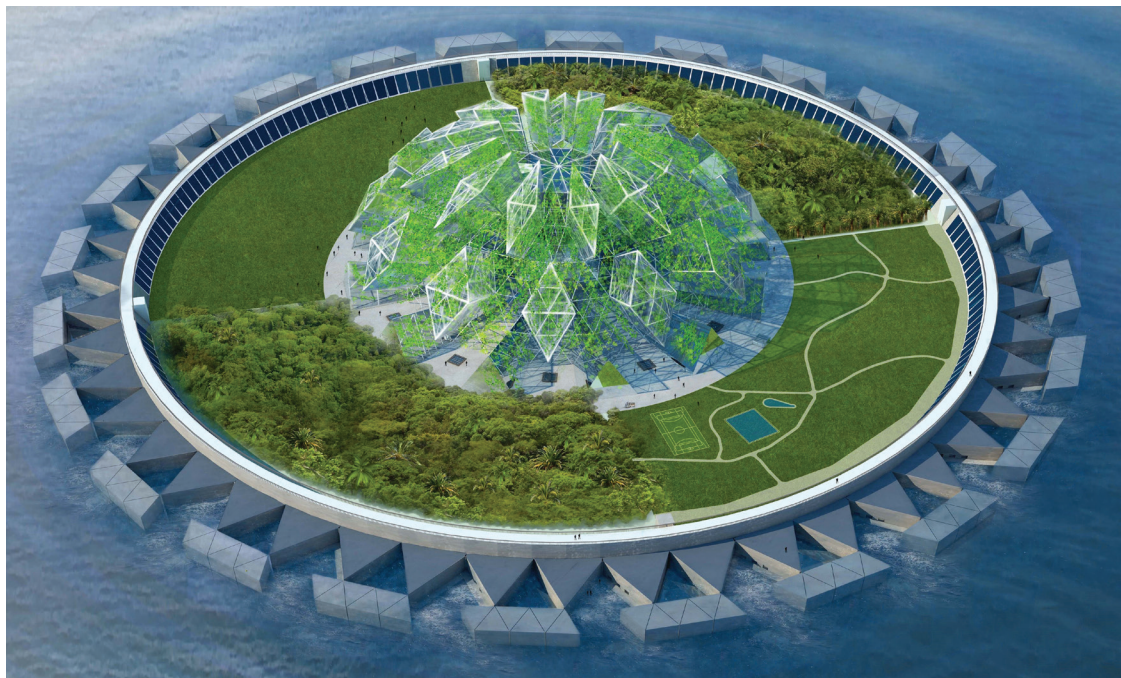


KOMISJA ARCHITEKTURY I URBANISTYKI
POLSKA AKADEMIA NAUK ODDZIAŁ WE WROCŁAWIU

**MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA
INNOWACYJNE SYSTEMY KONSTRUKCYJNE
W ARCHITEKTURZE (ISSA 2025)**

WROCŁAW, POLSKA, 14–15 LISTOPADA 2025 ROKU

Materiały konferencyjne



THE COMMITTEE FOR ARCHITECTURE AND TOWN PLANNING
THE WROCLAW BRANCH OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES

**THE INTERNATIONAL CONFERENCE
OF THE INNOVATIVE STRUCTURAL SYSTEMS
IN ARCHITECTURE (ISSA 2025)**

WROCŁAW, POLAND, NOVEMBER, 14–15, 2025

Abstract book

**MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA
INNOWACYJNE SYSTEMY KONSTRUKCYJNE
W ARCHITEKTURZE (ISSA 2025)**



**THE INTERNATIONAL CONFERENCE
OF THE INNOVATIVE STRUCTURAL SYSTEMS
IN ARCHITECTURE (ISSA 2025)**

KOMISJA ARCHITEKTURY I URBANISTYKI
POLSKA AKADEMIA NAUK ODDZIAŁ WE WROCŁAWIU

MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA INNOWACYJNE SYSTEMY KONSTRUKCYJNE W ARCHITEKTURZE (ISSA 2025)

WROCŁAW, POLSKA, 14–15 LISTOPADA 2025 ROKU

Materiały konferencyjne

THE COMMITTEE FOR ARCHITECTURE AND TOWN PLANNING
THE WROCLAW BRANCH OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES

THE INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INNOVATIVE STRUCTURAL SYSTEMS IN ARCHITECTURE (ISSA 2025)

WROCŁAW, POLAND, NOVEMBER, 14–15, 2025

Abstract book

WROCŁAW 2025

PATRONAT HONOROWY

Prof. Piotr Biler

Prezes Oddziału PAN we Wrocławiu

Prof. Magdalena Kozień-Woźniak

Dziekan Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej

KOMITET NAUKOWY

Prof. Janusz Rębielak

Oddział PAN we Wrocławiu

przewodniczący

Dr S. Alireza Behnejad

University of Surrey, Wielka Brytania

Prof. Jan Biliszcuk

Politechnika Wrocławska

Prof. Wacław Celadyn

Politechnika Krakowska

Dr Jeroen Coenders

CEO/CTO, Amsterdam, Holandia

Prof. Mick Eekhout

TU Delft/Octatube, Holandia

Prof. Günther H. Filz

University of Innsbruck, Austria

Dr hab. Joanna Jabłońska

prof. uczelni

Politechnika Wrocławska

Prof. Sabina Kuc

Politechnika Krakowska

Prof. Wanda Lewis

University of Warwick, Wielka Brytania

Prof. Ewa Łużyniecka

Politechnika Wrocławska

Prof. Hanna Michalak

Politechnika Warszawska

Prof. Mauricio Morales-Beltran

Yaşar University, Izmir, Turcja

Prof. Jarosław Przewłócki

Politechnika Gdańska

KOMITET ORGANIZACYJNY

Prof. dr hab. inż. arch. Janusz Rębielak

Oddział PAN we Wrocławiu

przewodniczący

Mgr Barbara Grudzevska-Walecka

Oddział PAN we Wrocławiu

Dr hab. Joanna Jabłońska, prof. uczelni

Politechnika Wrocławska

Prof. Ewa Łużyniecka

Politechnika Wrocławska

Dr Jerzy Łątka

Politechnika Wrocławska

Dr Elżbieta Komarzyńska-Świeściak

Politechnika Wrocławska

HONORARY PATRONAGE

Prof. Piotr Biler

President of Wrocław Branch of the Polish Academy of Sciences

Prof. Magdalena Kozień-Woźniak

Dean of Faculty of Architecture of the Kraków University of Technology

SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Janusz Rębielak

Wrocław Branch of the Polish Academy of Sciences
chairman

Dr hab. Joanna Jabłońska, prof. uczelni

University Professor
Wrocław University of Science and Technology

Dr S. Alireza Behnejad

University of Surrey, United Kingdom

Prof. Sabina Kuc

Cracow University of Technology

Prof. Jan Biliszczyk

Wrocław University of Science and Technology

Prof. Wanda Lewis

University of Warwick, United Kingdom

Prof. Waław Celadyn

Cracow University of Technology

Prof. Ewa Łużyniecka

Wrocław University of Science and Technology

Dr Jeroen Coenders

CEO/CTO, Amsterdam, The Netherlands

Prof. Hanna Michalak

Warsaw University of Technology

Prof. Mick Eekhout

TU Delft/Octatube, The Netherlands

Prof. Mauricio Morales-Beltran

Yaşar University, Izmir, Turcja

Prof. Günther H. Filz

University of Innsbruck, Austria

Prof. Jarosław Przewłócki

Gdańsk University of Technology

ORGANIZING COMMITTEE

Prof. dr hab. inż. arch. Janusz Rębielak

Wrocław Branch of the Polish Academy of Sciences
chairman

Mgr Barbara Grudzińska-Walecka

Wrocław Branch of the Polish Academy of Sciences

Dr hab. Joanna Jabłońska

University Professor
Wrocław University of Science and Technology

Prof. Ewa Łużyniecka

Wrocław University of Science and Technology

Dr Jerzy Łątka

Wrocław University of Science and Technology

Dr Elżbieta Komarzyńska-Świeściak

Wrocław University of Science and Technology

SPIIS TREŚCI

KONCEPCJA ZASTOSOWANIA WYBRANYCH SYSTEMÓW CIĘGNOWO-PRĘTOWYCH
W ODBUDOWIE HEŁMU WIEŻY KOŚCIOŁA POD WEZWANIEM
MATKI BOSKIEJ NIEUSTAJĄCEJ POMOCY W ŚWIDWINIE ■ 11
[Zbigniew Bieniek](#)

STRUCTURAL MORPHOLOGY OF THE URBAN HABITAT ■ 14
[Michael Burt](#)

EXPERIMENTAL STRUCTURES OF MICK EEKHOUT ■ 16
[Mick Eekhout](#)

STRUCTURAL ANALYSIS OF THIN FREE FORM SHELL STRUCTURES BY HEINZ ISLER ■ 22
[Ir. Peter Eigenraam](#)

INNOVATIVE WOODEN STRUCTURES IN 21ST CENTURY ARCHITECTURE ■ 24
[Michał Golański](#)

THE URBAN RENAISSANCE IN THE ARABIAN GULF'S HIGH-RISE BUILDINGS
AND ITS IMPACT ON THE LOCAL FACTOR ■ 26
[Joanna Jabłońska, Ahmad Abbara](#)

BUDOWLE OCHRONNE PRZY OBIEKTACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ ■ 28
[Magdalena Jagiełło-Kowalczyk, Przemysław Markiewicz-Zahorski,](#)
[Bogdan Siedlecki, Wojciech Grzechynka](#)

SCHRON POMOCY MEDYCZNEJ JAKO SZCZEGÓLNY PRZYKŁAD BUDOWLI OCHRONNEJ ■ 31
[Artur Jörgen](#)

OPTIMIZING ARCHITECTURAL FORM IN RESPONSE
TO THE DYNAMICS OF CLIMATE CHANGE ■ 35
[Justyna Juchimiuk](#)

GOSPODARKA CYRKULARNA: STRATEGIE ARCHITEKTONICZNE
MINIMALIZUJĄCE ŚLAD WĘGLOWY POPRZECZ INTEGRACJĘ MATERIAŁÓW Z ODZYSKU ■ 37
[Lea Kazanecka-Olejnik](#)

PHOTOVOLTAIC FARMS ON MUNICIPAL WASTE LANDFILLS ■ 40
[Michał Kosakiewicz, Magdalena Daria Vaverková, Eugeniusz Koda, Karolina Krysińska](#)

THE PHENOMENON OF THE TRANSFORMATION OF THE STRUCTURE
OF SINGLE-FAMILY HOUSES IN WARSAW'S SATELLITE CITIES – 2015–2025 ■ 43
[Alicja Kozarzewska](#)

CANALE DI TENNO – KOMPLEKSOWA REWITALIZACJA ŚREDNIOWIECZNEJ WSI ■ 46
[Joanna Krajewska](#)

INNOWACYJNE ELEMENTY KSZTAŁTOWANIA ŚRODOWISKA MIESZKALNEGO
W MODERNISTYCZNYCH OSIEDLACH WILLOWYCH LWOWA
W LATACH 1918–1939 ■ 49
[Yuriy Kryvoruchko, Joanna Kopacz-Gruźlewska](#)

PARAMETRIC TOOLS FOR ADAPTIVE STRUCTURAL DESIGN –
A COMPARISON OF GRASSHOPPER AND DYNAMO ■ 52
[Małgorzata Kurcjuś](#)

INNOVATIVE DESIGN AND NATURE ■ 55
[Wanda Lewis](#)

PAPER AS A BUILDING MATERIAL – INTERDISCIPLINARY RESEARCH ■ 58
[Jerzy Łątka](#), [Agata Jasiołek](#), [Daria Pawłosik](#), [Paweł Niewiadomski](#),
[Anna Karolak](#), [Paweł Noszczyk](#)

WSPÓŁCZESNE KONSTRUKCJE A *SACRUM* I *PROFANUM*
W ZABYTKOWEJ ARCHITEKTURZE SAKRALNEJ ■ 61
[Ewa Łużyniecka](#)

KIEDY KONSTRUKCJA TWORZY FORMĘ ■ 65
[Alicja Maciejko](#), [Mirosław Strzelecki](#), [Konrad Bajor](#)

BUDOWNICTWO DREWNIANE W POLSCE
JAKO ELEMENT ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU ■ 70
[Łukasz Mazur](#)

PLANAR, MODULAR SLIDE IN RECIPROCAL FRAME STRUCTURES
FROM SALVAGED TIMBER: BRIDGING SIMULATION AND FULL-SCALE PROTOTYPE ■ 72
[Fabienne Migga](#), [Günther H. Filz](#), [Mauricio Morales-Beltran](#)

A NEW PARADIGM FOR LIGHTWEIGHT DESIGN –
BIOMIMETIC STRUCTURAL OPTIMIZATION METHOD ■ 78
[Michał Nowak](#)

ŚWIADOME POSZUKIWANIE FORM –
NOWOCZESNE TECHNOLOGIE OBLICZENIOWE I PROGRAMISTYCZNE
W RĘKACH ARCHITEKTA ■ 81
[Przemysław Nowak](#)

KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY STROPÓW UŻEBROWANYCH
WEDŁUG TRAJEKTORII MOMENTÓW GŁÓWNYCH –
METODA MODELOWANIA FIZYCZNEGO
WSPARTA PROGRAMEM ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS ■ 84
[Michał Pelczarski](#)

WSPÓŁCZESNE ASPEKTY W KSZTAŁTOWANIU STRUKTUR NOŚNYCH
BUDYNKÓW WYSOKOŚCIOWYCH PRZY WYKORZYSTANIU KOMPONENTÓW
Z MATERIAŁÓW DREWNOPOCHODNYCH ■ 87
[Joanna Pietrzak](#), [Wiesław Rokicki](#)

BIOMIMETIC FACADES AS A CATALYST
FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE ■ 90
[Anna Piętocha](#)

PROPOSALS FOR SHAPING INNOVATIVE ARCHITECTURAL
AND ENGINEERING STRUCTURES ■ 93
[Janusz Rębielak](#)

REVITALISATION OF AREAS OF DIFFERENT SCALES
IN CONTEMPORARY METROPOLISES:
THE CASE OF ATHENS, SPECIFICALLY THE ELAIONAS DISTRICT
AND AN EXEMPLARY POLIKATOIKIA BUILDING BLOCK ■ 96

Ewa Stachura

BIONICZNE WZORCE
W KSZTAŁTOWANIU FORMY PRZESTRZENNEJ
PAWILONÓW WYSTAWOWYCH REALIZOWANYCH
Z MATERIAŁÓW DREWNOPOCHODNYCH ■ 99

Anna Stefańska, Wiesław Rokicki

MULTIPLIKACJA FORM PRZESTRZENNYCH
W SZTUCE MIROSŁAWA STRUZIKA ■ 101

Mirosław Struzik, Jakub Skowron

FROM TEA HOUSE TO SMART ARCHITECTURE:
TRADITIONAL JAPANESE PRINCIPLES
AND INNOVATIVE CONSTRUCTION SYSTEMS FOR SUSTAINABILITY ■ 103

Maja Sutkowska, Magdalena Daria Vaverková

MODULAR HOUSING FOR A CHANGING FUTURE:
ADAPTABILITY AND SUSTAINABILITY WITH CLT ■ 106
Aleksandra Tądel, Elżbieta Komarzyńska-Świeściak

ADAPTIVE RELIEF ARCHITECTURE:
USER-INFORMED STRATEGIES FOR FLEXIBLE DESIGN ■ 108

Marcelina Terelak

WYKORZYSTANIE SKANU LASEROWEGO 3D I METOD BIM
W ANALIZIE STRUKTURY I DETALU OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH
W KONSTRUKCJI DREWNIANEJ
NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH BUDOWNICTWA REGIONU SUDETÓW ■ 111
Zbigniew Tyczyński, Wojciech Januszewski, Mariusz Cesarz

HANGING-CHAIN MODELS FOR THE FORM-FINDING DESIGN
OF A MWANEABA CANOPY ■ 113

Göktuğ Ünlü, Mauricio Morales-Beltran, Günther H. Filz

OD GRUZU DO KONSTRUKCJI:
INNOWACYJNE SYSTEMY RE-USE W ARCHITEKTURZE ■ 117

Katarzyna Walasek

KU ELASTYCZNEJ PRZESTRZENI:
INNOWACYJNE SYSTEMY MOBILNE I MODUŁOWE
W PROJEKTOWANIU WSPÓŁCZESNYCH TARGOWISK ■ 119

Anna Wancel, Elżbieta Komarzyńska-Świeściak

THE "JARDIN DE LA RUE" PHENOMENON
IN FRENCH CITY STREETS ■ 121

Jan Winkler

KONCEPCJA ZASTOSOWANIA WYBRANYCH SYSTEMÓW CIĘGNOWO-PRĘTOWYCH W ODBUDOWIE HEŁMU WIEŻY KOŚCIOŁA POD WEZWANIEM MATKI BOSKIEJ NIEUSTAJĄCEJ POMOCY W ŚWIDWINIE

Zbigniew Bieniek

Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska

Słowa kluczowe: system, konstrukcja, konfiguracja równowagi, tensegrity

ABSTRAKT

Wstęp

Opracowanie sporządzono na podstawie referatu[1]. Poniższa koncepcja odbudowy hełmu zabytkowej wieży kościelnej bazuje na idei konstrukcyjnej znanej powszechnie pod nazwą tensegrity [2–5]. Realizacja zaproponowanej koncepcji dałaby nie tylko wzrost atrakcyjności panoramy miasta i samej budowli jako zabytku, ale również stanowiła unikalny przykład rozwiązania konstrukcyjno-architektonicznego opartego na idei kształtowania nowoczesnych cięgnowo-prętowych systemów konstrukcyjnych.

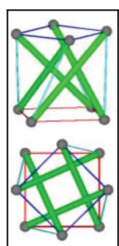
Za czas powstania obecnie istniejącego, gotyckiego kościoła przyjmuje się pierwszą połowę XV wieku. W jego zachowanej historii znajduje się wzmianka o pokryciu w 1505 roku hełmu wieży blachą miedzianą. Niestety w roku 1664 oraz w 1670 hełm zniszczyły uderzenia pioruna, a w 1689 kościół spłonął, po czym został odbudowany w 1692 roku. Ponownie w 1771 roku piorun zniszczył hełm, a jego odbudowa nastąpiła dwa lata później.

Aktualna postać architektoniczna istniejącego hełmu wieży to niski ostrosłup, nie zachowujący form historycznie udokumentowanych w przedstawieniach ikonograficznych. Ideą obecnej próby rewitalizacji bryły hełmu wieży jest powrót do pierwotnego wyglądu z czasów gotyku, to jest wysokiej, strzelistej iglicy, wykonanej ze współczesnych materiałów, przy użyciu nowych technologii. Zaleca się możliwość podzielenia konstrukcji na moduły łatwe w transporcie, przygotowane do podniesienia dźwigiem i zamontowania na wieży.

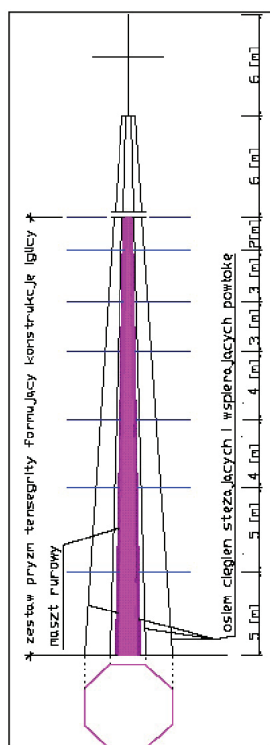
Materiał i metody

Struktura tensegrity bazuje na celowym wywoływaniu w konstrukcji naprężeń wstępnych oraz ich wyrównoważeniu, co powoduje, że w zasadzie nie musi ona być podparta. Z oczywistych względów ciężar każdej budowli wymaga przeniesienia go na jej fundament, zakotwienia lub podwieszenia. Tak więc współczynnik grawitacji nie wpływa na równowagę samej struktury tensegrity, a rolę przyciągania ziemskiego przejmują wielokierunkowe naprężenia w jej elementach.

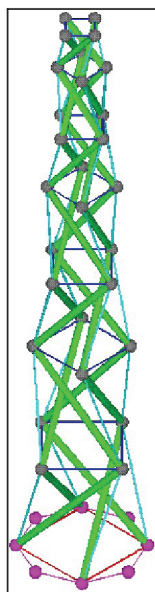
Jednym z podstawowych problemów w projektowaniu każdej ze struktur statycznie niewyznaczalnych, a struktury tensegrity nie stanowią wyjątku, jest określenie ich konfiguracji równowagi. Geometria struktury jest wynikiem dystrybucji naprężeń w układzie sprężonym wewnątrz.



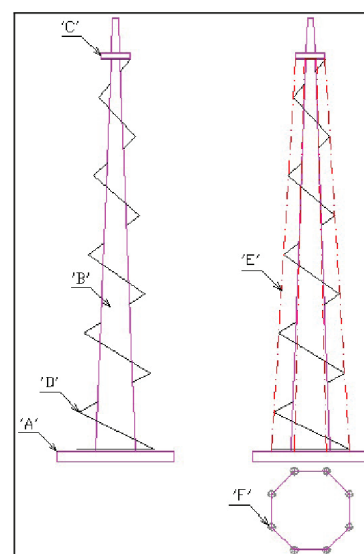
Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

W klasycznym przypadku symetrycznej pryzmy tensegrity bazującej na n -boku podstawy wartość kąta skręcenia α można wyliczyć ze wzoru:

$$\alpha = p(1/2 \cdot 2\pi/n)$$

Rysunek 1 prezentuje zastosowany w proponowanym rozwiązaniu i stosunkowo prosty przykład systemu tensegrity w formie czworokątnej pryzmy, charakteryzujący się symetryczną postacią, co szczególnie ułatwia określenie możliwej konfiguracji równowagi. Ogólnie biorąc, kiedy np. brak jest znamion symetrii oraz uwzględnia się fizyczne własności materiałów konstrukcyjnych, procedury pozwalające odnajdywać początkowy kształt struktury tensegrity stają się skomplikowane i wymagają indywidualnego dopasowania.

Rysunek 2 pokazuje w uproszczeniu podział konstrukcji iglicy na moduły, natomiast rys. 3 ilustruje zestawienie geometrycznie uformowanych modułów tensegrity w strukturę nośną; współdziałającą ze środkowym masztem rurowym i ośmioma cięgnami stężącymi. Moduły tensegrity połączone cięgnami stężącymi w formę iglicy tworzą rusztowanie dla materiałowo dowolnej powłoki zewnętrznej.

Schemat poglądowy objaśniający model konstrukcyjny tej części iglicy przedstawia rys. 4. Stopa masztu rurowego 'B' mocowana jest do podstawy 'A'. Elementem konstrukcyjnym szczytowej części masztu jest pierścień oporowy 'C'. Pomiędzy podstawą a pierścieniem umieszczono sprężynę 'D' podlegającą ścisnieniu, przez co sam maszt 'B' jest poddany osiowemu rozciąganiu. Jeśli pomiędzy podstawą a pierścieniem rozpięte zostaną cięgna 'E' o regulowanej długości, np. osiem sztuk rozmieszczonych symetrycznie względem osi słupa, to pozwoli zredukować siłę rozciągającą maszt 'B' pochodzącą od sprężyny 'D'. Dolne końce cięgien 'E' sięgają do węzłów 'F', które mogą stanowić integralną część podstawy 'A' lokowanej nad pomieszczeniem widokowym albo nawet integralną część stalowej ramy z osadzonym na niej hełmem i mocowanej do filarów wieży kościelnej. Podstawę 'A' czyli inaczej stopę słupa rurowego można podobnie mocować w centrum ramy osadzonej na filarach.

Sprężynę oznaczoną symbolem 'D' zastąpi teraz zestaw odpowiednio ukształtowanych i połączonych ze sobą modułów tensegrity. Cały zestaw modułów po zmontowaniu i naprężeniu będzie funkcjonować jako sprężyna. Aby to osiągnąć należy ułożyć pomiędzy podstawą 'A' oraz pierścieniem oporowym 'C' zestaw czworokątnych pryzm tensegrity, na przemian prawo i lewo-

skrętnych, o odpowiednio większej długości początkowej. W ten sposób da się uzyskać ośmiokątną w przekroju i liniowo zbieżną ku górze, wymaganą architektonicznie postać iglicy.

Wierzchołkową część iglicy oraz krzyż, stanowiące dwa 6-metrowej wysokości szczytowe fragmenty hełmu i wykonane w całości jako konstrukcja spawana ze stalowych profili, można przymocować do pierścienia oporowego 'C' już na końcu procesu kształtowania budowli.

Wnioski

Zaproponowane rozwiązanie konstrukcyjne nawiązuje do wzorów powszechnie spotykanych w przyrodzie. Budowa fizjologiczna pnia drzew, szczególnie wysokich i smukłych, to twarde otaczająca rdzeń czyli środkową część pnia. Twardziel spełnia z zasady funkcje mechaniczne, bowiem rdzeń jest strukturą słabą, która wpływa ujemnie na wytrzymałość i trwałość pnia. W zaproponowanym rozwiązaniu funkcję twardzieli pełni pusty wewnątrz stalowy maszt rurowy 'B'. Dalsze warstwy pnia to biel i miazga, które są tkankami twórczymi i wytwarzającymi nowe komórki. W przedstawionej koncepcji reprezentuje to zestaw modułów tensegrity. Komórki miazgi leżące na zewnątrz nazywane łykiem tworzą wytrzymałe na rozciąganie włókna. Tutaj analogią konstrukcyjną łyka jest osiem cięgien 'E'. Wreszcie warstwa zewnętrzna pnia, czyli kora, stanowi jego ochronę przed czynnikami zewnętrznymi. Tę funkcję w przedstawionej koncepcji pełni oczywiście powłoka iglicy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Podhalański B.: *Koncepcja odbudowy hełmu wieży kościoła pod wezwaniem Matki Boskiej Nieustającej Pomocy w Świdwinie*, Warsztaty ISSA 2023 – Innowacyjne systemy konstrukcyjne w architekturze, Wrocław, 2023.
- [2] Lalvani H. (editor): *Origins of tensegrity: views of Emmerich, Fuller and Snelson*, International Journal of Space Structures 11, 1&2, 1996, pp. 27–55.
- [3] Tibert A.G. and Pellegrino S.: *Review of Form-Finding Methods for Tensegrity Structures*. International Journal of Space Structures, 18(4):209–223, 2003.
- [4] Sultan C.: *Tensegrity: 60 years of art, science and engineering*, Adv. App. Mech. 43, pp. 69–145, 2009.
- [5] Skelton R.E., Oliveira M.C.: *Tensegrity systems*, New York, Springer, 2009.

STRUCTURAL MORPHOLOGY OF THE URBAN HABITAT

Michael Burt

Prof Emeritus, Technion. I.I.T, Fac. of Architecture & T.P. Haifa-Israel

Keywords: structural morphology, 3D space, networks, self-packs, space structures

ABSTRACT

Introduction

We are in the time of world-wide evolution of 'Mega Cities' reaching to tens of millions of residents, flourishing and rising to heights of hundreds of meters while packing enormous urban service and interaction activities. It turns out that the ground level is incapable of providing suitable answers to containing and packing together all the traditional infrastructures of the urban habitat.

What is urgently required is a novel urban design paradigm of 'urban multi-layered sprawl' of development of the living services and infrastructure volumes and the green landscape resources of resting recreation and social interaction volumes, provided with all the spatial structural support systems.

Quintuplet Phenomenology

In the discussion of the relevant spatial-structural morphology features, special attention should be given to the Quintuplet Phenomenology of the 3D space, according to which:

- Every 3D network that expands to infinity has a dual network;
- Every network is related to a compact space packing of polyhedral solids of plain or hyperbolic facets (or both).
- Every two dual networks are provided with a hyperbolic continuous partition surface, subdividing the space between the two. Therefore, a pair of dual spatial networks, the related two close packing polyhedral modes and the continuous partition surface represent a **quintuplet complex phenomenon**. When ordered and highly symmetrical, it may be composed of uniform (equi-vertex-edge) networks and self-packing polyhedra, all related to same translation symmetry system and a characteristic translation unit. Structural Morphology of 3D space, while tackling the Quintuplet phenomenology, may promote important research venues:
- Exhaustive enumeration of 'uniform space networks', and consequently:
- Exhaustive enumeration of self-packing polyhedra (with plane or hyperbolic facets, or both), thus: contributing substantially to our understanding and design control of the evolving human urban habitat and its 'crystallography'.

Morphology of the Urban Habitat

Architectural morphology is mostly concerned with networks-lattices and packing of 3D space. The morphological essence of networks is in their capacity of 'space-organization', interconnection, transportation and communication and as load supporting space lattice structures.

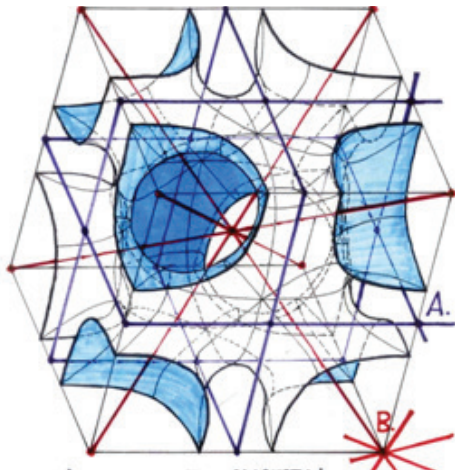


Fig. 1. Two dual uniform networks and the associated 'Fermi'

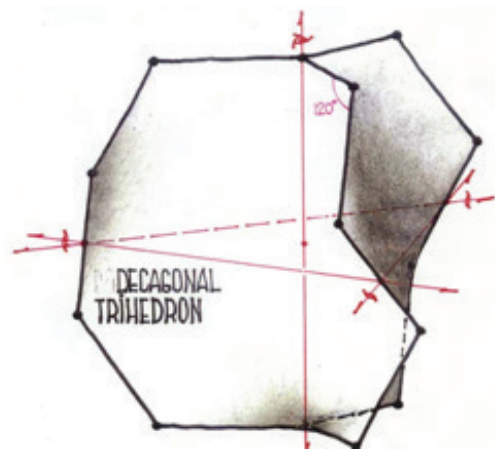


Fig. 2. Self-close packing saddle polyhedron Surface, subdividing the space between the two decagonal trihedron



Fig. 3. Uniform PV.7-3⁸.5⁵.12²₆₁ network, realized as a space truss structure

In volumetric spaces packing by finite solids is a leading feature of the built space and its organization of transportation effectiveness and storage.

A.F. Wells in his *Structural Inorganic Chemistry* publication (Oxford 1956, University Press) remarked that "The theory of these nets does not appear to be known". In his following publication: *Three dimensional nets and polyhedra* (A.F. wells, Wiley, New York 1977) he postulated that "the number of 'Uniform Honeycombs' and 'Infinite Polyhedra' is reaching to 32" (!), a statement that the author knew to be completely wrong.

Personal 'Morphological Research' efforts of the last few decades resulted in discovery and illustration of hundreds of uniform 3D space networks and associated close self-packing polyhedral solids, with the end of the process not yet in sight.

Conclusion

The evolution and completion of the exhaustive enumeration of uniform 3D space networks, of the compact self-packing polyhedral solids and the associated hyperbolic space partitions might enrich considerably our design capacity of the built urban habitat and especially of its high-density domains.

EXPERIMENTAL STRUCTURES OF MICK EEKHOUT

Mick Eekhout

Retired professor TU Delft and former director Octatube International BV, The Netherlands

Keywords: high tech architecture structures, design & build approach, prototyping, tensegrity structures, structural system, space structure, tall building facades

ABSTRACT

Introduction

The position of Mick Eekhout in the world of industry and academia is a combination and integration of practical design and building of projects and bringing these experiences to academia for teaching and further research.

Basis material and build approach

The article is based on the experiences of Mick Eekhout first of all established by designing structures as an architect, and after that proving that these often innovative and never built structures could be built by experimentation, testing, development and at the end really producing and assembling of these structures by taking the complete responsibility and liability up to a period of 10 years after completion. The structures are load bearing lightweight structures for roofs and facades of buildings, glass covered.

Methodology and product development

Even in architectural design with its many related aspects but also in industrial design and structural design the approach of the design, development and realization of these structures has to be quite methodically taken. One fault or mistake in any of the stapes in between project idea and project completion could lead to a project failure or even after completion to a structural failure. Books have been written on these subjects of Methodology and Organograms.

In the last 40 years many innovations in lightweight structural design for buildings have been undertaken in projects over the world, in 25 countries. Because of the 'design and build' approach usually small projects were undertaken initially and the results were improved by later projects. Initially the stretched membrane structures were the result of inspiration from Frei Otto (1970). The space frames that came later were the result of my graduation design project at TU Delft in 1973. In retrospect the initial art works, results of working together with designers of very free minds, enabled the 'wild idea' of tensegrity structures, even without the appropriate computer analysis support. These structures were developed in the state of the art at that time. They were followed by more practical innovations and wishes or suggestions by project architects. So after the initial wild sculptural art projects, glass roofs and glass facades were developed with extreme large surfaces as only minimal and extremely slender steel compression studs and cables. This development led to a system of glass roofs and façades, stabilized by tensegrity support systems of cables and studs. It



Fig. 1. Bijlmobiel
Amsterdam, 1975



Fig. 2. Hemweg A'dam,
1983



Fig. 3. Maritime
museum A'dam, 1985

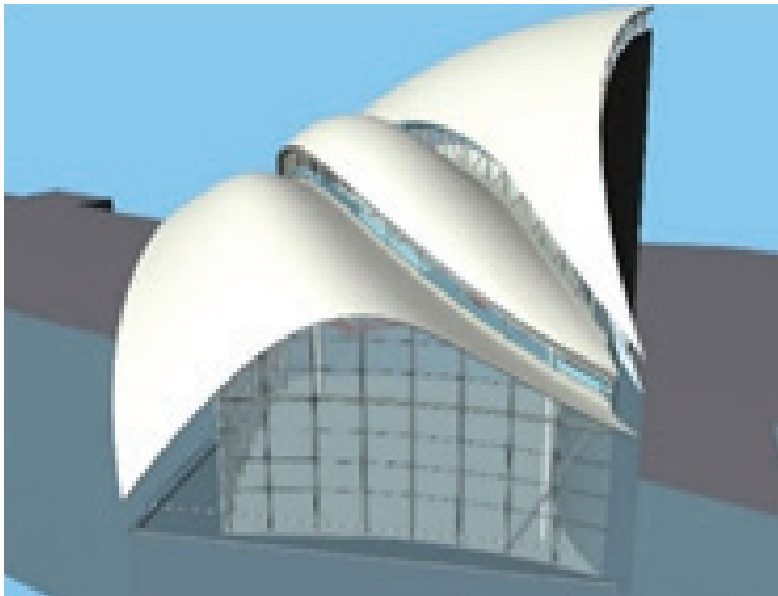


Fig. 4. Rabin Center, Tel Aviv

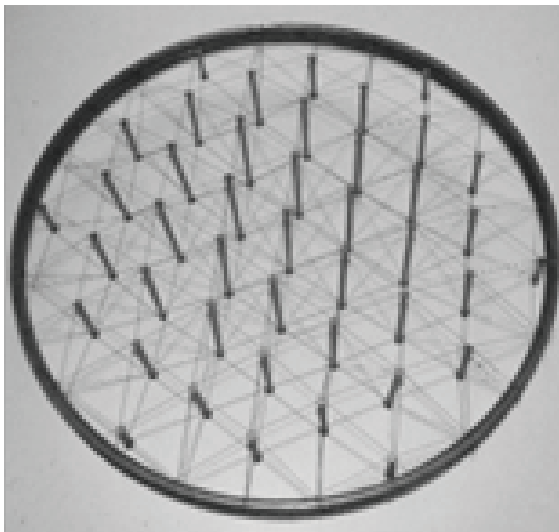


Fig. 5. Bicycle tensegrity roof, 1972

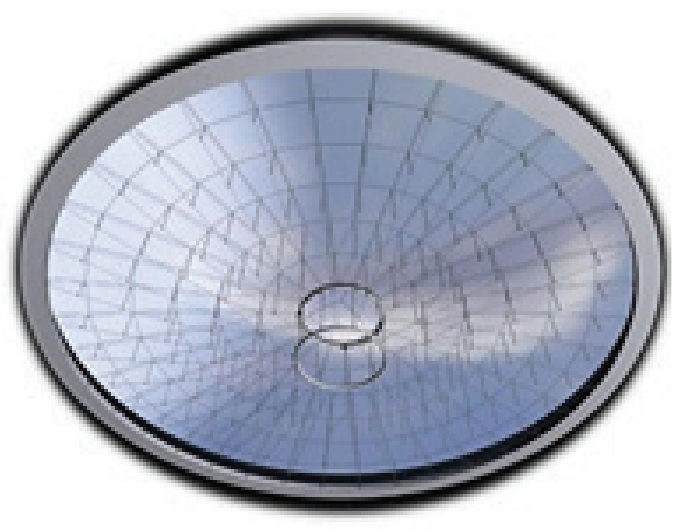


Fig. 6. Tensegrity roof, Madrid, 2005



Fig. 7. 30 × 30 m roof
Leeuwarden, 2004



Fig. 8. Tensegrity glass facade, 1991



Fig. 9. 24 × 24 m roof A'dam, 1998

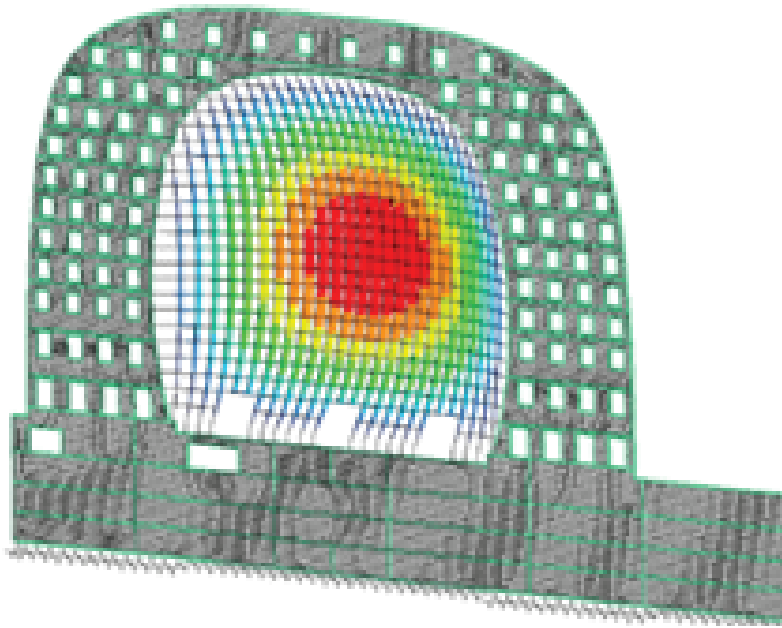


Fig. 10. Wind Deformation



Fig. 11. Glass façade
market Hall, Rotterdam

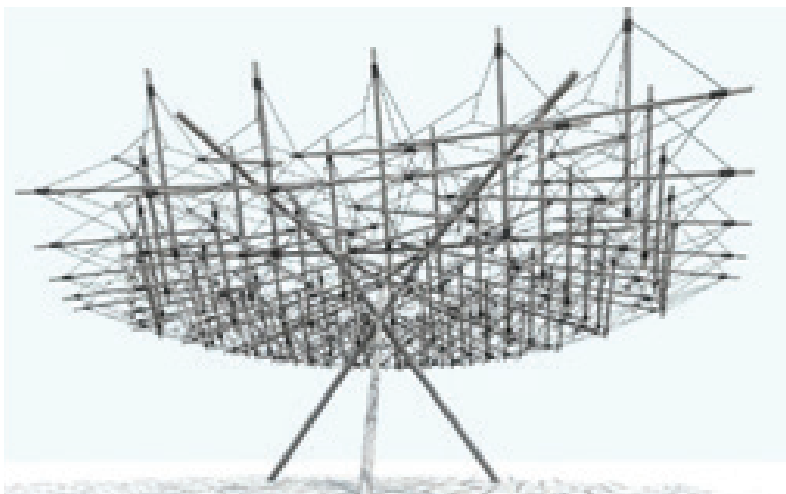


Fig. 12. Tensegrity The Hague,
2013

led to innovations as a sequential series of related innovations, small steps ahead each time, careful not to lead to inappropriate risks and consequences for the Octatube company. Only one project stands out and suffered from complications by no less than eight innovations in one project.

