danym okresie, drewno jako materiał było „ukrywane” i „udawało” inny surowiec, bądź było uwypuklane i nadawało charakter elewacji. Przeprowadzona analiza stylistyczna pozwoliła na wyodrębnienie grup domów dochodowych, w których dekoracje drewniane miały wyjątkowe znaczenie. Po etapie „ukrywania” drewna w okresie historyzmu, nastąpił etap uwypuklania go, zwłaszcza w formie konstrukcji szkieletowych i dekoracji snycerskich. Elementy drewniane popularne były zwłaszcza w różnych odmianach historyzmu malowniczego, secesji i tak zwanych „stylach narodowych”. Występowały częściej w regionach i krajach, w których tradycyjnie występowała, miejska architektura drewniana lub szkieletowa.

Drewniane elementy konstrukcyjne, snycerskie dekoracje bardzo wzbogacały fasady kamienic czynszowych. Nadawały im indywidualnego charakteru, wzbogacały fakturę elewacji, plastykę i walory światłocieniowe. Niestety wiele z nich „zginęło” z powodu braku renowacji czy przy nieprawidłowo wykonywanych remontach, kiedy to łatwiej i taniej było je po prostu usunąć. Dlatego też wszelkie istniejące drewniane dekoracje i elementy czy części budynków należy zachowywać, inwentaryzować i zwracać uwagę na ich znaczenie.

Słowa kluczowe: kamienica czynszowa, architektura XIX i początku XX wieku, drewniane dekoracje

Wooden decorative elements of the tenement houses ‘façades from the end of the 19th and beginning of the 20th century

Wood played an important role in the artistic design of the tenement houses ‘façades from the end of the 19th and the beginning of the 20th century. Different architectural and decorative elements were sculpted from wood. But not always, one appreciated aesthetic of this material. Wood as a material, depending on the fashion prevailing at a given period, was either "hidden" and "imitated" other raw material or was showed clearly and gave the character of the façade. Stylistic analysis has allowed to extract the groups of tenement houses, in which wooden decorations were of exceptional importance. After the stage of concealing wood in the period of Historicism, the step of highlighting it followed, especially in the form of a wooden frame construction and wood carving decoration. Wooden parts were popular especially in different varieties of Picturesque Architecture, art nouveau and the so-called national styles. They were more frequent in the regions and countries in which traditional wooden or frame construction architecture existed in the cities.

Wooden structural elements, wood-carving decorations enriched the façades of the tenement houses very much. These details gave them an individual character, they enriched texture of the façade and chiaroscuro effects. Unfortunately, many of these elements were lost due to the lack of restoration or with repairs done incorrectly, when their removal them was easier and cheaper. Therefore, any existing wooden decorations and items or parts of buildings should be preserved and inventory actions should be conducted paying attention to their importance.

Key words: tenement house, architecture from the end of the 19th and the beginning of the 20th century, wooden decoration

Badania wytrzymałościowe jesionu stosowanego do wykończeń pod kątem wykorzystania na elementy konstrukcyjne

1. Wprowadzenie

Drewno jako materiał budowlany znane jest od najdawniejszych czasów. Lasy naturalne i składnice drewniane materiału budowlanego występowały i dotychczas występują z niewielkimi wyjątkami pod wszystkimi szerokościami geograficznymi. Począwszy od zamierzchłych czasów drewno używane było najpierw do budowy prymitywnych szałasów, lepianek i szop, następnie – w miarę organizowania się społeczeństwa – do budowy całkowitych budowli drewnianych pojedynczych, bądź też tworzących całe grody, czy osady. W budowlach takich wszystko, począwszy od fundamentów nieraz, a skończywszy na pokryciu dachowym, było drewniane [1].

Drewno – ten najdawniej znany i używany materiał budowlany, doskonały pod względem konstrukcyjnym i zdrowotnym – znajduje nie tylko w świecie, lecz i w Polsce coraz większe zastosowanie, szczególnie w budownictwie mieszkaniowym i użyteczności publicznej. Rozwój budownictwa drewnianego obserwuje się zwłaszcza w Kanadzie i Stanach Zjednoczonych, gdzie konstrukcje drewniane uważa się za lekkie, ciepłe i tanie, w przeciwieństwie do betonowych, które są ciężkie, zimne i drogie [2].

Drewno zatem należy do najstarszych materiałów budowlanych, a jego walory konstrukcyjne oraz szereg właściwości fizycznych i chemicznych stanowią, że tworzywo to nie ma sobie równych. Ten cenny surowiec przez obróbkę nie tworzy materiałów odpadowych. Trociny, kora, gałęzie i struzyny są surowcem do produkcji płyt budowlanych [3].

Tradycja budownictwa drewnianego w Polsce niezmiennie trwa od czasów pradawnych do współczesnych, a obfitość lasów na terenie Polski i powszechna dostępność drewna sprawiły, że materiał ten przez wieki był relatywnie tani [4]. W drewnianych budynkach we wsiach i miasteczkach osiągnięto najwyższy poziom rozwiązań konstrukcyjnych i plastycznych [5].

¹ hzelazny@wp.eu, Instytut Budownictwa, Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, www.info.ath.bielsko.pl

² bednarz.bartek93@gmail.com, dyplomant w Instytucie Budownictwa, Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, www.info.ath.bielsko.pl

Drewno ma dużo cennych zalet, jest lekkie, a przy tym osiąga znaczną wytrzymałość [6]. Ma dobre właściwości ciepłochronne [5], tłumi i pochłania dźwięki [6], cechuje się korzystnym dla człowieka mikroklimatem [7]. Ważną zaletą drewna jest jego odporność na działanie wpływów chemicznych, np. kwasów (zwłaszcza drewno strugane), dymu i gazów [8]. Ponadto daje się łatwo transportować [9] (przy małym prawdopodobieństwie uszkodzeń podczas tego procesu [10]) oraz obrabiać prostymi narzędziami [5]. Bez trudu można je ciąć, piłować, łupać, gładzić i polerować [6]. Można je łączyć przy użyciu gwoździ, kołków, śrub, kleju i zaciosów ciesielskich [11]. Dodatkowo odznacza się łatwością demontażu i ponownego montażu [8], a materiał przy rozbiórce mało się niszczy [10]. Oprócz tych wielu pozytywnych cech drewno charakteryzuje się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi (na ściskanie, zginanie i rozciąganie) oraz wyjątkowo korzystnym wskaźnikiem wytrzymałości na obciążenia własne [12]. Kolejną zaletą tego surowca jest natychmiastowa zdolność do przyjęcia maksymalnego obciążenia [13]. Poza tym konstrukcje drewniane mogą być montowane niezależnie od pór roku bez specjalnych zabiegów [3].

Drewno jest jednak materiałem organicznym o budowie komórkowej [14]. Z tego względu jest niejednorodne, ma zmienne cechy fizyczne i mechaniczne, w zależności od rozpatrywanego miejsca i kierunku. Uwidacznia się to przy porównaniu np. wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien (100 MN/m^2) i rozciąganie w poprzek włókien, które jest 30 razy mniejsze [3]. Równie zmienną cechą jest trwałość konstrukcji z tego tworzywa, która zależy od gatunku użytego drewna i warunków jego eksploatacji. Przeciętnie ocenia się ją na ponad 50 lat i w znacznym stopniu jest ona uzależniona od tego, czy drewno było właściwie wysuszone oraz zabezpieczone przed insektami [15].

Ponieważ każdy z gatunków drzew charakteryzuje się innymi właściwościami [16], z wielu różnorodnych gatunków, które występują na Ziemi, tylko niektóre są używane dla celów budowlanych [17]. Najszerze zastosowanie w budownictwie mają drzewa iglaste: sosna, świerk i jodła [18] oraz modrzew [3]. Do robót podziemnych, w warunkach stałej wilgoci, używa się drewna dębowego i olchowego [19]. Drewno jest materiałem budowlanym stosowanym w konstrukcjach ściennych i dachowych, do produkcji okien i drzwi, układania podłóg, wykańczania ścian różnego rodzaju okładzinami oraz do wykonywania deskowań konstrukcji betonowych [20]. W szczególności na elementy konstrukcyjne stosuje się przeważnie drewno miękkie drzew iglastych, jak: sosna, jodła, świerk, i drewno twarde drzew liściastych, jak dąb lub akacja [21]. Do boazerii można zastosować drewno jesionowe [22, 23].

Jesion (*Fraxinus excelsior*), który jest szczególnie przydatny do wykańczania wnętrz, a zwłaszcza tam, gdzie zależy na osiągnięciu wysokich

walorów estetycznych [6], charakteryzuje się cytrynowo białą barwą twardzieli u drzew młodych, w późniejszym wieku brunatno żółtą [23]. Twardziel nieznacznie odróżnia się od bielu – widoczne są wyraźne słoje roczne [6]. Drewno jest dość ciężkie, wytrzymałe, elastyczne, dobrze się obrabia i poleruje [23]. Jest ponadto twarde i trudno łupliwe [6]. Świeże drewno pod wpływem parzenia daje się łatwo wyginać [23]. Dobrze się suszy i nie paczy [6]. W warunkach suchych drewno jesionu jest trwałe, natomiast przy wilgotnych i zmiennych wpływach atmosferycznych ulega dość szybko zniszczeniu [23]. Spośród zalet można jeszcze to podkreślić, że łatwo się obrabia, poleruje i polituruje, a po wypolerowaniu uzyskuje piękny połysk, dając bogaty i ozdobny rysunek [6]. Ocena przydatności materiału do określonego zastosowania wymaga jednak dokładnej znajomości jego właściwości mechanicznych [24].

Celem pracy było sprawdzenie cech mechanicznych drewna jesionowego pod kątem możliwości wykorzystania tego gatunku, oprócz elementów wykończeniowych, także na elementy nośne.

2. Materiał i metodyka

Ocenę cech wytrzymałościowych drewna jesionowego o wilgotności równowagowej wykonano w specjalistycznym laboratorium Bielskiego Centrum Kształcenia Ustawicznego i Praktycznego na maszynie Zwick Roell (rysunek 1) oraz w uczelnianym laboratorium materiałów budowlanych w Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej na maszynie Tecnotest (rysunek 2). Wszystkie próbki miały normowe kształty i wymiary, w zależności od rodzaju badań. W celu otrzymania pełnej charakterystyki mechanicznej przeprowadzono pomiary wytrzymałości na zginanie, na rozciąganie wzdłuż włókien, na rozciąganie w poprzek włókien, na ściskanie wzdłuż włókien i na ścinanie w poprzek włókien. W każdym oznaczeniu wytrzymałości doraźnej jako wartość miarodajną uznawano średnią arytmetyczną z trzech powtórzeń.

Przebieg pomiarów wytrzymałościowych na maszynie Zwick Roell zobrazowano na wykresach z zaznaczonymi wartościami średnimi z obciążeń niszczących i odkształceń zanotowanych dla kolejnych powtórzeń, natomiast dla oznaczeń wytrzymałości jesionu na ściskanie, wykonanych w laboratorium uczelnianym z możliwością przyłożenia do próbki siły o większej wartości, wykres sporządzono dla jednego pomiaru i ujęto na nim zmianę siły niszczącej w czasie.

Wytrzymałość doraźną na zginanie wyznaczono z zależności

$$f_{m,D} = 3F_{\max} \cdot l_d \cdot (2b \cdot h^2)^{-1} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

gdzie: $F_{\max}$ – siła niszcząca [N], l_d – rozstaw podpór [mm], b – szerokość próbki [mm], h – wysokość próbki [mm]. Wytrzymałość doraźną na rozciąganie wzdłuż włókien, której pomiar zilustrowano na rysunku 3, obliczono ze wzoru

$$f_{r,0,D} = F_{\max} \cdot A^{-1} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

gdzie: $F_{\max}$ – siła niszcząca [N], A – powierzchnia przekroju zrywanej części próbki [mm²]. Wytrzymałość doraźną na rozciąganie w poprzek włókien określono z pomocą zależności

$$f_{r,90,D} = F_{\max} \cdot A^{-1} \text{ [MPa]} \quad (3)$$

gdzie: $F_{\max}$ – siła niszcząca [N], A – powierzchnia przekroju zrywanej części próbki [mm²]. Wytrzymałość doraźną na ściskanie wzdłuż włókien określono ze wzoru

$$f_{c,0,D} = F_{\max} \cdot A^{-1} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

gdzie: $F_{\max}$ – siła niszcząca [N], A – powierzchnia przekroju ściskanej próbki [mm²]. Wytrzymałość doraźną na ścinanie w poprzek włókien obliczono następująco

$$f_{v,90,D} = F_{\max} \cdot (a \cdot b)^{-1} \text{ [MPa]} \quad (5)$$

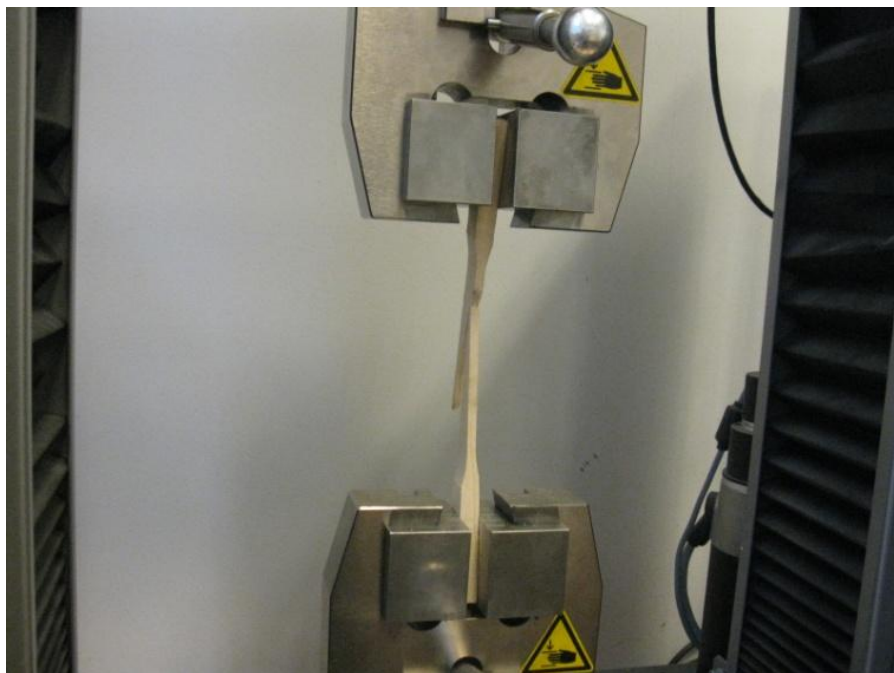
gdzie: $F_{\max}$ – siła niszcząca [N], a – wymiar próbki w kierunku promieniowym [mm], b – wymiar próbki w kierunku stycznym [mm].



Rysunek 1. Stanowisko do badań wytrzymałościowych próbek jesionu na maszynie Zwick Roell w specjalistycznym laboratorium Bielskiego Centrum Kształcenia Ustawicznego i Praktycznego



Rysunek 2. Maszyna Tecnotest wykorzystana w badaniu próbek jesionowych do oceny ich wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien

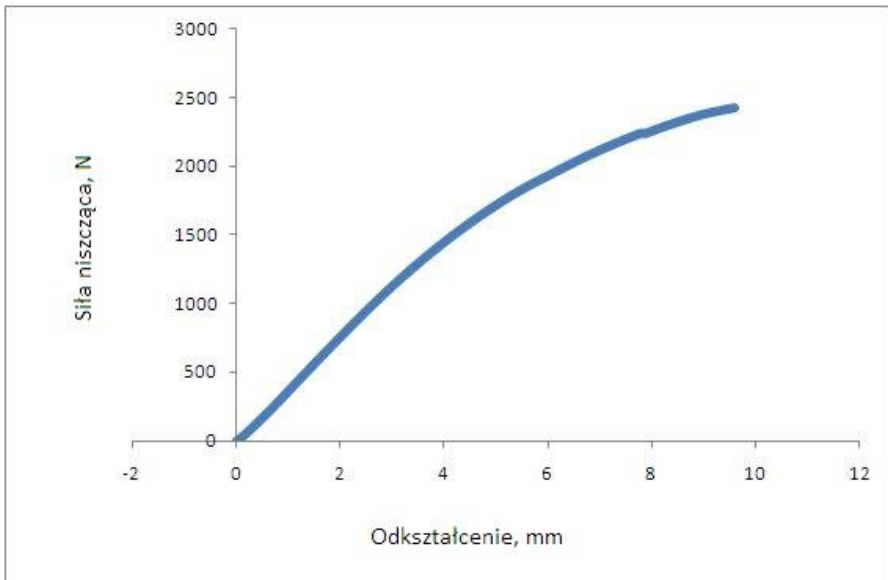


Rysunek 3. Rozciąganie wzdłuż włókien jesionowej próbki o normowych wymiarach i kształcie

3. Wyniki i ich omówienie

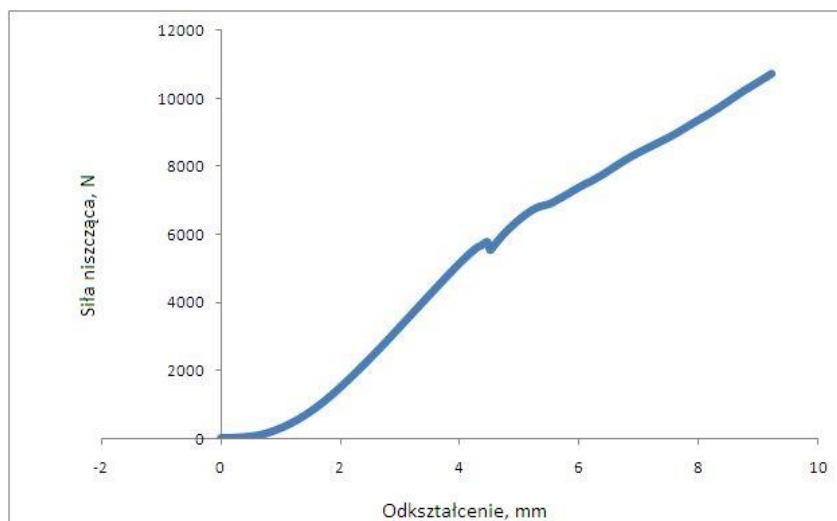
Na wykresie 1 zamieszczono kształtowanie się średniej wartości siły niszczącej i odkształcenia dla próbek jesionu poddanych zginaniu. Średnia wytrzymałość doraźna wyniosła aż 109,35 MPa i znacząco odbiegała od klasy D70, dla której – jak liczba w symbolu to wskazuje – wytrzymałość charakterystyczna na zginanie jest podawana na 70 MPa. Jednak bezpośrednio nie można porównywać tych dwóch liczb, ponieważ na podstawie licznych pomiarów przeprowadzonych w różnych krajach wyraźnie stwierdzono, że wartość obciążenia trwałego, przy którym następuje zniszczenie próbki drewna, jest znacznie mniejsza niż obciążenia doraźnego, którego wartość zależna jest od szybkości obciążenia [10]. Można przyjąć w oparciu o badania różnych autorów, że długotrwała wytrzymałość drewna stanowi 0,5-0,6 wytrzymałości doraźnej, określanej na podstawie badań próbek znormalizowanych [10, 25]. Gdyby zatem przyjąć, że wytrzymałość charakterystyczna to 50 do 60 procent z otrzymanej w doświadczeniu wartości doraźnej, należałoby oszacować dla jesionu wytrzymałość charakterystyczną w zakresie 54,68-65,61 MPa, co odpowiada normowym klasom dla drewna liściastego między D50 a D70. Z tego względu otrzymane wyniki upoważniają do przyjęcia stanowiska o wystar-

czającej wytrzymałości jesionu na zginanie, aby można go było zastosować w elementach belkowych, na przykład w nagich stropach z widoczną od spodu konstrukcją nośną, która może harmonizować wykończeniem powierzchni z wykonanymi z jesionu elementami okładzinowymi we wnętrzu. W pracy [26], w której powołano się na dwa inne źródła, wytrzymałość na zginanie próbki tego gatunku o wilgotności 15% określono na 99 MPa, a w innym doniesieniu [6] na 100 MPa, czyli w pobliżu wartości uzyskanych na podstawie przeprowadzonych badań.



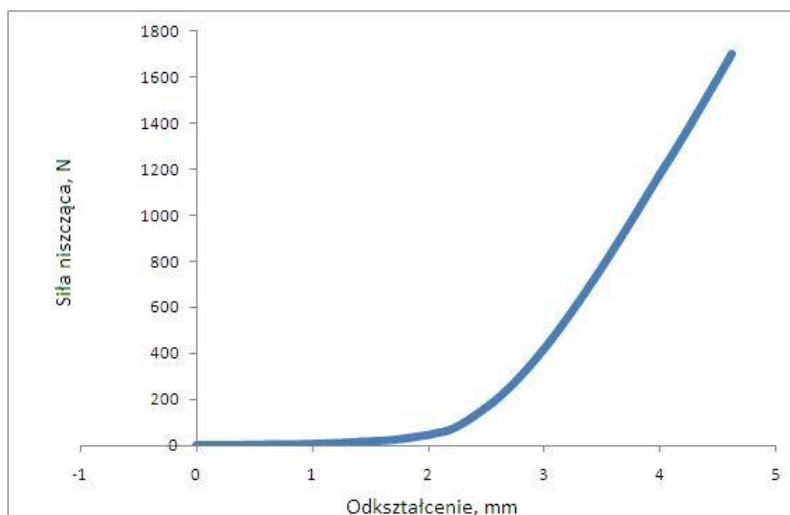
Wykres 1. Kształtowanie się średnich wartości siły zginającej próbki jesionowej w odniesieniu do odkształceń badanego elementu

Na wykresie 2 przedstawiono wzajemną zależność siły niszczącej i odkształcenia w ocenie wytrzymałości jesionu na rozciąganie wzdłuż włókien. W pomiarach tych średnia wytrzymałość doraźna wyniosła aż 133,75 MPa i ponad trzykrotnie przekraczała charakterystyczną wartość normową dla najwyższej klasy wytrzymałościowej, czyli 42 MPa. W literaturze przedmiotowej dla jesionu podaje się, że ten rodzaj wytrzymałości to poziom 102 MPa [6] i 110,9 MPa [27]. Zatem wartość uzyskana w oznaczeniach wykonanych w laboratorium należącym do Bielskiego Centrum Kształcenia Ustawicznego i Praktycznego jest bardzo bliska wynikom będącym rezultatami innych badań.



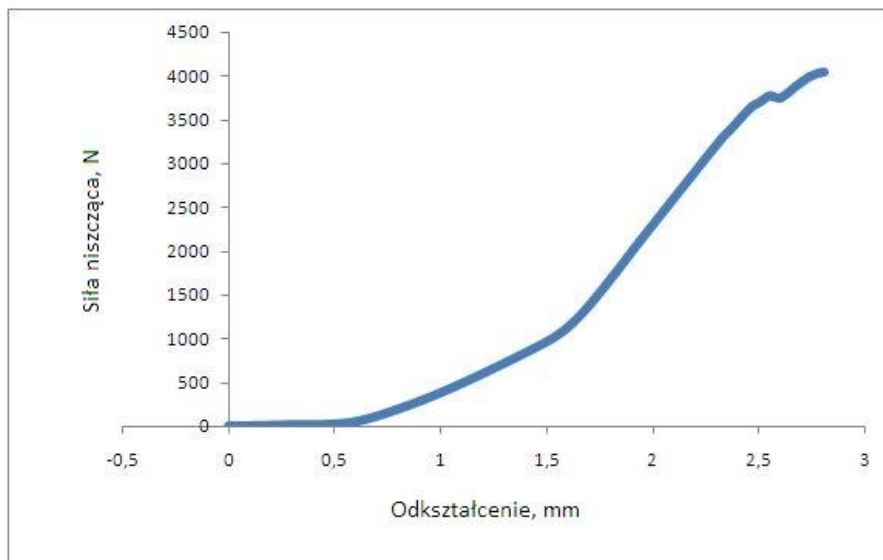
Wykres 2. Kształtowanie się średnich wartości siły rozciągającej próbki jesionowe wzdłuż włókien – w odniesieniu do odkształceń badanego elementu

Na wykresie 3 zobrazowano efekty pomiarów wytrzymałości próbek jesionowych na rozciąganie w poprzek włókien. W tym przypadku otrzymano wytrzymałość doraźną równą 3,70 MPa, czyli także znacząco przewyższającą wartość 0,9 MPa, przyjmowaną do analizy inżynierskiej dla liściastego drewna klasy D70.



