

Projektowanie zrównoważone w aspekcie zastosowania materiałów proekologicznych

Sustainable design in terms of use of environmentally friendly materials

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem projektowania zrównoważonego w aspekcie wielokryterialnych metod oceny, koncentrując się na wyborze i zastosowaniu w projekcie materiałów budowlanych. Bazując na wytycznych i procedurach takich metod oceny, jak **LEED** – *Leadership in Energy and Environmental Design*, **BREAM** – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* oraz na innych, dokonano wyboru proekologicznych materiałów budowlanych do zaprojektowania określonych obiektów architektury. Do budowy niskich budynków mieszkalnych jednorodzinnych zastosowano elementy wykonane z odpadów. Do budowy budynku wielofunkcyjnego, wysokiego zastosowano drewno klejone krzyżowo w technologii CLT – *Cross Laminated Timber* charakteryzujące się dobrymi parametrami proekologicznymi. W projekcie wielofunkcyjnego kompleksu miejskiego zastosowano beton ekologiczny, który radykalnie redukuje ślad węglowy w procesie jego wytwarzania. Analiza właściwości materiałów budowlanych, ich wybór w aspekcie zrównoważonego rozwoju i ich zastosowanie w projektowaniu daje wymierne korzyści w jakości kształtowania środowiska zbudowanego.

Abstrakt

The paper presents the problem of sustainable design in terms of multi-criteria evaluation methods focusing on the selection and use of building materials in the design. Based on the guidelines and procedures of such assessment methods as **LEED** (Leadership in Energy and Environmental Design), **BREAM** (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), and others, environmentally friendly building materials were selected for the design of specific building structures was made. For the construction of low-rise single-family homes, products made from waste were used. For the construction of a multipurpose, high-rise building, the material chosen was cross-laminated timber (CLT), which is characterized by good environmental performance. The design of a multipurpose urban complex used environmentally friendly concrete, the manufacturing process of which has a dramatically reduced carbon footprint. An analysis of the properties of the building materials, their selection in terms of sustainability, and their use in designs provide tangible benefits in terms of the quality of formation of the built environment.

Słowa kluczowe: architektura zrównoważona, wielokryterialne metody oceny: LEED, BREAM, materiały proekologiczne, technologia CLT, beton niskoemisyjny.

Key words: sustainable architecture, multi-criteria evaluation methods: LEED, BREAM, environmentally friendly materials, CLT technology, low-emission concrete.

1. WPROWADZENIE, STAN BADAŃ

Istotnym zagadnieniem w projektowaniu zrównoważonym jest wybór materiałów budowlanych i surowców. Materiały wpływają na jakość środowiska zbudowanego, na poziom zużycia energii i jakość klimatu. Proces projektowania w aspekcie zrównoważonego rozwoju wymaga znajomości złożonej metodologii oceny budynków. Metody oceny budynków definiują system standardów i kryteriów oceny dotyczących:

- integracji obiektu ze środowiskiem,
- użytych w projekcie i budowie materiałów i surowców,
- efektywności gospodarki wodno-ściekowej,
- optymalizacji zużycia energii,
- innowacyjności i jakości rozwiązań projektowych–proekologicznych,
- komfortu użytkowania.

1. INTRODUCTION, STATE OF RESEARCH

The choice of building materials and raw materials is an important issue in sustainable design. Materials affect the quality of the built environment, the level of energy consumption, and the quality of the climate. The sustainable design process requires knowledge of a complex building evaluation methodology. Methods of building assessment set a system of standards and criteria regarding:

- integration of the object with the environment,
- materials and raw materials used in the design and construction,
- efficiency of water and sewage management,
- optimization of energy consumption,
- innovation and quality of pro-ecological design solutions,
- comfort of use.

* Lucjan W. Kamionka, dr hab. inż. arch., prof. PŚk., Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach / Lucjan W. Kamionka, D.Sc. arch., Professor of the KUT, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, <https://orcid.org/ORCID 0000-0003-4290-0309>, e-mail: luckam@tu.kielce.pl

Dysponujemy, w tym aspekcie, bogatą już literaturą krajową (Baranowski, 1998; Dobrowolski, Kobylarczyk, 2019; Drapella-Hermansdorfer, 2005; Jagiełło-Kowalczyk, 2019; Kamionka, 2012, 2021; Kobylarczyk, 2014; Nizabitowska, Masły, 2007; Schneider-Skalska, 2012).

W procesie nauczania projektowania architektoniczno-urbanistycznego w aspekcie zrównoważonego rozwoju podejmowane są liczne próby zmierzające do poprawy jakości kształcenia (Jagiełło-Kowalczyk, Żabicka, 2017; Jagiełło-Kowalczyk, 2021). Studenci kierunku architektura podejmują się niejednokrotnie w ramach zajęć dydaktycznych wykonywania projektów budynków zrównoważonych¹. Przy projektowaniu budowli obowiązują zasady kształtowania architektonicznego zmierzające do najlepszego połączenia funkcji i bryły budynku, harmonijnej integracji ze środowiskiem, dążeniem do podwyższenia sprawności energetycznej i ekologicznego komfortu użytkownika. W projektowaniu wprowadza się rozwiązania preferujące wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, racjonalną gospodarkę wodą, proekologiczne relacje ze strukturą urbanistyczną, wykorzystywanie naturalnych zasobów otoczenia i optymalizację rozwiązań materiałowych.

Przyjęte koncepcje budowli są wartością wypadkową wielokryterialnej analizy i stanowią poszukiwania rozwiązań optymalnych (Gil-Mastalerczyk, 2020, s. 146-151; Gil-Mastalerczyk, 2019, s. 1-12; Jagiełło-Kowalczyk, 2017, s. 180-186; Dachowski, Kamionka, Gałęk, 2019, s. 268-277).

2. PRZEDMIOT I CEL BADAŃ

Przedmiotem badań jest projektowanie zrównoważone z koncentracją na problemie wyboru i zastosowania proekologicznych materiałów budowlanych. Jakość zastosowanych materiałów ma istotny wpływ na jakość środowiska zbudowanego (Baranowski, 1998; Kamionka, 2012, 2021). Celem przeprowadzonych badań, analiz i wykonanych projektów przez studentów kierunku architektura jest potwierdzenie słuszności przyjętych założeń oceny środowiska zbudowanego w wielokryterialnych metodach, takich jak LEED, BREEAM, jak również metody autorskiej – z akcentowaniem problemu dobru i zastosowania materiałów budowlanych dla poprawy jakości środowiska zbudowanego i funkcjonowania w nim człowieka.