Conclusions

Designing, developing, production and assembly of spatial steel structures for architecture were developed up to completion. Preferably new or innovative systems were developed all-in one hand as 'design and build' systems. In order to keep the pace of innovation and its related responsibilities and liabilities towards other parties in the concerned building project, preference is given to sequences of projects after another, prudently developed over the years. They bring forth new innovations in structural design systems but also in related fields of glued connections of glass panels to steel structures.

REFERENCES

- [1] Eekhout M. (2011). *Tubular Structures in Architecture*. 2th ed. Geneva: Cidect, 2011.
- [2] Eekhout M. (2022). *Glass Design Innovations in Architecture*; Nai 010 Publishers.
- [3] Eekhout M. and Wichers S. (2015). *Lord of the Wings*. Amsterdam: IOS Press.
- [4] Eekhout M. (2008). *Methodology for Product Development in Architecture*. IOS Press.

STRUCTURAL ANALYSIS OF THIN FREE FORM SHELL STRUCTURES BY HEINZ ISLER

Ir. Peter Eigenraam

Delft University of Technology, The Netherlands

Keywords: Heinz Isler, shell structures, free form, reverse engineering, structural analysis

ABSTRACT

Introduction

Rigorous structural analysis of the thin shell structures designed by Heinz Isler (1926–2009) has not yet been performed systematically. Despite several attempts, accurate structural evaluation has remained impossible due to the lack of publicly available geometric data, thereby preventing a deep understanding of Isler's shell structures. Efforts by the author have changed this situation by scanning the geometry of the shells. Studying these works can deepen our understanding of the efficiency and resilience of shell structures, while also revealing the ingenuity of Isler's experimental form-finding methods. This PhD research investigates Isler's shells through digital modeling, based on 3D scans, and structural analysis, and aims to present the results in a manner that establishes a benchmark for future design practice.

Basis material and methods

The presented developments are the following:

1. 3D scanning and archival studies – documentation of the geometry of Isler's shell's.
2. Geometric reconstruction and reverse engineering – processing of point clouds, and generation of accurate NURBS surfaces for structural modelling.
3. Structural analysis – finite element analysis to evaluate load transfer, membrane versus bending action, pre-stress effects, and buckling behavior.

These developments are complemented by the development of a general framework, which consolidates methods and allows insights from individual cases to be compared and extended. Therefore, this research also addresses which methods and outcomes of structural analysis are most appropriate for establishing a benchmark for shell structures.

Results

The research began with a visit to Heinz Isler's former office in Lyssachschachen, where numerous physical models of his shell structures were documented before being transferred to the ETH Zurich gta archive. This provided unique access to original scale models that capture the experimental origins of his designs. In addition to these models, real built shell structures have also been scanned [3].

The next step involved a reverse engineering process: for selected models, the dense point clouds were "cleaned" and processed into smooth and accurate NURBS surfaces. And a methodolo-

gy for consistent processing was developed. The resulting surfaces were then translated into finite element models. This workflow allows Isler's experimental forms to be reconstructed digitally and tested in structural analysis [1].

The initial finite element analysis of Heinz Isler's bubble shells confirms the overall efficiency of Isler's shells, yet also reveals that these structures are not free from bending moments. Prestress is cleverly applied in the edge beams to enhance load transfer by normal forces and reduce tensile stresses, effectively improving durability and stability [2]. Analysis of the Heimberg swimming pool highlights the influence of curving the edges upward, which affects the buckling resistance [3]. This upward curvature, although reasonable, cannot be directly explained by Isler's form-finding methods and appears to be a deliberate refinement beyond the basic membrane-based design.

Conclusions

The research highlights the structural ingenuity of Heinz Isler's shells and intends to provide new insights into their performance through the application of contemporary digital techniques. The complementary development of a methodological framework ensures that the lessons drawn from these case studies are not only relevant for understanding Isler's work but also applicable to the assessment and design of free form shell structures in general. This dual perspective bridges historical craftsmanship and modern engineering practice, thereby contributing both to heritage research and to future innovation.

REFERENCES

- [1] Eigenraam, P. & Borgart A. (2016). "Reverse engineering of free form shell structures: From point cloud to finite element model," *Heron*, vol. 61, no. 3, pp. 193–210.
- [2] Eigenraam P., Borgart, A., Chilton, J. & Li Q., (2020). "Structural analysis of Heinz Isler's bubble shell," *Engineering Structures*, vol. 210, p. 110265.
- [3] Eigenraam, P., Li, Q., J. Chilton, & Borgart, A. (2024). "3D Scanning and structural analysis of Heinz Isler's shell for swimming pools," in *Proc. IASS 2024 Symposium, Zurich*.

INNOVATIVE WOODEN STRUCTURES IN 21ST CENTURY ARCHITECTURE

Michał Golański

Institute of Civil Engineering, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

Keywords: structural system, engineered wood, segmented shells

ABSTRACT

Introduction

The rapid development of advanced digital design tools has facilitated the design of highly complex, non-standard forms. Freeform digital designs are characterized by high formal and procedural complexity, largely due to the introduction of advanced digital design and manufacturing technologies. The use of digital technologies enables the dynamic integration of design intent and assumptions with contextual information. This allows for the creation of highly complex designs that directly engage with specific contexts related to the designed building, such as the building's structural layout, access to natural light, or the building's spatial envelope. The design process is organized within an information system, meaning it has a multi-level structure that allows the user to process input information into output using procedures and models [1–10]. Designing free-form architectural forms requires solving numerous geometric, structural, and material problems. Achieving a feasible and accessible solution requires optimization stages, which can be most fully achieved during the conceptual design phase.

Basis material and methods

The article provides a literature review on discussed topic and comprehensive examination of recent innovative, engineered wood structures, focusing on their form finding and structural design, with completion dates ranging from 2000 to 2025. The analysis is grounded in a detailed review of project designs, computational methods, and structural engineering approaches, aiming to highlight how these projects contribute to the advancement of timber architecture.

Results

Literature reviews on structural optimization in civil engineering highlight trends toward multi-objective approaches that include cost, weight, and environmental impacts. Early incorporation of these in architectural design optimizes engineered wood structures for prefabrication, reducing manufacturing energy and enhancing efficiency. Techniques like topology optimization enable innovative timber forms that minimize embodied energy while meeting performance criteria. Integration of genetic algorithms in Building Information Modeling (BIM) environments optimizes structural designs by automating alternatives. In early phases, this facilitates exploration of timber configurations that balance cost and performance, leading to efficient manufacturing sequences with reduced rework. For engineered wood, such optimization minimizes material scrap

and energy use in production, aligning with sustainable construction goals. BIM-enabled processes enhance early decision making, driving energy savings through optimized prefabrication.

Innovative engineered wood structures selected according to the adopted criteria were analyzed in terms of their spatial, geometric, structural/material, and production methods (fabrication methods in CAD/CAM systems). The results of these analyses confirm that the growing interest in freeform design and the applicability of wood as a natural material is prompting new research in curvilinear architecture. Adaptive systems in architecture and structural engineering create new paths for light-weight, responsive structures. In early design, optimizing engineered wood structures minimizes energy in manufacturing by reducing material volumes while maintaining performance. This interdisciplinary approach streamlines prefabrication and assembly, promoting efficiency and climate neutrality in timber construction. Overall, prioritizing optimization in early architectural and engineering phases drives substantial savings, positioning DfMA (Design for Manufacturing and Assembly) as key to energy-efficient engineered wood structures.

Conclusions

Free-form designs benefit from optimization schemes that adapt to complex geometries, applicable to engineered wood structures. Early-stage parametric modelling allows systems to conform to local geometry and structural demands, enabling efficient timber-based prototypes with rationalized components. This minimizes material waste in manufacturing and supports energy savings by optimizing load paths, reducing the need for excessive structural reinforcements. Optimization structures in early design stages leverages shape and topology adjustments to improve performance. By integrating computational tools, designers can refine configurations for minimal material use, directly applicable to engineered wood frames where early optimization avoids over-design. This leads to manufacturing efficiencies through standardized yet adaptable components, with energy savings from reduced production inputs and lighter assemblies.

The lack of suitable materials for freeform construction has led to the use of long-established materials in new ways. Conventional materials today require a technological reassessment in terms of form and load-bearing efficiency. This involves differentiating material structures to address complex form geometries. Architects demand materials that are exceptionally lightweight, thin, and durable. Paradoxically, wood, which has always been present in architecture, is now perceived as a modern, high-performance material. This material is increasingly being used in the design of custom, freeform architectural structures thanks to research into high-strength composite materials and new methods of designing and forming wooden structures using computer numerical control (CNC) tools. Wood offers many advantages over other technologically advanced building materials. It is a common, readily available, and, unlike many other building materials, completely renewable, which has additional significance for environmental protection. New parametric design tools and strategies, as well as digital fabrication methods, are transforming the way we use wood in architectural design.

REFERENCES

- [1] Berge, B. *Structural Materials. In The Ecology of Building Materials*; Routledge, 2009; pp. 199–246.
- [2] Staib, G.; Dörrhöfer, A.; Rosenthal, M. *Components and Systems: Modular Construction—Design, Structure, New Technologies*; Walter de Gruyter, 2013;
- [3] Veltkamp, M. (2007). *Free form structural design: Schemes, systems & prototypes of structures for irregular shaped buildings*. IOS Press.
- [4] Weinand, Y. (Ed.). (2016). *Advanced timber structures: architectural designs and digital dimensioning*. Birkhäuser.
- [5] Menges, A., Schwinn, T., & Krieg, O. D. (2016). *Advancing wood architecture*. Abingdon, UK: Taylor & Francis.
- [6] Sandaker, B. N., Eggen, A. P., & Cruvellier, M. R. (2019). *The structural basis of architecture*. Routledge.
- [7] Sobek, W., & Teuffel, P. (2001, July). Adaptive systems in architecture and structural engineering. In *Smart structures and materials 2001: Smart systems for bridges, structures, and highways* (Vol. 4330, pp. 36–45). SPIE.
- [8] Sobek, W. (2016). Ultra-lightweight construction. *International Journal of Space Structures*, 31(1), 74–80.
- [9] Macdonald, A. J. (2018). *Structure and architecture*. Routledge.
- [10] Charleson, A. (2014). *Structure as architecture: a source book for architects and structural engineers*. Routledge.

THE URBAN RENAISSANCE IN THE ARABIAN GULF'S HIGH-RISE BUILDINGS AND ITS IMPACT ON THE LOCAL FACTORS

Joanna Jabłońska, Ahmad Abbara

Faculty of Architecture, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland

Keywords: Gulf architecture, Local factors, High-rise buildings

ABSTRACT

Introduction

The Arabian Gulf region has achieved an urban renaissance that has attracted global attention through the architectural achievements of this renaissance, which has become one of the most important topics discussed in architectural circles [1]. The Arabian Gulf region has become a playground for international architects and a land of opportunity for designers who want to see their innovative ideas become reality, not just architectural sketches on paper [2]. The governments of this region have presented a different vision of smart cities and giant skyscrapers, despite the many challenges posed by the region's climatic, social, and economic factors [3–4]. This research paper will review the transformations that the urban renaissance in the Gulf has undergone and the stages it has gone through from traditional to contemporary architecture. It will also review the factors that influenced the formation of this renaissance by reviewing the government measures that were reflected in the design of these towers, in addition to the strategies followed by each country in its renaissance and the role of real estate development companies as key players in controlling today's architecture [5–6]. It also delves into the high-rise projects that have distinguished the region and become global icons. This paper also explains the impact on the social and economic reality of the region, see Fig. 1.



Fig. 1. Graphics showing Dubai Skyline (source: self elaboration based on [7]).

Basis material and methods

The broad vision of the Arabian Gulf and the urban innovation space created by the strategies of governments, architects, and giant real estate development companies in this region has resulted

in an unprecedented experience in urban, social, and economic renaissance. In this study, the following scientific methods were used: Reviewing the theoretical basis and scientific sources by studying theoretical data related to the subject of the study. An analytical approach through reviewing and analyzing examples that were a major cause of the impact on local factors, in addition to analyzing the strategies of real estate development companies in designing and marketing this type of building, as well as a comparative approach between projects and their impact on local factors.

Results

The strategies of the Arab Gulf states' governments played a pivotal role in the success of the urban renaissance through legal legislation supporting innovation and sustainable design [4]. International architects have had a positive impact on Gulf architecture through a series of iconic designs. This was evident in the stage following the opening of the Burj Khalifa, which took Gulf architecture to a new level of innovative design [8], with some projects in the Arabian Gulf being one of the factors that transformed these countries from oil-dependent states to tourist destinations, such as the Dubai Mall [9]. Giant real estate development companies, such as Emaar and Sobha, have plans that target the quality, form, and design of buildings to satisfy all segments of the population [5–6]. On the other hand, architectural projects that carry meanings associated with Arab cultural identity have been widely welcomed by Gulf citizens [11]. As for Saudi Arabia, it has shown a high level of awareness of sustainability through its vision to achieve a new urban renaissance [4]. In Qatar, some sustainable urban planning projects have been implemented at the city or neighborhood level, such as the Msheireb project in downtown Doha [11].

Conclusions

The map of the Arab Gulf countries for urban renaissance had similar goals but different approaches and diverse strategies. Each of those gave different results, which, when compared, offer the best development procedure towards urban and architectural growth. In addition, the Burj Khalifa project achieved results across the entire Arab Gulf, not just in the UAE, which is significant. The following key statement is that, except for properly formed spatial and urban policies, the giant real estate development companies are a key factor in the shape of Gulf architecture today, with some reservations from local communities about Arab identity. Finally, it is stated that the future of Arab Gulf architecture is moving towards global architecture with touches that revive Arab architecture.

REFERENCES

- [1] Salama, M. A., & Wiedmann, F., (2013). Evolving Urbanism of Cities on the Arabian Peninsula, *Open House International*, Vol. 38(4), DOI:10.1108/OHI-04-2013-B0001.
- [2] Koolhaas, R., & Obrist, H. U., (2019). *Project Japan: Metabolism Talks*, Taschen.
- [3] Dubai Municipality., (2025). Government of Dubai, <https://www.dm.gov.ae/>
- [4] Saudi Vision 2030., (2025). *The leadership's speech*, <https://www.vision2030.gov.sa/>
- [5] Emaar Properties., (2025). *International Destinations*, <https://properties.emaar.com/>
- [6] Shoba Realty., (2025). *Thoughtful Design*, <https://sobharealty.com/>
- [7] Fry, E., (2025). A 10-Square-Mile AI Superhub Is Rising in the Desert – and AGI Stocks Could Soar. OpenAI is offering the Middle East the infrastructure needed for AI services..., *Investorplace*, <https://investorplace.com/smartmoney/2025/05/a-10-square-mile-ai-superhub-is-rising-in-the-desert/>.
- [8] Elsheshtaw, Y., (2010). *Dubai: Behind an Urban Spectacle*, Routledge.
- [9] Bagaeen, S. (2018). Brand Dubai: The Instant City and the Spectacularization of Urban Space, *International Planning Studies*, Vol. 23(3), <https://doi.org/10.1080/13563470701486372>.
- [10] Jumeirah, (2025). <https://www.jumeirah.com/>.
- [11] Salama, A. M., & Wiedmann, F., (2016). *Demystifying Doha: On Architecture and Urbanism in an Emerging City*, Routledge.

BUDOWLE OCHRONNE PRZY OBIEKTACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

**Magdalena Jagiełło-Kowalczyk, Przemysław Markiewicz-Zahorski,
Bogdan Siedlecki, Wojciech Grzechynka**

Wydział Architektury, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Kraków, Polska

Słowa kluczowe: budowle ochronne, obiekty użyteczności publicznej,
systemy konstrukcyjne, wielofunkcyjność

ABSTRAKT

Wstęp

Referat przedstawia kompleksowe wytyczne projektowe i eksploatacyjne dotyczące budowy schronów przy obiektach użyteczności publicznej, obejmujące aspekty konstrukcyjno-budowlane, bezpieczeństwa, sanitarne, funkcjonalne, magazynowe oraz adaptowalność do podwójnej funkcji w czasie pokoju. W referacie omówiono kryteria lokalizacji, wymagania dotyczące nośności i szczelności konstrukcji, systemy filtracji CBRN, instalacje zasilania awaryjnego, zabezpieczenia przeciwpożarowe oraz rozwiązania sanitarne i medyczne zapewniające higienę i minimalizację ryzyka zakażeń. Przedstawiono wytyczne dotyczące funkcjonalnego rozplanowania przestrzeni, ergonomii, obsługi specjalnych grup użytkowników oraz standardów magazynowania żywności, wody i środków medycznych wraz z procedurami logistyki i gospodarki odpadami. Zwrócono uwagę na możliwość wielofunkcyjnego wykorzystania schronów w czasie pokoju (sale, parkingi, magazyny) oraz wymagania techniczne i organizacyjne umożliwiające szybkie przełączenie do funkcji ochronnej.

Materiał i metody

Metodyka pracy opiera się na przeglądzie obowiązujących norm i regulacji, analizie literatury fachowej oraz studiach przypadków.

Wyniki

Klasyfikacja i funkcje schronów przy obiektach użyteczności publicznej

- Typologia: schrony podziemne, nadziemne, adaptowane pomieszczenia (np. garaże, piwnice), modułowe konstrukcje prefabrykowane;
- Poziomy ochrony: odporność na przebicie (klasy odporności), ochrona przed falą uderzeniową, ochrona radiacyjna i chemiczna, izolacja biologiczna;
- Funkcje kryzysowe: bezpieczne przebywanie ludności, punkt medyczny, magazyn krytycznych zapasów, centrum łączności/koordynacji;
- Integracja z systemem ochrony: współdziałanie z lokalnymi służbami ratunkowymi i planami ewakuacji [1, 2].

Zagadnienia konstrukcyjno-budowlane

1. Lokalizacja: kryteria wyboru, analiza ryzyka lokalizacyjnego;
2. Fundamenty i konstrukcja: nośność, odporność na obciążenia dynamiczne i lokalne eksplozje, projekt stropów i ścian nośnych, wzmocnienia;
3. Szczelność i hermetyczność: uszczelnienia przejść instalacyjnych, drzwi hermetyczne, systemy odcięcia;
4. Materiały i technologie: wymagania dotyczące betonu zbrojonego, stali konstrukcyjnej, powłok ochronnych, zastosowanie prefabrykatów;
5. Wentylacja i filtracja: układy mechaniczne z odzyskiem ciepła i filtracją CBRN, redundancja systemów, układy awaryjne (ręczne pompy, systemy napowietrzania);
6. Instalacje elektryczne: zasilanie podstawowe i rezerwowe (agregaty, UPS), oświetlenie awaryjne, okablowanie chronione;
7. Ochrona przeciwpożarowa: materiały niepalne, systemy wykrywania i izolacji pożaru, drogi ewakuacyjne odporne na dym;
8. Odwodnienie i izolacja przeciwwilgociowa: zabezpieczenia przed zalaniem, pompy odwodnieniowe, bariery przeciwwilgociowe;
9. Adaptacja istniejących obiektów: ograniczenia konstrukcyjne, procedury wzmacniania, aspekty formalno-prawne modernizacji [4].

Wymagania bezpieczeństwa

1. Wytrzymałość strukturalna i bezpieczeństwo użytkowania: normy projektowe, współczynniki bezpieczeństwa, inspekcje okresowe;
2. Ochrona CBRN: wymagane klasy filtrów, procedury dekontaminacji, strefy brudne/czyste;
3. Ewakuacja i dostępność: minimalne szerokości dróg ewakuacyjnych, stopnie dostępności dla osób z niepełnosprawnościami, oznakowanie zgodne z normami;
4. Systemy alarmowe i łączność: redundantne kanały komunikacji, integracja z zewnętrznymi systemami alarmowymi;
5. Kontrola dostępu i bezpieczeństwo wewnętrzne: strefowanie, bariery mechaniczne, procedury przyjmowania osób.

Wymagania sanitarne i zdrowotne

1. Minimalne wskaźniki sanitarne: ilość wody pitnej i sanitariatów przypadająca na osobę na dobę, standardy jakości wody magazynowanej;
2. Instalacje sanitarne: systemy toalet suchych i splukujących, zbiorniki na ścieki, separacja fekalii, mechanizmy neutralizacji zapachów;
3. Warunki mikroklimatyczne: wymagane parametry temperatury i wilgotności, wentylacja wymuszona dla kontroli CO₂ i zapachów;
4. Higiena i kontrola zakażeń: strefy do higieny rąk, punkty dezynfekcji, procedury izolacji podejrzanych przypadków chorobowych;
5. Wyposażenie medyczne: apteczki, urządzenia pierwszej pomocy, miejsce do zabiegów medycznych i ewentualnej krótkoterminowej hospitalizacji;
6. Zasoby żywnościowe: standardy składowania, zapasy żywności o długim terminie przydatności, zasady rotacji zapasów [4].

Wymagania funkcjonalne i ergonomiczne

1. Strefowanie wnętrza: strefy noclegowe, socjalne, techniczne, medyczne, dezynfekcyjne oraz komunikacyjne;
2. Parametry przestrzenne: minimalne powierzchnie na osobę, wysokości użytkowe, przestrzeń do przechowywania bagażu;
3. Wyposażenie: składane łóżka, wielofunkcyjne meble, systemy mocowania dla bezpieczeństwa podczas wstrząsów;
4. Komfort psychofizyczny: kontrola oświetlenia, strefy prywatności, akustyka (izolacja hałasu);
5. Obsługa specjalnych grup: rozwiązania dla kobiet w ciąży, dzieci, osób starszych, osób z niepełnosprawnościami sensorycznymi i ruchowymi;
6. Procedury zarządzania przestrzenią: rotacja miejsc, harmonogramy wykorzystania stref wspólnych, zasady ciszy i porządku.

Magazynowanie i logistyka

1. Zapas wody: wytyczne dotyczące pojemności (l/os./dzień), systemy uzdatniania i konserwacji zasobów;
2. Magazynowanie żywności: wymagania temperaturowe, zabezpieczenia przed szkodnikami, dokumentacja rotacji produktów;
3. Surowce medyczne i higieniczne: katalog kluczowych leków, sprzętu medycznego, środków opatrunkowych i dezynfekcyjnych;
4. Energia i paliwo: poziomy zasobów paliwa dla agregatów, alternatywne źródła energii (PV z magazynem);
5. Logistyka uzupełniania: zalecenia dotyczące częstotliwości uzupełnień, łańcuch dostaw awaryjnych, umowy z dostawcami;
6. Gospodarka odpadami: separacja odpadów medycznych, stałych i ciekłych, procesy neutralizacji i transportu odpadów;
7. System ewidencji zasobów: metody śledzenia dat ważności, zużycia i lokalizacji zasobów.

Podwójna funkcja w czasie pokoju

1. Modele wielofunkcyjności: projektowanie przestrzeni użytkowych z możliwością szybkiej konwersji;
2. Wymogi techniczne do szybkiej transformacji: systemy rozłączalne, modułowe instalacje filtracyjne;
3. Procedury aktywacji: checklisty szybkiego przygotowania, harmonogramy czynności, role personelu;
4. Aspekty ekonomiczne: analiza kosztów budowy vs korzyści użytkowania wielofunkcyjnego, modele finansowania i partnerstwo publiczno-prywatne;
5. Utrzymanie i testowanie: regularne ćwiczenia przekształcenia, testy funkcji awaryjnych bez przerywania funkcji pokojowej;
6. Case studies [5].

Wnioski

Kluczowe wnioski dla projektantów, inwestorów i decydentów obejmują priorytety projektowe, obowiązkowe elementy wyposażenia, niezbędne szkolenia. Wnioski podkreślają konieczność integracji rozwiązań konstrukcyjnych, technicznych i organizacyjnych celem zapewnienia skutecznej ochrony ludności przy jednoczesnym optymalnym wykorzystaniu infrastruktury w warunkach pokojowych.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Dziennik Ustaw RP, Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 26.02.2025, poz. 235, w sprawie kryteriów uznawania obiektów budowlanych albo ich części za budowle ochronne.
- [2] Dziennik Ustaw RP, Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31.07.2025, Poz. 1070, w sprawie szczegółowych warunków wyznaczania budynków użyteczności publicznej, w których zapewnia się budowle ochronne.
- [3] Dziennik Ustaw RP, Poz. 1907, Ustawa z dnia 5 grudnia 2024 r. o ochronie ludności i obronie cywilnej.
- [4] Wytyczne Szefa OCK dotyczące budowli ochronnych.
- [5] Jakubczak F. (2024), *Rola podziemnych obiektów ochronnych w zrównoważonym rozwoju miast* (praca doktorska).

SCHRON POMOCY MEDYCZNEJ JAKO SZCZEGÓLNY PRZYKŁAD BUDOWLI OCHRONNEJ

Artur Jörgen

Politechnika Wrocławska

Słowa kluczowe: schron pomocy medycznej (SPM), zabezpieczenie medyczne, infrastruktura ochronna, projektowanie schronów

ABSTRAKT

Wstęp

W wyniku współczesnych konfliktów zbrojnych o charakterze konwencjonalnym zawsze poszkodowana jest ludność cywilna, pomimo iż nie stanowi celu militarnego [1]. Działania wojenne z udziałem nawet bardzo precyzyjnych środków rażenia generują znaczną liczbę ofiar wśród ludności, dla której infrastruktura ochronna i medyczna jest często niewystarczająca [2]. Eksplozje ładunków konwencjonalnych stanowią główną przyczynę urazów i zgonów, co uzasadnia potrzebę opracowania wyspecjalizowanych obiektów ochronnych zdolnych do zabezpieczenia pomocy medycznej w warunkach bezpośredniego zagrożenia [4].

Celem pracy jest przedstawienie koncepcji schronu pomocy medycznej (SPM) jako fortyfikacji o szczególnym przeznaczeniu, łączącej funkcje ochronne i medyczne zgodnie z poziomami opieki I lub II (tab. 1, s. 34) według standardów NATO z możliwością ewakuacji pacjentów na wyższe poziomy [3].

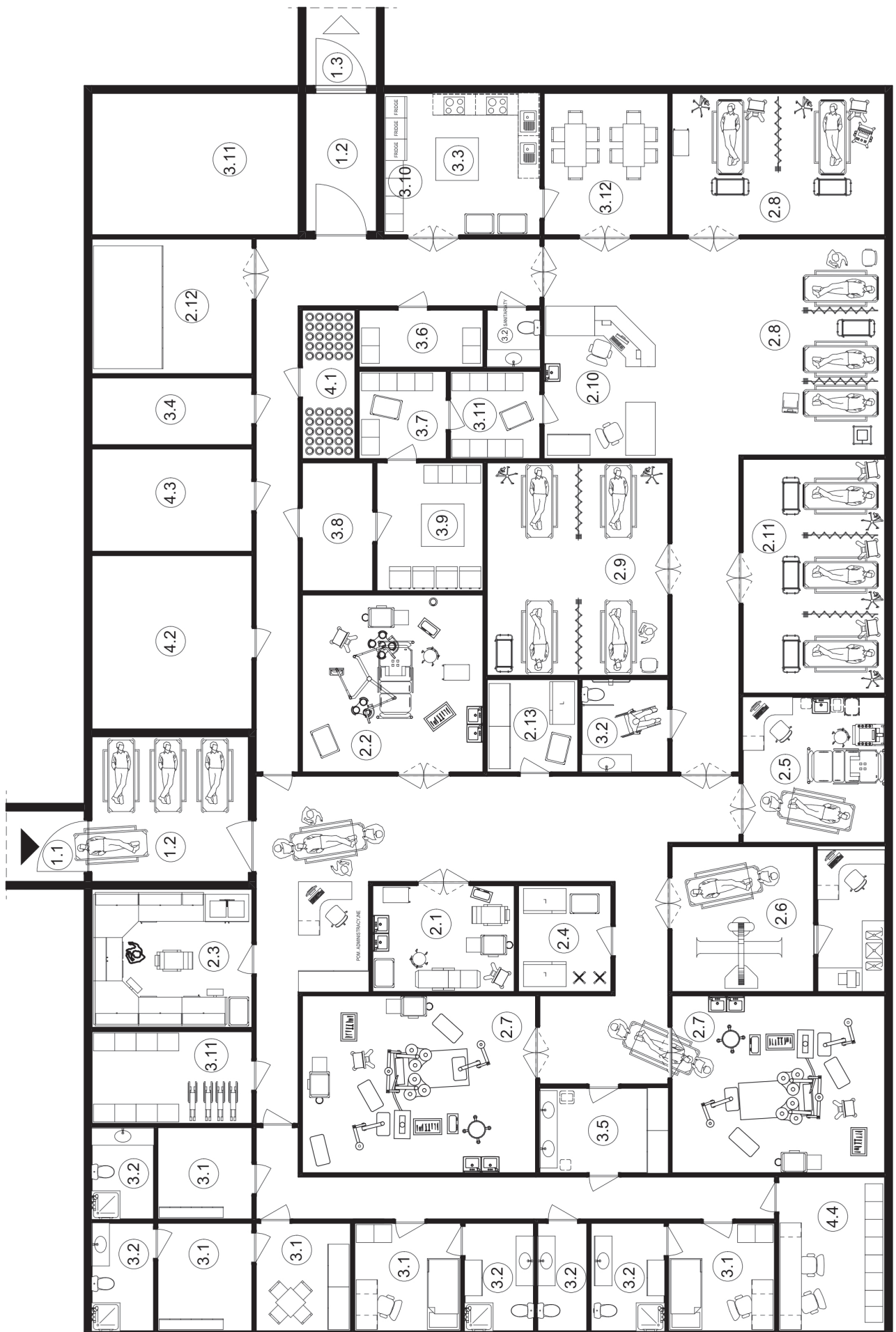
Materiał i metody

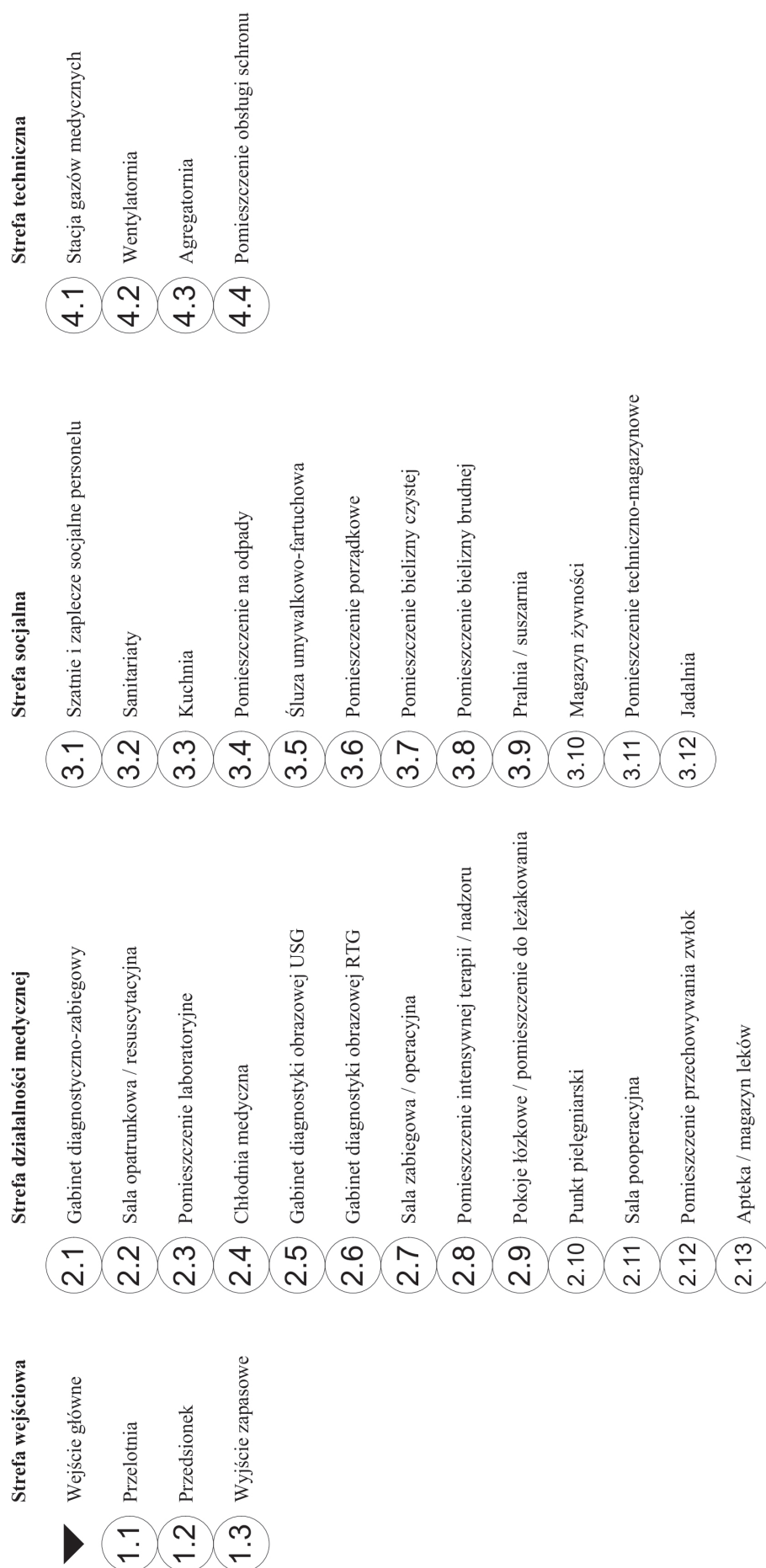
Podstawą badań była analiza aktualnych wytycznych projektowych i norm dotyczących budowli ochronnych [2] oraz danych medycznych dotyczących typologii urazów w zależności od występujących czynników rażenia [4]. Przeanalizowano doświadczenia ze współczesnych konfliktów zbrojnych, zastosowano metodę analityczno-projektową, łączącą analizę funkcjonalno-przestrzenną budowli ochronnych [2] oraz przeprowadzono konsultacje z ekspertami medycznymi [3].

Wyniki

Schron to budowla hermetyczna o budowie zamkniętej zapewniająca odporność przed przewidywanym środkiem rażenia oddziałującym z każdego kierunku. SPM łączy funkcje ochronne i medyczne i obejmuje cztery zasadnicze strefy funkcjonalne: wejściową i komunikacji wewnętrznej, działalności medycznej, zawierającą moduły zabezpieczenia medycznego, socjalną przeznaczoną dla personelu i krótkotrwałego pobytu pacjentów, techniczną, wyposażoną w pomieszczenia i urządzenia warunkujące długość przebywania w schronie [5].

Przyjęto modułowy system organizacji przestrzeni, pozwalający elastycznie konfigurować układ funkcjonalny zgodnie z liczbą poszkodowanych i stopniem wyposażenia schronu (również w sytuacji strat masowych MASCAL) [3]. Strefowanie pomieszczeń (czysta – umownie czysta –





Ryc 1. Propozycja rozwiązania funkcjonalnego SPM

Tabela 1. Charakterystyka poziomów opieki medycznej stosowanych przez NATO (na podstawie [3])

Poziom	Zakres działania	Charakterystyka i możliwości
Zdolności gwarantujące pierwszą pomoc (First Response Capability)	Samopomoc, pomoc koleżeńska, ratownicy pola walki	Tamowanie krwotoków, udrożnienie dróg oddechowych, przygotowanie do ewakuacji
Poziom 1 (ROLE 1)	Podstawowa opieka medyczna, kwalifikowana pomoc medyczna, segregacja, reanimacja, stabilizacja funkcji życiowych	Rutynowe przyjęcia ambulatoryjne, doradztwo w zakresie medycyny zapobiegawczej, podstawowe możliwości laboratoryjne, izolatory, wstępna terapia stresu, podstawowa stomatologia
Poziom 2 podstawowy (ROLE 2 Basic)	Interwencje chirurgiczne, chirurgia ratunkowa, diagnostyka laboratoryjna i obrazowa (RTG, USG), intensywna opieka krótkoterminowa	Laboratorium, diagnostyka obrazowa (RTG, USG), ewakuacja, logistyka medyczna, telemedycyna
Poziom 2 wzmocniony (ROLE 2 Enhanced)	Dodatkowo: rozszerzona intensywna terapia, psychiatria, stomatologia, koordynacja ewakuacji	Medycyna zapobiegawcza, psychologia, psychiatra, medycyna wewnętrzna
Poziom 3 (ROLE 3)	Szpital, pełna specjalistyczna opieka chirurgiczna i internistyczna, rehabilitacja	Rozbudowane możliwości diagnostyczne, pełna chirurgia specjalistyczna, ograniczona mobilność, opieka specjalistyczna dodatkowych dziedzin medycznych takich jak neurochirurgia, chirurgia oparzeniowa, choroby zakaźne, rehabilitacja
Poziom 4 (ROLE 4)	Opieka docelowa, pełny zakres leczenia, chirurgia rekonstrukcyjna, rekonwalescencja	Stacjonarne pełne zaplecze specjalistyczne

umownie brudna – brudna) umożliwia utrzymanie reżimu sanitarnego oraz kontrolę przepływu pacjentów i personelu. Zastosowanie trójdzielnego układu funkcjonalnego (personel – pacjent – logistyka) wyznacza ścieżkę medyczną pacjentów, personelu medycznego i zaopatrzenia, co przedstawiono na ryc. 1 (s. 32–33).

Wnioski

Schron pomocy medycznej stanowi uzupełnienie systemu ochrony ludności, umożliwiające natychmiastowe leczenie chirurgiczne w ciągu pierwszej godziny po urazie [3]. Modułowe rozwiązanie przestrzenne pozwala na szybkie dostosowanie SPM do różnych scenariuszy leczenia i liczby poszkodowanych. Integracja funkcji medycznych i ochronnych w jednym obiekcie zwiększa zdolności ochrony ludności i obrony cywilnej. Dalsze prace powinny obejmować opracowanie standardu projektowego SPM dla zastosowań cywilnych i wojskowych oraz jego włączenie do krajowych regulacji dotyczących budowy ochronnych.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Szcześniak Z., Budowle schronowe obrony cywilnej w Polsce. Stan dzisiejszy i kierunki rozwoju, Ekomilitaris 2011.
- [2] Jörgen A. et al., Design of Shelters for Civilians in the Event of Armed Conflict: State of the Art and Contemporary Design Guidelines, Środowisko Mieszkaniowe, 2025. <https://doi.org/10.2478/he-2025-001.9>
- [3] Ministerstwo Obrony Narodowej, Zabezpieczenie medyczne Sił Zbrojnych RP DD-4.10(A), Bydgoszcz, 2015.
- [4] Champion H.R. et al., Injuries from explosions: Physics, biophysics, pathology, and required research focus, 2009. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181a27e7f>.
- [5] Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie pomieszczeń i urządzeń podmiotów leczniczych, Warszawa, 2019.