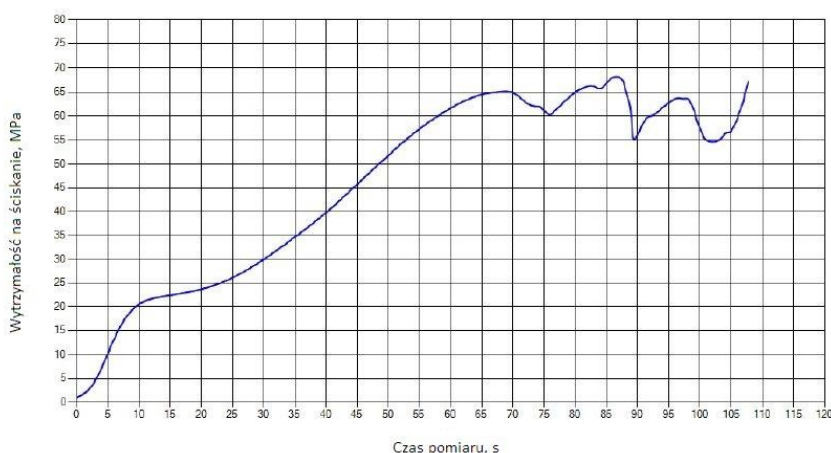
Wykres 3. Kształtowanie się średnich wartości siły rozciągającej próbki jesionowe w poprzek włókien – w odniesieniu do odkształceń badanego elementu

Wykres 4 to efekty badań wytrzymałości doraźnej próbek na ścinanie w poprzek włókien. Wartość tej cechy mechanicznej jesionu ustalona laboratoryjnie wyniosła 6,88 MPa i także była większa od wytrzymałości charakterystycznej podanej w normie dla najwyższej klasy, przyjmowanej do obliczeń przy wymiarowaniu drewna litego liściastego, czyli 6 MPa.



Wykres 4. Kształtowanie się średnich wartości siły ścinającej próbki jesionowe – w odniesieniu do odkształceń badanego elementu

Na wykresie 5 przedstawiono czasowe zmiany siły niszczącej dla jednej z próbek w pomiarach wytrzymałości doraźnej jesionu na ściskanie wzdłuż włókien. Średnia wartość tej wytrzymałości doraźnej wyniosła aż 68,43 MPa i porównaniu do najwyższej normowej klasy K70 dwukrotnie przekraczała wartość charakterystyczną 34 MPa. Ponadto była także znacząco większa od wytrzymałości przytaczanej przez innych badaczy, to jest 47 MPa [6, 27]. Stąd można stwierdzić pełną przydatność jesionu do zastosowania tego materiału na słupy konstrukcyjne, na przykład w celu skomponowania ich z okładzinami wykonanymi z tego gatunku drewna, posadzkami i stolarką budowlaną.



Wykres 5. Kształtowanie się siły ściskającej wzdłuż włókien, działającej na jedną z próbek jesionowych – w odniesieniu do czasu trwania badania

4. Stwierdzenia i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące:

A. Stwierdzenia:

1. Średnie wartości wytrzymałości doraźnej jesionu wyniosły: na zginanie 109,35 MPa, na rozciąganie wzdłuż włókien 133,75 MPa, na rozciąganie w poprzek włókien 3,70 MPa, na ściskanie 68,43 MPa, a na ścinanie 6,88 MPa.
2. Przeprowadzone doświadczenia na próbkach jesionowych wykazały o wiele większą wytrzymałość mechaniczną doraźną tego gatunku drewna od największej wytrzymałości charakterystycznej, która została przyjęta w normie dla drewna litego liściastego, oznaczonej symbolem K70.
3. Uzyskane wytrzymałości doraźne badanego gatunku drewna kształtowały się także na poziomie wyższym niż podawane w innych doniesieniach naukowych.

B. Wnioski:

1. Oceniając efekty wykonanych badań można wydać opinię o możliwościach zastosowania jesionu nie tylko do elementów wykończeniowych w budownictwie czy stolarki, ale także na elementy nośne.
2. Dla większego uogólnienia uzyskanych wyników należałoby przeprowadzić podobne pomiary analizowanych cech mechanicznych tego liściastego gatunku na większej ilości próbek.

Literatura

1. Gołębiowski Z. *Konstrukcje drewniane*, PWN, Warszawa 1975.
2. Pracht K. *Budownictwo drewniane*, Arkady, Warszawa 1991.
3. Lenard J. *Budownictwo wiejskie*, SGGW, Warszawa 1993.
4. Kłosek Kamila (red.). *Architektura drewniana*, CARTA BLANCA Sp. z o.o., Olsztyn 2010.
5. Bogusz W. *Projektowanie architektoniczne i budownictwo regionalne*, WSiP, Warszawa 1998.
6. Wojciechowski L. *Materiały budowlane w budownictwie indywidualnym*, Arkady, Warszawa 1988.
7. Matyskiewicz J. *Konstrukcja budynków w szkielecie drewnianym*, APIB, Gdańsk 1995.
8. Kral L. *Elementy budownictwa przemysłowego*. Tom I Budynki przemysłowe, PWN, Warszawa 1984.
9. Mirski Z. *Kształtowanie wnętrz produkcyjnych*, Arkady, Warszawa 1986.
10. Dziarnowski Z., Michniewicz W. *Konstrukcje z drewna i materiałów drewnopochodnych*, Arkady, Warszawa 1974.
11. Kozarski P. *Konserwacja domu*, Polskie Stowarzyszenie Mykologów Budownictwa, Wrocław 1997.
12. Bryl B., Kołodziej J., Pelc K. *Mechanizacja produkcji zwierzęcej z elementami budownictwa inwentarskiego*, PWRiL, Warszawa 1986.
13. Pawłowski P. *Budownictwo ogólne*, PWN, Warszawa 1983.
14. Poćienik J. *Drewno, materiały drewnopochodne i wyroby budowlane z drewna*. [w:] Praca zbiorowa: *Poradnik Inżyniera i Technika budowlanego*, T. 2 Materiały i wyroby budowlane, Arkady, Warszawa 1982.
15. Duran S. C. *Ekologiczny dom. Jak go zbudować i zdrowo w nim mieszkać*, Arkady, Warszawa 2012.
16. Popek M., Wapińska B. *Podstawy Budownictwa*, WSiP, Warszawa 2009.
17. Neuhaus H. *Lehrbuch des Ingenierholzbaus*, B. G. Teubner, Stuttgart/Leipzig 1994.
18. Sieczkowski J., Nejman T. *Ustroje budowlane*, Politechnika Warszawska, Warszawa 2002.
19. Praca zbiorowa. *Poradnik budownictwa wiejskiego*, PWRiL, Warszawa 1956.
20. Markiewicz P. *Budownictwo dla architektów*, „ARCHI-PLUS”, Kraków 2006.
21. Mischke D. *Konstrukcje drewniane*, PWN, Łódź – Kraków 1959.
22. Szymański E., Kołakowski J. *Materiały budowlane z technologią betonu*, PWN, Warszawa 1986.
23. Żenczykowski W. *Budownictwo ogólne*. T. 1 Materiały i wyroby budowlane, Arkady, Warszawa 1992.
24. Prowans S. *Materialoznawstwo*, PWN, Warszawa – Poznań 1980.
25. Lis Z., Rapp P. *Drewno i materiały drewnopochodne*. [w:] Stefańczyk B. (red.). *Budownictwo ogólne* T. 1 Materiały i wyroby budowlane, Arkady, Warszawa 2007.
26. Lis A., Lis P. *Charakterystyka wytrzymałości drewna jako jego podstawowej właściwości mechanicznej*, Zesz. Nauk. Politechniki Częstochowskiej 169 – seria Budownictwo 10, Częstochowa 2013, s. 77-86.
27. Hoadley R.B. *Understanding Wood. Acroftsman's Quide to Wood Technology*, The Taunton Press, Newtown Connecticut 1980.

Badania wytrzymałościowe jesionu stosowanego do wykończeń pod kątem wykorzystania na elementy konstrukcyjne

Jesion stosowany jest do wyrobu stolarki budowlanej, boazerii, posadzek itd. W przypadku aranżacji wnętrza pod kątem uzyskania powierzchni odznaczających się jednolitym rysunkiem słoju, barwą, odcieniem i połyskiem drewna można by widoczne ustroje konstrukcyjne wykonać z tego samego gatunku, co elementy wykończeniowe. Celem pracy było sprawdzenie cech mechanicznych jesionu pod kątem możliwości wykorzystania go także do elementów konstrukcyjnych. Badania wytrzymałościowe wykonano w dwóch specjalistycznym laboratoriach. Wytrzymałość doraźna na ściskanie wzdłuż włókien wyniosła aż 68,43 MPa i w porównaniu do ustalonych w normie klas wytrzymałości charakterystycznych dla drewna konstrukcyjnego liściastego znacznie przekraczała najwyższą wartość przypisaną do klasy D70, to jest 34 MPa. W przypadku zginania również uzyskano olbrzymią wytrzymałość doraźną 109,35 MPa, znacząco odbiegającą od klasy D70. W pomiarach rozciągania wzdłuż włókien wytrzymałość doraźna była równa 133,75 MPa i ponad trzykrotnie przekraczała wartość normową dla najwyższej klasy wytrzymałościowej dla drewna liściastego, czyli 42 MPa. W analizie wytrzymałości doraźnej jesionu na rozciąganie w poprzek włókien otrzymano wynik 3,70 MPa, który także przewyższał wartość przyjmowaną do analizy inżynierskiej dla drewna klasy D70. Z kolei na ścinanie wytrzymałość ustalona laboratoryjnie wyniosła 6,88 MPa i także była większa od najwyższej klasy podanej w normie dla drewna litego liściastego. Ponadto obliczone na podstawie pomiarów wytrzymałości doraźne kształtowały się także o wiele korzystniej niż normowe wartości charakterystyczne podawane dla drewna litego gatunków iglastych. Stąd należałoby stwierdzić – przynajmniej na etapie ograniczonych ilościowo badań instrumentalnych – pełną przydatność jesionu do wykorzystania tego gatunku również do ustrojów nośnych.

Słowa kluczowe: drewno jesionowe, wytrzymałość, element konstrukcyjny

Strength tests of ash, used for finishing, to determine usefulness for constructions

Ash is used for the manufacture of joinery, paneling, flooring. In case of interior design to obtain surface with uniform sketch, color, hue and gloss of wood could apply the ash for visible components of construction. The aim of this study was check the strength characteristics of ash to define its usefulness for constructions. Endurance tests were performed in two specialist laboratories. Compression strength along the fibers has reached equal to 68,43 MPa, compared to the normative classes of strength for constructional hardwood, significantly exceeded the highest class - D70 of strength 34 MPa. In bending test was obtained huge strength equal to 109,35 MPa clearly bigger than normative. When stretching along the fibers ad-hoc endurance has reached 133,75 MPa and thrice surpassed normative value for the highest class of hardwood strength, i.e. 42 MPa. In ad-hoc strength analysis of stretching across the fibers received result 3,70 MPa which surpassed too D70 class. On shear across the fibers was obtained strength equal to 6,88 MPa. It also surpassed the highest normative value. Received values of strength were higher than values from European Standards. Based on instrumental researches, limited in quantity, could to state usefulness of ash wood for structural elements.

Keywords: ash wood, strength, structural element

Przestrzenne struktury pneumatyczne i możliwość ich wykorzystania w systemach awaryjnego budownictwa mieszkaniowego

1. Omówienie tematu i celu pracy

W niniejszym opracowaniu podjęto badania i opracowanie teoretyczne wytrzymałości i sztywności płaskich elementów pneumatycznych do zastosowania w lekkich konstrukcjach obiektów mieszkalnych, pozwalających na szybki ich montaż. Takie elementy pneumatyczne, stanowiąc elementy nośne tych konstrukcji wymagają opracowania metody obliczeń oraz badań doświadczalnych pozwalających na ocenę ich nośności i wytrzymałości. Otrzymane teoretycznie i doświadczalnie parametry tych elementów pozwolą na opracowanie konfiguracji przestrzennych struktur pneumatycznych. Opracowano i wykonano:

- teoretyczną ocenę nośności i sztywności wybranych elementów pneumatycznych w zależności od ich wymiarów, ciśnienia wewnętrznego, warunków zamocowania i podparcia,

- weryfikację doświadczalną otrzymanych wyników.

W następnym etapie opracowania przewiduje się wykonanie prototypu lub modelu przestrzennej struktury pneumatycznej jako modułu mieszkalnego, a w szczególności zaprojektowanie takiego systemu, na co złożą się:

- opracowanie podstaw teoretycznych pneumatycznych elementów konstrukcyjnych do projektowania przestrzennych modułów mieszkalnych,

- określenie warunków technicznych i technologicznych wykonania pneumatycznych elementów konstrukcyjnych,

- określenie sposobów ich mocowania, łączenia i podparcia do tworzenia z nich przestrzennych modułów mieszkalnych,

- określenie warunków i metod projektowania rozwiązań funkcji, formy i technicznych, w ramach Systemu Awaryjnego Budownictwa Mieszkaniowego (SABM); przykład takiego rozwiązania został opatentowany w polskim Urzędzie Patentowym pod nazwą *Obiekt mieszkalny* [3].

¹ witold.szymanski@pwr.edu.pl, Zakład Geometrii Wykreślnej, Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej

² Henryk Dąbrowski, Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej

Niniejsze opracowanie ma charakter rozpoznawczy i stanowi podstawę do zaprojektowania i wdrożenia oryginalnych rozwiązań technicznych, konstrukcyjnych i architektonicznych w zakresie zastosowań przestrzennych struktur pneumatycznych do systemu awaryjnego budownictwa mieszkaniowego SABM, który stanowi ostateczny cel pracy.

Podjęcie takiego problemu jest uzasadnione wieloma względami, głównie użytkowymi, bowiem wśród stosowanych systemów budowlanych nie ma takiego, który w maksymalnie krótkim czasie umożliwiłoby stworzenie warunków mieszkaniowych o maksymalnie wysokim standardzie, jakie może realizować planowany SABM, którego istotę stanowią płaskie pneumatyczne elementy konstrukcyjne, płyty pneumatyczne.

System został nazwany SABM ze względu na warunki, w jakich ma być stosowany. Ma on służyć do wznoszenia obiektów mieszkalnych na terenach pozbawionych przygotowania inżynierskiego infrastruktury technicznej, dla pracowników prowadzących tymczasowe prace budowlane, hydrotechniczne, geologiczne, badawcze w naturalnym środowisku. Może być wykorzystany w sezonowym budownictwie turystycznym i sportowym, a także w sytuacjach zniszczeń wojennych i klęsk żywiołowych.

SABM zostanie opracowany na bazie płyty pneumatycznej, podstawowego elementu konstrukcyjnego, z którego tworzone są moduły mieszkalne o dowolnej formie przestrzennej.

Realizacja SABM umożliwi natychmiastowe uzupełnienia w strukturze mieszkalnej w razie potrzeby, w terenie o dowolnej konfiguracji i warunkach gruntowo – wodnych ze względu na lekkość konstrukcji oraz możliwość stosowania różnorodnych środków transportu (lądowy, wodny, powietrzny). Gotowe elementy mieszkalne SABM będą przechowywane i transportowane bezpośrednio z wytwórni lub regionalnych, krajowych czy międzynarodowych banków mieszkań SABM.

Elementami ściennymi i stropowymi modułów mieszkalnych są płyty z materiału elastycznego, usztywnione od wewnątrz sprężonym powietrzem. Płyty łączone są ze sobą za pomocą elastycznych złączy, tworząc wieloprzestrzenne moduły mieszkalne o kształtach prostopadłościennych lub innych wielościennych uzasadnionych funkcjonalnie i konstrukcyjnie.

Wielkości mieszkań w SABM są zróżnicowane i stanowią wielokrotność przyjętego systemu modułowego. Każde z mieszkań wyposażone jest w przyłącza instalacyjne. Płyty ścienne i stropowe wykonane są z elastycznych powłok o odpowiedniej sprężystości, połączonych ze sobą systemem ciągów i warstwą materiału porowatego, który stanowi zbiornik sprężonego gazu.

Zaletami tego typu budownictwa są:

- duża elastyczność konstrukcyjna i funkcjonalna, umożliwiająca dostosowanie mieszkań do potrzeb rodziny i określonej grupy mieszkańców,
- szybki montaż i demontaż na dowolnym terenie,

- mały ciężar – masa obiektu w przeliczeniu na 1 m² powierzchni mieszkania jest 20-40 razy mniejsza od masy budynków realizowanych tradycyjnymi metodami,
- ze względu na małe gabaryty modułów mieszkalnych, przed ich napompowaniem (są one magazynowane i transportowane w formie pakietów) oraz mały ciężar, możliwe jest stosowanie wielu form transportu, w tym lotniczego w trudnodostępnym terenie,
- możliwość natychmiastowego użytkowania dzięki zastosowaniu systemu mebli pneumatycznych, folii lub szkła organicznego w otworach okiennych i wyposażeniu każdego mieszkania w blok kuchenny i łazienkowy, stanowiący z nim funkcjonalną i konstrukcyjną całość,
- maksymalne spełnienie zasady nienaruszalności naturalnego terenu i środowiska dzięki tymczasowemu charakterowi zabudowy i jej specyficznym cechom, do których należą: brak robót ziemnych i zminimalizowanie prac inżynierskich i przygotowawczych.

Realizacja rozwiązania SABM wymaga opracowania teoretycznego stateczności oraz własności konstrukcyjnych elementów pneumatycznych: płytowych (ściany i stropy) i liniowych (słupy i belki) oraz weryfikacji doświadczalnej otrzymanych zależności teoretycznych.

Łączy się z tym również określenie możliwości połączeń tych elementów, ich szczelność i ciepłochronność.

Otrzymane teoretycznie i doświadczalnie wielkości i parametry elementów pneumatycznych umożliwią ich projektowanie, jak też projektowanie przestrzennych struktur pneumatycznych.

Nadmienić trzeba, że w znanej literaturze przedmiotu brak podstaw teoretycznych do projektowania takich struktur, których zasadniczym elementem konstrukcyjnym jest płaski element pneumatyczny.

Znane jednak jest zastosowanie płyty pneumatycznej w wojskowym przemyśle lotniczym Stanów Zjednoczonych³ do skonstruowania załogowego samolotu, którego wszystkie elementy konstrukcyjne (płaty nośne, stateczniki, kadłub) wykonane są z płaskich pompowanych form – płyt pneumatycznych.

W budownictwie nie stosuje się dotychczas takich konstrukcji (wyłączając oczywiście liniowe, niepłaskie elementy, jak łuki, żebra itp.).

W oparciu o wyniki badań podane w dalszej części pracy należy stwierdzić, że badany element pneumatyczny – płyta przenosi znaczne wartości sił powodujących wyboczenie⁴, co dobrze rokuje zastosowaniu go na elementy nośne SABM.

Z pomiarów przy zginaniu wynika jego niewielka sztywność zginania w zakresie stosowanych w eksperymencie ciśnień wewnętrznych.

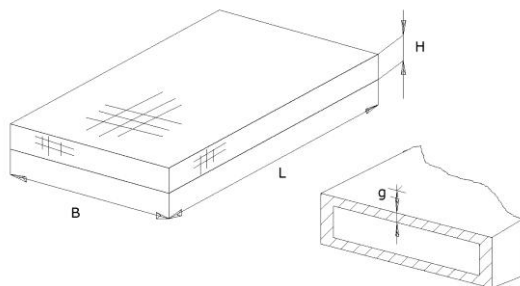
Z pomiarów przy zginaniu wynika, że sztywność zginania w zakresie stosowanych w eksperymencie ciśnień wewnętrznych jest niewielka. Oznacza to, że zwiększenie sztywności zginania elementu wymaga zwiększenia ciśnienia wewnętrznego lub przekroju.

Z powyższych stwierdzeń wynika następujący wniosek: zastosowanie płaskich pneumatycznych elementów konstrukcyjnych na ściany nośne oraz stropy modułów mieszkalnych SABM jest możliwe pod warunkiem właściwego doboru ciśnień oraz przekrojów poprzecznych tych elementów.

2. Pneumatyczne elementy konstrukcyjne

2.1. Podstawy teoretyczne obliczeń sztywności przy ściskaniu, zginaniu oraz wyboczeniu pneumatycznych elementów konstrukcyjnych

Obiektem rozważań jest element pneumatyczny o kształcie płyty poddany ciśnieniu wewnętrznemu. Kształt i wymiary elementu podano na rysunku 1. Materiałem, z którego wykonano element jest tkanina gumowana. Obecność tkaniny w powłoce elementu powoduje, że powłoka ma własności anizotropowe. Anizotropia ta sprowadza się do ortotropii, której kierunki główne pokrywają się z kierunkami ułożenia włókien. Kierunki anizotropii podano na rysunku 1.



Rysunek 1. Wymiary pneumatycznego elementu konstrukcyjnego oraz kierunki anizotropii płyty.

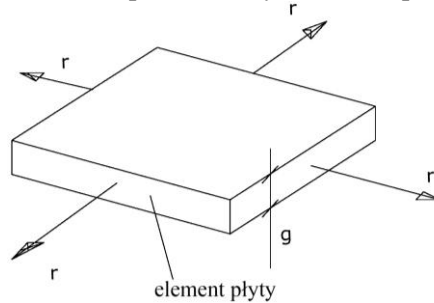
Źródło: opracowanie własne

W dalszych rozważaniach przy opracowaniu zależności teoretycznych dla płyty przyjęto następujące założenia upraszczające:

- materiał elementu pneumatycznego przenosi wyłącznie naprężenia rozciągające
- w płycie panuje płaski stan naprężeń, których kierunki główne pokrywają się z kierunkami osi symetrii elementu konstrukcyjnego
- pominięto anizotropię struktury materiału dwufazowego jakim jest guma umacniana tkaniną, przyjmując uśrednione na grubości powłoki g własności mechaniczne.

2.2. Określenie naprężeń w płycie poddanej ciśnieniu wewnętrznemu

W płycie panuje płaski stan naprężeń, których rozkład podano na rysunku 2.



Rysunek 2. Składowe stanu naprężenia w płycie. Źródło: opracowanie własne

Wartości naprężeń wynoszą:

$$\sigma_1 = \frac{F}{A_1} = \frac{p \cdot B \cdot H}{(2 \cdot B + 2 \cdot H)} \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{A_2} = \frac{p \cdot L \cdot H}{(2 \cdot L + 2 \cdot H)} \quad (2)$$

przy czym: p – ciśnienie wewnętrzne w płycie, L , H , B , g – wymiary płyty podane na rysunku 1.

Warunek bezpieczeństwa dla materiału płyty określimy na podstawie hipotezy wyężeniowej Hubera:

$$\sigma_{red(H)} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} \leq k_r \quad (3)$$

2.3. Ściskanie elementu pneumatycznego (bez wyboczenia)

Schemat obciążenia płyty przy ściskaniu podano na rysunku 3. Przy ściskaniu elementu pneumatycznego, zabezpieczonego przed utratą stateczności, obliczono maksymalną siłę ściskającą przy założeniu, że powłoka przenosi wyłącznie naprężenia rozciągające które w granicy mogą osiągnąć wartość równą 0, czyli:

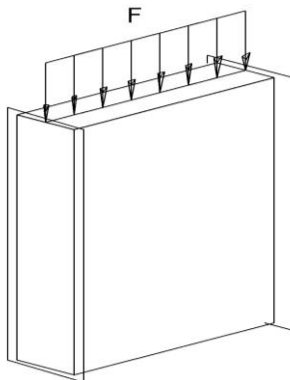
$$\sigma_p + \sigma_F = 0 \quad (4)$$

przy czym: σ_p – naprężenie w powłoce spowodowane działaniem ciśnienia p , σ_F – naprężenia w powłoce spowodowane działaniem siły ściskającej F_c .

Z warunku (4) otrzymamy wartość maksymalną siły ściskającej:

$$F_c = p \cdot B \cdot H \quad (5)$$

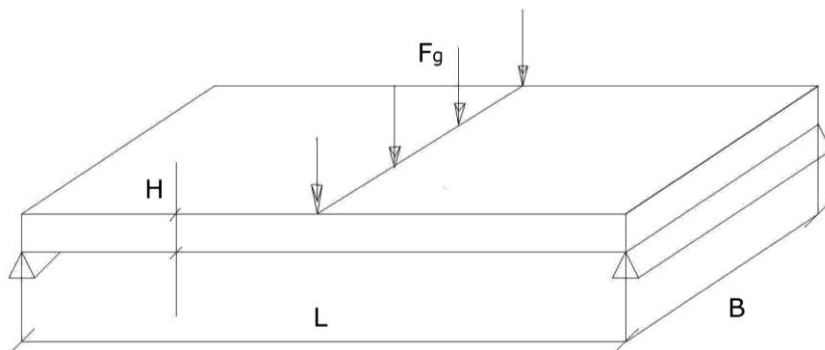
w którym: p – ciśnienie wewnętrzne w płycie, B – szerokość płyty, H – grubość płyty.