3. METODY BADAŃ

Zastosowane metody badawcze bazują na wielokryterialnych metodach oceny budynków zdefiniowanych w procedurach certyfikacyjnych (Reference Guide LEED, 2008, 2013, 2020; BREEAM 1/1990) oraz opisanych w monografii (Kamionka, 2021, s. 137-148). Problem proekologiczności materiałów budowlanych jest istotny w metodologii oceny obiektów architektonicznych i wpływa na formę architektoniczną, przestrzeń wewnętrzną, komfort użytkowników obiektu adekwatnie do użytych materiałów i zastosowanych proekologicznych rozwiązań projektowych.

Metoda badawcza polega na analizach ekologiczności materiałów budowlanych, metod oceniających budynki w aspekcie zrównoważenia, takich jak: **LEED** oraz **BREEM**

There is an extensive domestic literature in this area, e.g. (Baranowski, 1998; Dobrowolski, Kobylarczyk, 2019; Drapella-Hermansdorfer, 2005; Jagiełło-Kowalczyk, 2019; Kamionka, 2012, 2021; Kobylarczyk, 2014; Nizabitowska, Masły, 2007; and Schneider-Skalska, 2012);

The process of teaching architectural and urban-development design in terms of sustainable development involves numerous attempts to improve the quality of education (Jagiełło-Kowalczyk, Żabicka, 2017; Jagiełło-Kowalczyk, 2021). As part of their classes, students of architecture often prepare sustainable building designs¹. The design of building structures is governed by the principles of architectural formation which aim at the best combination of the building's function and shape, its harmonious integration with the environment, an improved energy efficiency, and an ecological comfort of the user. Designers introduce solutions that favor the use of renewable energy sources, rational water management, pro-ecological relations with the urban structure, use of natural resources present in the environment, and optimization of material solutions.

The adopted building structure concepts are the result of a multi-criteria analysis and represent the search for optimal solutions (Gil-Mastalerczyk, 2020, pp. 146-151; Gil-Mastalerczyk, 2019, pp. 1-12; Jagiełło-Kowalczyk, 2017, pp. 180-186; Dachowski, Kamionka, Gałęk, 2019, pp. 268-277).

2. SUBJECT AND PURPOSE OF THE RESEARCH

The subject of the research is sustainable design with a focus on the problem of selection and use of environmentally friendly building materials. The quality of the materials used has a significant impact on the quality of the built environment (Baranowski, 1998; Kamionka, 2012, 2021). The purpose of the research, the analyses, and the designs prepared by architecture students is to confirm the validity of the assumptions made in the evaluation of the built environment in multi-criteria methods such as LEED and BREEAM, as well as the authors' method - with emphasis on the problem of selection and use of building materials to improve the quality of the built environment and the lives of the people who live there.

3. RESEARCH METHODS

The research methods used are based on the multi-criteria building evaluation methods defined in the certification procedures (Reference Guide LEED, 2008, 2013, 2020; BREEAM 1/1990) and described in the monograph (Kamionka, 2021, pp. 137-148).

Pro-environmental performance of building materials is vital in the methodology of evaluating architectural objects as it affects the architectural form, internal space, comfort of building users., adequately to the materials used and the pro-ecological design solutions used.

The research method involves analyzing the environmental performance of building materials and

oraz skonstruowaniu na podstawie dokonanych analiz – wniosków i założeń projektowych stanowiących wytyczne dla grup projektowych. Należy zaznaczyć, że opracowany model oceny obiektu architektury zrównoważonej (Kamionka, 2019, s. 73) został wykorzystywany przez studentów w procesie projektowania i posłużył do weryfikacji przyjętych założeń teoretycznych z praktyką projektową.

3.1. Problem ekologiczności materiałów budowlanych
Analizując efektywność użycia materiałów budowlanych i surowców, określono następujące warunki:

- zastosowanie zdrowych materiałów poprzez eliminację materiałów zawierających substancje toksyczne (CO, CO₂, SO₂, H₂S, O₃),
- zastosowanie materiałów naturalnych:
 - zastosowanie materiałów wtórnego użycia poprzez udział materiałów z recyklingu,
 - zastosowanie materiałów odnawialnych,
- zastosowanie materiałów miejscowych,
- zastosowanie materiałów o niskim udziale energii wbudowanej.

Wybierając materiały budowlane, stosowano tylko te mające atest higieniczny PZH (wydawany przez Państwowy Zakład Higieny, Zakład Higieny Środowiska). Oznaczają one, że produkt jest bezpieczny dla zdrowia i życia mieszkańców pod względem składu chemicznego, przeznaczenia, zastosowania i oddziaływania na środowisko. Użyte materiały powinny posiadać znaki ekologiczne np.:

- Eko-znak – mogą otrzymać wyroby krajowe i zagraniczne, które spełniają wymagające kryteria ochrony zdrowia, środowiska i ekonomicznego wykorzystania zasobów naturalnych. Eko-znak przyznawany jest od 1998 roku przez Polskie Centrum Badań i Certyfikacji.
- Ecolabel – to ekologiczny znak ustanowiony przez Komisję Europejską w 1992 roku, aby wyróżnić produkty przyjazne dla środowiska. Ecolabel koncentruje się przede wszystkim na procesie przetwarzania surowców i produkcji końcowej towaru pod kątem minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko.
- EKO-ITB – znak ekologiczny przeznaczony dla produktów budowlanych. Przyznawany jest przez centrum akredytacji Instytutu Techniki Budowlanej. O oznaczenie ekologiczne EKO-ITB mogą się starać wyroby budowlane o względnie mniejszej szkodliwości dla środowiska podczas całego cyklu funkcjonowania produktu.
- GEV EMICODE – znakiem tym oznaczone są wyroby niskoemisyjne, a nadawany jest przez międzynarodową organizację badającą jakość produktów UEL ECO-INSTITUT.

3.2. Metody oceniające jakość zastosowanych materiałów w procesie projektowania i budowy obiektów architektonicznych

O ważności problemu dotyczącego surowców i materiałów budowlanych świadczą procedury i metody najpopularniejszych na świecie wielokryterialnych metod certyfikujących budynki zrównoważone, tj. **LEED** – *Leadership in Energy and Environmental Design* oraz **BREAM** – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*.

sustainability assessment methods, such as LEED and BREAM, and formulating outcome-based conclusions and design assumptions as guidelines for project groups. It should be noted that the developed Sustainable Architecture Object Evaluation Model (Kamionka, 2019, p. 73) was used by students in the design process and to verify the theoretical assumptions with design practice.

3.1. The problem of environmental performance of building materials

When analyzing the efficiency of the use of building materials and raw materials, certain conditions were used:

- use of healthy materials by eliminating materials containing toxic substances (CO, CO₂, SO₂, H₂S, and O₃),
- use of natural materials:
 - use of secondary materials by ensuring a share of recycled materials,
 - use of renewable materials,
- use of local materials,
- use of materials with low embedded energy.