OPTIMIZING ARCHITECTURAL FORM IN RESPONSE TO THE DYNAMICS OF CLIMATE CHANGE

Justyna Juchimiuk

Institute of Civil Engineering, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

Keywords: climate resilient building, sustainable architecture and construction, environmental optimization

ABSTRACT

Introduction

In sustainable architecture for the 21st century, a holistic strategy is essential to create structures that withstand intensifying environmental challenges while advancing climate adaptation and mitigation. By integrating green infrastructure like roofs and walls, buildings can better manage stormwater and boost microclimatic resilience, all while aligning with surrounding urban ecosystems through localized climate insights [1–12]. Flexible, modular configurations enable adaptability, allowing for expansions or modifications as weather patterns shift over time. Choosing robust, low-embodied-carbon materials not only extends building lifespan but also curbs ecological footprints amid harsher conditions. To counter flooding threats, incorporating raised bases and water-resilient foundations becomes vital, safeguarding against rising waters and related hazards.

Basis material and methods

To investigate the interplay between literature insights and practical applications in climate resilience, the article synthesizes findings from a systematic review and case studies, focusing on how benchmarks from theoretical sources align with actual building implementations. Modern structures built from 2010 to 2025 were chosen for analysis based on their emphasis on massing within sustainable design and construction themes. Through case study methods, the research conducts empirical examinations of current phenomena, showcasing real-world examples of solutions in their authentic settings to assess the practicality of identified standards. The study also draws from a broad survey of scholarly works on architectural sustainability and resilience to climate impacts. Overall, this blended methodology—combining literature synthesis with in-depth case explorations—aims to pinpoint strategies and techniques used in eco-friendly design, outline core advantages and guidelines, and uncover the influences shaping building forms amid environmental shifts.

Results

Sustainable architecture prioritizes designs that fulfill living and occupancy requirements while minimizing environmental impact. By incorporating passive strategies like natural ventilation, solar shading, and optimal orientation, buildings can reduce dependence on mechanical systems, boosting energy efficiency and ensuring occupant comfort. These approaches also enhance thermal performance, cut energy consumption, and bolster durability against harsh weather through the use of superior insulation and eco-friendly materials.

To achieve longevity, structures should maintain comfort across seasons and forge deep ties with their surrounding environment and landscape. The building industry can lead the charge in addressing climate change by embracing such methods. Moreover, evolving architectural shapes should transcend traditional massing and envelope norms to embed passive responses to climate, bolster active resilience, and cope with extreme weather events.

Focusing on elements like compactness, orientation, window proportions, envelope layouts, and blending with natural solutions helps sustain thermal comfort, structural stability, and operational efficiency in projected climate scenarios. This not only curbs urban heat islands but also fosters on-site biodiversity and water conservation, aiding overall resilience. In addition, features such as green roofs, open courtyards, and terraces create beneficial microclimates that support natural cooling and airflow, alongside sophisticated systems that shape responsive forms.

Conclusions

Architects face the intricate task of crafting forms that balance energy use, structural strength, material choices, and visual appeal, tailored to each site's specifics—this goes beyond mere aesthetics to profoundly shape a building's ecological footprint, usability, and user well-being. In an era of accelerating climate shifts, forms must be streamlined for wind resistance with reinforced elements and aerodynamic shapes to endure stronger storms. Similarly, thermal control is achieved via smart positioning, shading devices, and airflow designs that lessen heatwave effects and cut down on emissions from energy demands. Looking ahead, these innovations promise structures that fuse advanced aesthetics with environmental stewardship, turning design hurdles into chances to reshape human habitats. Central to this is the meticulous assessment of ecological elements, which informs everything from spatial layouts to engineering and operational systems. Ultimately, architecture stands as a key driver in curbing climate impacts, where optimized designs slash energy needs and foster enduring, livable spaces for a more robust tomorrow.

REFERENCES

- [1] Crichton, D., Nicol, F., & Roaf, S. (2009). *Adapting buildings and cities for climate change*. Routledge.
- [2] Fabris, L. M. F., & Ducheve, D. (2017). Smart Buildings in Italy, some BIM designed examples. *Środowisko Mieszkaniowe*, 19, 45–53.
- [3] Fatima, K. (2024). Sustainable and Resilient Architecture: Prioritizing Climate Change Adaptation. *Civil Engineering and Architecture*, 12(1), 577–585.
- [4] Huang, Y.-S., Chang, W.-S., & Shih, S.-G. (2015). Building massing optimization in the conceptual design phase. *Computer-Aided Design and Applications*, 12(3), 344–354.
- [5] Lucchi, E., Turati, F., Colombo, B., & Schito, E. (2024). Climate-responsive design practices: A transdisciplinary methodology for achieving sustainable development goals in cultural and natural heritage. *Journal of Cleaner Production*, 457, 142431.
- [6] Mohaibesh, D., Monna, S., Qadi, H., & Sokkar, R. (2021). Towards climate resilient residential buildings: Learning from traditional typologies. *Journal of Physics: Conference Series*, 2042(1), 012146.
- [7] Roaf, S., Crichton, D., & Nicol, F. (2009). *Adapting buildings and cities for climate change: A 21st century survival guide*. Routledge.
- [8] Saifudeen, A., & Mani, M. (2024). Adaptation of buildings to climate change: An overview. *Frontiers in Built Environment*, 10, 1327747.
- [9] Shao, T., Wang, L., & Ji, G. (2024). Formal Variation Exploration for Performance-Based Building Massing Design Optimization. *29th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2024*, 333–342.
- [10] Sijakovic, M., & Peric, A. (2021). Sustainable architectural design: Towards climate change mitigation. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 15(2), 385–400.
- [11] Thompson, R., Liu, L., & Plail, M. (2024). Building for tomorrow. *Cell Reports Sustainability*, 1(12).
- [12] Wang, L., Janssen, P., & Ji, G. (2024). Optimization-based design exploration of building massing typologies—Evo-Mass and a typology-oriented computational design optimization method for early-stage performance-based building massing design. *Frontiers of Architectural Research*, 13(6), 1400–1422.

GOSPODARKA CYRKULARNA: STRATEGIE ARCHITEKTONICZNE MINIMALIZUJĄCE ŚLAD WĘGLOWY POPRAWZ INTEGRACJĘ MATERIAŁÓW Z ODZYSKU

Lea Kazanecka-Olejek

Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

Słowa kluczowe: gospodarka cyrkularna, materiały z odzysku, materiały z recyklingu, ślad węglowy

ABSTRAKT

Wstęp

Istotnym aspektem współczesnych rozważań na temat zrównoważonego rozwoju w architekturze jest kontrola śladu węglowego generowanego w procesach budowlanych. Obecnie budynki odpowiadają za 39% globalnej emisji dwutlenku węgla, z czego 11% pochodzi z emisji wbudowanej [1]. W Europie są obecnie wdrażane i opracowywane wymagania dotyczące ograniczenia emisji dla nowych budynków, m. in. Part L (2022) oraz opracowywany Part Z w Wielkiej Brytanii [2], RE2020 we Francji [3]. Spełnienie tych wymogów jest jednym z powodów, dla których poszukuje się innowacji w systemach konstrukcyjnych takich, jak wykorzystanie drewna klejonego, betonów niskoemisyjnych, materiałów z odzysku. Gospodarka cyrkularna pozwala traktować budynki przeznaczone do rozbiórki nie jako odpad, lecz jako zasób, który może posłużyć do kształtowania zrównoważonej architektury. Celem niniejszych badań jest identyfikacja potencjału zastosowania materiałów pochodzących z odzysku w procesach budowlanych, ze szczególnym uwzględnieniem ich wpływu na redukcję śladu węglowego oraz analiza związanych z tym wyzwań i perspektyw rozwojowych.

Materiały i metody

Przeprowadzone badania opierają się na przeglądzie literatury dotyczącej współczesnych technologii budowlanych dedykowanych gospodarce cyrkularnej znajdujących się w bazie Scopus i opublikowanych w latach 2000-2025. Dokonano analizy porównawczej ofert producentów i studiów przypadków budynków wykorzystujących materiały budowlane pozyskane z rozbiórki, zrealizowane w tym samym przedziale czasowym w Europie. Na podstawie zgromadzonych danych dokonano identyfikacji współczesnych metod zagospodarowania odpadów budowlanych oraz przeprowadzono analizę kluczowych wyzwań i potencjalnych kierunków dalszego rozwoju.

Wyniki

Ponowne wykorzystanie odpadów budowlanych można rozpatrywać w dwóch podstawowych skalach. Wykorzystywane są zarówno fragmenty budynków, takie jak ściany, słupy czy belki [4], jak i elementy, które po przetworzeniu stają się składnikami nowych materiałów [5]. Odzyskane materiały mogą być stosowane zarówno w lokalizacji, z której pochodzą, jak i w innych inwestycjach, niezależnych przestrzennie i czasowo od miejsca rozbiórki. Na potrzeby takich działań po-

wstają zakłady odzysku surowców niezwiązane z lokalizacją inwestycji [6], a także mają miejsce indywidualne, oddolne działania, w których właściciele samodzielnie sprzedają odpady rozbiórkowe. Ponowne wykorzystanie materiałów budowlanych to nie tylko sposób na redukcję śladu węglowego, ale także możliwość uzyskania unikatowych rozwiązań architektonicznych — np. poprzez eksponowanie odzyskanych elementów konstrukcyjnych lub elewacyjnych. Ze względu na zróżnicowany stan techniczny odzyskiwanych materiałów, efekty przestrzenne są mniej przewidywalne niż w przypadku nowych, seryjnie produkowanych komponentów.

Wśród kluczowych wyzwań stojących przed gospodarką cyrkularną w budownictwie znajdują się kwestie związane z określaniem parametrów technicznych, jakości i trwałości pozyskiwanych materiałów. Brak jest jednolitych standardów ułatwiających wykorzystanie materiałów rozbiórkowych, a także pewności, że pozyskane materiały będą ostatecznie nadawały się do ponownego użycia. Wykonana analiza porównawcza pokazuje, że niezbędnymi etapami procesu stają się inwentaryzacja, ocena stanu istniejącego, pozyskiwanie i przetwarzanie materiałów, co wiąże się z dodatkowymi kosztami i czasem.

Dużym wyzwaniem staje się również transport i magazynowanie materiałów [7]. Transport jest jednym z istotnych czynników wpływających na wielkość śladu węglowego i może zmniejszać korzyści wynikające z ponownego wykorzystania odpadów budowlanych. Dlatego też w gospodarce cyrkularnej kluczowe jest całościowe rozpatrywanie procesu, jego zysków i strat. W odpowiedzi na te wyzwania powstają banki zasobów, a część odpadów wykorzystywana jest także do produkcji konkretnych produktów, np. okna ORAE wykorzystujące stłuczkę szklaną, produkowane przez Saint-Gobain [8]. Korzystanie z takich rozwiązań pozwala obniżyć całkowity ślad węglowy nowego obiektu, niezależnie od tego, czy surowce pochodzą z danej działki. Dodatkową korzyścią jest eliminacja potrzeby składowania odpadów porozbiórkowych.

Wśród kluczowych perspektyw gospodarki cyrkularnej, wskazywanych w analizowanej literaturze i przykładach, pojawia się tworzenie banków zasobów, zakładów odzysku surowców oraz infrastruktury dedykowanej zarządzaniu odpadami budowlanymi [6]. Wsparciem dla procesów oceny i pozyskiwania materiałów stają się narzędzia cyfrowe, takie jak BIM, systemy uczenia maszynowego czy projektowanie odwrócone wspierane przez sztuczną inteligencję [9, 10]. Istotne jest także współczesne projektowanie obiektów tak, by w przyszłości łatwiejsze było ich przekształcenie, ponowne wykorzystanie elementów, recykling [11].

Wnioski

Architektura oparta na zasadach gospodarki cyrkularnej to nie tylko ponowne wykorzystanie dużych elementów konstrukcyjnych, ale także szereg działań zmierzających do ograniczenia śladu węglowego — np. poprzez produkcję nowych materiałów budowlanych z materiałów rozbiórkowych. W rezultacie kierunek rozwoju innowacji konstrukcyjnych ulega przekształceniu — od koncentracji na tworzeniu unikatowych form architektonicznych ku zwiększeniu uwagi na aspekty środowiskowe, w tym możliwości ponownego wykorzystania odpadów budowlanych w ramach gospodarki o obiegu zamkniętym.

PIŚMIENNICTWO

- [1] World Green Building Council, Bringing embodied carbon upfront, <https://worldgbc.org/climate-action/embodied-carbon/>, dostęp: 5.09.2025.
- [2] One Click LCA, Understanding Part Z: What whole-life carbon regulation means for UK construction, <https://one-clicklca.com/en-gb/resources/articles/part-z-whole-life-carbon-rules-for-uk-construction>, dostęp z dn. 5.09.2025.
- [3] European Commission, Revised thermal regulation (RE2020), https://commission.europa.eu/projects/revised-thermal-regulation-re2020_en, dostęp: 5.09.2025.
- [4] Hradil, P., Talja, A., Wahlstrom, M., Huuhka, S., Lahdensivu, J., Pikkuvirta, J. (2014). Re-use of structural elements: Environmentally efficient recovery of building components. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology No. 200.
- [5] Lachat, A., Mantalovas, K., Desbois, T., Yazoghli-Marzouk, O., Colas, A.-S., Di Mino, G., Feraille, A. (2021). From Buildings' End of Life to Aggregate Recycling under a Circular Economic Perspective: A Comparative Life Cycle Assessment Case Study. Sustainability, 13(17), 9625.

- [6] A. Langley, M. Lonergan, T. Huang, M. Rahimi Azghadi (2025). Analyzing mixed construction and demolition waste in material recovery facilities: evolution, challenges, and applications of computer vision and deep learning. *Resources, Conservation and Recycling*, 217.
- [7] Spišáková, M., Mandičák, T., Mésároš, P., Špak, M. (2022). Waste Management in a Sustainable Circular Economy as a Part of Design of Construction. *Applied Sciences*, 12(9), 4553.
- [8] Saint-Gobain, ORAÉ®, <https://www.saint-gobain-glass.pl/products/szklo-o-niskim-sladzie-weglowym/orae#tutorial>, dostęp: 5.09.2025.
- [9] Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Oluleye, B., Dauda, J., Àkànbí, L.A. (2024). Integrated BIM and Machine Learning System for Circularity Prediction of Construction Demolition Waste. *ArXiv*.
- [10] Zheng, Y., Thakolkaran, P., Biswal, A.K., Smith, J.A., Lu, Z., Zheng, S., Nguyen, B.H., Kumar, S., Vashisth, A (2025). AI-Guided Inverse Design and Discovery of Recyclable Vitrimeric Polymers. *Adv. Sci.*, 12(6).
- [11] Schützenhofer, S., Kovacic, I., Rechberger, H., Mack, S. (2022). Improvement of Environmental Sustainability and Circular Economy through Construction Waste Management for Material Reuse. *Sustainability*, 14(17), 11087.

PHOTOVOLTAIC FARMS ON MUNICIPAL WASTE LANDFILLS

**Michał Kosakiewicz¹, Magdalena Daria Vaverková^{1,2},
Eugeniusz Koda¹, Karolina Krysińska¹**

¹ Institute of Civil Engineering, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

² Faculty of AgriSciences, Mendel University, Brno, Czech Republic

Keywords: photovoltaic panels, landfill sites, environmental impact assessment, sustainable development, construction

ABSTRACT

Introduction

Municipal landfills occupy large areas that are underused and cause long-term environmental damage. The energy transition increases the demand for photovoltaic (PV) sites, and coupling reclamation with solar generation reduces pressure on farmland and high-value habitats. The literature stresses cap protection, settlement monitoring, and non-penetrating, ballasted mounting [1–4]. This paper reviews the key requirements, outlines Poland's legal framework, and presents a case study of the Zakroczym landfill.

Basis material and methods

A three-step procedure was applied. First, a review of the literature and best practices on PV siting on landfills was conducted, with an emphasis on non-penetrating systems and long-term settlements [1, 2, 5]. Secondly, a comprehensive analysis of Polish requirements was conducted, encompassing spatial planning [6], environmental decisions within the framework of the Environmental Impact Assessment (EIA) [7], the Council of Ministers Regulation [8] concerning projects deemed likely to have environmental impacts, grid connection under the Renewable Energy Sources (RES) [9], and building permits as stipulated in the Construction Law [10]. Third, we carried out an inventory and assessment of the Zakroczym landfill (Fig. 1). The evaluation considered the landfill's configuration, operational history, geological and hydrogeological conditions, as well as leachate and gas management infrastructure. On this basis, potential buildable areas and key constraints for PV deployment were identified.

Results

The western cell (~13,400 m²) is the preferred PV location: waste placement ended in late 2011 and technical reclamation finished in 2017 (surface cleaning, slope profiling, and a mineral-organic/sand levelling layer). The southern and eastern cells require status confirmation. Developed within a former aggregate pit, the site has three cells with ~1:2 slopes that preclude standard racking; modules should be confined to flat areas, crowns, and gentle terraces, while steep slopes remain exclusion zones or receive anti-erosion treatment. The engineered cap comprises a variably



Fig. 1. Ground-mounted PV installation on the reclaimed Zakroczym landfill.



continuous natural cohesive layer locally augmented by an artificial barrier, 1.5–2.0 mm geomembranes with drainage and leachate collection; designs must avoid point loads and preserve these layers. Lightweight, ballasted steel structures with in-service re-levelling align with landfill-PV best practice and mitigate cap-perforation risk [1, 2], while tolerances and re-levelling should address long-term settlements from creep and biocompression [5]. Subsurface assets (gas wells, leachate drains, piezometers) require protection buffers and favor surface-run cabling in protective trays; surface-water management should prevent concentrated flows near ballast and limit slope erosion. A 10-m isolation-green belt and ~250 m setback to housing trigger glare/noise assessments within the environmental procedure. Vegetation management between rows can deliver biodiversity co-benefits if monitored across the project life cycle [11]. Implementation should follow planning compliance (local plan or zoning decision), EIA screening and – if required – full EIA leading to the environmental decision, grid-connection conditions, and a building permit. Under the 9 Nov 2010 Regulation, ground-mounted PV is typically classified as potentially significant at ≥ 0.5 ha in protected areas or ≥ 1 ha elsewhere, with closed-landfill work restrictions enforced at the environmental and building-permit stages.

Conclusion

Closed landfills can be safely converted into “brightfields” when designs respect geotechnical and environmental constraints. The Zakroczym case indicates a realistic opportunity to develop the western cell using ballasted structures alongside runoff and erosion control and settlement monitoring. Early confirmation of the other cells’ status, clear exclusion zones and a disciplined permitting path improve technical feasibility and social acceptability. This approach reduces pressure on valuable land while supplying clean energy and ecological co-benefits.

REFERENCES

- [1] Kiatreungwattana, K. (2013). *Best Practices for Siting Solar Photovoltaics on Municipal Solid Waste Landfills* (NREL/TP-7A30-52615). National Renewable Energy Laboratory.
- [2] Tansel, B., Varala, P. K., & Londono, V. (2013). *Solar energy harvesting at closed landfills*. *Sustainable Cities and Society*, 8, 42–47.
- [3] Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Elsaid, K., Chae, K. J., Wilberforce, T., & Olabi, A. G. (2021). *Environmental impacts of solar energy systems: A review*. *Science of the Total Environment*, 754, 141989.
- [4] Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., & Alkasrawi, M. (2021). *Environmental impacts of solar PV systems*. *Science of The Total Environment*, 759, 143528.
- [5] Sivakumar Babu, G. L., Reddy, K. R., Chouskey, S. K., & Kulkarni, H. S. (2010). *Prediction of long-term MSW landfill settlement*. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 14(2), 139–150.
- [6] Act of 27 March 2003 on Spatial Planning and Development (*consolidated text: Journal of Laws 2024, as amended by the Act of 7 July 2023, Journal of Laws 2023*).
- [7] Act of 3 October 2008 on Environmental Information and EIA (*consolidated text: Journal of Laws 2024*).
- [8] Council of Ministers Regulation of 9 November 2010 on projects likely to have environmental effects (*consolidated text: Journal of Laws 2019, as amended 2023: Journal of Laws 2023*).
- [9] Act of 20 February 2015 on Renewable Energy Sources (*consolidated text: Journal of Laws 2024*).
- [10] Construction Law of 7 July 1994 (*onsolidated text: Journal of Laws 2024*).
- [11] Randle-Boggis, R. J., White, P. C. L., Cruz, J., Parker, G., Montag, H., Scurlock, J. M. O., & Armstrong, A. (2020). *Realising co-benefits for natural capital and ecosystem services from solar parks*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125, 109775.

THE PHENOMENON OF THE TRANSFORMATION OF THE STRUCTURE OF SINGLE-FAMILY HOUSES IN WARSAW'S SATELLITE CITIES – 2015–2025

Alicja Kozarzewska

Institute of Civil Engineering, Department of Architecture, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

Keywords: single-family houses, structure, Poland, changes, spatial layouts

ABSTRACT

Introduction

Depending on the approach, there is a significant discrepancy in experts' assessments of the housing deficit, which reflects the number of apartments required to meet the housing needs of the Polish population fully. The housing deficit is estimated to range from about 2 million units to a surplus [1]. Statistical data from the Central Statistical Office (Główny Urząd Statystyczny) clearly indicate that the total number of apartments in Poland is increasing annually, and the average floor area of completed apartments is approaching stabilization. Some recent developments have deviated from the trend indicated by the statistics. The author analyses selected municipalities that constitute a satellite area of Warsaw. The study aimed to identify trends in the housing market for single-family houses and the resulting changes in building structure.

The obtained results fill an observed research gap – multi-family housing remains the subject of interest for researchers. In contrast, publications on single-family housing focus on issues related to sustainable development and do not analyse spatial transformation trends and their consequences for building structures that have occurred in recent years.

Basis material and method

The research was divided into three stages: desk-research of transaction data, desk-research of the spatial structure of selected properties, and a site visit. Selected municipalities within the Warsaw Metropolitan Area were analysed, each with distinctive investments that deviated from market trends: Błonie, Ożarów Mazowiecki, Góra Kalwaria, Prażmów, Lesznowola, and Tarczyn (the areas of the analysed municipalities are indicated in Fig. 1a). In the first part of the research, the author obtained data from the Real Estate Price Registers (Rejestr Cen Nieruchomości) maintained by the district heads and integrated data from her own library (current development projects). After preparing and analysing the data, it was compared with information obtained from the Central Statistical Office's Local Data Bank (Główny Urząd Statystyczny, Bank Danych Lokalnych). Next, the author analysed whether single-family buildings had been constructed in these municipalities in previous years, which significantly differed from the statistical data for the entire sector. An on-site inspection of selected facilities complemented the study.

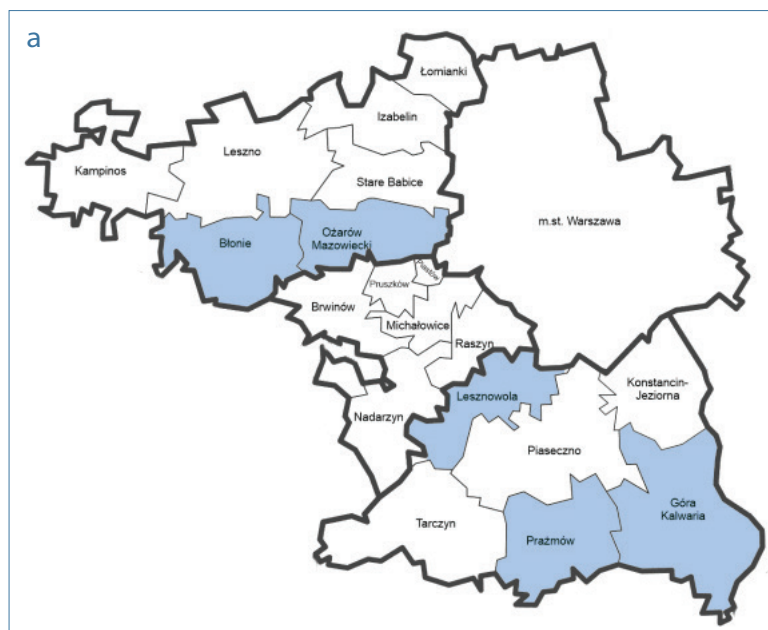
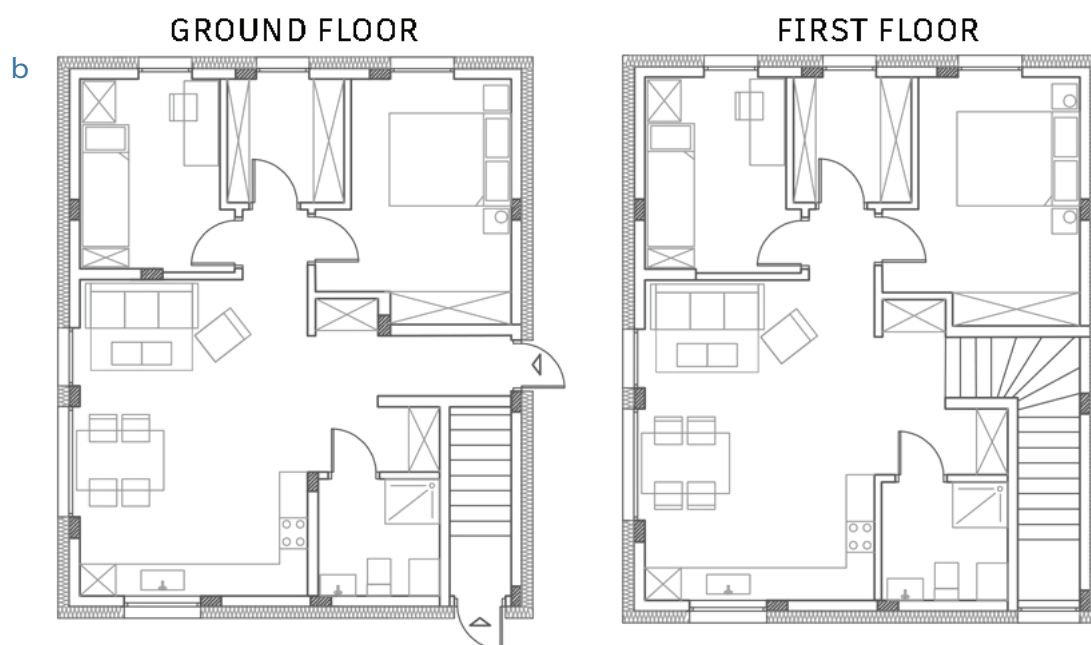


Fig. 1a. The areas of the analysed municipalities within the Warsaw Metropolitan Area,

Fig. 1b. Apartments located on a single floor, one on the ground floor and second on the first floor



Results

Data from the Real Estate Price Register indicate that the smallest residential units located in single-family buildings have an area of approximately 48 square meters – these include both completed units (units from the REPR/RCN data) and currently unfinished units (units not yet traded, from the author's own data library). The areas of these properties are smaller than the average area of an apartment in a multi-family building. Comparative data from the Central Statistical Office – Local Data Bank indicate that, depending on the market sector being studied, the areas of units vary significantly: single-family homes built for own use – approximately 143 square meters, single-family homes built for resale – approximately 100 square meters, and multi-family buildings – approximately 57 square meters. Statistical analysis of the data suggests that the emergence of apartments in single-family buildings with an area typical of multi-family buildings may be linked to the COVID-19 pandemic, considering the construction time. The spatial layouts of compact apartments in single-family buildings can be divided into two types: (1) apartments located on two floors, and (2) apartments located on one floor. Apartments located on one floor are similar to apartments in multi-family buildings. Therefore, they differ from the forms commonly accepted by the professional community. Apartments located on two floors maintain a layout similar to terraced

houses. The structural structure of both types of buildings is similar. In buildings with apartments located on a single floor (Figure 1.b), it is essential to ensure adequate acoustic insulation between the ground-floor apartment and the stairwell of the apartment located on the other floor. A typical solution involved using 18- and 24-cm-thick acoustic blocks with an airborne sound insulation rating of 52 to 55 dB. Additionally, it was necessary to eliminate floor impact noise – for this purpose, acoustic polystyrene with a minimum thickness of 4 cm was used in floating floor technology. Because first-floor units generally do not have a garden, developers strive to offer additional space for clients' development in the form of an attic. For units located on two floors, ensuring acoustic insulation between units is limited to a vertical wall between the units.

Conclusions

Due to their high recurrence, single-family housing designs are typically viewed as biased, easy, and typical. The emergence of new structures in single-family housing should provide an impetus to change this mindset. From the author's perspective, the most significant challenges associated with the described transformation of single-family housing are, in the author's view, ensuring acoustic comfort within the units and additional spaces for individual development, such as attics. The indicated trend of changes could be directly related to the COVID-19 pandemic, which could have influenced the shift in residential preferences from multi-family to single-family housing [see 2, 3]. Research by Munoz-Gonzalez et al. indicates that residents of single-family buildings had fewer health problems than residents of multi-family buildings [4]. This factor could only have been an impulse for change, and a further trend may result from a correlation between the changing family situation of the young Polish population, purchasing power, and interest rates.

REFERENCES

- [1] Twardoch, A. (2023). Modele włączenia sektora prywatnego w podaż dostępnych cenowo mieszkań, in: *Mieszkalnictwo w Polsce szanse i wyzwania w latach 2022-2023*, red. Katarzyna Przybylska, Aleksandra Krugły, Habitat for Humanity Poland.
- [2] Kwieciński, K. (2022). Home during quarantine: living space weaknesses revealed by COVID-19 pandemic, *Housing Environment*, no. 41/2022, DOI: doi.org/10.4467/25438700SM.22.026.17149.
- [3] Łątka, J. F., Terelak, M. (2022). Nurt Open Building w kontekście kryzysu mieszkaniowego w Polsce, *Housing Environment*, No. 38/2022, DOI: doi.org/10.4467/25438700SM.22.007.16107.
- [4] Munoz-Gonzalez, C., Ruiz-Jaramillo, J., Cuervo-Vilches, T., et al. (2021). Natural Lighting in Historic Houses during Times of Pandemic. The Case of Housing in the Mediterranean Climate, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 18 (14), DOI: doi.org/10.3390/ijerph18147264.

CANALE DI TENNO – KOMPLEKSOWA REWITALIZACJA ŚREDNIOWIECZNEJ WSI

Joanna Krajewska

Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

Słowa kluczowe: Canale di Tenno, średniowieczna wieś, rewitalizacja, dziedzictwo kulturowe

ABSTRAKT

Wieś Canale di Tenno jest położona w prowincji Trydent – Górna Adyga w kierunku północnym od Jeziora Garda na zboczu góry Calino, na poziomie 428 m n.p.m. Pierwsza wzmianka o jej istnieniu znajduje się w dokumencie z 30 października 1211 roku [1, s. 327]. Przez stulecia była zamieszkała przez rolników i pasterzy, jednak po I wojnie światowej uległa wyludnieniu. Przez kilka dekad pozostała niezamieszkała, aż do lat 60. XX wieku, gdy zainteresował się nią malarz-amator, Giacomo Vittone wraz z przyjaciółmi [2]. Dzięki ich staraniom w starą tkankę udało się tchnąć nowe życie – w miejscowości osiedlili się artyści, dokonując remontów historycznych budynków i dekorując freskami ich fasady. Od tego czasu, z inicjatywy utworzonej wówczas wspólnoty Dom Artystów (wł. *Casa degli Artisti*) „Giacomo Vittone” organizowane są różnorodne wydarzenia, m.in. konferencje i wystawy o zasięgu ponadregionalnym i międzynarodowym, czyniące z górskiej miejscowości ośrodek kulturalny atrakcyjny nie tylko dla turystów, ale również dla miłośników sztuki.

Wieś, uważana za jedną z najpiękniejszych we Włoszech, do czasów współczesnych zachowała średniowieczny, niezwykle zwarty układ kamiennej zabudowy, koncentrującej się wzdłuż kilku ulic, zbiegających się na niewielkim placu. Badania stratygraficzne oraz chronologiczno-typologiczne pozwoliły wyszczególnić pięć okresów budowy – od XII w. do współczesności. Większość widocznych obecnie murów powstała w XVII i XVIII wieku [3]. W II połowie XX wieku dokonano m.in. wymiany stolarki okiennej i drzwiowej, dodano elementy małej architektury, wykonano nowe zadaszenia; powstały także nieliczne realizacje, nadbudowy i rozbudowy, nie naruszające wyrażnie zastanego układu urbanistycznego (ryc. 1). Na skutek kreatywnych ingerencji nowych właścicieli popadająca w ruinę zabudowa mogła zostać ponownie zasiedlona. Ponadto, podstawową funkcję – mieszkalną, uzupełniono o funkcję centrotwórczą oraz otwarto lokale gastronomiczne. Dzięki temu zrewitalizowane miejsce nie przerodziło się w skansen. Przeciwnie – zachowane dziedzictwo architektoniczne zostało wzbogacone o nowy wymiar wartości.

Historia ochrony dziedzictwa kulturowego we Włoszech sięga odległych wieków, a zasady wypracowane przez stulecia w tym zakresie wskazują na powszechną społeczną świadomość wartości elementów historycznych środowiska zbudowanego [4, s. 33]. Choć Karta Wenecka z 1964 roku, określająca podstawowe wytyczne dla prac konserwatorskich [zob. 5], nadal ma zastosowanie, konieczne było utworzenie instrumentu prawnego, który regulowałby zasady wdrażania ochrony w całych Włoszech. Stąd w 2004 roku powstał dekret ustawodawczy – Kodeks Dziedzictwa Kulturowego i Krajobrazu – obowiązujący do dziś [6]. W XXI wieku przed konserwatorami pojawiły się nowe wyzwania, które czekają na opracowanie środków zaradczych. Istniejący współcześnie problem wyludniania się miejscowości posiadających zabudowę o odległej proveniencji wymaga poszukiwania rozwiązań służących ich rewitalizacji z uwzględnieniem aktualnych potrzeb oraz promocji dobrych praktyk w tym zakresie [7–12].



Ryc. 1. Współczesne ingerencje w starą zabudowę wsi Canale di Tenno; fot. Joanna Krajewska

Niniejsza praca koncentruje się na prezentacji zjawiska kompleksowej rewitalizacji wsi Canale di Tenno – zarówno w kontekście architektonicznym, jak i społecznym. Stanowi głos w dyskusji nad kwestią „właściwego” podejścia do zasad renowacji zabytków oraz ochrony dziedzictwa. Zebrane materiały pochodzą z dokonanej przez autorkę wizji lokalnej, ze studiów literatury i korespondencji prywatnej.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Zamboni, I. (2013). Canale di Tenno, [w:] *Apsat 3. Paesaggi Storici del Sannolago*, Brogiolo G. P. (red.), SAP Società Archeologica S.r.l., s. 327–338.
- [2] Casa degli Artisti, <https://www.casartisti.it>, 1.09.2025.
- [3] Zamboni, I. (2011). *Canale di Tenno (TN): le architetture*, Conference: Costruzione e durata dei paesaggi storici, DOI: 10.13140/RG.2.1.3146.8564.
- [4] Acidini, C. (2024). The history of cultural heritage protection in Italy – Part I, [w:] *The Italian Law of Cultural Heritage. A Dialogue with the United States*, Celani J., De Luca A., Pailli G., Palandri L., Pessina A., Tarantini M. (red.), Tutela & Restauro – Monografie 1, s. 33–38.
- [5] Karta Wenecka (1964). <http://www.wam.piib.org.pl/wp-content/uploads/2015/10/publikacja-karta-wenecka-1964.pdf>, 15.09.2025
- [6] Celani, J. (2024). The history of cultural heritage protection in Italy – Part II (The Code of Cultural Heritage), [w:] *The Italian Law of Cultural Heritage. A Dialogue with the United States*, Celani J., De Luca A., Pailli G., Palandri L., Pessina A., Tarantini M. (red.), Tutela & Restauro – Monografie 1, s. 39–42.

- [7] Argan, G.C. (1975). A policy for the preservation of historic centers, [w:] *Historic districts. Identification, social aspects and preservation*. Papers presented at the Seventh General Assembly of the International Centre for Conservation, Rome, Italy, 1973, National Trust for Historic Preservation, Washington D.C., s. 17–24.
- [8] Crisan, R., Fiorani, D., Kealy, L., Musso, S.F. (red.) (2015). *Conservation – Reconstruction. Small Historic Centres Conservation in the Midst of Change*, European Association for Architectural Education, EAAE.
- [9] Frenda, A., Soldano, S., Borlizzi, P. (2020). RUINS: LIVING HERITAGE. Conservation, restoration and enhancement, *Protection of Cultural Heritage*, 10, s. 1–18, DOI: 10.35784/odk.2449.
- [10] Gigliola, A., Compagnone, M., Sommese, F. (2020). *New Renaissance for the ancient villages: between field valorization and guidelines*, Conference: XVIII INTERNATIONAL FORUM Le Vie dei Mercanti - World Heritage and Contamination, Architecture Heritage and Design, Gandemi Editore International.
- [11] Loulanski, T. (2006). Revising the Concept for Cultural Heritage: The Argument for a Functional Approach, *International Journal of Cultural Property*, 13, s. 207–233, DOI: 10.1017/S0940739106060085.
- [12] Musso, S.F., Franco, G. (2025). Reconstruct to Reinhabit: New Life for an Abandoned and Ruined Medieval Village in Italy, *Buildings*, 15(8), 1231, DOI: 10.3390/buildings15081231

INNOWACYJNE ELEMENTY KSZTAŁTOWANIA ŚRODOWISKA MIESZKALNEGO W MODERNISTYCZNYCH OSIEDLACH WILLOWYCH LWOWA W LATACH 1918–1939

Yuriy Kryvoruchko¹, Joanna Kopacz-Gruźlewska²

¹Wydział Architektury, Politechnika Białostocka, Białystok, Polska

Wydział Architektury i Designu, Politechnika Lwowska, Lwów, Ukraina

²Wydział Architektury, Politechnika Śląska, Gliwice, Polska

Keywords: Lwów, osiedla modernistyczne, osiedla willowe, funkcjonalizm

ABSTRAKT

Wstęp

W okresie międzywojennym we Lwowie nastąpił intensywny rozwój osiedli mieszkaniowych. Mimo, że idea osiedla ma swój początek w XIX-wiecznych robotniczych koloniach patronackich tworzonych w pobliżu powstających zakładów przemysłowych, model ten znalazł szerokie zastosowanie w procesie poszukiwania nowych form mieszkalnictwa w rozwijającym się mieście, przeznaczonych dla różnych grup społecznych. Rewolucyjne rozwiązania dzielnic mieszkaniowych pojawiły się na początku lat 30. w postaci osiedli modernistycznych, lokalizowanych w otwartych przestrzeniach w bezpośrednim sąsiedztwie terenów zielonych. Osiedla te posiadały nowatorskie rozwiązania pod względem możliwości ich rozwoju urbanistycznego i adaptowalności funkcjonalnej poszczególnych budynków.

Materiał i metody

Pod koniec lat 20. XX wieku na terenie Lwowa zaczęły powstawać osiedla nawiązujące do koncepcji miasta – ogrodu Ebenezera Howarda. Należały do nich m.in. osiedle Żelazna Woda, Filipówka i Kolonia Profesorska. Lokalizowane były w peryferyjnych częściach miasta, co umożliwiała prężnie rozwijająca się komunikacja tramwajowa w mieście. Projektowane były na otwartych przestrzeniach łączących z jednej strony dostęp do dróg komunikacyjnych, z drugiej – do miejskiej zieleni parkowej. Do nowatorskich idei należała koncepcja parcelacji gruntu na działki. Zabudowa willowa realizowana w następnym etapie była na podstawie kilku projektów typowych możliwych do wyboru przez nabywców działek, choć występowały także projekty wykonywane na indywidualne zamówienie.

Kolejną nowością była architektura budynków. Stosowany wcześniej wzorzec „dworu polskiego” opracowany przez architekta Józefa Czajkowskiego i zaprezentowany na „Wystawie architektury i wnętrz w otoczeniu ogrodowym” w Krakowie w 1912 roku. Ten model willi dla średniej klasy społecznej implikował ściśle określony kształt i sposób zagospodarowania działki budowlanej, utrudniając jednocześnie racjonalne rozplanowanie funkcjonalne i efektywne ogrzewanie budynku.

Na początku lat 30. XX w. pojawiły się wille modernistyczne w stylu funkcjonalistycznym, charakteryzujące się zwartą asymetryczną architekturą kilku przenikających się prostokątów.



Ryc. 1. Dworek wybudowany wg projektu Józefa Czajkowskiego na Wystawie Architektury i Wnętrz w otoczeniu ogrodowym



Ryc. 2. Dzielnica Filipówka

nów. Zwarty plan poszczególnych kondygnacji nawiązywał do domów jednorodzinnych występujących na osiedlach robotniczych.

Gra przenikających się brył i światłocienia, zastosowanie dachu płaskiego powodowały, że żadna elewacja nie była uprzywilejowana, co dawało pewną elastyczność lokalizacji willi na działce oraz orientacji względem stron świata. Zwarty plan ułatwiał adaptowalność funkcjonalną i efektywne ogrzewanie budynku. Istotną kwestią jest także zastosowanie nowych materiałów budowlanych, takich jak żelbet poszerzający możliwości konstrukcyjne, nowatorskie pokrycia dachów wykonane z lekkiej blachy oraz duże przeszklenia okienne.

Wyniki

Modernistyczne osiedla powstałe na terenie Lwowa w okresie dwudziestolecia międzywojennego stanowiły nowatorski element rozwijającej się tkanki miejskiej. Wprowadzały pośrednią skalę w percepcji mieszkańców, utworzoną poprzez przestrzeń ogrodu wokół domu, wewnętrznej ulicy osiedlowej oraz zróżnicowanego otoczenia samego osiedla. Tworzyły gradient prywatności dzieląc przestrzeń na prywatną, półprywatną, półpubliczną i publiczną. Przestrzeń osiedla wzmacniała poczucie bezpieczeństwa mieszkańców oraz potencjał do rozwoju poczucia przynależności, jednej z kluczowych potrzeb człowieka.

Nowatorska polityka budowy domów stanowiła jeden z pierwszych przykładów partycypacji społecznej w procesie tworzenia przestrzeni mieszkalnej. Wprowadzenie ograniczeń dotyczących wielkości działki i określonej ilości projektów typowych do wyboru spowodowało, że przyznanie mieszkańcom możliwości współdecydowania nie doprowadziło do zniszczenia jej spójności wizualnej i formalnej.

Niezmiernie istotną sprawą jest także ugruntowanie określonej skali zabudowy w mieście. Ogromną wartością Lwowa jest jego niska, 2–3 kondygnacyjna zabudowa, charakteryzująca się jednocześnie wysokim wskaźnikiem intensywności.

Rozwój dzielnic willowych sprawił, że przełamaniu uległ palladiański podział typologiczny budynków na budynki miejskie i wiejskie. Na osiedlach modernistycznych pojawiła się nowa typologia, obejmująca modele pośrednie pomiędzy budynkami jednorodzinnymi i kamienicami, takie jak zabudowa szeregowa lub wille kamienicowe. Rozszerzona typologia budynków mieszkalnych przyczyniła się do zróżnicowania mieszkaniowej oferty mieszkaniowej i uwzględnienia szerszego zapotrzebowania na różne formy zakwaterowania.

Wnioski

Zdobycze modernistycznych osiedli lwowskich nie utraciły swojej aktualności i stanowią wytyczne dla ich ochrony. Modernistyczna architektura willi stanowi ważną cechę tożsamości tych osiedli, nadając im wyróżniający się, czytelny charakter. Utrzymanie tego charakteru wiąże się z wprowadzeniem pewnego rygoru związanego z użyciem określonych materiałów elewacyjnych, nawierzchni ulic, ogrodzeń, a także skali samych budynków, dając jednak możliwość wprowadzenia zróżnicowanej typologii. Niezmiernie istotny jest także element społeczny osiedli, wzmocnienie oddolnej inicjatywy mieszkańców do troski o wizerunek osiedla i możliwości współdecydowania oparte na ugruntowanym poczuciu przynależności do danego miejsca.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Cielątkowska Romana (1998), *Architektura i urbanistyka Lwowa II Rzeczypospolitej*, Okolice Kultury Zeszyt 8.
- [2] Lewicki Jakub (2019), *Między tradycją a nowoczesnością. Architektura Lwowa lat 1893 – 1918*, Wydawnictwo Neriton.
- [3] Lewicki Jakub (2020), *Regeneracja i modernizacja. Architektura Lwowa okresu dwudziestolecia międzywojennego*, Wydawnictwo Polonika.
- [4] Petryshyn Halyna, Liubyskyi Roman (2018), *Ignacy Drexler's Vision of Planning Development of the City of Lviv*, Lviv Polytechnic National University, Institute of Architecture, Department of Urban Planning and Design.

PARAMETRIC TOOLS FOR ADAPTIVE STRUCTURAL DESIGN – A COMPARISON OF GRASSHOPPER AND DYNAMO

Małgorzata Kurcusz

Institute of Civil Engineering, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

Keywords: parametric design, adaptive structural design, Grasshopper, Dynamo

ABSTRACT

Introduction

The growing complexity of architectural forms and the demand for innovative structural solutions have highlighted the importance of parametric tools in contemporary design [1-5]. Usually, architectural concepts are constrained by predefined structural systems, requiring compromises in form to achieve feasibility. With the introduction of visual programming environments such as Grasshopper for Rhino and Dynamo for Revit, this relationship is shifting. Designers can now generate adaptive scripts that align structural systems with architectural geometries in real time [6-9]. This study explores the potential of these tools by comparing their workflows, strengths and limitations in the context of adaptive structural design.

Basis material and methods

The research was carried out using two parametric design platforms: Rhino with the Grasshopper plugin and Autodesk Revit with Dynamo. Rhino was chosen for its flexibility in handling complex geometries, while Grasshopper provided the visual programming environment necessary to create adaptive scripts. For structural analysis, the Grasshopper environment was extended with the Karamba3D plugin. Dynamo was tested within Revit 2024, using built-in structural families to ensure compatibility with a standard BIM workflow. To compare the two environments under similar conditions, two test models were prepared. The first model was a free-form roof surface intended to evaluate how each tool manages the generation of grids and trusses that respond to curved geometry. The second was a multi-story frame, designed to examine how adaptive placement of columns and beams could react to changes in floor plan dimensions. For both cases, scripts were created that directly linked the architectural geometry with its structural counterpart. The workflows were then evaluated according to three main criteria: their flexibility in responding to geometric changes, their ability to integrate or simulate structural logic and their compatibility with BIM standards and construction documentation. The comparative analysis focused on qualitative aspects such as efficiency of modeling, responsiveness to design changes and readiness for practical implementation.

Results

The comparative analysis was structured around three criteria: geometric flexibility, structural integration, and BIM implementation. Grasshopper/Rhino demonstrated flexibility in form exploration. Complex geometries such as double-curved surfaces or non-standard grids could be rapidly generated and adapted. Using plugins like Karamba3D, engineers could test load distribution and structural stability within the same workflow. Case studies of pavilion and bridge prototypes confirmed that Grasshopper fosters rapid iteration and experimental structural solutions. Dynamo/Revit excelled in BIM integration and practical workflows. While less versatile in geometric experimentation, Dynamo ensured that structural elements were embedded with correct BIM parameters. Scripts developed for adaptive column grids, truss layouts, and slab reinforcements seamlessly translated into construction-ready models.

The results in Table 1 show that Grasshopper is best suited for early conceptual stages, where innovation and exploration dominate, whereas Dynamo provides greater value in later stages, where implementation, coordination, and compliance with industry standards are essential

Table 1. Comparison of Grasshopper and Dynamo for Adaptive Structural Design.

Aspect	Grasshopper (Rhino)	Dynamo (Revit)
Primary focus	Geometric exploration and generative design	BIM integration and automation
Flexibility	Very high – supports complex free-form geometry and iterative experimentation	Moderate – limited by Revit's modelling environment
Plugins / Extensions	Extensive ecosystem (e.g., Karamba3D, Ladybug, Galapagos) for analysis, optimization, and simulation	Smaller ecosystem, mostly focused on BIM workflows and automation
Structural integration	Real-time feedback via structural analysis plugins; strong for conceptual structural design	Direct embedding of structural elements with BIM parameters; strong for documentation and implementation
Learning curve	Steeper at first, but highly flexible once mastered	Easier for Revit users; scripting logic limited by BIM environment
Collaboration	Best in early-stage design, often exported later into BIM environments	Strong for interdisciplinary collaboration within BIM (architects, engineers, contractors)
Output	Parametric geometry and performance-driven prototypes	Fully integrated BIM models ready for documentation and construction
Best suited for	Conceptual design, experimental structures, rapid prototyping	Design development, documentation, coordination, and construction workflows

Conclusions

Parametric tools such as Grasshopper and Dynamo redefine the relationship between architecture and structure. While Grasshopper empowers designers to experiment with unconventional geometries and generate adaptive structural systems during the conceptual phase, Dynamo ensures that these solutions can be integrated into the BIM process and realized in practice. The comparison suggests that both tools are not competitors but complementary components of a hybrid workflow. By leveraging the strengths of both environments, architects and engineers can develop innovative, adaptive, and feasible structural systems. Future research should focus on developing integrated pipelines between the two platforms, enabling seamless transition from conceptual exploration to BIM implementation. Such workflows would bridge the gap between design creativity and construction efficiency, ultimately fostering innovation in structural systems within contemporary architecture.

REFERENCES

- [1] Bhooshan, S. (2017). Parametric design thinking: A case-study of practice-embedded architectural research. *Design Studies*, 52, 115–143. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.05.003>.
- [2] Cristie, V., & Joyce, S. C. (2021). Versioning for parametric design exploration process. *Automation in Construction*, 129, 103802. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103802>.
- [3] Frangedaki, E., Sardone, L., Marano, G. & Lagaros, N. (2023). Optimisation-driven design in the architectural, engineering and construction industry. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Structures and Buildings*, 176(12), 998–1009.
- [4] Stals, A., Jancart, S., & Elsen, C. (2021). Parametric modeling tools in small architectural offices: Towards an adapted design process model. *Design Studies*, 72, 100978. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2020.100978>.
- [5] Tünger, Ç., & Pektaş, Ş. T. (2020). A comparison of the cognitive actions of designers in geometry-based and parametric design environments. *Open House International*, 45(1–2), 87–101. <https://doi.org/10.1108/OHI-04-2020-0008>.
- [6] Wortmann, T., & Tunçer, B. (2017). Differentiating parametric design: Digital workflows in contemporary architecture and construction. *Design Studies*, 52, 173–197. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.05.004>.
- [7] Khan, H. (2024). Microclimatic architectural design by interfacing Grasshoppers and Dynamo with Rhino and Revit. *Measurement: Sensors*, 33, 101143. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101143>.
- [8] Semjén, Á. Á., & Szép, J. (2025). Integrating generative and parametric design with BIM: A literature review of challenges and research gaps in construction design. *Applications in Engineering Science*, 23, 100253.
- [9] Stephan, A., Prideaux, F., & Crawford, R. H. (2024). EPiC Grasshopper: A bottom-up parametric tool to quantify life cycle embodied environmental flows of buildings and infrastructure assets. *Building and Environment*, 248, 111077.

INNOVATIVE DESIGN AND NATURE

Wanda Lewis

University of Warwick, School of Engineering, United Kingdom

Key words: biomimicry, innovative design, design in nature

ABSTRACT

Introduction

Nature's principles guide us towards achieving optimal design and challenges our belief that we can build whatever we like. However, designers ignore these principles and follow 'architectural whim' when creating what is often perceived as an 'innovative' structure. Examples of such structures include the O₂ Arena in London (Fig. 1), and the National stadium in Beijing 'Bird Nest' (Fig. 2) amongst numerous others.



Fig. 1. London O2 Arena 2000 Unnatural structure

The O₂ Arena is a tensioned fabric 'dome' made from Teflon-coated glass fiber rested on pre-stressed steel cables that are suspended from a number of posts. Its surface geometry goes against the established optimal form for tension fabric structures, by having a synclastic (dome), instead of an anticlastic (saddle) shape. This creates huge tension forces at the apex of the structure and, with the boundaries of the membrane placed on the same level, encourages the whole surface to creep towards its minimum energy form, which is a flat surface. This is visible in a low headroom inside the dome, relative to the height of the supporting pylons.

The Olympic Stadium in Beijing that acquired the name: 'Bird Nest' was not inspired by Nature, but by a crackle-glazed Beijing pottery and heavily veined Chinese scholar stones. Also, con-



Fig. 2. Beijing National Stadium 'Bird Nest' 2003–2008 Unnatural structure

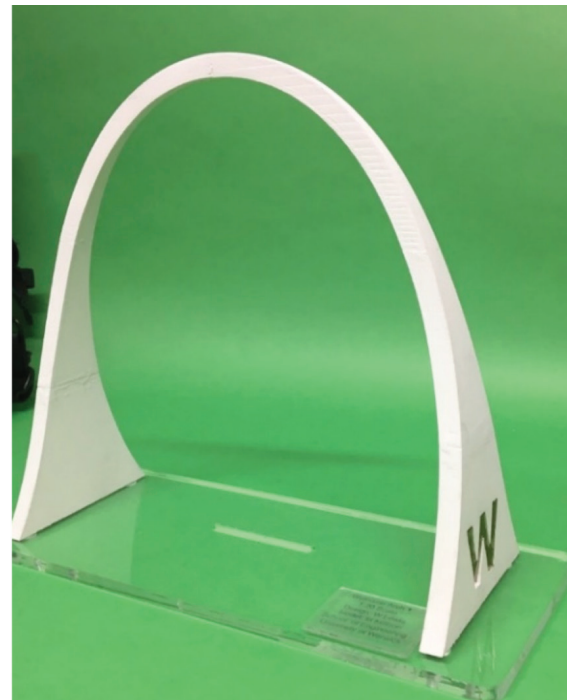


Fig. 3. Constant stress, free-standing arches. Input: span and rise: 6 m, cross section area at the apex: 0.3 m^2 , concrete of mass density 25 kN/m^3 . Output: arch profile, varying cross-section area, constant stress: 0.049 MPa .

The arches are examples of biomimicry; if built, they will be the first structures of this kind in the world

trary to the claims made in literature, this is not an example of biomimicry. Built from concrete, steel, and ETFE cushions to seal the structure, it is just a structure resembling a natural object, without use of 'biomimicry', which represents a methodology implementing natural design principles in man-made structures. In nature, one cannot find objects combining materials of vastly differing mechanical properties, as we see here: ETFE cushions and concrete/steel elements. Such combinations result in very uneven stress distributions, difficult connections, and impaired durability. Frei Otto [1] devoted his life to finding optimal structural forms and concluded that their roots lie in Nature.

Form-finding and Nature

Inspired by Frei Otto's work, this author spent 30 years of her research modelling forms of tension fabric structures using computational form-finding methodology that implemented the principle of constant stress operating in Nature [2]. While the principle of constant stress has been used in the design of tension fabric structures, the author's research [3] has shown that it can be used to shape optimal forms of arch structures. Figure 3 shows examples of free-standing arches shaped by a constant value of axial stress under the self weight of the structure. Both arches use the same amount of material, but have different shape of the cross-section.

Catenary Form vs Constant stress

It is generally accepted that an optimal form of a free-standing arch is given by a catenary curve that can be reproduced in a form-finding experiment by inverting a free-hanging hanging chain (Fig. 4). This knowledge dates back to 1761 when Robert Hooke carried out the experiment on the premises of the Royal Society [4].

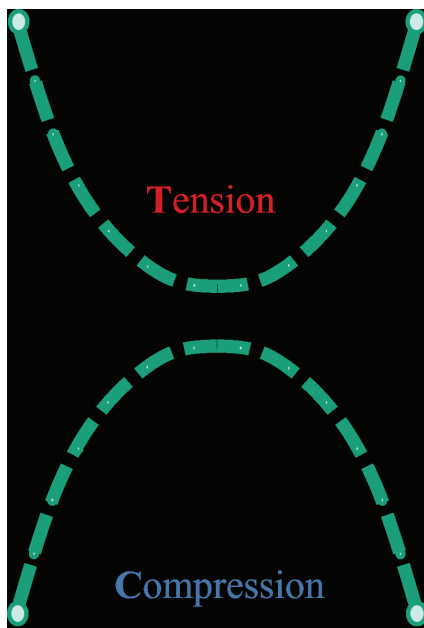


Fig. 4. Catenary form in a chain and arch

Results and Conclusions

The author's research indicates that a catenary arch, of the same size and span/rise ratio as the constant stress structure shown in Fig. 3, when subjected to its own weight, develops compressive stresses varying from 0.03 MPa at the apex to 0.18 MPa at the supports- a 6-fold increase! This has huge implications for arch durability and shows constant stress arches to be superior structures, due to having much smaller stress variations. The results challenge catenary arches for the crown of being the optimal structures.

REFERENCES

- [1] F. Otto and B. Rasch: *Finding form: towards an architecture of the minimal*. Edition: Axel Menges, 1996.
- [2] W.J. Lewis: *Tension structures: form and behaviour*, ICE Publishing, London, 2018.
- [3] W.J. Lewis: Constant stress arches and their design space, *Proc. R. Soc. A* 478, 2021.
- [4] J. Heyman: Hooke's cubico-parabolical conoid. *Notes & Rec. Royal Soc.* 52, 1, 39-50.

PAPER AS A BUILDING MATERIAL – INTERDISCIPLINARY RESEARCH

**Jerzy Łątka¹, Agata Jasiołek¹, Daria Pawłosik¹, Paweł Niewiadomski²,
Anna Karolak², Paweł Noszczyk²**

¹ Faculty of Architecture, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland

² Faculty of Civil Engineering, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland

Keywords: paper architecture, cardboard, building materials, emergency architecture

ABSTRACT

Introduction

In response to the increasing number of forcibly displaced persons affected by natural disasters and armed conflicts, this study explores the potential of paper-based materials for the design and construction of temporary emergency shelters [1–3]. The research presents an iterative development of five full-scale prototypes within the TECH (Transportable Emergency Cardboard House) project. The study integrates material testing, thermal simulations, and full-scale prototyping to evaluate the structural, thermal, and environmental performance of mass-produced paper components applied in diverse architectural and climatic contexts.

Paper, traditionally associated with everyday products such as books, packaging, or sanitary items, has recently gained attention as a sustainable construction material. Advances in the paper industry and cellulose processing technologies have opened new possibilities for architectural applications. Among these, paperboard, corrugated cardboard, honeycomb panels, and paper tubes exhibit properties that make them suitable as linear, planar, or hybrid structural elements. Depending on their composition and strength, such materials can function as load-bearing or insulating components, providing a lightweight, recyclable, and low-emission alternative to conventional construction products [4–6].

Basis material and methods

The research employed a multi-phase methodology combining literature analysis, experimental testing, and iterative prototyping. A comprehensive literature review identified key challenges of emergency housing, with emphasis on environmental performance, material efficiency, and user comfort. The review also examined previous applications of cellulose-based materials in architecture—both experimental and commercial—alongside studies on their mechanical and thermal properties, such as compressive strength, stiffness, and conductivity. Experimental testing was subsequently carried out on selected cellulose composites, focusing on their structural capacity and insulation potential. Mechanical tests measured compressive and flexural performance, while thermal conductivity experiments assessed the materials' suitability for building envelopes in temperate climates. The design process followed the Research by Design methodology supported by the Product Development in Architecture (PDA) framework [7]. This iterative approach

connected theoretical exploration, empirical testing, and practical application. Five successive TECH prototypes were developed, each representing a refined response to material performance, climatic adaptation, and assembly logistics. The evolution of the prototypes reflected a growing understanding of the relationships between form, fabrication, and environmental resilience.

Results

Five distinct iterations of the TECH shelter were developed and evaluated. Each version differed in design assumptions, construction systems, types of relief architecture addressed, and the methods used to protect cellulose materials from environmental exposure. The research progressively refined several key aspects:

- Material systems: transitions from basic corrugated panels to reinforced honeycomb and laminated tube structures;
- Envelope design: improved thermal and moisture protection strategies, including coatings and hybrid layers;
- Fabrication and logistics: simplification of components for rapid on-site assembly and modular transport;
- Usability: improved interior comfort and daylighting through lightweight modular panels.

The prototypes were designed for temperate climates, with all field tests conducted under Polish climatic conditions. The research based on different scale of the paper-based material implementation, from material (product), through building component to structure scale (see Fig. 1). The results demonstrated that properly protected cellulose-based elements can provide adequate strength, thermal insulation, and short-term durability for emergency shelter applications.



Fig. 1. Different scales of implementation of paper-based materials in architecture

Conclusions

The iterative TECH project confirmed the feasibility of constructing fully functional emergency shelters from paper-based materials. The research proved that cellulose composites can serve as viable structural and insulating components in temporary architecture, provided that suitable protection and assembly systems are applied.

The building envelope emerged as the key factor influencing the overall performance of the shelters—affecting not only weight and material consumption but also comfort, durability, and assembly time. While emergency contexts often demand compromises between performance, cost, and deployability, the TECH experiments highlight how eco-designed, low-carbon materials can effectively meet humanitarian needs with reduced environmental impact.

The lessons learned from successive prototypes have established a foundation for further research on mass-produced, recyclable shelter systems, bridging architecture, materials science, and humanitarian design. Future work will focus on enhancing the resilience, scalability, and climatic adaptability of paper-based housing solutions.

REFERENCES

- [1] UNHCR (2025). *Global Trends: Forced Displacement in 2024 Report*, UNHCR: Geneva, Switzerland.
- [2] Félix D., Monteiro D., Branco J.M., Bologna R., Feio A. (2015). *The Role of Temporary Accommodation Buildings for Post-Disaster Housing Reconstruction*. J. Hous. Built Environ.
- [3] Corsellis T., Vitale A. (2005). *Transitional Settlement: Displaced Populations*, Oxfam-University of Cambridge: Cambridge.
- [4] Łątka J.F., Jasiołek A., Karolak A., Niewiadomski P., Noszczyk P., Klimek A., Zielińska S., Misiurka S., Jezierska D. (2022) *Properties of Paper-Based Products as a Building Material in Architecture—An Interdisciplinary Review*. J. Build. Eng. 2022, 50, 104135. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.104135>.
- [5] Knaack U., Bach R., Schabel S. (2022). *Building with Paper: Architecture and Construction*, Birkhäuser: Basel, Switzerland.
- [6] Eekhout M., Verheijen F., Visser R. (2008). *Cardboard in Architecture*, IOS Press: Amsterdam, The Netherlands.
- [7] Eekhout M. (2008). *Methodology for Product Development in Architecture*, IOS Press: Amsterdam, The Netherlands.

WSPÓŁCZESNE KONSTRUKCJE A SACRUM I PROFANUM W ZABYTKOWEJ ARCHITEKTURZE SAKRALNEJ

Ewa Łużyńska

Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

Słowa kluczowe: współczesność, konstrukcja, zabytek, kościół

ABSTRAKT

Wstęp

Tematyka związana z nowymi konstrukcjami w zabytkowej architekturze sakralnej cieszy się od dawna dużym zainteresowaniem. Przejawem tego są cykliczne konferencje międzynarodowe organizowane od prawie trzydziestu lat w różnych polskich miastach. W Warszawie odbywają się konferencje Programu Roboczego International Union of Architects (UIA) „Miejsca duchowe” [1], w Kielcach obrady w ramach Sacroexpo „Kościoły naszych czasów. Dziedzictwo i perspektywy” [2, 3], w Białymstoku – „Budownictwo monumentalne i sakralne” [4]. Również w Gdańsku w 2008 roku odbyła się konferencja „Sacrum profanum – profanum sacrum” [5].

Materiał i metody

Tematyka ta została podjęta ostatnio przez środowisko wrocławskie. W 2025 roku odbyła się pierwsza międzynarodowa konferencja z cyklu „Interdyscyplinary Cathedral Conference” zorganizowana przez Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej oraz Papieski Wydział Teologiczny we Wrocławiu [6]. Konferencji towarzyszyła wystawa dydaktyczna „Sacrum – profanum – sacrum”, zainicjowana przez Komisję Historii i Konserwacji Architektury Sakralnej PKN ICOMOS. Jest to zbiór prac studenckich wykonywanych pod kierunkiem autorki i będący częścią gromadzonego od dziesięciu lat archiwum liczącego obecnie około 400 przykładów [7].

Podstawą przedstawionego referatu była więc analiza porównawcza zgromadzonych przykładów pod kątem zastosowania nowoczesnych konstrukcji w zabytkowej architekturze sakralnej. W czasie InterCathCon_2025 przedstawiono 70 adaptacji obiektów sakralnych do innych funkcji oraz 10 przekształceń budowli laickich w miejsca kultu. Poniżej zaprezentowano dwa przykłady. Jest to cerkiew prawosławna św. Mikołaja w Szanghaju (Chiny) zbudowana w latach 1932–1934 i przekształcona w latach 2019–2020 w księgarnię Sinan Books. Drugim przykładem jest kościół Onnuri w Yeongjongdo (Korea Południowa) umieszczony w dawnym kadłubie statku.

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonej analizy można się pokusić o kilka wniosków natury ogólniejszej. Bardzo często u podstaw zezwolenia na użycie nowych konstrukcji stoi wybór i odpowiedź na pytanie – czy obiekt sakralny ma niszczeć i przestać istnieć, czy pozwolić na zniszczenie jego niektórych elementów po to by istniał nadal.



Ryc. 1. Wybrane plansze wystawy „Sacrum – profanum – sacrum” z 2025 r.
Cerkiew w Szanghaju, oprac. Dominika Rękawek, Anna Zieziula

Bardzo istotnym jest prowadzenie nieustającego wartościowania we wszystkich etapach prac nad zabytkiem. W etapie poprzedzającym inwestycję niezwykle ważny jest dobór nowych konstrukcji tak by umożliwić maksymalne zachowanie substancji zabytkowej i aby ta funkcja była akceptowana społecznie. Istotne jest także możliwie najbardziej wszechstronne przebadanie obiektu i określenie jego poziomu artystycznego itd. Te badania muszą trwać także w czasie prac budowlanych i wtedy istotna jest otwartość wykonawcy na nowe odkrycia i elastyczność w odniesieniu do rozwiązań szczegółowych.

Według europejskiej definicji zabytku, podstawą zachowania jego wartości będzie przetrwanie materii, która powstała w czasach historycznych i jest świadectwem myśli ludzkiej w określonym rejonie. W naszej kulturze to materia generuje pamięć i tradycję zabytku. Warto się więc powołać na dotychczasowe konwencje konserwatorskie zastanawiające się nad istotą ochrony wartości zabytkowych materii, wśród których dbanie o autentyzm odgrywa ważną rolę. To zagadnienie poruszono w deklaracji z San Antonio stanowiącej kontynuację uzgodnień ICOMOSu z Nara. Istotą autentyzmu [8] w zabytku jest materialne odzwierciedlenie czasu powstania i jego późniejszych przeobrażeń. Ważne jest także jaka część zabytku przetrwała w stanie pierwotnym i ile dodano do niego obecnie. Istotny jest także kontekst zabytku- czy zachowany został pierwotne relacje z otoczeniem, a jeśli nie to jaki to miało wpływ na zabytek. Te dwa elementy są gwarantami zachowania „ducha miejsca” [9].



Ryc. 2. Wybrane plansze wystawy „Sacrum – profanum – sacrum” z 2025 r.
Kościół Onnuri w Yeongjongdo, oprac. Jagoda Świątkowska

W tym kontekście nowe konstrukcje dodawane najczęściej po zmianie funkcji i w czasie prac adaptacyjnych są autentycznym świadectwem śladów historii najnowszej.

Wnioski

Podstawowym wnioskiem wypływającym z analizy użycia nowoczesnych konstrukcji w sakralnych obiektach zabytkowych jest to, że owym działaniom powinna towarzyszyć świadomość ciągłych zmian społecznych, politycznych itd. Wagę czynnika społecznego w tworzeniu funkcji sakralnych poznajemy analizując przykłady przekształceń budowli laickich w miejsca kultu.

W przypadku obiektów zabytkowych powinniśmy przewidzieć możliwość odwracalności adaptacji. Jeśli bowiem w przyszłości odtworzą się społeczności religijne, to być może będą one chciały ponownie sakralizować dawne miejsca sacrum. Temu może służyć addycyjność nowych form, rozumiana jako wstawianie autonomicznych konstrukcji do substancji zabytkowej. Ta dodana forma nie musi szpecić, ale może stanowić uatrakcyjnienie formy zabytkowej i zarazem być świadectwem naszych czasów.

PIŚMIENNICTWO

- [1] *Współczesne podróże duchowe. Fenomen turystyki religijnej XXI wieku a sacrum przestrzeni i obiektów pielgrzymkowych*, red. E. Kuryłowicz. Warszawa 2004.
- [2] *Dziedzictwo i perspektywy – VIII Międzynarodowa Konferencja z cyklu „Kościoły naszych czasów” w ramach SacroExpo* (Kielce, 9 czerwca 2009 r.), <https://theo-logos.pl/items/26d93fa4-744f-4b0d-9e45-be382ddeb4d0/full>, dostęp: 14.09.2025.
- [3] Uścińowicz Jerzy, *Powrót do przyszłości - sztuka ekumenicznego spotkania Kościołów*, Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji poświęconej architekturze i sztuce sakralnej: *Kościoły naszych czasów: Dziedzictwo i perspektywy*, 9 czerwca 2008 r., Sacroexpo' 2009, Kielce.
- [4] *Budownictwo monumentalne i sakralne*, Białystok 7-8 maja 2024, Białystok 2024.
- [5] Kuryłowicz Ewa, *Granice zachowania godności w obrębie tożsamości architektury, na przykładzie konwersji obiektów religijnych na funkcje świeckie*, w: *Sacrum profanum – profanum sacrum*, międzynarodowa konferencja, Gdańsk 2008.
- [6] *InterCathCon, Interdisciplinary Cathedral Conference, Aktualności*, https://intercathcon.pwr.edu.pl/?page_id=27, dostęp: 14.09.2025.
- [7] Łużyńska Ewa, Monika Dąbkowska, *Organizational meeting of the History and Conservation of Sacred Architecture Commission of PKN ICOMOS in 2025*, <https://icomos-poland.org/pl/struktura-organizacyjna/komisja-historii-architektury-sakralnej/584-organizational-meeting-of-the-history-and-conservation-of-sacred-architecture-commission-of-pkn-icomos-in-2025.html>, dostęp: 14.09.2025.
- [8] Łużyńska Ewa, *Ochrona wartości zabytkowych w adaptacjach architektury sakralnej*, w: *Ochrona wartości w procesie adaptacji zabytków*, red. B. Szmygin, Lublin 2015. s. 172–182,
- [9] Łużyńska Ewa, *Pamięć o sacrum tkwiąca w architekturze, jako część dziedzictwa niematerialnego środowiska kulturowego*, w: *Konserwacja zapobiegawcza środowiska. 3, Dziedzictwo niematerialne i pamięć*, red. Z. Kobyliński, J. Wysocki, Wrocław-Zielona Góra, Wydawnictwo Fundacji Archeologicznej, 2015. s. 37–49.

KIEDY KONSTRUKCJA TWORZY FORMĘ

Alicja Maciejko, Mirosław Strzelecki, Konrad Bajor

Instytut Architektury i Urbanistyki, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, Polska

Słowa kluczowe: architektura, forma, konstrukcja, drewno klejone

ABSTRAKT

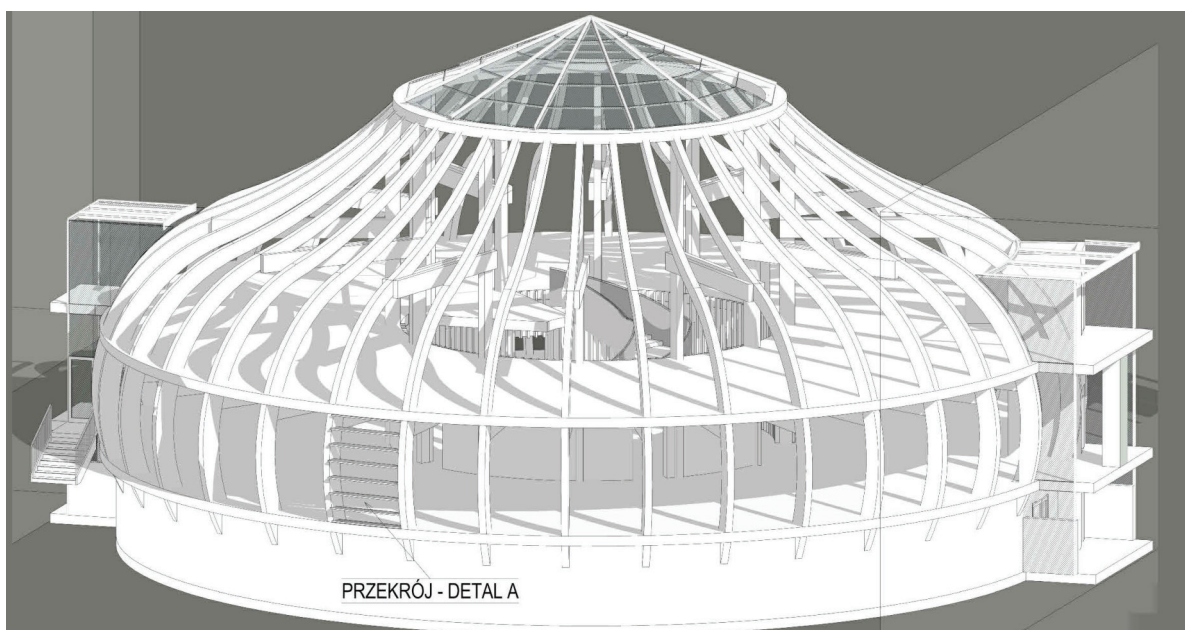
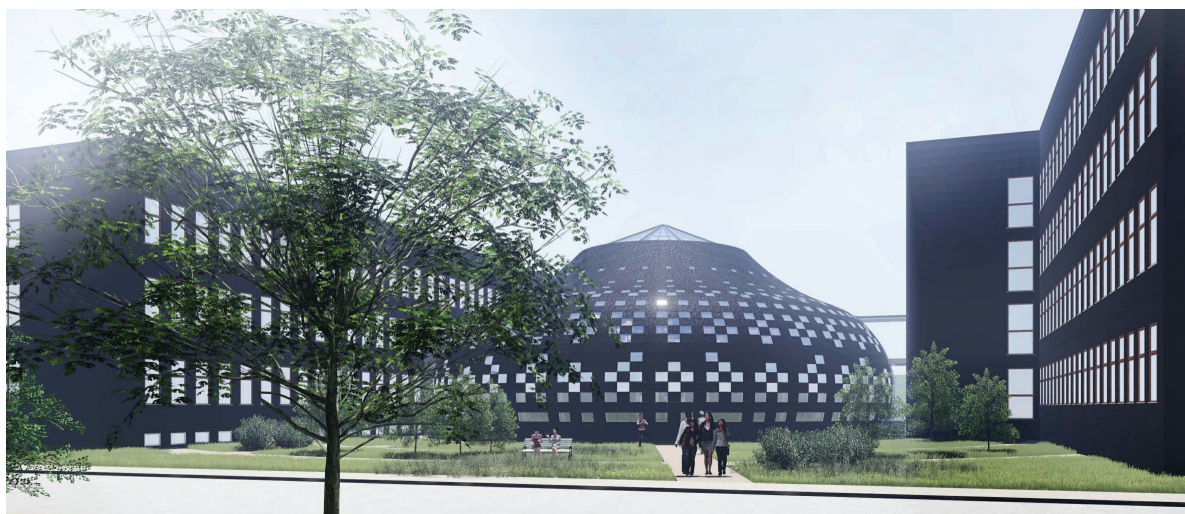
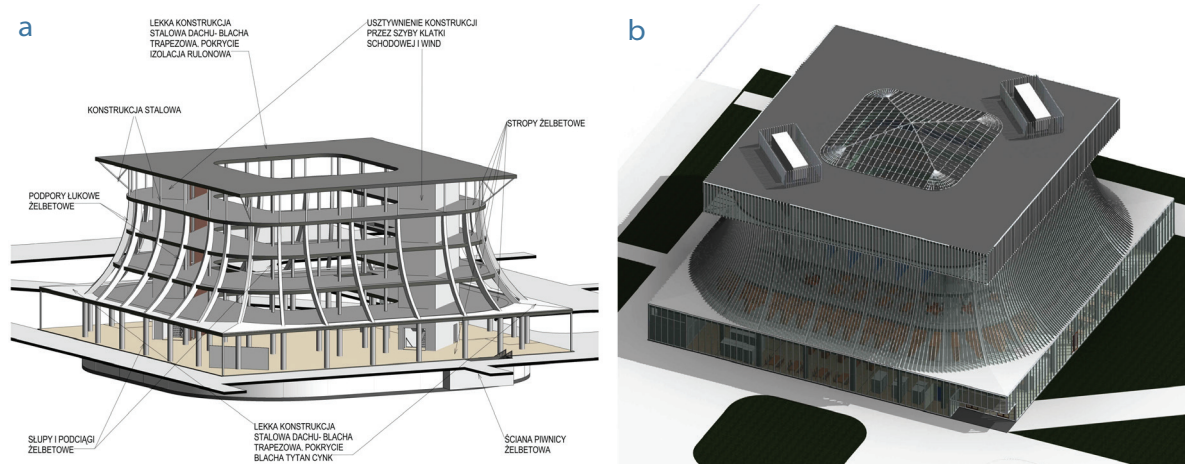
Wstęp

Pełne zrozumienie architektury wymaga uznania konstrukcji jako źródła piękna i innowacji. W świadomym działaniu projektowym forma może się wyłonić z logiki konstrukcyjnej, ponieważ projektowanie konstrukcji jest integralną częścią projektowania koncepcyjnego budynku, przesądza o holistycznej jakości dzieła i powinno dążyć do spójności architektoniczno-konstrukcyjnej [1]. Zakres, w jakim konstrukcja zostaje użyta jako narzędzie kształtowania formy wyznacza pole działań twórczych [2]. Piękno wynikające z pracy układu nośnego ujawnia się na kilku poziomach, od klarownego schematu statycznego i przebiegu sił, przez organizację rytmu i proporcji, po jakość detalu i wyraz architektoniczny powłoki [3]. Adekwatność konstrukcyjna i materiałowa oraz czytelny schemat statyczny eksponują „ekspresję sił” uznawaną za piękną [4]. W proponowanym ujęciu konstrukcja nie jest jedynie szkieletem, lecz zasadą generatywną formy – źródłem piękna, ekspresji materiałowej i innowacji [5]. Kiedy konstrukcja tworzy formę? Teza brzmi: konstrukcja tworzy formę wtedy, gdy od etapu koncepcji traktowana jest jako język kompozycji, a nie jest jedynie dopasowywana wtórnie. Liczne realizacje potwierdzają, że twórcze poszukiwania nowych form w dużym stopniu opierają się na nadawaniu układom konstrukcyjnym czytelnych i optymalnych zasad geometrycznych wynikających z cech wytrzymałościowych materiałów konstrukcyjnych i proponowanych układów statycznych, eksponowaniu dystrybucji sił, szczególnie w obiektach dużych rozpiętości, gdzie forma w oczywisty sposób jest pochodną konstrukcji [6], ale także na zmianie rytmów i układów elementów konstrukcyjnych, nowatorskim stosowaniu materiałów kompozytowych i układów hybrydowych [2] oraz wykorzystywaniu zarówno formotwórczych właściwości powłok dwukrzywiznowych w tzw. swobodnym, organicznym kształtowaniu formy jak i materiałów, które można plastycznie kształtować, takich jak drewno klejone warstwowo i beton [7].