Rysunek 3. Schemat obciążeń przy ściskaniu elementu pneumatycznego.
Źródło: opracowanie własne

2.4. Zginanie elementu pneumatycznego

Sposób obciążenia elementu pneumatycznego przy zginaniu podano na rysunku 4.



Rysunek 4. Schemat obciążenia elementu pneumatycznego przy zginaniu.
Źródło: opracowanie własne

Do obliczenia ugięć elementu zastosowano równanie:

$$f = \frac{F_g \cdot L^3}{48 \cdot EJ_z} \quad (6)$$

w którym: F_g – siła zginająca, EJ_z – sztywność zginania zależna od ciśnienia wewnętrznego p , którą wyznacza się z pomiaru, f – strzałka ugięcia.

Na podstawie pomiaru ugięć możliwe jest ustalenie nieznanej i trudnej do ustalenia sztywności zastępczej EJ_z od ciśnienia wewnętrznego. W tym celu zastosujemy zależność (6) w postaci:

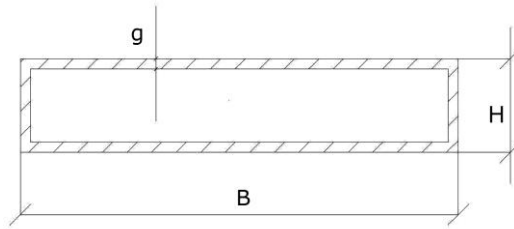
$$EJ_z = \frac{F_g \cdot L^3}{48 \cdot f} \quad (6a)$$

Wyboczenie. W dalszych rozważaniach przyjęto, że element pneumatyczny jest liniowo-sprężysty. Założenie to pozwala określić siłę krytyczną powodującą utratę stateczności na podstawie zależności Eulera:

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot EJ_z}{(\beta \cdot L)^2} \quad (7)$$

gdzie: EJ_z – sztywność zastępcza zginania, β – współczynnik zależny od sposobu zamocowania elementu.

Moment bezwładności przekroju elementu pneumatycznego obliczymy w oparciu o wymiary podane na rysunku 5.



Rysunek 5. Wymiary przekroju elementu pneumatycznego. Źródło: opracowanie własne

Przyjmując, że $H \ll B$ pominiemy w dalszych rozważaniach część momentu bezwładności przekroju jaki wykazują ścianki boczne elementu o wysokości H. Przy tym uproszczeniu otrzymamy:

$$J_z \cong 2 \cdot B \cdot g \cdot \left(\frac{H}{2}\right)^2 = \frac{B \cdot g \cdot H^2}{2} \quad (8)$$

Minimalny promień bezwładności przekroju jest równy :

$$i_z = \sqrt{\frac{J_z}{A}} = \sqrt{\frac{B g H^2}{4 B g}} = \frac{H}{2} \quad (9)$$

2.5. Badania doświadczalne

Element pneumatyczny. Badania doświadczalne przeprowadzono na elemencie pneumatycznym w kształcie prostopadłościanu. Jako obiekt badań posłużył materac turystyczny. Do badań dobrano materac o płaskich ściankach.

Urządzenie pomiarowe. Do pomiarów zestawiono układ składający się z następujących elementów:

- układu obciążającego
- sprężarki powietrza o ciśnieniu maksymalnym $p=5$ [MPa]
- manometru o wysokiej rozdzielczości pomiarowej

Układ obciążający został specjalnie zaprojektowany i wykonany do badania elementów pneumatycznych na wyboczenie. Układ ten podano na rysunku 10. Układ obciążający pozwala realizować ściskanie elementu pneumatycznego przy dwóch, podanych na rysunku 6, sposobach zamocowania końców elementu. W przypadku pomiarów przy zginaniu na podpory zastosowano elementy układu obciążającego.

Program pomiarów. Program pomiarów obejmował pomiary strzałki ugięcia przy zginaniu przy następujących ciśnieniach w powłoce: 8, 11.5, 15 i 20 [kPa]. Dla każdego ciśnienia mierzono strzałkę ugięcia przy następujących obciążeniach przyłożonych w środku długości elementu: 70, 100 i 150 [N]. Ten program pomiarów pozwoliła na ocenę wpływu ciśnienia wewnętrznego na sztywność zginania elementu oraz na ocenę liniowości ugięć w funkcji obciążenia. Program pomiarów przy wyboczeniu zawierał badania stateczności elementu powłokowego przy podanych na rysunku 6 trzech sposobach zamocowania końców powłoki. Program realizowano na urządzeniu obciążającym.

Przypadek ściskania elementu (bez wyboczenia) nie wymaga eksperymentu gdyż maksymalną siłę ściskającą jaką można obciążyć element pneumatyczny określimy na podstawie równania 4. Również określenie naprężeń w powłoce nie wymaga eksperymentu gdyż ich wartości mogą być określone na drodze teoretycznej. W dalszych rozważaniach nie uwzględniano wyteżenia materiału powłoki gdyż najslabszym elementem były połączenia klejone. Stosowane podczas pomiarów ciśnienia zapewniały znaczną sztywność powłoki bez utraty przez nią szczelności.

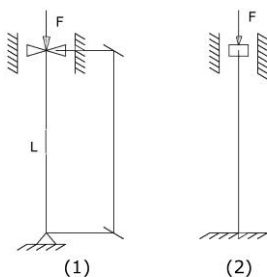
Zginanie. Pomiary odkształceń przy zginaniu powłoki miały na celu określenie doświadczalne sztywności zginania elementu oraz modułu sprężystości podłużnej materiału w zależności od stosowanego ciśnienia.

Wyniki pomiarów strzałek ugięcia przy zginaniu podano w tabeli 1. W tabeli tej podano również wartości średniej zastępczej sztywności zginania $E \cdot J_{z(sr)}$, przy różnych ciśnieniach oraz otrzymanych przy pomocy tego eksperymentu wartości modułów sprężystości E_{sr} , również zależnych od ciśnienia.

Tabela 1. Wyniki pomiarów elementów pneumatycznych przy zginaniu.

L.p.	Nr. pomiaru	Ciśnienie p [kPa]	F [N]	f [m]	f_{or} [m]	EJ_z [Nm ²]	$E \cdot J_{z(sr)}$ [Nm ²]	E [MPa]	E_{sr} [MPa]
1	1	8	70	0,08		50,02			
2	2	8	70	0,08	0,078	50,02	51,1	20	
3	3	8	70	0,075		53,3			
4	1	8	100	0,125		45,7			19
5	2	8	100	0,120	0,125	47,6	45,8	18	
6	3	8	100	0,130		44,0			
7	1	11,5	70	0,04		100			
8	2	11,5	70	0,035	0,04	114	100,1	39,1	
9	3	11,5	70	0,045		88,9			
10	1	11,5	100	0,075		76,2			
11	2	11,5	100	0,078	0,075	73,3	75,9	30,0	32,1
12	3	11,5	100	0,073		78,3			
13	1	11,5	150	0,125		68,6			
14	2	11,5	150	0,123	0,123	69,7	68,6	27,0	
15	3	11,5	150	0,127		67,5			
16	1	15	70	0,030		133,0			
17	2	15	70	0,030	0,030	133,0	134,7	52,7	
18	3	15	70	0,029		136,0			
19	1	15	100	0,048		120,3			
20	2	15	100	0,046	0,047	124,3	121,2	47,,4	47,0
21	3	15	100	0,048		112,1			
22	1	15	150	0,086		102,3			
23	2	15	150	0,084	0,085	105,7	104,2	41,0	
24	3	15	150	0,085		104,5			
25	1	20	70	0,019		210,6			
26	2	20	70	0,018	0,019	222,3	214,5	84,4	
27	3	20	70	0,019		210,6			
28	1	20	100	0,032		178,6			
29	2	20	100	0,030	0,032	190,5	180,8	71,2	70,4
30	3	20	100	0,033		173,2			
31	1	20	150	0,065		132,0			
32	2	20	150	0,060	0,061	143,0	141,0	55,5	
33	3	20	150	0,058		147,8			

Wyboczenie. Pomiary sił krytycznych przy wyboczeniu przeprowadzono dla trzech sposobów zamocowania końców elementu pneumatycznego. Realizowane przypadki mocowania elementu podano na rysunku 6.



Rysunek 6. Realizowane sposoby zamocowania prętów przy wyboczeniu.

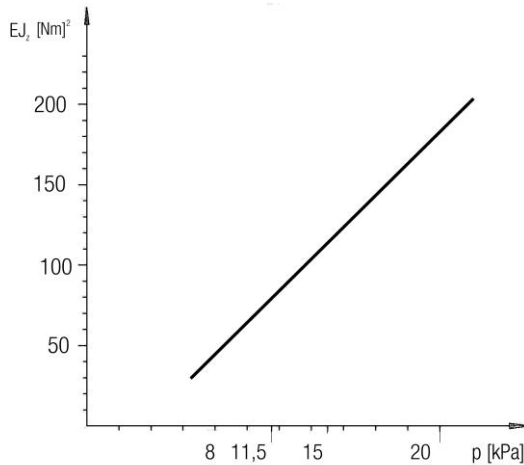
Źródło: opracowanie własne

Badania przeprowadzono przy różnych wartościach ciśnienia wewnętrznego. Przyjęto podobnie jak przy zginaniu następujące wartości ciśnień: 8, 11,5, 15 oraz 20 [kPa]. Wyniki pomiarów podano w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki pomiarów siły krytycznej przy wyboczeniu elementu pneumatycznego

L.p	Przypadek zamocowania	β	Ciśnienie p [kPa]	Siła krytyczna F_{kr} [N]	Siła krytyczna średnia $F_{kr(sr)}$ [N]
1	1		8	240	
2	1		8	226	235,7
3	1		8	235	
4	1		11,5	410	
5	1	1,0	11,5	390	387
6	1		11,5	360	
7	1		15	660	
8	1		15	620	617
9	1		15	572	
10	1		20	980	
11	1		20	925	922
12	1		20	862	
13	2		8	556	
14	2		8	450	476
15	2		8	423	
16	2		11,5	860	
17	2		11,5	800	790
18	2		11,5	710	

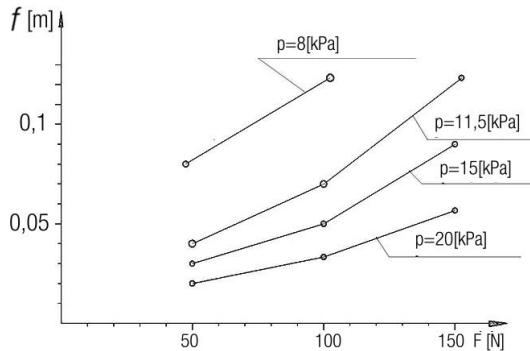
Na podstawie wyników podanych w tabeli 1 sporządzono wykres zależności $E \cdot J_{z(sr)}$ od ciśnienia wewnętrznego p . Wykres ten podano na rysunku 7.



Rysunek 7. Zależność sztywności zginania od ciśnienia wewnętrznego elementu pneumatycznego.

Źródło: opracowanie własne

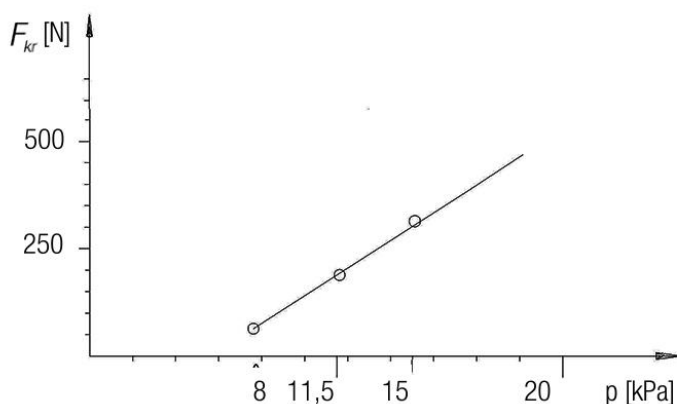
Zależność ugięć od wartości siły obciążającej podano na rysunku 8.



Rysunek 8. Zależność ugięć elementu pneumatycznego od wartości siły obciążającej przy zginaniu. Źródło: opracowanie własne.

Jak wynika z tabeli 2, pełny zakres obciążeń przy wyboczeniu został zrealizowany jedynie przy zamocowaniu dwuprzegubowym. Pozostałe sposoby zamocowania nie pozwoliły na realizację programu obciążeń ze względu na zbyt niskie ciśnienia wewnętrzne, co powodowało odkształcenie

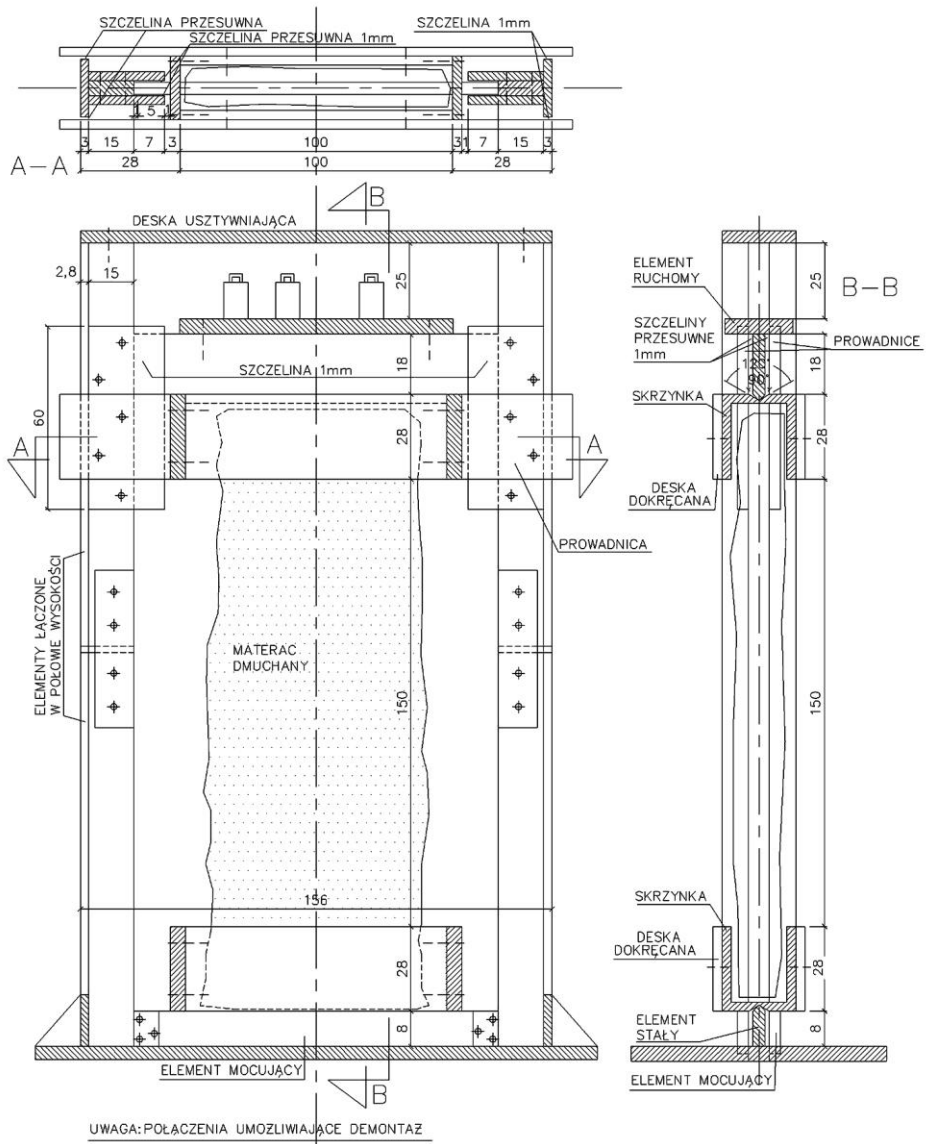
elementu w wyniku ściskania zanim wystąpiła utrata stateczności. Z tego względu sporządzono tylko jeden wykres ilustrujący zależność siły krytycznej od ciśnienia wewnętrznego p . Wykres ten opracowany na podstawie tabeli 2 (dla pierwszego sposobu zamocowania końców elementu) podano na rysunku 9.



Rysunek 9. Zależność siły krytycznej od ciśnienia p (wg. Eulera) dla dwuprzegubowego zamocowania. Źródło: opracowanie własne

2.6. Wnioski

- Sztywność zginania elementu pneumatycznego jest liniową funkcją ciśnienia wewnętrznego
- Siła krytyczna przy dwuprzegubowym podparciu jest liniową funkcją ciśnienia



Rysunek 10. Układ obciążający. Źródło: opracowanie własne

2.7. Wnioski końcowe

pkt 1. W pracy wskazano i uzasadniono, ze względu na lekkość, łatwość i szybkość montażu oraz korzystne własności nośne, co wykazano oblicze-

niami i doświadczalnie, możliwość zastosowania w budownictwie mieszkaniowym przestrzennych struktur pneumatycznych, których podstawowym elementem konstrukcyjnym jest płaski element pneumatyczny, zastosowany do konstrukcji ścian nośnych i stropów przestrzennych modułów mieszkalnych.

pkt 2. Wykazano liniową zależność siły krytycznej od ciśnienia wewnętrznego w płaskim elemencie pneumatycznym, co pozwala na zwiększenie jego sztywności poprzez zwiększenie przekroju lub ciśnienia. Przy zginaniu podobna zależność występuje między sztywnością zginania a ciśnieniem wewnętrznym.

pkt 3. Zależności podane w części teoretycznej stanowią podstawę do opracowania w następnym etapie różnych modeli płaskich elementów pneumatycznych, np. żebrowań i rozważenie różnych sposobów ich połączeń i oparcia.

pkt 4. Jak wynika z pkt 2 i pkt 3 niezbędne jest zbudowanie elementów struktury pneumatycznej z uwzględnieniem wyników niniejszej pracy i przebadanie ich w podanych warunkach oraz zweryfikowanie wymiarów i ciśnień w tych elementach. Na tej podstawie zbudowanie prototypu lub modelu przestrzennej struktury pneumatycznej w formie modułu mieszkalnego.

pkt 5. Na podstawie wyników niniejszej pracy (pkt 2) oraz wyników otrzymanych na podstawie założeń z pkt 4 możliwe będzie pełne opracowanie obliczeń i wytycznych do projektowania przestrzennych struktur mieszkalnych.

Przypisy

³ Materiał filmowy w posiadaniu autorów

⁴ Dla przykładu: przy ciśnieniu wewnętrznym 8 kPa siła krytyczna w badanym elemencie przekracza 230 N, natomiast przy ciśnieniu 20 kPa – siła ta wzrasta do przeszło 922 N.

Literatura

1. Bereza W., Stanuszek M. *FEM analysis of large deformations of pneumatic shells under concentrated loads*, XII Polish Conference on Computer Methods in Mechanics. Warszawa 1995.
2. Jakubowicz A., Orłóś Z. *Wytrzymałość materiałów*, WTN. Warszawa 2005.
3. Litewka P., Sygulski R. *Wybrane zagadnienia zaawansowanej mechaniki budowli*, Poznań 2012.
4. Lundgren H. *Powłoki walcowe*, Arkady. Warszawa 1983.
5. Niezgodziński M. E., Niezgodziński T. *Wytrzymałość materiałów*. PWN. Warszawa 2009.
6. Oñate E., Kröplin B. *Textile Composites and Inflatable Structures II*. Dordrecht 2008.
7. Repelewicz A. *Struktury pneumatyczne w budownictwie*, w: Warstwy, Dachy i Ściany, tom nr 2. Bydgoszcz 2009.

8. Repelewicz A., Ochocka E. *O konstrukcjach pneumatycznych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa 2001.
9. Patent nr 131 528, pt. *Obiekt mieszkalny*, z dnia 18.04.1988, Urząd Patentowy PRL.

Przestrzenne struktury pneumatyczne i możliwość ich wykorzystania w systemach awaryjnego budownictwa mieszkaniowego

W niniejszym opracowaniu podjęto badania i opracowanie teoretyczne wytrzymałości i sztywności płaskich elementów pneumatycznych do zastosowania w lekkich konstrukcjach obiektów mieszkalnych, pozwalających na szybki ich montaż.

Otrzymane teoretycznie i doświadczalnie parametry tych elementów pozwolą na opracowanie konfiguracji przestrzennych struktur pneumatycznych.

W szczególności opracowano i wykonano:

- teoretyczną ocenę nośności i sztywności wybranych elementów pneumatycznych w zależności od ich wymiarów, ciśnienia wewnętrznego, warunków zamocowania i podparcia,
- weryfikację doświadczalną otrzymanych wyników.

Przedstawiona praca ma charakter rozpoznawczy i stanowi podstawę do zaprojektowania i wdrożenia oryginalnych rozwiązań technicznych, konstrukcyjnych i architektonicznych w zakresie zastosowań przestrzennych struktur pneumatycznych do systemu awaryjnego.

Nadmienić trzeba, że w znanej literaturze przedmiotu brak podstaw teoretycznych do projektowania takich struktur, których zasadniczym elementem konstrukcyjnym jest płaski element pneumatyczny.

W budownictwie nie stosuje się dotychczas takich konstrukcji. Przykład rozwiązania przestrzennej struktury mieszkalnej został opatentowany pod nazwą „Obiekt mieszkalny”, (patent nr 131 528, z dnia 18.04.1988).

Słowa kluczowe: lekkie konstrukcje nośne, konstrukcje pneumatyczne, przestrzenne struktury pneumatyczne, obiekty mieszkalne

Pneumatic spatial structures and their applications in alternative ways of civil engineering

The paper presents investigations and a theoretical elaboration of the resistance and rigidity of flat pneumatic elements allowing their speedy assembling to be applied in light constructions of dwelling objects.

The obtained theoretical and experimental parameters of these elements allow working out spatial configurations of pneumatic structures. Especially the following have been elaborated and carried out:

- theoretical estimation of carrying capacity and stiffness of chosen pneumatic elements depending on their size, inner pressure, conditions of fastening and support,
- experimental verification of the results obtained.

The work presented has a reconnaissance character and constitutes the basis for designing and initiating original technical, constructional and architectonic solutions in the application of spatial pneumatic structures in the housing system.

It should be mentioned that in the known literature on the subject there are no theoretical bases for designing such structures, whose fundamental construction element is a flat pneumatic element. For the present such constructions have not been used in building.

The example of the solution of spatial housing structure has been patented under the name "Obiekt mieszkalny" ("Dwelling object"), (patent no. 203966, from 18.04.1988).

Keywords: light constructions, flat pneumatic elements, spatial pneumatic structures, dwelling objects

Zastosowanie pomiarów termowizyjnych do oceny jakościowej strat ciepła w budynkach jednorodzinnych

1. Wstęp

Wraz z rosnącą świadomością proekologiczną i kurczącymi się zasobami energii konwencjonalnej coraz istotniejsze staje się wykorzystanie nowych technik, mających na celu redukcję strat ciepła w budynkach. W styczniu 2017 roku wprowadzone zostały zmiany, zakładające zwiększenie wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych oraz redukcję zapotrzebowania na ciepło. Jednym z parametrów charakteryzujących przegrodę, który ma bezpośredni wpływ na straty ciepła w budynkach, jest współczynnik przenikania ciepła. Jego wartość obowiązująca od tego roku dla ścian zewnętrznych w pomieszczeniach ogrzewanych, w których panuje temperatura powyżej 16°C, wynosi 0,23 [W/(m²K)]. Kolejne planowane zmiany, mają nastąpić już w styczniu 2021 r. Zostały one określone w dyrektywie Unii Europejskiej [1], której konsekwencją była zmiana w warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i usytuowanie [2].

Miejsca nieciągłości lub braku izolacji termicznej budynku powodują występowanie różnicy temperatury na powierzchni przegród budowlanych. Zatem na podstawie jej rozkładu można identyfikować niejednorodności cieplne. Jedną z metod, która pozwala na pomiar i wizualizację rozkładu temperatury jest badanie termowizyjne. Kamera termowizyjna rejestruje intensywność promieniowania w podczerwonej części widma elektromagnetycznego i zamienia je na obraz widzialny. Pomiary te mają zastosowanie w budownictwie m.in. w takich obszarach jak: lokalizacja mostków termicznych, określanie miejscowych obniżonych właściwości termicznych przegród, ocena jakości osadzenia okien i drzwi, ocena zakresu i intensywności występowania zawilgoceń, badania jakości pracy wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej, czy ocena jakości pracy ogrzewania podłogowego. Ponadto badania termowizyjne mogą być szeroko stosowane również w przemyśle, energetyce, zabezpieczeniach przed pożarem, oraz systemach monitoringu termowizyjnego. W artykule analizie poddane zostały budynki, w których częściowo przeprowadzono prace termomodernizacyjne.