When selecting building materials, preference was given to products with the PZH hygienic certificate (issued by the National Institute of Hygiene, Department of Environmental Hygiene). The certificate means that a product is safe for the health and life of the population in terms of its chemical composition, intended use, application, and environmental impact. The materials used should have environmental labels, e.g.

- Eco-label – issued to domestic and foreign products that meet demanding criteria concerning health, environmental protection, and economic use of natural resources. The eco-label has been issued since 1998 by the Polish Center for Testing and Certification;
- Ecolabel – an environmental label established by the European Commission in 1992 to distinguish environmentally friendly products. The Ecolabel focuses primarily on the processing of raw materials and the final production of goods in terms of minimized environmental impact;
- EKO-ITB – an environmental label for building products. It is issued by the accreditation center of the Polish Building Research Institute. Building products that cause relatively less environmental harm during the entire product life cycle are eligible to file an application for the EKO-ITB eco-label.
- GEV EMICODE – issued for low-emission products by the international product quality testing organization UEL ECO-INSTITUT.

3.2. Methods of evaluation of the quality of materials used in the processes of design and construction of building structures

The validity of the problem concerning the raw materials and products used in the construction industry is evidenced by the procedures and methods of the world's most popular multicriteria methods for certification of sustainable buildings, i.e. **LEED** – Leadership in Energy and Environmental Design and

W metodzie **LEED** (*Reference Guid*, 2008, 2013, 2020) główne kryteria oceny budynku to:

- integracja obiektu ze środowiskiem,
- efektywność gospodarki wodno-ściekowej,
- zużycie energii (energia i atmosfera),
- **jakość surowców i materiałów**,
- proekologiczność i komfort użytkowania,
- priorytety regionalne.

W kryterium dotyczącym **surowców i materiałów budowlanych** analizowane są uwarunkowania dotyczące:

- przeznaczenia pomieszczeń i opracowanie systemu do gromadzenia materiałów przeznaczonych do recyklingu,
- wykorzystanie, w przypadku modernizacji obiektu, istniejących ścian, stropów i dachu (punktowany jest zakres wykorzystania elementów konstrukcyjnych budowli),
- wykorzystanie materiałów niekonstrukcyjnych,
- właściwa gospodarka odpadami budowlanymi w aspekcie ich zmniejszenia,
- stosowanie materiałów o niskim udziale energii wbudowanej,
- ponowne wykorzystanie materiałów,
- wykorzystanie materiałów przetworzonych,
- użycie materiałów odnawialnych,
- użycie materiałów miejscowych,
- użycie do budowy materiałów certyfikowanych.

W metodzie **BREEAM** – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM 1/1990) główne kryteria to:

- zarządzanie,
- zdrowie i jakość życia,
- energia,
- transport,
- woda,
- **materiały** (12,5% wartości całości oceny),
- użytkowanie terenu i ekologia,
- zanieczyszczenia i odpady,
- innowacyjność.

W procesie projektowania uwzględniano szerokie spektrum oceny budynku. W kryterium dotyczącym **materiałów budowlanych** badano i oceniano charakterystykę ekologiczną stosowanych materiałów, źródło ich pochodzenia, zakres stosowania materiałów z recyklingu, jakość izolacji oraz jej odporność na zniszczenie, poziom energii wbudowanej.

Przy wyborze przykładów opracowanych projektów proekologicznych kierowano się zastosowaniem zróżnicowanych materiałów budowlanych wskazanych w dyskusji z przyszłymi i potencjalnymi użytkownikami budynków:

- niekonwencjonalnych materiałów, takich jak materiały wyprodukowane z makulatury,
- drewna klejonego krzyżowo w technologii CLT posiadającego istotne zalety ekologiczne,
- betonu ekologicznego.

BREAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method.

In the **LEED** method (*Reference Guide*, 2008, 2013, 2020), the main criteria for evaluation of buildings are:

- integration of the building with its environment,
- efficiency of water and wastewater management,
- energy consumption (energy and atmosphere),
- **quality of the raw materials and products used**,
- environmental performance and comfort of use,
- regional priorities.

In the criterion relating to **raw materials and building products**, the conditions analyzed concern:

- the intended use of the premises and the development of a system for collecting materials to be recycled,
- use of the existing walls, ceilings, and roof – in the case of an upgrade of the building (the extent of use of the structural elements of the building is scored),
- use of non-structural materials,
- proper management of construction waste in terms of its reduction,
- use of materials with low embedded energy,
- reuse of materials,
- use of recycled materials,
- use of renewable materials,
- use of local materials,
- use of certified materials for the construction.

In the **BREEAM** (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) (BREEAM 1/1990), the main criteria are:

- management,
- health and quality of life,
- energy,
- transport,
- water,
- **materials** (12.5% of the total score),
- land use and ecology,
- pollution and waste,
- innovativeness.

Pro-environmental performance of building materials is vital in the methodology of evaluating architectural objects as it affects the architectural form, internal space, comfort of building users., adequately to the materials used and the pro-ecological design solutions used.

The research method involves analyzing the environmental performance of building materials and sustainability assessment methods, such as LEED and BREAM, and formulating outcome-based conclusions and design assumptions as guidelines for project groups. It should be noted that the developed Sustainable Architecture Object Evaluation Model (Kamionka, 2019, p. 73) was used by students in the design process and to verify the theoretical assumptions with design practice.

4. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA MATERIAŁÓW PROEKOLOGICZNYCH

4.1. Zastosowanie materiałów budowlanych w budownictwie jednorodzinym na przykładzie projektu systemowej zabudowy jednorodzinnej proekologicznej z wykorzystaniem niekonwencjonalnych materiałów

W budownictwie mieszkaniowym jednorodzinym coraz większą rolę w zaspakajaniu potrzeb bytowych odgrywają tanie domy wykonywane przez wspólnoty mieszkaniowe z niekonwencjonalnych materiałów budowlanych.

W projekcie „Systemowej zabudowy proekologicznej z wykorzystaniem niekonwencjonalnych materiałów budowlanych”² – dokonano szerokiej analizy stosowania w indywidualnym budownictwie mieszkaniowym niekonwencjonalnych naturalnych materiałów budowlanych, takich jak: glina, słoma, konopie, coform (odpady organiczne), hy-fl (cegły z odpadów rolniczych) oraz materiałów niekonwencjonalnych stworzonych przez człowieka: byfusion (cegły plastikowe stworzone z odpadów z tworzyw sztucznych), world bottle (produkt z butelek plastikowych), newspaper wood (klejone pod ciśnieniem arkusze papieru) upm profi (kompozyt papiero-plastikowy formowany pod ciśnieniem), foamglass (materiał produkowany z odrzuconego kruszywa szklanego z recyklingu z dodatkami: piasku, dolomitu, wapienia, tlenku żelaza).