Materiały i metody

Zaprezentowano projekty i realizacje własne (rys. 1–3), obejmujące zróżnicowane obiekty z wykorzystaniem konstrukcji z drewna klejonego i zbrojonego betonu. Przyjęto metodę research-by-design, w której liczne warianty koncepcyjne służą twórczej kompozycji formy poprzez układ nośny. Zaproponowano zestaw wytycznych – kryteriów, które nie służą ocenie lecz od etapu koncepcji prowadzą przez proces wariantowania i projektowania jako stawiania hipotezy formy. Są to:

1. czytelność układu nośnego – jednoznaczny schemat statyczny, zrozumiały przebieg sił i momentów, klarowne podpory i węzły;



Ryc. 1. U góry: projekt biblioteki Politechniki Koszalińskiej

a – aksonometria konstrukcji, b – aksonometria bryły budynku.

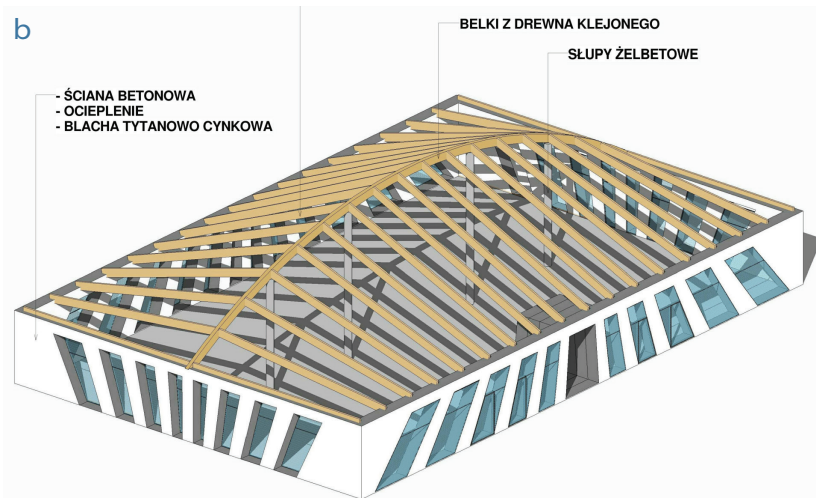
U dołu: rozbudowa PWSI w Łomży

a – wizualizacja budynku, b – aksonometria konstrukcji.

Autorzy: Alicja Maciejko, Mirosław Strzelecki. Wizualizacje: źródło własne autorów.



a



Ryc. 2. U góry: budynek centrum kultury w Rybniku
a – wizualizacja budynku,
b – aksonometria konstrukcji).

U dołu: budynek sali sportowej we Wrocławiu przy ul Świstackiego
a – zdjęcia budynku,
b, c – zdjęcia z realizacji.
Autorzy: Alicja Maciejko,
Mirosław Strzelecki. Zdjęcia:
źródło własne autorów.

a



b



c





Ryc. 3. Sala koncertowo-widowiskowa w Zielonej Górze

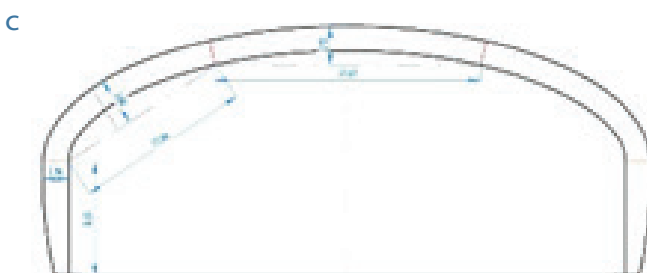
a – wizualizacja budynku,

b – przekrój podłużny,

c – element konstrukcji budynku

Autorzy: Alicja Maciejko, Mirosław Strzelecki.

Wizualizacje: źródło własne autorów.



2. spójność bryły – zgodność rozwiązań węzłów, elementów i układów przestrzennych z kompozycją całości;

3. zgodność formy z logiką technologii (prefabrykacja, modularność, dopuszczalne promienie gięcia);

4. efektywność materiałowo-konstrukcyjna (np. lekkość, smukłość i delikatność struktury nośnej);

5. modelowanie ekspresji sił – gradacja gęstości elementów, rytm, interwały;

6. krzywizny wynikowe (łuki, powłoki, siatki), które wprowadza się wyłącznie wtedy, gdy są uzasadnione pracą ustroju i mieszczą się w ograniczeniach technologicznych;

7. innowacyjność rozumiana jako nowe konfiguracje geometryczne i układy hybrydowe (w tym hybrydy GLT/CLT/beton/stal);

8. bioinspiracja, która powinna pozostać spójna z organizacją pracy konstrukcji.

Proces ten ma charakter szkicu, który porządkuje relacje nośne (np. rozstawy podpor, kierunki i proporcje przęsła). Dopiero metody obliczeniowe doprecyzowują i korygują rozstawy, przekroje i krzywizny, itp., po czym rozwiązania przekłada się na elementy technologicznie uzasadnione i wykonywalne. Dzięki temu wariantowanie pozostaje twórcze, a forma konsekwentnie wyrasta z konstrukcji.

Wyniki

Przedstawione studia przypadków potwierdzają, że komponowanie formy przez konstrukcję prowadzi do spójnych efektów przestrzennych i estetycznych. Ekspresja pozostaje wiarygodna, gdyż jest pochodną pracy konstrukcji i wynika z przyjętego schematu statycznego a nie z efektu dekoracyjnego.

Wnioski

Konstrukcja tworzy formę architektoniczną, jeżeli jest świadomie użyta jako środek kompozycji od fazy koncepcji. Projektowanie koncepcyjne uwzględniające przedstawione kryteria – wy-

tyczne pozwala na proces wariantowania i selekcji rozwiązań, w których materialność techniczna i forma pozostają współlistotne, a ekspresja sił staje się źródłem piękna oraz nośnikiem innowacji. Warunkiem jest ściśle współprojektowanie architekta i inżyniera oraz prowadzenie procesu od „konstrukcji jako hipotezy formy”, a nie dopasowywania struktury konstrukcyjnej do formy uprzednio „wymyślonej”. Pełne projektowanie architektury wymaga porzucenia myślenia o konstrukcji wyłącznie w kategoriach inżynierskich. Według Piera Luigi Nervi: „Przy wszystkich ograniczeniach stwarzanych przez wymogi techniczne, zawsze pozostaje margines wolności wystarczający na pokazanie osobowości twórcy i, jeżeli jest on artystą, pozwalający na to, aby jego dzieło, w sztywnym rygorze technologicznym stało się rzeczywistym i prawdziwym dziełem sztuki” [8].

PIŚMIENNICTWO

- [1] Schlaich J. (2007). Konceptyjne projektowanie lekkich konstrukcji. Artykuł opracowany przez prof. S. Kusia na podstawie referatu wygłoszonego na XI międzynarodowej konferencji „konstrukcje metalowe”, ICMS 2006, Rzeszów 2006. Inżynieria i Budownictwo nr 3.
- [2] Maciejko-Grześkowiak A. (2011). Analiza przydatności konstrukcji z drewna klejonego o dużych rozpiętościach do realizacji form architektury współczesnej.
- [3] Maciejko A. (2020). Expression of Glued Laminated Timber in Long Spans Structures Associated with its Natural Origin, Civil and Environmental Engineering Reports, 30(2), s. 55–64.
- [4] Sławińska J. (1997). Ekspresja sił w nowoczesnej architekturze. Warszawa.
- [5] Maciejko A. (2016). Inspiracje w architekturze. Część 3. Statyka (konstrukcja), Builder, nr 7, 44–47, ISSN: 1896-0642.
- [6] Zalewski W. (2000). Moc i lekkość – muzy projektanta konstrukcji. Architektura –Murator, nr 11.
- [7] Maciejko A. (2016). Inspiracje w architekturze. Część 1. Poszukiwanie formy. Builder, nr 5, 38–40.
- [8] Nervi P.L. (1965). *Asthetics and Technology in Building. The Charles Eliot Norton Lectures, 1961–1962*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1965.

BUDOWNICTWO DREWNIANE W POLSCE JAKO ELEMENT ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

Łukasz Mazur

Wydział Inżynieryjny, Uczelnia Techniczno-Handlowa im. Heleny Chodkowskiej, Warszawa, Polska

Słowa kluczowe: zrównoważone budownictwo, architektura, konstrukcje drewniane.

ABSTRAKT

Wstęp

W obliczu zmian klimatycznych budownictwo drewniane stanowi jedną z metod przeciwdziałania ich negatywnym skutkom poprzez promowanie praktyk przyjaznych środowisku i zrównoważonego rozwoju. W ramach globalnych inicjatyw na rzecz zrównoważonego rozwoju coraz więcej przedsiębiorstw traktuje zrównoważone budownictwo jako kluczowy element swojej strategii rozwoju. Inwestycje mające na celu minimalizację negatywnego wpływu działalności gospodarczej na środowisko naturalne zyskują na znaczeniu w sektorze biznesowym. Budownictwo drewniane, wykorzystujące materiały odnawialne i ekologiczne, stanowi istotny segment praktyk zrównoważonego budownictwa (Mazur & Olenchuk, 2023).

Drewno jest jednym z najbardziej ekologicznych surowców budowlanych – łatwo dostępnym, odnawialnym i prostym w obróbce (Mazur, Szlachetka, Jeleniewicz, & Piotrowski, 2024). Charakteryzuje się licznymi zaletami: jest materiałem przyjaznym środowisku, biodegradowalnym, zrównoważonym (Asif, 2009), nadającym się do recyklingu (Sandier, 2003) oraz wielokrotnego użycia. Dostępność drewna w Europie zmieniała się w czasie w wyniku zmian w pokryciu leśnym, strukturze gatunkowej lasów oraz rozwoju handlu drewnem. W polskim budownictwie preferowane są gatunki drewna o właściwościach technicznych dostosowanych do różnorodnych zastosowań. Drewno iglaste, głównie sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) i świerk pospolity (*Picea abies* L.), wykorzystywane jest do konstrukcji nośnych, więźb dachowych, stolarki budowlanej (okna, drzwi, schody) oraz podłóg i sklejek.

Materiał i metody

W celu realizacji założeń zastosowano zarówno metodologię badań ilościowych, prezentującą dane dotyczące budownictwa drewnianego w Polsce, jak i metodologię badań jakościowych. Badania jakościowe obejmowały analizę źródeł wtórnych (*desk research*) oraz studia przypadków trzech zrealizowanych budynków drewnianych o funkcjach mieszkalnej, publicznej i usługowej. Celem tych analiz była ocena potencjału oraz możliwości wykorzystania budownictwa drewnianego przez przedsiębiorstwa w Polsce.

Pierwszym obszarem badawczym była analiza potencjału budownictwa drewnianego oraz jego zastosowań na rynku krajowym. Na podstawie ogólnodostępnych danych porównano poziom lesistości w Polsce i w wybranych krajach europejskich, a następnie przeanalizowano dane dotyczące produkcji drewna w Polsce i w wybranych państwach Europy. Kolejną część badań poświęcono byłą analizie budownictwa drewnianego w Polsce w latach 2018–2023, obejmującej

liczbę realizowanych budynków oraz udział poszczególnych technologii konstrukcyjnych w nowo powstających obiektach.

Wyniki

Polska, przy lesistości wynoszącej 29,7% powierzchni kraju, zajmuje 7. miejsce w Unii Europejskiej pod względem produkcji tarcicy. W latach 2010–2021 powierzchnia lasów w Polsce wzrosła o 1,5%, co wskazuje na skuteczną politykę zrównoważonego leśnictwa i zapewnia stabilne zaplecze surowcowe dla sektora budownictwa drewnianego. Produkcja tartaczna w Polsce wynosi ok. 4,63 mln m³ rocznie, co przy relatywnie niższej lesistości w porównaniu do krajów skandynawskich (Finlandia – 66,2%, Szwecja – 62,5%) świadczy o wysokiej efektywności wykorzystania zasobów. W kraju działa około 800 firm specjalizujących się w konstrukcjach drewnianych, z czego 532 stosuje technologię szkieletową, a 60–80 z nich oferuje pełną prefabrykację.

W latach 2018–2023 liczba nowych budynków o konstrukcji drewnianej wzrosła z 658 do 1303 (wzrost o 98%), natomiast liczba lokali mieszkalnych w tych obiektach wzrosła o 101,2%. Pomimo że udział konstrukcji drewnianych w ogólnej liczbie budynków mieszkalnych w 2022 roku wynosił jedynie 0,6%, tendencja wzrostowa jest wyraźna. Wartość rynku budownictwa drewnianego w Polsce osiągnęła w 2022 roku rekordowy poziom 3,5 mld zł, co oznacza wzrost o 45,7% w stosunku do 2011 roku. Prognozy wskazują na kontynuację tego trendu po 2025 roku, po chwilowym spowolnieniu gospodarczym.

Wnioski

Polska dysponuje solidnymi podstawami do dalszego rozwoju budownictwa drewnianego, zarówno pod względem surowcowym, jak i technologicznym. Potencjał ten wzmacniają czynniki rynkowe – rosnące zapotrzebowanie na budynki niskoemisyjne, rozwój technologii prefabrykacji oraz integracja zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze budownictwa. Budownictwo drewniane może w istotny sposób przyczynić się do realizacji krajowych i europejskich strategii klimatycznych. Wykorzystanie certyfikowanego drewna, rozwój innowacyjnych technologii CLT i glulam, a także inwestycje w edukację kadr technicznych stanowią kluczowe działania na rzecz rozwoju tego sektora.

Jednocześnie konieczna jest zmiana percepcji społecznej – w Polsce wciąż dominuje stereotyp domu drewnianego jako obiektu górskiego lub rekreacyjnego. Poprzez kampanie edukacyjne, promocję udanych realizacji oraz popularyzację przykładów trwałych konstrukcji historycznych (np. kościoły w Domachowie i Świdnicy), możliwe jest zwiększenie zaufania do nowoczesnych rozwiązań drewnianych. W dłuższej perspektywie budownictwo drewniane może stać się jednym z filarów zrównoważonego rozwoju kraju – wspierając efektywność energetyczną, redukując emisję, tworząc nowe miejsca pracy i promując innowacje w sektorze architektury oraz inżynierii budowlanej.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Asif, M. (2009). Sustainability of timber, wood and bamboo in construction. *Sustainability of Construction Materials* (pp. 31–54). Elsevier.
- [2] Goverse, T., Hekkert, M. P., Groenewegen, P., Worrell, E., & Smits, R. E. H. M. (2001). Wood innovation in the residential construction sector; opportunities and constraints. *Resources, Conservation and Recycling*, 34(1), 53–74.
- [3] Mazur, Ł., & Olenchuk, A. (2023). Life Cycle Assessment and Building Information Modeling Integrated Approach: Carbon Footprint of Masonry and Timber-Frame Constructions in Single-Family Houses. *Sustainability*, 15(21), 15486.
- [4] Mazur, Ł., Szlachetka, O., Jeleniewicz, K., & Piotrowski, M. (2024). External Wall Systems in Passive House Standard: Material, Thermal and Environmental LCA Analysis. *Buildings*, 14(3), 742.
- [5] Sandier, K. R. (2003). Analyzing what's recyclable in C&D debris, (44), 51–54.

PLANAR, MODULAR SLIDE IN RECIPROCAL FRAME STRUCTURES FROM SALVAGED TIMBER: BRIDGING SIMULATION AND FULL-SCALE PROTOTYPE

Fabienne Migga¹, Günther H. Filz¹, Mauricio Morales-Beltran²

¹ University of Innsbruck, Faculty of Architecture, LSU Lightweight Structures Unit, Innsbruck, Austria

² Yaşar University, Faculty of Architecture, Izmir, Turkey

Keywords: reciprocal frame structures, modularity, salvaged timber, prototype, architecture.

ABSTRACT

Introduction

Reciprocal frame (RF) structures have a long and diverse history, with evidence of their use across various historical periods and cultures. The concept of spanning greater distances than the length of individual structural members has been known for centuries. In contemporary research and design, this concept is being further explored to unlock new possibilities, particularly in the context of sustainable construction practices as well as the advancement of the design process of reciprocal structures. [1] Traditionally, RFs develop as both, 2D and 3D systems generating repetitive and notched (Fig. 1) configurations, where load transfer coincides with weakened cross-sections. This paper builds on a slide-in module for planar RFs [2, 3] and rethinks 3 major traditional RF-limitations. First, instead of subtractive notching, the slide-in system follows an additive logic: openings are left during module-prefabrication, allowing assembly without weakening cross-sections and enabling multi-layer configurations when required. Second, conically shaped openings (Fig. 2) simplify assembly while permitting controlled rotation between modules, enabling non-repetitive layouts and site-specific adaptations, significantly broadening the design space. Third, the system accommodates salvaged rather than virgin material. Overlengths and dimensional variations are tolerated by the slide-in principle, aligning structural innovation with circular construction strategies. To validate these concepts, we present a full-scale, modular prototype providing comparison between digital design and simulation with physical performance, allowing assessment of increased design space, flexible configurations, structural behavior and the influence of material and assembly tolerances.

Basis material and methods

Used methods comprise the phases of (i) Design and Simulation, (ii) fabrication, and (iii) evaluation and comparison. The methodological framework is based on design explorations through hand sketches, scaled models, and digital studies. These iterative investigations informed the development of a non-repetitive planar reciprocal frame system based on slide-in modules and their assemblability. The digital design phase provided a parametric foundation for further analysis, while structural simulations were conducted in Karamba3D. Particular emphasis was placed on evaluating the performance of irregularly distributed support points, generating hypotheses on load transfer and deformation that guided the subsequent full-scale prototype. The project pur-

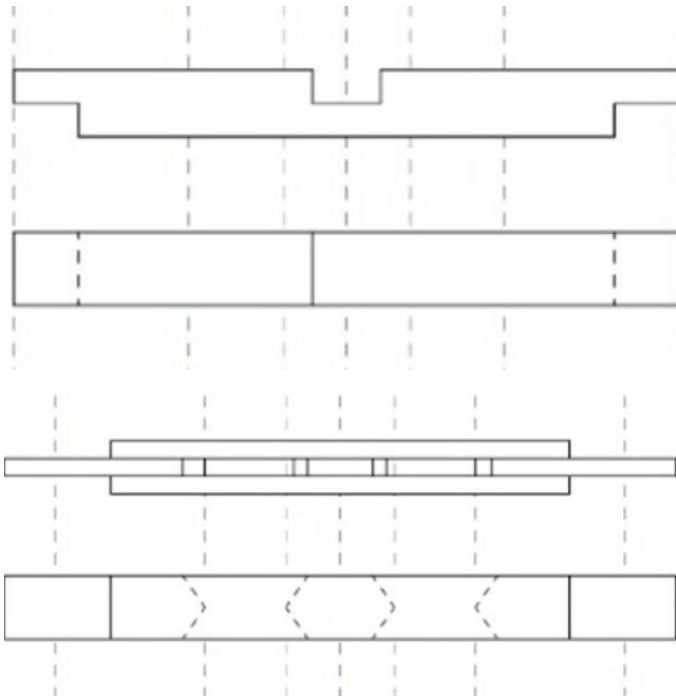


Fig. 1. Traditionally notched RF-Element

Fig. 2. A slide-in module for planar RFs with additive logic



Fig. 3. Prototype Close-up

Fig. 4. U-shaped campus seating



sued the deliberate use of salvaged timber to optimize material utilization, conserve resources, and reduce waste [4], and enabling the production of identical modules, each consisting of three short and two longer timber boards (Fig. 2, 3) with a thickness of 38mm and a width of 150mm. Students were involved in module production, which were fabricated in a low processing manner by using an assembly jig to maintain uniformity in the size of the slide-in openings. Material integrity was addressed by joining module layers with wooden nails [5], which, due to lignin adhesion during pneumatic shooting, provided strong bonds [6] while avoiding corrosion (Fig. 5). However, their withdrawal strength can diminish after repeated wetting and drying. Since the prototype was constructed in public space on the university campus (Fig. 4), for safety reasons the boards were additionally secured with screws. Evaluation combined qualitative and quantitative methods. Discrepancies between digital simulation and physical prototype in loaded and unloaded states were analyzed by high-resolution 3D laser scanning [7] and dimensional analysis.

Results

The architectural/structural design evolved through an iterative digital workflow, with Karamba3D simulations (Fig.7) under distributed load informing hypotheses on deformation and load transfer. Depending on the predicted displacement, modules were used as double-layer at the top or bottom of the central RF structure distributing loads across seven support points. Processing nearly 350 linear meters of timber, the prototype modules were prefabricated from timber boards with a relatively big range in thickness of 35 to 40 mm. Assembly was performed manually by help of students, and realized as a U-shaped installation, the prototype also served as seating on the university campus (Fig.3-6). Owing to its slide-in principle, the system was designed for assembly and disassembly, enabling repeated reconfigurations of the same modules into various structural arrangements. The point cloud generated by high-resolution 3D laser scanning (Fig.8) of the built structure provided reference data for direct comparison, enabling assessment of span lengths, pattern deviations, and load-induced deformations. Span lengths in the digital model ranged from



Fig. 5. Nailing Gun for Wooden Nails



Fig. 6. Impression of the Prototype

26 cm to 221 cm, while the prototype's spans are in a $\pm 10\%$ range, with differences attributable to pattern shifts. Despite these deviations, the structure remained stable and geometrically legible. Maximum deformation under load was 25mm in simulation versus 42mm in the prototype. Dimensional analysis showed that in unloaded state the prototype displaced up to 43mm compared to 5mm in the simulation.



Fig. 7. Structural analysis using Karamba3D

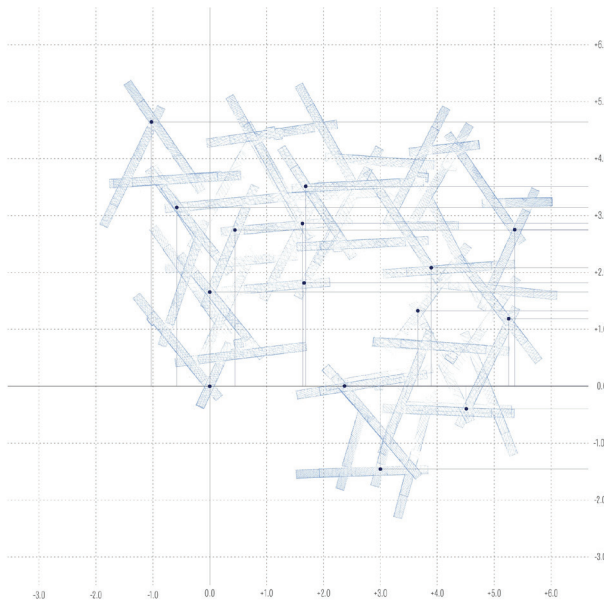


Fig. 8. Point Cloud from high-resolution 3D laser scanning

Conclusions

The study confirms the feasibility and architectural potential of planar RF structures using slide-in modules, while also identifying challenges during manual assembly. Deviations in deformation were observed, largely due to the wide range of timber thicknesses, which exceeded the original slide-in opening tolerances. Subsequent assemblies revealed some imprecise connections that did not consistently engage all board layers, highlighting the critical role of a structured workflow to ensure accurate positioning and assemblability of modules. Increased automation in cutting, nailing and assembly may further enhance precision and structural reliability. However, the slide-in system retained its key advantages: modules can be rotated to generate diverse, non-repetitive configurations, and the system can be dis-/assembled efficiently, promoting modularity and reuse. The U-shaped prototype exemplifies how it combines structural performance with architectural functionality. Its adaptability, flexibility, and potential for resource efficiency demonstrate the potential of planar slide-in RFs as a sustainable, future-ready construction method. Integrated with a digital design and simulation workflow, the modules offer a distinctive combination of structural efficiency, architectural expressiveness, and sustainability. Further refinement - particularly through improved fabrication precision and potential automation - holds promise for flexible, reusable, and visually engaging architectural applications, from temporary installations to modular, adaptive/adaptable structures.

REFERENCES

- [1] O. Popovic Larsen, *Reciprocal Frame Architecture*: Routledge, 2007.
- [2] G. Ruan, G. H. Filz, G. Fink, "Planar rectangular, slide-in reciprocal frame structures using salvaged timber and wooden nails," in *IASS 2022 Annual Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures and 13th Asian-Pacific Conference on Shell and Spatial Structures: IASS/APCS 2022: Innovation, Sustainability and Legacy*, Peijing, China, 2022.
- [3] G. Ruan, G. H. Filz, G. Fink, "Planar Rectangular Slide-In Reciprocal Frame System Using Salvaged Timber and Wooden Nails," *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, vol. 65, no. 2, pp. 95–105, 2024, doi: 10.20898/j.iass.2023.019.
- [4] G. Nicolas, G. H. Filz, "Architectural Design from Upcycled Formwork Wood: Perspectives on New Physical and Aesthetic Qualities of Waste Wood, Computer Vision and Algorithm-Assisted Façade Design," *ARF*, vol. 8, no. 1, 2024, doi: 10.37457/arf.146877.
- [5] L. Han et al., "Densified wooden nail for adhesive- and metal- free timber assemblies," in *Timber for a livable future: World Conference on Timber Engineering: WCTE 2023: 19-22 June 2023, Oslo, Norway*, Oslo, Norway, 2023.
- [6] G. Ruan, G. H. Filz, G. Fink, "Shear capacity of timber-to-timber connections using wooden nails," *Wood Material Science and Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 20–29, 2022, doi: 10.1080/17480272.2021.1964595.
- [7] Trimble Inc., *Datasheet - Trimble X7 3D Laser Scanner*. [Online]. Available: <https://fieldtech.trimble.com> (accessed: Jun. 2 2024).

A NEW PARADIGM FOR LIGHTWEIGHT DESIGN – BIOMIMETIC STRUCTURAL OPTIMIZATION METHOD

Michał Nowak

Systems Research Institute, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland

Keywords: structural optimization, topology optimization, biomimetics

ABSTRACT

Introduction

Nature has shaped diverse life forms over millions of years. The ability of biological systems to adapt to existing conditions has led to the creation of forms with a remarkable degree of adaptation. This applies to both the building material itself, its use, and the construction method. One of the processes that requires significant effort from the body is the lifelong renewal of bone structures. The paper presents a biomimetic structural optimization method based on adaptive trabecular bone remodeling phenomenon. The theoretical basis is provided by considerations regarding structural optimization in order to achieve the highest possible stiffness

Basis material and methods

To formulate an optimization problem and determine the objective function, it is necessary to describe the state of the structure being optimized. If the goal of the optimization procedure is to maximize the stiffness of the structure, this is equivalent to minimizing the functional:

$$J(\Omega) = \int_{\Gamma_1} t \cdot u \, d\Gamma$$

under constraints:

$$\int_{\Omega} \boldsymbol{\sigma} : \boldsymbol{\varepsilon} - V_0 = 0$$

and state equations:

$$\operatorname{div} \boldsymbol{\sigma}(\mathbf{u}) = 0 \quad \text{in } \Omega$$

$$\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{u}) \cdot \mathbf{n} = \mathbf{t} \quad \text{on } \Gamma_1$$

$$\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{u}) \cdot \mathbf{n} = 0 \quad \text{on } \Gamma_v$$

$$\mathbf{u} = 0 \quad \text{on } \Gamma_0$$

where: Ω represents domain of the elasticity system, $\mathbf{u}$ the displacement, $\mathbf{t}$ traction forces, V_0 given volume, Γ_0 part of the boundary with Dirichlet condition, Γ_1 part of the boundary loaded by traction forces.

Considering the optimality conditions of the solution, we obtain the following relationship [1, 2]:

$$\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{u}) : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}(\mathbf{u}) = \ddot{\varepsilon} = \text{const}$$

Results

This means that to achieve minimum energy in a structure, a structure with the highest stiffness, the strain energy density at the structure's surface must be constant. The Lagrange multiplier λ is related to the strength properties of the material and in this way homeostasis is achieved in living tissues. Medicine recognizes the tendency of the constantly remodeling trabecular bone structure to achieve precisely this goal, and this is described as homeostasis.

A constant strain energy density at the structure's surface, the goal of trabecular bone remodeling, is crucial for achieving the best strength properties of the bone structure under constantly changing external loads. A detailed analysis of how nature achieves this goal leads to the formulation of a new design paradigm, allowing for the rejection of limitations inherent in previously developed structural optimization methods, particularly in the area of topology optimization. Instead of artificially assuming a volumetric constraint, i.e., filling the volume of a specific domain with material, it is possible to assume a constant strain energy density at the structural surface. By adopting the goal of equalizing the strain energy density across the structural surface and utilizing the details of achieving this goal observed for trabecular bone remodeling, a structural optimization system with unique features was developed.

The optimization calculation algorithm and its implementation in a supercomputer environment will be presented [3, 4]. Examples of the system's use in the design of aircraft structures (Fig.1), which require multidisciplinary calculations performed using parallel computing systems, will also be presented. An important application of structural optimization results is the use of additive manufacturing methods, and this aspect of the developed method will be illustrated with specific examples of industrial implementations. Finally, the commercial version of the software (superficialis.com), which is based directly on the biomimetic structural optimization algorithm, will be discussed.

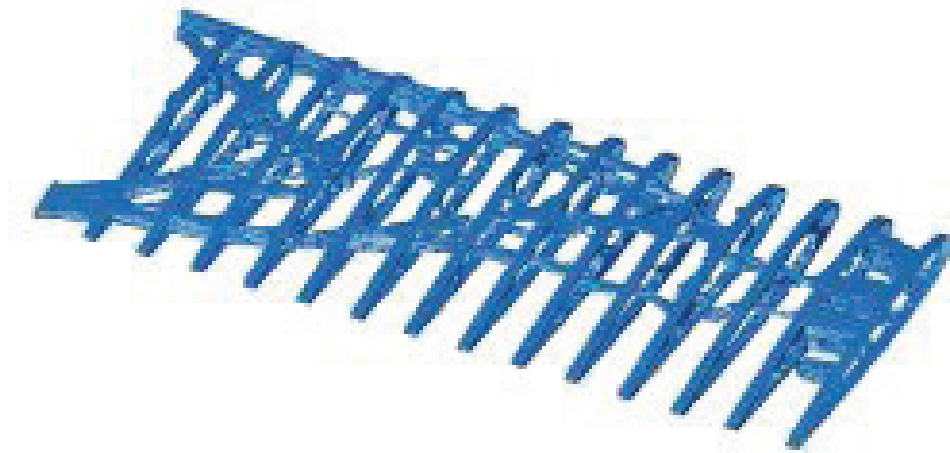


Fig. 1. Wing box topology optimization under multiple loads using the biomimetic topology optimization method [5].

Conclusions

The biomimetic optimization method allows for a direct link between the entire optimization process and the material properties. The automatic solution to the problem of finding the optimal structure for multiple load cases is also particularly attractive to engineers. Furthermore, because the optimization procedure does not assume the existence of an artificial material, as is the case in traditional topology optimization procedures, the optimization result is a functional structure, and therefore, additional interpretation operations or the use of morphological filters are not necessary.

REFERENCES

- [1] Nowak M., Boguszewski A. (2021), *Topology Optimization Without Volume Constraint – the New Paradigm for Lightweight Design*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, vol. 69, issue 4/2021, pp. e137732, <http://dx.doi.org/10.24425/bpasts.2021.137732>.
- [2] Nowak M., Sokołowski J., Żochowski A. (2018), Justification of a certain algorithm for shape optimization in 3D elasticity, *Structural and Multidisciplinary Optimization* <http://dx.doi.org/10.1007/s00158-017-1780-7>, February 2018, Volume 57, Issue 2, pp. 721–734.
- [3] Nowak M., Polak J., Napierała O. (2023), *The Implementation of Biomimetic Structural Optimization Software in a Supercomputing Environment*, Theories, Models and Simulations of Complex Physical Systems / red. Eugeniusz Świtoński - Cham, Switzerland: Springer, 2024 - s. 139-153 http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-73161-7_13.
- [4] Polak J., Nowak M. (2023), *From Structural Optimization Results to Parametric CAD Modeling – Automated, Skeletonization-Based Truss Recognition*, *Applied Sciences*, vol. 13, iss. 9, s. 5670-1-5670-24 <http://dx.doi.org/10.3390/app13095670>.
- [5] Gawęł D., Nowak M. et al. (2017), *New biomimetic approach to the aircraft wing structural design based on aeroelastic analysis*, *Bull. Pol. Ac.: Tech.*, 65(5), pp. 741-750.

ŚWIADOME POSZUKIWANIE FORM – NOWOCZESNE TECHNOLOGIE OBLICZENIOWE I PROGRAMISTYCZNE W RĘKACH ARCHITEKTA

Przemysław Nowak

Katedra Architektury i Sztuk Wizualnych, Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

Słowa kluczowe: obliczenia, form finding, poszukiwanie form, optymalizacja

ABSTRAKT

Wstęp

Celem referatu jest przedstawienie prac dotyczących cyfrowego poszukiwania, modelowania i analizy form architektonicznych pod kątem ich kompatybilności z materiałem. Działania te są w znacznej części składowymi etapami symulacyjnego badania nad opatentowanym przez autora wynalazkiem – Osnową Samotężającą (Ryc. 1a) (Patent PL244000) [1] – nowatorskim materiałem kompozytowym, opartym na technologii zbrojenia betonu włóknem szklanym. Rozwiązanie to stanowi odpowiedź na potrzebę efektywnego i ekonomicznego wytwarzania skomplikowanych form przestrzennych. Znamiennością Osnowy jest możliwość zaplatania jej w złożone, trójwymiarowe struktury (Ryc. 1b), których kształt można utrwalac poprzez aplikację wody. Badania ukierunkowano na rozpoznanie zależności pomiędzy nadawaną geometrią a reakcją mechaniczną materiału. Za cel przyjęto sformułowanie zestawu wytycznych, ułatwiających poszukiwanie wydajnych, statecznych i ekonomicznych form architektonicznych z Osnowy.



Ryc. 1. a – Osnowa Samotężąca – prototyp (źródło: oprac. autora),

b – struktura przestrzenna wytworzona jako siatka z Osnowy Samotężącej. Wizualizacja za pomocą narzędzia SketchUp Diffusion (narzędzie do wizualizacji modeli 3d wykorzystujące SI), (źródło: oprac. autora),

c – jeden z prototypów w trakcie testowania możliwości zaplatania Osnowy Samotężącej w siatki (źródło: oprac. autora).

Materiały i metody

Fundament prac stanowią wyniki wcześniejszych etapów badań nad Osnową Samotężającą, prowadzonych w mikro- i mezoskali (0–200 cm). Wstępne etapy pozwoliły na optymalizację składu materiałowego oraz laboratoryjne potwierdzenie potencjału mechanicznego pojedynczych fragmentów Osnowy. Wykonane zostały również niewielkie metastruktury (poniżej 100×100 cm), uzyskane przez zaplatanie jednego lub dwóch odcinków Osnowy Samotężającej (ryc. 1c). Dalsze skalowanie badań i prototypowanie pełnowymiarowych struktur metodą prób i błędów uznano za nieracjonalne ze względu na wysokie koszty materiałowe, obciążenie środowiskowe i ryzyko wynikające z nieprzewidywalności zachowania nietestowanych układów. W odpowiedzi wdrożono etap symulacyjny, którego celem nie było zastąpienie badań fizycznych, lecz ich bezpieczne i świadome przygotowanie. W ramach metodologii, inspirowanej opisywanymi w literaturze procesami poszukiwania formy (*form finding*) [2], opracowano zintegrowane narzędzie cyfrowe. Łączyło ono parametryczną generację geometrii, hierarchiczną symulację obciążeń (od szybkich modeli sprężystych, przez prętowe, po złożoną, bryłową metodę elementów skończonych) [3] oraz pętlę optymalizacyjną opartą na algorytmach ewolucyjnych. Umożliwiało automatyczną generację i selekcję wariantów geometrycznych według zdefiniowanych kryteriów. W celu zapewnienia spójności metodologicznej i rzetelności pozyskiwanych wyników, konieczne było zawężenie obszaru badawczego. Za szczególnie warte uwagi uznano rozpoznanie zastosowania Osnowy w elementach fasadowych. Przykładowe scenariusze badawcze o różnych konfiguracjach geometrycznych ilustruje ryc. 2,



gdzie modele 3D wyłonię przez narzędzie (ryc. 2b, d), wzbogacono wizualizacjami (ryc. 2a, c), ukazującymi bezpośrednie zakotwiczenie prezentowanych badań w praktyce architektonicznej.

Wyniki i wnioski

Opracowane narzędzie cyfrowe umożliwiło wygenerowanie i analizę ponad 200 000 modeli siatki fasadowej w różnych konfiguracjach. Każdy model opisano tzw. deskryptorem – uproszczonym kodem numerycznym, definiującym wszystkie najważniejsze parametry zasymulowanej siatki. Następnie pozyskany zbiór deskryptorów skategoryzowano algorytmem HDBSCAN [4], co pozwoliło wyodrębnić ok. 900 powtarzających się wzorców geometrycznych i mechanicznych – charakterystycznych rozkładów sił, węzłów, lub punktów podparcia. Dalsza analiza polegała na poszukiwaniu korelacji między obecnością danego wzorca w modelu a reakcją mechaniczną podczas symulacji oddziaływań fizycznych. W ten sposób zaklasyfikowano wzorce jako m.in.; niekorzystne, neutralne i korzystne, co stało się fundamentem do sporządzenia założonego wcześniej zestawu wytycznych. Drugą, fundamentalną składową zestawu stanowiły wnioski płynące z szerszej, całościowej obserwacji modeli, które w syntetyczny sposób streszczono poniżej.

Po pierwsze, zaobserwowano, że o stabilności konstrukcji decydowała przede wszystkim lokalizacja punktów mocowania, a nie sama gęstość siatki; rozległe, niepodparte pola ulegały podobnej deformacji niezależnie od zagęszczenia. Po drugie, siły dążyły do diagonalizacji przebiegu, skutkując powstaniem utajonych układów kratownicowych – zjawisko nieoczywiste w ujęciu czysto intuicyjnym, dało się wyraźnie dostrzec w symulacjach. Po trzecie, przewieszenia i asymetryczne podpory były możliwe, lecz wymagały kompensacji w postaci odpowiednich stref kotwiących i lokalnych wzmocnień. Po czwarte, długie, swobodnie wiszące pasma siatki kumulowały siły w górnych mocowaniach, co implikowało konieczność wprowadzania pośrednich punktów odciążających. Po piąte, wymagana gęstość siatki rosła wraz ze złożonością geometrii: w strefach o dużej krzywiznie lub gwałtownych zmianach kształtu dopiero zagęszczenie elementów zapewniało prawidłowe przenoszenie obciążeń. Wreszcie, zauważono, iż wprowadzenie parcia wiatru spowodowało diametralną redystrybucję rozkładu sił. Fasada zaczęła pracować jak membrana; stabilność układu zapewniały odtąd przede wszystkim krawędzie i elementy poziome, przenoszące siły na boczne mocowania.

Opracowany zbiór obserwacji i wytycznych projektowych należy traktować nie jako ostateczne ograniczenia, lecz jako wstępną propozycję języka opisującego wewnętrzną logikę materiału. Na podstawie przeprowadzonych prac można wnioskować, iż integracja parametrycznego modelowania, symulacji numerycznych i algorytmów ewolucyjnych może być efektywną strategią we wstępnym etapie poszukiwania optymalnych układów przestrzennych (*form finding*) dla nowatorskich materiałów kompozytowych. Wyniki te mogą stanowić użyteczną podstawę do dalszych badań – w tym bezpiecznego i ekonomicznego prototypowania fizycznego, potencjalnie otwierając drogę do wdrożenia Osnowy i innych nowoczesnych kompozytów na rynek.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Nowak, P. (2023). Osnowa Samotężąca [Self-bracing matrix] (Polish Patent No. 244000). Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [2] Veenendaal, D., & Block, P. (2012). An overview and comparison of structural form finding methods for general networks. *International Journal of Solids and Structures*, 49(26), 3741–3753.
- [3] Gasparini, D., Klinka, K. K., & Arcaro, V. F. (2011). A finite element for form-finding and static analysis of tensegrity structures. *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, 6(9–10), 1239–1254.
- [4] Campello, R. J. G. B., Moulavi, D., Zimek, A., & Sander, J. (2015). Hierarchical density estimates for data clustering, visualization, and outlier detection. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, 10(1), 5:1–5:51.

KSZTAŁTOWANIE ARCHITEKTURY STROPÓW UŻEBROWANYCH WEDŁUG TRAJEKTORII MOMENTÓW GŁÓWNYCH – METODA MODELOWANIA FIZYCZNEGO WSPARTA PROGRAMEM ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS

Michał Pelczarski

Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

Słowa kluczowe: funikularny, momenty główne, trajektorie, krzywizna, optymalizacja

ABSTRAKT

Wstęp

W artykule, autor analizuje konstrukcje stropowe, pod kątem stosowania i świadomego projektowania w nich form funikularnych a ogólnie, form możliwie najbardziej optymalnych dla przepływu sił. Obserwacja dokonań człowieka na przestrzeni wieków, wykazuje, że, ewolucja systemów stropowych, to ciągle poszukiwanie kompromisu między kubaturą dostępną dla użytkownika a kubaturą zajmowaną przez konstrukcję tworzącą tę kubaturę. W grę wchodzi również takie istotne aspekty jak: estetyka, tektonika, trwałość, „wygoda” wykonania, oraz materiał konstrukcji. Przez trwałość, rozumie się tu, brak korozji lub degradacji materiału z powodu rys i pęknięć powstających od rozciągania oraz nadmiernej deformacji, wywołanych np. nakładającymi się momentami zginającymi i skręcającymi. Im bardziej funikularna jest, bowiem forma konstrukcji tym bardziej jest ona trwała. Dzieje się tak, ponieważ geometria takich konstrukcji w pełni respektuje ścieżki strumieni sił, nie sprzeciwiając się ich wymaganiom. Dzięki temu, nie dochodzi w niej do spiętrzeń i zaburzeń przepływu strumieni. Mając na uwadze rosnący ponownie potencjał funikularnego kształtowania stropów w artykule przedstawiono techniki projektowania wstępnego, tego typu konstrukcji, przy zastosowaniu modelowania fizycznego, wspartego programem MES, które z powodzeniem stosowane są przez autora na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej w ramach bloku zajęć konstrukcyjnych z Architektury Współczesnej.

Metodologia badań

W artykule autor przedstawia procedury projektowania uźebrowania, przeznaczone dla dowolnego kształtu stropu. Zadania są tak przygotowane by możliwe były do wykonania przez niewyszkolonych, nawet inżyniersko projektantów. W metodzie przyjmuje się, że płyta wykonana z materiału anizotropowego pod obciążeniem zachowuje się jak membrana bezmomentowa, a dzianina – dzięki podobnym właściwościom w różnych kierunkach – dobrze odwzorowuje to zachowanie. Procedura składa się z 8 etapów. Do jej wykonania stosuje się: dzianinę, karton gr. 1mm, piankę styrodur, gorący klej, krzywik, program Autodesk Robot (ryc.1 na lewo, środek).

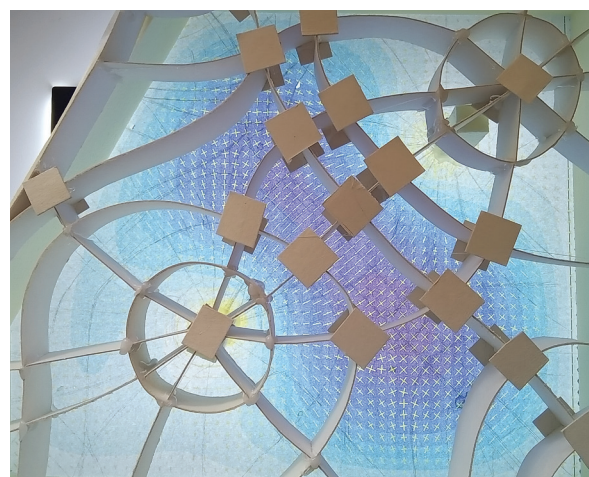
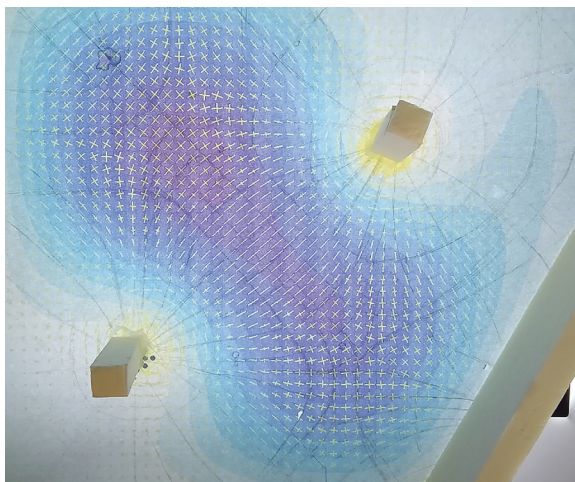
Wyniki

Wyczulenie projektanta na obserwację krzywizn głównych, projektowanych powierzchni, pozwala na lepsze zrozumienie wyężenia płyty oraz na lepszy dobór odpowiedniej geometrii uźebrowania, umożliwiając własne interpretacje funkcjonalno-estetyczne. Propozycje projektanta poparte wyżej opisanymi doświadczeniami modelowymi, mogą prowadzić do powstania realnych i atrakcyjnych dla inwestora koncepcji nowych form architektonicznych stropów (Ryc.1 na prawo). W procesie projektowym przejdą one oczywiście wnikliwie analizy konstrukcyjno-technologiczne, lecz jest bardzo prawdopodobne, że 70% pomysłu projektanta może zostać zachowane.

Wnioski

Wyniki badań wskazują, że przedstawiana tu metoda może być realizowana w różnych technologiach, a jej największą zaletą jest rozwijanie samodzielności projektowej poprzez dogłębną analizę zachowania modeli fizycznych pod obciążeniem.

Obserwacje historii rozwoju konstrukcji budowlanych wykazują że po okresie ciągłego odchodzenia od projektowania funikularnego na korzyść funkcjonalizmu i prostoty szalowania, współcześnie, dzięki nowym technologiom komputerowym (takim jak: druk szalunku 3D, parametryczne projektowanie, modelowanie fizyczne oraz cyfrowy form-finding) – projektanci mogą, ponownie wracać do rozwiązań geometrii funikularnej [1–5]. Szczególnie widoczne jest to w płytach stropowych gdzie przy redukcji negatywnych czynników pracochłonności i kosztu skomplikowanego szalunku otrzymuje się zmniejszoną kubaturę konstrukcji oraz interesującą architekturę organiczną.



Ryc. 1. U góry po lewej: mapa przemieszczeń pionowych oraz mapy krzyży momentów głównych wygenerowanych w programie Robot. Widoczne są również pierwsze przymiarki do wykreślenia trajektorii momentów głównych.

U góry po prawej: model ścian i słupów oraz opartego na nich systemu żeber, wykonanego z kartonowych pasów o wymiarach 1×35 mm i wzmocnionych w węzłach, za pomocą uciążlających płytek kartonowych.

U dołu po lewej: Model stropu w widoku od dołu, przedstawia autorską interpretację trajektorii momentów głównych w postaci widocznej sieci żeber. Układ posiada intrygującą architekturę, która może zachęcić inwestora do dalszych działań projektowych i ostatecznie do realizacji. Autorki modelu: M Matkowska, J. Grądała.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Nervi, P. L. (1965). *Aesthetics and Technology in Building*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- [2] Halpern, A. B., Billington, D. P., & Adriaenssens, S. (2013). The ribbed floor slab systems of Pier Luigi Nervi. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 54(1), 37–52.
- [3] Burger, J., Huber, T., Lloret-Fritschi, E., Mata-Falcón, J., Gramazio, F., & Kohler, M. (2022). Design and fabrication of optimised ribbed concrete floor slabs using large scale 3D printed formwork. *Automation in Construction*, 144, 104599. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104599>
- [4] Oval, R. (2024, August 26–30). Nervi Puzzle: A topologically reconfigurable modular ribbed floor. In P. Block, G. Boller, C. DeWolf, J. Pauli, & W. Kaufmann (Eds.), *Proceedings of the IASS 2024 Symposium: Redefining the Art of Structural Design* (Zurich, Switzerland). International Association for Shell and Spatial Structures.
- [5] Ranaudo, F., Van Mele, T., & Block, P. (2021). A low-carbon, funicular concrete floor system: Design and engineering of the HiLo floors. In *Proceedings of the IABSE Congress Ghent 2021 – Structural Engineering for Future Societal Needs* (pp. xx–xx). International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)

WSPÓŁCZESNE ASPEKTY W KSZTAŁTOWANIU STRUKTUR NOŚNYCH BUDYNKÓW WYSOKOŚCIOWYCH PRZY WYKORZYSTANIU KOMPONENTÓW Z MATERIAŁÓW DREWNOPOCHODNYCH

Joanna Pietrzak, Wiesław Rokicki

Wydział Architektury, Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska

Słowa kluczowe: budynki wysokie, struktury nośne, materiały drewnopochodne,
Europa, bezpieczeństwo pożarowe

ABSTRAKT

Wprowadzenie

Ukierunkowanie procesu projektowego na ograniczenie zużycia energii oraz śladu węglowego w całym cyklu życia budynku przyczyniło się do wzrostu znaczenia drewna jako materiału konstrukcyjnego. O ile zastosowanie tego materiału w niskich obiektach nie budziło nigdy kontrowersji, to jeszcze 20 lat temu nie istniała taka klasyfikacja obiektu budowlanego jak wysoki budynek drewniany. Od Wielkiego pożaru w Chicago rozwój zabudowy wysokiej to stosowanie przede wszystkim konstrukcji stalowych, a następnie z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe budynków o konstrukcjach żelbetonowych i kompozytowych (stalowo-betonowych). Współczesne poszukiwanie innowacyjnych, oryginalnych i proekologicznych rozwiązań architektoniczno-konstrukcyjnych wpływa na rosnące zainteresowanie wykorzystaniem materiałów i komponentów drewnopochodnych w budownictwie wysokim [13]. Jednak w przypadku takich projektów jednym z głównych problemów staje się ochrona przeciwpożarowa, która wymaga zrozumienia zachodzących procesów i wprowadzenia rozwiązań odmiennych od tych stosowanych w przypadku niskich obiektów [3, 8].

Dla konstrukcji stalowo-betonowych mianem obiektu „wysokiego” określa się zazwyczaj budynki w zakresie wysokości od 100 do 300 m. Jednak poza wysokością wyznacznikiem do uznania budynku za „wysoki” jest skala trudności przy jego projektowaniu i realizacji. Z uwagi na wymagania konstrukcyjno-materiałowe, w tym konieczność zapewnienia komfortu i bezpieczeństwa użytkowników, za wysokie budynki drewniane uznawane są takie, które mają 8 lub więcej pięter [5, 9]. Budynki wysokie o „drewnianej” konstrukcji wpisują się w europejską filozofię projektowania zabudowy wysokiej: osiągają umiarkowane wysokości, „manifestują” proekologiczne podejście do projektowania i dążenie do ograniczenia śladu węglowego oraz kreowania przyjaznego środowiska życia. W artykule postawiono więc pytanie, dlaczego tych budynków jest nadal tak niewiele?

Materiały i metody

W celu uzyskania odpowiedzi na postawione pytanie badawcze przeanalizowano europejskie realizacje obiektów z komponentów drewnianych o wysokości 50-90 m. Do szczegółowej analizy wybrano 6 budynków opisanych w literaturze naukowej: Mjøstårnet w Brumunddal

w Norwegii [1, 7], Hoho w Wiedniu w Austrii [13, 14], Haut w Amsterdamie w Holandii [11, 12], Sara Kulturhus Center w Skellefteå w Szwecji [10, 13], De Karel Doorman w Rotterdamie w Holandii [4, 6] oraz Hyperion w Bordeaux we Francji [2, 4]. Na podstawie danych dotyczących zastosowanych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych oraz ochrony przeciwpożarowej analizowano następujące zagadnienia: kształtowanie struktury nośnej, rodzaje stosowanych materiałów konstrukcyjnych, miejsce stosowania materiałów drewnopochodnych, a także możliwość ich wyeksponowania we wnętrzu i na zewnątrz budynku. Zwrócono też uwagę na stosowane rozwiązania z zakresu ochrony przeciwpożarowej.

Wyniki

Jakkolwiek projektowanie konstrukcji w Europie zostało ujednolicone poprzez opracowanie wspólnych norm, to określenie sposobu ochrony przeciwpożarowej dla wysokiego budynku z materiałów drewnopochodnych wiąże się z opracowywanymi indywidualnie, szczegółowymi i czasochłonnymi analizami, a nawet przeprowadzanymi badaniami eksperymentalnymi. Wyniki tych badań rzadko są udostępniane do publicznej wiadomości i nie mogą stanowić podstawy do opracowania kolejnych projektów.

Można jednak zaobserwować pewne podobieństwa wynikające z europejskich przepisów przeciwpożarowych, np. budynki wznoszone poza Skandynawię zawsze mają konstrukcję hybrydową (drewniano-żelbetową), jest ograniczane stosowanie elementów drewnianych na elewacji, wprowadzane są aktywne zabezpieczenia przeciwpożarowe i skracane dojścia do pionowych dróg ewakuacji. Jednym z problemów związanym z zabezpieczeniem przeciwogniowym drewnianych elementów konstrukcyjnych jest ich ekspozycja w kreowaniu wyrazu architektonicznego. Dlatego elementy drewniane zabezpieczane są powłokami, które nie wpływają na ich odbiór wizualny.

Wnioski

Potwierdzona zostaje hipoteza, że rozwój badań stosowanych i prawodawstwa nie nadąża w tej dziedzinie za rozwojem budownictwa, a w szczególności brakuje wytycznych i unormowań odnoszących się do warunków zachowania bezpieczeństwa pożarowego.

Pomimo rosnącego zainteresowania budynkami drewnianymi, zarówno ze strony użytkowników, jak i projektantów, brakuje przejrzystych regulacji odnoszących się do projektowania wysokich budynków drewnianych oraz badań i norm pozwalających na ustanowienie europejskich standardów projektowania „drewnianych” wieżowców, zwłaszcza pod względem bezpieczeństwa pożarowego. Każdy projekt cechuje zindywidualizowane podejście, z ewentualnym wykonywaniem badań eksperymentalnych, przez co czas i koszt realizacji znacząco wzrastają. Biorąc pod uwagę, że europejskie prawodawstwo jest już w dużym stopniu ujednolicone co do określania wysokości budynków, kolejnym krokiem byłoby opracowanie spójnych przepisów dotyczących ochrony pożarowej budynków wysokich, realizowanych z zastosowaniem materiałów i komponentów drewnopochodnych. Efekt to praktyczna popularyzacja i upowszechnienie takiego budownictwa, a w konsekwencji znaczący skok jakościowy w kształtowaniu takiej właśnie europejskiej zabudowy wysokiej.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Abrahamsen, R. (2017). *Mjöstårnet—Construction of an 81 m tall timber building*.
- [2] ADIVbois (Immeuble à vivre bois). (2022, 6 lipca). *Webinaire sécurité incendie (Tour Hyperion, Bordeaux)* [Video]. Dostęp 30.08.2025. <https://www.youtube.com/watch?v=GeCXYE2HAA>
- [3] Barker, N. (2023). Are mass-timber buildings a fire safety risk? *Dezeen*. [on-line] Dostęp 30.08.2025. <https://www.dezeen.com/2023/03/22/mass-timber-fire-safety-timber-revolution>
- [4] Cała I. (2024). *Hybrid structural systems for timber high-rise buildings*. *Materiały Budowlane*. 2024. 626(10), 57-66. <https://doi.org/10.15199/33.2024.10.07>
- [5] Foster, R. M., Ramage, M. H. i Reynolds, T. (2017). Rethinking CTBUH height criteria in the context of tall timber. *CTBUH journal*, (4), 28-33.

- [6] Hermens, M. (2022). *De Karel Doorman, Rotterdam: An Ultra-Lightweight Vertical Extension Using Steel Beams and Stud Walls*. [on-line] Dostęp 30.08.2025. <https://www.ctbuh.org/resources/presentations/de-karel-doorman-rotterdam-an-ultra-lightweight-vertical-extension-using-steel-beams-stud-walls.pdf>
- [7] Liven, H., & Abrahamsen, R. (2023). Mjøstårnet: The World's Tallest Timber Building. *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023)*, 4209–4214. <https://doi.org/10.52202/069179-0547>
- [8] Pettersson, C. (2020). Fire Safety in Timber Buildings-A review of existing knowledge. *Brandforsk, Stockholm, Brandforsk, 2020*, 10.
- [9] Safarik, D., Elbrecht, J. i Miranda, W. (2022). State of tall timber 2022. *CTBUH J*, 2022, 22–31.
- [10] Schmitz, R. (2022). *Sara Cultural Center, Skellefteå, Sweden — Steel box trusses and tension rods allow long spans and a timber core*. [on-line] Dostęp 30.08.2025. <https://www.ctbuh.org/resources/presentations/sara-cultural-center-skelletea-sweden-steel-box-trusses-tension-rods-allow-long-spans-and-a-timber-core.pdf>
- [11] Steenbakkers, P., Verheggen, B., Vola, M. i Vermeulen, D. J. (2024). Reaching New Heights in Timber-Hybrid Design: Designing the Netherlands' Tallest Timber-Hybrid Residential Building. *International Journal of High-Rise Buildings*, 13(2), 195–204.
- [12] Verhaegh, R., Vola, M., i de Jong, J. (2020). Haut—A 21-storey Tall Timber Residential Building. *International Journal of High-Rise Buildings*, 9(3), 213–220. <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2020.9.3.213>
- [13] Wood, A., Safarik, D., Miranda, W. i Elbrecht, J. (2023). *Tall Timber: Mass Timber for High-Rise Buildings*. Chicago: Council on Tall Buildings and Urban Habitat
- [14] Woschitz, R. i Zotter, J. (2017). High-rise timber building HoHo Vienna – the structural concept. *Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift*, 2017, 162(1).

BIOMIMETIC FACADES AS A CATALYST FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Anna Piętocha

Institute of Civil Engineering, Department of Architecture, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

Keywords: biomimetic, sustainable construction, sustainable development, design

ABSTRACT

Introduction

Humanity has learned fundamental principles from nature, such as symmetry, spirals, structures, and patterns. Initially, this involved imitating forms and then analyzing the processes and mechanisms of functioning of living organisms. To survive in a changing environment, nature has developed a wide range of adaptive solutions. Biomechanical systems are emerging in construction, enabling adaptation to changing climatic conditions. In recent years, much research has been conducted on facades utilizing kinetic movements. The potential is evident in learning by analogy from biological forms [1]. Imitating the principles of natural systems in the design of functional solutions (biomimetics) has the potential to provide better technologies. An example of such a solution is the Qizhong Forest Sports City Arena in Shanghai, whose roof, inspired by magnolia flower petals, opens and closes in response to changing weather conditions. Contemporary issues facing industrialized cities include, among other things, growing consumerism and energy demand [2]. Globalization is an inevitable process for cities, and therefore architectural design must adapt to environmental changes. Carbon footprint is defined as total greenhouse gas emissions and is a specific type of footprint that measures human impact on the environment [3].

Basis material and methods

The research goal was to determine the feasibility of implementing sustainable biomimetic facades that respond to rapid climate change and adapt to environmental changes. Literature analysis (database usage: Web of Science, Scopus, Google Scholar, ResearchGate) and case studies were used on selected examples of Chinese architecture. China accounts for 21% of the world's population, therefore energy consumption and use have a global impact [4]. This country serves as an example of rapid urbanization [5]. At the same time, China committed to achieving carbon neutrality by 2060 [6].

Results

One of the first, most famous examples of biomimetic buildings is the National Aquatics Center in Beijing (Water Cube). Designed in 2003, its façade, inspired by the geometry of a soap bubble, was made of a lightweight material called ethylene tetrafluoroethylene – ETFE (fig. 1a). The evolution that occurred with the development of computer-aided design tools, including parametric

design, has enabled the creation of previously impossible curvilinear forms. The benefits of parametric design, combined with the standardization and reproduction of materials, include reduced material volume, and therefore reduced weight and production costs. Parametric design also aids in the design of window placement within a building and maximizes daylight utilization. Popular tools include Rhino + Grasshopper and Catia. Without the use of parametric design technology, the complex hyperbolic structure of the Hangzhou Olympic Sports Center Gymnasium would have been impossible. The Henan Science and Technology Museum in Zhengzhou, with its flowing shape reminiscent of a flying bird, symbolizes the development of the entire Henan province (fig. 1 b, c). In contemporary Chinese construction, components used in very large quantities are

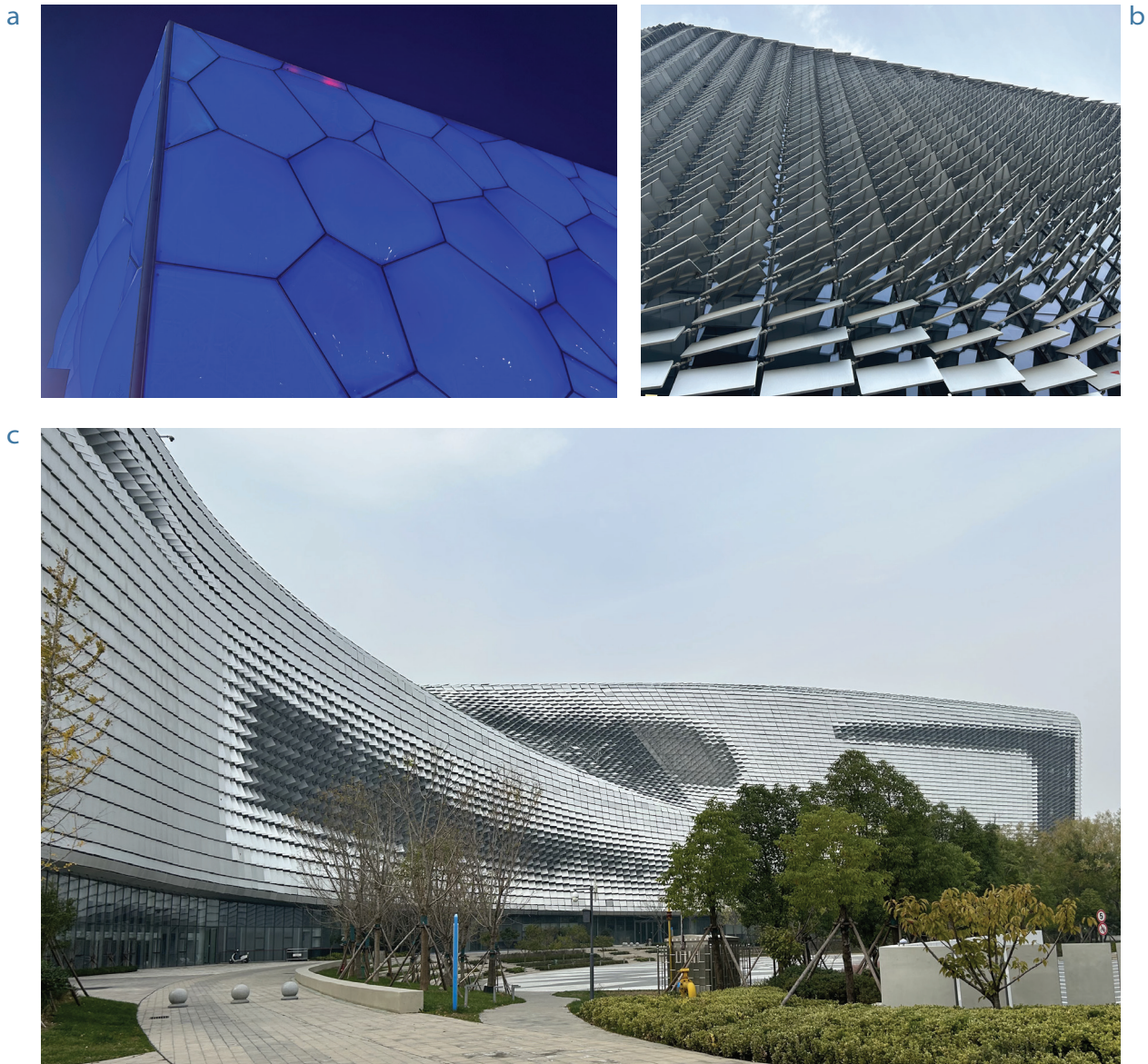


Fig. 1. a – Fragment of the facade of the Water Cube building in Beijing, inspired by the shape of a soap bubble.

b, c – Henan Museum of Technology – an example of contemporary parametric architecture in China

(source: Anna Piętocha)

marked with QR codes, allowing for their proper positioning with a precision of a few millimeters. This is particularly beneficial for the implementation of complex geometries. Biomimetics, understood as design based on the principles of natural systems, has the potential to deliver innovative solutions while simultaneously reducing energy demand and improving the environmental efficiency of buildings. L. Badarnah's research demonstrates the potential for transferring biological solutions—such as the structure of skin, fur, or wool—to intelligent architectural envelopes that manage light, air, heat, and water in a manner analogous to living organisms [7]. These approaches

are reflected in multidisciplinary projects. An example is the study by Sommesse et al., in which the kinetic movements of the gazania flower were analyzed morphologically and structurally and translated into the concept of a façade responsive to daylight. The resulting biomimetic system, using parametric modeling, allowed for the control of lighting dynamics and a reduction in energy consumption for artificial lighting [8]. Movement and material are the focus of biomimicry research. Biomimetic façades, in principle, can change configuration as they move through space. These changes are often related to time. Smart materials that adapt to their surroundings are an important element of sustainable design and can facilitate the biomimic design process to develop façade solutions that adapt to their surroundings [7]. At the same time, the potential for sustainable construction is evident in the use of locally sourced materials.

Conclusions

The research results led to the conclusion that the design of biomimetic facades must be a subject of interdisciplinary research, as it requires the expertise of biologists, architects, and structural engineers. A key element is the use of parametric design tools, which enable the creation of complex, curvilinear structures previously unavailable to traditional design methods. Parameterization brings additional benefits – material optimization, cost reduction, minimized construction errors, and precise prefabrication of elements. Examples of existing solutions in Chinese architecture indicate that facades based on smart materials can dynamically adapt to environmental conditions. Combined with parametric modeling, they become a component of responsive architecture, which not only responds to the global challenges of climate change and urbanization but also points to directions for further research on adaptive structures. In the face of globalization and environmental changes, biomimetic facades are emerging as a catalyst for the transformation towards sustainable architecture. By combining inspiration from nature with parametric design tools, they enable the creation of solutions that increase energy, economic, and environmental efficiency. As a result, biomimetics, parameterization and smart materials can together set new design standards in the architecture of the future.

REFERENCES

- [1] Hosseini S.M., Fadli F., Mohammadi M. (2021). Biomimetic Kinetic Shading Facade Inspired by Tree Morphology for Improving Occupant's Daylight Performance. *Journal of Daylighting*, 8, 65–85, doi:10.15627/jd.2021.5.
- [2] Piętocha A. (2024). The BREEAM, the LEED and the DGNB Certifications as an Aspect of Sustainable Development. *Acta. Sci. Pol. Architectura*, 23, 121–133, doi:10.22630/ASPA.2024.23.9.
- [3] Starzyk A., Rybak-Niedziółka K., Nowysz A., Marchwiński J., Kozarzewska A., Koszewska J., Piętocha A., Vietrova P., Łacek P., Donderewicz M., et al. (2024). New Zero-Carbon Wooden Building Concepts: A Review of Selected Criteria. *Energies*, 17, 4502, doi:10.3390/en17174502.
- [4] Wang Z. (2018). Evolving Landscape-Urbanization Relationships in Contemporary China. *Landscape and Urban Planning*, 171, 30–41, doi:10.1016/j.landurbplan.2017.11.010.
- [5] Xue C.Q.L., Zhai H., Mitchener B. (2011). Shaping Lujiazui: The Formation and Building of the CBD in Pudong, Shanghai. *Journal of Urban Design*, 16, 209–232, doi:10.1080/13574809.2011.552705.
- [6] Lin W., Shafique M., Luo X. (2025). Achieving Net-Zero Emissions in China's Building Sector: Critiques and Strategies of Minimizing Embodied Carbon. *Energy and Buildings*, 345, 115878, doi:10.1016/j.enbuild.2025.115878.
- [7] Sommesse F., Badarnah L., Ausiello G. (2023). Smart Materials for Biomimetic Building Envelopes: Current Trends and Potential Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113847, doi:10.1016/j.rser.2023.113847.
- [8] Sommesse F., Hosseini S.M., Badarnah L., Capozzi F., Giordano S., Ambrogi V., Ausiello G. (2024). Light-Responsive Kinetic Façade System Inspired by the Gazania Flower: A Biomimetic Approach in Parametric Design for Daylighting. *Building and Environment*, 247, 111052, doi:10.1016/j.buildenv.2023.111052.

PROPOSALS FOR SHAPING INNOVATIVE ARCHITECTURAL AND ENGINEERING STRUCTURES

Janusz Rębielak

Committee for Architecture and Town Planning, Wrocław Branch of the Polish Academy of Sciences, Wrocław, Poland

Keywords: structural system, space structure, tall building, foundation system

ABSTRACT

Introduction

A building's structure is the material embodiment of its architectural form. The types of building materials and structural systems evolved over the course of civilizational development, reflecting the level of civilizational advancement achieved in a given era. Throughout history, traditional materials such as wood, stone, and brick dominated construction and architecture. From the mid-19th century, steel began to be widely used, which later led to the dynamic development of design and calculation methods together with modern construction technologies, for example, high-rise buildings, which quickly reached enormous heights [1–9]. Simultaneously, modern structural systems together with building materials were developed at an extraordinary pace, characterized by exceptional material, strength, and energy efficiency. Successive innovative structural systems, characterized by favorable economic values, contributed significantly to the evolution of architectural forms and their aesthetic appreciation by a wide range of consumers and users of the architecture created through their use.

Basis material and methods

The research is based on a review of numerous scientific papers and books the topics of which concern the methods of designing and constructing structural systems in historical and contemporary eras. Furthermore, numerical methods were primarily used to facilitate the design of highly complex structural systems. In developing such systems, fundamental principles of structural theory were observed, which determines the development of engineering- and economically-effective structural systems. The rules of symmetry and the related principle of superposition played a crucial role in the design of these innovative structural systems..

Results

Taking into account the above-mentioned rules and principles, the author has developed numerous types of structural systems for various types of buildings. One of these is the composite foundation system [10, 11], which can be used to build floating platforms on seas or oceans, see fig. 1.

This structural system was designed with the intention of using it as a foundation for heavily loaded structures, primarily tall buildings, on soils with low bearing capacity, and in seismically active or mining-damaged areas. The composite foundation system can theoretically have an infinitely large surface area, ensuring very low stresses in the ground beneath the foundation.

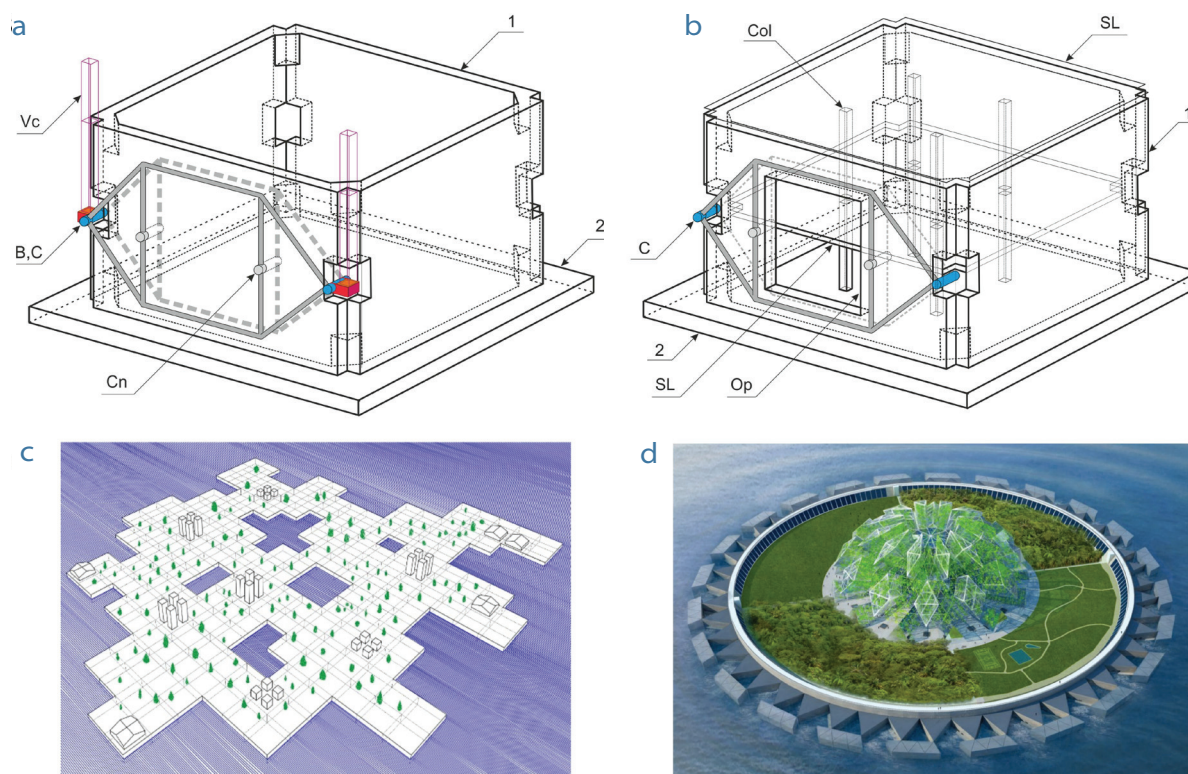


Fig. 1. a, b – Views of chosen forms of component parts the system of composite foundation, c – bird view of floating habitable and industrial artificial island, d – bird view of the Ocean Agave.

Furthermore, the geometric arrangement of the steel intermediate elements helps dampen vibrations caused by, for example, earthquakes. The vibration damping capacity can be enhanced by incorporating appropriate computer-controlled dampers into these intermediate elements. All these features led the author to propose this composite foundation system as the basic structure for floating platforms. The main component parts of this structural system can create orthogonal structures, see fig. 1a and fig. 1b, composed of large watertight boxes which, when properly connected to each other, can form large artificial floating islands as it is shown in fig. 1c, d. Orthogonal structure composed of such boxes which is the basic structure of a large artificial floating island as it is shown in fig. 1c. Such artificial islands with large geometric dimensions, suitably anchored in the bottom of the coastal zone of the tropical sea, can be the bases for objects of numerous utility functions, such as e.g., residential, commercial, warehouse, industrial function or others. An other form of the artificial island of the Ocean Agave, see fig. 1d, has the support structure the of specific type of the system of composite foundation. It was designed as a huge structure floating in sub-tropical ocean areas, in a far distance from land, the sailing direction of which can be controlled by means of set of ship propellers moved by electric engines together with set of rudders. It is intended as an independent settling unit that is self-sufficient in terms of energy and food supply and able to house a group of couple hundreds of persons. The composite foundation system, together with a special type of conical support nodes can constitute a unified structural solution for the safe foundation of dynamically loaded objects. The special conical support nodes suitably connected to the basic form of the composite foundation system, which create appropriate structures of floating platforms can be applied to generate emission-free electricity due to the appropriate absorption of sea wave energy [11].

Conclusions

The structural systems presented in this work were designed as a result of appropriate transformations of forms of certain types of spatial structures, which proves the great development potential of their structural formula. The structural system of the composite foundation can take many different shapes and be the basis for the safe positioning of heavily loaded objects, even on

very unstable ground. Being made of waterproof boxes properly connected to each other, it can be the main supporting structure of artificial islands located in seas and oceans. The specially designed support node, as an integral part of the composite foundation system, allows for safe and useful absorption of the dynamic loads. Thanks to this sets of such support nodes can be used in the construction of the floating platforms applied to generate emission-free electricity due to the suitable absorption of sea wave energy. All the structural systems must be subjected to thorough and comprehensive static, dynamic and strength analyzes.

REFERENCES

- [1] Cowan, H. J. (1978). *Science and building. Structural and environmental design in the nineteenth and twentieth centuries*, John Wiley & Sons.
- [2] Fuller, R.B. (1975). *Synergetic: Explorations in the geometry in thinking*, McMillan.
- [3] Geiger, D.H. (1988). Roof structure, *United States Patent*, Patent No 4,736,553.
- [4] Makowski, Z.S. (1981). *Analysis, design and construction of double-layer grids*, Applied Science Publishers.
- [5] Nooshin, H. (1984). *Formex configuration processing in structural engineering*, Elsevier Science Publishers.
- [6] Otto, F. (1982). *Natürliche Konstruktionen*. Deutsche Verlags-Anstalt.
- [7] Allen, E., Zalewski, W., & Boston Structures Group. (2010). *Form and forces. Designing efficient, expressive structures*. John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Torroja, E. (1961). *Logik der Form*, Callwey.
- [9] Zienkiewicz, O.C., & Taylor, R.L. (2000). *The finite element method*. Oxford Press.
- [10] Rębielak, J. (2012). System of combined foundation for tall buildings, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 6(12): p. 1627-1634.
- [11] Rębielak, J. (2024). Floating Platforms For Generating Emission-Free Electric Energy, *Journal of Civil Engineering Research & Technology*, Vol. 6(11), DOI: doi.org/10.47363/JCERT/2024(6)171.

REVITALISATION OF AREAS OF DIFFERENT SCALES IN CONTEMPORARY METROPOLISES: THE CASE OF ATHENS, SPECIFICALLY THE ELAIONAS DISTRICT AND AN EXEMPLARY POLIKATOIKIA BUILDING BLOCK

Ewa Stachura

Faculty of Architecture, Cracow University of Technology, Cracow, Poland

Keywords: revitalisation; metropolitan resilience; Elaionas District Athens; Polykatoikia; adaptive reuse

ABSTRACT

Introduction

The contemporary metropolis constitutes a dynamic and contested field where socio-economic restructuring, environmental degradation, and spatial fragmentation converge [12, 2]. Processes of deindustrialisation, demographic decline, and speculative urbanisation have generated heterogeneous urban fabrics that demand new models of revitalisation (4). Athens exemplifies this condition, marked by rapid post-war expansion, informal densification, and subsequent crisis-induced stagnation [7, 8]. This research investigates the revitalisation of Athenian territories at multiple scales, focusing on the Elaionas district – a post-industrial enclave within the metropolitan basin – and a representative *Polykatoikia* building block as a micro-scale typology. The study examines how integrated ecological, spatial, and socio-economic strategies can mediate between metropolitan restructuring and local, participatory transformation. Through the Athenian case, the paper contributes to broader discourses on adaptive urbanism.

Basis material and methods

The research employed a **mixed-methods** and **multi-scalar** approach integrating spatial analysis, typological investigation, and participatory inquiry. GIS-based cartography and diachronic morphological mapping traced the evolution of Elaionas from the 19th century to the present, identifying spatial discontinuities and ecological remnants. A representative *Polykatoikia* block was documented through field surveys, resident interviews, and typological diagrams to explore adaptive reuse and collective retrofitting potentials. The methodology foregrounds the interplay between **metropolitan infrastructures**, **neighbourhood morphologies**, and **architectural typologies** as interdependent layers of urban revitalisation.

Results

Findings from the spatial and historical analysis of **Elaionas** reveal a district emblematic of Athens's dual urban condition: an underutilised industrial void within a densely populated metropolis. Once the agricultural and manufacturing hinterland of Athens, Elaionas experienced sequen-

a



b



Fig. 1. a – Polikatoikia building block, b – satellite view of Elaionas District in Athens in the city structure

tial cycles of industrial growth, informal settlement, and decline, resulting in environmental degradation, fragmented ownership, and social marginalisation. Field analysis identified that despite its disorderly urban morphology, the area possesses high regenerative capacity due to its strategic location, infrastructural connectivity, and availability of large contiguous plots.

Three strategic **transformation vectors** were identified:

- **Infrastructural reconnection**, creation of ecological corridors, integration of public mobility systems to enhance accessibility [9, 10].
- **Plan in accordance with the existing activities - productive reterritorialisation**, promoting urban agriculture, green logistics, and circular economy clusters within reconfigured industrial shells [11].
- **Ecological rehabilitation**: an attentive consideration of the natural environment and the creation of blue-green networks for climate adaptation [1].

At the **architectural scale**, the *Polykatoikia* typology demonstrates latent resilience as a matrix for incremental transformation [5]. Despite physical deterioration, energy inefficiency, and fragmented co-ownership, its structural regularity and social embeddedness enable adaptive reuse and collective governance. Participatory workshops by residents may reveal a preference for shared roof gardens, ground-floor co-working spaces, and intergenerational common areas, underscoring the social dimension of architectural regeneration [6].

Conclusions

The revitalisation of Athens underscores the imperative of integrating **structural** and **incremental** modes of transformation. Elaionas embodies the contradictions of post-industrial city territories, which are obsolete yet contain ecological and spatial potential. Its regeneration requires flexible planning instruments, multi-actor governance, and design strategies grounded in environmental restoration and productive reuse (Campbell, 2016). In parallel, the *Polykatoikia* case affirms the potential of everyday typologies to function as laboratories for collective sustainability transitions.

Together, these case studies illustrate that effective metropolitan revitalisation cannot be reduced to isolated flagship projects or aesthetic renewal. Instead, it demands a **process-oriented paradigm** linking long-term metropolitan restructuring with community-based spatial agency [3]. The Athenian experience reveals that revitalisation is not merely physical rehabilitation but a socio-ecological reactivation of urban life. As such, it contributes to rethinking the role of adaptive reuse, collective governance, and ecological urbanism in shaping resilient metropolises in the 21st century.

REFERENCES

- [1] Angelo H., Wachsmuth D. (2015). Urbanizing Urban Political Ecology: A Critique of Methodological Cityism. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39, 16–27.
- [2] Brenner N. (2013). Theses on Urbanisation. *Public Culture*, 25, 85–114.
- [3] Brenner N., Schmid C. (2015). Towards a new epistemology of the urban? *City*, 19(2–3), 151–182.
- [4] Hall P., Pfeiffer U. (2000). *Urban Future 21: A Global Agenda for Twenty-First Century Cities* (1st ed.). Routledge. Healey P. (1997). *Collaborative Planning: Shaping Places in Fragmented Societies*. UBC Press.
- [5] Kotsiou A., Fajardo-Tovar D.D., Cowhitt T., Major L., Wegerif R. (2022). A scoping review of Future Skills frameworks. *Irish Educational Studies*, 41(1), 171–186.
- [6] Lefebvre H. (1991). *The Production of Space*. (D. Nicholson-Smith, Trans.). Cambridge, MA: Blackwell.
- [7] Leontidou L. (1990). *The Mediterranean City in Transition: Social Change and Urban Development*. Cambridge University Press.
- [8] Maloutas T. (2018). Travelling concepts and universal particularisms: A reappraisal of gentrification's global reach. *European Urban and Regional Studies*, 25(3), 250–265.
- [9] Newman P., Kenworthy J. (2015). *The End of Automobile Dependence: How Cities are Moving Beyond Car-Based Planning*. Island Press, Washington DC.
- [10] Panayotopoulos-Tsiros D. (2020). From 'void' to 'voidness': a trans-scalar and relational approach to urban voids in post-industrial cities. *Learning from Eleonas, Athens, Greece*. Doctoral thesis (Ph.D), UCL (University College London).
- [11] Petcou C., Petrescu D.M. (2015). R-URBAN or how to co-produce a resilient city. *Ephemera: Theory and Politics in Organization*, 15(1), 249–262.
- [12] Soja E. (2000). *Postmetropolis: Critical Studies of Cities and Regions*. Oxford: Blackwell Publishers Ltd.
- [13] Stefanopoulou E. (2019). *Archaeology and Residential Activism: Reclaiming Philopappou Hill and Plato's Academy, Athens*. PhD Thesis, University of Southampton, Faculty of Humanities, Department of Archaeology, 287pp.

BIONICZNE WZORCE W KSZTAŁTOWANIU FORMY PRZESTRZENNEJ PAWILONÓW WYSTAWOWYCH REALIZOWANYCH Z MATERIAŁÓW DREWNOPOCHODNYCH

Anna Stefańska¹, Wiesław Rokicki²

¹ Instytut Inżynierii Lądowej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa, Polska

² Wydział Architektury, Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska

Słowa kluczowe: biomimetyka, bioniczne wzorce, pawilony wystawowe, materiały drewnopochodne, parametryczne projektowanie, prefabrykacja, tymczasowa architektura, złożona geometria drewna

ABSTRAKT

Wstęp

W ostatnich dekadach biomimetyka stała się jedną z kluczowych strategii poszukiwania innowacyjnych rozwiązań w architekturze. Czerpanie inspiracji z przyrody – zarówno w zakresie morfologii, jak i funkcjonalnych adaptacji – otwiera nowe możliwości projektowania struktur lekkich, elastycznych i przyjaznych środowisku [1]. Tradycja ta sięga eksperymentów Frei Otto nad strukturami membranowymi czy badań Zahy Hadid nad organicznymi formami przestrzennymi. Obecnie szczególnie interesującym polem badań są pawilony wystawowe, które dzięki swojej tymczasowości i eksperymentalnemu charakterowi stają się laboratorium architektonicznym, umożliwiając testowanie innowacyjnych materiałów oraz technik cyfrowej fabrykacji [2, 3].

Celem artykułu jest analiza wybranych realizacji pawilonowych, w których m.in. bioniczne wzorce zostały połączone z wykorzystaniem materiałów drewnopochodnych, takich jak CLT, LVL, gięta sklejka czy kompozyty ligninowe. Przedstawione przykłady – powstałe po 2015 roku – ilustrują zróżnicowane podejścia formalne i technologiczne do projektowania struktur nośnych, z jednoczesnym naciskiem na prefabrykację i zrównoważony rozwój.

Materiał i metody

Podstawą badań był przegląd literatury projektowej i technologicznej oraz analiza dokumentacji architektoniczno-konstrukcyjnej wybranych obiektów [4]. Dokonano przeglądu dostępnej literatury dotyczącej zastosowania wzorców bionicznych w architekturze pawilonowej po 2015 roku. Do zestawienia włączono pawilony reprezentujące różne konteksty kulturowe i użytkowe, przy czym wspólnym kryterium był eksperymentalny charakter i zastosowanie bionicznych wzorców [5]. Analizę prowadzono w wymiarach: morfologicznym (odniesienia do form naturalnych – liści, struktur korzeniowych, sieci naczyń roślinnych), konstrukcyjno-materiałowym (technologie drewna klejonego, sklejki giętej, połączeń hybrydowych) oraz cyfrowo-produkcyjnym (zastosowanie narzędzi parametrycznych, algorytmicznego modelowania, prefabrykacji CNC i robotycznego montażu). Uwzględniono także aspekty środowiskowe, takie jak ślad węglowy materiałów czy możliwość demontażu i ponownego użycia komponentów.

Wyniki

Przeprowadzona analiza wykazała, że obiekty inspirowane naturą – poprzez geometrię, strukturę i sposób prefabrykacji – pozwalają uzyskać efektywne formy przestrzenne przy jednoczesnej redukcji materiałów i uproszczeniu montażu. Struktury te charakteryzuje wysoki stopień integracji formy i funkcji, a zastosowanie złożonych modeli obliczeniowych (m.in. form-finding, topological optimization) przekłada się na realne oszczędności materiałowe. Dodatkowo, obserwuje się tendencję do eksperymentów z adaptacyjnymi powłokami fasadowymi reagującymi na bodźce środowiskowe, co łączy się z ideą biomimetyki funkcjonalnej.

Cantine Nervi Conterno (Gattinara, Włochy) – pawilon wpisany w krajobraz winiarski, odwołujący się do organicznych struktur winorośli. Zastosowanie drewna klejonego umożliwiło uzyskanie lekkich, rozpiętych form, jednocześnie ekspozując lokalny materiał i tradycję.

Salem Rotary Pavilion (Ontario, USA) – konstrukcja inspirowana tradycyjnym koszem o otwartym splocie plemienia Kalapuya. Powstała struktura drewniana przywołuje archetypiczne techniki plecionkarskie, reinterpreterując je przy pomocy współczesnych technologii inżynierskich.

Centre Pompidou-Metz Pavilion (Francja) – ikoniczna struktura o formie przypominającej falującą membranę, oparta na drewnianej siatce przestrzennej. Złożona geometria dachu ukazuje potencjał parametrycznego modelowania oraz łączenia tradycyjnego rzemiosła z cyfrową prefabrykacją.

Centralny Mecz w Cambridge (Wielka Brytania) – wnętrze oparte na strukturze przypominającej korzenie i konary drzew, tworzące podporowe „kolumny-drzewa”. To przykład bionicznej metafory przeniesionej na system konstrukcyjny z drewna LVL, w którym aspekt estetyczny i duchowy łączy się z funkcjonalnym.

Projekty badawcze firmy Blumer-Lehmann (Szwajcaria) – eksperymentalne realizacje rozwijane we współpracy z ośrodkami naukowymi, w których wykorzystuje się sztuczną inteligencję i algorytmy optymalizacyjne. Powstające w ten sposób pawilony stanowią testy nowych metod cyfrowego form-findingu oraz adaptacyjnych systemów drewnianych.

Podsumowanie

Zestawione przykłady wskazują na powiązanie pomiędzy wzorcami bionicznej morfologii a efektywnością materiałową. Wykorzystanie drewna w formie prefabrykowanych elementów pozwala na ograniczenie odpadów i skrócenie czasu realizacji. Jednocześnie naturalne analogie – od struktur koszykowych po systemy dendryczne – zwiększają czytelność formy architektonicznej i jej odbiór kulturowy. Pawilony wystawowe stają się zatem poligonem testowym dla innowacji, które mogą znaleźć zastosowanie w budownictwie.

Bioniczne wzorce w architekturze pawilonów wystawowych modelowane wspierane przez narzędzia cyfrowe i technologie prefabrykacji, umożliwiają tworzenie struktur, które łączą lekkość, ekspresję formalną i efektywność środowiskową. Analizowane realizacje dowodzą, że architektura pawilonowa odgrywa istotną rolę w rozwoju metod projektowych, które w przyszłości mogą kształtować także duże obiekty użyteczności publicznej. Drewno i materiały drewnopochodne, dzięki swojej podatności na obróbkę i niskiemu śladowi węglowemu, stają się naturalnym tworzywem konstrukcyjnym. Pawilony te nie są jedynie obiektami efemerycznymi – stanowią istotny wkład w badania nad nową estetyką i logiką konstrukcyjną architektury XXI wieku.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Goyes-Balladares A., Moya-Jiménez R., Molina-Dueñas V., Chaca-Espinoza W., Magal-Royo T. (2025). *What Inspires Biomimicry in Construction? Patterns, Trends, and Applications*, *Biomimetics*, vol. 10, no. 5, p. 259, doi: 10.3390/biomimetics10050259.
- [2] Bechert S., Sonntag D., Aldinger L., Knippers J. (2021). *Integrative structural design and engineering methods for segmented timber shells - BUGA Wood Pavilion*, *Structures*, vol. 34, pp. 4814–4833, doi: 10.1016/j.jistruc.2021.10.032.
- [3] Krieg O.D. et al., (2015). *Biomimetic Lightweight Timber Plate Shells: Computational Integration of Robotic Fabrication, Architectural Geometry and Structural Design*, in *Advances in Architectural Geometry 2014*, Cham: Springer International Publishing, pp. 109–125. doi: 10.1007/978-3-319-11418-7_8.
- [4] Valenti G.M., El Khoury C. (2021). *Let's Join: A Pavilion Inspired by the Weaire and Phelan Space Tessellation*, *Nexus Netw J*, vol. 23, no. 1, pp. 107–120, Mar. 2021, doi: 10.1007/s00004-020-005447.
- [5] Dixit S., Stefańska A. (2023). *Bio-logic, a review on the biomimetic application in architectural and structural design*, *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, no. 1, p. 101822, doi: 10.1016/J.ASEJ.2022.101822.

MUPLIKACJA FORM PRZESTRZENNYCH W SZTUCE MIROŚŁAWA STRUZIKA

Mirosław Struzik, Jakub Skowron

Struzik Art LTD, Wrocław, Polska

Słowa kluczowe: sztuka, rzeźba w przestrzeni publicznej

ABSTRAKT

Rola sztuki w przestrzeni publicznej miast

Sztuka może pełnić istotną rolę w procesach planowania urbanistycznego i architektonicznego miast, a wielu artystów specjalizuje się w tworzeniu i realizacji dzieł dla przestrzeni publicznych [1–4]. Integracja sztuki w projekty urbanistyczne i architektoniczne (nowe inwestycje, renowacje, realizacje terenów zielonych, plany zagospodarowania) jest uznawana i ustandaryzowaną praktyką w politykach publicznych na świecie, m.in. poprzez programy „Percent for Art” [1–4].

Istnieje kilka podstawowych celów realizowanych przez inwestowanie w dzieła sztuki oraz włączanie artystów w prace projektowe na wczesnych etapach:

- Placemaking – tworzenie unikatowego charakteru miejsca, budowanie tożsamości i punktów orientacyjnych oraz naturalnych miejsc spotkań.
- Humanizacja przestrzeni – przekształcanie sterylnych środowisk w przestrzenie sprzyjające interakcjom społecznym i dobrostanowi użytkowników (redukcja stresu, poprawa nastroju, pozytywne emocje, kreatywność).
- Poprawa estetyki otoczenia – wzrost walorów wizualnych i jakości doświadczenia przestrzeni.
- Rola marketingowa – narzędzie generujące mierzalne ROI poprzez turystykę, media społecznościowe i branding miejsc; rzeźby pełnią funkcję „instagramowych” atrakcji w strategiach destination marketing [6–9].

Doświadczenia z realizacji projektów w przestrzeniach publicznych w różnych kontekstach kulturowych pokazują, że dobrze przemyślana i wykonana rzeźba może spełniać te cele z nadwyżką, często wprowadzając też inne, pozytywne i nieoczekiwane efekty w miejscu instalacji [1–4].

Wybrane realizacje

Dmuchawce (Dandelions) – Burj Khalifa, Dubaj, 2017. Wzajemne relacje przestrzenne rzeźby i architektury oparto o zasadę harmonii kontrastu: linearność otoczenia zestawiono z wygiętymi formami abstrakcji organicznej; skalowanie form wywołuje „efekt Alicji w Krainie Czarów” poprzez przeniesienie motywów roślinnych z mikroskali do makroskali. [10]

Bubble Forest in the Clouds – ILCB, Texas A&M University, College Station, Teksas, 2025. Harmonia kontrastu między organiczną morfologią rzeźby a prostą geometrią architektury jest tu wzmacniana multiplikacją form przez powielone odbicia w szklanych elewacjach otaczających taras [11].

Jellyfish Shrub – Academia Sinica Campus South, Tainan, Tajwan, 2024. Koncepcja łączy sztukę z nauką w kontekście wydziału nauk biologicznych i szklarni eksperymentalnych; usytuowanie przy zbiorniku wodnym i tle szklarni intensyfikuje oddziaływanie po zmroku dzięki zwielokrotnionym odbiciom [12].

Koncepcje rzeźb fotowoltaicznych

Łączenie sztuki z technologią otwiera możliwości eksploracji multiplikacji poprzez rzeźby pełniące funkcje pozaartystyczne; integracja komórek PV w strukturę dzieła tworzy modułowe instalacje agrowoltaiczne zasilające oświetlenie własne lub generujące energię na potrzeby miasta. Rzeźby fotowoltaiczne pokazują, że zielona energia może współtworzyć atrakcyjny krajobraz miejski, oferując alternatywy wobec typowych czarnych paneli dachowych. Instalacje projektowane w duchu agrowoltaiki mogą wspierać retencję wody w gruncie i bioróżnorodność flory i fauny poprzez ograniczenie ekspozycji podłoża na bezpośrednie promieniowanie.

Solar Butterflies – Mirosław Struzik, Tadeusz Zdanowicz, Ph.D., Tomasz Pultowicz, 2012. Projekt modułowej, multiplikowalnej rzeźby, możliwej do implementacji jako pojedynczy element lub kompozycja fraktalna skalująca się do większych obszarów; projekt wyróżniony w konkursie Land Art Generator Initiative 2022 [13]. The Solar Poplars – Mirek Struzik, Jakub Skowron, Hafis Hermann Issa, Olivier Portier, 2022. Koncepcja linii produktowej paneli PV inspirowanych morfologią topoli, opracowana we współpracy z ASCA i JBG; projekt wyróżniony w konkursie Land Art Generator Initiative 2022 [14].

PIŚMIENNICTWO

- [1] CODAworx (2025). *CODAreview 2025: The Power of Public Art — Data, economic growth, policy, and placemaking*, CODAworx.
- [2] Americans for the Arts (2019). *The Intersection of Public Art and City Planning*, Americans for the Arts Blog. Dostępne online: <https://blog.americansforthearts.org/2019/05/15/the-intersection-of-public-art-and-city-planning> (dostęp: 15.09.2025).
- [3] UNESCO (2024). *UNESCO Framework for Culture and Arts Education*, UNESCO. Dostępne online: https://www.unesco.org/sites/default/files/medias/fichiers/2024/02/WCCAE_UNESCO_Framework_EN_0.pdf (dostęp: 15.09.2025).
- [4] Cartiere, C., & Willis, F. (2022). *Public Art and Percent for Art Strategy*, Academia.edu. Dostępne online: https://www.academia.edu/98502205/Public_Art_and_Percent_for_Art_Strategy (dostęp: 15.09.2025).
- [5] Reicher E., Rączaszek-Leonardi M. (2024). *A field study examining the impact of artistic intervention in urban street environment*. Dostępne online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666558124000332> (dostęp: 15.09.2025).
- [6] Dalton K., Groarke S., O'Shea A., Malinowska E., O'Connell M. (2025). *Viewing art can boost wellbeing by giving meaning to life*, Trinity College Dublin – News & Events. Dostępne online: https://www.tcd.ie/news_events/articles/2025/viewing-art-can-boost-wellbeing-by-giving-meaning-to-life/ (dostęp: 15.09.2025).
- [7] Gardocki B. (2025). *Why Smart Cities Are Investing in Public Murals (And Public Art)*, BriannaGardocki.com. Dostępne online: <https://www.briannagardocki.com/articles/why-public-murals-matter> (dostęp: 15.09.2025).
- [8] McClimon T. J. (2023). *The Economic Impact Of Local Arts And Culture Businesses*, Forbes. Dostępne online: <https://www.forbes.com/sites/timothyjmcclimon/2023/10/16/the-economic-impact-of-local-arts-and-culture-businesses/> (dostęp: 15.09.2025).
- [9] Stone D. E. (2023). *Using Instagram for destination marketing: creating the 'Instagrammable' city*, Contemporary Knowledge in Society. Dostępne online: https://cks.univnt.ro/download/cks_2023_articles%2F5_CKS_2023_ECONOMIC_SCIENCES%2FCKS_2023_ECONOMIC_SCIENCES_008.pdf (dostęp: 15.09.2025).
- [10] Struzik M. (2017). *Dandelions Dubai*, Struzik Art. Dostępne online: <https://struzik-art.com/en/project/dandelions-dubai> (dostęp: 23.09.2025).
- [11] Struzik M. (2019). *Bubble Forest*, Struzik Art. Dostępne online: <https://struzik-art.com/en/project/bubble-forest> (dostęp: 23.09.2025).
- [12] Struzik M. (2024). *Jellyfish Shrub*, Struzik Art. Dostępne online: <https://struzik-art.com/en/project/jellyfish-shrub> (dostęp: 23.09.2025).
- [13] Land Art Generator Initiative (2012). *Butterfly*, Land Art Generator Initiative. Dostępne online: <https://landartgenerator.org/LAGI-2012/ms071256/> (dostęp: 23.09.2025).
- [14] Land Art Generator Initiative (2023). *The Solar Poplars*, Land Art Generator Initiative. Dostępne online: <https://landartgenerator.org/LAGI-2022/2023/03/01/the-solar-poplars/> (dostęp: 23.09.2025).

FROM TEA HOUSE TO SMART ARCHITECTURE: TRADITIONAL JAPANESE PRINCIPLES AND INNOVATIVE CONSTRUCTION SYSTEMS FOR SUSTAINABILITY

Maja Sutkowska^{1,2}, Magdalena Daria Vaverková^{1,3}

¹ Department of Sustainable Construction and Geodesy, Institute of Civil Engineering,
Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland

² Graduate School of Environmental, Life, Natural Science and Technology, Okayama University, Japan

³ Department of Applied and Landscape Ecology, Faculty of Agri Sciences, Mendel University, Brno, Czech Republic

Keywords: tea house, sustainable architecture, construction systems, modularity,
design for disassembly, innovation

ABSTRACT

Introduction

In the 21st century, sustainable development (SD) has become essential for addressing climate and societal challenges. However, contemporary architectural approaches often prioritize technological solutions while overlooking the cultural and experiential dimensions of sustainability. The Japanese tea house (chashitsu) represents a traditional construction system that combines natural materials, modularity, and human–nature relationships (fig. 1).

This paper explores how tea house design principles can inspire modern innovative construction systems for sustainable architecture, offering insights into cultural identity, passive design, and structural adaptability. The discourse connects tradition with innovation, demonstrating the potential to merge intangible cultural values with cutting-edge engineering technologies in construction.

Basis material and methods

The research is based on an interdisciplinary literature review of traditional tea house architecture and contemporary sustainable construction systems in Japan and Europe. Sources include historical accounts of chashitsu, philosophical foundations of chanoyu, and engineering analyses of modularity and passive design. Comparative assessment with European sustainable building guidelines (skeleton–infill systems, prefabrication, bio-based materials, circular design approaches) was conducted to identify overlaps and divergences. Additionally, case studies of contemporary reinterpretations of tea houses (Kengo Kuma, Terunobu Fujimori, and experimental student projects) were analyzed as innovative construction models that adapt traditional principles to modern contexts.

Results

The analysis shows that tea houses employ principles consistent with modern sustainability: modular design based on tatami mats, use of local natural materials, passive ventilation, and light-weight, relocatable structures. Contemporary reinterpretations by architects such as Kengo Kuma



Fig. 1. "Chaso-do" – a tea house relocated to Korakuen Garden in Okayama city in 1887

(pneumatic tea house, bamboo pavilions) and Terunobu Fujimori (Takasugi-an, with vertical garden-path ladder access) demonstrate the adaptability of these principles in innovative construction systems. In Europe, emphasis lies on technological solutions such as BIM, AI, renewable energy integration, and modular skeleton-infill structures. Prefabricated timber modules and bio-based infill show strong parallels to Japanese modularity. A comparative perspective highlights the potential for integrating cultural identity with technological innovation in sustainable construction. The discussion further shows that tatami-based modularity can be considered an early prototype of parametric and modular design systems, providing lessons for adaptability, spatial harmony, and resource efficiency.

Discussion

The comparison suggests that Japanese tea houses represent not only cultural heritage but also an experimental ground for construction innovation. Their lightweight structures, portability, and reuse of natural materials resonate with contemporary ideas of design for disassembly and circular economy. While modern European approaches excel in energy efficiency and digital integration, they often lack the social and cultural dimensions evident in tea house design. Integrating digital simulations (AI-based design, parametric modeling of tatami layouts, daylight analysis) with traditional design wisdom may lead to innovative hybrid systems. These systems could optimize structural performance while preserving cultural values and well-being aspects.

Conclusions

Traditional Japanese tea house design demonstrates significant relevance for innovative structural systems in sustainable architecture. While not equipped with modern energy systems, tea houses anticipate concepts such as adaptability, modularity, and design for disassembly. In-



tegrating these principles with advanced technological approaches can foster construction systems that are environmentally efficient while preserving cultural and social values. Future directions should include interdisciplinary frameworks combining cultural traditions, advanced digital simulations, and material innovation (bio-based, recyclable, and modular systems). This dialogue between tradition and innovation can support architectural frameworks that meet sustainability goals and enrich human experience.

REFERENCES

- [1] Ko Y.-L. (2007). Archives of Design Research, Korea Society of Design Science, 2.
- [2] Nakamura T. (2012). Two reproductions of Tōshintei tea rooms by Kimura Seibei and Masuda Don'ō. *Journal of the Society of Architectural Historians of Japan*, 58, 71–90.
- [3] Dunfield L. W. (2008). *Dynamic Balance: Bringing Traditional Japanese Architecture to the 21st Century*. University of Cincinnati.
- [4] Shibuya T., & Kishimoto T. (2005). Characteristics of sustainable building and design methods in European countries and Japan. *Journal of Environmental Engineering (AIJ)*, 70(589), 99–105.
- [5] Bryans T., Berwyn E., Swallow P., Rose C. (2023). Flatpack Architecture: Investigating Circularity Through Temporary, Demountable Buildings. *Technology|Architecture+Design*, 7(2), 160–166.
- [6] Yu F., Wang B., Sheng J., Lv X., Jin X., Chen G. (2025). Adaptive housing with skeleton–infill system: Strategies and performance of embodied carbon reduction. *Energy and Buildings*, 329, 115298.
- [7] Vaverková M. D., Matsui Y., Vaverka I. (2023). Mottainai in Civil Engineering – A Message from Japan. *Acta Scientiarum Polonorum Architectura*, 22, 205–217.
- [8] Buntrock D. (2013). *Materials and Meaning in Contemporary Japanese Architecture: Tradition and Today*. Routledge.

MODULAR HOUSING FOR A CHANGING FUTURE: ADAPTABILITY AND SUSTAINABILITY WITH CLT

Aleksandra Tądel¹, Elżbieta Komarzyńska-Świeściak²

¹ Doctoral School of Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland

² Faculty of Architecture, Wrocław University of Science and Technology, Department of Public Utility Architecture, Design Fundamentals and Environmental Development, Wrocław, Poland

Keywords: modularity, adaptability, CLT, sustainable construction, prefabrication

ABSTRACT

Introduction

Dynamic urbanization and the climate crisis enforce a transformation of the construction sector, responsible for approx. 40% of global CO₂ emissions [1]. A transition towards a circular economy and the implementation of decarbonization strategies have become essential. In this context, cross-laminated timber (CLT), as a biogenic and prefabricated material, has been gaining importance [2]. It reduces the carbon footprint through sequestration and the replacement of energy-intensive materials, thereby lowering embodied energy [3]. The aim of this paper is to present the Rurban Habitat concept as a proof of concept for a modular CLT-based system and to relate it to contemporary European implementations. Ensuring longevity and adaptability of urban housing becomes crucial in this regard. A response is provided by the Open Building concept, which advocates for separating the permanent load-bearing structure from variable infill elements [4], a condition for achieving full circularity and Design for Disassembly (DfD). Prefabrication in controlled factory environments reduces waste and accelerates assembly, while dry-joint construction allows for disassembly, reconfiguration, or extension of modules [5]. The starting point is the award-winning (1st prize in the national stage of ASC 2024, 2nd place in the international final) design proposal Rurban Habitat, based on a modular CLT structure in the spirit of Open Building [6]. A review of recent European residential projects is used to situate this concept within existing innovative practices, analysing their impact on sustainable development and adaptability.

Material and Methods

The verification and contextualisation of the Rurban Habitat project concept (proof of concept) were conducted in relation to innovative European housing developments. Case selection was based on the application of CLT, innovativeness and contemporaneity of solutions, system adaptability, and their presence in architectural literature. The evaluation was carried out using the case study method according to three criteria: adaptability, sustainability (DfD), and scalability.

Results

The analysis of five European projects (HAUT Amsterdam, Kajstaden, BSH20A Stories, Sara Cultural Centre, HOAS Tuuliniitty, 6x6 Block) revealed recurring design patterns indicating the di-

rection of development for modular CLT-based construction. The examined buildings demonstrate a systematic implementation of Open Building and Design for Disassembly (DfD) principles, reflected in functional flexibility and reduced environmental footprint. The key tendencies are summarised in table 1.

Table 1. Synthesis of trends in analysed projects

Adaptability	Predominance of structural grid-based systems; separation of the load-bearing structure and partition walls (infill); possibility of function conversion (residential ↔ office/services).
Sustainability	Widespread use of dry mechanical joints (screws, fasteners) enabling full disassembly and re-use of CLT elements; implementation of circular economy principles.
Scalability	Feasibility of mid-rise buildings (8–10 storeys) using repeatable modules (Core/Box); shortened construction time due to factory prefabrication.

Verification of the Rurban Habitat concept as a proof of concept, carried out against the above-mentioned trends, confirmed its consistency with current directions in design practice (tab. 2).

Table 2. Evaluation of the Rurban Habitat concept according to adopted criteria

Adaptability	The post-and-plate system (column and slab) on a 320 × 520 cm grid achieved maximum spatial flexibility. Modularity and demountable partition walls enable easy functional reconfiguration (e.g., from apartment to coliving or student housing).
Sustainability	The building achieved passive house standard with annual heating demand of 13.6 kWh/m ² . Global Warming Potential (GWP) index of 246 kg CO ₂ .
Scalability	The Core House design (a repeatable unit with two residential modules and a glazed core) constitutes a universal prototype capable of rapid replication and adaptation in dense urban housing.

Conclusions

The presented results confirm the development potential of the adopted structural formula. The CLT modular system in post-and-plate technology can serve as a scalable and safe basis for dense residential development with diverse functions, from family layouts to coliving. Integration with the Open Building concept enhances adaptability and staged implementation, responding to changing social and demographic needs. Achieving passive house standard and a low GWP index, combined with Design for Disassembly (DfD) principles, demonstrates that this system reduces environmental footprint and supports a circular economy. CLT prefabrication shortens construction time and limits waste, increasing competitiveness compared to concrete and steel technologies.

REFERENCES

- [1] Aggarwal C., Molleti S., Ghobadi M. A (2024). Comprehensive Review of Life Cycle Assessment (LCA) Studies in Roofing Industry: Current Trends and Future Directions. *Smart Cities*, 7, 2781–2801.
- [2] Smith R.E. (2010). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA.
- [3] Ramage M.H., Burrridge H., Busse-Wicher M., Fereday G., Reynolds T., Shah D.U., Wu G., Yu L., Fleming P., Densley-Tingley D., Allwood J., Dupree P., Linden P.F., Scherman O. (2017). The Wood from the Trees: The Use of Timber in Construction. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 68, 333–359.
- [4] Kendall S., Teicher J. (2000). *Residential Open Building*, E & FN Spon, London, UK.
- [5] Al-Najjar A., Dodoo A. (2023). Modular Multi-Storey Construction with Cross-Laminated Timber: Life Cycle Environmental Implications. *Wood Mater. Sci. Eng.*, 18, 525–539.
- [6] Tađel A., Lamber M. (2024). *Rurban Habitat. Wioska Studencka na Kampusie w Helsinkach Politechnika Wrocławska*, Wrocław, Polska.

ADAPTIVE RELIEF ARCHITECTURE: USER-INFORMED STRATEGIES FOR FLEXIBLE DESIGN

Marcelina Terelak

Department of Architecture and Visual Arts, Faculty of Architecture,
Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland

Keywords: Temporary housing, Forced migration, User-centred design, Adaptability, Qualitative research

ABSTRACT

Introduction

In the face of migration crises, cities are challenged with providing shelter for refugees, internally displaced persons (IDPs), economic and climate migrants, which requires dynamic and flexible strategies in both housing and urban planning. The Russian invasion of Ukraine has triggered the largest displacement in Europe since the Second World War, with 12.3 million people leaving the country between February and September 2022 [1]. This movement, classified as forced, spontaneous and temporary, reflects broader patterns of displacement also seen in natural and anthropogenic disasters, where affected populations are relocated to emergency shelters as part of recovery efforts [2]. Although migration is not the sole determinant of spatial policies, it strongly influences political debate, social cohesion and cultural interaction within host cities [3]. Yet temporary housing is still largely treated as a logistical task rather than a lived environment. This study examines how displaced residents navigate collective accommodation and how their spatial needs evolve beyond the initial moment of arrival.

Basis material and methods

The research is based on a qualitative case study conducted in Wrocław, Poland. Empirical material was collected through in-depth semi-structured interviews with residents who had lived in collective accommodation for several months or years [4]. Participants were recruited in cooperation with local NGOs and social workers. Interviews were conducted in Polish, English, Ukrainian and Russian and later translated for analysis. The dataset consists of 14 interviews with refugees and 18 interviews with institutional actors in Poland and Belgium, allowing for the comparison between personal experience and organizational perspectives. The material was analyzed using thematic narrative analysis and interpreted through four theoretical lenses — ontological security, homemaking, housing precariousness and capabilities — which together provided a basis for identifying recurring needs, behaviors and spatial challenges relevant to further architectural inquiry.

Results

The interpretation of interview material was guided by four theoretical frameworks, each highlighting a different layer of spatial experience. Ontological security revealed the importance

of routine, continuity and predictability in a situation defined by instability. Homemaking theory helped identify everyday practices through which residents tried to personalise their surroundings and establish control, even when sharing confined rooms or common facilities. The concept of housing precariousness made visible the constant dependence on institutional rules and the lack of autonomy that accompanied temporary accommodation [5]. Finally, the capabilities approach clarified which actions and behaviours were enabled — or restricted — by the spatial and organisational conditions of collective housing. Interviews conducted with institutional actors provided a complementary perspective, showing how these spatial realities were shaped by the evolving housing response in Wrocław. Before any formal relocation system was introduced, many refugees were hosted in private homes through spontaneous and unregulated initiatives, which created significant risks due to the lack of monitoring. As coordination structures emerged, people were redirected into six or seven collective accommodation centres of varying standards, none originally designed for living. Due to time and logistical constraints, individual needs were often not assessed, leading to inappropriate placements, such as persons with limited mobility being assigned to facilities without lifts or accessible beds. At present, two collective housing facilities remain operational in Wrocław, providing shelter for over 100 individuals. The timeline in Figure 1 illustrates the main phases of collective accommodation in Wrocław, highlighting the transition from emergency response to the current phase of reduced shelter provision between 2022 and 2025.

Conclusions

The results indicate that temporary housing should be approached not only as short-term emergency provision but as a spatial framework that must accommodate both the functional and psychosocial needs of its residents. Accordingly, architectural and organisational strategies should prioritise adaptable spatial arrangements that allow for personal configuration and temporal change. Insights from this study offer a foundation for formulating user-responsive design principles that translate psychosocial and organisational requirements into spatial criteria. Further research will extend these principles through the comparative assessment of modular prototype systems — such as the Styrofoam Housing System (SHS), Furniture Housing System (FHS) and CLT House — to evaluate their potential for reconfiguration and long-term reusability. The study aligns with previous observations that temporary residential buildings and collective accommodation play a crucial role in supporting recovery by providing spaces where displaced individuals can gradually return to everyday life [6].

REFERENCES

- [1] Subocz, Elżbieta, Magdalena Sternicka-Kowalska, and Bartłomiej Głuszak. 2024. "Life situation of war refugees from ukraine. Research in warmian-mazurian voivodeship." *Polityka Społeczna* 601 (5–6): 30–38. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.6496>.
- [2] Di-Bucci, Daniela, Fabio Del-Missier, Mauro Dolce, Alessandro Galvagni, Francesco Giordano, Alessia Patacca, Elena Pezzi, Giuseppe Scurci, and Lucia Savadori. 2023. "Life Satisfaction during Temporary Housing after an Earthquake: Comparing Three Cases in Italy." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 91 (June). <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103697>.
- [3] Czaja, Jan. "Migracje jako problem globalny. Aspekty polityczno-prawne, społeczne i kulturowe." In *Migration and Refugee Movements – Trends, Problems, Challenges*, ed. Paulina Szymczyk and Iwona Domina, 254–272. Lublin: TYGIEL Scientific Publishing House, 2023.
- [4] Kvale, Steinar. 2010. *Prowadzenie Wywiadów*. Edited by Agata Dziuban. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN
- [5] Clair, Amy, Aaron Reeves, Martin McKee, and David Stuckler. 2018. "Constructing a Housing Precariousness Measure for Europe." *Journal of European Social Policy* 28 (2): 1–16. <https://doi.org/10.1177/0958928718768334>
- [6] Cygańczuk, Krzysztof, Jacek Roguski, and Jarosław Tępiński. 2022. "Temporary Accommodation Facilities for People Affected by an Emergency or Humanitarian Disaster." *Safety & Fire Technology* 59 (1): 42–57. <https://doi.org/10.12845/sft.59.1.2022.2>.