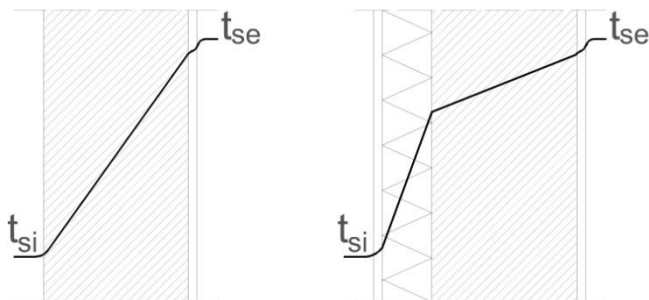
¹ j.styczen@pollub.pl, Instytut Elektroniki i Technik Informatycznych, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Politechnika Lubelska, www.wei.pollub.pl

² a.urzedowski@pollub.pl, Katedra Podstaw Techniki, Wydział Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska, www.wpt.pollub.pl

2. Metody

2.1. Podstawy teoretyczne prowadzonych badań

Transport ciepła może odbywać się na drodze konwekcji, przewodzenia i promieniowania. W warunkach rzeczywistych zdarza się, że występują wspólnie, prowadząc do zjawiska przejmowania bądź przenikania ciepła. Przenikanie odbywa się między dwoma płynami lub gazami o różnych wartościach temperatury, rozdzielonymi ścianką. Jego przebieg można podzielić na kolejne etapy: przejmowanie, przewodzenie i ponowne przejmowanie. Zjawisko to zachodzi w rozpatrywanych konstrukcjach przegród budowlanych. Spływ ciepła, wskutek różnicy temperatur odbywa się zawsze z pomieszczenia o wyższej temperaturze do pomieszczenia o niższej temperaturze [3]. Rys. 1 przedstawia rozkład temperatury w ścianach zewnętrznych jedno i dwuwarstwowych, które rozpatrywane są niniejszej pracy.



Rysunek 1. Rozkład temperatury w ścianach zewnętrznych analizowanych budynków, t_{si} – obliczeniowa temperatura powietrza na zewnątrz, t_{se} – obliczeniowa temperatura powietrza w pomieszczeniu [opracowanie własne]

Mechanizm przewodzenia ciepła opisuje prawo Fouriera-Kirchhoffa [4, 5]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{w} \cdot \nabla) \cdot T = \frac{1}{\rho \cdot c_p} \cdot [\nabla(\lambda \cdot \nabla T) + q_v] \quad (1)$$

gdzie: q_v – wewnętrzne źródło ciepła, $\frac{\partial T}{\partial t}$ – pole temperatury zależne od czasu, $(\vec{w} \cdot \nabla) \cdot T$ – konwekcja, ρ – gęstość, c_p – ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu.

Równania w tej postaci, można wyznaczyć wyłącznie w sposób przybliżony metodami numerycznymi. Zakładając jednak pewne uproszczenia, tj. bark wewnętrznego źródła ciepła, brak konwekcji i nie-

zmiennosć w czasie, otrzymuje się wzór na właściwy opór przewodzenia ciepła:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2)$$

gdzie: δ – grubość przegrody, λ – współczynnik przewodzenia ciepła materiału.

Całkowity opór cieplny przegrody wynosi:

$$R_T = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{k=1}^n \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{1}{h_{se}} \quad (3)$$

gdzie: δ_k – grubość warstwy materiału, λ_k – współczynnik przewodzenia ciepła warstwy materiału [W/(m·K)], h_{si} – współczynnik przejmowania ciepła na powierzchni przegrody od strony pomieszczenia [W/(m²·K)], h_{se} – współczynnik przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody [W/(m²·K)].

Współczynnik przenikania ciepła jest odwrotnością całkowitego oporu cieplnego:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

Pomiary prowadzone kamerą termowizyjną umożliwiają głównie jakościową analizę wybranych elementów. Jednak stosowane są one również przy ilościowym wyznaczaniu wartości współczynnika przenikania ciepła U [6]. Metoda ta wymaga jednak znajomości wartości temperatury w pomieszczeniu T_p , oraz wartości temperatury po stronie wewnętrznej i zewnętrznej przegrody T_{si} , T_{se}

$$U = \frac{h_{si}h_{se}(T_p - T_{si})}{h_{se}(T_p - T_{se}) + h_{si}(T_p - T_{si})} \quad (5)$$

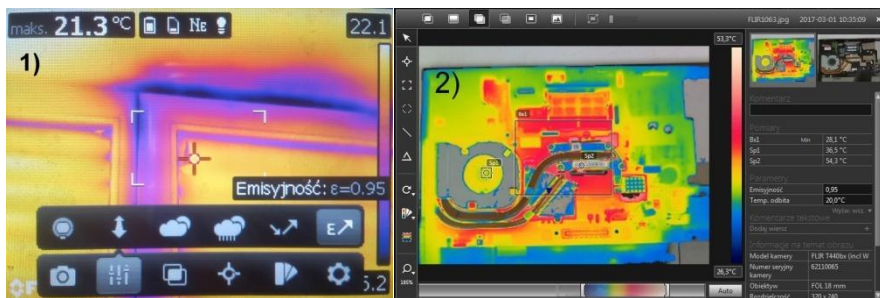
2.2. Metodologia prowadzenia badań kamerą termowizyjną

W pracy metoda termowizyjna zastosowana została do jakościowego oszacowania miejscowych strat ciepła, zwanych potocznie mostkami termicznymi. Stanowią one zagrożenie dla budynków w których może następować korozja biologiczna i fizykochemiczna. Prowadzą one do kondensacji pary wodnej, zawilgocenia, zagrzybienia i zmian strukturalnych przegrody (pęknięcia, wykruszenia itd.). Mostki termiczne powstają zarówno na skutek błędów projektowych, jak i wykonawczych. Pierwsze z nich to m.in.: niekompletne obliczenia ciepłno-wilgotnościowe, złe rozwiązania

zaizolowania mostków termicznych, brak opisu wykonania izolacji ciepłej ścian zewnętrznych, niezgodność opisu technicznego z rysunkami.

Do badań zastosowano kamerę termowizyjną, wiodącego producenta tego sprzętu na świecie – FLIR Systems, Inc., serii T400, model Flir T440bx o zastosowaniu uniwersalnym w energetyce i przemyśle. Pozwala ona odczytać emisję elektromagnetyczną fal niewidocznych w zakresie widma spektralnego od 7,5 do 13 μm , w temperaturze od -20°C do 350°C . Kamera wyposażona jest w czuły detektor o rozdzielczości 320x240 pikseli, wizualizujący różnice temperatury $0,045^{\circ}\text{C}$ i pracujący z częstotliwością odświeżania 60Hz. Ponadto kamera posiada funkcję Multi Spectral Dynamic Imaging (MSX), która poprawia strukturę obrazu termogramu, funkcję profilu liniowego, wyznaczanie punktu rosy, dotykowy monitor, możliwość wykonywania szkiców na obrazie termowizyjnym oraz łączność poprzez WiFi i Meterlink.

Poprawne wykonywanie pomiarów kamerą termowizyjną, wymaga wiedzy i umiejętności w zakresie fizyki budowli [7, 8]. Parametry, które trzeba zdefiniować przed poprawnym przeprowadzania badania to: emisyjność badanej powierzchni, temperatura odbita, wilgotność względna, temperatura powietrza, odległość od obiektu, kompensacja okna IR. Kamera wykonuje jednocześnie dwa zdjęcia: termowizyjne i cyfrowe, co umożliwia przeprowadzenie szczegółowej analizy otrzymanych obrazów.



Rysunek 2. 1) Interfejs ekranu kamery Flir T440bx, widok na zakładkę *parametry pomiarów* [opracowanie własne], 2) Interfejs programu FLIR Tools + [opracowanie własne]

Emisyjność jest to miara promieniowania z obiektu badanego w stosunku do intensywności promieniowania powierzchni ciała doskonale czarnego o tej samej temperaturze. Zawiera się ona w zakresie 0,1 do 0,95 i zależy od temperatury obiektu oraz stopnia chropowatości powierzchni (wartość 0,1 przyjmują powierzchnie idealnie wypolerowane, tj. lustra) [9]. Emisyjność powierzchni można wyznaczyć doświadczalnie, bądź skorzystać z tablic lub przybliżonych wartości dostępnych bezpośrednio z poziomu software kamery – rys. 2.1.

Do opracowania otrzymanych wyników badań, wykorzystane zostało oprogramowanie producenta kamery, program FLIR Tools +, rys. 2.2 przedstawia fragment jego interfejsu. Program ten pozwala na obróbkę termogramów, ich rozbudowaną analizę oraz tworzenie raportów termowizyjnych w oparciu o skatalogowane zdjęcia termograficzne. Umożliwia on również zastosowanie punktów i obszarów pomiarowych, zmianę palety barw, linii termostatycznych, wskazań maksimum temperatury, określanie różnic temperaturowych, wprowadzania i modyfikację szeregu parametrów dostępnych również z poziomu kamery.

2.3. Wybór obiektów i przeprowadzenie badań

Badaniu poddane zostały dwa budynki zlokalizowane na jednej działce budowlanej w Mielcu, w III strefie klimatycznej. Obydwa wzniesione zostały w 1975 roku, przy wykorzystaniu tych samych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych. Charakterystyczna bryła obiektów, zwana potocznie „kostką” była bardzo popularnym i często wybieranych rozwiązaniem przez inwestorów na obszarze całego kraju w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych. Niektóre z nich doczekały się gruntownej modernizacji architektonicznej. Jednak większość budynków poddana została wyłącznie pracom termomodernizacyjnym elewacji, lub wymianie stolarki drzwiowej i okiennej. Są to budynki mieszkalne jednorodzinne podpiwniczone o 2 kondygnacjach nadziemnych, każda o wysokości 2,5 m, ściany zewnętrzne wykonane z cegły kratówki, strop monolityczny żelbetowy, dach o konstrukcji drewnianej, kopertowej, kryty eternitem.

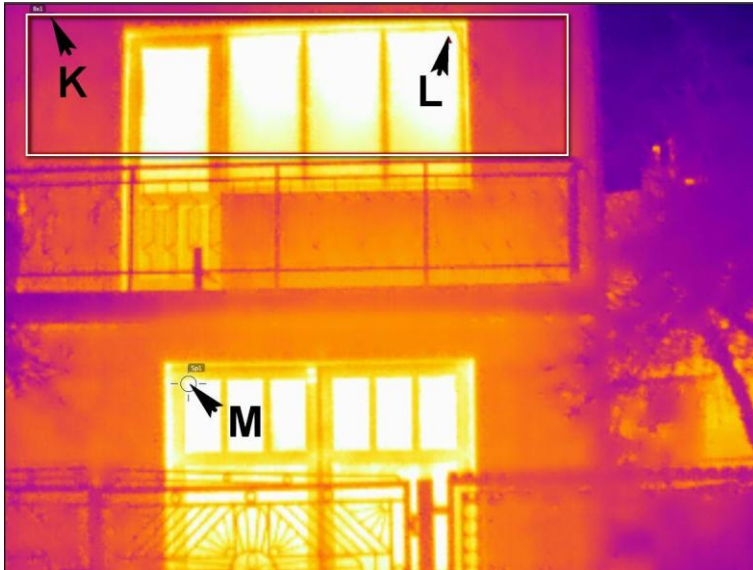
Rys. 3 przedstawia zdjęcie cyfrowe obiektów, które są przedmiotem badania. W budynku znajdującym się z lewej strony, wymieniono drewnianą stolarkę drzwiową i okienną pierwszej kondygnacji, zastępując ją stolarką z polichlorku winylu. Na potrzeby artykułu, budynkowi temu nadano numer II. Natomiast w budynku I przeprowadzono termomodernizację elewacji. Ściany zewnętrzne zostały zaizolowane płytami polistyrenowymi o grubości 12 cm, charakteryzującymi się współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda=0,04[\text{W/mK}]$. Po zamontowaniu płyt styropianowych, ściany otynkowano zaprawą tynkarską cementowo – wapienną, grubości 1,5 cm. Badania termowizyjne przeprowadzono dla elewacji zachodnich obiektów. Przed przystąpieniem do pracy, zadano w urządzeniu pomiarowym następujące parametry wejściowe:

- emisyjność ściany otynkowanej, przyjęta z katalogu Flir dla budynku I: 0,86;
- emisyjność ściany z pustaka ceramicznego dla budynku II: 0,90;
- temperatura zewnętrzna: $-4,9^{\circ}\text{C}$;
- odległość od odbitego obiektu: 10m;
- wilgotność względna: 65%;
- temperatura panująca wewnątrz ogrzewanych pomieszczeń: 20°C .



Rysunek 3. Budynki mieszkalne poddane badaniu kamerą termowizyjną. Z prawej strony – Budynek I, z lewej strony – Budynek II [opracowanie własne]

3. Dyskusja wyników



Rysunek 4. Zdjęcie termowizyjne elewacji zachodniej budynku I [opracowanie własne]

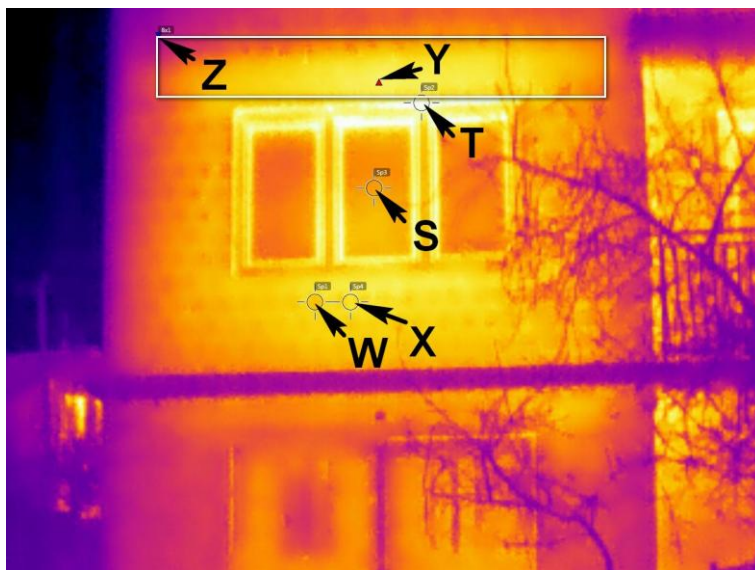


Rysunek 5. Zdjęcie cyfrowe elewacji zachodniej budynku I [opracowanie własne]

Rysunki 4-7 przedstawiają zdjęcia cyfrowe i termowizyjne analizowanych elewacji zachodnich I i II budynku. Na otrzymanych termogramach zauważono liczne mostki cieplne, które powstały przede wszystkim w miejscach, gdzie przegroda budowlana była cieńsza (np. przestrzeń balkonowa), w miejscu styku ścian i stropów, nad framugami okien, pod parapetami oraz w narożach otworów okiennych i drzwiowych. Paleta barw z której korzysta program odzwierciedla zakres temperatur – jasne kolory przypisane są najwyższym odnotowanym wartościom, a ciemne najniższym.

Na zdjęciach termowizyjnych elewacji budynku I wyraźnie widać wpływ ciepła przez drewnianą stolarkę drzwiową i okienną, która nie była wymieniona od czasu wzniesienia obiektu. W narożach okien i drzwi balkonowych na pierwszym piętrze, straty ciepła są bardzo duże. Na rys. 4 w obszarze zaznaczonym białym prostokątem, odczytano ekstrema temperaturowe: dla punktu L maksimum wynoszące $0,8^{\circ}\text{C}$, natomiast w punkcie K minimum – $4,6^{\circ}\text{C}$. Zatem różnica wartości między oddalonymi od siebie o zaledwie 2,7 m punktami, wynosi $5,4^{\circ}\text{C}$. Najwyższą wartość temperatury na całej analizowanej elewacji, odnotowano w narożu przeszklenia wrót garażowych, w punkcie M i wyniosła ona $1,3^{\circ}\text{C}$. Biorąc pod uwagę, że temperatura zewnętrzna otoczenia w trakcie wykonywania pomiarów wynosiła $-4,9^{\circ}\text{C}$, amplituda wartości to $6,2^{\circ}\text{C}$. Tak duży wpływ ciepła jest bardzo niekorzystnym zjawiskiem, powodującym wychładzanie pomieszczeń i prowadzącym do niszczącego działania warunków atmosferycznych. Również

w miejscu przejścia płyty balkonowej przez ścianę widoczny jest wzrost wartości temperatury. Przyczyną powstawania tego zjawiska jest nieprawidłowe wykonanie konstrukcji wsporczej płyty balkonowej i niedostateczne zaizolowanie jej przejścia przez ścianę budynku. Jest to zjawisko powszechne i często występujące w budynkach mieszkalnych wnoszonych w starych technologiach. Ponadto źle wykonane odprowadzenie wody i zalegającego śniegu z balkonu, powoduje gromadzenie się wilgoci wokół przejścia przez ścianę i potęguje zjawisko transportu ciepła na zewnątrz. Pozostała powierzchnia ścian elewacji poddanych termomodernizacji charakteryzuje się równomiernym rozkładem temperatury, bez wyraźnie zaznaczonych mostków termicznych. Można zatem stwierdzić, iż izolacja termiczna wykonana została prawidłowo. Często pojawiającym się błędem, którego w tym przypadku udało się uniknąć, jest transport ciepła przez niewłaściwie zaizolowane kotwy do montażu płyt styropianowych.



Rysunek 6. Zdjęcie termowizyjne elewacji zachodniej budynku II [opracowanie własne]



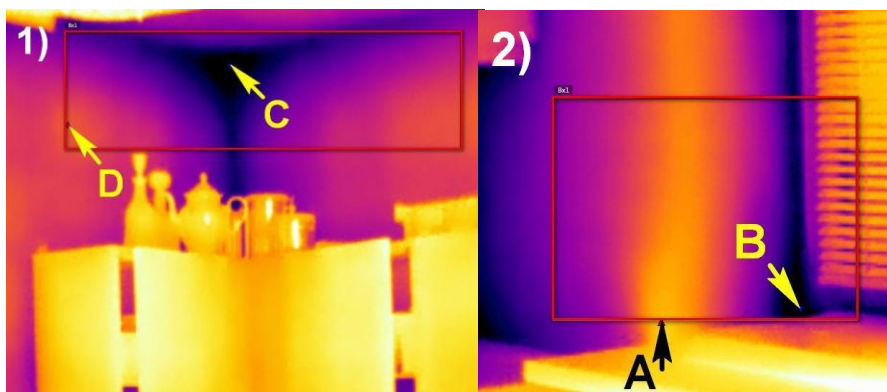
Rysunek 7. Zdjęcie cyfrowe elewacji zachodniej budynku II [opracowanie własne]

Elewacja budynku II nie została poddana termomodernizacji, a jedynie wymieniono stolarkę okienną i drzwiową na pierwszym piętrze. W trakcie prowadzenia pomiarów ogrzewane były jedynie pomieszczenia tej kondygnacji, co można stwierdzić również na podstawie rozkładu barw na elewacji, odzwierciedlających wartości temperatur. Na otrzymanym termogramie analizowanej ściany wschodniej, widoczne są błędy konstrukcyjne, których ze względu na wykonaną termomodernizację elewacji, nie było widać na ocieplonym obiekcie I:

- szeroki pas koloru żółtego nad otworem okiennym (obszar zaznaczony białym prostokątem) jest miejscem upływu ciepła z budynku. Prawdopodobną przyczyną tego niekorzystnego zjawiska jest niewłaściwe lub brak wykonania izolacji termicznej nadproża okiennego. W konstrukcjach tego typu obiektów stosowano belkę, zbrojoną dwuteownikiem. Nieprawidłowo odizolowany element metalowy stanowi duży mostek termiczny. Różnica wartości temperatury w tym obszarze, między punktami Z i Y wynosi $2,7^{\circ}\text{C}$;

- na termogramie wyraźnie zarysowane są kontury nieosłoniętych spoiny pomiędzy ceglami, które chłoną wilgoć z otoczenia w większym stopniu niż ceramiczne pustaki. Jest to bardzo niepożądane zjawisko występujące w ścianach jednowarstwowych, nieprzystosowanych do warunków atmosferycznych panujących w Polsce w III strefie klimatycznej. Pomiar wartości temperatury między punktami X – spoina, i punktem W – powierzchnia pustaka wykazał różnicę $0,5^{\circ}\text{C}$;

- pomimo tego, iż nowa, wymieniona stolarka z PCV charakteryzuje się niskim współczynnikiem przenikania ciepła ($U=0,15\text{W/m}^2\text{K}$), wokół ramy okiennej – szczególnie w jej górnym fragmencie, występuje duża strata ciepła. W środkowej części przeszklenia okiennego – punkcie S, odnotowano temperaturę $-1,2^\circ\text{C}$, natomiast w punkcie T $1,4^\circ\text{C}$. To niekorzystne zjawisko powstaje wskutek nieprawidłowego montażu stolarki [10]. Do najczęściej popełnianych błędów zaliczamy: niewłaściwe wymurowanie lub usytuowanie otworu okiennego, niewłaściwe dobrane wymiary okien, złe umiejscowienie okna w ścianie, źle przygotowane ościeże, niewłaściwe zamocowanie stolarki, nieszczelności wokół okien, montaż bez klocków podporowych – uniemożliwiający szczelne wypełnienie pustki pianą montażową. W budynkach pasywnych i niskoenergetycznych dąży się do umieszczenia stolarki w warstwie izolacji [11].



Rysunek 8. 1) Termograf naroża ściennego wewnątrz budynku I, 2) Termograf naroża okiennego wewnątrz budynku II [opracowanie własne]

Rysunek 8 przedstawia zdjęcia termowizyjne wykonane wewnątrz pomieszczeń analizowanych budynków. Na rys. 8.2 widać lewe dolne naroże okienne budynku II, w którym wymieniono starą stolarkę drewnianą na stolarkę z PCV. Zmierzono wartości temperatury w prostokątnym obszarze zaznaczonym czerwoną linią. W punkcie A temperatura wynosi $13,9^\circ\text{C}$, natomiast w punkcie B zaledwie $7,7^\circ\text{C}$. Przyczyną tak dużej różnicy wartości jest nieprawidłowo wykonany montaż stolarki okiennej. Rys. 8.1 przedstawia naroże ścienne w budynku I. Różnica temperatury między punktami C i D wynosi $3,9^\circ\text{C}$. Pomimo tego, iż na elewacji obiektu wykonano izolację termiczną, wskutek źle dobranych jej parametrów, naroże obiektu nadal jest miejscem migracji ciepła na zewnątrz.

4. Wnioski

Pomiar rozkładu wartości temperatury zrealizowany przy pomocy techniki termograficznej umożliwił lokalizację nieprawidłowości wykonania izolacji cieplnej. Przeprowadzone badania termowizyjne potwierdziły przydatność tej metody do analizy temperatur fasad, oraz pozwoliły na jakościową ocenę stanu obiektów budowlanych.

Ocieplenie ścian budynku I pozwoliło na zminimalizowanie wpływu błędów projektowych i wykonawczych na upływ ciepła z obiektu, i w efekcie doprowadziło do częściowej eliminacji mostków termicznych. Różnica średnich wartości temperatury między wybranymi obszarami fragmentu elewacji o tej samej powierzchni wyniosła 3,8°C. Jednak niewymieniona i źle obsadzona, drewniana stolarka drzwiowa i okienna jest przyczyną wychładzania pomieszczeń w okresie zimowym oraz przegrzewania ich w okresie letnim. Zmierzona średnia temperatura zewnętrznej powierzchni przeszklenia wszystkich okien budynku II, na pierwszej kondygnacji wynosi -1,27°C, natomiast dla budynku I to 1,7°C.

Pomimo tego, iż obiekt I charakteryzują się dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi przegród, zalecana jest wymiana stolarki drzwiowej i okiennej, w celu minimalizacji strat ciepła. Natomiast w budynku II niezbędne jest ocieplenie elewacji z uwzględnieniem przedstawionych w artykule wyników badań. Wskazują one, iż parametry użytej izolacji termicznej budynku I były niewystarczające, aby uniknąć miejscowych strat ciepła – rys. 8.1. Przeprowadzone badania wskazują jednocześnie, że budynki o jednowarstwowych przegrodach, wznoszone w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego wieku, wymagają kompleksowej termomodernizacji – jednoczesnej wymiany stolarki na energooszczędną, oraz docieplenia przegród zewnętrznych. Jedynie takie podejście pozwala na zmniejszenie strat ciepła, zwiększenie efektywności cieplnej budynków oraz zapewnienie komfortu cieplnego, wpływającego na zdrowie i bezpieczeństwo użytkowników.