Do zastosowania w projekcie wybrano materiały wyprodukowane z makulatury, której znaczne odpady stanowią poważny problem ekologiczny i ekonomiczny. W Polsce zużywamy ok.143 kg/osobę (klimada2.ios.gov.pl) a marnujemy papier za około 200 mln zł (klimada2.ios.gov.pl).

4. EXAMPLES OF USE OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MATERIALS

4.1. The use of building materials in the construction of single-family houses illustrated using the example of a systemic environmentally friendly single-family housing project that uses unconventional materials

In single-family housing, low-cost houses made by housing communities from unconventional building materials are playing an increasingly important role in meeting the need for housing.

As part of the design of a “Systemic environmentally friendly single-family housing project that uses unconventional materials,”² an extensive analysis was carried out of the use in the construction of single-family houses of unconventional natural building materials such as clay, straw, hemp, coform (organic waste), hy-fl (bricks made of agricultural waste), and unconventional man-made materials such as byfusion (plastic bricks made of plastic waste), world bottle (a product made of plastic bottles), newspaper wood (pressure-glued sheets of paper), upm profi (a pressure-molded paper-plastic composite), foamglass (a material made of rejected recycled glass aggregate with additives such as sand, dolomite, limestone, and iron oxide).

Materials made from recycled paper, the significant quantities of which constitute a serious environmental and economic problem, were chosen for use in the design. In Poland, we use about 143 kg of this material per person (klimada2.ios.gov.pl) and we waste paper worth about 200 million zlotys (klimada2.ios.gov.pl).

II. 1. Moduły i elementy budowlane zastosowane w różnych systemach zabudowy (proj. student Grzegorz Krzemień)

III. 1. Building modules and elements, The use of the developed building material in different building systems (design by Grzegorz Krzemień, a student)

PROTOTYP PŁYTY ELEWACYJNEJ

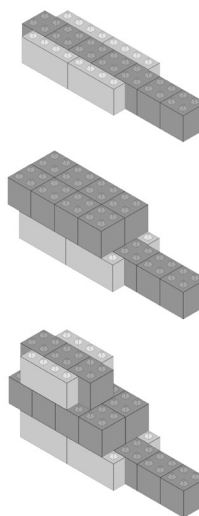


PROTOTYP CEGŁY PAPIEROWEJ

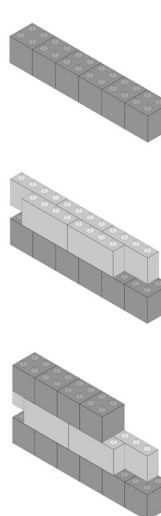


SPOSOBY UKŁADANIA CEGŁY W:

ŚCIANIE NOŚNEJ
O GRUBOŚCI 40CM



ŚCIANIE DZIAŁOWEJ
O GRUBOŚCI 20CM





II. 2. Widok budynku zrealizowanego z modularnych elementów wykonanych z makulatury (proj. student Grzegorz Krzemiń)

III. 2. A view of a building made from modules made of recycled paper (design by Grzegorz Krzemiń, a student)

II. 3. Osiedle mieszkaniowe zaprojektowane z utworzonych systemów (proj. student Grzegorz Krzemiń)

III. 3. A housing estate designed from the created system (design by Grzegorz Krzemiń, a student)



Elementy wyprodukowane z makulatury poddano wstępnym badaniom w laboratoriach Politechniki Świętokrzyskiej, uzyskując pozytywne wyniki (Dachowski, Kamionka, Gałek, 2019, s. 268-277). Opracowany system zabudowy utworzony został z lekkich elementów modułowych wykonanych z wykorzystaniem elementów konstrukcji drewnianej, głównie jako elementy nośne oraz elementów betonowych (płyta betonowa) do konstrukcji fundamentowych. W projekcie zastosowano współczesne rozwiązanie technologiczne dotyczące izolacji oraz infrastruktury technicznej. Kształt i wygląd budynku mógł być formułowany z utworzonych elementów w sposób elastyczny. Utworzone elementy i ich sposób układania pokazano na Il. 1, przykładowy budynek na Il. 2, a układ urbanistyczny powstałego osiedla na Il. 3.

4.2. Zastosowanie drewna krzyżowo klejonego w architekturze na przykładzie projektu „Bioklimatyczna jednostka modułarna jako dominanta przestrzenna dzielnicy Praga-Południe”

Elementy z drewna klejonego krzyżowo w technologii CLT – *Cross Laminated Timber* stanowią wielkowymiarowe panele składające się z kilku warstw drewna konstrukcyjnego. Ich krzyżowy układ zapewnia odpowiednią stabilność wymiarową, wytrzymałość oraz sztywność. Wyprodukowane płyty CLT składają się z warstw podłużnych i poprzecznych. Warstwy podłużne elementów ściennych ułożone są równoległe do działającej siły, natomiast w elementach stropowych i dachowych – do rozpiętości przęsła.

Drewno klejone krzyżowo posiada istotne zalety ekologiczne i z tego też powodu, uwzględniając sugestie potencjalnych użytkowników, materiał ten wybrano do zastosowania w projekcie. W procesie wytwarzania elementów konstrukcyjnych w technologii CLT nie są emitowane szkodliwe gazy ani substancje. Klej używany do scalania płyt jest wolny od niebezpiecznych pierwiastków. Ponadto drewno użyte do budowy konstrukcji jest naturalnym magazynem dwutlenku węgla – 1 metr sześcienny drewna CLT przechowuje 1-1,5 tony dwutlenku węgla (inżynierbudownictwa.pl). Również ściany w technologii CLT od wewnątrz można wyprodukować w jakości niewymagającej dodatkowych zabiegów wykończeniowych. Materiał ten może być wykorzystywany lokalnie i poddany recyklingowi. Drewno CLT jest materiałem energooszczędnym, zero emisyjnym, nie generuje śladu węglowego. Budynki konstrukcji CLT cechuje również mały ciężar konstrukcji oraz łatwość w przebudowie i modernizacji (Wdowiak, Broll, 2019, s.1-16).

Interesującą próbę zastosowania drewna klejonego krzyżowo w technologii CLT zaprezentowano w projekcie „Bioklimatyczna jednostka modułarna jako dominanta przestrzenna dzielnicy Praga-Południe. Projektowanie zrównoważone w kontekście architektury przyszłości”³. Przestrzeń obiekt wraz z towarzyszącą zielenią stanowią kłamrę i łańcuch spinający miejskie obszary zielono-ekologiczne dzielnicy Praga-Południe (Il. 5).

Zaprojektowany budynek w technologii CLT (Kamionka, Wdowiak-Postulak, Hajdenrajch, 2022, s. 49-51) został podzielony na elastyczne strefy funkcjonalne, zachowując równowagę pomiędzy środowiskiem przyrodniczym a zbudowaną tkanką miejską. Podstawowe

Products made from recycled paper underwent preliminary tests in the laboratories of the Kielce University of Technology with positive results (Dachowski, Kamionka, Gałek, 2019, pp. 268-277).

The structural system in question was made from lightweight modules composed of wooden structure elements, mainly as load-bearing ones, and concrete elements (a concrete slab) in the foundation structures. The design uses a contemporary technological solution for insulation and technical infrastructure. The shape and appearance of the building could be flexibly modified using the structural modules.

The modules and their arrangement are shown in Ill. 1, an example building – in Ill. 2, and the urban layout of the neighborhood – in Ill. 3.

4.2. The use of cross-laminated timber in architecture illustrated with the example of the design titled “Bioclimatic modular unit as a spatial dominant of the Praga-Południe district”

Cross Laminated Timber (CLT) components are large-size panels consisting of several layers of structural timber. Their cross-wise arrangement provides adequate dimensional stability, strength, and rigidity. CLT boards are composed of longitudinal and transverse layers. The longitudinal layers of the wall components are arranged parallel to the acting force, while those of the floor and roof components – parallel to the span. Cross-laminated wood has significant ecological advantages and taking into account the collected preference data, the material was selected for use in the project.

No harmful gases or substances are emitted in the process of manufacture of CLT components. The adhesive used to bind the boards contains no hazardous elements. In addition, the wood used to make the structure is a natural store of carbon dioxide: 1 cubic meter of CLT stores 1-1.5 tons of carbon dioxide (inżynierbudownictwa.pl). Also, walls made of CLT components can be made with inner sides of such quality that additional finishing is required. The material can be used locally and recycled. CLT is an energy-efficient, zero-emission material and does not have a carbon footprint. Buildings made of CLT are also characterized by low structural weight and are easy to remodel and upgrade (Wdowiak, Broll, 2019, pp. 1-16).

An interesting attempt to use CLT was presented in the design titled “Bioclimatic modular unit as a spatial dominant of the Praga-Południe district. Sustainable design in the context of architecture of the future.”³ In terms of space, the housing development and the surrounding greenery constitute a link between the urban green-ecological areas of the Praga-Południe district (Ill. 5). The building designed with the CLT technology (Kamionka, Wdowiak-Postulak, Hajdenrajch, 2022, pp. 49-51) was divided into flexible functional zones, while maintaining the balance between the natural environment and the built urban fabric. The primary functional zones of the building are a residential zone and a service zone. The structural layout of the building allows flexible interior design. A fixed part of the building is the circulation core that extends throughout the building’s height. The shape of the building allows the interior



II. 4. Bioklimatyczna Jednostka Modułarna z drewna klejonego krzyżowo w powiązaniu z przestrzenią otwartą, ekologiczną – zielony korytarz (proj. studentka A. Hajdenrajch).

III. 4. A Bioclimatic Modular Unit made of cross-laminated timber in connection with an open, environmentally-friendly space - a green corridor (design by A. Hajdenrajch, a student).



II. 5. Przekrój 3D przez budynek (proj. studentka A. Hajdenrajch)

III. 5. A 3D cross-section of the building (design by A. Hajdenrajch, a student)



II. 6. Widok budynku (proj. studentka A. Hajdenrajch)

III. 6. A view of the building (design by A. Hajdenrajch, a student)

funkcje budynku to strefa mieszkalna i usługowa. Układ konstrukcyjny umożliwia elastyczne kształtowanie wnętrza. Niezmienną częścią budynku jest trzon komunikacyjny na całej jego wysokości. Ukształtowanie budynku umożliwia przenikanie się przestrzeni wewnętrznej i zewnętrznej. Zieleń przenika do wnętrza budynku, stwarzając korzystne warunki funkcjonowania użytkowników. W obiekcie zastosowano niekonwencjonalne źródła energii w formie paneli fotowoltaicznych, pomp ciepła oraz małych turbin wiatrowych. Racjonalna gospodarka wodą polega na wykorzystaniu wody deszczowej do podlewania zieleni oraz zastosowaniu obiegu tzw. szarej

and exterior spaces to intermingle. The greenery penetrates inside the building and creates favorable conditions for the building's residents. The building uses non-conventional energy sources: photovoltaic panels, heat pumps, and small wind turbines. Rational water management involves the use of rainwater for watering the greenery and the use of the so-called "gray water" circulation. III. 4 shows the Bioclimatic Modular Unit made of cross-laminated timber in connection with an open, environmentally friendly space that forms a green corridor, III. 5 shows a 3D cross-section of the building, and III. 6 shows a view of the designed building.

wody. Na Il. 4 pokazano Bioklimatyczną Jednostkę Modułarną z drewna klejonego krzyżowo w powiązaniu z przestrzenią otwartą, ekologiczną tworzącą zielony korytarz, na Il. 5 przekrój 3D przez budynek, a na Il. 6 widok zaprojektowanego budynku.

4.3. Próba zastosowania betonu ekologicznego w architekturze na przykładzie projektu „Wielofunkcyjny kompleks miejski. Synergia w procesie projektowania”

Beton odgrywa istotną rolę w twórczości architektonicznej. Wielu wybitnych twórców zrealizowało swe dzieła wykonane w żelbecie, w betonie. Materiał ten mimo wielu znaczących zalet posiada też liczne wady. Produkcja betonu odpowiada za ok. 8% ilości CO₂ uwalnianego do atmosfery (chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2021-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf).

Podejmowane są próby poprawienia ekologiczności betonu. Finansowany przez UE projekt „ECO Binder” miał na celu opracowanie ekologicznego rozwiązania, które radykalnie zmniejszałoby ślad węglowy podczas produkcji betonu. Firma Lafarge jako pierwsza w Polsce wprowadziła na rynek beton zeroemisyjny i niskoemisyjny (lafarge.pl). Działania pozwalające na redukcję emisji CO₂ związanej z betonem to m.in. poprawa efektywności energetycznej podczas produkcji cementu oraz ograniczenie w składzie betonu cementu portlandzkiego i zastąpienie go materiałami o niskim śladzie węglowym, np. granulowanym żużlem wielkopieczowym (climatescience.org/pl/advanced-concrete-climate-sustainable). Dzięki temu beton może stać się bardziej ekologiczny.

W projekcie „Wielofunkcyjny kompleks miejski. Synergia w procesie projektowania.”⁴ podjęto próbę zastosowania takiego materiału. Projekt obejmuje zespół budynków (26- oraz 4-, 5- i 6-kondygnacyjnych) usytuowanych w śródmieściu Krakowa, na terenie silnie

4.3. An attempt to use environmentally friendly concrete in architecture illustrated with the example of the design titled “Multifunctional urban complex. Synergy in the design process.”

