



## **ENVIRONMENTAL IMPACT OF CONSTRUCTION. METHODS OF CONSCIOUS SHAPING ARCHITECTURE IN TERMS OF ECOLOGICAL SOLUTIONS**

### **WPŁYW BUDOWNICTWA NA ŚRODOWISKO. METODY ŚWIADOMEGO KSZTAŁTOWANIA ARCHITEKTURY POD KĄTEM ROZWIĄZAŃ EKOLOGICZNYCH**

**Jan Cudzik**

dr inż. arch.

Author's Orcid number: 0000-0002-8162-2447

**Jakub Kruk**

mgr inż. arch.

Author's Orcid number: 0000-0002-9868-4601

Politechnika Gdańska  
Wydział Architektury  
Katedra Architektury Miejskiej i Przestrzeni Nadwodnych

#### **ABSTRACT**

Shaping an ecologically conscious society is a process that also affects architecture. Currently, designers are eagerly looking for solutions that are beneficial in terms of carbon footprint. For the proper multi-criteria assessment and selection of adequate solutions, it is necessary to use appropriate tools such as, for example, the Life Cycle Assessment (LCA) method or the rules of ecological certification (BREEAM and LEED). The work presents a review of tools and methods for the objective selection of ecological solutions in the process of architectural design.

Key words: BREEAM, carbon footprint, environmental awareness, LCA, LEED, Life Cycle Assessment.

#### **STRESZCZENIE**

Kształtowanie świadomego w kontekście ekologii społeczeństwa jest procesem, który wpływa również na architekturę. Obecnie projektanci chętnie poszukują rozwiązań korzystnych pod względem śladu węglowego. W celu właściwej wielokryterialnej oceny i doboru adekwatnych rozwiązań niezbędne jest korzystanie z odpowiednich narzędzi takich jak na przykład metoda Life Cycle Assessment (LCA), czy reguł certyfikacji ekologicznej (BREEAM oraz LEED). W pracy dokonano przeglądu narzędzi i metod obiektywnego wyboru rozwiązań ekologicznych w procesie projektowania architektonicznego.

Słowa kluczowe: BREEAM, LCA, LEED, ślad węglowy, szacowanie cyklu życia, świadomość ekologiczna.

## 1. INTRODUCTION

Shaping a conscious society in the context of ecology and climate change is one of the key issues to take measures to reduce the negative impact of humans on the environment. According to Tadeusz Burger, ecological awareness is a set of information and beliefs about the natural environment and the perception of the relationship between the state and character of the natural environment and the conditions and quality of human life (Kwiatkiewicz A, Skiba M 2007, pp. 127-136). Jakub Frątczak defines ecological awareness as a form of social awareness, reflected in the experiences and thinking of individual people and in the socially functioning standards of understanding and valuing the natural environment (Kwiatkiewicz A, Skiba M 2007, pp. 127-136).

The constantly growing needs for the exploitation of natural resources and the relationship between human impact on the environment are among the key issues raised in social development strategies. The negative effects of anthropological activity may lead to a threat to the current functioning of humanity, and the importance of the situation is emphasized by the announcement by the European Parliament of the Climate Crisis (European Parliament, 2020). The growing ecological awareness is becoming wider and wider, and its building is a multi-generational mission. In 1987, the United Nations adopted the program "Our Common Future" developed by the World Commission on Environment and Development. The report included in this program dealt with the issue of sustainable development, and its result was the convening of the conference "Environment and Development" in 1992, which took place in Rio de Janeiro. Agenda 21 was adopted at the conference, which is an improvement of the provisions from 1987, the document was signed by 172 countries, including Poland (Banasik-Petri K 2018). The United Nations is constantly expanding its knowledge and updating strategies, striving to build sustainable development. The currently binding document is the Resolution adopted by the UN General Assembly on September 25, 2015 entitled "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development" (Transforming our world: Agenda for sustainable development 2030, 2015). In the field of architecture, the most important targets are:

Target 11: "Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable" touches directly on the role of architects and town planners (We are transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015).

Indirectly, the goals falling within the competences of architects may also include:

Target 6: "Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all"

Target 7: "Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all" (Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015).

Despite the general characteristics of the provisions in the document, it is easy to notice the role of architects in the process of building a sustainable future. Much more precise provisions on strategy building are contained in documents relating to a more specific area.

In 2018, the European Commission, in the document Climate neutrality by 2050, Strategic long-term vision of a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy, developed 7 main strategic elements (European Commission 2018):

- 1) *maximizing energy efficiency, including zero emission buildings;*
- 2) *maximizing the use of renewable energy sources (RES) and electricity to fully decarbonise Europe's energy supply;*
- 3) *adopting the principles of clean, safe and connected mobility;*
- 4) *a competitive EU industry and circular economy as key factors in reducing greenhouse gas emissions;*
- 5) *development of appropriate smart grid infrastructure and interconnection;*
- 6) *fully exploiting the advantages of the bioeconomy and creating the necessary carbon sinks coal.*
- 7) *tackling residual CO2 emissions through carbon capture and storage (CCS).*



The architects themselves also notice the problems of climate change, promoting pro-ecological solutions in the industry environment. The result of this is the action UK Architects Declare Climate and Biodiversity Emergency (UK Architects Declare Climate & Biodiversity Emergency, 2021), which takes an international character, having its counterparts in the form of declarations of architectural communities in various countries, including Poland - Polish Architects Declare Climate and Biodiversity Emergency (Polish Architects Declare Climate & Biodiversity Emergency, 2021). Changes in the construction industry are a response to the need to protect the environment and the recognition of the negative impact of the construction industry on the climate. Interestingly, the discussion on the chosen directions for the development of pro-ecological solutions is a stormy issue. The founding signatories of the British declaration, Norman Foster and Partners and Zaha Hadid, withdrew from the declaration after the wave of criticism that fell on the studios after the publication of the projects, respectively The Red Sea Airport (Saudi Arabia) and Western Sydney Airport (Australia). After departing from the declaration, Sir Norman Foster issued a statement:

*Foster + Partners has withdrawn from Architects Declare because, since our founding in 1967, we have pioneered a green agenda and believe that aviation, like any other sector, needs the most sustainable infrastructure to fulfil its purpose* (Deezen, 2020). The lack of a consistent direction for the development of architecture in the field of pro-ecological and sustainable solutions may lead to further conflicts. The role of architects is to look for optimal options, instead of inhibiting the development of solutions rooted in the users' consciousness. It is important to find a balance between the needs of society and the needs of the environment.

## 2. METHOD

The study aimed to demonstrate the impact of construction on the environment and to review information on the main factors causing the negative impact of architecture on the climate. Collecting information on the growing ecological awareness, visible on various levels of public debate, and relating it to the context of issues and challenges related to architectural design. The comparative analysis focuses on the compilation of two multi-criteria certification systems for green building: LEED and BREEAM. This review is enriched with a description of the Life Cycle Assessment (LCA) method, which is one of the basic innovative tools for determining the impact of a building, with a breakdown into individual phases of a building's life. LCA analysis is one of the basic methods used in the design process for objects applying for the described certification.

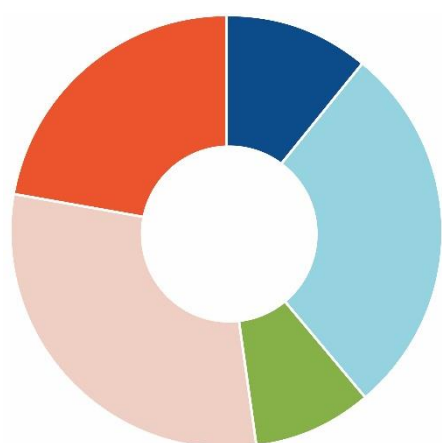
## 3. ENVIRONMENTAL IMPACT OF CONSTRUCTION

Modern construction harms the environment. Research indicates that this is a segment of the economy that accounts for 39% of global CO<sub>2</sub> emissions, of which 11% are emissions generated by the production of building materials, and 28% are emissions resulting from the operation of existing buildings (Cierpisz M 2019). Thus, a significant correlation is visible as to how the way of using objects, including heating households, affects the environment. This data can also be translated into the production of the carbon footprint, which is one of the most meaningful ways of determining human impact on the environment.