Literatura

1. Dz. Urz. UE L 153 z 18.06.2010, str. 13-35, Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 roku w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
2. Dz.U. 2013 poz. 926 – Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
3. Urzędowski A., Wójcicka-Migasiuk D. *Visual analysis of heat transport in unique object*, Advances in science and technology research journal. 2015, nr 28, vol. 9, s. 153-159.
4. Wiśniewski S., Wiśniewski T. S. *Wymiana ciepła*. Wydawnictwo WNT. Warszawa 2012.

5. Bejan A. *Convection heat transfer*. Hoboken, Wiley 2013
6. Więcek B., Strąkowski R. *Ilościowe aspekty zastosowania termowizji w budownictwie*. Inżynier Budownictwa. Warszawa 2013.
7. Malinowski M., Sikora J. *Termograficzna analiza wybranych przegród budowlanych w aspekcie ich termoizolacyjności*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich – 2013, nr 3/IV/2013, s. 91-104.
8. Nowak H. *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
9. Więcek B., De Mey G. *Termowizja w podczerwieni : podstawy i zastosowania*. Wydawnictwo PAK, Warszawa 2011.
10. Rybarczyk T. *Montaż okien-uwaga na błędy*. Ładny dom, poradnik budowlany. nr 10(215), październik 2016, s. 104-107.
11. Królczyk B. *Budownictwo energooszczędne i pasywne : identyfikacja problemu*. Kunke Poligrafia, Poznań 2013.

Zastosowanie pomiarów termowizyjnych do oceny jakościowej strat ciepła w budynkach jednorodzinnych

Straty ciepła w obiektach budowlanych, będące konsekwencją błędów projektowych i wykonawczych, prowadzą do obniżenia komfortu użytkowania obiektu, zwiększenia nakładów finansowych na ogrzewanie oraz przyspieszenia procesu niszczenia obiektów. W pracy badaniu poddane zostały obiekty budowlane wzniesione w latach 80-tych, których konstrukcja przegród zewnętrznych była jednowarstwowa. Bryła i rozwiązania konstrukcyjne wybranych obiektów są niemal identyczne, różną się wyłącznie zakresem przeprowadzonych prac termomodernizacyjnych. W analizowanych obiektach, w 2015 roku, przeprowadzana została jedynie częściowa termomodernizacja, obejmująca swoim zakresem różne części obiektów. Takie podejście pozwala na wykonanie analizy porównawczej i przy znajomości podstaw konstrukcji budynków, wyciągnięcie prawidłowych wniosków. Przeprowadzenie pomiaru rozkładu wartości temperatury na elewacji obiektów przy pomocy techniki termowizyjnej, pozwoliło na ocenę stanu izolacji obiektu. Umiejętność posługiwania się kamerą termowizyjną i właściwej interpretacji wyników pomogło oszacować ilościowe straty ciepła w badanych obiektach budowlanych.

Słowa klucze: izolacyjność termiczna budynków, kamera termowizyjna, straty ciepła, termomodernizacja, współczynnik przenikania ciepła

Thermal imaging measurements for evaluation of heat losses in single-family houses

Heat losses in buildings, which are consequence of design and construction errors, leads to reduced comfort and to increased financial outlay for heating and accelerated destruction of houses construction. In the study work was carried out construction objects erected in the 80's, which walls were construction built as a single layers. The structures of selected objects are almost identical, differing only in the range of thermo-modernization works. In 2015 partial thermal modernization was carried out. This approach allows to carry out comparative analysis and to draw the correct conclusions. The measurement of the temperature distribution on facades of buildings, by using thermal imaging technology, allowed to assessment building insulation condition. The ability to use thermal imaging camera and proper interpretation of the results has helped to quantify the heat loss in the studied buildings.

Keywords: Thermal insulation of buildings, thermal imaging camera, heat loss, buildings thermomodernization, heat transfer coefficient

Możliwość wczesnego wykrywania porażenia mikrobiologicznego budynków za pomocą matrycy wieloczujnikowej

1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach zjawisko porażenia mikrobiologicznego należy do trudnych, ale często bagatelizowanych problemów sektora mieszkaniowego. Ochrona przed korozją biologiczną stanowi szerokie zagadnienie w branży budowlanej, jednakże łączenie problemów technicznych, jak i biologicznych stanowi nie lada wyzwanie dla współczesnych inżynierów. Wzrastająca liczba ludzi podatnych na alergie wywołane grzybami pleśniowymi powoduje większe zainteresowanie tym problemem oraz jego wpływem na stan zdrowia człowieka. Mykologia budowlana zwana patologią budynków (*ang. building pathology*) stanowi interdyscyplinarną gałąź wiedzy i praktyki łączącą w sobie problemy biologii z problemami budowlano-technicznymi [1].

Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) jakość powietrza wewnątrz pomieszczenia wpływa w znaczny sposób na zdrowie i samopoczucie człowieka. Wynika to głównie z faktu, że ludzie w wielu krajach spędzają nawet 90% czasu wewnątrz budynków. Badania naukowe potwierdzają, że powietrze wewnątrz pomieszczeń jest bardziej zanieczyszczone w porównaniu z powietrzem zewnętrznym. Najbardziej charakterystycznym przykładem nieprawidłowej jakości powietrza wewnątrz pomieszczeń jest Syndrom Chorego Budynku (*SBS ang. Sick Building Syndrome*).

Celem artykułu jest analiza zagadnienia porażenia mikrobiologicznego wynikającego ze złego zaprojektowania czy użytkowania budynku. Zwrócono również dużą uwagę na objawy przebywania w „chorych pomieszczeniach zamkniętych” oraz metody oceny stopnia porażenia. SBS jest to jeszcze niezbyt dobrze poznany temat związany z problemami zdrowotnymi osób przebywających w przestrzeniach zamkniętych. Syndrom Chorego Budynku można zostać uznany za nową jednostkę chorobotwórczą, powodującą poważne zagrożenia zdrowotne.

¹ monika.garbacz@interia.pl, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska.

Podstawowym warunkiem niezbędnym do skutecznej analizy zagadnienia porażenia mikrobiologicznego jest szczegółowe poznanie jego przyczyn oraz konsekwencji niesionych dla ludzi i budynków [2].

2. Problem porażenia mikrobiologicznego budynków

2.1. Przyczyny rozwoju mikroorganizmów na przegrodach obiektów budowlanych

Poznanie przyczyn porażenia mikrobiologicznego wymaga zbadania i analizy konkretnych przypadków budowlanych. Dawniej problem zagrzybienia występował głównie w starych, zwilgoconych lub nieocieplonych budynkach, jednakże obecnie występuje w nowo budowanych obiektach. Najpoważniejszym źródłem porażenia budynków są grzyby. Mimo znacznego rozwoju społeczeństwa zarówno pod względem higienicznym, jak i technicznym nadal niepokojącym problemem są zagrzybione budynki (Rysunek 1). Bardzo często w społeczeństwie brakuje wiedzy, że zwyczajna pielęgnacja budynków nie wystarczy, gdyż problem leży u podstaw konstrukcji budowlanej.



Rysunek 1. Mikroorganizmy pokrywające powierzchnie elewacji budynku [opracowanie własne]

Grzyby oraz pleśnie stanowią poważne zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi przebywających w zamkniętych przestrzeniach, do których zalicza się: mieszkania, biurowce, placówki oświaty, służby zdrowia oraz wszelkiego rodzaju budynki stanowiące zamkniętą przestrzeń budowlaną.

Często dochodzi do pogorszenia stanu zdrowia ludzi przebywających w tego typu pomieszczeniach – jest to zespół chorób nazywanych w literaturze BRI – (*ang. Building Related Illness*) [3]. Może być to powodowane niehigienicznym użytkowaniem lokali, dotyczy to m.in. trzymaniem zwierząt w pomieszczeniach, brak wentylacji lub zwyczaju przewietrzania pomieszczeń. Jednakże najczęstszą przyczyną porażenia mikrobiologicznego budynków są wady konstrukcji budowlanych, które stwarzają dogodne warunki do rozwoju grzybów w tym pleśni, wytwarzających niebezpieczne toksyny, czyli mykotoksyny [1].

Do najczęstszych błędów budowlanych, jeszcze na etapie projektowania zalicza się głównie brak doprowadzenia odpowiedniej ilości świeżego powietrza do pomieszczeń lub całkowity brak wentylacji. Kolejnym poważnym uchybieniem jest niewłaściwy dobór materiałów oraz zabezpieczeń chroniących budynek przed wilgocią i zmianą temperatury, zwłaszcza dotyczy to piwnic i stropów. Już na etapie realizowania budowy popełnia się wiele błędów, które w późniejszym czasie wpływają niekorzystnie na stan budynku. Do najczęstszych zalicza się: skrócony czas realizacji inwestycji, montaż szczelnej stolarki budowlanej, zastosowanie systemów ociepleniowych, które w znacznym stopniu utrudniają wysychanie ścian obiektu budowlanego [4].

Warunki sprzyjające rozwojowi grzybów to przede wszystkim wilgotność względna przekraczająca 60%, tworzenie się wilgotnej pary lub powłoki na powierzchni ścian i okien oraz dodatnie temperatury. Powietrze staje się wilgotne w momencie osiągnięcia temperatury punktu rosy. Spowodowane jest to niedostateczną izolacją przegród budowlanych, gdy na zewnątrz panuje niska temperatura i przenika do wnętrza przegród budowlanych. W pomieszczeniach, które są intensywnie ogrzewane dochodzi do skroplenia wilgoci na elementach przegrody. Jest to dogodny klimat do rozwoju grzybów [5].

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne występują w postaci bioareozoli, czyli zawieszonych w powietrzu cząstek biologicznych. Znajdują się w nim różnorodne, pochodzące z wielu źródeł mikroorganizmy i cząsteczki substancji organicznej. Źródło bioareozoli stanowią ludzie i zwierzęta zamieszkujące mieszkanie. Zanieczyszczenia występujące w dużym stężeniu wytwarzane przez grzyby i pleśnie, pochodzą głównie od organizmów rosnących w mieszkaniu [5].

Kolejną zasadniczą kwestią jest niedostateczne wietrzenie pomieszczeń lub utrudniona wentylacja. Jest to czynnik sprzyjający wzrostowi stężenia składników bioareozoli, powstającego w przestrzeni zamkniętej. Dalszą konsekwencją tego problemu jest wzrost zwilgocenia pomieszczeń w wyniku zbyt wolnego usuwania pary wodnej obecnej w powietrzu (Rysunek 2).



Rysunek 2. Porażenie mikrobiologiczne występujące w pomieszczeniach zamkniętych
[opracowanie własne]

Woda jest produktem przemiany materii ludzi i zwierząt oraz spalania substancji organicznej. Para wodna powstaje podczas zwykłych czynności m.in. przygotowanie posiłku czy utrzymywanie higieny osobistej. W gospodarstwach domowych powstaje jej niewyobrażalna ilość. Jak podają źródła [6]: 4 osobowa rodzina w gospodarstwie domowym emituje do powietrza w mieszkaniu ok. 14-15 litrów wody dziennie, skali roku daje to ponad 5 ton.

Niesprawną wentylacją lub jej całkowity brak prowadzi do niewłaściwej cyrkulacji powietrza wewnątrz obiektu. Wentylacja prawidłowo zaprojektowana i wykonana powinna odprowadzić zużyte powietrze oraz dostarczyć świeże. Aby usprawnić wentylację można zamontować nawiewniki w oknach lub nawiewniki ściennie. Przy zakupie okien warto zwrócić uwagę na takie, w których nawiewniki są zamontowane już przez producenta [1].

Effekt postępu technicznego w branży budowlanej spowodował również negatywne konsekwencje. Mianowicie, budowane są zbyt szczelne budynki, w których jest za ciepło i brakuje świeżego powietrza. Zbyt wysoka temperatura powietrza, wilgotność oraz koncentracja zanieczyszczeń powoduje spadek wydajności i produktywności człowieka.

2.2. Charakterystyka mikroorganizmów powodujących porażenie konstrukcji budowlanej

Obecnie zagadnienie dotyczące oddziaływania organizmów na przegrody budowlane zostało dobrze poznane i nadal jest badane. Konstrukcje budowlane stanowią dogodne siedlisko wielu różnych mikroorganizmów. Zróżnicowane występowanie powodowane jest odmiennym mikroklimatem

sprzyjającym ich rozwój. Materiały budowlane oraz wzniesione z nich konstrukcje narażone są na negatywne ich oddziaływanie na stan techniczny oraz zdrowie użytkowników. W tradycyjnych budynkach mieszkalnych szczególnie rozwijają się tzw. grzyby domowe, których głównym miejscem siedliska są materiały organiczne (drewno, tworzywa drewnopochodne), powodujące rozkład biochemiczny. W budynkach o nowoczesnej konstrukcji spotyka się porażenia przez grzyby pleśniowe, które rozwijają się na powierzchniach ścian, powodując tym samym barwne naloty oraz biokorozje. W niektórych przypadkach porażenie budynków może być powodowane przez bakterie lub glony [7].

Grzyby pleśniowe to bardzo liczna grupa organizmów należących do klas sprężniaków (*Zygomycotina*), workowców (*Ascomycotina*) i grzybów niedoskonałych (*Deuteromycotina*). Najczęściej spotykane są na powierzchniach tynków i murów budynków. Wśród nich występują gatunki patogeniczne, które są bardzo szkodliwe dla zdrowia. Grzyby pleśniowe pojawiają się zawsze tam, gdzie znajdują dobre warunki do rozwoju (Rysunek 3).



Rysunek 3. Rozwinięte kolonie grzyba w pomieszczeniu mieszkalnym [opracowanie własne]

Sprzyjającymi czynnikami są: właściwy poziom wilgotności, odpowiednia temperatura i pokarm. Rozwijają się one na powierzchni elewacji, tworząc kolorowe naloty grzybni (czerwone, zielone, brunatne, czarne). Zabarwienie jest zazwyczaj spowodowane przez liczne zarodniki konidalne, wyrastające na trzonkach konidalnych. Źródłem pożywienia są dla tych grzybów wszelkiego rodzaju materiały i cząstki organiczne, w tym dodatki i zanieczyszczenia organiczne występujące w tynkach i farbach oraz osiadający na powierzchni elewacji kurz (zawiera pyły organiczne). Grzyby

rozkładu pleśniowego są związane z podłożem za pomocą wyspecjalizowanych strzępek wrastających na niewielką głębokość (do ok. 2 mm) [1].

Głony stanowią największą plagę obecnych czasów obserwowana na elewacjach. Głony w stosunku, do których często używa się ich łacińskiej nazwy – algi (*Algae*), tworzą liczną grupę roślin rozwijających się w środowiskach wodnych i lądowych, podlegających stałemu lub okresowemu zawilgoceniu. Głony są wszechobecne, wchodzą w skład planktonu w morzach, oceanach i zbiornikach śródlądowych (jako fitoplankton). Głony żyjące na powierzchni osadów dennych zbiorników wodnych stanowią składnik bentosu (jako fitobentos) a te, które porastają inne powierzchnie (rośliny, kamienie, itp.) tworzą zespół peryfitonu. Głony żyją także poza zbiornikami wodnymi w miejscach wilgotnych: w glebie i na jej powierzchni, na kamieniach, pniach drzew a także na śniegu i lodzie. Spotykamy je również na ścianach budynków (Rysunek 4). Są organizmami zielonymi, które dzięki zawartości chlorofilu wykazują zdolność syntezy związków organicznych. Z podłoża pobierają wodę i sole mineralne. Poza występowaniem w typowych dla siebie miejscach jak pnie drzew, skały i kamienie, płoty i słupy, niestety często rozwijają się na ścianach budynków oraz pokryciach dachowych. W fazie rozwoju wrastają w podłoże na głębokość 1,0-2,0 mm [1]. Obok trudnych do usunięcia zielonych plam mogą powodować powierzchniową korozję materiałów, działając na nie, wydzielanymi kwasami i innymi substancjami. Do porażenia elewacji może dojść za pośrednictwem zarodników, których dziesiątki tysięcy unoszą się w powietrzu. Element zarażający po natrafieniu na odpowiednie podłoże i warunki szybko się rozwija. Po osiągnięciu pewnego stopnia rozwoju z miejsc porażonych rozpoczyna się emisja zarodników, zatem porażenie sąsiednich powierzchni elewacji oraz budynków znajdujących się w pobliżu. Mikroorganizmy mogą rozwijać się jedynie w odpowiednim środowisku i korzystnych warunkach: obecność pożywienia, odpowiednia wilgotność i temperatura (zarówno podłoża jak i powietrza), dostęp powietrza, ograniczony dostęp światła (np. elewacje północne, uskoki i wnęki) oraz odpowiedni odczyn środowiska (optymalne: lekko kwaśne, powyżej pH = ok. 9 następuje zatrzymanie rozwoju). Oczywiście wymienione warunki należy brać pod uwagę łącznie, gdyż tylko razem wzięte tworzą środowisko stanowiące o rozwoju życia biologicznego [8].



Rysunek 4. Porażenie budynku domu jednorodzinnego [opracowanie własne]

Powietrze nie jest miejscem, w którym rozmnażają się mikroorganizmy, stanowi natomiast prądy powietrzne służące do ich przenoszenia. Źródłem zarodników grzybów w powietrzu są grzybnie rozwijające się na powierzchniach zwilgoconych przegród budowlanych. Na tempo ich rozwoju ma wpływ wiele czynników. Głównymi parametrami są temperatura i wilgotność, determinujące w największym stopniu rozwój grzybów [1].

Zakres temperatur, w których obserwować można rozwój grzybów jest szeroki, ale ograniczony. Grzyby mogą przetrwać nawet w temperaturach poniżej 0°C, temperatura ta jednak uniemożliwia rozwój. Natomiast temperaturą graniczną jest 50°C, przy której większość grzybów zamiera lub zahamowuje swój wzrost [4].

2.3. Konsekwencje porażenia dla ludzi i budynków

Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) jakość powietrza wewnętrznego intensywniej wpływa na zdrowie człowieka niż powietrze zewnętrzne. Jest to spowodowane głównie tym, że ludzie ponad 90 % czasu spędzają w pomieszczeniach zamkniętych. Badania naukowe potwierdzają, że powietrze w pomieszczeniach wewnętrznych zanieczyszczone jest znacznie w porównaniu do powietrza zewnętrznego [1].

Najbardziej charakterystycznym przykładem niewłaściwej jakości powietrza w pomieszczeniach jest syndrom chorego budynku (SBS). Którego główne objawy to: zapalenie błony śluzowej, astma, zapalenie oskrzeli i krtani, a także migreny, rozdrażnienie, zaburzenia koncentracji prowadzące do zmniejszenia motywacji i efektywności [4].

Według WHO w sytuacji, gdy 30% użytkowników jest niezadowolona z warunków klimatu wewnętrznego, klasyfikuje się je jako „budynki chore”. Coraz częściej pojęcie to jest za nową jednostki chorobotwórcza. Stan zdrowia człowieka uzależniony jest od czasu narażenia od rodzaju czynnika oraz liczby mikroorganizmów obecnych w powietrzu. Nieczęstym przenośnikiem czynników biologicznych w powietrzu są bioareozole, zawierające elementy biologiczne, krople wody oraz inne zanieczyszczenia. Człowiek jest narażony na bezpośredni kontakt z bioareozolem, przez układ oddechowy, skórę, oczy oraz włosy. Jednakże stopień narażenia jak i przebieg choroby jest indywidualny i zależy od wielu czynników m.in. od cech osobniczych, przebytych chorób, przebytych terapiach zwiększających szanse na infekcje [9].

Podczas oddychania zarodniki grzybów dostają się do płuc i u osób uczulonych powodują poważne choroby płuc. Wielu zamieszkujących je lokatorów odczuwa różne dolegliwości (senność, zmęczenie, nudności, zawroty głowy, drażliwość, zaburzenia pamięci, ociężałość, szybkie i łatwe męczenie się, długotrwałe bóle i częste przeziębienia, podrażnienie błon śluzowych oczu, nosa, krtani, gardła, zaczerwienienie skóry, objawy zbliżone do astmy: ucisk w klatce piersiowej, duszności) [1].

Syndrom chorego budynku spowodowany jest również występowaniem w powietrzu Mikrobiologicznych Lotnych Związków Organicznych (MVOC), mykotoksyn, alergenów, zarodników i fragmentów grzybów. Główne objawy to: zapalenie błony śluzowej, astma, zapalenie oskrzeli i krtani, a także migreny, rozdrażnienie, zaburzenia koncentracji prowadzące do zmniejszenia motywacji i efektywności [10].

3. Metody oceny stopnia porażenia mikrobiologicznego

Do podstawowych metod oceny stopnia porażenia mikrobiologicznego zalicza się: metodę mikrobiologiczną, chemiczną oraz szybką detekcję za pomocą matrycy wieloczułnikowej.

Metoda mikrobiologiczna

Metoda mikrobiologiczna oceny stopnia porażenia może zostać podzielona na metodę tradycyjną (mykologiczną) oraz molekularną.

Ocena mykologiczna opiera się na makroskopowej i mikroskopowej obserwacji zebranych próbek, oznaczanie wilgoci w zawartych powłokach, ocenie wydajności wentylacji i innych instalacji sanitarnych. Metoda ta opiera się ona na określaniu obecności grzybów pleśniowych w próbkach powietrza lub wymazach, obliczaniu liczby kolonii oraz określeniu gatunku lub rodzaju. Wśród tradycyjnych technik wyróżnia się:

- metodę sedymentacji Kocha,
- metodę filtracji przez wychwytywanie żywych i martwych grzybów,
- metoda kaskady zderzeniowej, która opiera się na przepływie zanieczyszczonego powietrza przez małe otwory [10].

Impaktor kaskadowy (Rysunek 5) to przyrząd służący do oznaczania określonych rozkładów wielkości wszelkich pyłów tworzących się w aerozolu. Dzięki odpowiednio wyprofilowanym kanałom, które prowadzą dany aerozol, pyły o różnych średnicach osadzają się w różnych miejscach [12].



Rysunek 5. Impaktor kaskadowy [opracowanie własne]

Tradycyjne techniki mikrobiologiczne są czasochłonne i mogą trwać nawet do 43 dni.

Inna próba wykrywania porażen mikrobiologicznych jest metoda PCR (Reakcja łańcuchowa polimerazy). Jest to metoda molekularna, opierająca się na amplifikacji fragmentu DNA w wyniku podgrzewania i ochładzania próbki w warunkach laboratoryjnych. PCR jest metodą stosunkowo kosztowną oraz czasochłonną jednakże oferuje poznanie jednoznacznych wyników [13].

Metody chemiczne

Metody chemiczne umożliwiają wykrycie wybranych markerów będących produktami metabolitów takich jak mykotoksyny czy lotne związki organiczne. Wśród wszystkich metod najbardziej popularne są:

- chromatografia gazowa-spektrometria masowa,
- wysokosprawna chromatografia cieczowa.

Obie metody wymagają skomplikowanego procesu przygotowania próbki, które wymaga dużo pracy ręcznej.

Szybka detekcja za pomocą matrycy wieloczujnikowej

Szybka detekcja pozwala na bezpośrednie oszacowanie możliwości zagrożenia porażeniem mikrobiologicznych powietrza wewnętrznego. Jest ona wykorzystywana w celu sprawdzenia stanu zanieczyszczenia budynku i wyborze odpowiedniego obiektu do dalszych badań metodami tradycyjnymi. Najbardziej powszechną techniką wśród metod wczesnego wykrywania jest czujnik gazu nazywany elektronicznym nosem.

Technika ta jest stosowana w wielu dziedzinach zastosowań, głównie w branżach medycznych, przemysłu farmaceutycznego, kosmetyce, przemyśle spożywczym i wielu innych obszarach [10].

4. Matryca wieloczujnikowa

Matryca wieloczujnikowa jest urządzeniem wieloczujnikowym wykorzystywanym do badań jakości powietrza, służącym również do klasyfikacji określonych produktów ze względu na ich zapach. Wieloczujnikowe analizatory gazów służą do monitoringu specyficznych zanieczyszczeń powietrza. Układy wieloczujnikowe znalazły również zastosowanie w pomiarach stopnia porażenia mikrobiologicznego budynków. Zastosowaniem systemów wieloczujnikowych charakteryzują się niższym kosztem aparatury i wykonywania analiz w porównaniu z chromatografią czy olfaktometrią. Jednocześnie matryca wieloczujnikowego stanowi podstawę działania technologii elektronicznego nosa [14].

Matryca zbudowana jest z płyty, na której umieszcza się kilka, kilkanaście lub kilkadziesiąt różnych czujników, reagujących mało selektywnie na obecność różnych związków lub grup związków chemicznych.

Profile zapachowe z matrycy czujnikowej są wielowymiarowe i muszą być analizowane za pomocą systemów rozpoznawania wzorca jak np. analiza głównych składowych PCA (*Principal Component Analysis*), PLS (*Partial Least Squares*), PDA (*Funcional Discriminant Analysis*) czy sztuczne sieci neuronowe ANN (*Artificial Neural Network*). ANN według niektórych autorów są efektywniejsze do klasyfikacji i predykcji złożonych nieliniowych zbiorów danych niż wielowymiarowe metody analizy [10].

Elektroniczny nos stanowi biologiczną analogię zmysłu powonienia. Szybka detekcja umożliwia rozpoznanie różnych rodzajów cząstek zawartych w otoczeniu lub ich cech tj: zasadowość, kwasowość, specyficzne wiązania chemiczne. Informacje te pozwalają na określenie chemicznego składu otoczenia.

E-nosy mogą być konstruowane przy użyciu różnorodnych detektorów w tym detektorów optoelektronicznych i akustoelektronicznych. Zasada działania e-nosa opiera się prymitywnym modelu biologicznego analizatora węchowego. Pole czujników elektronicznego nosa (E-Nose Sensor Field) tworzy zwykle kilkanaście lub kilkadziesiąt różnych elementów.

Są to najczęściej czujniki konduktometryczne i piezoelektryczne. Istotą działania czujników konduktometrycznych są zmiany elektrycznego przewodnictwa materiału aktywnego, np. półprzewodzących tlenków metali (MOS, Metal Oxide Sensors) lub niektórych polimerów, zachodzące pod wpływem sorpcji określonych zanieczyszczeń powietrza.

Niezbędne zróżnicowanie wrażliwości poszczególnych czujników – receptorów na różne rodzaje związków chemicznych osiąga się przez wprowadzanie różnych domieszek do półprzewodzących tlenków metali lub pokrywanie kryształów piezoelektrycznego kwarcu filmem wysokowrzących cieczy (np. fazy stacjonarne dla GC). Pola sensorów mogą zawierać również inne rodzaje czujników, np. czujniki potencjometryczne, optoelektroniczne i akustoelektroniczne lub bioczujniki [14].

5. Podsumowanie

Klimat pomieszczeń, w których człowiek spędza znaczną część czasu (tj. ponad 80% doby), ma kolosalny wpływ na jego zdrowie i samopoczucie. Często projektanci i użytkownicy nie zdają sobie sprawy, jak porażenie mikrobiologiczne może obniżyć poziom życia i stać się nieoczekiwanym źródłem różnego rodzaju schorzeń i chorób. Zastosowanie elektrycznego nosa może w sposób znaczący skrócić czas dotychczasowych analizy woni, które dokonywane były techniką olfaktometryczną czy z zastosowaniem sprzężenia chromatografii gazowej i spektrometrii mas (GC-MS). Badanie z wykorzystaniem wymienionych wyżej technik trwa do kilku godzin, natomiast elektroniczny nos może przeprowadzić analizę powietrza w ciągu kilkunastu minut. Nowoczesne elektroniczne nosy są coraz częściej wykorzystywane do badań jakości powietrza w pomieszczeniach zamkniętych oraz do kontroli zjawiska porażenia mikrobiologicznego, są użyteczne również podczas ciągłych pomiarów stopnia zanieczyszczenia próbek środowiskowych (woda, powietrze) oraz ocen skuteczności oczyszczania ścieków i gazów odlotowych.

Literatura

1. Ważny J., Karysia J. *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*, Wydawnictwo Arkady 2001, s. 53-66.
2. Pastuszka J.S., Lis D.O., Wlazło A., Łudzeń-Izbińska B. *Badanie narażenia na bioaerozole bakteryjne i grzybowe w środowisku mieszkalnym w warunkach Polski*, Praca Statusowa Instytutu Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu, 2001-2004.

3. Zyska. B. *Zagrożenia biologiczne w budynkach*, Arkady 1999.
4. Mniszek W., Rogiński J. *Wady konstrukcyjne budynków przyczyną zagrzybienia pomieszczeń*, Zeszyt Naukowy Wyższej Szkoły Zarządzania Ochrona Pracy w Katowicach, nr 1(3)/2007, s. 31-44.
5. Przybyłowicz E., Słówek G. *Wpływ wilgoci na skuteczność ociepleń i mikroklimat wnętrza budynków mieszkalnych*. IX Sympozjum Naukowo-Techniczne, Ochrona przed korozją, 10s/A/2007.
6. Belanger K., Bracken M. B., Leaderer B. P. *The relation between fungal propagules in indoor air and Home characteristic*, Allergy 2001, 56: 419-424.
7. Matkowski K. *Materiały budowlane ścian a ryzyko wzrostu grzybów w budynkach*, polskie Stowarzyszenie Mykologów Budownictwa, Wrocław 11/2015.
8. Rogiński J. *Korozja w budownictwie*, WSZOP, Katowice 2005.
9. Szponar B., Mikroby i biotoksyny, czyli co czyha na małych i dużych użytkowników przestrzeni publicznej. X Ogólnopolska Konferencja Problemy jakości powietrza wewnątrz w Polsce, Warszawa 2009.
10. Suchorab Z., Sobczuk H., Guz Ł., Łagód G. *Gas sensors array as a device to classify mold threat of the buildings*, Lublin 2015.
11. Suchorab Z., Sobczuk H., Guz Ł., Łagód G. *The Possibility of Building Classification for Mould Threat Using Gas Sensors Array*, Lublin 2015.
12. Gutarowska B., *Przegląd metod oceny zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza*, Łódź 2001.
13. Alvarez A.J., Buttner M.P., *Use of solid-phase PCR for enhanced detection of air borne microorganisms*, Appl.Environ.Microbiol. 60, 374-376.
14. Guz Ł., *Metodyczne aspekty pomiaru lotnych zanieczyszczeń powietrza za pomocą urządzenia wieloczułnikowego*, Lublin 2015.

Możliwość wczesnego wykrywania porażenia mikrobiologicznego budynków za pomocą matrycy wieloczułnikowej

Problem porażenia mikrobiologicznego stanowi istotne zagrożenie w branży budowlanej. Grzyby, w tym pleśń są poważnym zagrożeniem dla ludzi przebywających w pomieszczeniach zamkniętych. Najczęściej spotykanymi przyczynami rozwoju grzybów są wady konstrukcyjne budynków. W wielu przypadkach powodem zagrzybienia jest wzrost wilgotności przegród budowlanych, ale również nadmierna wilgotność w pomieszczeniach. Problem porażenia mikrobiologicznego często łączony jest z wprowadzeniem innowacyjnych technologii oraz zastosowaniem nowych materiałów wykorzystanych do budowy ścian zewnętrznych obiektów budowlanych. Te czynniki stwarzają odpowiednie warunki do rozwoju pleśni, która wpływa niekorzystnie na trwałość budynku, jego stan techniczny oraz stan zdrowia mieszkańców z czym zwiany jest tzw. Sick Building Syndrome (SBS). Do oceny stopnia porażenia służą metody: mikrobiologiczna, chemiczna oraz szybka detekcja za pomocą matrycy wieloczułnikowej. Matryca wieloczułnikowa stanowi podstawę technologii elektronicznego nosa, który może być także wykorzystywany do oceny jakości powietrza w pomieszczeniach zamkniętych.

Słowa kluczowe: e-nos, PCA, SBS.

Early detection of microbial threat of buildings using a multi-sensor array

The problem of microbial contamination is an important issue in the construction industry. Fungus including molds, are a serious threat to people in closed rooms. The most common causes of fungal growth are building defects. In many cases, the reason for molding is the increase in the humidity of the building partitions, but also the excessive humidity in the rooms. The problem of microbiological infection is often combined with the introduction of innovative technologies and the use of new materials used to build external walls of buildings or improve the efficiency of natural ventilation. These factors create suitable conditions for the development of mold, which adversely affects the durability of the building, its technical condition, health, Sick Building Syndrome (SBS). Microbiological, chemical and rapid detection using a multi-sensor array are used to assess the degree of infestation. The multi-sensor array is the basis of the electronic nose technology, which has now found the use in indoor air quality assessment.

Keywords: e-nose, PCA, SBS

Ekrany akustyczne jako potencjalne ogrody wertykalne

1. Wprowadzenie

Drogowe bariery dźwiękochłonne są obecnie jednym z podstawowych urządzeń ruchu drogowego. W związku z intensywnym rozwojem infrastruktury drogowej w Polsce i innych krajach Europy już od końca zeszłego wieku zaczęto przywiązywać wagę do ochrony środowiska przed hałasem [1-2]. Na terenie Polski, wzorem innych rozwiniętych państw europejskich, najbardziej popularnym i skutecznym sposobem ograniczania propagacji fal dźwiękowych stały się ekrany akustyczne [3-6]. Dekadę temu, w 2007 roku, Ministerstwo Ochrony Środowiska zaostrzyło przepisy akustyczne dopuszczające poziom hałasu, przy czym normy te obowiązywały jednocześnie na terenach zamieszkałych oraz na terenach nie zabudowanych przewidzianych w planach rozwoju jako obszary przeznaczone dla inwestycji. Skutkiem tych działań była bardzo duża liczba posadowionych ekranów akustycznych. Powstawały na odcinkach autostrad, dróg szybkiego ruchu i obwodnicach miejskich. Coraz więcej pojawiło się ich w przestrzeni miejskiej, zarówno przy kluczowych arteriach, jak i nowo powstałych ulicach. Ponadto, warto zwrócić uwagę na specyfikę w jakiej przyszło nam użytkować drogi w Polsce: w pierwszej kolejności powstały budynki użyteczności publicznej i domy mieszkalne, później w ogromnym tempie przybywała liczba samochodów zarówno osobowych jak i transportowych, a dopiero niejako pod koniec tego procesu zostały odpowiednio zaplanowane i wybudowane kluczowe dla kraju inwestycje drogowe, na których prowadzone są regularne pomiary hałasu drogowego [7-10]. Z tego względu czasem stawiany zarzut niekontrolowanego budowania ekranów akustycznych jest w wielu przypadkach nieuprawniony, natomiast należy przyznać, że dawniej tego typu inwestycje często powstawały w oparciu o błędne założenia. Również część z nich jest nie właściwie zaprojektowana [11-13].

¹ Zakład Botaniki i Fizjologii Roślin, Instytut Biologii Roślin i Biotechnologii, Wydział Biotechnologii i Ogrodnictwa, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Al. 29 listopada 54, 31-425 Kraków, e-mail: k.stromczynska@gmail.com

² e.hanus@ogr.ur.krakow.pl, Zakład Botaniki i Fizjologii Roślin, Instytut Biologii Roślin i Biotechnologii, Wydział Biotechnologii i Ogrodnictwa, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

³ P.B.TECHBUD S.J., ul. Cementowa 1, 31-983 Kraków, e-mail: biuro@techbud.com.pl

Ten stan rzeczy utrzymywał się do września 2012 roku, kiedy to ponownie Ministerstwo Ochrony Środowiska zmieniło przepisy. Wówczas podniesiono dopuszczalne poziomy hałasu, sankcjonując tym samym zanieczyszczenie hałasem w pobliżu dróg komunikacyjnych, pomimo iż zmiany te nie dotyczyły dopuszczalnego hałasu generowanego przez przemysł i podmioty gospodarcze [11, 14]. W tych przypadkach pozostawiono normy na poprzednich poziomach. Niejako „dzięki tym zmianom” z pierwotnych projektów komunikacyjnych usunięto do 80% zakładanych uprzednio ekranów akustycznych. Skutkiem tego były (i nadal trwają) masowe protesty mieszkańców, gdyż nie mogą się oni pogodzić się z poziomem decybeli, na które są narażeni zgodnie z aktualnymi przepisami. Jako przykład może posłużyć oddana w lipcu 2016 roku obwodnica miasta Łodzi w ciągu autostrady A-1, gdzie wskutek działań mieszkańców Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad zmuszona była do przeprowadzenia powtórnych badań środowiskowych. Wszystko wskazuje na to, że w niedługim czasie będą na tym odcinku autostrady posadowione nowe ekrany akustyczne. Ponadto, w roku 2016 została powołana specjalna grupa specjalistów działających na zlecenie Ministra Ochrony Środowiska. Postawione im zadanie polega na opracowaniu nowych, bardziej praktycznych norm, biorących pod uwagę zróżnicowanie dopuszczalnego hałasu w zależności od poszczególnych typów dróg, a także od czasu ich powstawania. Zakłada się, że nowo projektowane i budowane odcinki autostrad i dróg szybkiego ruchu miałyby znacznie ostrzejsze normy i tereny znajdujące się w ich pobliżu będą wymagały większej ochrony. Rozwiązania tego typu stosują już między innymi Niemcy i Austria. Należy podkreślić, że ekrany akustyczne stosowane obecnie nie tylko w Polsce, lecz także w Europie i na innych kontynentach są nadal skuteczną, a jednocześnie najtańszą formą ochrony środowiska przed hałasem pomimo że istnieją również inne, droższe rozwiązania. Prawdłowo zaprojektowany i wykonany ekran akustyczny może obniżyć poziom hałasu do 14 dB [15]. Obecnie na terytorium Polski znajduje się, według szacunków, od 10 do 12 milionów metrów kwadratowych ekranów akustycznych, które wykonane były przy drogach, drogach kolejowych, zakładach przemysłowych i jako infrastruktura miejska. Biorąc pod uwagę fakt, że elementy te są obustronne można mówić o powierzchni ponad 20 mln m².

2. Podział i rodzaje ekranów akustycznych

Wyróżnia się dwa podstawowe typy ekranów: (a) ekrany pochłaniająco-rozpraszające, czyli posiadające klasę pochłaniałości minimum A2 (min. $DL_a \geq 4\text{dB}$) (szacunkowo jest ich 90%), (b) ekrany odbijające (przeziernie) wykonane ze szkła akrylowego lub mineralnego (szacunkowo jest ich 10%). Ekrany pochłaniająco-rozpraszające będące w zdecydowanej większości

w swojej konstrukcji posiadają panele akustyczne wykonane z wielu różnych materiałów. Najpopularniejszym z nich jest wełna mineralna, która stanowi bazę akustyczną w panelach zbudowanych na bazie ocynkowanych profili aluminiowych (panel typu „zielona ściana”). Wełna mineralna stanowi również wypełnienie paneli wykonanych jako kasety ze stali ocynkowanej, perforowanego aluminium, PCV i drewna. Drugą grupą paneli o dużej izolacyjności (B4 – izolacyjność powyżej 34 dB), jak również wysokiej pochłaniałości (klasa A3 lub A4, od 8 do 12 dB) a przede wszystkim znacznie większej trwałości są panele na bazie płyt żelbetowych lub strunobetonowych posiadających powierzchnie akustycznie czynną wykonaną z trocinobetonu bądź tak zwanego zrębkobetonu lub keramzytobetonu [16]. Nie istnieją dane statystyczne dotyczące procentu powierzchni wszystkich ekranów w Polsce porośniętych roślinami, ale na podstawie obserwacji wszystkich głównych realizacji można założyć, że jest to poniżej 1%. Jest to dziwna sytuacja, bowiem właśnie najbardziej popularny panel typu „zielona ściana” powstał (w 1990 r. w Danii) z myślą o stworzeniu miejsca wzrostu roślin. Możemy zatem stwierdzić, że przy wszystkich drogach montowano i wciąż montuje się niejako „półprodukt”. W wielu przypadkach projekt wykonawczy ekranów akustycznych w ogóle nie zawiera informacji dotyczącej konieczności nasadzenia roślin, a jeśli się tak informacja pojawia, wówczas w bardzo lapidarny sposób obliuguje do „obsadzania roślinnością pnącą”, podając kilka łacińskich nazw. Jednak projekty nie zawierają danych dotyczących miejsc nasadzeń, uzależnionych od usytuowania terenu względem stron świata, a także ich położenia w stosunku do pasa drogi (np. przeciwskarpy). Analizując aktualny stan materiału roślinnego przy ekranach akustycznych należy przede wszystkim zwrócić uwagę na następujące aspekty: (1) ekrany typu „zielona ściana” są najmniej trwałym produktem nieodpornym na intensywne promienie UV, łatwo ulegają zapłonowi i są palne. Pomimo teoretycznie odpowiedniej budowy tego typu paneli rośliny pnące są spotykane niemal wyłącznie w obszarach miejskich, czego dobry przykład stanowi Rzeszów. (2) Stosunkowo największą powierzchnię rośliny pnące zajmują na ekranach betonowych z akustycznie czynną powierzchnią z trocinobetonu lub im podobnych. Najstarsze ekrany tego typu powstały w 1996 roku i ich stan techniczny jest ciągle dobry, parametry akustyczne ze względu na specyfikę materiału nie uległy pogorszeniu, a rośliny prezentują się na nich znakomicie. Żywotność takich konstrukcji przewidziana jest na minimum 30 lat. (3) Praktycznie nie udało się nasadzenia na panelach aluminiowych, stalowych oraz z tworzyw sztucznych. Zbyt gładka powierzchnia, a także tendencja do nagrzewania się tych powierzchni eksponowanych na południe i południowy zachód są główną przyczyną braku sukcesów w tym zakresie. (4) Panele drewniane, które stanowiły powierzchnie do wzrostu roślin zostały już wymienione na

nowe, więc rosnące na nich uprzednio pnącza uległy zniszczeniu. Ponadto ze względu na małą żywotność i palność nie stosuje się już tych wypełnień na inwestycjach GDDKiA oraz PKP. (4) Biorąc pod uwagę niewielkie lecz bardzo udane nasadzenia, coraz częściej pojawiają się próby wykorzystania tych powierzchni jako stanowisk dla pnączy. Takim stanem rzeczy wyraźnie zainteresowane są przede wszystkim władze samorządowe. (5) Na przykładzie realizacji w państwach o zbliżonych warunkach klimatycznych, takich jak Austria, Niemcy czy Czechy można zauważyć, że najczęściej powierzchnią ekranów akustycznych wykorzystywaną przez pnącza jest akustycznie czynna powierzchnia paneli betonowych (drewnobeton, trocinobeton, żrębkbetonu, beton kruszywowy, keramzytobeton).

3. Charakterystyka roślin pnących

Pnącza (liany, od franc. *lier*, z łac. *ligare* – wiązać, łączyć) są to rośliny naczyniowe, zielne lub zdrewniałe, których, cienkie i elastyczne łodygi o wydłużonych międzywęźlach mogą osiągnąć znaczne wysokości za pomocą czepiania się lub owijania wokół podpór. Dzięki oszczędności na przyroście pędu na grubość bardzo szybko rosną na długość. Korzystając z otaczających podpór, nie muszą tworzyć grubych i sztywnych pni jak to jest w przypadku roślin drzewiastych, a masę organiczną mogą przeznaczyć na powstawanie długich przyrostów rocznych, co pozwala im rosnąć bardzo dynamicznie, czasami nawet kilka metrów w ciągu jednego roku [17-19].

W wielu regionach świata występują dziko rosnące pnącza, jednak ponad 90% ogólnej liczby roślin pnących występuje w strefie międzyzwrotnikowej, a ich zdrewniałe pędy zwane są lianami. Im bliżej biegunów, tym ich liczba spada, a w krajach podbiegunowych nie występują. Z około 2200 znanych gatunków w naszej strefie klimatycznej zastosowanie znajduje jedynie około 200 [23], ponieważ możemy uprawiać jedynie te gatunki i odmiany, które wytrzymują dość mroźne zimy. Naturalne warunki siedliskowe tej grupy roślin mają duży wpływ na ich wymagania, dlatego znajomość miejsca pochodzenia jest niezwykle ważna [18, 22]. W Polsce jako rodzime gatunki występują: bluszcz pospolity (*Hedera helix*), powojnik alpejski (*Clematis alpina*), powojnik pnący (*Clematis alpina*) i wiciokrzew pomorski (*Lonicera periclymenum*). Należy jednak wspomnieć, że w strefie umiarkowanej półkuli północnej samych powojników znanych jest około 230 gatunków [22]. Pnącza, podobnie jak inne rośliny, w zależności od długości życia można podzielić na monokarpiczne (jednoroczne i dwuletnie) oraz rosnące jako typowe rośliny polikarpiczne pnącza wieloletnie o łodygach zielnych bądź zdrewniałych. Przykładem pnączy jednorocznych mogą być groszek pachnący, nasturcja większa czy fasola wielkokwiatowa, które w naszej strefie klimatycznej w ciągu sezonu wegetacyjnego kiełkują, kwitną, owocują i obumierają. Wyróżniamy dwie grupy pnączy wieloletnich: pnącza

bylinowe (chmiel, powojniki z Grupy *Integrifolia* i Grupy *Heracleifolia* których część nadziemna corocznie zamiera, a wiosną z części podziemnej wyrastają młode pędy) i inne pnącza czasem określane jako drzewiaste [18-22].

4. Zastosowanie pnączy

Rośliny pnące stanowią niezmiernie wartościową grupę użytkową. W przypadku zapewnienia jedynie niewielkiej ilości podłoża są w stanie opanować pionowe powierzchnie, które dla pozostałych roślin często są nieosiągalne. Dodatkowo, ich plastyczne pędy z łatwością dostosowują się do kształtów pokrywanych podpór, a szybki wzrost sprawia, że w bardzo krótkim czasie są w stanie wytworzyć dużą ilość zielonej masy [17-19]. Borowski [20] podaje, że jeden, duży winobluszcz pięciolistkowy, który zajmuje jedynie około 0,5 m² powierzchni gruntu, jest w stanie w okresie wegetacji wytworzyć do 2600 m² listowia, co odpowiada powierzchni siedmiu lip o średnicy korony 10 m i pokrywa ponad 500 m² powierzchni ściany. Właśnie dzięki tej właściwości pnącza mogą być wykorzystywane wszędzie tam, gdzie brakuje miejsca na inne rośliny. Ich rola w silnie zabudowanych miastach zaczyna być coraz większa. W przeciągu trzech, czterech lat po posadzeniu wiele gatunków może osiągnąć znaczne rozmiary. Roczne przyrosty pędów w czasie jednego sezonu wegetacyjnego wynoszą od jednego do kilku metrów. Najsilniejszym pnączem naszego klimatu jest rdestówka Auberta (*Fallopia aubertii*), której roczne przyrosty wynoszą 6 m wysokości [24]. Większość pnączy dobrze rośnie na stanowiskach półcienistych, co daje duże możliwości stosowania ich w warunkach miejskich, gdzie często wysokie budynki silnie ograniczają docieranie światła słonecznego do aparatu asymilacyjnego. Rośliny pnące mogą być wykorzystywane w celach dekoracyjnych oraz w celach maskujących nieestetyczne części gospodarcze, takie jak kosze na śmieci czy słupy telegraficzne. Doskonale sprawdzą się jako rośliny pokrywające stare mury, pnie drzew, ściany budynków czy jako rośliny zadarniające cieniste miejsca, w których założenie trawnika jest utrudnione. Dodatkowo tworzą osłony od wiatru, kurzu i słońca poprawiając miejski mikroklimat. Pnącza podobnie jak i inne rośliny, pochłaniają dwutlenek węgla i w wyniku procesu fotosyntezy produkują tlen niezbędny człowiekowi do życia [18,19]. Coraz częściej zwraca się również uwagę na ich właściwości remediacyjne. Fitoremediacja to specjalna technologia, w której stosujemy rośliny w celu oczyszczania gleb, wód powierzchniowych i gruntowych, osadów ściekowych oraz powietrza. W przypadku aglomeracji miejskich fitoremediacja umożliwia poprawę jakości powietrza. Jednym z najbardziej niebezpiecznych zanieczyszczeń wpływających niekorzystnie na samopoczucie, zdrowie i życie człowieka są mikropyły (ang. particular matters, PM), które stanowią

mieszanie stałych i ciekłych substancji pochodzenia organicznego i mineralnego. W zależności od pochodzenia wyróżniamy dwa rodzaje PM – naturalne i antropogeniczne. Pierwsze powstają w wyniku aktywności wulkanicznej, pożarów i burz pyłowych. Drugie natomiast są efektem działalności człowieka i są związane z niepełnym spalaniem paliw, ścieraniem nawierzchni dróg i opon oraz z działalnością przemysłową [26, 27]. W badaniach dotyczących akumulacji mikropyłów na powierzchni krzewów i pnączy wykazano, że winobluszcz pięciolistkowy i winobluszcz trójklapowy są w stanie akumulować ilości PM nie odbiegające znacząco od roślin charakteryzujących się największymi właściwościami fitoremediacyjnymi (oliwnik wąskolistny, cis pospolity). Należy jednak wspomnieć, że wymienione gatunki krzewów należą do roślin wolno rosnących, natomiast pnącza są w stanie w krótkim czasie wytworzyć ogromną powierzchnię zdolną do akumulacji PM i innych zanieczyszczeń. Jest to szczególnie ważne w miastach gdzie roślinność jest wypierana, a zielone ściany mogą stanowić ciekawą alternatywę [28]. Ponadto pnącza powinny być wykorzystywane w celu obsadzania barier akustycznych wzdłuż ciągów komunikacyjnych. Rozpostarte na ekranach wydają wspomagać ich dźwiękochłonne właściwości zarówno poprzez pochłanianie, jak i rozpraszanie fal dźwiękowych. W estetyczny sposób wkomponowują duże pionowe płaszczyzny ekranów w krajobraz. Ponadto intensywny ruch samochodowy powoduje zapylenie i zanieczyszczenie powietrza oraz podnosi stężenie soli w glebie. Pnącza są w stanie tolerować tak trudne warunki [29].