Concrete plays an important role in the work of an architect. Many prominent architects have designed structures made of reinforced concrete or concrete. Despite their numerous significant advantages, the materials also have significant disadvantages. Concrete production accounts for about 8% of the total CO₂ released into the atmosphere (chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2021-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf).

Attempts are being made to improve the environmental performance of concrete. The EU-funded “ECO Binder” project was intended to develop an environmentally-friendly solution that would dramatically reduce the carbon footprint of concrete production. Lafarge was the first company in Poland to market zero-emission and low-emission concrete (lafarge.co.uk). Measures to reduce CO₂ associated with concrete include improving the energy efficiency during cement production and reducing the content of Portland cement in concrete and replacing it with materials with a low carbon footprint, such as granulated blast furnace slag (climatescience.org/en/advanced-concrete-climate-sustainable). This allows concrete to become more environmentally friendly. In the project titled “Multifunctional urban complex. Synergy in the design process,”⁴ an attempt was made to use such a material. The project includes a complex of buildings (26-floor, as well as 4-, 5-, 6-floor buildings) located in the center of Cracow, in an area with a dense urban fabric, within walking distance (about 20 minutes) from the most important locations in the city. In the vicinity of the plot located

Il. 7. Wielofunkcyjny kompleks miejski w Krakowie z użyciem betonu niskoemisyjnego – kompleks w kontekście miasta (proj. studentka A. Krzemińska).

Ill. 7. A multifunctional city complex in Cracow built with the use of low-emission concrete - the complex shown in the context of the city (design by A. Krzemińska, a student)





II. 8. Wielofunkcyjny kompleks miejski w Krakowie z użyciem betonu niskoemisyjnego – widok od strony al. Powstania Warszawskiego (proj. studentka A. Krzemińska)

III. 8. A multifunctional city complex in Cracow built with the use of low-emission concrete - a view from Powstania Warszawskiego Avenue (design by A. Krzemińska, a student)

zurbanizowanym, położonym w niewielkiej odległości (ok. 20 minut pieszo) od najważniejszych punktów miasta. W sąsiedztwie działki zlokalizowanej w pobliżu ronda Grzegórzeckiego przebiega ważna oś urbanistyczna dzielnicy Grzegórzki. Po drugiej stronie al. Pokoju funkcjonuje biurowiec K1 („Błękitek”), będący drugim najwyższym budynkiem miasta oraz na osi al. Powstania Warszawskiego – najwyższy budynek Krakowa Unity Tower (dawniej „Szkieletor”).

Budynki kompleksu ukształtowano tak, aby tworzyły pierzeje przylegających ulic oraz ogólnodostępną przestrzeń wewnątrz działki wraz z przedpolem dla wysokościowca. Jedną z ambicji projektowych było utworzenie atrakcyjnych kierunków pieszych i aktywnych parterów, wzbogacających trasy ruchu i aktywizujących tereny sąsiednie. Projektując zabudowę i ciągi komunikacyjne, starano się zachować istniejący drzewostan i uzupełnić go poprzez utworzenie terenów wypoczynkowo-rekreacyjnych.

Budynek wysokościowy posiada funkcje mieszkalno-biurową z usługami i gastronomią w „podium”. W pozostałych budynkach kompleksu przeważa funkcja usługowa m.in. z lokalami gastronomicznymi zlokalizowanymi na parterze. Konstrukcję nośną budynków przewidziano jako żelbetową monolityczną, stąd w projekcie podjęto działania w celu zmniejszenia udziału rozwiązań materiałowych w produkcji CO₂ poprzez zastosowanie betonu niskoemisyjnego. Beton ten może być użyty do wszystkich elementów konstrukcji, począwszy od fundamentów, poprzez słupy, belki i stropy oraz ściany zewnętrzne i wewnętrzne, na okładzinach kończąc, czyli wszędzie tam gdzie ma zastosowanie zwykły beton towarowy (lafarge.pl/beton-niskoemisyjny-ecopact).

Ponadto założono zredukowanie samej ilości mieszanki

near the Grzegórzeckie traffic circle, there is an important urban-planning axis of the Grzegórzki district. On the other side of Pokoju Avenue there is the K1 (“Błękitek”) office building, which is the city’s second tallest building, and Cracow’s tallest building, the Unity Tower (formerly called “Szkieletor”), is located along Powstania Warszawskiego Avenue.

The buildings of the complex were shaped so as to form the frontage of the adjacent streets and the publicly accessible space inside the plot, along with a foreground for the high-rise building. One of the designers’ ambitions was to create attractive pedestrian pathways and active ground floors that would enriching the traffic routes and activate the neighboring areas. In designing the buildings and the circulation routes, the designers sought to preserve the existing trees and complement it by creating recreational and leisure areas.

The high-rise building has residential and office functions with services and catering in the “podium.” The remaining buildings of the complex have a predominantly commercial function with, among other things, catering establishments located on the first floor.

Because the load-bearing structure of the buildings is made of monolithic reinforced concrete, the project includes measures aimed to reduce the contribution of the materials to CO₂ emission by using low-emission concrete. This concrete can be used for all structural components, from foundations, through columns, beams, and ceilings, as well exterior and interior walls, to cladding – wherever ordinary ready-mixed concrete is used (lafarge.co.uk/low-emission-concrete-ecopact). Moreover, efforts were made to reduce the amount

betonowej w konstrukcji. W tym celu wykorzystano system pozwalający na zastąpienie znacznej części masy betonowej w płytach stropowych pustymi kulami z tworzonego tworzywa sztucznego, np. strop COBIAX (baumat.com.pl/realizacje/stadion-narodowy). Co więcej, dzięki takiemu rozwiązaniu zmniejsza się ciężar konstrukcji, który istotnie wpływa na przekroje elementów nośnych w budynkach wysokościowych.

W projekcie zastosowano elementy projektowania zrównoważonego poprzez właściwą konstrukcję przegród budowlanych, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii: fotowoltaika, turbiny wiatrowe, pompy ciepła, systemy rekuperacji. Dodatkowo płyta fundamentowa i pale, na których posadowiony jest kompleks, pełnią funkcję odbiorników ciepła dla pomp. Są to konstrukcje termoaktywne, a ich podwójna rola minimalizuje koszty instalacji gruntowego wymiennika ciepła.

W kompleksie przewidziano instalację do odzysku wody szarej oraz system wykorzystania wody deszczowej zbieranej z zielonych dachów z przeznaczeniem do podlewania roślin.

Działania te, jak również zastosowanie betonu ekologicznego w procesie budowy wpłyną na polepszenie walorów ekologicznych miasta.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Stosowanie w projektowaniu obiektów architektonicznych ekologicznych materiałów budowlanych wpływa korzystnie na jakość środowiska zbudowanego i jakość klimatu. W budownictwie jednorodzinnym, indywidualnym należy w większym stopniu wykorzystywać materiały niekonwencjonalne, odpadowe, które w znacznie większym stopniu powinny być poddawane recyklingowi

of concrete mix in the structure. To this end, a system was used to replace a significant part of the concrete in the floor slabs with hollow spheres made of recycled plastic, e.g. the COBIAX floor slab (baumat.com.pl/realizacje/stadion-narodowy). More importantly, this solution reduces the weight of the structure, which significantly affects the cross sections of the load-bearing components in high-rise buildings.

The design includes elements of sustainable design implemented through the proper construction of building partitions and envelope, and the use of renewable energy sources: photovoltaic panels, wind turbines, heat pumps, and recuperation systems. In addition, the foundation slab and the piles on which the complex is set act as heat receivers for the pumps. These are thermally efficient structures and their dual role minimizes the cost of installation of a ground heat exchanger.

The complex includes a gray water recovery system and a system for using rainwater collected from green roofs for watering plants.

These measures as well as the use of environmentally friendly concrete in the construction process will improve the city's ecological value.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The use of environmentally friendly building materials in the design of architectural structures has a positive impact on the quality of the built environment and the quality of the climate.

In the construction of detached single-family houses, greater use should be made of non-conventional waste-based materials, which should be recycled and reused for construction purposes to a much

II. 9. Wielofunkcyjny kompleks miejski w Krakowie z użyciem betonu niskoemisyjnego – schemat funkcji budynków (proj. studentka A. Krzemińska).

III. 9. A multifunctional city complex in Cracow built with the use of low-emission concrete - the functional diagram (design by A. Krzemińska, a student)

PROJEKT WIELOFUNKCYJNEGO KOMPLEKSU MIEJSKIEGO. SYNERGIA W PROCESIE PROJEKTOWANIA.



i powtórnie wykorzystywane dla celów budowlanych. Realizacja budynków powinna być możliwa metodą gospodarczą, o co wnosili wspólnoty mieszkaniowe. Próba zastosowania materiałów pochodzących z makulatury daje taką możliwość, wychodząc naprzeciw tym postulatam. Dyskusja przeprowadzona w gronie potencjalnych użytkowników zaprojektowanych budynków potwierdza celowość podjęcia próby analizy materiałowej i projektowania budynków z przebadanych materiałów odpadowych. Grupy biorące udział w dyskusji postulowały podjęcie prób realizacji projektu.

Stosowanie w budynkach średniowysokich i wysokich drewna klejonego krzyżowo charakteryzującego się dużymi walorami ekologicznymi niewątpliwie sprzyja podnoszeniu jakości środowiska zbudowanego. Zaprezentowany przykład Bioklimatycznej Jednostki Modularnej ilustruje takie możliwości. Dyskusja przeprowadzona w trakcie projektowania budynku i prezentacji projektu potwierdza celowość podjętych działań i chęć jego realizacji.

Eliminacja betonu, żelbetu ze współczesnej architektury jest aktualnie praktycznie niemożliwa. Dlatego stosowanie w coraz większym stopniu w projektach betonu ekologicznego do realizacji obiektów architektonicznych wpłynie korzystnie na walory środowiska zbudowanego. Zaprezentowany przykład Wielofunkcyjnego Kompleksu Miejskiego, jak również wnioski z dyskusji w trakcie prezentacji projektu mogą o tym świadczyć.

Istotnym działaniem dydaktycznym w procesie nauczania projektowania architektoniczno-urbanistycznego wśród studentów kierunku architektura jest rozpowszechnianie metod projektowania zrównoważonego. Przeprowadzone analizy i wykonane projekty potwierdzają słuszność przyjętych założeń projektowych bazujących na metodach oceny budynków w aspekcie zrównoważonego rozwoju.

Powyższe metody zastosowano również z sukcesem w procesie projektowaniu na uczelniach architektonicznych we Lwowie i w Kijowie (Abizov, Kamionka, red., 2022). Cel badań został potwierdzony – zastosowane metody wielokryterialnej oceny obiektów architektury, w aspekcie doboru i zastosowania materiałów budowlanych, takie jak LEED, BREEAM, jak również metoda autorska wpływają korzystnie na jakość środowiska zbudowanego i jakość funkcjonowania w nim człowieka. Przyczyniają się do wykorzystywania wtórnego materiałów odpadowych, do zmniejszenia tzw. śladu węglowego oraz otwierają przed architektami nowe możliwości twórcze. Architekt, stosując odpowiednie materiały budowlane, może dążyć do stworzenia wysokiej jakości przestrzeni architektonicznej poprzez formy ukształtowane adekwatnie do użytych materiałów. Zastosowanie materiałów odpadowych, niekonwencjonalnych, drewna w technologii CLT czy też konstrukcji żelbetowych z użyciem betonu ekologicznego ma znaczący wpływ nie tylko na uwarunkowania zrównoważonego rozwoju, ale także na komfort użytkowania i formę architektoniczną budynku.

greater extent. Future residents should be able to perform some of the construction work, as advocated by housing communities. An attempt to use materials made of recycled paper illustrates this possibility and meets these demands. The discussion held among possible users of the designed buildings confirms the advisability of an analysis of the materials and of designing buildings made from the studied waste materials. The groups participating in the discussion advocated trying to implement the design.

The use of cross-laminated timber, which is characterized by excellent environmental performance, in medium-height and tall buildings certainly improves the quality of the built environment. The presented example of a Bioclimatic Modular Unit illustrates such possibilities. The discussion held during the design of the building and the presentation of the design confirms the advisability of the actions taken and the intention to implement it.

Elimination of concrete and reinforced concrete from modern architecture is currently practically impossible. Therefore, an increased use of environmentally friendly concrete in architectural designs will have a positive impact on the qualities of the built environment. This is confirmed by the presented example of the Multi-Purpose Urban Complex, as well as the conclusions from the discussion held during the presentation of the design.

An important activity in the process of teaching architectural and urban-planning design to architecture students is the popularization of sustainable design methods. The analyses conducted and the designs prepared confirm the validity of the design assumptions adopted on the basis of the methods of evaluation of buildings in terms of sustainable development. These methods have also been successfully used in the design process at architectural universities in Lviv and Kiev (Abizov, Kamionka, eds., 2022).

The purpose of the research has been confirmed: the applied methods of multi-criteria evaluation of architectural structures - in terms of selection and use of building materials - such as LEED and BREEAM, as well as the authors' method, have a positive impact on the quality of the built environment and the quality of life for the people who live there. They contribute to the use of recycled waste materials and the reduction of the carbon footprint, and provide new creative possibilities for architects. Using appropriate building materials, an architect can create a high-quality architectural space through forms shaped adequately to the materials used. The use of waste, unconventional materials, CLT wood or reinforced concrete structures made of ecological concrete has a significant impact not only on the conditions for sustainable development, but also on the comfort of use and the architectural form of the building.

PRZYPISY / ENDNOTES

- ¹ Np. projekty wykonane na kierunku Architektura, Wydziału Budownictwa i Architektury, Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach w latach 2012–2022, projekty semestralne i dyplomowe.
- ² Projekt dyplomowy studenta G. Krzemienia nt. „Projekt systemowej zabudowy jednorodzinnej, proekologicznej z wykorzystaniem niekonwencjonalnych materiałów budowlanych” (opieka merytoryczna L. Kamionka), Politechnika Świętokrzyska, 2016.
- ³ Projekt dyplomowy studentki A. Hajdenraich nagrodzony II nagrodą w ogólnopolskim konkursie „Drewno w architekturze 2021” (opieka merytoryczna L. Kamionka), Politechnika Świętokrzyska.
- ⁴ Projekt opracowany przez studentkę Alicję Krzemińską (opieka merytoryczna L. Kamionka), Politechnika Świętokrzyska 2022.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Abyzov V., Kamionka L., red. 2022, *Формування збалансованого (сталого) архітектурного середовища. Кształtowanie zrównoważonego środowiska architektonicznego*. Monografia. Architektura 17, Kielce, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej.
- [2] Baranowski A., 1998, *Projektowanie zrównoważone w architekturze*, Gdańsk, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- [3] BREEAM 1/1990 An environmental assessment for New Office design, „Środowiskowa ocena nowych budynków biurowych”; BREEAM 2/1991 An environmental assessment for New superstores and supermarkets, „Środowiskowa ocena nowych budynków handlowych typu supermarket”; BREEAM 3/1991 An environmental assessment for new homes, „Środowiskowa ocena nowych domów jednorodzinnych”.
- [4] Dachowski R., Kamionka L., Gałek K., 2019, *Niekonwencjonalne materiały budowlane w ujęciu biplotowym*, Scientific Review. Engineering and Environmental Sciences. Vol. 28, Issue 2(84), 268-277.
- [5] Drapella-Hermansdorfer A. red., 2005, *Oblicza równowagi: architektura, urbanistyka, planowanie u progu międzynarodowej dekady edukacji na rzecz zrównoważonego rozwoju*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały, Wrocław.
- [6] Gil-Mastalerczyk J., 2020, *Architectural education in the formation of the built environment with sustainable features*, “World Transactions on Engineering and Technology Education”, t. 18, z. 2, 146-151.
- [7] Gil-Mastalerczyk J., 2019, *Creations of Modern Architecture Corresponding to the Landscape on the Example of Diploma Designs of Students of Architecture*, IOP Conference Series- Materials Science and Engineering, t. 471, 1-12.
- [8] Jagiełło-Kowalczyk M., 2017, *Zintegrowane projektowanie zrównoważone*, „Środowisko Mieszkaniowe. Housing Environment”, 19/2017, 80-186.
- [9] Jagiełło-Kowalczyk M., Żabicka A., 2017, *Enhancing transformative learning and innovation skills using remote learning for sustainable architecture design in Sustainability*, 1-33, www.ndpi.com/1050/14/7 (dostęp 14.09.2022).
- [10] Jagiełło-Kowalczyk M., 2021, *Investigating possibilities of developing self-directed learning in architecture students using design thinking*, Sustainability, 1-25.
- [11] Jagiełło-Kowalczyk M., 2019, *Dom zrównoważony – energooszczędny – ekologiczny – trwały*, Kraków.

- ¹ E.g. semester and diploma projects created in the field of Architecture at the Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology in Kielce between 2012 and 2022.
- ² Graduation design by G. Krzemień, a student, entitled “Design of a systemic environmentally friendly single-family housing project that uses unconventional materials” (substantive supervision by L. Kamionka), Kielce University of Technology, 2016.
- ³ Graduation design of A. Hajdenraich, a student, which won the second place in the national competition “Wood in architecture 2021” (substantive supervision by L. Kamionka), Kielce University of Technology.
- ⁴ Design prepared by Alicja Krzemińska, a student (substantive supervision by L. Kamionka), Kielce University of Technology, 2020.

- [12] Kamionka L., 2012, *Architektura zrównoważona i jej standardy na przykładzie wybranych metod oceny*, Monografie, Studia, Rozprawy M30, Politechnika Świętokrzyska, Kielce.
- [13] Kamionka L., 2021, *Architecture in a Sustainable Environment. The Future Begins Today*, Monography, Architecture 16, Kielce University of Technology, Kielce.
- [14] Kamionka L., Wdowiak-Postulak A., Hajdenraich A., 2022, *Nowoczesne budownictwo drewniane w technologii CLT na przykładzie budynku Bioklimatycznej Jednostki. Modularnej*, „Materiały Budowlane”, t. 2022, z. 3(595), 49-51.
- [15] Niezabitowska E., Masły D., red. 2007, *Ocena jakości środowiska zabudowanego i ich znaczenie dla rozwoju koncepcji budynku zrównoważonego*, Gliwice.
- [16] *Reference Guide*. Core & Shell Development. LEED. USGBC, June 2006, LEED 2008 for Core and Shell Development Rating System USGBC Member Approved November 2008; LEED Reference Guide for Building Design and Construction 2013, 2020.
- [17] Stawicka-Wałkowska M., 2001, *Procesy wdrażania zrównoważonego rozwoju w budownictwie*, Monografie, ITB, Warszawa.
- [18] Schneider-Skalska G., 2012, *Zrównoważone środowisko mieszkaniowe. Społeczne - oszczędne - piękne*, Kraków.
- [19] Wdowiak A., Brol, 2019, *Effectiveness of Reinforcing Bent Non-Uniform Pre-Stressed Glulam Beams with Basalt Fibre Reinforced Polymers Rods*, “Materials”, 12, 3141, 1-16.

ŹRÓDŁA INTERNETOWE / ONLINE RESOURCES

- [20] <https://www.baumat.com.pl/realizacje/stadion-narodowy/> (dostęp 14.09.2022).
- [21] <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2021-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf> (dostęp 14.09.2022).
- [22] <https://www.climate-science.org/pl/advanced-concrete-climate-sustainable> (dostęp 14.09.2022).
- [23] <https://www.inzynierbudownictwa.pl> (dostęp 28.09.2022).
- [24] <https://www.klimada2.ios.gov.pl> (dostęp 26.09.2022).
- [25] <https://www.lafarge.pl> (dostęp 14.09.2022).
- [26] <https://www.lafarge.pl/beton-niskoemisyjny-ecopact> (dostęp 14.09.2022).