The concept of carbon footprint, despite its more frequent use, is difficult to define unequivocally, the differences in defining depend on which gases emitted by human activities should be included in the carbon footprint assessment (Kijewska A 2017 pp. 169-177). Most often, greenhouse gas emissions according to the Kyoto protocol are taken into account (ibid.). The protocol on greenhouse gas emissions and reduction was adopted in 1997 and entered into force on February 16, 2005 (United Nations Climate Change Conference Poznań 2008). To date, it has been ratified by 183 countries, including Poland (United Nations Climate Change Conference Poznań 2008). Using the criteria included in the document, the carbon footprint is defined as the total amount of CO<sub>2</sub>e and other greenhouse gas emissions with the emissions resulting from the product life cycle, including its storage and disposal (Kijewska A 2017 pp. 169-177). In the context of the life cycle of a building, data related



to the participation of construction in the process of global CO<sub>2</sub> production can be translated into two types of carbon footprint: built-in and related to the use phase of the facility.



global CO<sub>2</sub> emissions by industries [%]  
globalna emisja CO<sub>2</sub> w podziale na branże [%]



Fig. 1. Global CO<sub>2</sub> emissions by industries. Source: Own study based on Kijewska A 2017, p. 169-177

Ryc. 1. globalna emisja CO<sub>2</sub> w podziale na branże. Źródło: Opracowanie własne za: Kijewska A 2017, s. 169-177



the construction industry is responsible for 39 percent of CO<sub>2</sub> emissions  
branża budowlana odpowiada za 39 proc emisji CO<sub>2</sub>



Fig. 2 Global CO<sub>2</sub> emissions by industries. Source: Own study based on Szafran R 2020

Ryc. 2 globalna emisja CO<sub>2</sub> w podziale na branże. Źródło: Opracowanie własne za: Szafran R 2020

The primary carbon footprint can be divided into two subgroups: the production phase of building materials and the construction phase. The use phase carbon footprint also falls into two categories. The use phase is related to the time of explaining the object, while the end-of-life phase is the amount of energy needed to demolish the building and re-process (if possible) its components (Cudzik J., 2015, pp. 15-22). According to estimates, buildings use 3 billion tons of primary raw materials annually and are a source of waste, in the United States, waste resulting from the construction of new facilities and demolition is estimated at nearly 136 million tons, thus occupying 40% of the total area of landfills (Banasik-Petri K 2018). Therefore, the key is to use appropriate solutions that can be reused to a large extent. Choosing the right materials becomes therefore a key issue affecting the eco-friendliness of projects. David Benjamin, in his book *Embodied Energy and Design*, compared the impact of traditional construction with passive construction, which uses highly recycled building materials. By analyzing the objects only at the level of the use phase and the end of life phase, passive architecture significantly reduces the impact of its impact on the environment, compared to its traditional counterpart. At the level of material production and the construction process, a smaller carbon footprint is produced in the case of traditional architecture (Benjamin D 2017). Despite the overall lower environmental impact of a passive facility, the solution promoted as pro-ecological in the energy balance does not differ as much as it might initially seem from a traditionally constructed facility. This is due to, among others, increased thermal insulation, which reduces heat losses and reduces the effects of overheating the object, but the amount of energy needed to produce commonly used thermal insulation materials is large.

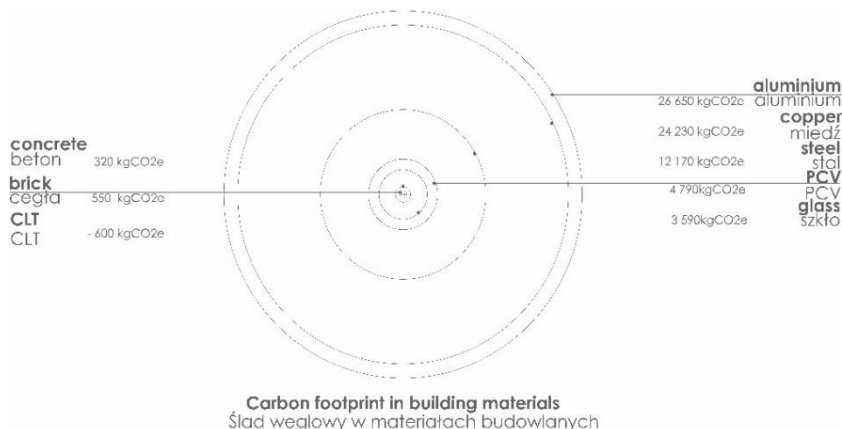


Fig. 3. Carbon footprint in building materials. Own study based on fcbstudios,carbonunits 2021

Ryc. 3. ślad węglowy wybranych materiałów Źródło (fcbstudios,carbonunits 2021), opracowanie własne

The distribution of materials commonly used in construction shows how energy-intensive production is. Materials of natural origin, such as e.g. wood, have a negative carbon footprint. This is because the tree absorbs more carbon dioxide than the emissions associated with processing it into a building material. The adopted material solutions should be applied based on a specific object, because improper design assumptions and inadequate adaptation of technology may bring about the opposite result than intended.

#### 4. LCA METHOD

In order to minimize the negative effects of the construction industry, a number of methods have been introduced to forecast the environmental impact of facilities and materials used. Such tools include the LCA (Life Cycle Assessment) method. treated as the so-called analysis from the cradle to the grave.

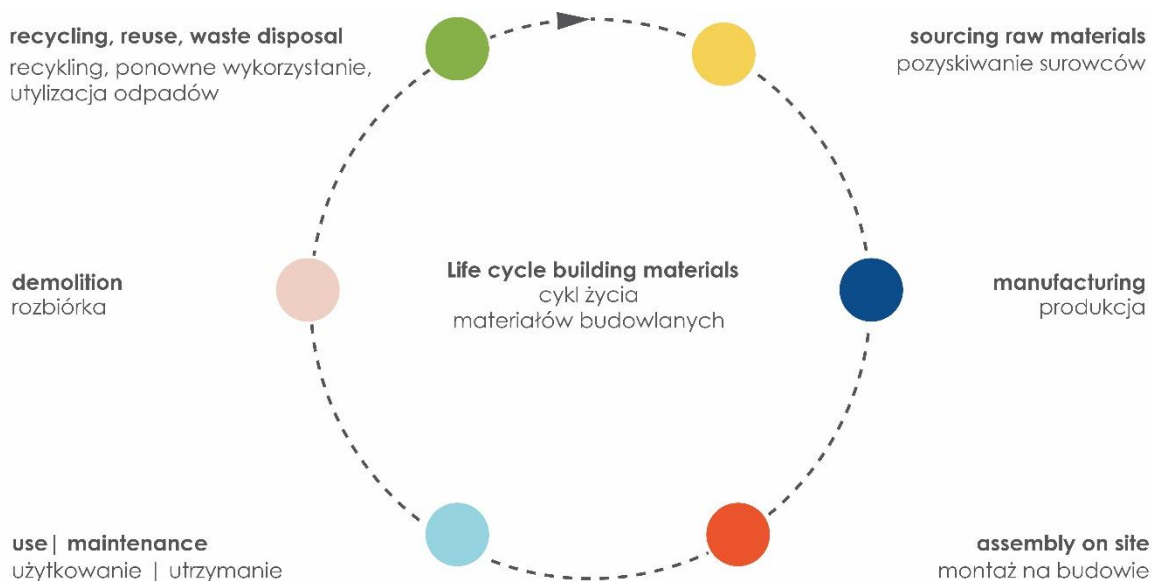


Fig. 4. Life cycle building materials . Source: Own study

Ryc. 4. Cykl życia materiałów budowlanych. Źródło: Opracowanie własne

Polish legislation regulates the issues related to the LCA method. Following the PN-EN 15978: 2012 standard, this analysis is based on the division of the process of a given investment into its stages (phases) (Cierpisz M 2019). Product phase A1-A3 (Fig. 5) - includes CO<sub>2</sub> emissions resulting from the extraction of raw materials and their transport to the place of material production, as well as during the processing of raw materials into a building material. Construction phase (A4 and A5) (Fig. 5) is a process involving the transport of materials and the construction of the facility. Use phase (B1-B7) (Fig. 5) takes into account the lifetime of the object and the materials themselves, while the end-of-life phase (C1-C4) (Fig. 4) begins with the decommissioning of the facility (Cierpisz M 2019). External influences (D) (Fig. 5) - the process of demolition of the facility as a source of material recovery and re-use. The share of each phase in the amount of produced carbon dioxide is directly dependent on the adopted material solutions. Considering the facility's life cycle of 60 years, the dominant phase is the use phase of B1-B7, which accounts for 82.3% of the carbon footprint production (Cierpisz M 2019). The traditional technology design shows the negative impact of concrete on the environment, which is currently one of the main construction and building materials (Fig. 5).

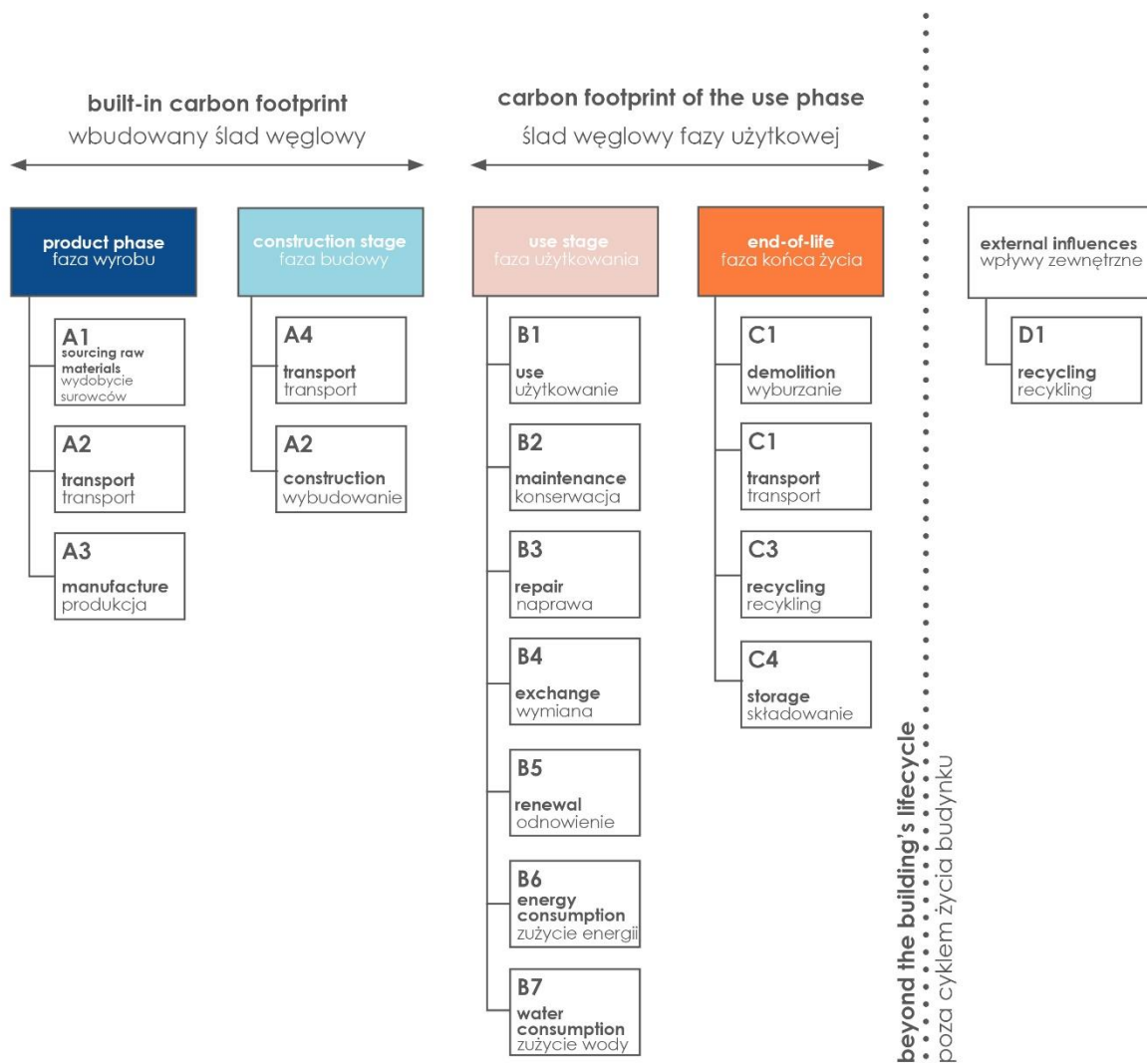


Fig. 5. Life phases according to the LCA method. Source: Own study based on Cierpisz M 2019

Ryc. 5. Fazy życia wg metody LCA. Źródło: Opracowane własne za: Cierpisz M 2019

The tendency focusing on reducing the final energy demand, defined as the energy needed to heat, cool and light buildings, is often based on energy-intensive solutions in the production process itself (Futrak M, Ciula M, 2020, p. 17). The adopted state of the art for the development of "zero-energy" architecture is based on highly processed materials, such as glass, steel or concrete, but the amount of primary energy exceeds the solutions available locally and low-processed.

The LCA method allows for a flexible approach to the impact of both the object itself and the materials consisting of it. Calculators and programs related to this method can be coupled with BIM tools through various plugins, thanks to which, during the design process, assumptions are corrected and optimized to find the most appropriate solutions at each of the above-described stages. LCA calculators allow for an insight into the entire process, including the possibility of decomposing the outflow of assumptions into particular phases of the building's life cycle. It is at the design and construction stage that the key decisions affecting the environmental performance of the facility are made, and the tools available on the market also allow for an initial assessment according to multi-criteria certification programs.

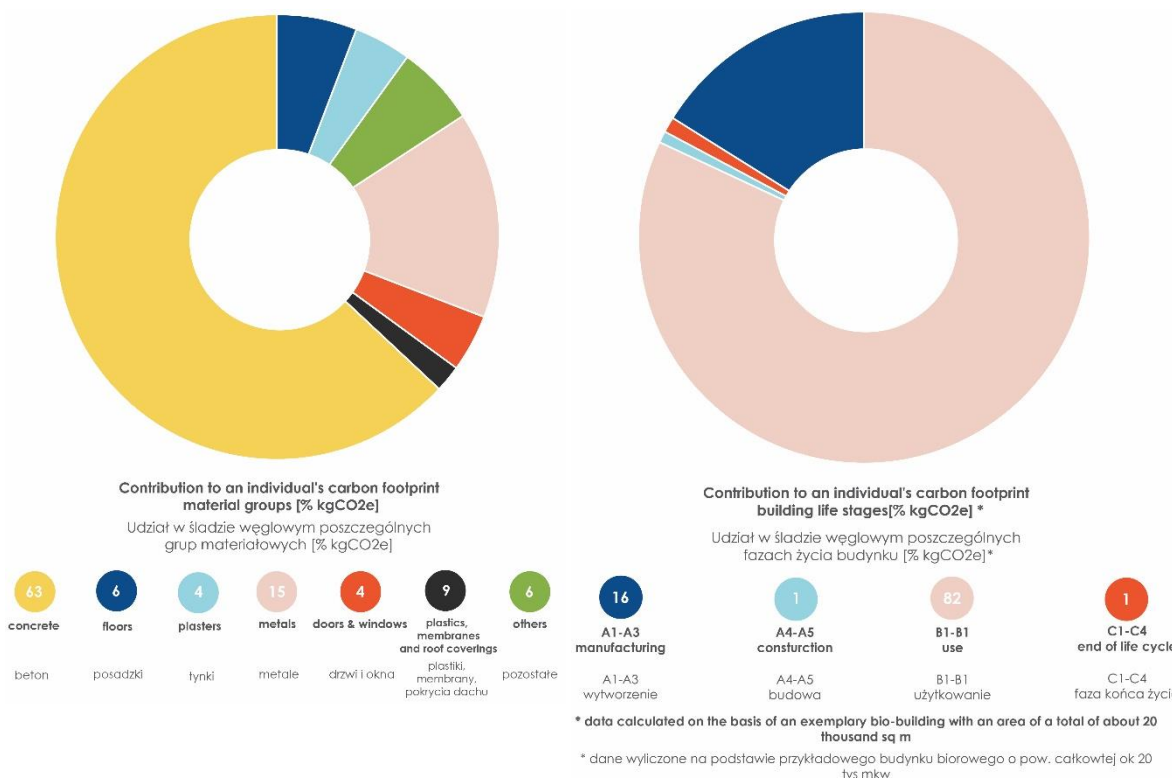


Fig. 6. Contribution of building materials to the production of carbon footprint Source: Own study based on Cierpisz M, 2019

Ryc. 6. Udział materiałów budowlanych w produkcji śladu węglowego Źródło: Opracowanie własne za: Cierpisz M, 2019

Fig. 7. Percentage share of the various life phases of a building in the production of the carbon footprint. Source: Own study based on Cierpisz M 2019

Ryc. 7. Procentowy udział poszczególnych faz życia budynku w produkcji śladu węglowego Źródło: Opracowanie własne za: Cierpisz M, 2019

Development of environmental declarations and standards such as environmental assessment according to PN-EN 15978: 2012 or the standard of environmental product declaration PN-EN 15804 + A1: 2014 is the starting point in the design process, it is also important to note the fact that a well-

designed facility is a technical solution which should be accepted from the social point of view throughout its life cycle (Celińska-Mysław M, Wiatr T 2018, p. 2).

## 5. MULTICRITERIAL DESIGN APPROACH

The design process and then the evaluation of the results in the form of a ready design is a multi-disciplinary issue. The basic criteria taken into account in the assessment of a sustainable project are: plot development / greenery; mobility; sustainable use of the facility; design solutions: construction, materials, details; energy efficiency and installations; health and climate (Jurkiewicz P., 2020).



Fig. 8. criteria for assessing facilities in terms of environmental performance, Source: Own study based on Jurkiewicz P, 2020  
Ryc. 8. kryteria oceny obiektów pod kątem ekologiczności, Źródło: Opracowanie własne na podstawie Jurkiewicz P, 2020

To objectively and uniformly assess ecological solutions, various certification programs have been introduced, which are characterized by a holistic approach to the subject. The multi-criteria systems for assessing the environmental impact of buildings and methods for their classification were introduced in 1990 (Jaczewski M 2013, pp. 44-47). It was then that the BREEAM assessment method was used in Great Britain. Currently, it is successfully used in many countries, including Poland. A competitive solution is the US LEED method (Jaczewski M., 2013, pp. 44-47). It should be remembered that having certification does not mean that a building is a model solution in the field of ecology. Both systems have a different way of scoring the issues, and the components influence the assessment. They extend the basic, above-mentioned criteria, of ecological evaluation presented in tables 1 and 2. In both cases, a qualified representative with certification authority (BREEAM Assessor / LEED Accredited Professional) takes part in the evaluation process. In the case of the LEED system, the grades awarded in individual categories are calculated directly, and the BREEAM grading system is much more complicated. Each category, apart from points, has its conversion factor. Points are calculated from the formula:

$$\left( \frac{p}{p_{max}} \cdot 100\% \right) \cdot w$$

$p$  – points earned in a given category;

$p_{max}$  – the maximum number of points that can be obtained in a given category;

$w$  – weight of the grade.



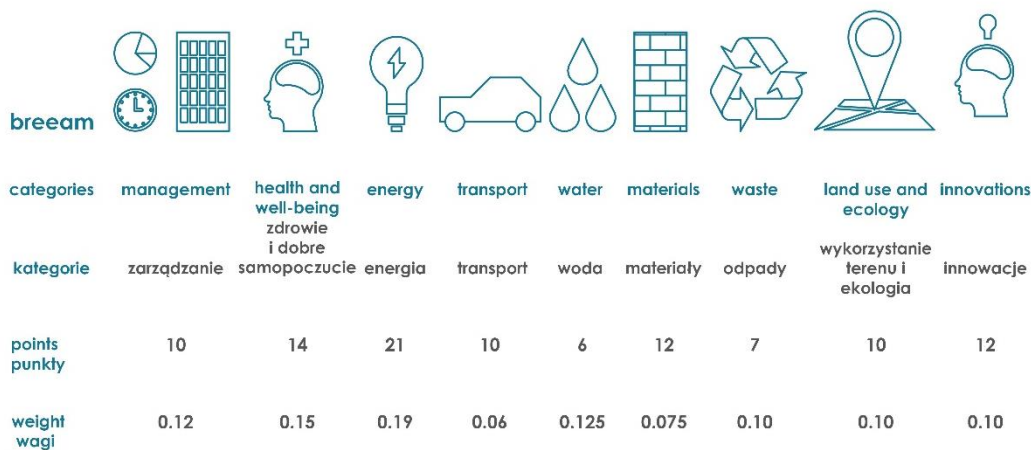


Fig. 9. Criteria for assessing facilities in terms of environmental performance according to the BREEAM system. Source: Own study

Ryc. 9. Kryteria oceny obiektów pod kątem ekologiczności wg systemu BREEAM, Źródło: Opracowanie własne

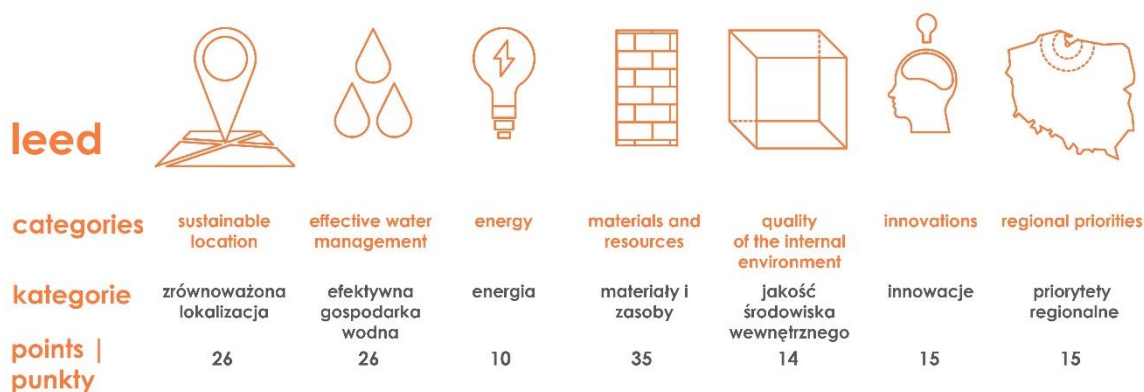


Fig. 10. Criteria for assessing facilities in terms of environmental performance according to the LEED system. Source: Own study

Ryc. 10. Kryteria oceny obiektów pod kątem ekologiczności wg systemu LEED, Źródło: Opracowanie własne

Tab. 1. List of point thresholds and certification levels for BREEAM and LEED certificates. Source:(BREEAM, 2018) (LEED, 2018)

BREEAM		LEED	
Score	Percentage	Score	Points range
Pass	>30%	Certified	40-49
Good	>45%	Silver	50-59
Very good	>55%	Gold	60-79
Excellent	>75%	Platinum	90-110
Outstanding	>80%		

## 6. RESULTS

The problem of designing and comparing various solutions in the field of, for example, construction, are the properties of the given elements. In the case of the combination of CLT and reinforced concrete structures, it is necessary to select the appropriate spans and sections of structural elements, resulting directly from the construction properties, as well as issues related to fire protection. Elements made of glued-laminated wood, despite a smaller carbon footprint resulting from, inter alia, the ability to absorb CO<sub>2</sub> by trees, require the selection of appropriately larger interlocks, due to the provision of an appropriate cover for the shank of the structural element. Therefore, choosing the objectively best variant results in creating two projects in the analytical part and comparing them with each other. An additional issue worth considering is the rational selection of solutions, taking into account the cost and feasibility of the selected technology, due to the number of local contractors.

The aspect of ecological design should be treated holistically, as a conscious process of making choices. The newly created project, no matter how much ecological solutions it contains, will generate a carbon footprint. Multicriteria ecological assessment systems for the new promises allow for the selection of appropriate solutions. The question worth considering is whether it is necessary to create so many new objects. The LCA method may refer directly to the individual components of a building, but the very idea of introducing it into architecture should be transferred to the macro scale. Adaptation of the existing tissue in the architectural and urban scale allows for the reduction of the carbon footprint produced most effectively by using the existing infrastructure. Activities in the field of re-use of buildings and the renovation of neglected districts allow to limit the growth of the city, the need to build new infrastructure and social development, i.e. factors that fall outside the scope of the discussed multi-criteria environmental assessment systems.

## WPŁYW BUDOWNICTWA NA ŚRODOWISKO. METODY ŚWIADOMEGO KSZTAŁTOWANIA ARCHITEKTURY POD KĄTEM ROZWIĄZAŃ EKOLOGICZNYCH

### 1. WSTĘP

Kształtowanie świadomego społeczeństwa w kontekście ekologii oraz zmian klimatycznych jest jedną z kluczowych kwestii w celu podjęcia działań ograniczających negatywny wpływ człowieka na środowisko. Według Tadeusza Burgera świadomość ekologiczna jest zespołem informacji i przekonań na temat środowiska przyrodniczego oraz postrzeganiem związków między stanem i charakterem środowiska przyrodniczego a warunkami i jakością życia człowieka (Kwiatek A., Skiba M., 2017, s. 127-136). Jakub Frątczak definiuje świadomość ekologiczną jako formę świadomości społecznej, odzwierciedlająca się w przeżyciach i myśleniu poszczególnych osób oraz funkcjonujących społecznie normach rozumienia i wartościowania środowiska przyrodniczego (Kwiatek A., Skiba M., 2017, s. 127-136).

Stale rosnące potrzeby eksploatacji zasobów naturalnych oraz relacja oddziaływania człowieka na środowisko są jednymi z kluczowych zagadnień poruszanych w strategiach rozwoju społecznego. Negatywne skutki działalności antropologicznej mogą doprowadzić do zagrożenia dotychczasowego funkcjonowania ludzkości, a rangę sytuacji podkreśla ogłoszenie przez Parlament Europejski Kryzysu Klimatycznego (Parlament Europejski, 2020). Rosnąca świadomość ekologiczna zakrawa o coraz to szersze kręgi a jej budowanie jest misją wielopokoleniową. W 1987 roku Organizacja Narodów Zjednoczonych uchwaliła program opracowany przez Światową Komisję ds. Środowiska i Rozwoju „Nasza wspólna przyszłość”. Raport zawarty w tym programie poruszał kwestię zrównoważonego rozwoju, a jego pokłosiem było zwołanie konferencji „Środowisko i Rozwój” w 1992, która



odbyła się w Rio de Janeiro. Na konferencji uchwalono Agendę 21, która jest udoskonalaniem zapisów z 1987 roku, dokument został podpisany przez 172 kraje, w tym Polskę (Banasik-Petri K., 2018). ONZ stale rozbudowuje wiedzę oraz aktualizuje strategie dążąc do budowania zrównoważonego rozwoju. Aktualnie obowiązującym dokumentem jest Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne ONZ w dniu 25 września 2015 roku pod tytułem „Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030” (Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030, 2015). Z zakresu architektury, najistotniejszymi celami są:

*Cel 11: „Uczynić miasta i osiedla ludzkie bezpiecznymi, stabilnymi, zrównoważonymi oraz sprzyjającymi włączeniu społecznemu” bezpośrednio dotyczy zagadnień związanych z rolą architektów oraz urbanistów (Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030, 2015).*

Pośrednio zaś do celów leżących w kompetencjach architektów można zaliczyć również:

*Cel 6: „Zapewnić wszystkim ludziom dostęp do wody i warunków sanitarnych poprzez zrównoważoną gospodarkę zasobami wodnymi”*

*Cel 7: „Zapewnić wszystkim dostęp do źródeł stabilnej, zrównoważonej i nowoczesnej energii po przystępnej cenie” (Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030, 2015).*

Mimo ogólnej charakterystyki zapisów w dokumencie, łatwo zauważyć rolę architektów w procesie budowy zrównoważonej przyszłości. O wiele bardziej sprecyzowane zapisy w kwestii budowania strategii są zawarte w dokumentach odnoszących się do bardziej skonkretyzowanego obszaru.

W 2018 roku Komisja Europejska w dokumencie Neutralność klimatyczna do 2050 r Strategiczna długoterminowa wizja zamożnej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki UE opracowała 7 głównych elementów strategicznych (Komisja Europejska 2018):

- 1) *maksymalizacja efektywności energetycznej, w tym budynki o zerowej emisji;*
- 2) *maksymalizacja wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz elektryczności do pełnej dekarbonizacji dostaw energii w Europie;*
- 3) *przyjęcie zasad czystej, bezpiecznej i połączonej mobilności;*
- 4) *konkurencyjny przemysł UE i gospodarka obiegowa jako kluczowe czynniki redukcji emisji gazów cieplarnianych;*
- 5) *rozwój odpowiedniej inteligentnej infrastruktury sieciowej i wzajemnych połączeń;*
- 6) *pełne wykorzystanie zalet biogospodarki i stworzenie niezbędnych pochłaniaczy dwutlenku węgla;*
- 7) *rozwiązanie problemu pozostałych emisji CO<sub>2</sub> za pomocą wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS).*

Problemy zmian klimatycznych również zauważają sami architekci, promując rozwiązania proekologiczne w środowisku branżowym. Pokłosiem tego jest akcja UK Architects Declare Climate and Biodiversity Emergency (UK Architects Declare Climate & Biodiversity Emergency, 2021), która przybiera międzynarodowy charakter, mając swe odpowiedniki w postaci deklaracji środowisk architektonicznych w różnych krajach, w tym w Polsce – Polish Architects Declare Climate and Biodiversity Emergency (Polish Architects Declare Climate & Biodiversity Emergency, 2021). Zmiany w budownictwie są odpowiedzią na potrzebę ochrony środowiska oraz dostrzeżeniem negatywnego wpływu branży budowlanej na klimat. Co ciekawe dyskusja na temat obranych kierunków rozwoju proekologicznych rozwiązań jest kwestią burzliwą. Sygnatariusze założyciele brytyjskiej deklaracji, pracownice Norman Foster and Partners oraz Zaha Hadid, wycofali się z deklaracji po fali krytyki, która spadła na pracownice po opublikowaniu projektów, odpowiednio The Red Sea Airport (Arabia Saudyjska) oraz Western Sydney Airport (Australia). Po odejściu od deklaracji Sir Norman Foster wydał oświadczenie:

„Foster + Partners wycofało się z deklaracji architektów, ponieważ od momentu powstania w roku 1967. Jesteśmy pionierami w realizacji programu ekologicznego i wierzymy, że lotnictwo, jak każdy inny sektor, potrzebuje najbardziej zrównoważonej infrastruktury, aby spełnić swój cel” (Ravenscroft,



2020). Brak spójnego kierunku rozwoju architektury w dziedzinie proekologicznych i zrównoważonych rozwiązań może doprowadzić do kolejnych konfliktów. Rolą architektów jest szukanie optymalnych opcji, zamiast hamować rozwój zakorzenionych w świadomości użytkowników rozwiązań. Istotne jest znalezienie złotego środka pomiędzy potrzebami społeczeństwa a potrzebami środowiska.

## 2. METODYKA

Celem pracy wykazanie wpływu budownictwa na środowisko oraz przegląd informacji na temat głównych czynników powodujących negatywne oddziaływanie architektury na klimat. Zebranie wiadomości na temat rosnącej świadomości ekologicznej, widocznej na różnych płaszczyznach debaty publicznej oraz odniesienie tego do kontekstu zagadnień i wyzwań związanych z projektowaniem architektonicznym. Analiza porównawcza skupia się na zestawieniu dwóch systemów wielokryterialnej certyfikacji dla budownictwa ekologicznego: LEED oraz BREEAM. Przegląd ten jest wzbogacony o opis analizy metody Life Cycle Assessment (LCA), która jest jednym z podstawowych nowatorskich narzędzi określających oddziaływanie budynku, z wyodrębnieniem na poszczególne fazy życia budynku. Analiza LCA jest jedną z bazowych metod wykorzystywanych w procesie projektowym dla obiektów ubiegających się o opisywane certyfikacje.

## 3. WPŁYW BUDOWNICTWA NA ŚRODOWISKO

Współczesne budownictwo wywiera negatywny wpływ na środowisko. Badania wskazują, że jest to segment gospodarki, który odpowiada za 39 % globalnej emisji CO<sub>2</sub>, z czego 11% to emisja utworzona w wyniku produkcji materiałów budowlanych, natomiast 28 procent, to emisja powstała w wyniku funkcjonowania istniejących budynków (Cierpisz M 2019). Widoczna jest zatem istotna zależność, jak sposób użytkowania obiektów, w tym ogrzewanie gospodarstw domowych, wpływa na środowisko. Dane te można przełożyć również na produkcję śladu węglowego, który jest jednym z najbardziej miarodajnych sposobów określania oddziaływania człowieka na środowisko.

Pojęcie śladu węglowego, pomimo powszechnego stosowania, ciężko jednoznacznie zdefiniować, różnice w definiowaniu są zależne od tego jakie gazy emitowane przez działalność człowieka powinny być uwzględnione w ocenie śladu węglowego (Kijewska A 2017 s.169-177). Najczęściej uwzględnia się emisję gazów cieplarnianych wg protokołu Kyoto (tamże). Protokół w sprawie emisji oraz redukcji gazów cieplarnianych został przyjęty w 1997 roku a wszedł w życie 16 lutego 2005 roku (United Nations Climate Change Conference Poznań 2008). Do dnia dzisiejszego został ratyfikowany przez 183 kraje, tym Polskę (United Nations Climate Change Conference Poznań 2008). Przyjmując kryteria zawarte w dokumencie, ślad węglowy definiuje się jako całkowitą ilość emisji CO<sub>2</sub>e i innych gazów cieplarnianych w odniesieniu do emisji wynikającej z cyklu życia produktu, włączając jego składowanie i unieszkodliwianie (Kijewska A 2017 s.169-177). W kontekście cyklu życia budynku, można przełożyć dane związane z udziałem budownictwa w procesie globalnej produkcji CO<sub>2</sub> na dwa rodzaje śladu węglowego: wbudowanego oraz związanego z fazą użytkowania obiektu.

Ślad węglowy pierwotny można podzielić na dwie podgrupy: fazę wyrobu materiałów budowlanych oraz fazę budowy. Ślad węglowy fazy użytkowej również dzieli się na dwie kategorie. Faza użytkowania związana jest z czasem eksploatacji obiektu, natomiast faza końca życia to ilość energii potrzebna do rozbiórki budynku oraz ponownego (jeśli to w ogóle możliwe) przetworzenia elementów składowych (Cudzik J 2015, s.15-22). Według szacunków, budynki rokrocznie zużywają 3 mld ton surowców pierwotnych oraz są źródłem powstawania odpadów, w Stanach Zjednoczonych odpady powstałe w wyniku budowy nowych obiektów oraz rozbiórek szacowane są na blisko 136 mln ton, zajmując tym samym 40% całkowitej powierzchni składowisk (Banasik-Petri K 2018). Kluczowym zatem jest stosowanie odpowiednich rozwiązań, mogących w dużym stopniu ulec ponownemu wykorzystaniu.

Dobranie odpowiednich materiałów staje się zatem kluczowym zagadnieniem, wpływającym na ekologiczność projektów. David Benjamin w swojej książce pod tytułem „Embodied Energy and Design”

porównał wpływ tradycyjnego budownictwa z budownictwem pasywnym, w którym wykorzystano wysoce przetworzone materiały budowlane. Analizując obiekty tylko na poziomie fazy użytkowania oraz fazy końca życia, architektura pasywna znacząco ogranicza wpływ swojego oddziaływania na środowisko, względem tradycyjnego odpowiednika. Na poziomie wytworzenia materiałów oraz procesie budowy, mniejszy ślad węglowy wytwarzany jest w przypadku architektury tradycyjnej (Benjamin D., 2017).

Pomimo całościowo mniejszego oddziaływania obiektu pasywnego na środowisko, rozwiązanie promowane jako proekologiczne w bilansie energetycznym nie różni się, aż tak jak mogłoby to początkowo się wydawać od tradycyjnie wykonanego obiektu. Wpływ na to ma między innymi zwiększenie izolacji termicznej, która owszem wpływa na ograniczenie strat ciepła oraz zmniejsza wpływy przegrzania obiektu, jednak ilość energii potrzebne do wyprodukowania powszechnie stosowanych materiałów termoizolacyjnych jest duża.

Rozkład materiałów powszechnie stosowanych w budownictwie pokazuje jak bardzo energochłonna jest produkcja. Materiały naturalnego pochodzenia takie jak np. drewno charakteryzują się ujemnym śladem węglowym. Wynika to z faktu, że drzewo pochłania więcej dwutlenku węgla niż emisja związana z przetworzeniem go na materiał budowlany. Przyjęte rozwiązania materiałowe należy stosować w oparciu o konkretny obiekt, bowiem niewłaściwe założenia projektowe oraz niedostosowanie technologii może przynieść rezultat odwrotny od zamierzonego.

#### 4. METODA LCA

W celu minimalizacji negatywnych skutków oddziaływania budownictwa, wprowadzono szereg metod pozwalających na prognozowanie oddziaływania obiektów oraz użytych materiałów na środowisko. Do takich narzędzi można zaliczyć metodę LCA (eng. Life Cycle Assessment) Środowiskowa ocena cyklu życia pozwala na oszacowanie konsekwencji całego procesu użytkowania obiektu, uwzględniając sposób pozyskania materiałów ich transport, wpływ budowy oraz użytkowania na środowisko a także, proces rozbiórki budynku, metoda ta jest traktowana jako tzw. analiza od kołyski aż do grobu.

Polskie ustawodawstwo reguluje kwestie związane z metodą LCA. Zgodnie z normą PN-EN 15978:2012 analiza ta bazuje na podziale procesu danej inwestycji na jej etapy (fazy) (Cierpisz M., 2019). Faza wyrobu A1-A3 (ryc. 5) – obejmuje emisję CO<sub>2</sub>, która powstała w wyniku wydobycia surowców oraz ich transportu do miejsca produkcji materiału, a także podczas przetwarzania surowca na materiał budowlany. Faza budowy (A4 i A5) (ryc. 5) to proces obejmujący transport materiałów oraz wybudowanie obiektu. Faza użytkowania (B1-B7) (ryc. 5) uwzględnia okres eksploatacji obiektu oraz samych materiałów, z kolei faza końca życia (C1-C4) (ryc. 4) rozpoczyna się wraz z wycofaniem obiektu z użytkowania (Cierpisz M 2019). Wpływy zewnętrzne (D) (ryc. 5) – proces rozbiórki obiektu, jako źródło odzyskiwania materiałów oraz ponowne ich wykorzystanie. Udział każdej z faz w ilości wyprodukowanego dwutlenku węgla jest zależna bezpośrednio od przyjętych rozwiązań materiałowych. Rozpatrując cykl życia obiektu na 60 lat, dominującą fazą jest faza użytkowania B1-B7, która odpowiada za 82,3% produkcji śladu węglowego (Cierpisz M 2019). Projekt w technologii tradycyjnej widoczny jest negatywny wpływ betonu na środowisko, który obecnie stanowi jeden z głównych materiałów konstrukcyjnych oraz budowlanych (Ryc.5).

Tendencja skupiająca się na ograniczaniu zapotrzebowania energii końcowej, określanej jako energii potrzebnej do ogrzania, schłodzenia oraz oświetlenia budynków, często bazuje na rozwiązaniach energochłonnych w samym procesie produkcji (Futrak M, Ciula M, 2020, s.17). Przyjmowana strategia rozwoju architektury „zero energetycznej” bazuje na materiałach silnie przetworzonych, jak szkło, stal, czy beton, jednak ilość energii pierwotnej przewyższa rozwiązania dostępne lokalnie oraz niskoprotworzone.

Metoda LCA pozwala na elastyczne podejście do kwestii oddziaływania zarówno samego obiektu oraz materiałów składających się z niego. Kalkulatory oraz programy związane z tą metodą mogą być sprzężone z narzędziami BIM za pomocą różnych wtyczek, dzięki czemu podczas procesu pro-



jektowego dochodzi do korekty założeń oraz optymalizacji w celu znalezienia najbardziej odpowiednich rozwiązań na każdym z wyżej opisanych etapach. Kalkulatory LCA pozwalają na wgląd do całego procesu, wraz z możliwością rozkładu wpływu przyjętych założeń na poszczególne fazy cyklu życia budynku. To właśnie na etapie projektu oraz budowy dochodzi do kluczowych decyzji wpływających na ekologiczność obiektu, a odstępnym na rynku narzędzia pozwalają również na wstępną ocenę według wielokryterialnych programów certyfikacyjnych. Wypracowanie deklaracji środowiskowych oraz norm jak ocena środowiskowa wg PN-EN 15978:2012 czy norma deklaracji środowiskowej wyrobów PN-EN 15804+A1: 2014 stanowi punkt bazowy w procesie projektowym, istotne jest również zaznaczenie faktu, że dobrze zaprojektowany obiekt stanowi rozwiązanie techniczne, które powinno być akceptowane z punktu widzenia społecznego w całym cyklu jego życia (Celińska-Mysław M, Wiatr T., 2018, s. 2).

## 5. WIELOKRYTERIALNE PODEJŚCIE PROJEKTOWE

Proces projektowy a następnie ocena rezultatów w postaci gotowego projektu to zagadnienie wielokryterialne. Podstawowymi kryteriami uwzględnianymi w ocenie zrównoważonego projektu są: zagospodarowanie działki/zieleń; mobilność; zrównoważone korzystanie z obiektu; rozwiązania projektowe: konstrukcja, materiały, detale; efektywność energetyczna i instalacje; zdrowie i klimat (Jurkiewicz P., 2020).

W celu obiektywnej oraz jednolitej oceny rozwiązań ekologicznych wprowadzono różne programy certyfikacyjne, które cechują się holistycznym podejściem do tematu. Systemy wielokryterialnej oceny oddziaływania budynków na środowisko oraz metody ich klasyfikacji wprowadzono już w 1990 roku (Jaczewski M 2013, s. 44-47 ). To wtedy zaczęto w Wielkiej Brytanii stosować metodę oceny BREEAM. Obecnie jest ona z powodzeniem wykorzystywana w wielu krajach, w tym w Polsce. Konkurencyjnym rozwiązaniem jest pochodząca ze Stanów Zjednoczonych metoda LEED (Jaczewski M., 2013, s. 44-47 ). Należy pamiętać, że posiadanie certyfikacji nie jest jednoznaczne z określeniem, że budynek jest modelowym rozwiązaniem z zakresu ekologii. Oba systemy mają różny sposób punktowania zagadnień, a składowe mają wpływ na ocenę. Rozszerzają one podstawowe, wyżej wymienione kryteria, oceny ekologicznej przedstawione kolejno w tabelach 1 i 2. W obu przypadkach, w procesie oceniania bierze udział wykwalifikowany przedstawiciel mający uprawnienia do certyfikowania (BREEAM Assessor/ LEED Accredited Professional). W przypadku systemu LEED oceny przyznawane w poszczególnych kategoriach liczone są bezpośrednio to system oceniania w systemie BREEAM jest znacznie bardziej skomplikowany. Każda z kategorii oprócz punktów ma swój przelicznik. Punkty liczone są ze wzoru:

$$\left(\frac{p}{p_{max}} \cdot 100\%\right) \cdot w$$

Gdzie:

$p$  – punkty zdobyte w danej kategorii;

$p_{max}$  – maksymalna liczba punktów możliwa do zdobycia w danej kategorii;

$w$  – waga oceny.

Tab. 1. Zestawienie progów punktowych oraz poziomów certyfikacji dla systemów BREEAM oraz LEED.  
Źródła: (BREEAM, 2018 ) (LEED, 2018)

BREEAM		LEED	
Poziom	Przedział punktowy	Poziom	Przedział punktowy
Pass	>30%	Certified	40-49
Good	>45%	Silver	50-59
Very good	>55%	Gold	60-79
Excellent	>75%	Platinum	90-110
Outstanding	>80%		

## 6. PODSUMOWANIE

Problemem w kwestii projektowania i porównania różnych rozwiązań z zakresu np. konstrukcji, są właściwości danych elementów. W przypadku zestawienia konstrukcji CLT oraz żelbetowej, konieczne jest dobranie odpowiednich rozpiętości a także przekrojów elementów konstrukcyjnych, wynikających bezpośrednio z właściwości konstrukcyjnych, a także kwestii związanych z ochroną przeciwpożarową. Elementy z drewna klejonego, mimo mniejszego śladu węglowego wynikającego między innymi z zdolności pochłaniania CO<sub>2</sub> przez drzewa, wymagają dobrania odpowiednio większych przekrojów, za sprawą zapewnienia odpowiedniej otuliny dla trzpienia elementu konstrukcyjnego. Zatem wybranie obiektywnie najlepszego wariantu skutkuje stworzeniem dwóch projektów w części analitycznej oraz zestawienie ich ze sobą. Dodatkową kwestią wartą rozpatrzenia jest racjonalny wybór rozwiązań uwzględniając koszt i możliwości realizacji wybranej technologii, ze względu na liczbę lokalnych wykonawców.

Aspekt projektowania proekologicznego należy traktować holistycznie, jako świadomy proces dokonywania wyborów. Nowopowstały projekt, niezależnie od tego, jak bardzo ekologiczne rozwiązania zawiera, będzie generował ślad węglowy. Wielokryterialne systemy oceny ekologicznej dla nowych obiektów pozwalają na dobranie odpowiednich rozwiązań. Kwestią wartą rozpatrzenia jest pytanie, czy niezbędne jest tworzenie aż tylu nowych obiektów. Metoda LCA może odnosić się bezpośrednio do poszczególnych składowych budynku, jednak samą ideę wprowadzania jej do architektury, należy przenieść do skali makro. Adaptacja istniejącej tkanki w skali architektonicznej oraz urbanistycznej, w najbardziej efektywny sposób pozwala na ograniczenie produkowanego śladu węglowego, poprzez wykorzystanie istniejącej już infrastruktury. Działania z zakresu ponownego wykorzystania budynków jak i odnowy zaniedbanych dzielnic pozwalają na ograniczenie rozrostu miasta, potrzebę budowania nowej infrastruktury oraz rozwój społeczny, czyli czynniki, które wychodzą poza zakres omawianych systemów wielokryterialnej oceny środowiskowej.

## BIBLIOGRAPHY

- ArchitectureAU Editorial, Recriminations as Foster and Partners and Zaha Hadid Architects leave Architects Declare (2020), <https://architectureau.com/articles/foster-zaha-architects-declare/> (Dostęp / access: 20.01.2021).
- Banasik-Petri K., Architektura proekologiczna – rozwiązania artystyczne w zielonej architekturze, Kraków: Rada Wydawnicza Krakowskiej Akademii im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego 2018, ISBN 978-83-65208-97-2.
- Benjamin D, Embodied Energy and Design: Making Architecture between Metrics and Narratives, Columbia University GSAPP and Lars Müller Publishers 2017, ISBN 978-3-037785-25-6.
- BREEAM, <https://plgbc.org.pl/zrownowazone-budownictwo/certyfikacje-wielokryterialne/breeam/> (Dostęp / access: 19.01.2021).
- Cierpisz M, Jak potężny jest ślad węglowy budownictwa? 2019, <https://blogs.sweco.pl/2019/09/26/jak-poteczny-jest-slady-weglowy-budownictwa> (Dostęp / access: 20.01.2021).
- Celińska-Mysław M, Wiatr T, Budownictwo zrównoważone z przykładem analizy kosztów w ujęciu LCC, Warszawa: Przegląd budowlany 2018, 11(45), pp. 2-6.
- Cudzik J, Wpływ technologii na cykl życia budynku, Gdańsk: Zeszyty Politechniki Gdańskiej, Inżynieria Łądowa i Wodna, 2015, 3(637), pp.15-22.
- Deezen 2020 <https://www.deezen.com/2020/12/05/foster-partners-zaha-hadid-withdrew-architects-declare/> (Dostęp / access: 20.01.2021).
- Fcbstudios, carbonunits, <https://carboncounts.fcbstudios.com/> (Dostęp / access: 19.02.2021).
- Futrak M, Ciuła M, The embodied energy of architecture. Pierwotna energia architektury, Szczecin: *Przestrzeń i Forma*, 2020, nr44/2020, p.16.
- Hłobił, A., Teoria i praktyka edukacji ekologicznej na rzecz zrównoważonego rozwoju, Problemy Ekorozwoju, 2010, 5,2, pp. 87-94.
- Jaczewski, M., Materiały budowlane w aspekcie wielokryterialnej oceny środowiskowej budynków, Budownictwo – Technologie – Architektura, Październik – Grudzień 2013, pp. 44-47.



- Jurkiewicz, P., Polskie pracownie architektoniczną wobec kryzysu klimatycznego, ZODIAK Pawilon Architektury, 2020.
- Kwiatek A., Skiba M., Świadomość ekologiczna młodych ludzi, *Zeszyty Politechniki Częstochowskiej*, 2017, nr 28,t.2, pp. 127-136.
- LEED, <https://plgbc.org.pl/zrownowazone-budownictwo/certyfikacje-wielokryterialne/leed/> (Dostęp / access: 19.01.2021).
- European Commission, Going climate-neutral by 2050. A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy, 2018
- Parlament Europejski, Unijne prawo klimatyczne – posłowie chcą redukcji emisji CO2 o 60% do 2030, 2020, <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/press-room/20201002IPR88431/unijne-prawo-klimatyczne-poslowie-chca-redukcji-emisji-co2-o-60-do-2030> (Dostęp /access: 30.01.2021).
- Polish Architects Declare Climate & Biodiversity Emergency, <https://pl.architectsdeclare.com/> (Dostęp / access: 19.01.2021).
- Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030. <https://kampania17celow.pl/raporty/przekształcamy-nasz-swiat-agenda-na-rzecz-zrownowazonego-rozwoju-2030/> (Dostęp /access:18.03.2022)
- Ravenscroft, T., This week Foster + Partners and Zaha Hadid Architects withdrew from Architects Declare, 2020, <https://www.dezeen.com/2020/12/05/foster-partners-zaha-hadid-withdrew-architects-declare/> (Dostęp / access: 11.02.2021).
- Szafran.R, Ślad węglowy w architekturze. Polskie pracownie architektoniczną wobec kryzysu klimatycznego, ZODIAK Pawilon Architektury, 2020.
- United Nations Climate Change Conference Poznań 2008, <http://www.unic.un.org.pl/poznan/kioto.php> (Dostęp / access: 09.02.2021).

## AUTHORS' NOTE

**Jan Cudzik** (Architect PhD. Eng.) is a lecturer in the Department of Urban Architecture and Water-scapes at the Faculty of Architecture, Gdańsk University of Technology. Currently conducts research on, among other things kinematic architecture, digital techniques in architectural design, digital fabrication, forms of artificial intelligence in architecture and art.

**Jakub Kruk** (M.Sc. Eng. Arch.) graduate of the Faculty of Architecture at the Gdańsk University of Technology. The subject of the diploma thesis was the Center for Ecological Education in Gdańsk. Shaping Environmental Awareness. Conscious Shaping of Architecture. Interests: functional graphics, innovative pro-ecological solutions in architecture.

## O AUTORACH

**Jan Cudzik** adiunkt w Katedrze Architektury Miasta i Przestrzeni Nadwodnych oraz kierownik Pracowni Cyfrowej Fabrykacji na Politechnice Gdańskiej. Obecnie prowadzi badania naukowe dotyczące między innymi architektury kinematycznej, cyfrowych technik wspomagających projektowanie architektoniczne, cyfrowej fabrykacji, form sztucznej inteligencji w architekturze i sztuce.

**Jakub Kruk** absolwent Wydziału Architektury Politechniki Gdańskiej. Tematem pracy dyplomowej było Centrum Edukacji Ekologicznej w Gdańsku. Kształtowanie Świadomości Ekologicznej. Świadome Kształtowanie Architektury. Zainteresowania: grafika użytkowa, innowacyjne rozwiązania pro-ekologiczne w architekturze.

Contact | Kontakt: [jan.cudzik@pg.edu.pl](mailto:jan.cudzik@pg.edu.pl); [kruk.jakub.1997@gmail.com](mailto:kruk.jakub.1997@gmail.com)