5. Dobór pnączy na ekrany akustyczne

Aby rośliny pnące mogły być z powodzeniem stosowane jako materiał na ekrany akustyczne, należy bardzo precyzyjnie dobrać gatunki uwzględniając szereg czynników środowiskowych. Istotą rolę odgrywa ekspozycja ekranu. Zakładając wystawę południową, gdzie przez większość dnia panuje silne nasłonecznienie oraz wysoka temperatura, wówczas do roślin, które najlepiej poradzą sobie w takich warunkach zalicza się winorośl pachnąca (*Vitis riparia*), powojniki (*Clematis*) z grupy Tangutica i Vitalba, dławisz okrągłolistny (*Celastrus orbiculatus*), rdestówka Auberta (*Fallopia baldschuanica*), milin amerykański (*Campsis radicans*) lub winobluszcz pięciolistkowy (*Parthenocissus quinquefolia*). Natomiast do miejsc zacienionych zlokalizowanych od strony północnej poleca się zimozielony bluszcz pospolity (*Hedera helix*), winobluszcz pięciolistkowy (*Parthenocissus quinquefolia*) czy też dławisz okrągłolistny (*Celastrus orbiculatus*).

Umieszczenie ekranu akustycznego ma również bezpośredni związek z wilgotnością podłoża. Zdarza się, że ekrany akustyczne stawiane są

w miejscach już istniejących ciągów komunikacyjnych. W takich sytuacjach brakuje przestrzeni na wprowadzenie roślin. Ten problem „rozwiązują pnącza”, które jak już wspomniano potrzebują niewiele miejsca aby móc prawidłowo się rozwijać ale warunki glebowe, w których rosną często nie są najlepsze. W zależności od umiejscowienia inwestycji, wzdłuż której prowadzone są ekrany teren pod rośliny może być suchy, wilgotny oraz z dużą ilością kamieni i budowlanego gruzu. W miejscach charakteryzujących się intensywnym przesuszaniem podłoża najlepiej sprawdzą się takie gatunki jak dławisz okrągłolistny, winorośl pachnąca i winobluszcz pięciolistkowy. Jeżeli natomiast teren pod ekranem jest bardzo wilgotny to zaleca się posadzenie bluszczu pospolitego (*H. helix*) i chmielu zwyczajnego (*Humulus lupulus*). Jak podaje Trzaskowska [25] pewne pnącza są roślinami, które osuszają glebę gdyż ich system korzeniowy działa na zasadzie pompy ssącej czerpiącej wodę z otoczenia. Informacja ta może być bardzo przydatna, jeżeli ekrany znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie domostw na terenie których gospodarka wodna jest zaburzona i gdzie dochodzi do zawilgocenia fundamentów. Kolejną ważną cechą, którą należy uwzględnić podczas doboru gatunkowego jest tolerancja roślin na stres zasolenia. Pnącza rosnące wzdłuż jezdni narażone są na działanie chlorku sodu stosowanego do zimowego odśnieżania ulic. Jego działanie przyczynia się do powstawania licznych uszkodzeń na liściach, pędach oraz pąkach, które skutkują zamieraniem roślin [23]. Koziera i Ozga [30] badając tolerancję na zasolenie udowodnili, że gatunkiem wykazującym pewną odporność na podwyższone stężenie soli w podłożu jest rdestówka Auberta. Natomiast Marczyński [29] podaje, że najbardziej tolerancyjnym pnączem na stres zasolenia jest winorośl pachnąca (*Vitis riparia*), podczas gdy Borowski [31] wspomina o winobluszczu pięciolistkowym, powojniku pnącym i dławiszu okrągłolistnym. Odnosnie tego tematu brakuje jednak wnikliwych badań więc niejednokrotnie trzeba opierać się na obserwacjach użytego materiału roślinnego.

Nie wolno także zapominać o typie wspinania, bo to on decyduje o wyborze rodzaju konstrukcji podporowej i jej zamocowaniu do ekranu. Pnącza dzielimy na trzy podstawowe grupy: owijające się, samoczepne i prymitywne. Pierwsza z nich są to rośliny, u których proces wspinania się zachodzi dzięki owijaniu organów (pędów, ogonków liściowych, wąsów) wokół elementów podpory. Pędy mogą wykonywać powolne ruchy rotacyjne w sposób prawoskrętny (linia spiralna pędu przebiega z lewej strony na prawą) lub lewoskrętny (linia spiralna pędu przebiega z prawej strony na lewą). Część pnączy przymocowuje się do podpór przy pomocy ogonków liściowych lub szypulek kwiatowych. Mogą również wykształcać wąsy czepne, a ich długość uzależniona jest od gatunku. Na końcach rozdławiają się, wykonują powolne ruchy i są wrażliwe na bodźce mechaniczne. We

wszystkich wymienionych przypadkach organ czepny po zetknięciu z podporą, owija się wokół niej i przyciąga pęd za sobą. Tak zwane pnącza samoczepne są to rośliny u których proces łączenia się z podporą zachodzi za pomocą specjalnych organów czepnych. Mogą to być przyłgi, dzięki którym roślina jest w stanie silnie przywrzeć do powierzchni (na zasadzie przyssawki) albo korzenie przybyszowe wyrastające na pędach od strony podpory w warunkach zacienienia i wilgotnego powietrza. Jest to grupa pnączy dla których najlepszymi podporami są elewacje o chropowatej powierzchni, kamienne mury, a nawet pnie drzew. Osobną grupę stanowią pnącza prymitywne, które nie wykształcają organów czepnych. Wznoszą się do góry wykorzystując sąsiedztwo innych roślin albo opierając swoje wiotkie pędy o najbliższe dostępne podpory [19, 21, 32].

6. Podsumowanie

Ekrany akustyczne stanowią ważny element we współczesnej infrastrukturze drogowej. Zwłaszcza w miastach, w których poziom hałasu drastycznie wzrasta stają się jednym z głównych narzędzi w walce z jego ograniczaniem. Aby wzmocnić ich działanie akustyczne, a równocześnie umożliwić wkomponowanie pionowej powierzchni w krajobraz, niezbędne jest obsadzenie ich roślinami. W tym celu najlepiej sprawdzą się pnącza, które dzięki swoim licznym zaletom nie tylko zmniejszą monotonię ciągnących się kilometrów ekranów, jak również wydatnie przyczynią się do poprawy jakości powietrza. Z punktu widzenia produkcji szkółkarskiej jest to jedna z najtańszych grup roślin, która w krótkim czasie jest w stanie pokryć powierzchnię ekranów. Różnorodność gatunków pod względem kształtów liści, kolorów kwiatów, owoców oraz jesiennych przebarwień pozwala na swobodę w komponowaniu nasadzeń i szybkiego uzyskania kompozycji przypominających wyszukane ogrody wertykalne.

Literatura

1. PN-EN 1793-2 Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Metoda badania w celu wyznaczenia właściwości akustycznych. Część 2: *Właściwa charakterystyka izolacyjności od dźwięków powietrznych*.
2. PN-EN 1793-3 Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Metoda badania w celu wyznaczenia właściwości akustycznych. Część 3: *Znormalizowane widmo hałasu drogowego*.
3. PN-EN 1794-1 Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Wymagania poza-akustyczne. Część 1: *Właściwości mechaniczne i stateczność*.
4. PN-EN 1794-2 PN-EN 1794-2 Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Wymagania poza-akustyczne. Część 2: *Ogólne bezpieczeństwo i wymagania ekologiczne*.
5. Magazyn Autostrady. *Budownictwo drogowo-mostowe. Bariery ochronne i dźwiękochłonne*. Nr 10, (2013).
6. Magazyn Autostrady. *Budownictwo drogowo-mostowe. Hałas drogowy*. Nr 7, (2015).

7. Magazyn Autostrady. *Budownictwo drogowo-mostowe. Hałas drogowy*. Nr 7, (2016).
8. Magazyn Autostrady. *Budownictwo drogowo-mostowe. Ekrany akustyczne*. Nr 7, (2014).
9. Kaczmarek T., Kokowski P., Pękała P. *Pomiar izolacyjności akustycznej ekranów przeciwhałasowych*. Drogi lądowe, Powietrzne, Wodne, Nr 7-8, (2011), s. 28-39.
10. Kutrzyk-Nykiel A., Filipczyk J. *Wpływ ukształtowania terenu na poziom hałasu komunikacyjnego w pobliżu autostrady A4 na odcinku Katowice - Ruda Śląska*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, Z 68, (2010), s. 91-100.
11. Gardzielczyk W. *Wybrane problemy ochrony przed hałasem drogowym*. Inżynieria Ekologiczna 45, (2015), s. 82-88.
12. Bohatkiewicz J., Biernacki S. *Aktualne problemy związane z hałasem drogowym*. [w:] *Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej*. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, (2011), s. 38-47.
13. Wyrwas P., Szyguła A. *Ekrany akustyczne – zasady projektowania i kryteria doboru*. [w:] IV Ogólnopolska Konferencja Mostowców - Konstrukcja i Wyposażenie Mostów, Wisła, 12-14 października 2005, s. 271-280.
14. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1.10.2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. (Dz. U. z 2012 r. poz. 1109).
15. Wolniewicz K., Zagubień A. *Zasadność ekranowania dróg w świetle obowiązujących poziomów dopuszczalnych hałasu*. Ekologia i Bezpieczeństwo, Autobusy 8, 2016, s. 54-57.
16. Engel Z. *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasami*. Wyd. Naukowe PWN, 2001.
17. Borowski J., Latocha P. *Zastosowanie roślin pnących i okrywowych*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
18. Marczyński Sz. *Clematis i inne pnącza ogrodowe. Kompendium wiedzy o pnączach*. Multico Oficyna Wydawnicza, 2011.
19. Frazik-Adamczyk M. *Ogrodowe pnącza*. Wydawnictwo Działkowiec, 2004.
20. Borowski J. *Pnącza z rodzaju winobluszcz (Parthenocissus Planch.) w warunkach miejskich*, Rocznik Dendrologiczny, 44 (1996), s. 49-65.
21. Jackiewicz B., Borowski J. *Rośliny pnące na budowach zabytkowych*, Ochrona Zabytków, 51/4 (203), 1998, s. 402-417.
22. Mieczyska I. *Pnącza dla Krakowa*, [w:] *Materiały pomocnicze dla Projektu MIASTO-OGRÓD*, 1998.
23. Borowski J., Latocha P. *Dobór drzew i krzewów do warunków przyulicznych Warszawy i miast centralnej Polski*, Rocznik Dendrologiczny, 54 (2006), s. 83-93.
24. Marczyński Sz. *Katalog roślin drzewa, krzewy, byliny*, Agencja Promocji Zieleni, 2011, s. 2013-230
25. Trzaskowska E. *Wykorzystanie roślin w projektowaniu architektonicznym (pnącza, ogrody wertykalne)*, Teka. Kom. Arch. Urb. Stud. Krajobr., - OL PAN, 2010, s. 110-121.
26. Bakker M. I., Vorenhout M., Sijm, D. T., Kollöffel C., *Dry deposition of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in three Plantago species*. Environmental Toxicology and Chemistry 18, 1999, s. 2289-2294.

27. KauppH., Blumenstock M., McLachlan M. S. *Retention and mobility of atmospheric particle-associated organic pollutant PCDD/Fs and PAHs in maize leaves*. New Phytologist, 148(3), (2000), s. 473-480.
28. Popek R., Gawrońska H., Gawroński S. W. *Zdolność krzewów do akumulacji mikropylów z powietrza*, Nauka Przyroda Technologie, 5(6), (2011).
29. Marczyński Sz. *Pnącza w zieleni miejskiej i przy drogach*, Clematis Źródło Dobrych Pnączy, 2016.
30. Koziara Z., Ozga L. *Ocena przydatności wybranych gatunków pnączy uprawianych w warunkach stresu solnego*. Annales Universitatis Mariae Curie – Skłodowska Lublin – Polonia, XXII(1), (2012).
31. Borowski J. *Dobór drzew, krzewów i pnączy do szczególnie trudnych warunków miejskich*. Referat wygłoszony w czasie seminarium Miasto w zieleni – wyższa jakość życia na 5, 2012.
32. Seneta W. *Dendrologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.

Ekrany akustyczne jako potencjalne ogrody wertykalne

Instalacja ekranów akustycznych jest skutecznym sposobem ograniczania propagacji fal dźwiękowych generowanych przez intensywny ruch pojazdów kołowych, a stosowane w nich panele są wykonane z różnego typu materiałów. W pracy omówiono obecnie stosowane rozwiązania techniczne w aspekcie możliwości użycia roślin pnących w celu powiększania powierzchni wertykalnych charakteryzujących się wysokimi walorami dekoracyjnymi i lepszą wydajnością akustyczną. Jednocześnie zwrócono uwagę na ważne znaczenie środowiskowe tak nietypowo w przestrzeni rozmieszczonych ogrodów.

Słowa kluczowe: powierzchnia biologicznie czynna, drogowy transport kołowy, ograniczenie hałasu

Acoustic screens as potential vertical gardens

The screening of road investments is treated as efficient approach to hold down the spreading of sonic environment generated by excessive traffic. The noise barriers which efficiently mitigate road traffic noise are made from different materials. In this article there are presented actual technique solutions, particularly in the aspect of possible applying there climbers in order to enlarge the vertical area characterized by highly valued acoustic and aesthetic and functions. At the same time it have been considered the important environmental significance of such gardens, rather unusually arranged in the city space.

Keywords: biologically active area, road transport, reducing the noise level

Modelowanie parametryczne w projektowaniu geometrii korytarza trasy drogowej

1. Wprowadzenie

W dzisiejszych realiach główną rolą geodety przy obsłudze inwestycji jest wyniesienie obiektu w teren. Do przygotowania danych koniecznych do realizacji tego zadania wymagane jest odtworzenie projektu z dokumentacji projektowej otrzymanej od projektanta. Dzieje się tak z powodu tego, że aktualnie dokumentacja zostaje przekazywana w formie rysunków 2D generowanych na podstawie oryginalnego modelu, na jakim pracował projektant. Odtwarzanie modelu 3D obiektu ma na celu ułatwienie przygotowywania danych i kontrolę ich spójności. Podejście to powoduje niepotrzebne powtórzenie nakładu prac oraz potencjalną utratę danych. Gdyby proces BIM został wprowadzony w życie, odtwarzanie projektu nie byłoby potrzebne.

2. BIM

Coraz bardziej popularnym pojęciem w branży budowlanej jest BIM (*Building Information Modeling*). Upowszechnianie modelu związane jest chęcią poprawy produktywności oraz zmniejszenia kosztów procesu budowy. BIM z definicji jest całościowym podejściem do procesu budowlanego poprzez zastosowanie trójwymiarowego modelu inwestycji, który dostępny jest dla wszystkich zaangażowanych branż, inwestora i docelowo zarządcę. Model taki pozwala na zapisanie nie tylko geometrii, ale również informacji o elementach, jak na przykład rodzaj materiału, jego koszt i parametry. Aby to było możliwe potrzebny jest wspólny model wymiany danych.

Organizacją zajmującą się tworzeniem standardów w zakresie BIM jest buildingSMART. Opracowała ona otwarty model danych znany pod nazwą Industry Foundation Class (*IFC*). Jego zadaniem jest m.in. poprawa interoperacyjności w branży AEC (*Architecture, Engineering and Construction*) Obecnie prowadzone są prace nad stworzeniem modelu

¹ jsiwiec@agh.edu.pl, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, <http://www.agh.edu.pl/>

AGH University of Science and Technology, Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering, Cracow, Mickiewicza 30, Poland

umożliwiającego opisanie obiektów infrastruktury (*IFC Alignment*) takich jak drogi (*IFC Road*), mosty (*IFC Bridge*) i tunele (*IFC Tunnels*) [1,2].

BIM oparty jest na modelowaniu parametrycznym, w którym tworzenie i edycja elementów i ich właściwości dokonuje się za pomocą hierarchii parametrów zewnętrznych na poziomie pojedynczego elementu lub grupy elementów (tzw. zespołu – *assembly*) [3]. Parametry te mogą mieć stałe wartości lub być uzależnione od innych parametrów bądź elementów. Definiować mogą one na przykład szerokość drogi, grubość warstwy nawierzchni czy szerokość pobocza. Przewagą modelowania parametrycznego nad zwykłym modelowaniem CAD jest możliwość reagowania na pojawiające się zmiany oraz możliwość tworzenia interaktywnych struktur zależności obiektów.

Treścią niniejszego opracowania jest wykorzystanie modelowania parametrycznego do odtworzenia projektu inwestycji, w sposób nawiązujący do idei interaktywnego modelu BIM.

3. Cele i wymagania

Celem projektu była automatyzacja prac związanych z odtworzeniem przestrzennej geometrii drogi wojewódzkiej oraz obsługujących ją dróg serwisowych. Stworzenie ciągłego modelu 3D służyło możliwości generowania danych z dowolną dokładnością niezależnie od częstotliwości pikiet, co nie jest możliwe przy użyciu wyłącznie danych projektowych. Szczegółowy model korytarza trasy i jego powierzchnie 3D pozwalają zaś na wykorzystanie w nowoczesnych maszynach do robót ziemnych. Gęsty jednolity model umożliwi również dokładne odwzorowanie miejsc zmiennej geometrii elementów drogi, uwzględniając poszerzenia czy łuki.

4. Przedmiot badań

Przedmiotem opracowania była inwestycja budowy obwodnicy miasta Myszków w województwie śląskim, w powiecie myszkowskim, budowanej na podstawie wydanej decyzji o zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej (ZRID). Projektowana droga stanowi część trasy drogi wojewódzkiej DW 791 na linii Trzebinia – Kolonia Poczesna. Projektowana inwestycja obejmowała budowę nowego odcinka drogi o 8 km 402m wraz z przebudową istniejącej infrastruktury technicznej i komunikacyjnej. Dodatkowo obejmowała budowę dróg towarzyszących (poprzecznych oraz serwisowych) na obszarze niezbędnego terenu robót budowlanych.

4.1. Dane wejściowe:

Do wyniesienia obiektu w teren wykorzystano dane projektowe udostępnione publicznie w postaci załączników przetargu publicznego. Wykorzystane dane miały postać rysunków CAD w formacie DWG.

W opracowaniu wykorzystano:

- Plan sytuacyjny, obejmujący opis położenia drogi w planie – zawierający informacje o współrzędnych wierzchołków załamań trasy, dane o parametrach odcinków krzywoliniowych – długości, stałe kłotoid oraz promienie łuków kołowych oraz pikietaż punktów charakterystycznych trasy. W opracowaniu do odtworzenia trasy w przestrzeni konieczne również były linie charakterystyczne drogi z rysunków projektowych opisujących konstrukcję elementów trasy w planie – linie krawędzi jezdni, poboczy, dna rowów, półki wzmacniającej nasyp, drenażu i innych.

- Profil trasy wzdłuż osi drogi, odniesiony do kilometrażu trasy. Wśród wykorzystanych danych znalazły się rzędne oraz kilometraż punktów załamania niwelety, nachylenia odcinków prostoliniowych i parametry (promień i długość) łuków pionowych. Dla odcinków trasy, na których projektowano elementy rowów oraz drenaż, odczytano dane ich profili w formie odcinków prostoliniowych i punktów załamań.

- Przekroje poprzeczne drogi rozmieszczone wzdłuż osi trasy w odstępach 20 m, opisujące projektowany wygląd docelowej geometrii korytarza drogowego, uwzględniające powierzchnię robót ziemnych oraz górną powierzchnię finalną.

- Numeryczny Model Terenu – powierzchnia wykorzystana w opracowaniu (tak zwany Teren Zero) została wykonana w oparciu o tak zwany Pomiar Zero, czyli pomiar aktualnego modelu powierzchni terenu na obszarze planowanych robót. W założeniu jest dokładniejszy i bardziej szczegółowy, a także bardziej aktualny od modelu terenu z MDCP (Mapy do celów projektowych), na bazie, której wykonuje się projekt, gdyż pomiaru dokonuje się po wstępnych robotach przygotowawczych, czyli odsłonięciu terenu – usunięciu drzew i krzewów. Pomiaru geodezyjne wykonano w technologiach RTK GPS w terenach otwartych oraz tachimetrycznie w terenie o zbytnim przysłonięciu horyzontu – wśród zabudowań oraz w lasach. Rozstaw pikiet pomiarów wysokościowych wynosił nie więcej niż 20 metrów w terenie płaskim, zaś w terenie o budowie nieregularnej pikiety rozkładano tak, by dokładnie oddać jego ukształtowanie.

5. Użyte narzędzia

Do opracowania algorytmów wykorzystano dwa programy komputerowe firmy Autodesk: Civil 3D oraz Subassembly Composer. Poniżej przedstawiono ich krótką charakterystykę.

5.1. Autodesk Civil3D 2013

Program Civil3D należy do rodziny oprogramowania CAD (Computer Aided Design). Służy zastosowaniom inżynierii lądowej oraz wodnej, a więc branży budowlanej oraz geodezyjnej.

W opracowaniu wykorzystano jego podstawowe elementy służące konstrukcji obiektów liniowych.

- Linia trasowania – podstawowy obiekt budujący obiekty liniowe, reprezentujący np. linie bazowe elementów, osie jezdni czy rurociągów. Jako ciągły obiekt może się składać z odcinków prostoliniowych oraz krzywych, jak łuki kołowe oraz krzywe przejściowe. Może stanowić obiekt nadrzędny dla profilu, przekrojów oraz obiektów korytarza.

- Profil – budowany na podstawie linii trasowania, służy projektowaniu pionowego przebiegu trasy lub przedstawieniu rzędnych powierzchni wzdłuż zadanej krzywej.

- Zespół – w środowisku Civil3D to obiekt tworzący szablon przekroju obiektu liniowego. Złożony jest z jednego lub większej liczby zależnych od siebie podzespołów, które z kolei budują konkretne elementy przekroju poprzecznego drogi. Możliwe jest stworzenie zespołu, który swoją konstrukcję oraz właściwości będzie uzależniał i dopasowywał do zdefiniowanych wcześniej parametrów oraz wskazanych zewnętrznych obiektów. Przedmiotem dalszej części opracowania jest koncepcja takiego zespołu.

- Korytarz – końcowy obiekt budujący trójwymiarową geometrię trasy drogowej. Bazuje na informacji o przebiegu trasy w planie (linia trasowania), profilu (niweleta trasy) oraz przekrojach. Powstaje poprzez wstawienie odpowiednio dopasowanego obiektu zespołu w kolejne pikiety wzdłuż linii trasowania na rzędnych określonych w wykresie profilu.

Obiekty linii trasowania oraz profilu są konstruowane w oparciu o te same zasady, jak będący jeszcze w trakcie opracowywania standard buildingSMART IFC Alignment.

5.2. Autodesk Subassembly Composer

Subassembly Composer jest programem umożliwiającym konstrukcję autorskich, niestandardowych podzespołów rozszerzających funkcjonalność zawartą w podstawowej wersji programu Civil3D. Podzespół utworzony oraz zapisany w Subassembly Composer można zaimportować do palet narzędzi programu Civil3D. Budowa obiektów odbywa się za pomocą konstrukcji schematów blokowych przepływu pracy, poprzez tak zwane programowanie blokowe.

5.2.1. Metodyka konstrukcji podzespołu

Pierwszym krokiem budowania podzespołu jest zdefiniowanie jego założeń - planowanych parametrów wejściowych oraz obiektów docelowych.

Sam obiekt tworzony jest poprzez umieszczanie w schemacie blokowym zawartych w oknie narzędzi elementów budujących geometrię oraz regulujących przepływ pracy. Geometrię przekroju budują bloczki punktów,

łącza oraz kształtów. Punkty tworzą podstawową strukturę przestrzenną drogi. Łąca spinają ze sobą dwa wskazane, utworzone punkty oraz definiują powierzchnie wynikowe. Zaś kształty definiowane poprzez otaczające je łąca służą tworzeniu obiektów przestrzennych w korytarzu (obliczenia objętości). Hierarchia bloków w schemacie oznacza wyłącznie kolejność wykonywania poleceń budujących elementy geometrii, nie musi oznaczać ich bezpośrednich zależności przestrzennych.

5.2.2. Interakcja z otoczeniem

W programie Subassembly rodzaje interakcji podzielić można na wewnętrzne oraz zewnętrzne. Wewnętrzny, spełniając założenia modelowania parametrycznego określa wzajemne zależności tworzonych elementów, warunki geometryczne (takie jak dociąganie do określonego punktu lub łąca, czy pobieranie długości łąca). Zewnętrzny określany jest poprzez parametry wejściowe oraz obiekty docelowe. Parametry wejściowe stanowią zestaw zdefiniowanych przez użytkownika zmiennych określonych typów (np. całkowite, zmiennoprzecinkowe lub procentowe), które można wykorzystać, jako parametr określonego elementu, np. szerokość i nachylenie jezdnii, które użytkownik może edytować z ponad poziomu gotowego elementu. Obiekty docelowe reprezentują obiekty charakterystyczne projektowanego obiektu liniowego. Jako obiekt docelowy można zdefiniować odsunięcie – czyli linię charakterystyczną w planie, obiekt wysokościowy – niweletę oraz powierzchnię 3D. Wskazanie danych obiektów podczas konstrukcji korytarza umożliwi odniesienie się do nich przez zespół poprzez dostosowanie się szerokości elementów oraz ich rzędnych.

5.2.3. Interfejs Programistyczny Aplikacji

W skrócie API (ang. *Application Programming Interface*) jest to zestaw procedur rozszerzających możliwości i funkcjonalność programu poprzez zapewnienie dostępu do wewnętrznych bibliotek funkcji, metod, baz danych lub interfejsu graficznego dzięki użyciu określonego języka programowania. W Subassembly Composer językiem obsługującym API jest Visual Basic platformy .NET. Język programowania wykorzystuje się do tworzenia wyrażeń matematycznych, zdań logicznych i warunków. Dzięki stosowaniu wyrażeń możliwe jest odnoszenie się elementów do danych o stanie i parametrach pozostałych części tworzonego zespołu w sposób niestandardowy. Wyrażenia mogą przyjmować wartość liczbową lub zmienną, co pozwala na zwiększenie możliwości budowy konstrukcji zespołu. Interfejs programistyczny pozwala na oprogramowanie i dostęp między innymi do danych punktów, łączy, przechyłek i obiektów docelowych.

5.2.4. Rozpoznawanie obecności elementu

Wśród danych udostępnianych przez interfejs programistyczny Subassembly Composer znajdują się między innymi metody sprawdzające obecność elementu docelowego. Przykładem takiej metody może być *Linia.IsValid()*, gdzie *Linia* jest zdefiniowaną nazwą obiektu odsunięcia. Funkcja ta zwraca binarną (logiczną) wartość Yes lub No, jednak wyłącznie w przypadku wskazania dowolnej linii w programie – przykład: wskazano daną linię, jako obiekt rowu. Metoda działa globalnie, a nie w konkretnym przekroju. W przypadku konieczności uwzględniania odmiennych opcji konstrukcji w zależności od elementów w planie konieczne jest zastosowanie grupy poleceń zmiennych i warunków.

W opracowaniu przyjęto następujący algorytm postępowania: Tworzony jest punkt pomocniczy o charakterystycznej wielkości odsunięcia, która nie występuje w projekcie. Punkтови wskazuje się sprawdzany obiekt docelowy. Następnie definiowane są zmienne logiczne o domyślnej wartości No – nie znaleziono obiektu. Po tym blok decyzyjny, „Jeżeli” sprawdza, czy zbudowany punkt znajduje się na odsunięciu domyślnym. Jeżeli wartość odsunięcia uległa zmianie, znaczy to, że na danym przekroju znaleziono odpowiednią linię, po czym następuje nadanie zmiennej logicznej wartości Yes, oznaczającej odnalezienie elementu. Dalsza konstrukcja wariantów może być regulowana przy wykorzystaniu wymienionej zmiennej.

6. Wstępna obróbka danych

Wstępne przygotowanie danych obejmowało odtworzenie przebiegu osi trasy w planie i profilu, jako elementów interaktywnych programu Civil3D. Z dokumentacji projektowej [6] odczytano współrzędne załamań osi trasy, parametry łuków i odcinków krzywoliniowych, dzięki czemu utworzono obiekt linii trasowania. Linię przeprowadzono przez wierzchołki trasy, po czym pomiędzy odcinki prostoliniowe wpasowano odpowiednie łuki kołowe wraz z krzywymi przejściowymi tak, by oddać projektowany przebieg trasy. By odtworzyć trasę w profilu utworzono wykres przekroju podłużnego o zakresach odpowiadających wykresowi z dokumentacji, po czym odczytano wierzchołki niwelety oraz parametry łuków pionowych. Dane wykorzystano do stworzenia obiektu profilu zależnego od linii trasowania. Analogicznie postąpiono dla pozostałych linii charakterystycznych: niwelety rowu i drenażu.

W celu bieżącej kontroli wykonywanych czynności oraz badania zgodności algorytmu z projektem, na podstawie linii trasowania utworzono regularne przekroje poprzeczne trasy, na które manualnie nałożono przekroje projektowane, przy zachowaniu zgodności rzędnej oraz kilometrażu.

7. Zaproponowany algorytm

W celu automatyzacji konstrukcji korytarza drogi zaproponowano utworzenie dwóch algorytmów odtwarzających geometrię przestrzenną tras. Poniżej przedstawiono założenia konstrukcji tworzonych zespołów oraz proces ich wykonania.

7.1. Przekrój drogi wojewódzkiej

7.1.1. Założenia

Zespół drogi wojewódzkiej powinien dostosowywać się do terenu, realizując warunek względnego położenia profilu trasy oraz zadanej powierzchni – warunek wykop/nasyp. Zespół miał interaktywnie dopasowywać szerokości elementów – nawierzchni – do projektowanych w planie krawędzi jezdni. Badaniu miała również podlegać obecność linii wymuszających budowę konkretnego wariantu przekroju – półki wzmacniającej nasyp oraz rowów, oznaczonych liniami wzdłuż trasy. Cały przekrój trasy składał się z niezależnych, bliźniaczo konstruowanych podzespołów.

7.1.2. Budowa zespołu

Podstawowe parametry zespołu zostały zdefiniowane w formie parametrów wejściowych (tabela 1). Umożliwią one edycję podzespołu, a co za tym idzie konstrukcji korytarza, z poziomu programu CAD. W ten sposób opisano szerokości półek wzmacniających, szerokości dna rowu, nachylenia skarp wykopu, nasypu i poboczy, a także grubość nawierzchni. Za pomocą zmiennych logicznych zdefiniowano parametry odpowiadające za konstrukcję opcjonalnych elementów przekroju.

Obiektami docelowymi (tabela 2) dla podzespołu były: powierzchnia terenu, linie odsunięcia rowu, półki, krawędzi drogi oraz krawędzi pobocza a także obiekt wysokościowy – niweleta rowu.

Tabela 1. Parametry wejściowe algorytmu drogi wojewódzkiej

Input/Output Parameters					
Name	Type	Direction	Default Value	DisplayName	Description
Side	Side	Input	Right		
Row_szer	Double	Input	0.5		
Humus	Yes/No	Input	No		
Parameter10	Double	Input	0		
Tycz_KRZ	Yes/No	Input	No		
Polka_szer	Double	Input	2		
Polka_nach	Slope	Input	-50.00:1		
Create parameter					
Packet Settings Input/Output Parameters Target Parameters Superelevation Event Viewer					

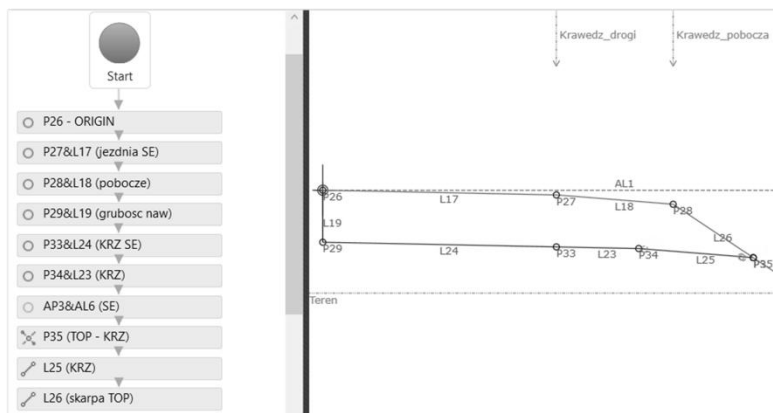
[opracowanie własne]

Tabela 2. Obiekty docelowe algorytmu drogi wojewódzkiej

Target Parameters			
Name	Type	Preview Value	DisplayName
Teren	Surface	-3	
Row_plinia	Offset	10	
Row	Elevation	-4	
Polka_plinia	Offset	8	
Krawedz_drogi	Offset	4	
Krawedz_pobocza	Offset	6	
Create parameter			
Packet Settings Input/Output Parameters Target Parameters Superelevation			

[opracowanie własne]

Korona drogi jest tworzona, jako pierwsza, niezależnie od późniejszych wariantów i warunków, a tworzą je nawierzchnia drogi oraz pobocze (P27 i P28, rysunek 1) oraz fragment powierzchni Korony Robót Ziemnych. Elementy zależą wyłącznie od obiektu docelowego odsunięcia krawędzi drogi i pobocza oraz przechyłki, którą gotowy podzespół będzie pobierał z linii trasowania w programie Civil3D.



Rysunek 1. Schemat blokowy korony drogi wojewódzkiej wraz z wizualizacją
[opracowanie własne]

Domyślna szerokość nawierzchni wynosi 3m, wartość ta jest jednak nadpisywana poprzez obiekt odsunięcia krawędzi drogi. Szerokość pobocza zależy od linii krawędzi pobocza w planie a nachylenie wynosi 8%. Dolna powierzchnia – centralna powierzchnia KRZ jest budowana poprzez obniżenie punktu osi trasy o wartość parametru grubości nawierzchni. Następnie budowane są 3 punkty wraz ze spinającymi je łączami. Pierwszy odcinek ma rozpiętość do linii krawędzi drogi, drugi przedłuża tę samą

przechyłkę na szerokości 1.41m zaś trzeci o nachyleniu o zwiększonym na zewnątrz biegnie aż do przecięcia z linią projektowanej skarpy o nachyleniu 1:1.5. Dla tego punktu będą sprawdzane kolejne warunki i do niego będzie się nawiązywać cała dalsza konstrukcja zespołu: skarpy oraz rów.

Następnie, zgodnie z podanym wcześniej algorytmem badany jest warunek obecności linii rowu oraz półki. Jako domyślną odległość odsunięcia dla punktów pomocniczych ulokowanych na szukanych liniach przyjęto 1000 m. W przypadku znalezienia linii jej odsunięcie (*offset*) zostanie przypisany do zmiennych odpowiednio *odl_od_rowu* oraz *odl_od_polki*, po czym odpowiednia zmienna logiczna *Jest_row* lub *Jest_polka* przyjmie wartości Yes – prawdziwe.

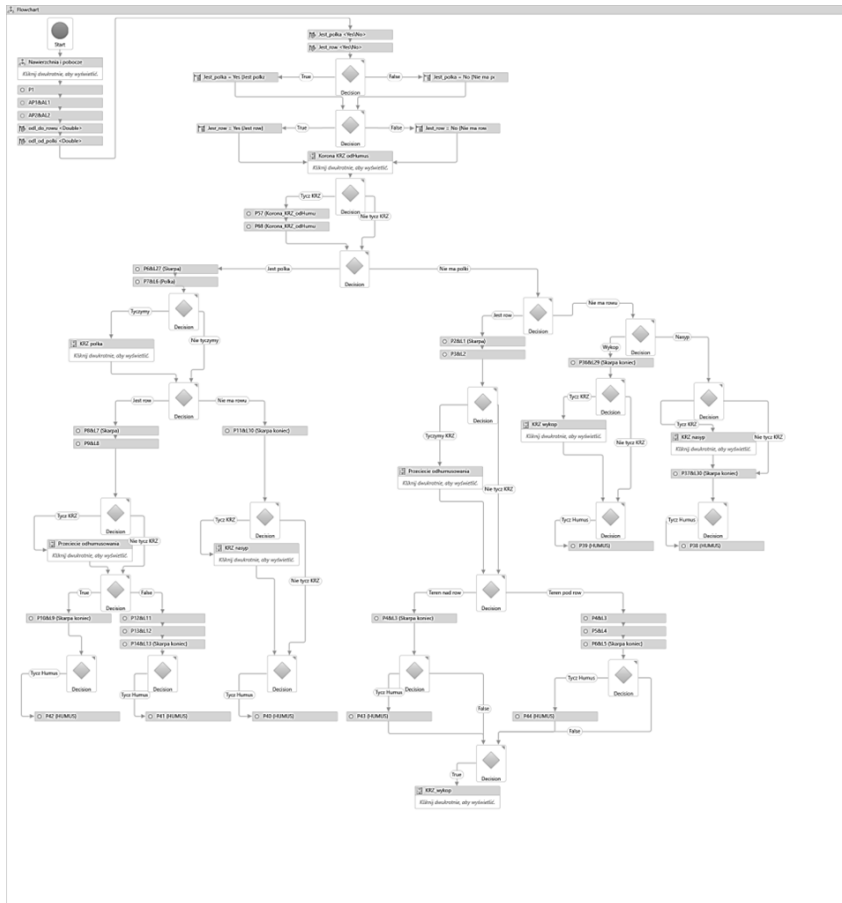
W dalszej części, dzięki zastosowaniu bloków warunkowych, schemat blokowy rozgałęzia się dając różne warianty konstrukcji:

- Brak półki i rowu – najprostszy z wariantów, występuje, gdy w przekroju nie znaleziono elementów docelowych. Dla sytuacji, gdy punkt styku powierzchni „TOP” i „KRZ” leży poniżej powierzchni docelowej terenu, tworzony jest z niego odcinek o nachyleniu 1000%, którego punkt końcowy dociąga się do powierzchni terenu. Dla położenia w nasypie nachylenie skarpy (1:1.5) jest przedłużane aż do styku z terenem.

- Brak półki, rów – w tym przypadku (rysunek 3) skarpa prowadzona jest po zadanym nachyleniu aż do osiągnięcia rzędnej, jaką w danym przekroju osiągnęła wskazana niweleta rowu. Następnie budowane jest płaskie dno rowu o szerokości zadanej parametrem wejściowym. Jeśli teren znajduje się wyżej niż 0.5m nad dnem rowu, do styku z terenem budowana jest przeciwskarpa, zaś w przeciwnym wypadku konstruowany jest dodatkowo kontrnasyp o wysokości 0.5m powyżej rzędnej dna rowu.

- Półka, brak rowu – wariant ten prowadzi skarpe aż osiągnięciu w poziomie odsunięcia obiektu linii docelowej półki, po czym budowany jest odcinek o szerokości i nachyleniu regulowanym dzięki parametrom wejściowym. Następnie skarpa dociągana jest do powierzchni terenu.

- Półka, rów – przypadek (rysunek 2) ten wykorzystuje obie wartości odsunięć linii docelowych rowu oraz półki. Budowany jest analogicznie do powyższych wariantów.



Rysunek 4. Schemat blokowy algorytmu drogi wojewódzkiej [opracowanie własne]

7.2. Przekrój drogi serwisowej

7.2.1. Założenia

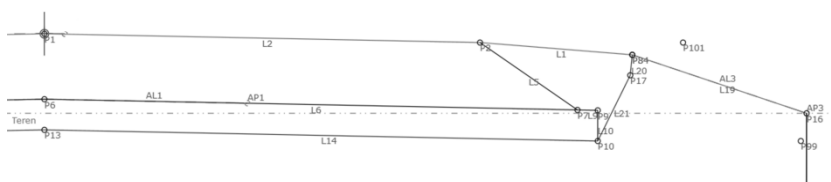
Zespół drogi serwisowej, złożony z pojedynczego elementu miał dopasowywać się do terenu oraz linii oznaczającej krawędzie jezdni. Najważniejszym warunkiem jego konstrukcji było rozpoznawanie obecności rowów oraz linii drenażu podziemnego wzdłuż trasy, a także badanie, po której stronie projektowanej trasy prowadzi.

7.2.2. Budowa zespołu

W obiekcie przekroju drogi serwisowej zawarte są definicje parametrów wejściowych opisujących nachylenie pobocza, grubość warstwy stabilizacji oraz parametrów logicznych odpowiedzialnych za tworzenie punktów do

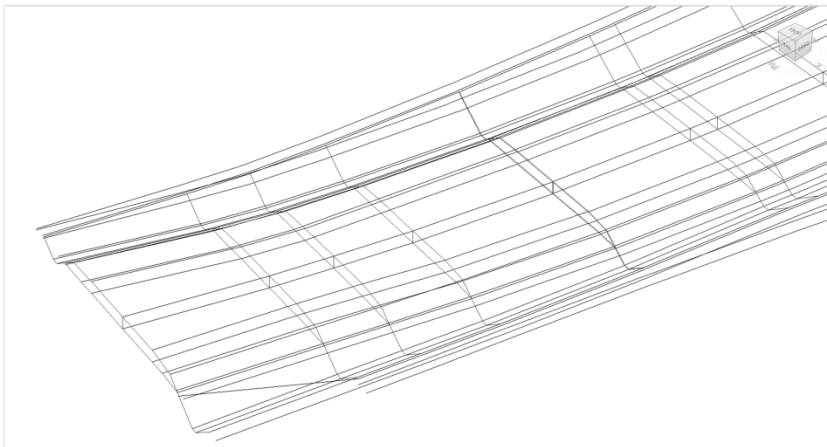
Jezdnia i pobocze dla obu stron budowane są jako pierwsze. Stanowią centralną część powierzchni „TOP”, czyli gotowej nawierzchni. Domyślna wartość szerokości połowy jezdni wynosi 1.75m, ale może zostać nadpisana przez dociągnięcie do odpowiedniej linii krawędzi jezdni. Jej nachylenie jest odczytywane z przechyłki linii trasowania. Projektowane pobocze ma szerokość 0.75m i nachylenie -8% uzależnione od parametru. Poniżej, na głębokości 0.32m budowana jest równoległa warstwa podstawy nawierzchni, o 0.48m szersza od jezdni. Kolejna warstwa, stabilizacja, ma dno położone poniżej o grubość wyznaczoną parametrem, domyślnie 0.15 m. Szerokość warstwy jest o 0.1m większa niż powyższa warstwa podstawy nawierzchni.

W przypadku braku drenażu o dalszej konstrukcji drogi decyduje obecność rowów oraz terenu. Jeśli w przekroju nie ma rowu, sprawdzany jest warunek wykopu i nasypu, po czym do terenu prowadzona jest skarpa o nachyleniu 1:3. Gdy algorytm rozpozna obecność rowu, skarpy biegnące do rzędnej dna rowu oraz do terenu mają nachylenie 1:1.5, zaś szerokość dna wynosi 0.4m. (Rysunek 5)



Jeżeli w przekroju wykryto obecność linii drenażu, badany jest warunek położenia drenu po lewej lub prawej stronie. Następnie po odpowiedniej stronie budowana jest jego geometria. Dno drenu jest położone na rzędnej obiektu docelowego niwelety drenażu, zaś jego szerokość w elemencie została zmniejszona z 0.4m o 0.02m by zapewnić brak pionowości ścian

właściwościach korytarza ustawiono niezbędne parametry częstotliwości próbkowania oraz obiekty docelowe niezbędne dla poprawnego i zgodnego z projektem konstruowania przekroju. Dzięki przygotowanym zespołom utworzono powierzchnie 3D TOP oraz KRZ dla każdej z dróg.



Rysunek 8. Widok izometryczny fragmentu korytarza drogi wojewódzkiej [opracowanie własne]

9. Podsumowanie

Stworzone algorytmy spełniły stawiane im cele i założenia. Umożliwiły stworzenie ciągłego modelu obiektu odtwarzającego projekt z ograniczonych informacji z dokumentacji projektowej. Osiągnięte zostały cele stawiane geometrii – dokładność, warunkowe zachowanie i interaktywność. Dzięki zautomatyzowaniu konstrukcji za pomocą jednolitych, parametrycznych modeli obiektów dokonano optymalizacji czynności powtarzalnych: umożliwiono szybszą edycję obiektu, kontrolę spójności i sprawne generowanie danych wymaganych przy geodezyjnej obsłudze inwestycji.

Zaproponowana metoda tworzenia jednego elementu obsługującego wiele przypadków sprawdza się dla odcinków typowych i w pewien sposób powtarzalnych. Przy zbyt rozbudowanych warunkach następuje drastyczna komplikacja programowanego elementu. Dla obiektów niestandardowych dostosowanie algorytmu może stać się nieopłacalne. W takim przypadku zaleca się zastosować osobny zespół.

Cechą charakterystyczną zaproponowanej metody jest zwiększenie początkowego nakładu prac, co umożliwi sprawną obsługę inwestycji i optymalizację pracy na dalszych etapach. Stanowi to cechę wspólną z podejściem technologii BIM.

10. Podziękowania

Serdeczne podziękowania dla dr hab. Tomasza Owerko, za cenne uwagi i pomoc.

This work has been carried out within the scientific statutory research programs no. 11.11.150.005 (The use of integrated systems and surveying methods to assess the technical condition and safety of engineering structures).

Literatura

1. Lee S.-H., Kim B.-G. *IFC Extension for Road Structures and Digital Modeling*, Procedia Engineering, 14 (2011), s. 1037-1042.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811012070?via%3Dihub>.
2. Amann J., Borrmann A., Center L. O., & Gladbach, B. . Creating a 3D-BIM-compliant road design based on IFC alignment originating from an OKSTRA-accordant 2D road design using the TUM Open Infra Platform and the OKSTRA class library, 2015.
http://www.cms.bgu.tum.de/publications/reports/2015_Amann_TR1.pdf
3. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons, 2011.
4. P6 Project Team, *IFC Alignment Project, Conceptual Model*
<http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/ifc/ifc5-extension-projects/ifc-alignment/ifcalignment-conceptualmodel-fs>
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 21 lutego 1995 r. w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie. Dz.U. 1995 nr 25 poz. 133.
6. Dokumentacja projektowa inwestycji budowy obwodnicy w Myszkowie

Modelowanie parametryczne w projektowaniu geometrii korytarza trasy drogowej

Przedmiotem pracy „Modelowanie parametryczne w projektowaniu geometrii korytarza trasy drogowej” było opracowanie algorytmu służącego automatycznemu odtworzeniu geometrii przestrzennej trasy drogowej w zależności od przyjętych parametrów i warunków. W pracy przedstawiono rolę geodezji w procesie inwestycji drogowych oraz zaproponowano wprowadzenie modelowania parametrycznego w celu usprawnienia standardowych procedur. Wynikiem opracowania było stworzenie dwóch algorytmów konstrukcji elementów przekroju poprzecznego drogi wojewódzkiej oraz dróg serwisowych, przy użyciu środowiska programowania blokowego Subassembly Composer. Dzięki rozciągnięciu stworzonych elementów wzdłuż obiektu liniowego utworzono korytarz, którego konstrukcja w każdym punkcie zależy od postawionych warunków przestrzennych – dostosowania do terenu i obiektów docelowych. Prezentowane rozwiązanie umożliwiło przyspieszenie geodezyjnej obsługi inwestycji poprzez automatyzację czynności odtwarzania projektu, generowania danych oraz kontroli poprawności i spójności danych. Opracowane metody zostały wykorzystane w praktyce przy budowie obwodnicy miasta Myszków.

Słowa kluczowe: modelowanie parametryczne, korytarz, droga, BIM

Parametric modelling in the design of the road corridor geometry

The subject of the paper “Parametric modelling in the design of the road corridor geometry” is to create an algorithm for automatic reproducing of the spatial geometry of the road depending on specific parameters and conditions. The paper presents the role of the surveyor in the road investment process and suggests use of the parametric modelling in order to rationalize standard procedures. The outcome are two algorithms of construction of the cross-section elements for the voivodship road and service road. Algorithms are programmed in Subassembly Composer environment. By stretching the created elements along the linear object, a road corridor was created, whose construction at each point depends on the spatial conditions – adaptation to the terrain and targets. The presented solution has enabled the geodetic investment to be accelerated by automating project recovery, data generation, data integrity and control. The developed methods were used in practice in the construction of the ring road of Myszków.

Keywords: parametric modelling, feature based modelling, corridor, BIM

Indeks Autorów

Bednarz B.	82
Bręczewska-Kulesza D.....	68
Czaja P.	134
Dąbrowski H.	94
Garbacz M.	121
Hanus-Fajerska E.	134
Kazanecka-Olejniak L.	7
Krawiec A.....	55
Siwiec J.	144
Stasiak P.....	55
Stromczyńska K.	134
Styczeń J.	109
Szymański W.	17, 39, 94
Urzędowski A.	109
Żelazny H.	82