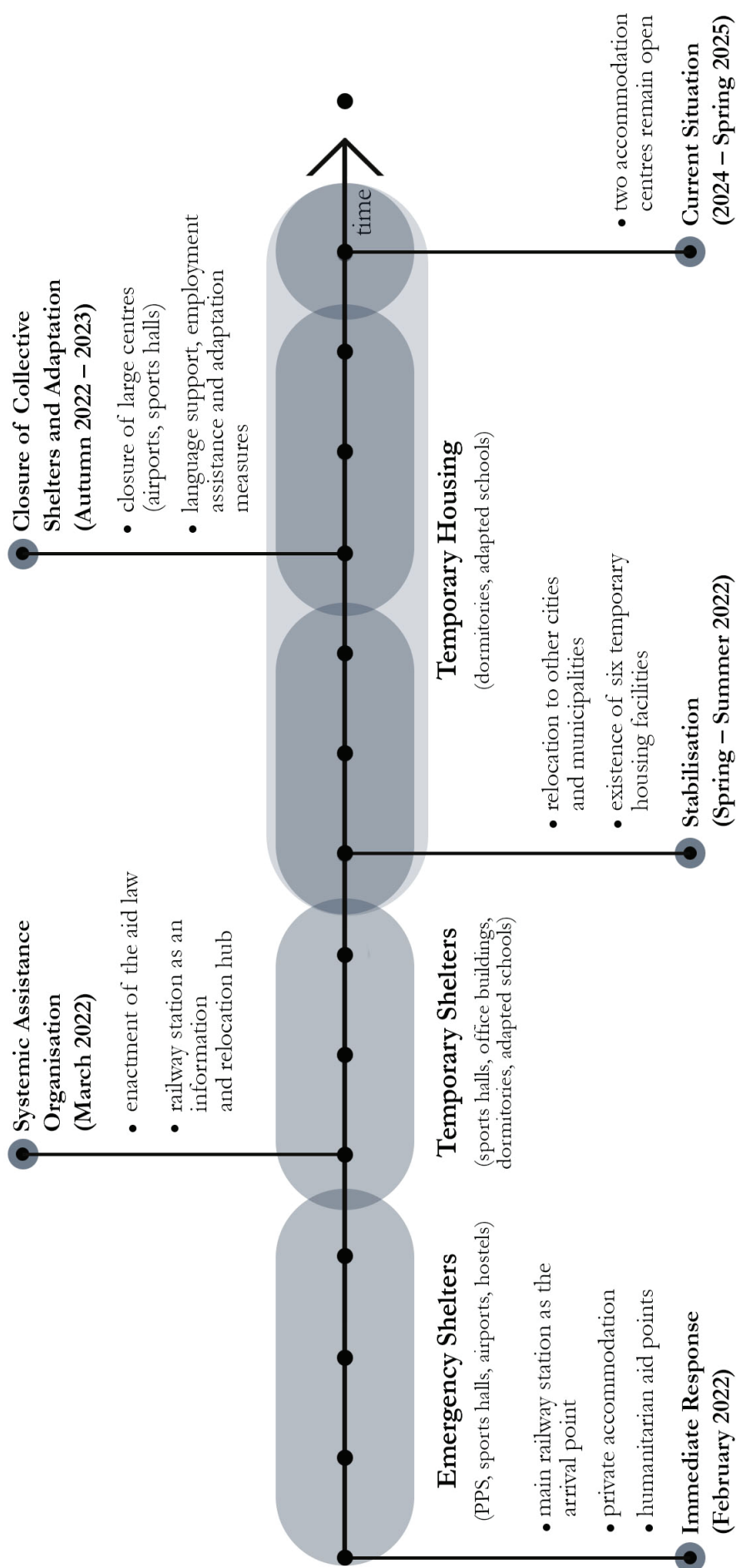


Fig. 1. The framework of refugee accommodation in Wrocław between 2022 and 2025 (elaborated by Marcelina Terelak)

WYKORZYSTANIE SKANU LASEROWEGO 3D I METOD BIM W ANALIZIE STRUKTURY I DETALU OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH W KONSTRUKCJI DREWNIANEJ NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH BUDOWNICTWA REGIONU SUDETÓW

Zbigniew Tyczyński¹, Wojciech Januszewski², Mariusz Cesarz³

¹ Katedra Urbanistyki i Procesów Osadniczych, Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

² Katedra Architektury i Sztuk Wizualnych, Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

³ Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

Słowa kluczowe: architektura regionalna, budownictwo drewniane, skan 3D, BIM

ABSTRAKT

Wstęp

Rozwój technologii skanowania laserowego 3D oraz metodologii Building Information Modeling (BIM) w ostatnich latach znacząco wpłynął na możliwości dokumentacji, analizy i ochrony dziedzictwa architektonicznego. Szczególne znaczenie mają one w kontekście budownictwa drewnianego, które stanowi istotny element krajobrazu kulturowego obszarów wiejskich borykającego się z odpowiednią ochroną konserwatorską [1]. Referat przedstawia przykłady wykorzystania wyników badań nad zastosowaniem skaningu laserowego 3D oraz narzędzi BIM w procesie dokumentacji zabytkowych obiektów drewnianych na obszarze Sudetów do celów dydaktycznych i praktycznych.

Materiał i metody

W ramach projektu badawczego realizowanego w ramach działalności Koła Naukowego *HabitatNOW!* przy Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej wykonano inwentaryzację drewnianych budynków mieszkalnych i gospodarczych z regionu ziemi kłodzkiej stanowiących reprezentatywne przykłady tradycyjnego budownictwa zrębowego [2]. Dobór próby badawczej oparto typologię zagrody wiejskiej mikroregionu kłodzkiego [3]. Dodatkowym kryterium doboru był stopień wtórnych przekształceń struktury budynków po 1945 r. Do badań wykonano 14 pomiarów. Celem analiz było wykonanie cyfrowej bazy wiedzy o konstrukcji domu kłodzkiego. W procesie modelowania bryły przeanalizowano techniki ciesielskie i konstrukcyjne. Na etapie studialnym i projektowym podjęto próby stworzenia biblioteki rozwiązań powtarzalnych konstrukcji i detalu architektonicznego. W celach dydaktycznych wykonane zostały modele ideowe zabudowy regionalnej w oparciu o różne podejścia twórcze.

Przykładem praktycznego zastosowania technologii skanowania 3D i metod BIM był projekt rewitalizacji historycznego zespołu obiektów przystanku kolejowego w Mysłakowicach (powiat karkonoski), obejmujący m.in. rekonstrukcję drewnianej wiaty peronowej oraz dwóch przystanków wejściowych prowadzących do zlikwidowanego przejścia podziemnego. Obiekty, pochodzące z początku XX wieku, reprezentują charakterystyczną dla regionu architekturę drewnianą o konstrukcji słupowo-ryglowej z dekoracyjnymi detalami snycerskimi.

W ramach prac wykonano kompleksową inwentaryzację z zastosowaniem naziemnego skaningu laserowego (TLS), której efektem była chmura punktów wysokiej gęstości. Na jej podstawie stworzono szczegółowy trójwymiarowy model BIM – tzw. cyfrowy bliźniak, zawierający nie tylko odwzorowanie geometrii i struktury konstrukcyjnej, ale również dane materiałowe, wyniki badań mykologicznych oraz system numeracji wszystkich elementów konstrukcyjnych [5, 6]. Model ten posłużył jako narzędzie analityczne w procesie diagnostyki stanu zachowania obiektów, wykonania obliczeń statycznych oraz rekonstrukcji częściowo zawalonej wiaty [7].

Dzięki integracji danych TLS–BIM z technologią cyfrowego wytwarzania (CAM/CNC) możliwe było precyzyjne odtworzenie brakujących lub zniszczonych komponentów drewnianych w oparciu o oryginalną geometrię i detale snycerskie [8]. Projekt stanowi przykład interdyscyplinarnego podejścia łączącego cyfrowe narzędzia dokumentacyjne, analityczne i produkcyjne z zasadami konserwacji dziedzictwa architektonicznego, wpisując się w aktualne badania nad cyfrowym bliźniakiem w ochronie dziedzictwa [9]

Wyniki

Skanowanie laserowe 3D pozwoliło na uzyskanie chmur punktów o wysokiej gęstości i precyzji, następnie na opracowanie modeli cyfrowych, które umożliwiły analizę struktury konstrukcyjnej, odwzorowanie połączeń ciesielskich oraz modelowanie detali architektonicznych z zachowaniem ich oryginalnych proporcji i charakteru materiałowego. Szczególną uwagę poświęcono opracowaniu połączeń węglów oraz rozwiązań detalu elewacji, które stanowią istotne elementy tożsamości lokalnej architektury drewnianej [2, 4].

W zakresie działań praktycznych, dzięki integracji danych TLS–BIM z technologią cyfrowego wytwarzania (CAM/CNC) możliwe było precyzyjne odtworzenie brakujących lub zniszczonych komponentów drewnianych w oparciu o oryginalną geometrię i detale snycerskie [8]. Projekt stanowi przykład interdyscyplinarnego podejścia łączącego cyfrowe narzędzia dokumentacyjne, analityczne i produkcyjne z zasadami konserwacji dziedzictwa architektonicznego, wpisując się w aktualne badania nad cyfrowym bliźniakiem w ochronie dziedzictwa [9]

Wnioski

Wyniki badań potwierdzają, że technologia skanowania laserowego 3D w połączeniu z metodami BIM i CNC stanowi skuteczne narzędzie dokumentacji, analizy i rekonstrukcji dziedzictwa drewnianego. Pozwala nie tylko na wierne odwzorowanie geometrii obiektu, ale również na badanie jego struktury i analizę deformacji w czasie. W kontekście regionalnym projekt wpisuje się w działania na rzecz ochrony i popularyzacji architektury ludowej Sudetów.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Szałygin J. (2013). *Dziedzictwo drewnianej architektury w Polsce*, Ochr. Zabyt.
- [2] Trocka-Leszczyńska E. (1995). *Wiejska zabudowa mieszkaniowa w regionie sudeckim*.
- [3] Kerek-Zagrobela J., Wiatrzyk, S. (1986). *Regionalne tradycje architektoniczne Kotliny Kłodzkiej zawarte w wiejskim domu sudeckim*, Materiały VI OSAR.
- [4] Suchodolski J. (1996). *Regionalizm w kształtowaniu formy architektury współczesnej na obszarze Sudetów*.
- [5] Aricò M., Ferro C., La Guardia M., Lo Brutto M., Taranto G., Ventimiglia (2024). *Scan-to-BIM Process and Architectural Conservation: Towards an Effective Tool for the Thematic Mapping of Decay and Alteration Phenomena*, Heritage.
- [6] Pawłowicz J., Szafranko E. (2019). *A Point Cloud as the Starting Database for Reconstruction of Architectural and Constructional Documentation of Rural Cottage with the Use of CAD Programs*, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.
- [7] Murphy M., McGovern E., Pavia S. (2016). *Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.
- [8] Cudzik J., Sędzicki D., Szmelter-Fausek B. (2025). *From craft to code: Integrating digital fabrication with traditional conservation techniques*. Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.
- [9] Pasupuleti M.K. (2025). *Digital Twin Technology: Transforming Cultural Heritage Preservation*.

HANGING-CHAIN MODELS FOR THE FORM-FINDING DESIGN OF A MWANEABA CANOPY

Göktuğ Ünlü¹, Mauricio Morales-Beltran¹, Günther H. Filz²

¹Yasar University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Izmir, Turkey

²University of Innsbruck, Faculty of Architecture, LSU Lightweight Structures Unit, Innsbruck, Austria

Keywords: physical models, form-finding method, architecture

ABSTRACT

Introduction

An architectural graduation studio proposed a floating educational complex for Tarawa, the capital of Kiribati, in response to projected sea-level rise of 0.5–2 meters by 2100 (Donner & Webber, 2014). At its center stands a contemporary reinterpretation of the Mwaneaba (Figure 1), the island's traditional social gathering place (Whincup, 2010). While the floating platform addresses sea-level rise, the inherent symmetrical geometry of the canopy is even more critical to its stability and spatial performance. However, to ensure the structural consistency of this digitally designed canopy, a physical validation process was required.

Hanging-chain models have historically been used as material-based form-finding tools, transforming tension structures into compression logics when inverted (Li et al., 2017; Makert & Alves, 2016). This principle, scale-independent and material-based, offers a robust way to test and refine structural consistency (Addis, 2014).

This research addresses the question: How can physical hanging-chain models be used to validate and correct digitally designed canopy structures, and thereby support structurally consistent interpretations of the traditional Mwaneaba? To answer it, this study adapts the hanging chain method as both a corrective assessment and a validation mechanism for the digital canopy design.

Basis material and methods

A 1:50 hanging chain model was constructed as a physical counterpart to the digital canopy. Chains, weights, and a suspended frame were configured to simulate the forces, test equilibrium under varying loads, and explore geometries. Discrepancies between the digital and physical outcomes were identified, and the digital model was corrected based on funicular forms generated by the chains. This dual process—digital conception and physical verification—defined the methodological approach.

Results

The hanging-chain model produced several critical outcomes (Figure 2). It demonstrated that the digitally designed canopy curves transformed under gravity into sharper funicular geometries, requiring correction for structural consistency. To emulate the complexity of the digital



Fig. 1. View of the original project proposal (top) and the digital design of the Mwaneaba canopy (bottom)

canopy, initially two sets of parallel chains were crossed and linked at varying points, producing differentiated heights and intersections. Some intermediate attempts—such as pointed vaults—were inconsistent with the slightly rounded roofs intended in the design and, thus, were discarded. This process, nevertheless, revealed the fundamental role of symmetry in the configurations: only symmetrical variations preserved equilibrium when the base was alternately suspended along its axes. Further adjustments, including the addition of loads at key intersections and integration of shading elements, helped to expand the interior volume and adapt the canopy to its equatorial context. By included rigid additional elements, the model proved its versatility to produce also elements inclined outward, yet ensuring that they carry only axial forces (tension or compression), and no bending moments were introduced into the system. Ultimately, the model confirmed that the essential design of a floating, symmetrical canopy with shaded, open sides was structurally viable, and validated the digital design once corrected to follow funicular principles.

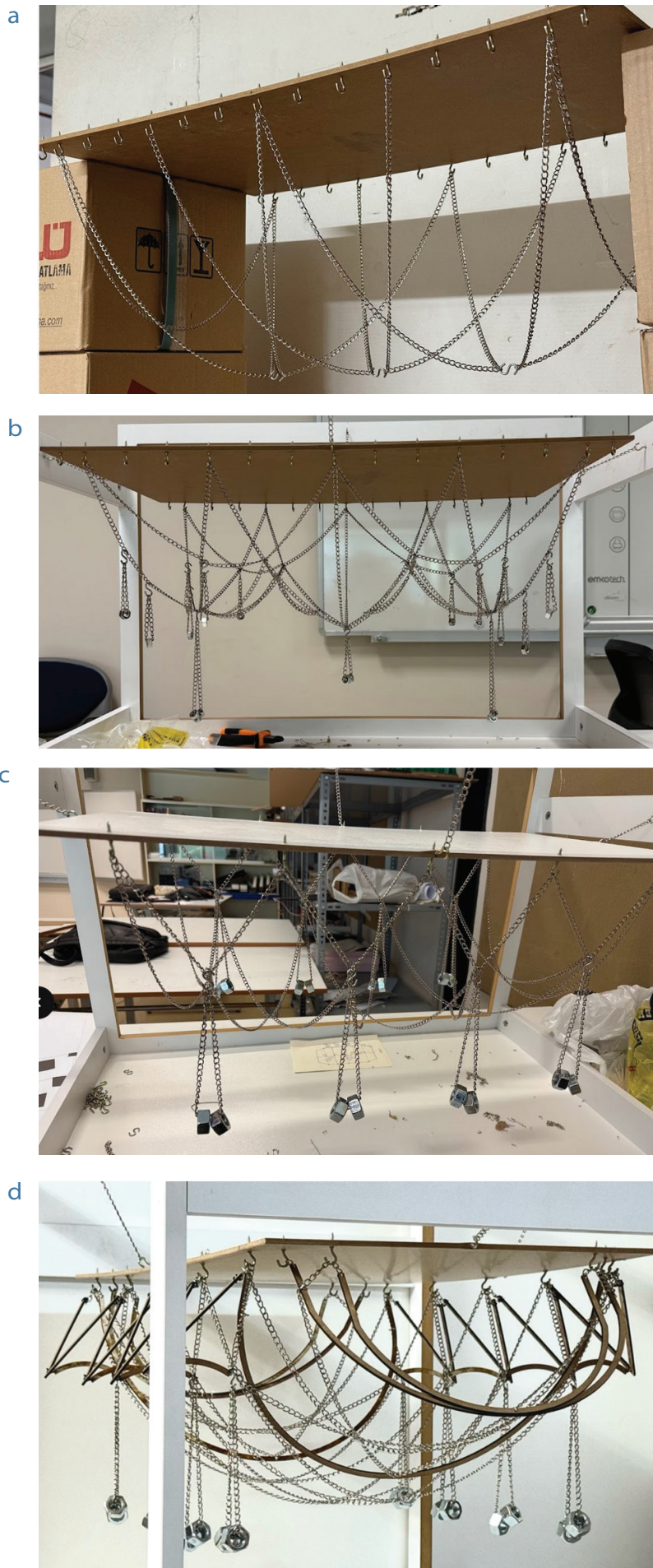


Fig. 2. The outcomes of the form-finding of the canopy using the hanging chain model: (a) crossing chains, (b) differentiated roof heights, (c) additional loads at key intersections, and (d) additional shading elements.

Conclusions

This research demonstrates that the integration of digital and physical modeling provides more than design refinement: it validates the digital model as structurally consistent. By enforcing symmetry and revealing the transformation of curves under load, the hanging chain model proved to be an effective form-finding and correction tool, highlighting the advantages of physical-based modeling in floating canopy structures. The findings are especially relevant under conditions of sea-level rise, where floating canopy structures must combine spatial and social adaptability with robust form-finding principles. The Mwaneaba canopy reinterpretation thus demonstrates how traditional typologies can be structurally re-grounded through the dialogue between digital modeling and physical chain models.

REFERENCES

- [1] Addis B. (2014). Physical modelling and form finding. In *Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization* (pp. 33–43). Routledge.
- [2] Donner S. D., Webber S. (2014). Obstacles to climate change adaptation decisions: A case study of sea-level rise and coastal protection measures in Kiribati. *Sustainability Science*, 9(3), 331–345. <https://doi.org/10.1007/s11625-014-0242-z>
- [3] Li Q., Su Y., Wu Y., Borgart A., Rots J. G. (2017). Form-finding of shell structures generated from physical models. *International Journal of Space Structures*, 32(1), 11–33. <https://doi.org/10.1177/0266351117696577>
- [4] Makert R., Alves G. (2016). Between Designer and Design: Parametric Design and Prototyping Considerations on Gaudí's Sagrada Família. *Periodica Polytechnica Architecture*, 47(2), 89–93. <https://doi.org/10.3311/PPar.10335>
- [5] Whincup T. (2010). Te Mwaneaba Ni Kiribati: The Traditional Meeting House of Kiribati: "A Tale of Two Islands". *Shima: The International Journal of Research into Island Cultures*, 4(1), 113–130.

OD GRUZU DO KONSTRUKCJI: INNOWACYJNE SYSTEMY RE-USE W ARCHITEKTURZE

Katarzyna Walasek

Instytut Inżynierii Lądowej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa, Polska

Słowa kluczowe: gruzobeton, konstrukcja, architektura, gospodarka o obiegu zamkniętym

ABSTRAKT

Wstęp

Współczesna architektura stoi przed wyzwaniami wynikającymi z rosnącego zużycia zasobów naturalnych, zmian klimatycznych i nadprodukcji odpadów budowlanych. Jedną z odpowiedzi na te problemy jest koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), w której kluczową rolę odgrywa ponowne wykorzystanie materiałów z rozbiórek – zarówno na poziomie surowców, jak i całych elementów konstrukcyjnych. Gruz, dotychczas postrzegany jako odpad czy materiał używany jako wzmocnienie pod nowe konstrukcje infrastrukturalne takie jak drogi, zyskuje nowe znaczenie jako wartościowy materiał wtórny – gruzobeton.

Materiały i metody

W niniejszym przeglądzie przedstawiono wybrane innowacyjne systemy Re-Use w architekturze, koncentrując się na możliwościach technologicznych gruzobetonu oraz integracji komponentów z odzysku w procesie projektowym. Omówiono również nowe modele zarządzania materiałami budowlanymi, takie jak cyfrowe paszporty materiałowe (material passports), które umożliwiają śledzenie i przyszłe wykorzystanie elementów budowlanych.

Wyniki

Na podstawie analizy przykładów z krajów europejskich w tym Polski pokazano, że ponowne użycie materiałów może nie tylko spełniać wymagania techniczne (np. wytrzymałość betonu klasy C20/25 czy C25/C30), ale również stanowić inspirację dla nowego języka architektonicznego. Projekty takie jak „Re-Block”, „Bauteilnetz Deutschland” czy „Urban Mining & Recycling” ilustrują potencjał innowacyjnych podejść, które łączą odzysk z wysoką jakością estetyczną, funkcjonalnością i efektywnością środowiskową.

Wnioski

Wnioski płynące z przeglądu literatury i praktyki projektowej wskazują, że systemy Re-Use nie tylko realnie zmniejszają ślad węglowy budownictwa (przy właściwie dobranych odległościach podczas transportu), ale również otwierają nowe perspektywy dla innowacyjnego i świadomego projektowania. W erze transformacji ekologicznej, gruz przestaje być symbolem końca cyklu życia budynku i staje się początkiem nowego. W tym całym procesie należy jednak równolegle uwzględ-

niać certyfikację materiałów, jako wymóg formalny wynikający z obowiązujących regulacji prawnych (Unia Europejska). Dzięki temu ponownie wykorzystane elementy mogą być dopuszczone do obrotu i stosowania zgodnie z obowiązującymi przepisami budowlanymi.

Tabela 1. Przykładowe porównanie właściwości betonu i gruzobetonu.

Właściwość	Beton tradycyjny C20/25	Kruszywo recyklingowe – pokruszony beton, nie-fractionowany, pochodzący bezpośrednio z budowy, z żelbetowego przesła estakady drogowej (Węgliński i in.)
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	20–25	25–30
Gęstość [kg/m ³]	2200–2400	2200–2400



Ryc. 1. Przykład konstrukcji wykonanej z gruzobetonu. (Park Akcji "Burza" Warszawa). Fot. Michał Szłaga

PIŚMIENNICTWO

- [1] Hebel D.E., Wisniewska M.H., & Heisel F. (2014). *Building from waste: Recovered materials in architecture and construction* (1st ed.). Birkhäuser. <https://doi.org/10.1515/9783038213758>.
- [2] Hansen J. Ø., Lindeløv B. (2025). Urban mining in the built environment: The role of local supporting institutions. In *Recycling institutions* (pp. 173–187). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81754-0_8.
- [3] McDonough W., Braungart M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.
- [4] Norouzi M., Chàfer N.M., Cabeza L.F., Boer D. (2021). Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. *Journal of Building Engineering*, 44, 102704. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102704>.
- [5] Program Bauteilnetz Deutschland. (n.d.). <https://www.bauteilnetz.de/>.
- [6] Program Re-Block. (n.d.). <https://urbact.eu/networks/re-block>.
- [7] Urban mining and recycling. (n.d.). <http://nest-umar.net/>.
- [8] Węgliński S., Babiak M., Błaszczński T., Ratajczak A. (2017). Przydatność kruszyw z recyklingu do produkcji betonu. *Przegląd Budowlany: Ekologia i Budownictwo*.

KU ELASTYCZNEJ PRZESTRZENI: INNOWACYJNE SYSTEMY MOBILNE I MODUŁOWE W PROJEKTOWANIU WSPÓŁCZESNYCH TARGOWISK

Anna Wancel, Elżbieta Komarzyńska-Świeściak

Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

Słowa kluczowe: adaptacyjność, konstrukcje modułowe, mobilność, przestrzeń publiczna, targowiska

ABSTRAKT

Wstęp

Współczesne targowiska, pełniące od wieków funkcję miejsc wymiany towarów, idei oraz doświadczeń społecznych, stoją obecnie wobec szeregu wyzwań wynikających z dynamicznych przemian społecznych, urbanistycznych i ekonomicznych [1, 2]. Wzrost mobilności społecznej, zmienność sezonowa handlu oraz rosnące wymagania dotyczące dostępności i komfortu przestrzeni użytkowników wymuszają poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań projektowych [3, 4]. Jednocześnie przestrzenie publiczne w ostatnich dekadach coraz częściej kształtowane są jako elastyczne, inkluzywne i wielofunkcyjne, co rodzi potrzebę redefinicji także miejskich targowisk [5–7]. Dotychczas jednak problematyka ta pozostaje stosunkowo słabo rozpoznana, zwłaszcza w kontekście europejskim i polskim. W tym świetle szczególnego znaczenia nabierają elastyczne systemy mobilne i modułowe, które umożliwiają reorganizację układów przestrzennych, integrację różnych funkcji oraz adaptację do zmiennych uwarunkowań środowiskowych, kulturowych i ekonomicznych [8, 9].

Material i metody

Analizie poddano wybrane realizacje targowisk i przestrzeni publicznych opartych na systemach modułowych i mobilnych, z uwzględnieniem ich innowacyjności, skalowalności oraz potencjału adaptacyjnego [10, 11]. Przeprowadzono kwerendę literaturową obejmującą publikacje dotyczące architektury tymczasowej, modułowej oraz elastycznych systemów urbanistycznych [12]. W badaniu zastosowano metodę porównawczą i krytyczną analizę przypadków, koncentrując się na funkcjonalności, mobilności, możliwościach rekonfiguracji oraz wpływie na aktywizację i integrację społeczną. Przykłady dobrano spośród współczesnych realizacji charakteryzujących się wysokim stopniem elastyczności przestrzeni oraz zdolnością adaptacji do zmieniających się uwarunkowań miejskich i społecznych.

Wyniki

Analiza przypadków potwierdziła, że systemy mobilne i modułowe charakteryzują się wysokim stopniem elastyczności, umożliwiającym dynamiczne dostosowanie układu funkcjonalno-przestrzennego do zmiennych potrzeb użytkowników i uwarunkowań sezonowych [5, 6]. Ziden-

tyfikowano cechy kluczowe dla ich adaptacyjności: łatwość transportu i montażu, rekonfigurowalność, skalowalność oraz zdolność integracji z istniejącą infrastrukturą miejską [8]. Rozwiązania te pełnią jednocześnie rolę katalizatorów aktywizacji przestrzeni publicznych, wspierając interakcje społeczne i integrację wspólnot lokalnych poprzez tworzenie dynamicznych „platform społecznych”. Wyniki wskazują również, że implementacja systemów modułowych i mobilnych może przyczyniać się do wzrostu efektywności funkcjonalnej targowisk, redukcji kosztów adaptacji oraz wdrażania innowacji technologicznych w zakresie prefabrykacji i konstrukcji tymczasowych [10, 12].

Wnioski

Implementacja systemów mobilnych i modułowych w projektowaniu targowisk przyczynia się do istotnego zwiększenia elastyczności przestrzeni oraz jej adaptacyjności względem zmieniających się potrzeb użytkowników i kontekstu miejskiego [8, 9]. Wdrożenie tego typu rozwiązań konstrukcyjnych poprawia funkcjonalność oraz efektywność organizacyjną targowisk, jednocześnie sprzyjając integracji społecznej, aktywizacji przestrzeni publicznych oraz tworzeniu wielofunkcyjnych platform miejskich. W kontekście polskich miast takie rozwiązania mogłyby stanowić realne narzędzie modernizacji targowisk tradycyjnych, wspierając politykę miejską w zakresie ożywiania przestrzeni publicznych i wzmacniania lokalnych gospodarek [4]. Analiza wskazuje, że modułowość i mobilność mogą pełnić kluczową rolę w projektowaniu nowoczesnych targowisk, umożliwiając łączenie funkcji handlowych z działalnością społeczną i kulturową oraz eksperymentowanie z elastycznymi strategiami urbanistycznymi [5, 11].

PIŚMIENNICTWO

- [1] Kronenburg R. (2014). *Architecture in Motion: The History and Development of Portable Building*. Routledge.
- [2] Smith R. E. (2010). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. Wiley.
- [3] Maye D., Kirwan J., Brunori G. (2018). Exploring farmers markets as a temporary cluster to improve local food economy. *British Food Journal*, 120(3), 473–484. <https://doi.org/10.1108/BFJ-09-2017-0500>
- [4] Sgroi F., et al. (2021). The analysis of local marketplace business on the selected urban case — Problems and perspectives. *Sustainability*, 13(6), 3446. <https://doi.org/10.3390/su13063446>
- [5] Xie J. (2021). *Temporary market as a transition for public space and urban life: A guide for ephemeral market design*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [6] Rotilio M., et al. (2022). Temporary building construction to make cities more sustainable. *Buildings*, 12(7), 865. <https://doi.org/10.3390/buildings12070865>
- [7] Tirella V., et al. (2023). Configuration optimization for sustainable temporary structures. *Buildings*, 13(2), 214. <https://doi.org/10.3390/buildings13020214>
- [8] AIA. (2020). *Design for modular construction: Materials & practice guide*. American Institute of Architects.
- [9] JICA. (2019). *Public market modules: Modular approach*. Japan International Cooperation Agency.
- [10] Hänninen H. (2020). *Project Raaw: The future of traditional market hall (Hakaniemi Kaupphalli, Finland)*. Aalto University.
- [11] Tengbom. (2016). Östermalm Temporary Market Hall, Stockholm. *Architizer*. <https://architizer.com/projects/ostermalm-temporary-market-hall/>
- [12] Lamnatou C. (2017). Performance analyses of temporary membrane structures: ETFE and PVC applications. *Journal of Structural Engineering*, 143(11), 04017100. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001872](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001872)

THE “JARDIN DE LA RUE” PHENOMENON IN FRENCH CITY STREETS

Jan Winkler

Department of Plant Biology, Faculty of AgriSciences, Mendel University, Brno, Czech Republic

Keywords: ornamental plants, urban agriculture, architecture, spontaneous initiatives of residents

ABSTRACT

Introduction

Urban space planning that considers environmental and social trade-offs and synergies is imperative for the creation of sustainable and diverse urban green areas [1]. The increasing population in densely urbanized areas has led to a perception of nature as an obstacle. Expenditures on greenery are often regarded as a luxury, and during periods of economic austerity, they are frequently the first items to be reduced from municipal budgets [2]. The composition of urban vegetation is largely determined by city managers, with native species of lower aesthetic value often being overlooked or eliminated in favor of more popular ornamental plants. While aesthetics play an important role, equally relevant are the availability of seedlings or seeds and the suitability of plants for the urban environment [3]. In many cities, traditional intensively maintained lawns dominate large portions of urban greenery [4,5]. Urban greenery must be planned as an integral part of land use and urban environments, irrespective of the perspective from which it is viewed. This process necessitates the balancing of conflicting priorities [6]. Despite the existence of extant theoretical frameworks, a considerable gap often persists between theory and practice [7].

The prevailing approach has resulted in a certain uniformity of urban greenery and the limitation of green areas in specific types of urban development. The spontaneous initiatives to cultivate plants in urban streets are driven by the residents' desire for greenery and the cultivation of their own plant species. One such spontaneous phenomenon is the “Jardin de la Rue.” In this location, the narrow spaces along the boundary between building foundations and sidewalks are utilized for cultivation. The phenomenon of spontaneous street gardening has emerged as a novel challenge for the domains of architecture, urban planning, and construction. The objective of this study was to map the species composition of planted vegetation and to characterize the physical settings of “Jardin de la Rue.”

Basis material and methods

The assessment of spontaneous vegetation was conducted in Lyon, specifically in the Croix Rousse district, and in Bordeaux, in the Saint Genès district (France). Both areas are distinguished by a long history of habitation and a high degree of building density. In these districts, there was no original designation of space for urban greenery, and the built-up character created limited opportunities for its establishment.

A comprehensive vegetation survey was conducted in August and September of 2023. The methodology applied included a botanical inventory in which identified plant species were classified into functional groups.

Results

The “Jardin de la Rue” space is characterized by its narrow configuration, with a building wall on one side and the sidewalk surface on the other. The process entails the removal of the surface and subsurface layers of the pavement, which are then replaced with soil that is conducive to horticultural activities. The perimeter of the plot is typically delineated by wooden planks or plastic edging. The created space is utilized for the cultivation of plants selected by local residents.

A study of the species composition of cultivated plants in “Jardin de la Rue” reveals the prevalence of certain plant life forms. The following climbing plants are among the most popular: *Akebia quinata* (Thunb. ex. Hoult.), *Ipomoea purpurea* (L.) Roth, *Lonicera japonica* Thunb., *Parthenocissus tricuspidata* (Siebold & Zucc.) Planch., *Passiflora amethystina* J.C.Mikan, *Solanum laxum* Spreng., *Trachelospermum asiaticum* (Siebold & Zucc.) Nakai, *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem., and *Wisteria sinensis* (Sims) Sweet.

Among the various species of herbs, those that have gained particular renown include *Alcea rosea* L., *Calendula officinalis* L., *Hemerocallis fulva* (L.) L., *Iris xgermanica* L., *Mirabilis jalapa* L., *Oxalis articulata* Savigny, *Portulaca grandiflora* Hook., and *Valeriana rubra* L.

The cultivation of plants within the “Jardin de la Rue” poses unique challenges to construction practice. The presence of plant roots has been observed to potentially compromise the integrity of building foundations, masonry, and insulation layers. In the context of climbing plants, the design of suitable façade structures to support their growth is imperative. These structures must be compatible with the overall building design and allow access for plant maintenance. From an architectural perspective, the integration of “Jardin de la Rue” signifies a novel element that merits consideration in both new constructions and the renovation of existing structures. The creation of spaces for plant cultivation has the potential to enhance the aesthetic appeal of buildings and enrich the urban environment. From an urban planning perspective, it is imperative to acknowledge the mounting demand among residents for the cultivation of plants near their dwellings. Concurrently, the implementation of regular maintenance measures, such as irrigation, during the vegetation season, is imperative. The generation of biowaste by plants necessitates effective disposal methods.

The “Jardin de la Rue” is a prime example of spontaneous urban agriculture, defined as the cultivation of plants in an urban environment. This phenomenon contributes to the emergence of a new type of space, referred to as urban agricultural architecture. Urban agriculture fulfills a triad of functions, namely economic, social, and environmental, thus falling within the rubric of sustainable development. As noted by Nowysz et al. [8], urban agriculture contributes to the regeneration of urban environments, enhances biodiversity, and supports local food systems.

Conclusions

The human proclivity to cultivate flora in immediate surroundings is deeply entrenched and is manifesting itself with increasing frequency in urban environments. The phenomenon of spontaneous plant cultivation, such as the “Jardin de la Rue” in French cities, is a concrete expression of this need. This approach underscores the viability of cultivating spaces for plant cultivation even within densely built-up areas, thereby enhancing public space and contributing to an improvement in quality of life.

The integration of such initiatives into the fields of construction, architecture, and urban planning has the potential to yield numerous benefits. The incorporation of green elements into urban infrastructure has been demonstrated to support biodiversity, improve microclimates, contribute to sustainability, and strengthen social bonds among residents. The integration of spontaneous gardening activities within urban space planning has the potential to yield urban environments that are more vibrant, healthier, and environmentally responsible.

REFERENCES

- [1] J. Winkler et al. *Green space in an extremely exposed part of the city center “Aorta of Warsaw” - Case study of the urban lawn*. Urban Ecosyst., Vol. 26, 2023, 1225-1238. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01380-6>
- [2] J.R. Miller: *Biodiversity conservation and the extinction of experience*. Trends in Ecology & Evolution, Vol. 20, No 8, 2005, p. 430-434, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.013>.
- [3] P. Guo et al.: *Response of Ruderal Species Diversity to an Urban Environment: Implications for Conservation and Management*. Int. J. Environ. Res. Public Health, Vol. 15, 2018, 2832. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122832>
- [4] M. Hedblom et al. *Estimating urban lawn cover in space and time: case studies in three swedish cities*. Urban Ecosyst., Vol. 20, No 5, 2017, p. 1109-1119. <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0658-1>
- [5] P. Pereira, F. Baró. *Greening the city: thriving for biodiversity and sustainability*. Sci Total Environ. Vol. 817, 2022, 153032. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153032>
- [6] S. Meerow. *The politics of multifunctional green infrastructure planning in New York City*. Cities, Vol. 100, 2020, 102621. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102621>
- [7] G.L. Thompson, J. Kao-Kniffin. *Applying biodiversity and ecosystem function theory to Turfgrass Management*. Crop Sci. 2017, Vol. 57, p. 238-248. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.05.0433>
- [8] A. Nowysz et al. *Urban Agriculture as an Alternative Source of Food and Water Security in Today's Sustainable Cities*. Int. J. Environ. Res. Public Health, Vol. 19, 2022, 15597. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315597>

Koordinacja wydawnicza / Publishing coordination

Barbara Grudzevska-Walecka

Opracowanie typograficzne / Layout

Maciej Szłapka

Pierwsza strona okładki: widok obiektu OCEAN AGAVE w projekcie konkursowym eVolo2015,
autor Janusz Rębielak, współpraca techniczna Wojciech Kocki i Maciej Rębielak

The first page of the cover: a view of the OCEAN AGAVE object in the eVolo2015 competition project,
author Janusz Rębielak, technical cooperation Wojciech Kocki and Maciej Rębielak

Czwarta strona okładki: siedziba Oddziału Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu

The four page of the cover: the headquarters building of the Wrocław Branch of the Polish Academy of Sciences

© Copyright by Polska Akademia Nauk Oddział we Wrocławiu, Wrocław 2025

All rights reserved

Wyłącznie odpowiedzialność za treści zawarte w materiałach konferencyjnych,
w tym przekazany materiał ilustracyjny ponoszą autorzy abstraktów,
które zostały opublikowane bez poprawek redakcyjnych.
Polska Akademia Nauk Oddział we Wrocławiu nie ponosi odpowiedzialności
za ewentualne wykorzystanie informacji zawartych w materiałach konferencyjnych.

The sole responsibility for the content of the conference materials,
the authors of the abstracts bear the responsibility for including the provided illustrations.
Abstracts were published without editorial corrections.
The Polish Academy of Sciences, Wrocław Branch, is not responsible
for any use that may be made of the information contained in the conference materials.



Oddział
we Wrocławiu



Siedziba Oddziału Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu