



DOI: 10.21005/pif.2020.44.B-01

## THE EMBODIED ENERGY OF ARCHITECTURE PIERWOTNA ENERGIA ARCHITEKTURY

### **Marcin Furtak**

dr hab. inż. arch., prof. PK

Author's Orcid number: 0000-0001-9175-1747

### **Michał Ciuła**

mgr inż. arch.

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego

### **ABSTRACT**

This paper discusses the complex subject of embodied energy in the contemporary construction industry. The importance of embodied energy is shown in the global environmental context. The ecological relationship between embodied energy and operational energy is discussed. The history of embodied energy analyses is presented and modern computer solutions, which currently help in sustainable architecture design, are suggested.

Keywords: ecological architecture, energy-efficient architecture, sustainable architecture, embodied architecture, operational energy.

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawione zostały badania złożonej problematyki energii pierwotnej we współczesnym budownictwie. Przedstawiona została jej istotność w globalnym kontekście środowiskowym. Omówiona została ekologiczna zależność pomiędzy energią pierwotną a końcową. Prześladowano również historie analiz energii pierwotnej oraz wskazano nowoczesne rozwiązania komputerowe, które obecnie pomagają w zrównoważonym projektowaniu architektury.

Słowa kluczowe: architektura ekologiczna, architektura energooszczędna, architektura zrównoważona, energia pierwotna, energia końcowa.

## 1. ARCHITECTURE AND ENERGY

Architecture comprises matter and energy, which often has its origin in the far corners of the Earth. For instance, the material in our aluminium windows most probably comes from Australia. It is the source of the largest amount of mined bauxite, which amounts to 35% of global production. Next, aluminium is obtained from the rock. China is home to 31.6% of the world's production of aluminium. (Michalski, 2017; p.3-11) The next stage is the final manufacture process in European factories. The whole process would not be possible without oil from Saudi Arabia. A molecule of Australian aluminium on its way to our house uses a countable amount of energy. If we took this energy into consideration, we would have to look at buildings like at banks of embodied energy and matter from many places.

The research method has been based on the analysis of the literature and the author's professional experience. Source materials have been analyzed in order to collect the necessary data and to compare the results.

Over the last few decades, operational energy, which is described as heating, cooling and illuminating energy, has decreased significantly. In fact, the percentage of the total energy consumption in buildings has decreased. At the same time, embodied energy has increased rapidly; this energy is usually defined as the sum of the total amount of energy necessary to obtain the raw materials, to produce, to transport materials and to assemble elements in buildings. This situation is caused by the development of technology. The development allows for the production of advanced devices which on one hand have the increased heating, cooling and illuminating efficiency, but on the other hand require an increased amount of rare raw materials and the process of their production is itself complicated and energy-consuming. Due to the development strategy organized in such a way, it is possible to create 'zero-energy' architecture. However, the term 'zero-energy' architecture is flawed because it significantly confuses the vision, architectural ambitions and public awareness concerning material and technical solutions. 'Zero energy' architecture takes into account only operational energy or the embodied energy factor. Especially important seems to be the fact that 'zero-energy' architecture is created with the use of steel, glass and plastic and thus it uses much more embodied energy than the traditional building industry based on the local raw materials such as wood, brick and stone. Architects often justify the increase of the embodied energy by the statement that the single energy expenditure must be made for the long-term profits. The research published by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) confirms that the total energy of a lifecycle of a low energy consumption building is lower than for conventional buildings, even though the embodied energy in materials is higher on the whole. (Citherlet, Defaux, 2007; p.591–598). The opinion expressed by United States Department of Energy is similar: *It should be noted that when considering the embodied energy of an entire building, the energy embodied in the building materials is small relative to the energy it takes to operate that building over its lifetime.* (U.S; 2009 p.32) Copenhagen Resource Institute presents the following data: *We estimated that embodied energy in building products was around 1.9 million TJ in 2011. Steel and aluminium together are responsible for approximately 51 % of the total embodied energy in building materials with concrete responsible for another approximately 17 % of the total embodied energy in building materials. In 2010, the operational energy in residential buildings was nearly 7 times the embodied energy in all newly produced building materials. However, in 2007, at the height of the building boom, this ratio was down to 4.5. This was due to the larger production volume (in 2007) and, thus, higher embodied energy, and not because of a lower energy use in buildings.* (C.R.I. and E. 2014; p.7) The presented results suggest that the producers' interest in the embodied energy can be 'seven times lower' than the interest in the operational energy. However, in reality, the presented data is not conclusive. It is inconvenient to compare the energy of residential buildings with the recently produced new building material, despite the fact that residential buildings constitute as many as 75% of all buildings in the EU (C.R.I. and E, 2014; p.13). It is difficult to explicitly determine the embodied energy because everything depends on the boundaries defined in the assessment process. The general assessment of the embodied energy hardly ever takes into consideration: the energy consumed during the transport of materials; the construction of heavy plant access and outdoor surfaces by construction site workers; building equipment; energy input such as illumination, heating and cooling of factories, contractors' and producers' offices; energy used for production and

maintenance of machines essential in the technological process. In practice, such an assessment is problematic. It is assumed with optimism that the embodied process energy [process energy requirement (PER)], which today is relatively easy to assess, constitutes 50-80% of the embodied gross energy [gross energy requirement (GER)] (Milne, Reardon, 2013). Ravi Srinivasan and Kiel Moe in their book entitled *The Hierarchy of Energy in Architecture: Emergy Analysis* presented surprising proportions which show that the embodied energy should not only significant but it can also be of crucial importance in the analyses of the influence of architecture on the environment. Ravi Srinivasan and Kiel Moe claim that as much as 80% of energy connected with the global building industry comes from the process of building material acquisition (extraction, transport, processing, production) as well as its installation, maintenance, demolition and utilisation (Srinivasan, Moe, 2015; p.42). Operational energy connected with heating, cooling and illuminating constitutes only 20%.

Regardless of the boundaries set for the analysis and the accuracy of estimates, not taking the embodied energy seriously seems to be irresponsible. From the historical point of view, the size of buildings in suburban and urban areas in developed countries is becoming larger, which means that the appropriate amount of embodied energy is still growing. However, in developing countries, the increase is mainly observed in urban regions, where the need for embodied energy is even greater. In China, urban dwelling space per person doubled in the years 1990–2008 and it is expected to double again before 2040 (Berkelmans, Hao Wang, 2012; p.21). Housing trends in India and expectations concerning Africa suggest that the dwelling space per person will increase even several times. The UN forecasts assume that before the year 2050, the global urban population will grow by 2.5 billion (WUP, 2018). *...the anticipated growth in the urban population will require a massive build-up of urban infrastructure...* for which it is predicted that the embodied energy of the building materials themselves will contribute to the increase of the world's carbon dioxide emission by 30% before 2040 (Seto, Dhakal 2014, p.927).

The energy balance of modern buildings received undeserved admiration. The main flaw of such analyses is the fact that they are performed separately from the real embodied energy, which emphasises the whole ecological problem. The requirements that energy efficient buildings in Poland should meet are discussed in § 328 and 329 (WT). The requirements come down to calculation of the embodied energy 'indicator', which is the essential sum to cover the cost of heating, ventilation, air-conditioning and domestic hot water. In the case of public utility buildings, multifamily dwellings, industrial buildings, farm buildings and warehouses, the cost of embedded illumination should also be taken into account. The energy indicator should have different values depending on the type of building. After the year 2020, it will be from 45 to 190 kWh/m<sup>2</sup> per year. The methodology for calculating the embodied energy 'indicator' never takes into account material embodied energy. Thus, we can lower the indicator to the value of zero with the application of renewable sources of energy e.g. photovoltaic batteries. In this way, we create a zero-energy building or rather a building with the value of embodied energy indicator equal zero. However, photovoltaic batteries which were mentioned above have their own production energy load. For the production of 1m<sup>2</sup> of a classic panel, the energy of the value of 1710 kWh/m<sup>2</sup> is used (Nawza, Tiwari, 2006 p.3144-3152). In Polish climate conditions such a panel can generate 125 kWh/m<sup>2</sup> per year (Baran, 2016), which means that after only 13 years of failure-free work, the cost of the energy used during the production of the panel is recovered. The main aim of zero-energy architecture is to lower the emission of carbon dioxide by reducing the dependency on fossil fuels, which should considerably improve the quality of the natural environment in which we live. However, when we trace the history of materials used in the strategy of energy reduction, a peculiar economic dichotomy is revealed. The same wind turbines, solar cells and highly efficient heating and cooling systems, which allow for the established way of development, at the same time support the extraction and processing of rare earth elements. This is not a theoretical problem but the direct relationship between politics, industry and architecture. The is a relationship between The Crystal London, which is one of the most sustainable buildings in the world and Baotou Lake (Fig. 1), which if filled with toxic sludge produced by Baogang Steel and Rare Earth Complex (Maughan, 2015). These companies are leading world suppliers of dysprosium which is used in batteries and wind turbines and tellurium which is used to produce cheap and efficient solar panels. Each time when architects design 'eco-friendly' buildings

with modern OZE systems, they are at the same time creating desolate landscapes of the planet. When there is a decision made to construct a building with steel structure elements, this decision has an influence on the air quality in Tangshan in China, where the production of steel is the highest. The production of cement in 2010 generated emission equal to 0.477 Gt of CO<sub>2</sub>, and this number is growing every year (Fischedick, Joyashree 2014, p. 749). Our sustainable glass building industry grows on ecological credit. Architects still design buildings either unaware of this problem or unable to find alternatives. So how can energy efficient and ecological architecture be created? This question has challenged designers and architecture theoreticians for many years.



Fig. 1. Liam Young. Source: Unknown Fields

Ryc. 1. Liam Young Źródło: [www.unknownfieldsdivision.com](http://www.unknownfieldsdivision.com)

## 2. HISTORY

In 1973, a young Swiss architect, Walter Stahel, was employed as a management consultant in Battelle Research Centre in Geneva. Stahel performed research for the Commission of the European Communities (currently the European Commission) the aim of which was to find the way to save a huge amount of energy in building industry. Instead of performing the analysis of the latest heating, cooling and illuminating technology, Stahel directed his attention to social and economic issues of architecture. He noticed that *some of our major problems are interlinked and cannot be solved one by one* (Stahel 1981; p.15). W. Stahel cooperated with Genevieve Reday-Mulvey and together they drew the conclusion that the best solution would be to substitute energy with skilled jobs. In the research final report entitled *Jobs for Tomorrow* it was written *The creation of new skilled jobs can be achieved in parallel with a considerable reduction of energy consumption through a prolongation of the useful life of materials and products* (Stahel 1981; p.15). Not only did they mean the repair of domestic appliances and cars but also renovation, adaptation and the reuse of buildings. This thesis has an enormous influence on current politics and the economy. Stahel himself developed his thought of the decrease of consumption, and the reuse and recycling of materials. He created the idea of the 'cradle to cradle' analyses and the framework of a 'circular economy' which he presented in his report for Commission of the European Communities in 1976. Later, these definitions became essential in the assessment of the lifecycle of a building (LCA). Some foundations of life cycle assessment had already been presented earlier by Harold Smith at the World Energy Conference in 1963. Stahel proposed 'the concept of accumulated energy'. The new methodology of the day became known as the resource and environment profile assessment (REPA) in the USA, and Ecobalance in Europe. (SAIC, 2008; p.4) Nowadays, the circular economy is still strongly promoted, but it still develops too slowly.

### 3. THE NEED OF DESIGN CHANGES

Every day the need for materials is growing and the natural resources are becoming exhausted at the same time. Recycling and upcycling in architecture will become a matter of necessity. In recent years, a new form of mining has appeared. It is called 'urban mining', and it is mining which exploits the space created by people. In this mining a 'deposit' is located, profitability and technical recycling possibilities are calculated and the current and predicted incomes from recycling are verified (Grodkiewicz 2014; p.39-42). *The material resources of construction are becoming increasingly exhausted at the place of their natural origins, while inversely accumulating within buildings. For example, today there is more copper to be found in buildings than in earth. As mines become increasingly empty, our buildings become mines in themselves* (Ruby, 2010; p.243). Mitchell Joachim claims that *The future city makes no distinction between waste and supply* (Joachim 2013). Dirk Hebei points out that the embodied energy turns the process of wasting into valuable resource for a new project and transforms material value and luxury into new applications (Hebei, Wiśniewska, Heisel 2014). This kind of approach towards architecture is still seen as design extravagance (Fig. 2,3,4). Architects find it easier to design with new materials. For this reason, in the global context material waste is still material waste. *In the EU, more than 450 million tonnes of construction and demolition waste is generated every year, which makes it the largest waste stream in quantitative terms, with the exception of mining and farm wastes* (Osmani, 2011) In response to this problem, the EU issued Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council which in Article 11 Section 2 states that *...the Member States shall take the necessary measures designed to achieve the following targets: b) by 2020, the preparing for re-use, recycling and other material recovery, including backfilling operations using waste to substitute other materials of non-hazardous construction and demolition waste excluding naturally occurring material defined in category 17 05 04 in the list of waste shall be increased to a minimum of 70 % by weight* (DPEiR).

The classic approach to architectural design starts from an idea and adopting a budget which determines the material and technical philosophy. The design process itself finishes before the venture is undertaken. When we design energy efficient buildings, we must understand that buildings exist much earlier than the idea to create them and they last much longer than we usually imagine. Natural resources necessary for the project are extracted long before the project starts and the demolition waste can pollute the environment long after our memory of the project has faded. Analyses of architecture embodied energy, besides the analyses of carbon and water footprint and the lifecycle of a building, enables us to perceive the actual values of the project influence on the environment. Each material has its own history with regard to the specific amount of energy. Energy is a much wider term than fuel converted into joules. If we want to create energy efficient buildings, we must know such definitions as exergy and emergy. Exergy is a term introduced in 1955 by the Slovenian physicist, Zorana Ranta. The definition of exergy was drawn up by L. Reikert and it is as follows: *Exergy defines the minimum work that needs to be done to produce the required substance of the required parameters from the commonly occurring components of the surrounding nature using the surrounding nature as the energy source worthless in the context of thermodynamics* (Szargut, Ziębik, 1998 p.236).

Emergy is the term defined by Howard T. Odum: *Emergy is the amount of energy which was consumed in direct and indirect transformations to make a product or service.* (Odum, 1995) Emergy considers various forms of energy and resources (e.g. sunlight, water, fossil fuels, minerals). Each form is generated by transformation processes in nature and each of them has different capabilities to support work in natural and human systems. The presented definitions consider energy accounting, which helps to go beyond the strategy of 'zero operational energy'.

Energy of building materials, emission of greenhouse gas and water consumption in architecture can be relatively easily estimated but detailed quantitative assessment may be difficult. The main problem is caused by the fact that energy consumption is not directly proportional to environmental pollution. This is due to the fact that not all joules are created from burning fossil fuels with the same emission of CO<sub>2</sub>. Energy sources in materials have different extraction, transport, and social and political contexts. The area of building activities of architects has always focused on the choice of materials and the supervision of their assembly. The designers failed to consider the transporta-

tion of products or production technologies that may prove to be harmful to nature. However, the global perspective requires a wider vision of the world in which environment, material and technology are tightly connected. If we have such a wide design context, it may seem that architects are in a weakened position from the very beginning because they are not able to coordinate such a large-scale project. Jorge Otero-Pailos writes in his paper 'The Parthenon's Disembodied Energy' that: *At the core of the embodied energy discourse is a sense of crisis, a sense that we cannot go on making architecture the way we have, that by building buildings — that is, by turning architecture into bodies — we are consuming such large amounts of non-renewable energy and putting so much carbon dioxide in the air that we are causing the earth's climate to change. The idea of embodied energy adds value to the body, cautions us not to dismember it, and encourages us to preserve it. It has the self-evident quality of a motto: the greenest building is the one that is already built — that is, the one that already has a body, a body that preferably doesn't move, and stays together so as to not release that embodied energy* (Otero-Pailos, 2016; p.83). In reality, energy and ecology problems pose challenges, but they certainly do not cause a creative crisis. Due to these problems, architecture will develop, modify and adjust to local material resources. Mario Botta claims that *The essence of architecture lies not in its usefulness — the purely practical solutions it offers to the human need of shelter — but in the way it meets the much profounder spiritual need to shape our habitat* (Sirowy 2014; p.177-194). The presented definition in the era of caring for the environment does not have to change. It can be the right one for some architects. However, the way in which buildings are designed must completely change regardless of whether for the designer, useable or spiritual space is the most important. The coordination of a project which takes into account the material embodied energy is possible and must be put into practice.



Fig. 2. Fot: Shuhe Architectural Photography.  
Ryc. 2. Shuhe Architectural Photography źródło: [www.lot-ek.com/SANLITUN-SOUTH-HUTONG](http://www.lot-ek.com/SANLITUN-SOUTH-HUTONG).  
dost: 19.10.20



Fig. 3. Fot: Erik Stekelenburg  
Ryc. 3. Fot: Erik Stekelenburg źródło: dost: 19.10.20  
[www.archello.com/story/18484/attachments/](http://www.archello.com/story/18484/attachments/)



Fig. 4. Fot: Tomas Riehle / arturimage  
Ryc. 4. Fot: Tomas Riehle źródło: dost: 19.10.20  
[www.archirama.muratorplus.pl](http://www.archirama.muratorplus.pl)

#### 4. ECOLOGICAL AND ENERGY EFFICIENT DESIGN

After almost 50 years of developing the LCA idea, collecting and storing data and creating certificates, we have knowledge and technology which can help to design buildings which are truly energy efficient. BIM technology has become decisive in conscious contemporary design. Due to this technology, any essential information is available at any stage of the design process. We can see on the computer screen how each change of the material changes the energy consumption. Currently, software such as Tally (a plugin for Revita), GaBi, Sphera are especially worth attention when we take LCA into consideration. LCA models take information from international and reviewed material and a process database which translates the inventory database (material and energy input and output data) into interactions between natural resources, the environment and people's health in many standard categories, such as global warming potential (GWP), depletion of the ozone layer, acidification and eutrophication. Buildings are complicated forms in which hundreds of products meet. These products create space of heterogenous life length. For instance, the building structure and structural materials change less frequently than decorative and finishing elements. Some types of buildings e.g. commercial office buildings can be modernized for the new users even every five to ten years. This results in shortening the life of many tonnes of ceramics, plastic and metal and sending them to landfills. (Fig. 5) LCA analysis adds order to this complexity. As a result of software which is developing all the time and improving the database, it is possible to assess the embodied energy of the project at the stage of initial project concept.

Architectural concept in design has always played an important role. The aims that architects pursue must be clear from the very beginning. In the design of architecture of low embodied energy, the architectural concept stage becomes even more important. The scope of the conceptual design should be much wider because the huge context of material embodied energy and its influence on the natural environment should be taken into consideration. It is already in the initial stage of a design that we know the determinant due to which we can find the capacity and material solutions. The location is the determinant. The location of a structure seems to be the overriding factor in conscious energy efficient design. The typical analyses which associated the location with energy were always oriented towards the sun. The energy profits of the sun, direct or indirect, are obvious and they do not have to be discussed any further. Unfortunately, the issue of the influence of location on the value of embodied energy is neglected. The length of technical infrastructure which is essential for the completion of a project and the chain of building material supply is also important. When low-embodied energy buildings are designed, we should look for local producers of building materials to minimize the energy expense of delivery. The ideal situation would be to create the new architecture from recycled or demolition materials. However, if there is no such a possibility, the design should be created in such a way that some of the materials used in the project can be used again in the future. (Fig.6)



Fig. 5. Fot. Scott Paulus: Bradley Center demolition  
Ryc. 5. Fot. Scott Paulus, Źródło:  
[www.bizjournals.com/milwaukee/news/2019/02/06/see-the-latest-in-demolition-of-the-bradley-center.html](http://www.bizjournals.com/milwaukee/news/2019/02/06/see-the-latest-in-demolition-of-the-bradley-center.html)



Fig. 6. Source: ByFusion  
Ryc. 6. Źródło: <https://www.bymfusion.com/>

## 5. CONCLUSIONS

The main actions of engineers and architects in previous decades have been focused on the creation of structures of low operational energy. Embodied energy has been almost completely ignored in architecture. As society we have chosen a short cut. Some countries have benefited ecologically from the politics of low operational energy. Unfortunately, there are also regions in the world that have become the victims of this politics. We are still building improvidently, we are demolishing and transporting in the name of modernity, comfort and 'environmental protection'. We are creating modern structures but not contemporary structures. Currently, as never before, we need architecture which will stop climate change happening now. We should create buildings as *temporary storage for valuable resources* (Hebei, 2016; p.108). Material energy that we possess now in our buildings should not be stored at landfills, scrapyards or on the bottom of the oceans in the future. Embodied energy is more difficult to design than operational energy and it requires a global perspective. However, if architects understand that a building does not exist in a particular environmental context but in the whole natural environment, and if they begin to recognize the connections between the material, technology and nature, they will lower the amount of embodied energy with as much care as is taken in the case of operational energy. Only then will architects create low energy architecture that is truly friendly for the environment.

## PIERWOTNA ENERGIA ARCHITEKTURY

### 1. ARCHITEKTURA I ENERGIA

Architektura zbudowana jest z materii i energii, która często ma początki w odległych krańcach Ziemi. Przykładowo materiał aluminiowych oknach pochodzi najprawdopodobniej z Australii. Wydobywa się tam najwięcej boksytów (35% światowej produkcji). Następnie ze skały należy uzyskać glin. Wyrób aluminium odbywa się głównie w Chinach (31,6% światowej produkcji). (Michalski; 2017; s.3-11) Kolejny etap, to tłoczenie właściwego elementu w europejskich fabrykach. Cały ten proces nie byłby możliwy, gdyby nie paliwo wydobywane w Arabii Saudyjskiej. Cząsteczka australijskiego glinu w drodze do obiektu zużyła policzalną ilość energii. Pamiętając o tej energii, budynki należy postrzegać jako banki pierwotnej energii i materii wielu miejsc.

Metoda badań oparta została na analizie literatury i doświadczeniach zawodowych autorów. Przeanalizowane zostały materiały źródłowe w celu zebrania koniecznych danych, oraz skonfrontowania przedstawionych w nich wyników.

W ciągu ostatnich dekad energia końcowa - określana jako energia dla ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia znacząco spadła - w rzeczywistości spadła jako procent całkowitego zużycia energii w budynkach. Jednocześnie energia pierwotna - zazwyczaj definiowana jako suma całej energii potrzebnej do wydobycia surowców, a następnie produkcji, transportu i montażu materiałów w budynku - gwałtownie wzrosła. Sytuacja ta jest spowodowana rozwojem technologicznym. Umożliwia on budowę zaawansowanych technicznie urządzeń, które z jednej strony mają zwiększoną wydajności grzewczą, chłodzącą czy oświetleniową, z drugiej strony te same urządzenia mają zwiększone zapotrzebowanie na surowce rzadkie, a sam proces ich budowy jest skomplikowany i energochłonny. Dzięki tak zorganizowanej strategii rozwoju, możliwe jest tworzenie architektury „zero-energetycznej”, termin ten jest błędny, poważnie myli wizję, ambicje architektoniczne i świadomość społeczną, co do rozwiązań technicznych i materiałowych. Uwzględnia on jedynie energię końcową, lub wskaźnik energii pierwotnej. Szczególnie istotny wydaje się fakt, że architektura „zero-energetyczna” wykonywana jest głównie ze stali, szkła i tworzyw sztucznych, tym samym zużywa



znacznie więcej energii pierwotnej niż tradycyjne budownictwo oparte na lokalnych surowcach, takich jak: drewno, cegła czy kamień. Architekci często usprawiedliwiają wzrost energii pierwotnej, tłumacząc, że jednorazowy wydatek energetyczny musi zostać poniesiony dla długotrwałych zysków. Badania opublikowane przez IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) potwierdzają, że całkowita energia cyklu życia budynku o niskim zużyciu energii jest mniejsze niż w przypadku budynków konwencjonalnych, pomimo ogólnie większej energii pierwotnej w materiałach (Citherlet, Defaux; 2007; s.591–598). Podobnie twierdzi Amerykański Departament Energii: *Należy zauważyć, że rozważając energię całego budynku, energia zawarta w materiałach budowlanych jest niewielka w stosunku do energii końcowej tego budynku przez cały okres jego użytkowania.* (U.S; 2009; s.32) Copenhagen Resource Institute przedstawia dane: *Oszacowaliśmy, że energia pierwotna w produktach budowlanych wyniosła około 1,9 mln TJ w 2011r. Stal i aluminium razem odpowiadają za około 51% całkowitej energii pierwotnej. Materiały budowlane z betonem odpowiedzialne są za kolejne 17% całkowitej energii zawartej w materiałach budowlanych. W 2010 r. Energia operacyjna (końcowa) w budynkach mieszkalnych była prawie 7-krotnie wyższa niż energia zawarta we wszystkich nowo produkowanych materiałach budowlanych. Jednak w 2007 r., z powodu bumu budowlanego, stosunek ten spadł do 4,5. Było to spowodowane większą ilością produkcji (w 2007 r.).* (C.R.I. and E. 2014; s.7) Przedstawione wyniki sugerują, że zainteresowanie projektantów energią pierwotną może być „siedmiokrotnie niższe” niż energią końcową. W istocie jednak przedstawione dane nie są zbyt czytelne. Nie wygodnie jest porównywać energię budynków mieszkalnych, pomimo że stanowią one aż 75% ogółu budynków UE (C.R.I.and E, 2014; s.13) z całym nowo produkowanym materiałem budowlanym. Energię pierwotną trudno jest jednoznacznie określić, ponieważ wszystko zależy od granic rysowanych w procesie oceny. Ogólne oceny energii pierwotnej prawie nigdy nie uwzględniają energii transportu materiałów, wykonania podjazdów i nawierzchni zewnętrznych, pracowników na placu budowy, wyposażenia obiektu, wkładu energetycznego takiego jak oświetlenie, ogrzania, schłodzenie fabryk i biur producentów i wykonawców, czy energii wykorzystanej do produkcji i konserwacji maszyn niezbędnych w procesie technologicznym. W praktyce jest to niemierzalne. Optymistycznie przyjmuje się, że pierwotna energia procesowa [Process Energy Requirement (PER)], (dziś stosunkowo łatwa do oszacowania) stanowi 50-80% energii pierwotnej brutto [Gross Energy Requirement (GER)] (Milne, Reardon, 2013). Ravi Srinivasan i Kiel Moe w swojej książce *Hierarchia energii w architekturze* przedstawili zaskakujące proporcje, z których wynika, że energia pierwotna nie tylko nie powinna być pomijana jako mało znacząca, ale może być kluczowa w analizach wpływu architektury na środowisko. Twierdzą oni, że aż 80 procent energii związanej z globalnym budownictwem polega na pozyskaniu (wydobyciu, transporcie, przetworzeniu, produkcji) materiałów budowlanych, jak również na ich instalacji, konserwacji, rozbiórce, utylizacji lub następnym użyciu. (Srinivasan, Moe, 2015; s.42) Tylko 20 procent to energia operacyjna, czyli ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia.

Nie zależnie od przyjętych granic do analizy oraz dokładności szacunków, bagatelizowanie pierwotnej energii architektury wydaje się nieodpowiedzialne. Z historycznego punktu widzenia w krajach rozwiniętych na obszarach podmiejskich i wiejskich wielkość budynku, a co za tym idzie, odpowiednia ilość energii pierwotnej stale rośnie. Z kolei w krajach rozwijających się, stopa wzrostu dotyczy głównie obszarów miejskich, gdzie zapotrzebowanie na energię pierwotną jest jeszcze większe. W Chinach miejska powierzchnia mieszkalna na jednego mieszkańca podwoiła się w latach 1990–2008 i oczekuje się, że ponownie podwoi się do 2040 r. (Berkelmans, Hao Wang, 2012; s.21) Trendy mieszkaniowe w Indiach oraz oczekiwania wobec Afryki sugerują, że przetrzeń mieszkalna na jednego mieszkańca wzrośnie nawet kilkukrotnie. Prognozy ONZ zakładają, że do 2050 roku globalna populacja miejska wzrośnie o 2,5 miliardy ludzi (WUP, 2018). *Przewidywany wzrost populacji miejskiej będzie wymagał ogromnej rozbudowy infrastruktury...*, dla której przewiduje się, że energia pierwotna w samych materiałach budowlanych przyczyni się do 30% wzrostu światowej emisji dwutlenku węgla przed 2040 r. (Seto, Dhakał 2014; s.927)

Bilans energii nowoczesnych budynków wprowadza w nieprzemyślany zachwyt, podstawową wadą tych analiz jest oderwanie od rzeczywistej energii pierwotnej która, uwypukla całość problemu ekologicznego. Wymagania, jakie są stawiane w Polsce budynkom energooszczędnym, zawarte są między innymi w § 328 i 329 (WT), sprowadzają się one do obliczania „wskaźnika” energii pierwotnej, niezbędnej do pokrycia kosztów zapotrzebowania na: ogrzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyj-

ne, ciepłą wodę użytkową. W przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również oświetlenia wbudowanego. Wskaźnik ten ma przyjmować różne wartości w nergii np. baterii fotowoltaicznych, tworząc budynek zero-energetyczny, a raczej budynek o zerowym wskaźniku energii pierwotnej. Przykładowe baterie fotowoltaiczne niosą jednak w sobie energetyczny ciężar produkcyjny. Do wyprodukowania jednego m<sup>2</sup> klasycznego panelu zużywane jest 1710 kWh/m<sup>2</sup> (Nawza, Tiwari, 2006; s.3144-3152). W polskich warunkach klimatycznych taki panel może wyprodukować 125 kWh/m<sup>2</sup> rocznie (Baran, 2016), co oznacza, że dopiero po 13 latach (bezawaryjnej) pracy zwróci się jego produkcyjny wydatek energetyczny. Głównym celem architektury zero-energetycznej jest zmniejszenie emisji dwutlenku węgla poprzez zmniejszenie uzależnienia od paliw kopalnych. Co znacząco ma poprawić jakość środowiska naturalnego. Analizując historię materiałów użytych do realizacji strategii redukcji energii, podkreśli się swoista dychotomia ekologiczna. Te same turbiny wiatrowe, ogniwa słoneczne, wysokowydajne systemy ogrzewania i chłodzenia, dzięki którym możliwa jest realizacja przyjętego sposobu rozwoju, wspierają jednocześnie wydobywanie i przetwarzanie metali ziem rzadkich. Nie jest to teoretyczny problem, a bezpośrednia relacja pomiędzy polityką, przemysłem i architekturą. Zależność łącząca The Crystal London (Jeden z najbardziej zrównoważonych budynków świata) z toksycznym szlamem wypełniającym jezioro Baotou, (Ryc. 1) wytwarzanym przez firmy Baogang Steel i Rare Earth Complex, (Maughan, 2015) wiodących światowych dostawców dysprozu używanego w bateriach i turbinach wiatrowych, jak również telluru używanego do produkcji niedrogich i wydajnych paneli słonecznych. Za każdym razem, gdy architekci projektują „przyjazne ekologicznie” budynki z nowoczesnymi systemami OZE, jednocześnie kreują odległe krajobrazy planety. Gdy podjęta zostaje decyzja o budowie budynku ze stalowymi elementami konstrukcyjnymi, to decyzja ta ma wpływ na jakość powietrza w Chińskim Tangshan gdzie produkcja stali jest obecnie największa. Produkcja cementu w 2010 roku spowodowała emisję 0.477 GtCO<sub>2</sub>, a liczba ta z roku na rok rośnie (Fischedick, Joyashree 2014; s.749). Szklane zrównoważone budownictwo powstanie na ekologiczny kredyt. Architekci wciąż projektują nieświadomie lub nie znajdują alternatywy. Jak więc tworzyć architekturę energooszczędną i ekologiczną? Pytanie to nurtuje projektantów i teoretyków architektury od wielu lat.

## 2. HISTORIA

W 1973 roku młody szwajcarski architekt Walter Stahel był zatrudniony jako konsultant ds. Zarządzania w Battelle Research Center w Genewie. Prowadził on badania dla Komisji Wspólnot Europejskich (obecnie Komisja Europejska), których celem było znalezienie sposobu oszczędzania dużych ilości energii w budownictwie. Stahel, zamiast analizować najnowszą technologię ogrzewania, chłodzenia czy oświetlenia zwrócił uwagę na sprawy społeczno – ekonomiczne architektury. Zauważył, że „niektóre z naszych głównych problemów są ze sobą powiązane i nie można ich rozwiązać pojedynczo. (Stahel 1981; s.15) W. Stahel współpracował z Genevieve Reday-Mulvey'em, wspólnie doszli oni do wniosku, że najlepszym rozwiązaniem jest zastąpienie energii siłą roboczą. W końcowym raporcie z badań zatytułowanym Jobs for Tomorrow zapisano *Tworzenie nowych miejsc pracy dla wykwalifikowanych pracowników można osiągnąć równoległe ze znacznym zmniejszeniem zużycia energii poprzez przedłużenie okresu użytkowania materiałów i produktów* (Stahel 1981; s.15). Mieli oni namyśli nie tylko naprawę sprzętu domowego czy samochodów, ale także renowacje, adaptacje i ponowne wykorzystanie budynków. Teza ta ma ogromny wpływ na obecną politykę i gospodarkę, sam Stahel rozszerzył swoją myśl: zmniejszania zużycia, ponownego wykorzystania i recyklingu materiałów, budując idea analiz „od kołyski do kołyski” i ramy „gospodarki o obiegu zamkniętym” co przedstawił w raporcie dla Komisji Europejskiej z 1976 r. Definicje te w późniejszym etapie stały się niezbędne w ocenie cyklu życia (LCA). Same podwaliny pod Life Cycle Assessment przedłożył już w 1963 r. Harold Smith na Światowej Konferencji Energetycznej w 1963 r. Zaproponował on „konceptje skumulowanej energii”. Ta nowa na tamten czas metodologia stała się znana jako analiza profilu zasobów i środowiska REPA w USA oraz jako Ecobalance w Europie. (SAIC, 2008; s.4) Dziś gospodarka o obiegu zamkniętym, jest mocno promowana, wciąż jednak rozwija się o wiele za wolno.

### 3. POTRZEBA ZMIAN PROJEKTOWYCH

Z każdym dniem rośnie zapotrzebowanie na materiały, jednocześnie maleją naturalne złoża. Recykling i upcykling w architekturze będzie stawał się koniecznością. W ostatnich latach pojawiła się nawet nowa forma górnictwa. „Górnictwo miejsce”, czyli takie, które eksploatuje przestrzeń stworzoną przez człowieka. Lokalizuje „złoże”, oblicza opłacalność i możliwości technicznego odzysku, weryfikuje bieżące i przewidywane przychody z recyklingu (Grodkiewicz, 2014; s.39-42). *Zasoby materialne budownictwa stają się coraz bardziej wyczerpane w miejscu ich naturalnego pochodzenia, podczas gdy kumulują się w budynkach. Na przykład dzisiaj w budynkach jest więcej miedzi niż w naturalnych pokładach. W miarę jak kopalnie stają się coraz bardziej puste, nasze budynki same stają się kopalniami”* (Ruby, 2010; s.243). Mitchell Joachim twierdzi, że *Przyszłe miasto nie rozróżnia odpadów od dostaw* (Joachim, 2013). Z kolei Dirk Hebei zauważa, że energia pierwotna sprawia, że marnotrawstwo staje się cennym zasobem dla nowego projektu i przekształca wartość materialną i luksus na nowe sposoby (Hebei, Wiśniewska, Heisel, 2014). Tego rodzaju podejście do architektury to wciąż ekstrawagancja projektowa (Ryc. ). Architektom łatwiej tworzy się z nowych materiałów. Dlatego w globalnym kontekście marnotrawstwo to wciąż marnotrawstwo. *W UE każdego roku wytwarza się ponad 450 milionów ton odpadów budowlanych i rozbiórkowych, co czyni je największym strumieniem odpadów pod względem ilościowym, z wyjątkiem odpadów wydobywczych i rolnych* (Osmani, 2011). Odpowiadając na ten problem Unia Europejska, opracowała Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE, która w art. 11 ust. 2 punkt b) stwierdza, że *Państwa członkowskie zobowiązują się do roku 2020 na: przygotowanie do ponownego wykorzystania, recyklingu i innych sposobów odzyskiwania materiałów, w tym wypełniania wyrobisk, gdzie odpady zastępują inne materiały, w odniesieniu do innych niż niebezpieczne odpadów budowlanych i rozbiórkowych, z wyjątkiem materiału występującego w stanie naturalnym zgodnie z definicją zawartą w kategorii 17 05 04 Europejskiego katalogu odpadów, zostanie zwiększone wagowo do minimum 70 %* (DPEiR, 2008).

Klasyczne podejście od projektowania architektonicznego rozpoczyna się od idei. Przyjęcia budżetu, który determinuje m.in. wybór filozofii materiału – technicznej. Sam proces projektowy kończy się przed realizacją przedsięwzięcia. Projektując energooszczędnie, należy zrozumieć, że budynki istnieją znacznie wcześniej niż pomysł na ich realizację i trwają znacznie dłużej, niż zwykle sobie wyobrażamy. Surowce mineralne na inwestycję są wydobywane na długo przed jej rozpoczęciem, a odpady z wyburzenia mogą zanieczyszczać środowisko znacznie dłużej niż pamięć o niej. Analizy energii pierwotnej architektury obok analiz śladu węglowego, wodnego i analiz cyklu życia, dają nam możliwość uchwycenia rzeczywistych wartości oddziaływania inwestycji na środowisko. Każdy materiał ma historię, która zapisała w nim konkretną ilość energii. Energia ta jest pojęciem znacznie szerszym niż paliwo przeliczane na dźule. Chcąc stworzyć energooszczędne budynki, musi poznać takie definicje jak egzergia i emergia. Egzergia to termin wprowadzony w 1955 r. przez słoweńskiego fizyka Zorana Ranta. Definicja egzergii została opracowana przez L. Reikert i brzmi: *Egzergia wyraża minimalną ilość pracy, jaką należy wykonać, by z powszechnie występujących składników otaczającej przyrody wytworzyć wymaganą substancję o wymaganych parametrach, wykorzystując otaczającą przyrodę jako źródło ciepła bezwartościowego pod względem termodynamicznym* (Szargut, Ziębik, 1998; s.236). Emergia to termin nakreślony przez Howard T. Odum’a jej definicja brzmi: *Emergia to ilość energii, która została zużyta w bezpośrednich i pośrednich transformacjach, aby stworzyć produkt lub usługę* (Odum, 1995). Emergia uwzględnia różne formy energii i zasobów (np. Światło słoneczne, wodę, paliwa kopalne, minerały itp.) Każda forma jest generowana przez procesy transformacji w przyrodzie i każda z nich ma inną zdolność do wspierania pracy w systemach naturalnych i ludzkich. Przedstawione definicje uwzględniają rachunkowość energetyczną, która pomaga nam wyjść poza strategię „zerowej energii” końcowej.

Energie materiałów budowlanych, emisje gazów cieplarnianych czy zużycie wody w architekturze można stosunkowo łatwo rozpoznawać, jednak szczegółowa ocena ilościowa, zawsze była trudna. Główny problem polegał na tym, że zużycie energii nie jest wprost proporcjonalne do zanieczyszczenia środowiska. Ponieważ nie wszystkie dźule są tworzone dzięki spalaniu paliw kopalnych przy takiej samej emisji CO<sub>2</sub>. Źródła energii w materiałach mają różny kontekst wydobywczy, transportowy, a nawet społeczno-polityczny. Obszar budowlanej działalności architektów od zawsze sprawdzał się do wyboru i kontrolowania sposobu montażu materiałów. Projektanci nie analizowali

transportu, czy szkodliwej dla natury technologii producenta. Globalna perspektywa wymaga jednak szerokiej wizji świata, w której środowisko, materiał i technologia są ze sobą ściśle powiązane. Skoro istnieje tak wielki kontekst projektowy, to wydawać by się mogło, że architekt już na starcie stoi na przegranej pozycji, ponieważ nie jest w stanie koordynować tak rozległego projektu. Jorge Otero – Pailos w swoim artykule *The Parthenon's Disembodied Energy* zauważa: *Trzonem ucieleśnionego dyskursu energetycznego jest poczucie kryzysu, poczucie, że nie możemy uczynić architektury takiej, jak my chcemy, budując budynki, czyli przekształcając architekturę w ciało, zużywamy tak duże ilości nieodnawialnej energii i umieszczamy w powietrzu tak duże ilości dwutlenku węgla, że powodujemy zmianę klimatu Ziemi. Idea ucieleśnionej energii dodaje wartości ciału, ostrzega nas, by go nie rozczłonkować, i zachęca nas do jego zachowania. Ma oczywiste motto: najbardziej ekologiczny budynek to ten, który już jest zbudowany - to znaczy ten, który ma już ciało, ciało, które najlepiej się nie porusza i pozostaje razem, aby nie uwalniać tej ucieleśnionej energii* (Otero-Pailos, 2016; s.83). Naprawdę jednak problemy energetyczno-ekologiczne są wyzwaniem, z pewnością nie spowodują one kryzysu twórczego. Architektura dzięki nim będzie się rozwijać, modyfikować, dostosowywać do lokalnych zasobów materiałowych. Mario Botta twierdzi, że: *Istota architektury nie polega na jej użyteczności - czysto praktycznych rozwiązaniach, które oferuje ona ludzkiej potrzebie schronienia - ale na sposobie, w jaki spełnia znacznie głębszą duchową potrzebę kształtowania naszego siedliska* (Sirowy, 2014; s.177-194). Przedstawiona definicja w erze dbania o środowisko nie musi się zmienić. Może być ona słuszna dla części architektów. Natomiast całkowicie zmienić musi się sposób projektowania budynków, niezależnie czy w koncepcji projektanta najważniejsza jest przestrzeń użytkowa, czy duchowa. Koordynacja projektu uwzględniająca energie pierwotną materiałów jest już możliwa i musi być realizowana.

#### 4. PROJEKTOWANIE EKOLOGICZNE I ENERGOOSZCZĘDNE

Po blisko 50 latach rozwijania idei LCA, zbieraniu i magazynowaniu danych, tworzeniu metryk, projektanci posiadają wiedzę i technologię, która pozwala tworzyć budynki prawdziwie nisko energetyczne. Decydująca we współczesnym świadomym projektowaniu stała się technologia BIM. Dzięki niej wszystkie niezbędne informacje są dostępne na każdym etapie projektowania. Można obserwować na ekranie komputera, jak każda zmiana materiału zmienia zużycie energii. Obecnie szczególnie warte uwagi pod względem analiz LCA są takie programy jak: Tally (wtyczka do Revita), GaBi, Sphera. Modele LCA czerpią z międzynarodowych, recenzowanych baz danych materiałów i procesów, które przekładają dane inwentaryzacyjne (materiałowe i energetyczne dane wejściowe i wyjściowe) na oddziaływanie zasobów naturalnych, środowiska i zdrowia ludzkiego w wielu standardowych kategoriach, takich jak potencjał globalnego ocieplenia (GWP), zubożenie warstwy ozonowej, zakwaszenie i eutrofizacja. Budynki są skomplikowanymi formami, w których spotyka się ze sobą setki produktów. Produkty te tworzą przestrzeń o niejednorodnej długości życia. Przykładowo konstrukcja i materiały strukturalne ulegają znacznie rzadszym zmianom niż elementy wykończeniowe i dekoracyjne. Niektóre typy budynków (komercyjne budynki biurowe) mogą być modernizowane pod nowych użytkowników nawet co pięć – dziesięć lat. Co skutkuje skróceniem życia i wysłaniem na wysypisko wielu ton ceramiki, tworzyw sztucznych i metali (Ryc. 5). Analiza LCA porządkuje tę złożoność. Dzięki oprogramowaniu, które cały czas się rozwija i ulepsza bazy danych, możliwa jest już na etapie koncepcji, wstępna ocena pierwotnej energii projektu.

Koncepcja architektoniczna w projektowaniu zawsze odgrywała ważną rolę. Cele, jakie stawiają przed sobą architekci, muszą być czytelne od samego początku. W projektowaniu architektury o niskim zapotrzebowaniu na energię pierwotną, etap koncepcyjny staje się jeszcze bardziej istotny. Zakres projektu koncepcyjnego powinien być znacznie szerszy. Ponieważ należy uwzględniać ogromny kontekst pierwotnej energii materiałów i ich wpływ na środowiskowego. Już we wstępnej fazie projektowania istnieje determinanta, dzięki której należy przyjąć rozwiązania kubaturowo-materiałowe. Jest nią lokalizacja. Lokalizacja obiektu wydaje się nadrzędnym czynnikiem w świadomym projektowaniu energetycznym. Typowe analizy, które łączyły lokalizację z energią zorientowane zawsze były w pierwszej kolejności na słońce. Energetyczne zyski słoneczne pośrednie i bezpośrednie są oczywiste i nie muszą być już dyskutowane. Niestety pomijana jest kwestia wpływu lokalizacji na wartość energii pierwotnej. Nie bez znaczenia jest: długość tras infrastruktury

technicznej niezbędna do realizacji inwestycji, czy łańcuch dostaw materiałów budowlanych. Projektując budynki o niskim zapotrzebowaniu na energię pierwotną, należy szukać lokalnych producentów materiałów budowlanych. Tak, aby minimalizować energetyczne koszty dostawy. Idealnie, jeśli nowa architektura będzie tworzona z materiałów recyklingowych lub bezpośrednio rozbiórkowych. Jeśli jednak nie ma takiej możliwości, to powinno się projektować w sposób, który umożliwi odzyskanie części wykorzystanych materiałów budowlanych w przyszłości. (Ryc.6)

## 5. WNIOSKI

Główne działania inżynierów i architektów w ostatnich dziesięcioleciach miały na celu kreowanie obiektów o niskiej energii końcowej. Pierwotna energia architektury w dużej mierze była pomijana. Społeczeństwo wybrało drogę na skróty. Niektóre kraje zostały ekologicznymi beneficjentami polityki niskiej energii końcowej, niestety są też regiony świata, które stały się jej ofiarami. Wciąż rozrzuć budujemy, burzimy i transportujemy w imię nowoczesności, komfortu i „ochrony środowiska”. Tworzone są obiekty nowoczesne, jednak niewspółczesne. Współcześnie jak nigdy w historii ludzkości, potrzebuje architektury, która powstrzyma zachodzące zmiany klimatu. Należy kreować budynki jako *tymczasowe miejsce przechowywania cennych zasobów*. (Hebei, 2016; s.108). Energia materiałów, którą obecnie znajduje się w budynkach, w przyszłości nie powinna być magazynowana na wysypisku, złomowisku czy dnie oceanu. Pierwotna energia architektury jest trudniejsza w projektowaniu niż energia końcowa, wymaga globalnej perspektywy. Jeśli jednak architekci zrozumieją, że budynek nie istnieje w określonym kontekście środowiskowym, ale w całym środowisku naturalnym, oraz zaczną rozpoznawać powiązania między materiałem, technologią i przyrodą, to z tą samą starannością będą obniżać energię pierwotną, co końcową. Dzięki temu tworzona będzie architektura nisko energetyczna, prawdziwie przyjazna środowisku.

## BIBLIOGRAPHY

- (C.R.I.and E) Resource Efficiency in the Building Sector, Final Report, Copenhagen Resource Institute and Ecorys, 2014, <http://ec.europa.eu> dos. 28.06.2019 r. s.7, s. 13
- (WUP) United Nations, World Urbanization Prospects 2018r. <https://population.un.org/wup/Download/> dost. 14.06.19 r.
- Baran B. *Odnawialne źródła energii* WFOŚiGW w Rzeszowie [www.lubenia.pl/obrazki/File/zrodla-energii-internet.pdf](http://www.lubenia.pl/obrazki/File/zrodla-energii-internet.pdf) dos. 27.06.19 r.
- Berkelmans L. and Wang H., *Chinese Urban Residential Construction to 2040* Research Discussion Paper 2012-04 (Economic Group, Reserve Bank of Austral 2014 r.). <https://www.rba.gov.au/publications/rdp/2012/pdf/rdp2012-04.pdf> dost. 20.06.19 r.
- Citherlet S., Defaux T. *Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span*. Building and Environment 42, ISSN: 03601323. 2007 s.591–598.
- Construction Waste [www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/construction-waste](http://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/construction-waste) dostęp / access 01.11.2020 r.
- DPE iR Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (Tekst mający znaczenie dla EOG) (Dz.U.UE L z dnia 22 listopada 2008 r.), [eur-lex.europa.eu/legal-content/pl/TXT/?uri=CELEX:32008L0098](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/pl/TXT/?uri=CELEX:32008L0098) dos. 01.07.2019
- Dz.U.2019.0.1065 t.j., Stan prawny aktualny na dzień: 14 lipca 2020 r.
- Fischedick M., Joyashree R., *Industry w Climate Change 2014*, s. 749 [http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11116/1/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter10.pdf](http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11116/1/ipcc_wg3_ar5_chapter10.pdf)
- Grodziewicz P. *Czynniki wpływające na możliwość efektywnego wdrożenia idei city mining w stosunku do polskich składowisk odpadów komunalnych* w Logistyka Odzysku, 2014 r, s 39-42
- Hebei D. *Reservoir Building: Toward an Idea of Abundant Pertinence*, w Embodied Energy and design, Columbia University GSAPP 2016 s.108
- Hebei D., Wiśniewska M.H., Heisel F., *Building from Waste: Recovered Materials in Architecture and Construction*, Birkhauser Architecture, ISBN-10: 3038215848, 2014 r.
- Joachim M., *Turning Waste into Building Blocks of the Future City*, BBC Online, May 24, 2013, [www.bbc.com/future/story/20130524-creating-our-cities-from-waste](http://www.bbc.com/future/story/20130524-creating-our-cities-from-waste) dos. 27.06.2019 r.

- Maughan T., *The dystopian lake filled by the world's tech lust*, 2015 r.  
<http://www.bbc.com/future/story/20150402-the-worst-place-on-earth> dos.. 26.06.19
- Michalski B. *Rynek aluminium*, Uniwersytet Wrocławski, 2017  
[https://www.ism.uni.wroc.pl/sites/ism/art/michalski\\_rynek\\_aluminium.pdf](https://www.ism.uni.wroc.pl/sites/ism/art/michalski_rynek_aluminium.pdf), dos.10.06.19 r.
- Milne G. Reardon C. *Embodied energy* w Your Home, Australian Government,  
<http://www.yourhome.gov.au/materials/embodied-energy> dos. 01.07.2019 r.
- Nawza I., Tiwari G.N., *Embodied Energy analysis of photovoltaic (PV) system based on macro- and micro-level*, [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421505001680](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421505001680), dost. 4.6.19r. s.3144-3152)
- Odum H.T. *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making* ISBN: 978-0-471-11442-0, 1995 r.
- Osmani M, in *Waste: A Handbook for Management*, 2011 ISBN 978-0-12-381475-3
- Otero-Pailos J. *The Parthenon's Disembodied Energy* w *Embodied Energy and Design* ed. Benjamin D., Columbia University GSAPP N.Y. 2016 r. s. 83
- Ruby I. Ruby A, *Mine the City: Re-inventing Construction*, Berlin: Ruby Press, 2010 r., s. 243-247.
- Scientific Applications International Corporation (SAIC) *Life Cycle Assessment: Principles and Paractice*,  
<http://people.cs.uchicago.edu/~ftchong/290N-W10/EPAonLCA2006.pdf> dost. 14.06.19 r.
- Seto K, Dhakal S, *Human Settlements. Infrastructure, and Spatial Planning* w *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Working Group III Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*, ed. Ottmar Edenhofer [http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11114/1/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter12.pdf](http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11114/1/ipcc_wg3_ar5_chapter12.pdf) dost. 20.06.19 s.927
- Sirowy B., *Architectural Ethics: A Phenomenological Perspective*, w *Ethics or Moral Philosophy*. ed. Guttorm Fleistad, Springer 2014 r. s. 177-194
- Srinivasan R., Moe K., *The Hierarchy of Energy in Architecture: Energy Analysis* (London: Routledge, 2015 r.). ISBN 9781315753676
- Szargut J., Ziębik A.: *Podstawy energetyki cieplnej*, PWN, Warszawa 1998 r.
- U.S. Department of Energy, *Data Book, Buildings Energy, Efficiency and Renewable Energy 2009*,  
[www.yumpu.com/en/document/read/52703710/2009-buildings-energy-data-book](http://www.yumpu.com/en/document/read/52703710/2009-buildings-energy-data-book). dost.18.06.19 r.
- Walter R. Stahel and Genevieve Reday-Mulvey, *Jobs for Tomorrow: The Potential for Substituting Manpower for Energy* New York: Vantage Press, 1981 r. s.15

## AUTHOR'S NOTE

Assoc. Prof. D.Sc. Ph.D. Arch. Marcin Furtak, he is a graduate of Cracow University of Technology. He is the winner of numerous competitions and architectural and building design prizes. He is a member of the Polish Committee for Standardization, energy efficient housing expert for Małopolska and Podkarpacie Region, a member of the Association of Polish Architects and the Association of Landscape Architecture.

MSc. Eng. Arch Michał Ciuła he is a PhD student at the Faculty of Architecture of Cracow University of Technology. He has over 8 years of experience in the development of conceptual, building and executive designs. He is the winner of many architectural design competitions. He develops his interests in energy efficient and ecological architecture by cooperation with Małopolska Laboratory of Energy Efficient Housing.

## O AUTORZE

dr hab. inż. arch. Marcin Furtak, prof. PK, absolwent Politechniki Krakowskiej. Laureat licznych konkursów oraz nagród architektonicznych i budowlanych. Członek Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Ekspert województw małopolskiego i podkarpackiego w zakresie budownictwa energooszczędnego. Członek Stowarzyszenia Architektów Polskich oraz Stowarzyszenia Architektów Krajobrazu.

mgr inż. arch. Michał Ciuła, doktorant Politechniki Krakowskiej na Wydziale Architektury. Ponad ośmioletnie doświadczenie w opracowywaniu projektów koncepcyjnych, budowlanych i wykonawczych. Laureat konkursów architektonicznych. Swoje zainteresowania architekturą energooszczędną i ekologiczną realizuje poprzez pracę w Małopolskim Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego.