

DOI: 10.21005/pif.2022.52.B-04

MINIMIZATION OF THE ECOLOGICAL FOOTPRINT THROUGH THE USE OF THE BUBBLES MECHANISM IN THE ARCHITECTURE DESIGN PROCESS

MINIMALIZACJA ŚLADU EKOLOGICZNEGO POPRZECZ WYKORZYSTANIE MECHANIZMU KLOSZA W PROCESIE PROJEKTOWYM ARCHITEKTURY

Piotr Gradziński

Dr inż. arch.

Author's Orcid number: 0000-0002-5713-2309

West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Poland
Faculty of Architecture, Department of Housing and Technical and Ecological Basics of Architecture

ABSTRACT

The article concerns the problem of climate change and the need to adapt to the design process the architecture of the bubble mechanism currently operating in the sectors of enterprises and production plants, which consists in determining the maximum level of pollutant emissions. The problem is considered in the category of analysis and selection of building materials. The aim of the analyzes was determined due to the changing climate and the possibility of controlling pollutant emissions by operating in a limited area, in a kind of "bubble", with the imposition of limits the architecture. This leads to the changes in the paradigm of architectural design and the application of appropriate solutions, e.g. materials as well as technical-technological ones, controlling and minimizing the negative impact on the natural environment.

Key words: architecture, Bubbles, DNA, LCA, matter bank, sustainable development.

STRESZCZENIE

Artykuł dotyczy problemu zmian klimatu i możliwości adaptacji w procesie projektowym architektury mechanizmu klosza (*ang. Bubbles*) działającego obecnie w sektorach przedsiębiorstw, zakładów produkcyjnych, który polega na określeniu maksymalnego poziomu emisji zanieczyszczeń. Problem rozważany jest w kategorii analizy i doboru materiałów budowlanych. Cel analiz określono ze względu na zmieniający się klimat a możliwości kontroli emisji zanieczyszczeń operując w ograniczonym obszarze, w pewnego rodzaju „bańce”, z nałożeniem ograniczeń „klosza” na architekturę. Prowadzi to do poszukiwania i zmian w paradygmacie projektowania architektury oraz zastosowania odpowiednich rozwiązań m.in. materiałowych i techniczno-technologicznych kontrolując oraz minimalizując negatywne oddziaływania na środowisko naturalne.

Słowa kluczowe: architektura, bank materii, DNA, LCA, mechanizm klosza, zrównoważony rozwój.

1. INTRODUCTION

The premise of the article is to indicate the need to transpose the lampshade mechanism operating in the sectors of enterprises and production plants. In principle, this mechanism consists in determining and assigning to a group of plants the maximum level of pollutant emissions. At the same time, for this purpose, it is indicated the need to create a material information base / bank (DNA of architecture) in the context of the ecological footprint left by architecture, e.g. in terms of the material solutions used (life cycle, built-in energy) resulting from the decisions made in the design process.

The first part presents the literature query indicating the need to integrate humans present in the natural environment with nature. The issue of the balance of human products with the natural environment was pointed out, for this purpose reference was made to words such as Vitruvius, Ruskin, Fuller, as well as McDonough and Braungart.

The second part presents the relation of the environmental impact of materials used in construction. It also indicated the need to establish boundaries in human activity that should be defined for the safe operational space of future generations.

In the analytical part and in the summary, the ideas of the matter bank model and the use of the lampshade mechanism were introduced. The need for their adaptation in the architectural design process was emphasized due to the possibility of reducing and controlling the ecological footprint, from the perspective of the computational nature of the Life Cycle Assessment (LCA) method. At the same time, the need for a discourse on the correctness of the presented models was indicated, in which the selection of e.g. building materials, as well as technical and technological solutions used in architecture. The issues raised are important for architecture with a view to sustainable development in the Anthropocene era and currently changing climate.

2. ARTICLE STRUCTURE

In architectural design, the most important thing is to solve problems (function, structure, form), ignoring the fact that these problems may have already been solved by nature (Roudavski 2009, p. 348). "Nature cannot be seen anymore as a product of use, it must be experienced as a partner in all its forms," wrote Hans-Georg Gadamer (Gadamer 1992, p. 20). It is worth noting that the molecular structure of nanomaterials has been developing since the 1990s. Science brings together and adapts nature's material solutions. Nanotechnologists create chemical compounds used in construction (paints, roof tiles, glass, concrete), in the pharmaceutical or clothing industry (fabrics, coatings), giving surfaces the ability, for example, to self-clean materials or providing resistance to scratches, thus using the effect and properties of lotus leaves (Świątek-Prokop 2012, pp. 47-54). All this points to numerous searches in the industry for materials and solutions taken from nature. Maria Stawicka-Wałkowska, notices an important fact in the design process regarding knowledge and education, pointing out that it is: "it is of utmost importance that young adepts of architecture, following world achievements in its field, are aware that the presented form is not only the result of genius its creator, but at the same time his deep knowledge of technique, technology and the laws governing nature" (Stawicka-Wałkowska 2002, p355). Vitruvius, drew attention many times to the fact that man was able, inter alia, to "(...) with their hands and fingers, they began in that first assembly to construct shelters. Some made them of green boughs, others dug caves on mountain sides, and some, in imitation of the nests of swallows and the way they built, made places of refuge out of mud and twigs. Next, by observing the shelters of others and adding new details to their own inventions, they constructed better and better kinds of huts as time went on. (...) And since they were of an imitative and teachable nature, they would daily point out to each other the results of their building, boasting of the novelties in it; and thus, with their natural gifts sharpened by emulation, their standards improved daily. (...) made walls of lumps of dried mud, covering them with reeds and leaves to keep out the rain and the heat. Finding that such roofs could not stand the rain

during the storms of winter, they built them with peaks daubed with mud, the roofs sloping and projecting so as to carry off the rain water"¹ (Vitruvius 1956, p. 26).

It follows that the use of materials in architecture has social, cultural and, above all, environmental consequences. The use of materials in the architecture of a building has more than just aesthetic consequences. The choice and application of materials in the design process often comes down to the aesthetic and economic aspect of the performance of an architectural object. The overriding issue, in the ecological sense, is durability and above all the question: where do the materials come from and where do they end their course, which is largely ignored by designers. Considering the materials in the above-mentioned aspects, they should be systematized in terms of their origin and use in the structure of the future (ecological) building.

The life cycle of materials has a significant impact on the service life and durability of an architectural object. Vitruvius pointed out that "when building, one should take into account: durability, purposefulness and beauty. The durability of the building will be achieved when (...) the selection of many building materials is carried out carefully, without being guided by stinginess" (Witruwiusz, pp. 16-17). This means durability (Latin *firmitas*) as an integral, component part of the modern canon of design. John Ruskin wrote that "When we build, let us think that we build forever. Let it not be for present delight nor for present use alone; let it be such work as our descendants will thank us" (Ruskin 2013, p. 188). Oliver Wendell Holmes warns that "A hundred years after we are gone and forgotten those who have never heard of us will have to live with the consequences of our actions (...)" (Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer 2008, p. 13). The key element of modern designing should therefore be the durability of material, construction and finishing elements. Buckminster Fuller, in the *Operating Manual for Spaceship Earth*, warned against the impact of anti-ecological human activity, claiming that "wealth is our organized ability to properly use our (terrestrial) environment, ensuring its future regeneration while reducing both physical and metaphysical limitations" (Czachowski-Rylski 1999, pp. 44-46). A critical look at the environmental impact of contemporary architecture prompts us to ensure that it is not an imitation of shapes taken from nature but transformed into patterns used to build the form and life cycle of an architectural object. A cycle that can be found in living organisms. Comparing an architectural object with a living organism is possible and extremely complex. The progress that has taken place in construction is taking shape in the field of architectural formation, improvement of techniques, technology of erection, material aesthetics and technical and visual correctness, which now gives the opportunity for technical, technological and material development. Nature in its dimension is very hard-working, economical in solutions and thus efficient and effective, not only effective. When translated into the language of management, efficiency equals efficiency and profitability for the next generations. In nature, nothing is wasted, everything is transformed and reused. In the natural environment, it is easy to find the relationship between the ideas and principles of sustainable development, 3Rs (reduce, reuse, recycle), cradle to cradle, etc. after all, they were also inspired by nature and its principles. McDonough and Braungart suggest that a building should be envisioned as a tree that: "(...) will purify the air, accumulate solar energy, produce more energy than it consumes, create shade and habitat, enrich the soil and change with the seasons" (McDonough, Braungart 1998, pp. 82-92). This direction gives architecture a new quality and a timeless dimension of searching for solutions from nature, being in harmony with it.

Due to its distance from the natural environment, society has lost and upset the biorhythms linking the human organism with the circadian cycles (Gradziński 2015). Designing in harmony with human nature should find its internal and external symbiosis, where nature itself becomes a teacher of creation. From the morphological point of view, many 'products' of nature yield and evolve, transforming under the pressure of the environment in which they are located, creating a flexible structural form. The benefits result from the observation and implication of models not only aesthetic, but innovative, practical and ethical in terms of construction, material, form-forming, etc. The symbiotic effect is observed in flora, fauna and many animal species. Nature can be an inexhaustible

¹ This description deserves an analysis due to the epistemology of materials derived from the natural environment and techniques observed directly in nature. This also applies to architectural solutions and the properties of materials in terms of their (analysis) life cycle, which should be characterized by a closed cycle, similar to nature.

source of inspiration in many areas. Archi-cardboard is one of them and has been inspired by nature since the dawn of history (Lebiedew 1983, Widera 2018). Designers have been using similar techniques and construction technologies for centuries (Wilde, 1905). Referring to the data of the European Commission showing that: buildings are responsible for 40% of energy consumption and 36% of CO₂ emissions in the EU annually (Eurostat), contributing to climate change. The considerations of the scientific community indicate "certain" environmental limitations resulting from the absorption of "our" planet, perceiving it as discovering a safe operating space for humanity, defining barriers using appropriate categories. This applies to systemic processes on a planetary scale and the determination of thresholds on a global and local / regional scale (Rockström et al. 2009). Rockström's team mainly points to climate change and ocean acidification. On the basis of the analyzes, the authors define, inter alia, the limits for the processes of that time that have already been exceeded, in the table below (Tab. 1).

Tab. 1. Planetary boundaries. (Rockström et al., Nature 2009, Table 1., s.473)

| Earth system process | Parameters | Proposed Boundary | Current Status | Pre-industrial value |
|---------------------------|--|-------------------|----------------|----------------------|
| Climate change | (i) Atmospheric carbon dioxide concentration (parts per million by volume) | 350 | 387 | 280 |
| | (ii) Change in radiative forcing (watts per metre squared) | 1 | 1.5 | 0 |
| Rate of biodiversity loss | Extinction rate (number of species per million species per year) | 10 | >100 | 0.1–1 |
| Ocean acidification | Global mean saturation state of aragonite in surface sea water | 2.75 | 2.90 | 3.44 |
| Global freshwater use | Consumption of freshwater by humans (km ³ per year) | 4,000 | 2,600 | 415 |
| Change in land use | Percentage of global land cover converted to cropland | 15 | 11.7 | Low |

The information presented relates directly to the possibility of using and diagnosing, through the analysis and assessment of environmental impacts of the produced material, things, building in the life cycle ("cradle to grave" or "cradle to cradle"). Characterization of the results of analyzes and assessments in the life cycle allows for a factual balance against certain planetary boundaries due to the consequences of climate change.

It should be noted that the creation of architecture as such ended with proving its influence on nature. The characteristics of the building as a living organism, directly influencing nature, made it possible to diagnose "diseases" in it. Disease is the term for the malfunctioning of a living organism. Medicine determines whether a given organism is healthy or sick, diagnoses, tests and heals people, veterinary medicine, animals and plant phytopathology. An architectural object is also subjected to tests, e.g. chimney, electric, hydraulic, and selected methods of analysis of multi-criteria quality assessment systems such as BREEAM, CSH, LEED and LCA certification (Przesmycka, 2011). Thanks to such research, it is also possible to determine how a given material from which a building will be constructed affects the environment throughout its entire life cycle, from the production process to the demolition of the building. It is analyzed whether the building itself is, colloquially speaking, a sick building or a healthy building, also in terms of its impact on the environment. Then we can talk about the full integration of the object with the ecosystem.

3. ANALYSIS OF THE ECOLOGICAL FOOTPRINT AND ARCHITECTURE – RESEARCH AIM AND METHOD

From the point of view of the analysis of the building in terms of its life cycle in relation to the environment, the following aspects should be traced: location, use of materials, energy and water con-

sumption, as well as waste generation and negative gas emissions to the atmosphere. To this end, the areas of action should be identified as long-term activities. Design activities in analogy to natural processes in nature. It is possible to use current technological and production processes enabling the design of high-performance buildings (avoiding closed cycles). By means of analytical techniques in an integrated design process, which leads to a reliable estimation of the impact on the environment by means of, inter alia, LCA methods².

Each building material has a so-called the "life cycle", from resource extraction, production, use, to demolition, then reuse (cradle to cradle) or treated as inappropriate waste (cradle to grave). The Life Cycle Analysis methodology, followed by the Life Cycle Assessment, enables the examination of all phases of a given product (in this case, an architectural object), in simplified terms - from obtaining raw material to producing the final material, then erecting an architectural object, through its functioning and finally demolition and subsequent demolition. disposition and utilization of 'waste'. The amount of energy used is analyzed (Cole, Kernan 1996) and the carbon footprint associated with the implementation and operation of an architectural object. In the selection of building materials, the importance of embodied energy and embodied carbon is important, as they determine the ecological character of the manufactured product. For example, the process of producing and using wood is defined as follows: 73% of the incorporated carbon in the production of the product: raw material extraction 61%, transport: 2%, production: 10%; use and maintenance 22%; management and end of life 5%; end of cycle or re-use (Mazria 2014). On the other hand, the Center for Building Performance Research research on the built-in energy factor estimates the built-in energy for the materials listed in the table below (Tab. 2).³

Tab. 2. The amount of energy built into the material. Developed on the basis of Table of Embodied Energy Coefficients, Centre for Building Performance Research (Victoria 2022).

| Embodied energy | | | | | |
|------------------|-------|-------------------|---------------------|-------|-------------------|
| | MJ/kg | MJ/m ³ | | MJ/kg | MJ/m ³ |
| Bales of straw | 0,24 | 30,5 | Concrete (30Mpa) | 1,3 | 3180 |
| Stone (local) | 0,79 | 2030 | Cement | 7,8 | 15210 |
| Ceramics: | | | Insulation: | | |
| ordinary brick | 2,5 | 5170 | cellulose | 3,3 | 112 |
| glass brick | 7,2 | 1476 | fiberglass | 30,3 | 970 |
| | | | polystyrene | 117 | 2340 |
| | | | wool | 14,6 | 139 |
| GK gypsum boards | 6,1 | 5890 | Aluminum (sheet) | 199,0 | 537300 |
| Lumber | 2,5 | 1380 | Aluminum (recycled) | 8,1 | 21870 |
| Glass (float) | 15,9 | 40060 | steel | 32,0 | 251200 |
| Chipboard | 8,0 | 4400 | Steel (recycled) | 8,9 | 37210 |

Life cycle scenarios (Environmental Product Declaration - EPD) are important considerations when selecting individual materials. Below are some examples of percentage scenarios due to: recycling, waste, decrease in value of a given material, etc.: Wood: 13% recycling, 10% decrease in value, 6% incineration, 13% reuse, 58% waste; Steel: 93% recycling, 6% reuse, 1% waste; Concrete: 20% recyclable, 75% decline in value, 5% waste (Steelconstruction 2022). In the studies from 1996 (Raymund J. Cole, Paul C. Kernan 1996, pp. 307-317), the material used was divided into the per-

² However, it should be noted that participatory or open source design is not only about pro-professionals and professionals in their discipline.

³ Internet sites such as tectonica are worth paying attention to, where it is possible to find a table showing the embodied energy or primary energy of a given material (Tectonica, 2018). <http://www.tectonica-online.com/topics/energy/embodied-energy-materials-enrique-azpilicueta/table/31/>

centage responsible for the energy built-in in the analyzed case of an office building with an underground car park. The result was approximated for three material types: wood, steel, concrete as below (Tab. 3).

Tab. 3. Breakdown of the materials used embodied energy and its percentage in an office building with an underground car park. (Cole, Kernan 1996).

| | Site work | Structure | Envelope | Finishes | Services | Construction |
|-----------------|-------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| Wood | 1246GJ 6,5% | 4268GJ 20,3% | 5935GJ 28,3%, | 2900GJ 13,8% | 5263GJ 25,1%, | 1373GJ 5,9%; |
| Steel | 1246GJ 5,3% | 6836GJ 28,9% | 5964GJ 25,2% | 2825GJ 11,9% | 5263GJ 22,2%, | 1549GJ 6,5%; |
| Concrete | 1246GJ 5,6% | 5398GJ 24,4% | 5822GJ 26,3% | 2945GJ 13,3% | 5263GJ 23,8%, | 1447GJ 6,5% |

Therefore, it is important to indicate the environmental impact of buildings and the possibilities of control, reducing energy consumption and reducing CO₂ emissions, for this purpose, the materials should be compared with the built-in: energy and carbon.

3.1. Material analysis of external structure elements using LCA methods

For analytical purposes, the environmental equivalent of various solutions for the elements of external structures, such as external walls and roofs, directly influencing the aesthetics (color, texture, shape, etc.) of the building was calculated using the LCA method. Elements of external structures:

1) External walls: two-layer, three-layer, skeletal, in which the outer layer is covered with thin-layer plaster (which also affects the design of the house), covered with titanium-zinc sheet, covered with siding, covered with composite aluminum panels, covered with stone (no data).

2) Roof: covered with cement tiles, ceramic tiles, titanium-zinc tiles, and an inverted (green) roof, and a flat roof, covered with steel tiles (no data).

The results of the analysis for these variants show that the greatest impact on the environment comes from the energy needed to produce a given material, product, and the least energy-efficient is:

- a) a wall covered with wooden siding, including replacement after 50 years and renewal with varnish, every 10 years, the total result of which is PENRT + PERT - total use of primary energy resources - PENRT (Total use of non-renewable primary energy resources) use of renewable primary energy resources - PERT (Total use of renewable primary) amounts to 276,935.92MJ.

In turn, the most energy-efficient is:

- b) three-layer brick wall (cellular concrete, mineral wool), the total result of which is PENRT + PERT - total use of primary energy resources - PENRT (Total use of non-renewable primary energy resources) total use of renewable primary energy resources - PERT (Total use of renewable primary) is 78,266.99MJ.

Then (ascending):

- c) two-layer wall (cellular concrete, mineral wool), the total result of which is PENRT + PERT is 79 857.06MJ
- d) a wall covered with a titanium-zinc sheet, the total result of which is PENRT + PERT 87,024.28MJ.
- e) a wall covered with aluminum composite panels, taking into account their replacement after 70 years (RSL), the total result of which is PENRT + PERT is 186 813.27MJ.
- f) a wall in a wooden frame structure, insulated with mineral wool and covered with thin-layer plaster, the total result of which is PENRT + PERT is 192 641.02 MJ. It should be noted that the reason for the high coefficient of energy consumption is probably due to the mechanical processing of wood.

The results of the share of renewable energy in relation to the primary (non-renewable) energy are presented in the chart below (Fig. 1).

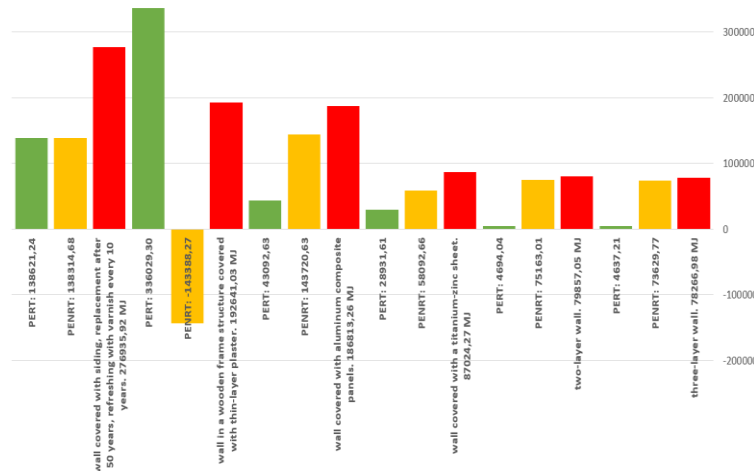


Fig. 1. PERT / PENRT ratio, share of renewable energy in relation to primary (non-renewable) energy. Author's compilation; calculations made using EPD analysis and prepared calculator in Microsoft Excel.

On the other hand, analyzes of roof materials show that the greatest environmental impact occurs when obtaining the energy needed to produce a given material, product, i.e. **PENRT + PERT** – Total use of non-renewable primary energy resources – **PENRT** Total use of renewable primary energy resources - **PERT**. It is also recognized that: a flat roof and an inverted roof, due to their material structure, have a much greater impact on the environment. The direct environmental impact in these two examples depends on: The greenhouse effect potential - GWP, which consists of the general nature of the materials used, and the use of net fresh water - FW (use of net fresh water) due to the application of anti-moisture insulation (calculations used EPD for Danopol PVC Waterproofing Sheet).

The presented analyzes show that the most non-ecological is:

- a) roof (140 m²) inverted (green) extensive:
PENRT + PERT 556 588.44 MJ, GWP 39 937.21 kg CO₂-Eq., FW 3 178 010 018.00 m³
- Next:
- b) flat roof (140 m²):
PENRT + PERT 271 588.72 MJ, GWP 37 616.91 kg CO₂-Eq., FW 3 178 009 974.00 m³
- c) roof (140 m²) covered with ceramic tiles:
PENRT + PERT 126 132.41 MJ, GWP 3 665.34 kg CO₂-Eq., FW 22.22 m³
- d) roof (140 m²) covered with cement tiles:
PENRT + PERT 63 380.27 MJ, GWP 2 220.24 kg CO₂-Eq., FW 2 599.51 m³
- e) roof (140 m²) covered with titanium-zinc tiles:
PENRT + PERT 28 907.51 MJ, GWP -2 355.91 kg CO₂-Eq., FW 12.65 m³

The results of the share of renewable energy in relation to the primary (non-renewable) energy in relation to the potential creation of the greenhouse effect are presented in the chart below (Fig. 2).

The results of the analyzes make it possible for the designer to select materials taking into account their environmental and aesthetic impact. It was shown how the Life Cycle Analysis method can influence the selection of materials, and then the architecture and aesthetics of the designed buildings, which is presented, for example, in the photographs below (Fig. 3).

The ecological balance of the materials produced and the environment is as long as resources are well managed. The important thing is the distance from where they are obtained (raw materials, materials). The presented information and analyzes should be important factors for determining the impact of selected materials and their selection for future construction works. It should be noted that there is no platform that would catalog design solutions in a given area, also with the possibility

of controlling them in terms of their impact on the natural environment (material, energy consumption, etc.).

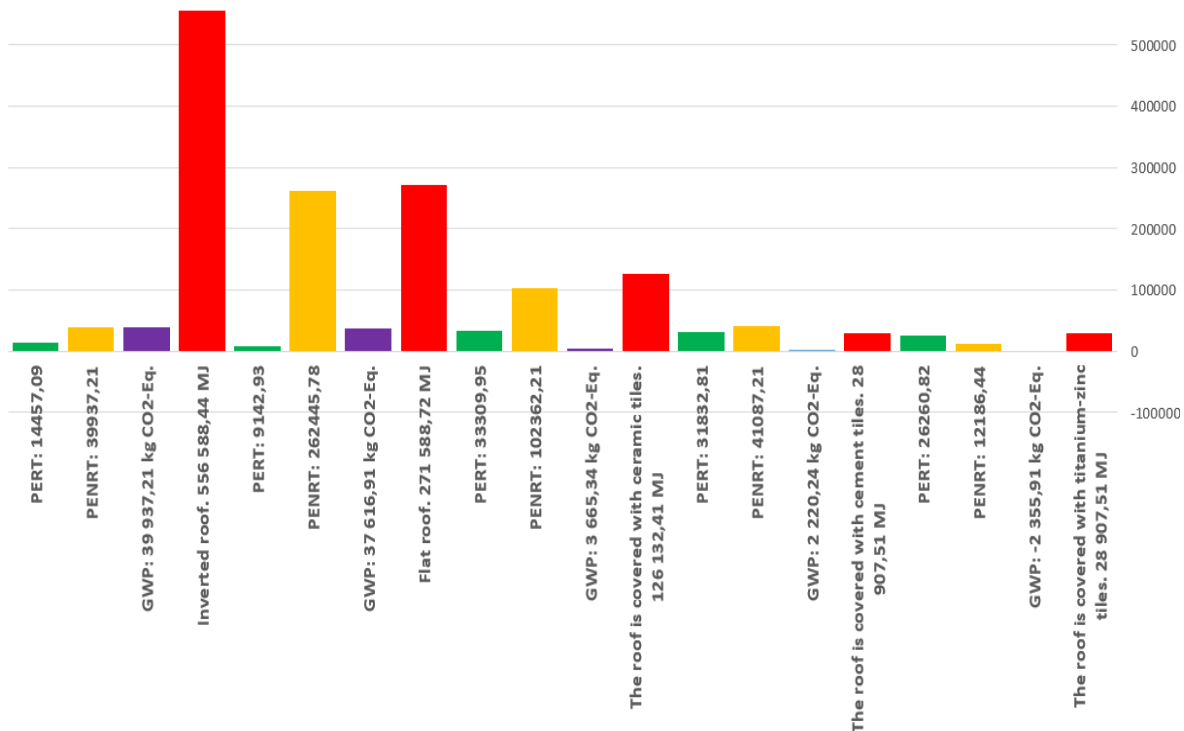


Fig. 2. PERT / PENRT / GWP ratio, share of renewable energy in relation to primary (non-renewable) energy. Author's compilation; calculations made using EPD analysis and prepared calculator in Microsoft Excel.

4. MODEL OF BANK OF MATTER AND INFORMATION ABOUT OBJECTS (DNA)

The deposit offered by the city is huge in its amount and formal diversity. Recording information about objects (as projects with specific technical and technological solutions) should be characterized by data exchange of their functioning patterns and life stages of building components (DNA). Each newly constructed building that would be part of an urban structure should be cataloged as the future equivalent of reused material. The clear ordering of data is the future of the matter bank record. The method of recording the data of the matter bank should take place on two planes - the master and sub data (Gradziński 2016, Gradziński 2018).

The master data is:

- The areas covered by the design, which are primarily spatial elements in the sense of space recycling, having their own time and material dimension created by buildings, objects, waste, etc.;
- Design for / from demolition: determining the percentage and characterization of the number of elements in an architectural object possible to recover and use materials, structures;
- Design for / from re-use: % definition of existing usable structures, thus creating a catalog of existing objects;
- Designing the life cycle of buildings: determining the time and stages of functioning (life) of elements in the building structure, as well as the entire building.



Fig. 3. Aesthetics and the influence of the materials used in the structure of the facade wall (1, 2) and the roof (3, 4) - the assumed values for the roof surface are 140 m². Source: P. Gradziński

- 1) Gregers Grams, R21 Arkitekter, Oslo, Norway, 2013. Three-layer wall PENRT+PERT 78 266,99MJ, GWP 11 351,78 kgCO₂-Eq.
- 2) Lærkehaven afd.33, Herzog+partner, Lystrup, Denmark, 2008. The wall is covered with siding PENRT+PERT 276 935,92 MJ, GWP 10 857,00 kgCO₂-Eq.
- 3) 3 Vauban, Freiburg, Germany, 1998-2009. Inverted (green) extensive roof PENRT+PERT 556 588,44 MJ, GWP 39 937,21 kg kgCO₂-Eq., FW 3 178 010 018,00m³
- 4) Äppelträdgården, White arkitekter, Göteborg, Västra Frölunda, Sweden, 2011. Certificate: Miljöbyggnad Silver. The roof is covered with titanium-zinc tiles: PENRT+PERT 28 907,51 MJ, GWP -2 355,91 kg CO₂-Eq., FW 12,65 m³

Ryc. 1. Estetyka oraz wpływ z zastosowanych materiałów w strukturze ściany elewacyjnej (1, 2) i dachu (3, 4) – przyjęto wartości dla powierzchni dachu 140 m². Źródło: fot. P. Gradziński

- 1) Gregers Grams, R21 Arkitekter, Oslo, Norwegia, 2013r. Ściana trójwarstwowa PENRT+PERT 78 266,99MJ, GWP 11 351,78 kgCO₂-Eq.
- 2) 2. Lærkehaven afd.33, Herzog+partner, Lystrup, Dania, 2008r. Ściana pokryta sidingiem PENRT+PERT 276 935,92 MJ, GWP 10 857,00 kgCO₂-Eq.
- 3) 3. Budynki w dzielnicy Vauban, Freiburg, Niemcy, 1998-2009r. Dach odwrócony (zielony) ekstensywny PENRT+PERT 556 588,44 MJ, GWP 39 937,21 kg kgCO₂-Eq., FW 3 178 010 018,00m³
- 4) 4. Äppelträdgården, White arkitekter, Göteborg, Västra Frölunda, Szwecja, 2011r. Certyfikat: Miljöbyggnad Silver Dach pokryty dachówką tytanowo-cynkową: PENRT+PERT 28 907,51 MJ, GWP -2 355,91 kg CO₂-Eq., FW 12,65 m³

The sub data is:

- Elements: communication infrastructure; household waste; elements of urban detail (street furniture) suitable for re-use, etc.

The collected data estimates the information (relating to energy consumption, or also the materials used) in the analysis and evaluation (e.g. reduction, recycling, re-use, reprocessing, etc.) before use, during use, and after use over the full life cycle (Fig. 4).

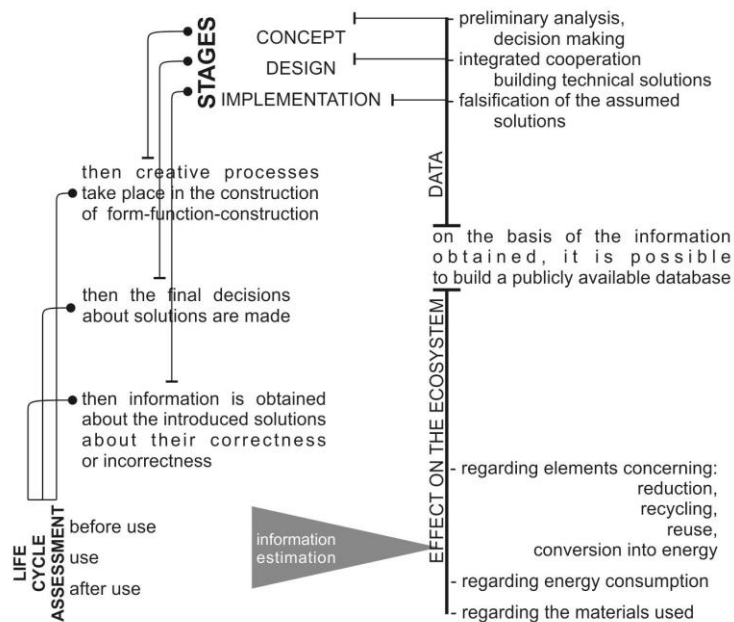


Fig. 4. Stages of the implementation of the holistic design process indicating the decisions made regarding material, technical and technological solutions with the use of the Life Cycle Analysis. Source: Author

It is indicated that the Life Cycle Analysis and Assessment influences the architecture of buildings, among others, in terms of MJ energy consumption or environmental impact through the probable generation of carbon dioxide into the GWP atmosphere. The presented possibilities of the applied method enable the indication of information and its further processing in order to minimize consumption or control the impact on the natural environment. The use of a specific material and construction solution enables analysis and subsequent evaluation in the selection of another solution characterized by a lower coefficient. The presented material characterizes the disturbance occurring in the studied area. It illustrates its influence through the construction materials used during the erection of buildings. This enables further exploration to control and minimize the building's impact on the ecosystem.

5. LIFE CYCLE ANALYSIS AND THE SHADE MECHANISM

The postulates of the Kyoto, Copenhagen and Paris⁴ agreements define the scope of the design algorithms. Under the provisions of Kyoto (Kyoto Protocol, 1997), industrialized countries were obliged to reduce the total global gas emissions by 5.2% by 2012 compared to 1990, and by 8% in the European Union countries. Similar provisions were made by the demands of Copenhagen, the Conference of the Parties (COP). Greenhouse gas reduction targets have been set on them (but without a binding agreement), from the 1990 level, CO₂ reduction for the European Union has been set at -20% by 2020, or -30% by 2030, if other countries adopt targets. In the Copenhagen Agreement by the United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC (UNFCCC 2022). In Paris, on the other hand, the "rational financing" of limiting carbon dioxide emissions and exhaust emissions from other fossil fuels in the world was pointed out, calling for keeping global warming below 2°C. This is in line with the suggestions of Edward Mazria from the Roadmap 2050 Project, represented by Architecture 2030, that the current energy consumption of architecture is

⁴ The agreement signed in Paris was discussed and not approved by US President Donald Trump. Donald Trump called the Paris agreement "deadly for jobs", accusing that it discriminates against American "employees, employers and taxpayers" and favors China and India, for example. These countries, through their economic growth, contribute to the highest emissions of the ecological footprint in the world (Wyborcza 2017).

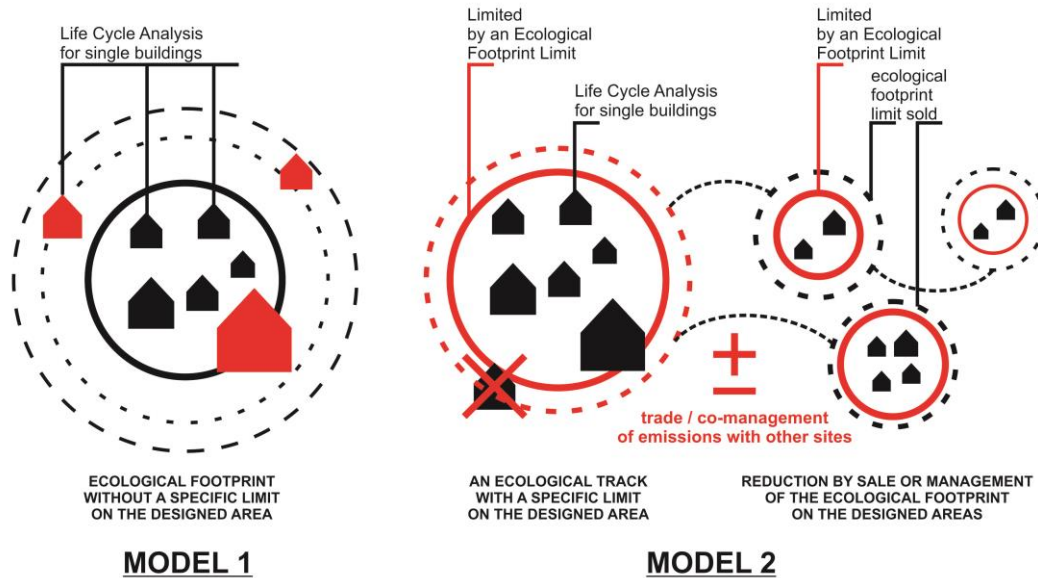
50%; and in subsequent years, reduction should be made by: 70% (2015), 80% (2020), 90% (2025), so that in 2030 the use of fossil fuels will reach zero (Mazria 2003, pp. 102-152; Fumo, Mago, Luck 2010, pp. 2331–2337; USDOE 2011). The general protocol recommendations define three ET (Emissions Trading) systems, joint implementations (JI) and the Clean Development Mechanism (CDM). This prompted European countries to put on a common rational "bowl". It estimates the amount of emissions and the rules for trading in the unused surplus carbon dioxide emissions generated in the closed bubble limit. This mechanism applies in particular to the sectors of enterprises, production plants and "consists in setting and allocating a maximum level of pollutant emissions (emission cap) to a group of plants in such a way that they can jointly achieve the most cost-effective emission reductions (plants can operate under one enterprises)" (Ranosz 2008, pp. 85-95). In this way, it is possible to trade ET emissions as provided by Directive 2004/101/EC of October 27, 2004 on the basis of exchange or contracting of emission credits (Emission Reduction Credits) resulting from JI (Joint Implementation) projects and CDM (Clean Development Mechanism) in the amount of 3.3 million tons of CO₂/year. According to the National Center for Balancing and Emission Management KOBIZE, the reference indicator of the unit carbon dioxide emissions in electricity production to determine the base level for JI projects implemented in Poland is 798 kgCO₂/MWh (KIZOBE 2017). As part of the projects, since 2005 it is possible to reduce CER (Certified Emission Reduction) emissions from CDM projects and from 2008 to reduce ERU (Emission Reduction Units). In this way, they make it possible to purchase, within the allowed limit, a "green" unit and transfer them as EUA (European Union Allowances) emission units in the ratio of 1 EUA = 1 ton of CO₂ (Gaj 2005). Cap and Trade in a fixed sector is achieved by determining the total emission cap (cap) and operates in two planes: upstream (at producer level) and downstream (at the point of issue). The sector of a given group of plants translates the entitlements to achieve its emission reduction, sale or retention targets into future accounting periods. The mechanism of environmental policy in the way of trading in emissions plays a large role in reducing negative emissions, enables the development of new technologies, which brings social benefits and lower administrative costs. In the light of the draft energy policy of Poland until 2050, climate and energy goals are indicated in relation to the recommendations of the European Council for the climate and energy policy of the European Union defined until 2030. They represent 40% of the EU's 2030 greenhouse gas emission reduction target compared to 1990. (as a contribution of the European Union to the global climate agreement). 27% is the EU target for the share of renewable energy in the energy consumed in the EU in 2030; 27% EU indicative target for improving energy efficiency in 2030 compared to forecasts of energy consumption in the future (Baran, Janik, Ryszko 2011).

It should be emphasized that at the design stage, the use of, among others, digital tools, numerous analyzes, ecological certification systems, etc., becoming indispensable elements - introduced at an early stage - in the process of implementing the principles of sustainable development (Stawicka-Wałkowska 2011). These essential elements of the design process: the EPD and the applicable standards are moving towards introducing the common life cycle assessment of building architecture solutions. This design process unifies and objectifies using methods of assessing the impact of the proposed technical and technological solutions of architecture on the environment⁵. Life Cycle Assessment will certainly be an indispensable element of the Technical Conditions in the future. Thanks to this, the Life Cycle Analysis method will enable a measurable estimation of the impact (negative and positive)⁶ on the environment⁷. The conversion and application of the lampshade mechanism in the light of the design process using the Life Cycle Analysis method is equivalent to the manufacturing sector. Assuming a certain emission limit, the achievable result is indicated. Consequently, the result enables comparison with other analyzed cases by analyzing multi-criteria results. The same is true of energy performance certificates in terms of the computational demand for non-renewable primary energy of the assessed building (kWh/m²year).

⁵ For this purpose, the European Commission for Standardization, CEN / TC 350 - Sustainability of construction works has been established. See <https://standards.cen.eu/>

⁶ See the synergy effect of two cycles: natural and technical, [in:] McDonough William, Braungart Michael, *The Upcycle: Beyond Sustainability - Designing for Abundance*. North Point Press, 2013.

⁷ Research defining the full life cycle of a product / building: Before Use, During Use, End of Life, Benefits and loads beyond the system boundaries.



| A realistic design achievement of a lower utilizing ecological footprint | |
|--|--|
| MODEL 1 | MODEL 2 |
| Application of Life Cycle Analysis | Application of the Shade Mechanism |
| The effects characterize the ecological footprint by creating and processing the information of the analyzed building by classifying the obtained data: inputs and outputs (materials, energy, waste); but they do not become a determinant in finding a remedy. | The effects indicate the quantitative, negative level of environmental impact on the analyzed houses in a given area using the Life Cycle Analysis, which makes it possible to define a pattern and estimate the ecological footprint limit as a model for shaping a closed area of urban. |
| By acting individually, it is impossible to achieve the goal of lower environmental impact in view of the larger structure. | Through a set of measures and the definition of an overall limit of the ecological footprint, it is possible to achieve the goal in the light of a larger structure by means of rational management between sites (areas) |
| Unit Result - Model 1 | Collective Result - Model 2 |

Fig. 5. The use of the lampshade mechanism to reduce and control the ecological footprint calculated by the application of the Life Cycle Analysis method. Author's own compilation

Sharing project information concerning the entire city area determines the overall nature of the emission, the level of benefits and deficits and their subsequent classification. The diagram of the design process outlined in this way makes it possible to impose (eco) limits on the designed architectural object. In the process of Building Life Cycle Assessment, it reflects the scale of anthropopressive ecological space (Wójcik 1997) contained in the design process (genetic code of the product - DNA) of each building. For this purpose, the need to analyze the design process of single-family houses in terms of the use of the Life Cycle Analysis and Assessment (LCA) method was determined, and as a result, to estimate the emission limit and ecological footprint for the designed unit, which is a single-family house.

Each building consumes a certain amount of energy which gives its negative footprint to the atmosphere. Also, by "producing" a house, it is possible - through the use of LCA - to determine the scale of such contamination. Assuming a characterized, specific limit of the negative impact on the natural environment for the designed housing estate of single-family houses in the city structure, it is possible to indicate the contamination thresholds and the use of the lampshade mechanism. Namely, indicating how much the newly designed house on the estate consumed energy (stuck: materials kgCO₂-Eq and energy demand kWh/m²) and the limit of the "green unit" in a given area, it would be necessary to limit the further impact and the equivalent of the negative footprint. It thus enables units to be bought back (referring directly to the manufacturing sector within the allowed

"green" unit and trade limit and emission limitation in a fixed sector) according to the assumed target trade limit in a given region. The described procedure shows the importance of the Analysis and Assessment of the Life Cycle of a single family house and the characterization of the result for the entire urban layout of the area in terms of the negative environmental impact limit. The diagram below shows the use of the lampshade mechanism to reduce the ecological footprint calculated by applying the Life Cycle Analysis method (Fig. 5).

6. CONCLUSION

It is necessary to discuss the need to record and share the flow of information about the designed buildings (the materials they contain) in a global structure, which could systematize the material catalog of the possibilities of using the knowledge of technical and technological solutions in the life cycle of their individual elements (building components). In addition, for this purpose, an information base with the use of lampshade mechanism procedures is important, which enables the determination of the minimum and maximum impact of objects in a given area. This leads to a targeted reduction and coordination in emissions trading between territories. The effects indicate the quantitative, negative or positive level of environmental impact in relation to the analyzed houses in a given area by means of, inter alia, LCA methods. This makes it possible to define a scheme and estimate the ecological footprint limit. Through a set of measures and the definition of an overall ecological footprint limit, it is possible to achieve the goal in light of a larger structure by means of rational management between sites (areas). It is worth noting that searching the information in the material and material deposit will direct the decisions of managing the resources of the city of the future in a coordinated manner towards sustainable development on the axis: man - nature. Transcription that builds the city from matter particles, combining the complementarity principles of individual elements according to the matrix information code, will enrich the design process of decisions and results in the dimension of information contained in each building - architectural object (DNA). The correlation of activities in the design process leads not only to the definition of embodied energy and carbon, but also as embodied material in the future to be actually reused. The city, as a treasury of stuck materials in its structure, will lead to the decisions made in the design process being guided by the effective formation of solutions on completely different principles of thinking about: ecological footprint, resilience, design regenerative, 3R + 1R principles, etc. (resilience, ecological footprint, regenerative design, 3R + 1R, etc.). The idea of the city, in the light of the problem posed in this way, sets the balance between the way of synchronizing the existence of materials in the cycle and stages of a building's life.

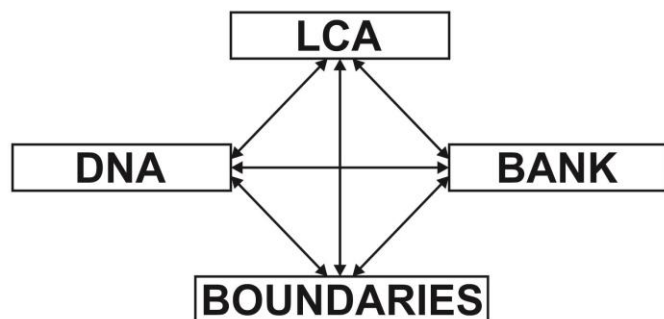


Fig. 6. Diagram of the process conditioning the achievement of a real goal in controlling and minimizing the impact of architecture on the environment. Source: Author

Bearing in mind how the LCA method affects the architecture of buildings, testing with this method of building architecture determines the achievement of a real goal, which is to control and minimize the impact of architecture on the environment (through the materials used and technical and technological solutions consuming a certain amount of energy). and generating emissions). Therefore,

it is necessary to define the boundary conditions (for this purpose, use the lampshade mechanism as a limit for architecture) and the limits of ecological tolerance (Rockström J., et al. 2009, p. 7) in relation to the environment in a given area, area, subjecting all design decisions to , the whole record (DNA - technical, technological and material information of the object) in the neural exchange of information (matter bank) concerning the designed (existing) and planned building objects (Fig. 6). It is worth noting that, ignoring the broadly understood context of the facility's life cycle, without reflective analysis and assessment of the process of collecting inputs and outputs in relation to buildings and technical, technological and material solutions affecting the natural environment (ecology) and built (aesthetics), the method LCA becomes only a hermetic study of the impact of a designed building on the natural environment.

MINIMALIZACJA ŚŁADU EKOLOGICZNEGO POPRZEZ WYKORZYSTANIE MECHANIZMU KLOSZA W PROCESIE PROJEKTOWYM ARCHITEKTURY

1. WPROWADZENIE

Założeniem artykułu jest wskazanie potrzeby transpozycji mechanizmu klosza działającego w sektorach przedsiębiorstw, zakładów produkcyjnych. Z założenia mechanizm ten polega na ustaleniu i przyznaniu grupie zakładów maksymalnego poziomu emisji zanieczyszczeń. Jednocześnie, wskazuje się w tym celu potrzebę stworzenia bazy/banku informacji materii (DNA architektury) w kontekście śladu ekologicznego pozostawionego przez architekturę, m.in. w zakresie użytych rozwiązań materiałowych (cyklu życia, energii wbudowanej) wynikających z podjętych decyzji procesu projektowego.

W pierwszej części przybliżono kwerendę literatury wskazującej na potrzebę integracji człowieka obecnego w środowisku naturalnym z przyrodą. Wskazano na kwestię balansu wytworów człowieka ze środowiskiem naturalnym, odniesiono się w tym celu do słów, m.in.: Witruwiusza, Ruskina, Fullera, oraz McDonougha i Braungarta.

W drugiej części przedstawiono relację wpływu na środowisko naturalne materiałów używanych w budownictwie. Wskazano także potrzebę ustalenia granic w działalności człowieka jakie należy określić dla bezpiecznej przestrzeni operacyjnej przyszłych pokoleń.

W części analitycznej oraz w podsumowaniu przybliżono idee modelu banku materii oraz wykorzystania mechanizmu klosza. Podkreślono potrzebę ich adaptacji w procesie projektowym architektury z uwagi na możliwość obniżenia i kontroli śladu ekologicznego, z perspektywy obliczeniowego charakteru metody Oceny i Analizy Cyklu Życia (ang. Life Cycle Assessment – LCA). Wskazano równocześnie potrzebę dyskursu dla słuszności przedstawionych modeli, w których istotny jest dobór m.in. materiałów budowlanych, a także rozwiązania techniczno-technologiczne stosowanych w architekturze. Poruszane kwestie są istotne dla architektury mając na uwadze zrównoważony rozwój w erze Antropocenu i obecnie zmieniającym się klimacie.

2. ANALIZA WPŁYWU DZIAŁALNOŚCI CZŁOWIEKA I CYKLU ŻYCIA MATERIAŁU

W projektowaniu architektonicznym najważniejsze jest rozwiązywanie problemów (funkcja, konstrukcja, forma), pomija się fakt, iż problemy te mogły zostać już rozwiązane przez naturę (Roudavski 2009, s. 348). „Na przyrodę nie można już więcej patrzeć jak na produkt wykorzystania, musi ona we wszystkich formach jej jawienia być doświadczana jako partner”, pisał Hans-Georg Gadamer (Gadamer 1992, s. 20). Warto zauważyć, że molekularna budowa nanomateriałów rozwi-

ja się od lat 90. XX wieku. Nauka zbliża oraz adaptuje rozwiązania materiałowe natury. Nanotechnolodzy tworzą związki chemiczne wykorzystywane w budownictwie (farby, dachówki, szyby, beton), w przemyśle farmaceutycznym czy odzieżowym (tkaniny, powłoki) nadając powierzchniom zdolność, na przykład do samooczyszczenia materiałów lub wyposażając w odporność na zadrapania, wykorzystując tym samym efekt i właściwości liści lotosu (Świątek-Prokop 2012, s. 47-54). Wszystko to wskazuje na liczne poszukiwania w przemyśle materiałów i rozwiązań zaczerpniętych z natury. Maria Stawicka-Wałkowska, zauważa istotny fakt w procesie projektowym dotyczący wiedzy i wykształcenia wskazując, że jest: „sprawą pierwszorzędnej wagi, ażeby młodzi adepci architektury, śledząc osiągnięcia światowe w jej zakresie, byli świadomi, iż prezentowana forma jest efektem nie tylko geniuszu jej twórcy, lecz równocześnie jego głębokiej wiedzy w zakresie techniki, technologii oraz praw rządzących naturą” (Stawicka-Wałkowska 2002, s. 355). Witruwiusz, zwrócił niejednokrotnie uwagę na to, że człowiek potrafił, m.in. „(...) za pomocą rąk i palców łatwo każdą rzecz wykonać, jedni ludzie żyjąc w gromadzie robili dachy z liści, inni kopali jaskinie u podnóża gór, inni naśladując gniazda jaskółek i ich sposoby budowania robili szalasy z gliny i gałązek. Następnie obserwując cudze domostwa i do własnych pomysłów dorzucając nowe, budowali z dnia na dzień lepsze rodzaje chat. /.../ chlubiąc się wynalazczością, pokazywali rezultaty osiągnięte we wznoszeniu domostw i w ten sposób, rozwijając swe zdolności dzięki rywalizacji, zdobywali coraz lepszą znajomość rzeczy. /.../ suszyli bryły gliny, budowali z nich ściany spajając je drzewem i pokrywali trzcina i liśćmi, żeby uchronić się przed deszczem i skwarem. Później, kiedy wskutek burz zimowych dachy tego rodzaju nie wytrzymały deszczu, robili strome dachy, pokrywając je gliną, i po pochyłości dachu odprowadzali wodę deszczową” (Witruwiusz 1956, s.26)⁸.

Wynika z tego, że stosowanie materiałów w architekturze ma konsekwencje społeczne, kulturowe, ale przede wszystkim środowiskowe. Wykorzystanie materiałów w architekturze budynku ma większe konsekwencje niż tylko pod względem estetycznym. Wybór i zastosowanie materiałów w procesie projektowym często sprowadza się do estetycznego i ekonomicznego aspektu wykonania rzeczy, obiektu architektonicznego. Kwestia nadrzędna, w rozumieniu ekologicznym, to trwałość i przede wszystkim pytanie: skąd materiały pochodzą i gdzie kończą swój bieg, co w dużej mierze jest ignorowane przez projektantów. Rozpatrując materiały pod wyżej wymienionymi względami należy je usystematyzować z uwagi na pochodzenie oraz zastosowanie w strukturze przyszłego (ekologicznego) budynku.

Cykl życia materiałów wywiera znaczny wpływ na żywotność i trwałość obiektu architektonicznego. Witruwiusz wskazywał, że „przy budowie należy uwzględnić: trwałość, celowość i piękno. Trwałość budowli osiągnie się wtedy gdy (...) spośród wielu materiałów budowlanych przeprowadzi się wybór starannie, nie kierując się skąpstwem” (Witruwiusz, s.16-17). Przez to rozumie się trwałość (łac. firmitas) jako integralną, składową część nowoczesnego kanonu projektowania. John Ruskin, pisał że “Kiedy budujemy, pomyślmy, że budujemy na zawsze. Niech nie będzie to dla chwilowej radości ani dla ówczesnego użycia; niech to będzie taka praca, za którą nasi potomkowie będą nam dziękować” (Ruskin 2013, s.188). Oliver Wendell Holmes, przestrzega, że „Sto lat po naszym zniknięciu i zapomnieniu, ci, którzy nigdy o nas nie słyszeli, będą musieli żyć z konsekwencjami naszych działań” (Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer 2008, s.13). Kluczowym elementem nowoczesnego projektowania powinna być zatem trwałość elementów materiałowych, konstrukcyjnych, i wykończeniowych. Buckminster Fuller w *Operating Manual for Spaceship Earth* przestrzegał przed wpływem antyekologicznej działalności człowieka, twierdząc, że „bogactwo jest naszą zorganizowaną umiejętnością właściwego korzystania z naszego (ziemskiego) środowiska, zapewniającą jego regenerację w przyszłości przy równoczesnym zmniejszaniu zarówno fizycznych, jak i metafizycznych ograniczeń” (Czachowski-Rylski 1999, s.44-46). Krytyczne spojrzenie na środowiskowy wpływ współczesnej architektury, skłania do dbania o to, aby nie była ona imitacją kształtów branych z natury lecz przetwarzanych na wzory służące do budowy formy i cyklu życia, jaki zatacza obiekt architektoniczny. Cyklu, który można odnaleźć w organizmach żywych. Porównanie obiektu architektonicznego z organizmem żywym jest możliwe i niezwykle złożone. Postęp, jaki

⁸ Opis ten zasługuje na analizę z uwagi na epistemologię materiałów pochodzących ze środowiska naturalnego oraz technik zaobserwowanych bezpośrednio w przyrodzie. Odnosi się to także do rozwiązań architektonicznych oraz właściwości materiałów pod względem ich (analizy) cyklu życia, która powinna charakteryzować się zamkniętym obiegiem, podobnie jak odbywa się to w przyrodzie.

nastąpił w budownictwie, kształtuje się na polu formowania architektury, ulepszenia technik, technologii wznoszenia, estetyki materiałowej oraz poprawności technicznej i wizualnej wykonania, co obecnie daje możliwość rozwoju techniczno-technologiczno-materiałowych. Natura w swym wymiarze jest bardzo pracowita, oszczędna w rozwiązaniach i tym samym wydajna oraz efektywna, a nie tylko efektowna. Przekładając to na język zarządzania, wydajność równa jest skuteczności i opłacalności dla kolejnych pokoleń. W naturze nic się nie marnuje, wszystko zostaje przeobrażane i wykorzystane ponownie. W środowisku naturalnym łatwo odnaleźć zależność pomiędzy ideami i zasadami zrównoważonego rozwoju, 3R (*reduce, reuse, recycle*), od kołyski do kołyski, etc. wszakże były one również inspirowane naturą i panującymi w nich zasadami. McDonougha i Braungarta wskazują, aby wyobrazić sobie budynek jako drzewo, który: „(...) Oczyszczy powietrze, zgromadzi energię słoneczną, wytworzy więcej energii niż jej zużyje, stworzy cień i siedlisko, wzbogaci glebę i zmieni się wraz z porami roku” (McDonough, Braungart 1998, s.82-92). Kierunek ten nadaje architekturze nową jakość i ponadczasowy wymiar poszukiwań rozwiązań z natury, będący z nią zgodzie.

Tab. 4. Granice planetarne. (Rockström i.in., Nature 2009, Table 1., s.473). Tłumaczenie autora

| Proces | Parametry | Propo- nowane granice | Obecny status | Przedin- dustrialna wartość |
|--|--|-----------------------------|------------------|-----------------------------------|
| Zmiany klimatu | (i) Atmosferyczne stężenie dwutlenku węgla (części na milion objętości) | 350 | 387 | 280 |
| | (ii) Zmiana wymuszenia radiacyjnego (wat na metr kwadratowy) | 1 | 1.5 | 0 |
| Stopa utraty różnorodności biologicznej | Wskaźnik ekstynkcji (liczba gatunków liczących milion gatunków na rok) | 10 | >100 | 0.1–1 |
| Zakwaszenie oceanu | Globalny średni stan nasycenia aragonitu w powierzchniowej wodzie morskiej | 2.75 | 2.90 | 3.44 |
| Globalne wykorzystanie słodkiej wody | Zużycie wody słodkiej przez ludzi (km ³ rocznie) | 4,000 | 2,600 | 415 |
| Zmiana w użytkowaniu gruntów | Procent globalnego pokrycia gruntu przeliczonego na użytki rolne | 15 | 11.7 | Niski |

Społeczeństwo, z uwagi na oddalenie się od środowiska naturalnego, zatraciło i zachwiało biorytmy wiążące organizm ludzki z cyklami dobowymi (Gradziński 2015). Projektowanie w zgodzie z naturą człowieka powinno odnaleźć jego wewnętrzną i zewnętrzną symbiozę, gdzie sama natura staje się nauczycielem kreacji. Z morfologicznego punktu widzenia wiele ‘produktów’, ‘wytworów’ przyrody poddaje się i ewoluuje przekształcając się pod presją środowiska, w którym się znajdują, tworząc elastyczną postać strukturalną. Korzyści wynikają z obserwacji i implikacji modeli nie tylko estetycznych, a innowacyjnych, praktycznych i etycznych na płaszczyźnie poszukiwań konstrukcyjnych, materiałowych, formotwórczych itd. Efekt symbiozy obserwuje się we florze, faunie oraz u wielu gatunków zwierząt. Natura może być niewyczerpanym źródłem inspiracji w wielu dziedzinach. Architektura jest jedną z nich i od zarania dziejów czerpała inspiracje z natury (Lebediew 1983, Widera 2018). Projektanci od wieków stosują podobne techniki i technologie budowlane (Wilde, 1905). Powołując się na dane Komisji Europejskiej wskazujące, że: budynki są odpowiedzialne za 40% zużycia energii oraz 36% emisji CO₂ w UE rocznie (Eurostat) wpływając na zmiany klimatu. Rozważania środowisk naukowych wskazują ‘pewne’ ograniczenia środowiskowe wynikające z absorpcji ‘naszej’ planety ujmując to jako odkrywanie bezpiecznej przestrzeni operacyjnej dla ludzkości, określając bariery przy pomocy stosowania odpowiednich kategorii. Dotyczy to procesów systemowych w skali planetarnej i określenia progów w skali globalnej oraz lokalnej/regionalnej (Rockström i.in. 2009). Zespół Rockströma wskazuje przede wszystkim na zmiany klimatu oraz zakwaszenie oceanów. Na podstawie analiz, autorzy określają między innymi granice dla ówczesnych procesów jakie już zostały przekroczone, w tabeli poniżej (Tab. 4).

Przedstawione informacje odnoszą się bezpośrednio do możliwości stosowania i diagnozowania za pomocą analizy i oceny wpływów na środowisko naturalne wytwarzanego materiału, rzeczy, budynku w cyklu życia („od kołyski do grobu” lub „od kołyski do kołyski”). Charakterystyka wyników analiz i ocen w cyklu życia umożliwia rzeczowy balans względem określonych granic planetarnych z uwagi na konsekwencje zmian klimatycznych.

Należy zauważyć, że kreacja architektury jako takiej skończyła się wraz z udowodnieniem jej wpływu na przyrodę. Charakterystyka budynku, jako żywego organizmu, wpływającego bezpośrednio na naturę, spowodowała dążenie do diagnozowania w nim „chorób”. Choroba jest określeniem nieprawidłowego funkcjonowania żywego organizmu. Medycyna określa czy dany organizm jest zdrowy, czy chory, diagnozuje, bada i leczy ludzi, weterynaria zwierzęta oraz fitopatologia rośliny. Obiekt architektoniczny również poddaje się badaniom np. kominiarskim, elektrycznym, hydraulicznym oraz wybranym metodom analiz wielokryterialnych systemów oceny jakości takich jak certyfikacja BREEAM, CSH, LEED oraz LCA (Przesmycka 2011). Dzięki takim badaniom można również określić jak dany materiał, z którego będzie zbudowany budynek, oddziałuje na środowisko w swoim całym cyklu życia od procesu produkcyjnego jak i po rozbiórce obiektu. Analizuje się czy sam budynek jest potocznie mówiąc budynkiem chorym lub budynkiem zdrowym, również w znaczeniu oddziaływania na środowisko. Wtedy można mówić o pełnej integracji obiektu z ekosystemem.

3. ANALIZA ŚLADU EKOLOGICZNEGO A ARCHITEKTURA – CEL I METODA

Z punktu widzenia analizy budynku pod względem jego cyklu istnienia w zestawieniu ze środowiskiem, należy prześledzić następujące aspekty: lokalizację, użycie materiałów, konsumpcję energii i wody oraz generowanie odpadów i negatywną emisję gazów do atmosfery. W tym celu należy wskazać obszary działania jako działania długoterminowe. Działania prowadzące projektowanie w analogii do naturalnych procesów zachodzących w przyrodzie. Możliwe jest wykorzystanie obecnych procesów technologicznych i produkcyjnych umożliwiających projektowanie wysokiej wydajności budynków (unikając cykli zamkniętych). Za pomocą technik analitycznych w zintegrowanym procesie projektowym, w którym prowadzi się do rzetelnego oszacowania oddziaływania na środowisko przy pomocy m.in. metody LCA⁹.

Każdy materiał budowlany posiada tzw. "cykl życia", od wydobycia zasobów, wytwarzania, użytkowania, aż do momentu rozbiórki, następnie ponownego wykorzystania (od kołyski do kołyski) lub potraktowania go jako odpadu usytuowanego w niewłaściwym miejscu (od kołyski do grobu). Metodyka Analizy Cyklu Życia, a następnie Ocena Cyklu Życia umożliwia zbadanie wszystkich faz danego produktu (w tym wypadku obiektu architektonicznego), w uproszczeniu – od pozyskania surowca do wytworzenia ostatecznego materiału, następnie wznoszenia obiektu architektonicznego, przez jego funkcjonowanie i ostatecznie rozbiórkę i późniejszą dyspozycję i utylizację 'odpadów'. Analizie poddaje się ilość zużytej energii (Cole, Kernan 1996, s.307-317), pozostawiony ślad węglowy, powiązane z realizacją i funkcjonowaniem obiektu architektonicznego¹⁰. W doborze materiałów budowlanych istotne jest znaczenie energii wbudowanej (ang. *embodied energy*) oraz wcielonego węgla (*embodied carbon*), które określają ekologiczny charakter wytworzonego produktu. Dla przykładu proces wytwarzania i użytkowania drewna określany jest następująco: 73% wbudowanego węgla przy wytwarzaniu produktu: wydobycie surowców 61%, transport: 2 %, produkcja: 10%; użytkowanie i konserwacja 22%; zarządzanie i koniec życia 5%; koniec cyklu lub powtórne wykorzystanie (Mazria 2014). Z kolei, badania Centre for Building Performance Research, doty-

⁹ Jednakże, należy zwrócić uwagę, iż w projektowaniu partycypacyjnym albo open source nie występują tylko profesjonalści i fachowcy w swojej dyscyplinie.

¹⁰ Według Ministerstwa Gospodarki (2009) i zawartej metodyki wyliczania śladu węglowego (ang. *carbon footprint*) określa się jedynie fakt, że produkcja energii elektrycznej służącej do zasilania budynków jest odpowiedzialna za uwolnienie (w przybliżeniu) do atmosfery 1000gCO₂., 8-12gSO₂, 3-4gNO_x na każdy 1 kWh.

czące współczynnika energii wbudowanej określają szacunek energii wbudowanej dla materiałów zestawionych w tabeli poniżej¹¹ (Tab. 5).

Tab. 5. Ilość energii wbudowanej w materiale. Opracowanie na podstawie Table of Embodied Energy Coefficients, Centre for Building Performance Research (Victoria 2022). Tłumaczenie autora.

| Energia wbudowana | | | | | |
|-------------------|-------|-------------------|--------------------------|-------|-------------------|
| | MJ/kg | MJ/m ³ | | MJ/kg | MJ/m ³ |
| Bale słomy | 0,24 | 30,5 | Beton (30Mpa) | 1,3 | 3180 |
| Kamień (lokalny) | 0,79 | 2030 | Cement | 7,8 | 15210 |
| Ceramika: | | | Izolacja: | | |
| cegła zwykła | 2,5 | 5170 | celuloza | 3,3 | 112 |
| cegła szklona | 7,2 | 1476 | fibreglass | 30,3 | 970 |
| | | | polystyrene | 117 | 2340 |
| | | | wełna | 14,6 | 139 |
| Płyty gipsowe GK | 6,1 | 5890 | Aluminium (arkusz) | 199,0 | 537300 |
| Tarcica | 2,5 | 1380 | Aluminium (z recyklingu) | 8,1 | 21870 |
| Szkło (float) | 15,9 | 40060 | Stal | 32,0 | 251200 |
| Płyta wiórowa | 8,0 | 4400 | Stal (z recyklingu) | 8,9 | 37210 |

Istotnymi kwestiami przy wyborze poszczególnych materiałów są scenariusze cyklu życia (Deklaracje Środowiskowe Produktów, ang. Environmental Product Declaration - EPD). Poniżej przybliżono przykładowe procentowe scenariusze ze względu na: recykling, odpady, spadek wartości danego materiału, itd.: Drewno: 13% recykling, 10% spadek wartości, 6% spalanie, 13 % powtórne użycie, 58% odpady; Stal: 93% recykling, 6% powtórne wykorzystanie, 1% odpady; Beton: 20% nadaje się do recyklingu, 75% spadek wartości, 5% odpady (Steelconstruction 2022). W badaniach z 1996 roku (Cole, Kernan 1996, s.307-317) dokonano podziału użytego materiału na ilość procentową, która jest odpowiedzialna za energię wbudowaną w badanym przypadku budynku biurowego z parkingiem podziemnym. Wynik przybliżono w trzech typach materiałowych: drewno, stal, beton, jak poniżej (Tab. 6):

Tab. 6. Podział użytych materiałów na energię wbudowaną i jej procentową ilość, w budynku biurowym z parkingiem podziemnym. Na podstawie: Cole, Kernan, *Life-Cycle Energy Use in Office Buildings*, Building and Environment, vol.31, 1996.

| | Na budowie | Konstrukcja | Struktura | Wykończenie | Użytkowanie | Budowa |
|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Drewno | 1246GJ 6,5% | 4268GJ 20,3% | 5935GJ 28,3% | 2900GJ 13,8% | 5263GJ 25,1% | 1373GJ 5,9%; |
| Stal | 1246GJ 5,3% | 6836GJ 28,9% | 5964GJ 25,2% | 2825GJ 11,9% | 5263GJ 22,2% | 1549GJ 6,5%; |
| Beton | 1246GJ 5,6% | 5398GJ 24,4% | 5822GJ 26,3% | 2945GJ 13,3% | 5263GJ 23,8% | 1447GJ 6,5% |

Ważne jest zatem wskazanie wpływu na środowisko przez budynki i możliwości kontroli, zmniejszenia konsumpcji energii oraz ograniczenia emisji CO₂, w tym celu powinno dojść do porównania materiałów względem wbudowanej: energii i węgla.

3.1. Analiza materiałów elementów struktur zewnętrznych przy pomocy metody LCA

Do celów analitycznych obliczono – wykorzystując metodę LCA – ekwiwalent środowiskowy różnych rozwiązań dla elementów struktur zewnętrznych, jakimi są ściany zewnętrzne i dachy, wpły-

¹¹ Warte uwagi są witryny internetowe, na przykład tectonica, gdzie możliwe jest odnalezienie tabeli przedstawiającej wcieloną energię lub energię pierwotną danego materiału. <http://www.tectonica-online.com/topics/energy/embodied-energy-materials-enrique-azpilicueta/table/31/>

wających bezpośrednio na estetykę (kolor, fakturę, kształt, itd.) budynku. Elementy struktur zewnętrznych:

1) Ściany zewnętrzne: dwuwarstwowe, trójwarstwowe, w konstrukcji szkieletowej, w której zewnętrzna warstwa została pokryta tynkiem cienkowarstwowym (co także wpływa na rozwiązanie konstrukcyjne domu), pokryte blachą tytanowo-cynkową, pokryte sidingiem, pokryte kompozytowymi panelami aluminiowymi, pokryte kamieniem (brak danych).

2) Dach: pokryty dachówką cementową, dachówką ceramiczną, dachówką tytanowo-cynkową, oraz dach odwrócony (zielony), i dach płaski, pokryty blachodachówką (brak danych).

Wyniki analizy dla tych wariantów wskazują, że największy wpływ na środowisko wywiera czerpanie energii potrzebnej do wytworzenia danego materiału, produktu i najmniej efektywną energetycznie jest:

- a) ściana pokryta sidingiem drewnianym z uwzględnieniem wymiany po 50 latach oraz odświeżania lakierem, co 10 lat, której sumaryczny wynik PENRT+PERT - całkowite wykorzystanie zasobów energii pierwotnej - PENRT (ang. *Total use of non renewable primary energy resources*) całkowite wykorzystanie odnawialnych zasobów energii pierwotnej - PERT (ang. *Total use of renewable primary*) wynosi 276 935,92MJ.

Z kolei, najefektywniejszą energetycznie jest:

- b) ściana trójwarstwowa z cegły (beton komórkowy, wełna mineralna), której sumaryczny wynik PENRT+PERT - całkowite wykorzystanie zasobów energii pierwotnej - PENRT (ang. *Total use of non renewable primary energy resources*) całkowite wykorzystanie odnawialnych zasobów energii pierwotnej - PERT (ang. *Total use of renewable primary*), wynosi 78 266,99MJ.

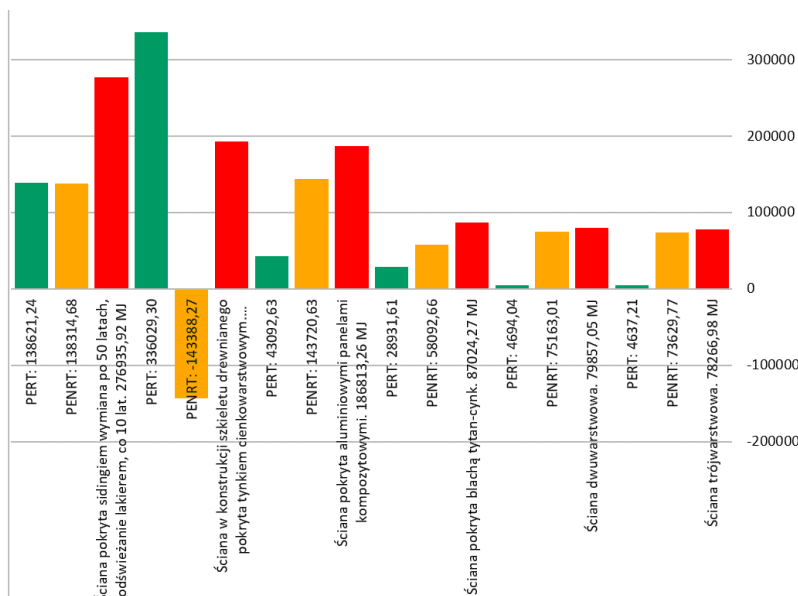
Następnie (rosnąco):

- c) ściana dwuwarstwowa (beton komórkowy, wełna mineralna), której sumaryczny wynik PENRT+PERT wynosi 79 857,06MJ
 d) ściana pokryta blachą tytan-cynk, której sumaryczny wynik PENRT+PERT wynosi 87 024,28MJ.
 e) ściana pokryta aluminiowymi panelami kompozytowymi z uwzględnieniem ich wymiany po 70 latach (RSL), której sumaryczny wynik PENRT+PERT wynosi 186 813,27MJ.
 f) ściana w konstrukcji szkieletu drewnianego, ocieplona wełną mineralną, i pokrytego tynkiem cienkowarstwowym, której sumaryczny wynik PENRT+PERT wynosi 192 641,02 MJ. Zauważyć należy, że przyczyna wysokiego współczynnika energochłonności wynika prawdopodobnie z mechanicznej obróbki drewna¹².

Wyniki udziału energii odnawialnej w stosunku do pierwotnej (nieodnawialnej) przedstawiono na wykresie poniżej (Ryc. 2).

Natomiast, analizy materiałów dachu wskazują, że największe oddziaływanie na środowisko następuje podczas czerpania energii potrzebnej do wytworzenia danego materiału, produktu, tj. PENRT+PERT - Całkowite wykorzystanie zasobów energii pierwotnej – PENRT Całkowite wykorzystanie odnawialnych zasobów energii pierwotnej - PERT. Rozpoznaje się również, iż: dach płaski oraz dach odwrócony ze względu na swoją strukturę materiałową wpływają znacznie bardziej na środowisko. Bezpośredni wpływ na środowisko w tych dwóch przykładach zależy od: Potencjału tworzenia efektu cieplarnianego - GWP na który składa się ogólny charakter zastosowanych materiałów oraz od Wykorzystania świeżej wody netto - FW (ang. *Use of net fresh water*) spowodowanego zastosowaniem izolacji przeciwwilgociowej (w obliczeniach wykorzystano EPD dla Danopol PVC *Waterproofing Sheet*).

¹² Zwracając szczególną uwagę na wysoki wynik konsumpcji energii (PENRT+PERT), pkt. f., dot. konstrukcji szkieletu drewnianego należy zauważyć, że stosowanie EPD może powodować różne wyniki w zależności od fabryki wytwarzającej i sporządzającej LCA. Należy zwrócić uwagę, że wyniki te są różne od innych konstrukcji tego typu. Por. Jaap Bakker, Dan M. Frangopol, Klaas van Breugel, *Life-Cycle of Engineering Systems: Emphasis on Sustainable Civil Infrastructure*, CRC Press, Delft, Netherlands 2016, s.962-974. Por. Robby Caspeeel, Luc Taerwe, Dan M. Frangopol, *Life Cycle Analysis and Assessment in Civil Engineering: Towards an Integrated Vision*, CRC Press, Delft, Netherlands 2018.



Ryc. 2. Wskaźnik PERT/PENRT, udział energii odnawialnej w stosunku do pierwotnej (nieodnawialnej). Opracowanie autora; obliczenia wykonane przy użyciu analizy EPD i przygotowanego kalkulatora w programie Microsoft Excel.

Z przedstawionych analiz wynika, iż najbardziej nieekologiczny jest:

- a) dach (o powierzchni 140m²) odwrócony (zielony) ekstensywny:
PENRT+PERT 556 588,44 MJ, GWP 39 937,21 kg CO₂-Eq., FW 3 178 010 018,00m³

Następnie:

- b) dach (o powierzchni 140m²) płaski:
PENRT+PERT 271 588,72 MJ, GWP 37 616,91 kg CO₂-Eq., FW 3 178 009 974,00 m³
- c) dach (o powierzchni 140m²) pokryty dachówką ceramiczną:
PENRT+PERT 126 132,41 MJ, GWP 3 665,34 kg CO₂-Eq., FW 22,22 m³
- d) dach (o powierzchni 140m²) pokryty dachówką cementową:
PENRT+PERT 63 380,27 MJ, GWP 2 220,24 kg CO₂-Eq., FW 2 599,51 m³
- e) dach (o powierzchni 140m²) pokryty dachówką tytanowo-cynkową:
PENRT+PERT 28 907,51 MJ, GWP -2 355,91 kg CO₂-Eq., FW 12,65 m³

Wyniki udziału energii odnawialnej w stosunku do pierwotnej (nieodnawialnej) w relacji do potencjalnego tworzenia efektu cieplarnianego przedstawiono na wykresie poniżej (Ryc. 3).

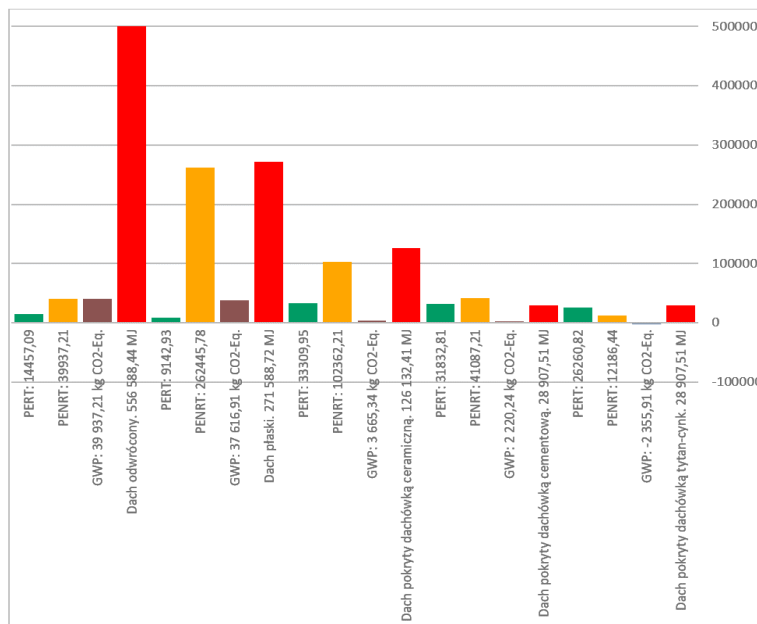
Wyniki analiz dają możliwości selekcji materiałów przez projektanta mającego na uwadze ich wpływ środowiskowy oraz estetyczny¹³. Wskazano jak metoda Analizy Cyklu Życia może wpływać na dobór materiałów, a następnie na architekturę i estetykę projektowanych budynków, który przykładowo przedstawiono na poniższych fotografiach.

Ekologiczna równowaga wytwarzanych materiałów i środowiska naturalnego, jest tak długa, jak dobrze zarządzane są zasoby. Istotną rzeczą jest odległość miejsca ich (surowców, materiałów) pozyskiwania¹⁴. Przedstawione informacje i analizy powinny być istotnymi czynnikami dla określenia wpływu wybranych materiałów oraz ich selekcji dla przyszłych obiektów budowlanych. Należy wskazać, iż brakuje platformy, która katalogowałaby rozwiązania projektowe na danym obszarze również z możliwością ich kontrolowania względem wpływu na środowisko naturalne (materiał, konsumpcja energii, itd.)

¹³ Z uwagi na realizację: inwestor – architekt, wpływ na estetykę leży gdzieś pośrodku, ale nie jest to przedmiotem badań autora, lecz następstwem możliwych późniejszych analiz.

¹⁴ Na przykład bambus, zebrany w Chinach nie będzie już na tyle przyjazny środowisku jeżeli jego transport do Europy przewyższy wpływ na środowisko wytworzony przez lokalnie ścięte drewno. Za wyborem bambusa będzie przemawiał np. aspekt finansowy lub estetyczny a nie przyjazność środowiskowa.

Ryc. 3. Wskaźnik PERT/PENRT/GWP, udział energii odnawialnej w stosunku do pierwotnej (nieodnawialnej). Opracowanie autora; obliczenia wykonane przy użyciu analizy EPD i przygotowanego kalkulatora w programie Microsoft Excel.



4. MODEL BANKU MATERII I ZAPISU INFORMACJI O OBIEKTACH (DNA)

Depozyt, jaki daje miasto jest ogromny w swojej ilości i różnorodności formalnej. Zapis informacji o obiektach (jako projektach mających konkretne rozwiązania techniczno-technologiczne) charakteryzować się powinno przez wymianę danych ich schematów funkcjonowania oraz etapów życia elementów składowych budynku (DNA). Każdy nowo powstały budynek, który wchodziłby w skład struktury miejskiej powinien być skatalogowany, jako przyszły ekwiwalent ponownie wykorzystanej materii. Uszeregowanie danych w klarowny sposób jest przyszłością obejmującą zapis banku materii. Sposób zapisu danych banku materii odbywać się powinno na dwóch płaszczyznach – nadrzędnej i podrzędnej (Gradziński 2016, Gradziński 2018).

Dane nadrzędne to:

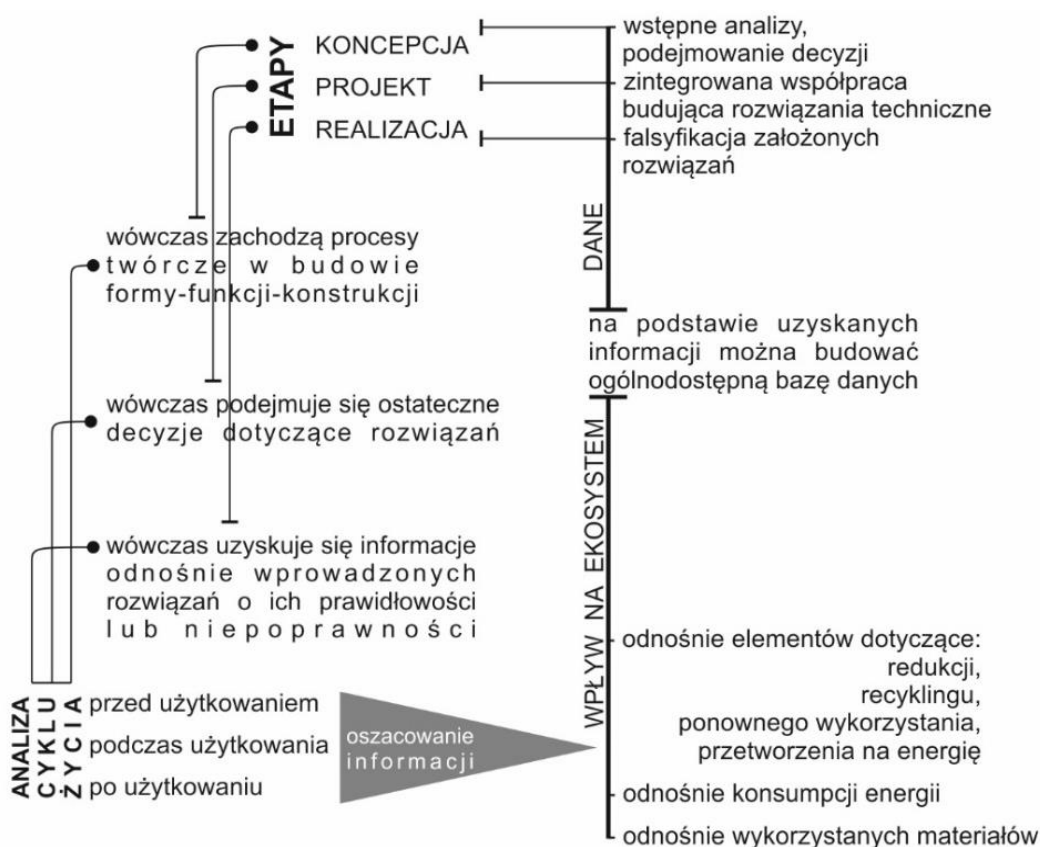
- Obszary objęte projektowaniem, które przede wszystkim są elementami przestrzennymi w rozumieniu recyklingu przestrzeni, mającymi swój wymiar czasowy i materialny tworzony przez budynki, przedmioty, odpady, etc.;
- Projektowanie dla/z rozbiórki: określanie procentowe i scharakteryzowanie ilości elementów w obiekcie architektonicznym możliwych do odzyskania i wykorzystania materiałów, struktur;
- Projektowanie dla/z ponownego wykorzystania: procentowe określenie istniejących struktur możliwych do wykorzystania, a co za tym idzie tworzenie katalogu już istniejących obiektów;
- Projektowanie cyklu życia budynków: określenie czasu i etapów funkcjonowania (życia) elementów w strukturze budynku, a także całego budynku.

Dane podrzędne to:

- Elementy: infrastruktury komunikacyjnej; odpadów gospodarczych; elementy detalu urbanistycznego (mała architektura) nadające się do ponownego wykorzystania, etc.

Zebrałe dane szacują informacje (odnoszące się do konsumpcji energii, lub również wykorzystanych materiałów) w analizie i ocenie (na przykład redukcji, recyklingu, ponownego wykorzystania, przetworzenia, etc.) przed użytkowaniem, podczas użytkowania, i po użytkowaniu w pełnym cyklu życia (Ryc. 4).

Wskazuje się, iż Analiza i Ocena Cyklu Życia wywiera wpływ na architekturę budynków między innymi pod względem konsumpcji energii MJ lub też wpływu na środowisko poprzez prawdopodobne generowanie dwutlenku węgla do atmosfery GWP. Przedstawione możliwości zastosowanej metody umożliwia wskazanie informacji i dalszego ich przetwarzania w celu minimalizacji konsumpcji lub kontroli oddziaływania na środowisko naturalne. Zastosowanie konkretnego rozwiązania materiałowego i konstrukcyjnego umożliwia analizę i późniejszą ocenę w doborze innego rozwiązania charakteryzującego się niższym współczynnikiem. Przedstawiony materiał charakteryzuje zabudowę występującą na badanym obszarze. Obrazuje on jej wpływ przez zastosowane materiały budowlane podczas wznoszenia zabudowy. Umożliwia to dalsze poszukiwania w zakresie kontroli i minimalizacji oddziaływania budynku na ekosystem.



Ryc. 4. Etapy realizacji holistycznego procesu projektowego wskazujące podejmowane decyzje dotyczące rozwiązań materiałowo-techniczno-technologicznych przy zastosowaniu Analizy Cyklu Życia. Opracowanie własne autora.

5. ANALIZA CYKLU ŻYCIA A MECHANIZM KLOSZA

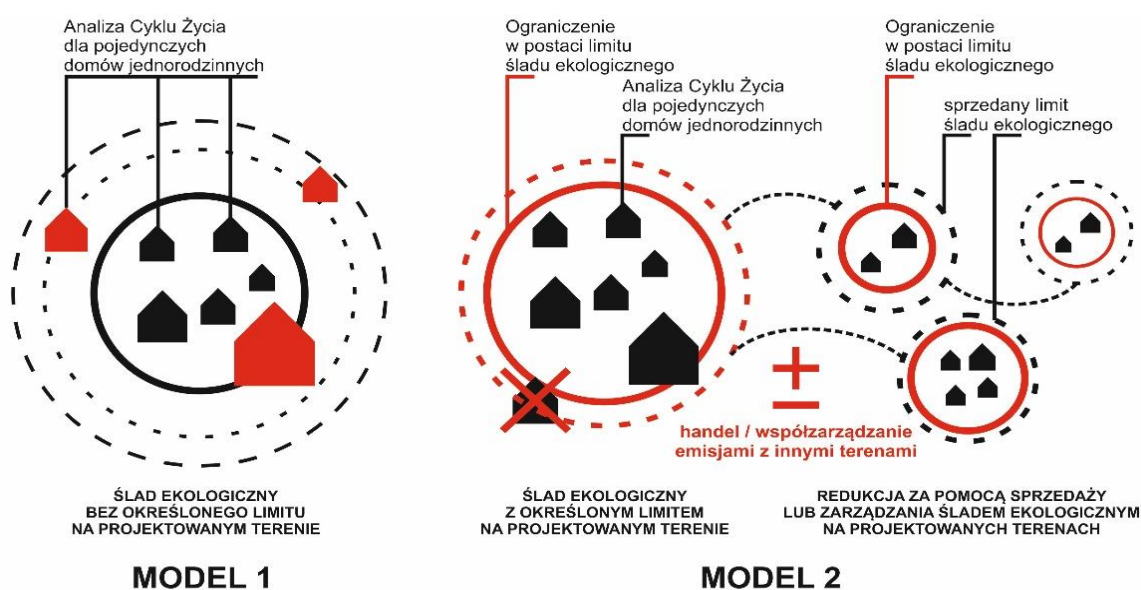
Postulaty porozumień z Kioto, Kopenhagi, i Paryża¹⁵ określają zakres algorytmów projektowych. W ramach postanowień z Kioto (Kyoto Protocol, 1997) kraje uprzemysłowione zobligowano do redukcji ogólnej światowej emisji gazów o wartość 5,2% do 2012 roku w porównaniu z 1990 rokiem, a o 8% kraje Unii Europejskiej. Podobne postanowienia obejmowały postulaty z Kopenhagi,

¹⁵ Porozumienie podpisane w Paryżu zostało poddane dyskusji i nieprzyjęte decyzją Prezydenta USA Donalda Trumpa. Donald Trump porozumienie w Paryżu nazwał "zabójczym dla miejsc pracy" zarzucając, że dyskryminuje amerykańskich "pracowników, pracodawców i podatników", a faworyzuje np. Chiny czy Indie. Kraje te poprzez wzrost gospodarczy przyczyniają się do największej emisji śladu ekologicznego na świecie (Wyborcza 2017).

Conference of the Parties (COP). Ustalono na nich cele dotyczące redukcji gazów cieplarnianych (jednak bez wiążącego porozumienia) od poziomu z roku 1990 redukcją CO₂ dla Unii Europejskiej określono wartość -20% do roku 2020, lub -30% do roku 2030, jeżeli inne kraje przyjmą cele określone w Copenhagen Agreement przez United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC (UNFCCC 2022). Natomiast w Paryżu wskazano przy "racjonalnym finansowaniu" ograniczenia emisji dwutlenku węgla oraz emisji spalin z innych paliw kopalnych na świecie, postulując utrzymanie globalnego ocieplenia poniżej 2°C. Pokrywa się to z sugestiami Edwarda Mazria z Projektu Roadmap 2050 reprezentowanego przez Architecture 2030, z których wynika, że obecne zużycie energii przez architekturę wynosi 50%; i w kolejnych latach należy doprowadzić do redukcji o: 70% (2015), 80% (2020), 90% (2025), aby w roku 2030 wykorzystanie paliw kopalnych sięgnęło zera (Mazria 2003, s.102-152.; Fumo, Mago, Luck 2010, s.2331-2337; USDOE 2011). Generalne zalecenia protokolarne określają trzy systemy handlu emisjami ET (ang. *Emissions Trading*), wspólne wdrożenia JI (ang. *Joint Implementations*) oraz mechanizm czystego rozwoju CDM (ang. *Clean Development Mechanism*). Skłoniło to kraje europejskie do wspólnego racjonalnego nałożenia „klosza”. Szacuje on wielkość emisji i zasady handlu niewykorzystaną nadwyżką emisjami dwutlenku węgla generowanego w zamkniętym emisyjnym limicie bańki (ang. *bubble limit*). Mechanizm ten odnosi się w szczególności do sektorów przedsiębiorstw, zakładów produkcyjnych i „polega na ustaleniu i przyznaniu grupie zakładów maksymalnego poziomu emisji zanieczyszczeń (pułap emisyjny) w taki sposób, by mogły one łącznie dokonywać najbardziej efektywnych kosztowo redukcji emisji (zakłady mogą funkcjonować w ramach jednego przedsiębiorstwa)” (Ranosz 2008, s.85-95). W ten sposób możliwy jest handel emisjami ET jaki daje dyrektywa 2004/101/WE z dnia 27.10.2004 r. na zasadzie wymiany czy zaciągania kredytów emisyjnych (ang. *Emission Reduction Credits*) wynikających z projektów JI (ang. *Joint Implementation* – wspólne wdrożenia) i CDM (ang. *Clean Development Mechanism* – mechanizm czystego rozwoju) w ilości 3,3 mln t CO₂/rok. Referencyjny wskaźnik jednostkowej emisyjności dwutlenku węgla przy produkcji energii elektrycznej do wyznaczania poziomu bazowego dla projektów JI realizowanych w Polsce, to według Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami KOBIZE, 798 kgCO₂/MWh (KIZOBE 2017). W ramach projektów od 2005 roku możliwa jest redukcja emisji CER (ang. *Certified Emission Reductions*) z projektów CDM oraz od 2008 roku redukcja jednostek emisji ERU (ang. *Emission Reduction Units*). Umożliwiają w ten sposób zakup w ramach dozwolonego limitu „zielonej” jednostki i przeniesienia ich jako EUA (ang. *European Union Allowances*) jednostki emisji w stosunku 1 EUA = 1 tona CO₂ (Gaj 2005). Handel oraz ograniczenie emisji (ang. *Cap and Trade*) w ustalonym sektorze osiągnąć jest za pomocą określenia całkowitego limitu emisji (*cap*) i działań w dwóch płaszczyznach *upstream* (na poziomie producentów), *downstream* (w miejscu emisji). Sektor danej grupy zakładów przekłada uprawnienia do realizacji swoich celów redukcyjnych emisji, sprzedaży lub zachowania na przyszłe okresy rozliczeniowe. Mechanizm polityki ekologicznej w sposobie handlu emisjami odgrywa dużą rolę w redukowaniu negatywnej emisji, umożliwia rozwój nowych technologii, co niesie za sobą korzyści społeczne i niższe koszty administracyjne. W świetle projektu polityki energetycznej Polski do 2050 roku wskazuje się cele klimatyczno-energetyczne w stosunku do zaleceń Rady Europejskiej polityki klimatyczno-energetycznej Unii Europejskiej określonych do 2030 roku. Stanowią one 40% unijnego celu redukcji emisji gazów cieplarnianych na 2030 r. w porównaniu z 1990r. (jako wkład Unii Europejskiej w globalne porozumienie klimatyczne). 27% to unijny cel udziału OZE w energii zużywanej w UE w 2030 r.; 27% unijny orientacyjny cel dotyczący poprawy efektywności energetycznej w 2030 r. w porównaniu z prognozami zużycia energii w przyszłości (Baran, Janik, Ryszko 2011).

Należy podkreślić, iż na etapie projektowania kluczowe staje się wykorzystanie m.in. cyfrowych narzędzi, licznych analiz, systemów ekologicznej certyfikacji itd. stających się nieodzownymi elementami – wprowadzonymi we wczesnej fazie – procesu wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju (Stawicka-Wałkowska 2011). Te zasadnicze elementy procesu projektowego: EPD oraz obowiązujące normy zmierzają w kierunku wprowadzenia powszechnego szacowania ocen cyklu życia, rozwiązań architektury budynków. Taki proces projektowy ujednocila i obiektywizuje za pomocą metod oceny oddziaływania proponowanych rozwiązań techniczno-technologicznych architekту-

ry na środowisko¹⁶. Ocena cyklu życia będzie z pewnością nieodzownym elementem Warunków Technicznych w przyszłości. Dzięki temu metoda Analizy Cyklu Życia umożliwi wymierne oszacowanie wywieranego wpływu (negatywnego i pozytywnego)¹⁷ na środowisko¹⁸. Konwersja oraz aplikacja mechanizmu klosza w świetle procesu projektowego wykorzystującego metodę Analizy Cyklu Życia jest równoważna z sektorem produkcyjnym. Zakładając określony limit emisji, wskazuje się osiągalny rezultat. W konsekwencji rezultat umożliwia porównanie z innymi analizowanymi przypadkami przez analizę wielokryterialnych wyników. Podobnie rzecz się ma w świadectwach charakterystyki energetycznej w znaczeniu obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną ocenianego budynku (kWh/m²rok).



Realne projektowe osiągnięcie niższego śladu ekologicznego wykorzystującego

| Zastosowanie Analizy Cyklu Życia | Zastosowanie Mechanizmu Klosza |
|--|---|
| Efekty charakteryzują ślad ekologiczny tworząc i przetwarzając informacje analizowanego budynku poprzez klasyfikację uzyskanych danych: wejść i wyjść (materiały, energia, odpadki); lecz nie stają się one wyznacznikiem w odnalezieniu remedium. | Efekty wskazują ilościowy, negatywny poziom oddziaływania na środowisko w odniesieniu do przeanalizowanych domów na danym terenie za pomocą Analizy Cyklu Życia, co umożliwia określić schemat oraz oszacować limit śladu ekologicznego jako wzór dla kształtowania zamkniętego terenu tkanki urbanistycznej. |
| Poprzez działanie jednostkowe niemożliwe jest osiągnięcie celu jakim jest niższe oddziaływanie na środowisko w świetle większej struktury. | Poprzez zbiór działań oraz określenie całkowitego limitu śladu ekologicznego możliwe jest osiągnięcie celu w świetle większej struktury za pomocą racjonalnej gospodarki pomiędzy terenami (obszarami) |
| Rezultat jednostkowy – Model 1 | Rezultat kolektywny – Model 2 |

Ryc. 5. Wykorzystanie mechanizmu klosza dla obniżenia i kontroli śladu ekologicznego obliczanego przez zastosowanie metody Analizy Cyklu Życia. Źródło: Autor

¹⁶ Do tego celu została powołana Europejska Komisja Standaryzacji, CEN/TC 350 - Sustainability of construction works. Por. <https://standards.cen.eu/>

¹⁷ Zob. efekt synergii dwóch obiegów: naturalnego i technicznego, [w:] McDonough William, Braungart Michael, *The Upcycle: Beyond Sustainability--Designing for Abundance*. North Point Press, 2013.

¹⁸ Badania określające pełen cykl istnienia produktu/budynku: przed użytkowaniem (*Before Use*), podczas użytkowania (*Use*), koniec życia (*end of life*), korzyści po użytkowaniu (*Benefits and loads beyond the system boundaries*).

Dzielenie się informacjami projektowymi, dotyczącymi całego obszaru miasta, określa całkowity charakter emisji, poziomu benefitów i deficytów oraz późniejszej ich klasyfikacji. Nakreślony w ten sposób schemat procesu projektowego umożliwia nałożenie na projektowany obiekt architektoniczny (eko)limitów. W procesie Oceny Cyklu Życia budynku, odzwierciedla on skalę antropopresyjnej przestrzeni ekologicznej (Wójcik 1997) zawartej w materii procesu projektowego (kodu genetycznego produktu – DNA) każdego budynku. W tym celu określono potrzebę analizy procesu projektowego domów jednorodzinnych w aspekcie wykorzystania metody Analizy i Oceny Cyklu Życia (LCA), a w następstwie oszacowania limitu emisji i śladu ekologicznego dla projektowanej jednostki, którą jest dom jednorodzinny.

Każdy budynek zużywa określoną ilość energii, która oddaje do atmosfery swój negatywny ślad. Również „wyprodukowanie” domu umożliwia – poprzez zastosowanie LCA – określenie skali takich skażeń. Zakładając scharakteryzowany, konkretny limit negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne dla projektowanego osiedla domów jednorodzinnych w strukturze miasta, możliwe jest wskazanie progów granicznych skażenia i zastosowania mechanizmu klosza. Mianowicie, wskazując ile nowo projektowany dom na osiedlu zużył energii (wbudowanej: materiałów $\text{kgCO}_2\text{-Eq}$ oraz zapotrzebowania energetycznego kWh/m^2) i limitu „zielonej jednostki” w danym terenie, należałoby ograniczyć przez to dalszy wpływ i ekwiwalent negatywnego śladu¹⁹. Umożliwia to tym samym odkupowanie jednostek (odnosząc się bezpośrednio do sektora produkcyjnego w ramach dozwolonego limitu „zielonej” jednostki i handlu oraz ograniczenia emisji w ustalonym sektorze) według zakładanego handlu docelowym limitem w danym rejonie. Opisane postępowanie wskazuje, jak ważna jest Analiza i Ocena Cyklu Życia pojedynczego domu jednorodzinnego i scharakteryzowanie wyniku dla całego założenia urbanistycznego terenu pod względem negatywnego limitu oddziaływania na środowisko naturalne. Poniżej przedstawiono schemat wykorzystania mechanizmu klosza dla obniżenia śladu ekologicznego obliczanego przez zastosowanie metody Analizy Cyklu Życia (Ryc. 5).

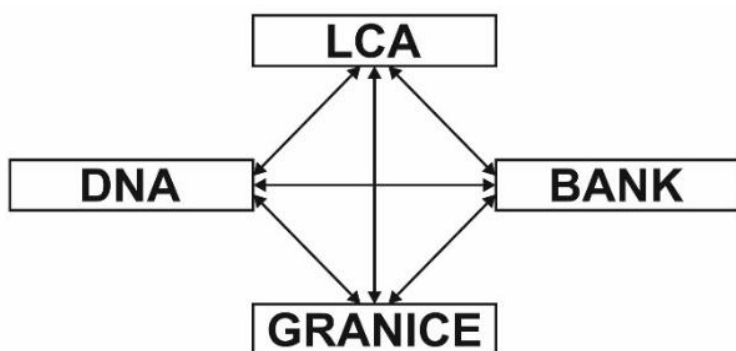
6. PODSUMOWANIE

Należy poddać dyskusji potrzebę zapisu i udostępnienia przepływu informacji o zaprojektowanych budynkach (zawartych w nich materiałach) w globalnej strukturze, które mogłyby usystematyzować materialny katalog możliwości wykorzystania w cyklu życia ich poszczególnych elementów (składowych budynku) również wiedzy rozwiązań techniczno-technologicznych. Ponadto, do tego celu istotna jest baza informacji z wykorzystaniem procedur mechanizmu klosza umożliwiająca określenie minimalnego i maksymalnego oddziaływania obiektów na danym obszarze. Prowadzi to do ukierunkowanego ograniczenia i koordynacji w handlu emisjami pomiędzy obszarami. Efekty wskazują na ilościowy, negatywny lub pozytywny poziom oddziaływania na środowisko w odniesieniu do przeanalizowanych domów na danym terenie za pomocą m.in. metody LCA. Umożliwia to określić schemat oraz oszacować limit śladu ekologicznego. Poprzez zbiór działań oraz określenie całkowitego limitu śladu ekologicznego możliwe jest osiągnięcie celu w świetle większej struktury za pomocą racjonalnej gospodarki pomiędzy terenami (obszarami). Warto zauważyć, że przeszukiwanie informacji w materialno-materiałowym depozycie, ukierunkuje decyzje gospodarowania zasobami miasta przyszłości w sposób skoordynowany na zrównoważony rozwój na osi: człowiek – natura. Transkrypcja budująca miasto z cząsteczek materii, łącząca zgodnie zasady komplementarności pojedynczych elementów według kodu informacji matrycowej, wzbogaci proces projektowy decyzji i rezultatów w wymiarze informacji zawartych w każdym budynku–obiekcie architektonicznym (DNA). Korelacja działań w procesie projektowym prowadzi nie tylko do określenia wbudowanego węgla i energii wbudowanej (ang. *embodied energy and carbon*), ale również, jako materiału wbudowanego (ang. *embodied material*) w przyszłości realnie ponownie wykorzystanego. Miasto, jako skarbiec zgromadzonych (‘utkniętych’, ang. *stuck*) materiałów w jego strukturze doprowadzi, by podejmowane w procesie projektowym decyzje kierowały się do efektywnego formowania rozwiązań na zupełnie innych niż dotąd zasadach myślenia o: śladzie ekologicznym, oraz rezylencji,

¹⁹ Warto zauważyć, że obecnie możliwa staje się również sytuacja budynków pozytywnych energetycznie i materiałowo mając wpływ na handel emisjami.

projektowaniu regeneratywnym, zasadach 3R+1R, etc. (ang. *resilience, ecological footprint, regenerative design, 3R+1R, etc.*). Idea miasta, w świetle tak postawionego problemu wyznacza równowagę sposobu synchronizacji egzystencji materiałów w cyklu i etapach życia budynku.

Mając na uwadze w jaki sposób metoda LCA wpływa na architekturę budynków, badanie tą metodą architektury obiektu budowlanego określa osiągnięcie realnego celu, którym jest kontrola i minimalizacja oddziaływania architektury na środowisko (poprzez zastosowane materiały i rozwiązania techniczno-technologiczne konsumujące określoną ilość energii i generującą emisję zanieczyszczeń). Należy określić zatem warunki brzegowe (w tym celu wykorzystać mechanizm klosza jako limit dla architektury) oraz granice tolerancji ekologicznej (Rockström J., i.in. 2009, s.7) w stosunku do środowiska na danym terenie, obszarze, poddając wszystkie decyzje projektowe, całość zapisowi (DNA – informacja techniczno-technologiczno-materiałowa obiektu) w neuronowej wymianie informacji (bank materii) dotyczącej zaprojektowanych (istniejących) i projektowanych obiektów budowlanych (Ryc. 6). Warto zwrócić uwagę, że pomijając szeroko rozumiany kontekst cyklu życia obiektu, bez refleksyjnej analizy oraz oceny procesu zbioru wejść i wyjść w odniesieniu do budynków i rozwiązań techniczno-technologiczno-materiałowych oddziałujących na środowisko naturalne (ekologia) i zbudowane (estetyka), metoda LCA staje się jedynie hermetycznym badaniem wpływu projektowanego budynku na środowisko naturalne.



Ryc. 6. Schemat procesu warunkujący osiągnięcie realnego celu w kontroli i minimalizacji oddziaływania architektury na środowisko. Opracowanie własne autora.

REFERENCES

- Baran, J., Janik, A., Ryszko, A. (2011) *Handel emisjami w teorii i praktyce*, Warszawa: Wyd. CeDeWu.
- Cole, R.J., Kernan, P.C. (1996) *Life-Cycle Energy Use in Office Buildings*, Building and Environment, vol. 31, Journal-Elsevier, pp.307-317.
- Czachowski-Rylski, W. (1999) *Buckminster Fuller wciąż aktualny*, Zielone Brygady nr 2, Kraków, pp.44-46
- Eurostat (2017) [online] Available at: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/> (Accessed: 01-02-2017).
- Fumo, N., Mago, P., Luck, R. (2010) *Methodology to estimate building energy consumption using Energy Plus benchmark models*, Energy and Buildings no. 42, 2010, Journal – Elsevier, pp.2331–2337. DOI:10.1016/j.enbuild.2010.07.027.
- Gaj, H., (2005) *Mechanizmy Protokołu z Kioto. Cz. II*, Czysta Energia, nr 5, Warszawa.
- Gradziński P. (2016) *Śmieci – przyszłość architektury*, Integracja sztuki i techniki w architekturze i urbanistyce T. 4, Bydgoszcz: Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, pp.87-99.
- Gradziński P. (2019) *The resilience as a sustainable design process in the world climate change*, 4 th World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium WMCAUS, IOP: Materials Science and Engineering, Vol.471, DOI:10.1088/1757-899X/471/9/092054.

- Gradziński, P. (2015) *Światło w architekturze - nowe spojrzenie*. W: *Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce 2015: Architektura: T.1*, Poznań: Wyd. Młodzi Naukowcy Jędrzej Nyćkowiak pp.65-76.
- Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., Zeumer, M. (2008) *Energy Manual Sustainable Architecture*, Munich: Birkhäuser Basel-Boston-Berlin, Edition DETAIL.
- KIZOBE (2017) [online] Available at: <http://www.kobize.pl/pl/article/aktualnosci/id/838/nowe-wskazniki-emisyjnosci-dla-energii-elektrycznej> (Accessed: 20-09-2022).
- Lebiediew, J.S. (1983) *Architektura i bionika*, Warszawa: Arkady.
- Mazria E. (2014) *Roadmap To Zero Emissions*, The Organization of Economic Cooperation and Development's Climate Change Expert Group (OECD CCXG) Global Forum, Paryż, 2014.
- Mazria, E. (2003) *Turning Down the Global Thermostat*, Metropolis Magazine, 2003, pp.102-152.
- McDonough, W., Braungart, M. (1998) *The NEXT Industrial Revolution*, The Atlantic Monthly Company, Vol.282, No.4, (1998), pp.82-92.
- Przesmycka, N. (2011) *Systemy certyfikacji budownictwa zrównoważonego – BREEAM i CSH*, Teka Kom. Arch. Urb. Stud. Krajobr. – OL PAN, pp.108-116.
- Ranosz, R. (2008) *Organizacja i handel uprawnieniami do emisji CO2*, Polityka Energetyczna Tom 11 Zeszyt 2, pp.85-95.
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin F.S.III, Lambin E. Lenton T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H.J., Nykvist B., de Wit C.A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P.K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry W.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J. (2009) *A safe operating space for humanity*. NATURE [Vol 461] 24, Londyn: Macmillan Publishers Ltd, pp.472-475. DOI:10.1038/461472a.
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin F.S.III, Lambin E. Lenton T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H.J., Nykvist B., de Wit C.A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P.K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry W.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J. (2009) *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*, Ecology and Society 14(2): 32. [online] Available at: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32> (Accessed: 20-09-2022).
- Ruskin, J. (2013) *Selections and Essays*. Dover Publications, Dover Publications.
- Stawicka-Wałkowska, M. (2002) *Ochrona środowiska człowieka oraz środowiska naturalnego w architekturze*, Materiały VII Sympozjum Teoria a praktyka w architekturze współczesnej „Architektura a nauka”. Rybna, 27–28 czerwca 2002. Gliwice.
- Stawicka-Wałkowska, M. (2011), *Budownictwo przyjazne środowisku naturalnemu w aspekcie strategii zrównoważonego rozwoju*, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, Łódź.
- Steelconstruction (2022) Źródło: http://www.steelconstruction.info/Life_cycle_assessment_and_%20embodied_carbon (Accessed: 20-09-2022).
- Świątek-Prokop, J., (2012) *Nanomateriały – zalety i zagrożenia*, Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. SERIA: Edukacja Techniczna i Informatyczna z. VII, Częstochowa, pp.47-54.
- UNFCCC (2022) [online] Available at: <http://unfccc.int/bodies/body/6383/php/view/documents.php> (Accessed: 20-09-2022).
- USDOE (2009) *Emissions of greenhouse gases in the United States 2009*. DC: US Energy Information Administration, Washington, 2011.
- Widera, B. (2018) *Proces kształtowania relacji z naturą w architekturze współczesnej*, Wrocławskiej: Wrocław Oficyna Wydawnicza Politechniki.
- Wilde, O. (1905) *The Decay of Lying*, Brentano, New York. [online] Available at: <http://virgil.org/dswo/courses/novel/wilde-lying.pdf> (Accessed: 20-09-2022).
- Witruwiusz (1956) *O architekturze ksiąg dziesięć*. Przekład Kazimierz Kumaniecki. Warszawa: PWN.
- Wójcik, B. (1997) *Przestrzeń ekologiczna dla Polski*, Zielone Brygady. Pismo Ekologów, nr 10 (100), pp.61-66.
- Wyborcza (2017) [online] Available at: <http://wyborcza.pl/7,75399,21898891,donald-trump-zerwal-porozumienie-klimatyczne.html> (Accessed: 20-09-2022).

AUTHOR'S NOTE

Scientific interests are around the architecture based on the principles of sustainable development using Life Cycle Assessment (LCA) and Building Information Modeling (BIM) in the regenerative design process of architecture.

O AUTORZE

Zainteresowania naukowe dotyczą architektury opartej na zasadach zrównoważonego rozwoju z wykorzystaniem oceny cyklu życia (LCA) i modelowania informacji o budynku (BIM) w procesie projektowania regeneracyjnego architektury.

Contact | Kontakt: piotr.gradzinski@zut.edu.pl