

Piotr GRADZIŃSKI¹

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Architektura – ekologiczny transport materiału²

Wstęp

Ekspansja obiektów architektonicznych, poprzez cykl życia – wznoszenie, użytkowanie, rozbiórkę i dobór materiałów (również zawierających cykl życia) dzięki możliwościom obecnego rozwoju światowej logistyki, transportu dystrybuującego materiały niezbędne do powstawania budynków, eskaluje środowisko naturalne. Mając tego świadomość, autor w artykule postawił tezę: wprowadzenie we wczesnej fazie procesu projektowego ekologicznych analiz logistyczno-transportowo-zapobiegawczych pozwoli na zmniejszenie oddziaływania obiektów architektonicznych na środowisko naturalne we wszystkich fazach cyklu życia w momencie, gdy niezbędny jest materiał budowlany.

Środowisko naturalne a architektura

Dywergencja pomiędzy środowiskiem zbudowanym a środowiskiem naturalnym kieruje obecnie procesy kreacji architektury ku holistycznym rozwiązaniom technicznym i technologicznym w znaczeniu ekologicznym, w stosunku do regresji, mody i zysków, wyznaczając oś równowagi w harmonijnym układzie budynek–środowisko. Ekspansja obiektów architektonicznych, poprzez cykle życia (wznoszenie, użytkowanie, rozbiórkę i dobór materiałów – również zawierających cykl życia), eskaluje środowisko naturalne poprzez globalną działalność człowieka. Aktywność i działalność człowieka odpowiada każdego roku za zużycie 25% drewna leśnego oraz 40% surowego kamienia, żwiru i piasku. Budynki zużywają 16% światowych zasobów słodkiej wody i 40% energii, a 70% tlenków siarki z wytwarzanych poprzez spalanie paliw kopalnych jest oddawane do atmosfery przy produkcji energii elektrycznej wykorzystywanej do zasilania domów i biur. Emisja dwutlenku węgla, głównie w krajach uprzemysłowionych, jest wynikiem funkcjonowania budynków i wynosi około 50% [4]. Poprzez użytkowanie obiektów wartości te sięgają 41% całkowitego zużycia energii i 38% emisji gazów cieplarnianych jak zostało wykazane w USA, w Europie jest to 40% emisji gazów cieplarnianych przeznaczonych na funkcjonowanie budynków. Obszary miejskie są odpowiedzialne za ponad 70% zużycia energii i emisji globalnego CO₂ [3]. Dokładna skala w konkretnych sektorach przedstawiona przez AIA 2030 Challenge kształtuje się następująco: architektura komercyjna – 17%, architektura mieszkaniowa – 21%, transport – 27%, przemysł – 35%. Zużycie energii przez architekturę, powinno być utrzymane na poziomie 50%. W kolejnych latach należy prowadzić do redukcji: 70% (2015), 80% (2020), 90% (2025) tak, aby w 2030 roku wykorzystanie paliw kopalnych sięgnęło zera [5, 10, 11]. Projekt Roadmap 2050 (reprezentowany przez Architecture 2030) przedstawiony na Global Forum w Paryżu w 2014 roku określa, iż aby osiągnąć w branży budowlanej (mieszkalnej, handlowej etc.) całkowity roczny poziom emisji CO₂ w stosunku do emisji CO₂ w 2015 roku w sektorze budowlanym należy zmierzać do określenia poziomów: 0 do -15% w roku 2020; -15 do -30% w 2025; -30 do -45% w 2030; -45 do -60% w 2035; -60 do -75% w 2040; -75 do -90% w 2045; -90% na zero emisji CO₂ w 2050; by zero emisji CO₂ osiągnąć w 2055 roku. Z kolei nowe i remontowane budynki należy klasyfikować w wartościach: 70% w 2016 roku; 80% w 2020; 90% w 2025; Carbon Neutral w 2030 roku. Również produkty budowlane powinny spełniać stopień redukcji emisji CO₂ następująco: 35% w 2015 roku; 40% w 2020; 45% w 2025; 50% w 2030 roku [9]. Z badań nad klimatem według Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2010) wynika że emisja gazów cieplarnianych z sektora budowlanego (bez udziału rolnictwa, leśnictwa, zagospodarowania terenu) od 1970 roku wzrosła ponad dwukrotnie, osiągając 9,18 Gt CO₂eq w 2010 roku, co stanowi 25% całkowitej emisji i 19% wszystkich globalnych gazów cieplarnianych w 2010 roku. Większość emisji, tj. 6.02 Gt pochodzi pośrednio ze zużycia energii elektrycznej w budynkach. W 2010 roku według International Energy Agency (IEA, 2013) budynki mieszkalne stanowiły 24%, a budynki komercyjne 8%, tj. razem 32% końcowego zużycia energii i stały się jednym z największych sektorów odbiorców energii końcowej na całym świecie. Tym samym w obu podsektorach w 2010 roku ogrzewanie pomieszczeń zużywało 32–34% światowej energii końcowej [7]. W powyższych przypadkach wartości procentowe nie uwzględniają elementu transportu.

Środowisko naturalne a transport

Za wkład w skażenie, stanowiący procent degradacji środowiska, w cyklu życia materiału budowlanego niezbędnego do powstania obiektu architektonicznego odpowiada pojawiający się element transportu. Jest nieodzowną materią każdego elementu składowego obiektu, gdyż wszystkie materiały niezbędne do wzniesienia obiektu architektonicznego wymagają dostarczenia ich na plac budowy. W 2005 roku sektor transportu stanowił 27% światowej emisji gazów cieplarnianych. Emisja dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych wzrosła od 1990 roku z 20,9 Gt do 28,8 Gt w 2007 roku, z czego transport

¹ Mgr inż. arch. P. Gradziński, asystent, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, Instytut Architektury i Planowania Przestrzennego, Zakład Projektowania Architektonicznego.

² Artykuł recenzowany.

stanowił 4,58 Gt (1990) i 6,63 Gt (2007), co oznacza wzrost o około 45% (wg International Energy Agency – IEA, 2009). Sektor transportu (w tym lotnictwo międzynarodowe i transport morski) był odpowiedzialny za 23% światowych emisji CO₂ ze spalania paliw (30% dla krajów OECD – Organization for Economic Co-operation and Development). Po uwzględnieniu wszystkich emisji gazów cieplarnianych, transport stanowił około 14,5% światowych emisji CO₂ [16]. We wszystkich sektorach energetycznych transport osiągnął jeden z najwyższych poziomów wzrostu ogólnego i oczekuje się że nadal wzrośnie o około 41% od 2030 roku [15]. W Polsce na tle krajów Unii Europejskiej (New EU) emisja CO₂ wynikająca ze spalania paliw kopalnych przez transport w 2007 roku (wg International Transport Forum – ITF, 2009) wyniosła 42,2 Gt, wliczając transport międzynarodowy wartość ta wynosi 304,7 Gt [7]. Reasumując, warto przytoczyć postulaty porozumień z Kioto oraz Kopenhagi. 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 do 1990 roku, określono 8% dla krajów Unii Europejskiej. Podobnie postulaty z Kopenhagi, Conference of the Parties (COP) ustalono cele w zakresie gazów cieplarnianych (jednak bez wiążącego porozumienia), od poziomu z roku 1990 redukcję CO₂ dla Unii Europejskiej, określono wartość -20% do roku 2020 lub -30% do roku 2030, jeżeli inne kraje przyjmują cele określone w Copenhagen Agreement przez United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC [13].

Materiały budowlane a transport

Ilość zużytych surowców do produkcji materiałów, rozpatrywanych jedynie na terenie USA, wzrosła z 161 mln ton w 1900 roku do 2,8 mld ton w 1995 roku. Materiały budowlane stanowią około 75% konsumpcji energii, a tylko 8% z tych materiałów zostało uznane za odnawialne [8]. Aby określić wpływ materiałów używanych do powstawania obiektu architektonicznego na środowisko należy przebadać określoną drogę, tj. cykl życia: od pozyskania surowców i przetwarzania surowców > proces produkcji materiałów potrzebnych do produkcji końcowego wyrobu > dystrybucję i transport materiału > budowę obiektu > użytkowanie obiektu (przytoczone powyżej) > do rozbiórki obiektu = ponownemu użyciu, recyklingu odpadów rozbiórkowych czy składowaniu na wysypisku analizowanych materiałów. Metodę takiej oceny nazywa się *Life-cycle Assessment (LCA)*. Daje ona możliwość oszacowania wszystkich oddziaływań na środowisko i jego zasoby. Badanie z wykorzystaniem metody LCA przeprowadza się w czterech krokach określonych przez Międzynarodową Organizację ds. Standaryzacji ISO (*International Standard Organization*) w PN-EN ISO 14040 oraz PN-EN ISO 14041. Krok pierwszy – określenie celu i zakresu badań, krok drugi – inwentaryzacja zbioru istotnych wejść i wyjść w systemie wyrobu, krok trzeci – ocena potencjalnych wpływów na środowisko związanych z wejściami i wyjściami systemu, krok czwarty – interpretacja rezultatów analizy zbioru oraz faz oceny wpływu w odniesieniu do celów badań. Wymagania nowego procesu projektowego dla innowacyjnych technik budowlanych powodują włączanie metod (metody jakościowe, metody ilościowe, metody ilościowe) i analiz *Life Cycle* (cykl życia), wywierając wpływ na niższe koszty w cyklu eksploatacji obiektu oraz wpływ na środowisko w procesie produkcji materiałów, stanowiąc ważny element informacyjny w procesie projektowym [1].

W doborze materiałów budowlanych istotne jest znaczenie energii wbudowanej (*embodied energy*) oraz wcielonego węgla (*embodied carbon*), które określają ekologiczny charakter wytworzonego produktu. Poprzez oszacowanie energii potrzebnej na wytworzenie materiału takiego np. jak drewno uwzględnia się: wydobywanie surowców – 61% > produkcja – 10% > transport – 2%, daje to 73% *embodied carbon* > użytkowanie i konserwacja 22% > zarządzanie i koniec życia 5% > ... koniec cyklu lub powtórne wykorzystanie (Architecture 2030, 2011). Pokazuje to cykl życia i ilość wcielonego węgla w różnych sektorach. Znaczenie energii wbudowanej przybliżają badania wykonane przez Centre for Building Performance Research, dot. *Embodied Energy Coefficients* określając: kruszywo – 0,1 MJ/kg, 150 MJ/m³; cement 7,8 MJ/kg, 15210 MJ/m³; beton (30 Mpa) 1,31 MJ/kg, 2180 MJ/m³; beton (GRC) 7,61 MJ/kg, 14820 MJ/m³; tarcica 2,5 MJ/kg, 1380 MJ/m³; płyta wiórowa 8,0 MJ/kg, 4400 MJ/m³; stal 32,0 MJ/kg, 251 200 MJ/m³; cegła zwykła 2,5 MJ/kg, 5170 MJ/m³; kamień lokalny 0,79 MJ/kg, 2030 MJ/m³; płyty gipsowe 6,1 MJ/kg, 5890 MJ/m³; wełna mineralna 14,6 MJ/kg, 139 MJ/m³ [18, 20].

Scenariusz cyklu życia poszczególnych materiałów, ich procentowe analizy są ważnymi elementami przy doborze, np. beton – 20% nadaje się do recyklingu, 5% to odpady, 75% spadek wartości; drewno – 13% recykling, 10% spadek wartości, 6% spalanie, 13% powtórne użycie, 58% odpady; stal – 93% recykling, 6% powtórne wykorzystanie, 1% odpady [17].

Zrealizowane przez autora studenckie warsztaty w dniach 21–28 listopada 2014 r. w RISEBA, FAD* na Łotwie były próbą implikacji metody projektowej uwzględniającej element energii wbudowanej. Rozważone zostały elementy energii wbudowanej istniejącej materii ściany zewnętrznej z cegły pełnej (60 cm) 3102 Mj/m². Wyliczona została wartość $U = 1,26 \text{ W/m}^2\text{K}$, następnie została dobrana wewnętrzna izolacja termiczna (z uwzględnieniem punktu rosy) $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, co prowadziło do ponownego wyliczenia energii wbudowanej w analizowanej ścianie $3223 \text{ Mj/m}^2 = 902,44 \text{ kWh/m}^2$ (wełna mineralna 24 cm = 33 Mj/m², OSB 2 cm = 88 Mj/m²).

Według badań Cole, Kerman z 1996 procent odpowiedzialny za energię wbudowaną w budynku biurowym (wraz z parkingiem podziemnym) ze względu na użyty materiał, określono w trzech typach materii wznoszenia: drewno: wznoszenie 1246 GJ – 6,5%, konstrukcja 4268 GJ – 20,3%, struktura 5935 GJ – 28,3%, wykończenie 2900 GJ – 13,8%, użytkowanie 5263 GJ – 25,1%, budowa 1373 GJ – 5,9%; stal: wznoszenie 1246 GJ – 5,3%, konstrukcja 6836 GJ – 28,9%, struktura 5964 GJ – 25,2%, wykończenie 2825 GJ – 11,9%, użytkowanie 5263 GJ – 22,2%, budowa 1549 GJ – 6,5%; beton:

* Riga International School of Economics and Business Administration, Faculty of Architecture and Design.

wznoszenie 1246 GJ – 5,6%, konstrukcja 5398 GJ – 24,4%, struktura 5822 GJ – 26,3%, wykończenie 2945 GJ – 13,3%, użytkowanie 5263 GJ – 23,8%, budowa 1447 GJ – 6,5% [2].

Natomiast w ekologicznych certyfikacjach BREEAM czy LEED problemy związane z polucją transportową analizowane są na płaszczyźnie odległości, co prowadzi do scharakteryzowania polucji CO₂ przez transportowanie materiałów. Analizy w cyklu życia w doborze materiału skupiają się na terminach „Cradle to Gate” (od kołyski do grobu) oraz „Cradle to Cradle” (od kołyski do kołyski) energii wbudowanej materiałów budowlanych. Warto pamiętać, powołując się na przytoczone powyżej dane, iż do transportu tych materiałów na plac budowy wymagane są duże ilości energii. Środki transportu odpowiadają za bezpośrednią emisję gazów cieplarnianych, która wzrosła w okresie od 1970 do 2010 r. o 250%, tj. z 2,8 Gt CO₂e/r. – światowego ekwiwalentu CO₂ w 1970 r. do 7,0 Gt CO₂e/r w 2010 r. Około 80% tego wzrostu pochodzi z transportu drogowego. Zużycie energii w transporcie to około 28% całkowitego wykorzystania energii w roku 2010, z czego około 40% zostało wykorzystane w transporcie miejskim (International Energy Agency – IEA, 2013). Według Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2010) odpowiedzialność transportu i przemysłu w stosunku do całkowitej emisji jest sklasyfikowana następująco: lotnictwo międzynarodowe 1,9%; kolej 0,5%; pozostałe środki transportu (drogowy) 21,3%; przemysł i budownictwo 18,2%, produkcja energii elektrycznej i ciepła 35,0%; przemysł energetyczny 4,6%; żegluga międzynarodowa 2,7%; żegluga krajowa i rybołówstwo 0,6%; pozostałe 15,3%. Różniące się środki transportu mają zdefiniowane zużycie energii dystansowej, która ma na celu określenie charakteru dystrybucji materiału, który nie zaczyna drogi jedynie od magazynu, składu. Środki transportu scharakteryzowano następująco: żegluga oceaniczna – olej napędowy – 0,16 MJ/t/km, kolej – olej napędowy – 0,25 MJ/t/km, żegluga przybrzeżna – olej napędowy – 0,27 MJ/t/km, ciężarówka 35 ton – diesel (32 t) – 0,94 MJ/t/km, ciężarówka 15 ton – diesel (14 ton) – 1,5 MJ/t/km, samolot dalekodystansowy – nafta – 6,5 MJ/tkm [12]. Względna emisję dla poszczególnych rodzajów transportu przytoczoną w wartości gramów CO₂ na tonokilometr definiuje się kolejno: statek towarowy ponad 9000 DWT: 15 g CO₂/tkm; statek towarowy 2000–8000 DWT: 21 g CO₂/tkm; samochód ciężarowy z przyczepą: 50 g CO₂/tkm; fracht lotniczy 747–400, 1200 km lotu: 540 g CO₂/tkm. Rozpatrując emisję CO₂ holistycznie należy podzielić eskalację w sektorach środków transportowych [6, 15]. Pozwala to generalnie zrozumieć wielowątkowość i wielowarstwowość aspektu transportu powszechnego i wbudowanego w materiale.

Wnioski

Reasumując powyższe informacje, według Ministerstwa Gospodarki (2009) metodyka wyliczania *carbon footprint* wskazuje, iż wyprodukowanie energii elektrycznej do zasilania budynków jest odpowiedzialne za uwolnienie około 1000 g CO₂, 8–12 g SO₂, 3–4 g NO_x do atmosfery na każdą kWh. Rozpatrując ekwiwalent skażenia atmosfery, gdzie każdy litr benzyny spalanej w samochodzie powoduje emisję 2,32 kg CO₂ przez transport, a 1 kg CO₂ odpowiada: podróży publicznymi środkami transportu (pociąg lub autobus) na odległość 12 km; przejazdowi samochodem na odległość 6 kilometrów (przy spalaniu 7,3 litra na 100 km); lotu samolotem na odległość 2,2 km [17]. Według badań m.in. U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2014) wynika, że przy spalaniu każdego galonu benzyny tworzy się około 8887 g CO₂, natomiast każdy galon oleju napędowego to równowartość 10 180 g CO₂. Warto zauważyć, że większość pojazdów poruszających się po drogach w USA to pojazdy benzynowe, ze średnim spalaniem 21,6 MPG (mil na galon) na dystansie około 11 400 mil rocznie.

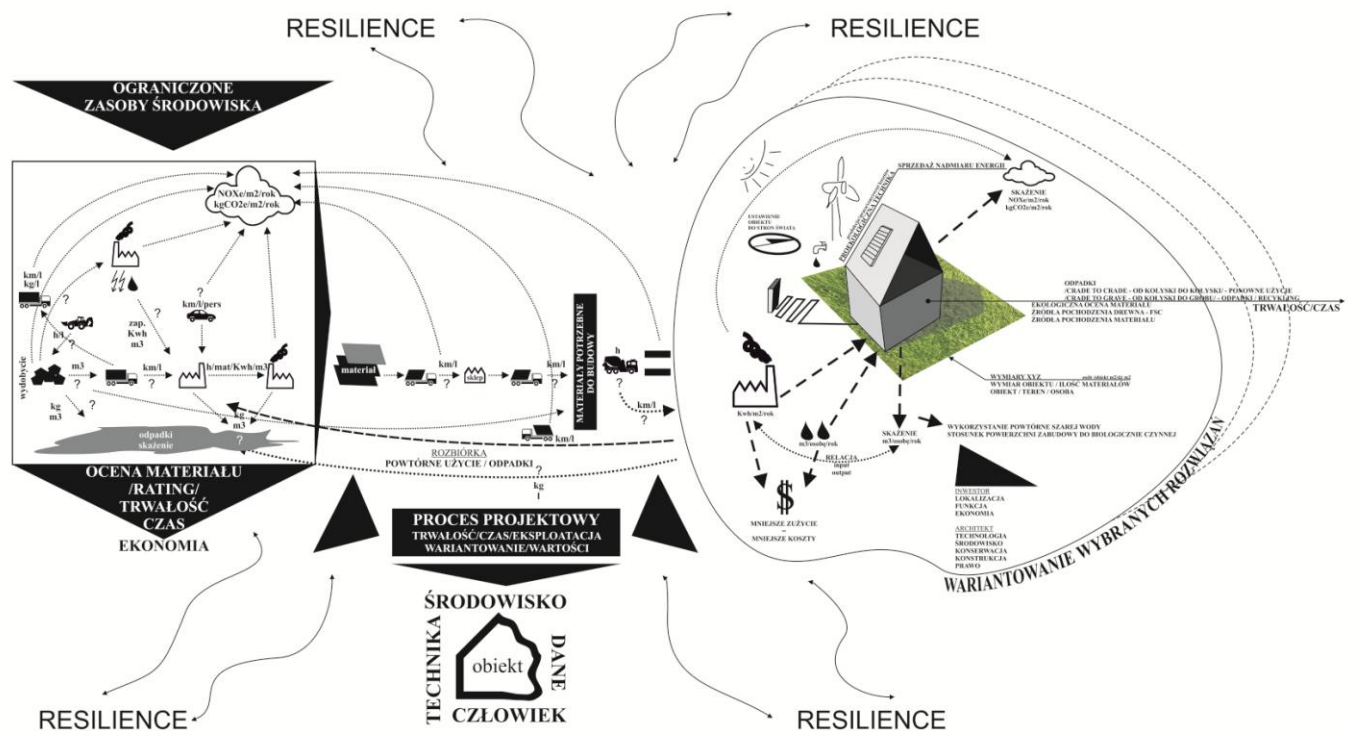
Możliwe jest wyliczenie eskalacji środowiska atmosferycznego ze spalania paliwa, określonej we wzorach matematycznych:

$$\text{emisja CO}_2 \text{ na milę} = \frac{\text{CO}_2 \text{ na galon}}{\text{MPG}}, \quad \text{roczna emisja CO}_2 = \frac{\text{CO}_2 \text{ na galon}}{\text{MPG}} * \text{mil, rocznie} [14, 19]$$

transpozycja na warunki europejskie:

$$\text{emisja CO}_2 \text{ na km} = \frac{\text{CO}_2 \text{ na litr}}{\text{km na litr}}, \quad \text{roczna emisja CO}_2 = \frac{\text{CO}_2 \text{ na litr}}{\text{km na litr}} * \text{km, rocznie}$$

Budynek (sztuczne środowisko życia, zamieszkania) i środowisko naturalne (ekosystem, w którym egzystuje ponad 7 miliardów ludzi) są określone w ekologicznym exemplum procesu projektowego. Ekologiczny proces projektowy prowadzi do rozwiązania w projekcie architektonicznym, który zakłada wielowarstwowość, wariantowość rozwiązań w myśl teorii *resilience* w kieracie ekologicznych zasad 4×R – *Reduce, Reuse, Recycle, Rethink* (sensowności rozwiązań i działań) w całym cyklu życia zmierzającym i obejmowanym projektowaniem regeneracyjnym – regenerative design (rys. 1). Procesy projektowe oraz cykle życiowe określają algorytmy przydatności produktu/obiektu i wpływu na środowisko naturalne w łańcuchu egzystencji. Wymagania nowego procesu projektowego dla innowacyjnych technik budowlanych potrzebują włączania metod i analiz określających „zielony” charakter materiałów budowlanych we wszystkich fazach powstawania, także transportu i dystrybucji. Budowa baz danych, wymiana informacji (tras, emisji CO₂ etc.), w myśl teorii *resilience* umożliwi regeneracyjnemu procesowi projektowemu dobór materiałów i obliczenie ich wpływu na środowisko naturalne, poprzez znajomość tras i emisji. Dywergencja pomiędzy transportem a środowiskiem stoi w opozycji do regresji czasu i zysków. Pojawiają się rosnące pytania i roszczenia do logistyki w świetle doktryn zrównoważonego rozwoju.



Rys. 1. Schemat ekologicznego projektowania obiektu architektonicznego

Źródło: opracowanie własne.

Streszczenie

Ekspansja obiektów architektonicznych, poprzez cykl życia – wznoszenie, użytkowanie, rozbiórkę i dobór materiałów (również zawierających cykl życia), dzięki możliwościom oferowanym przez rozwój transportu, który umożliwia dystrybucję materiałów niezbędnych do powstania budynków, eskaluje środowisko naturalne. Mając tego świadomość, autor w artykule postawił tezę: wprowadzenie ekologicznych analiz logistyczno-transportowo-zaopatrzeniowych we wczesnej fazie procesu projektowego pozwoli na zmniejszenie oddziaływania obiektów architektonicznych na środowisko naturalne we wszystkich fazach cyklu życia w momencie, gdy niezbędny jest materiał budowlany.

Na podstawie badanych oraz analizowanych przykładów autor prezentuje cykl życia obiektów architektonicznych pod względem dobieranych/dostarczanych materiałów budowlanych w rozumieniu idei zrównoważonego rozwoju. Tym samym wskazuje, w jakim kierunku powinien zmierzać proces projektowy w świetle dostarczanego budulca, a także określa rolę i miejsce architekta wyznaczającego oś między budynkiem (sztucznym środowiskiem życia) a środowiskiem naturalnym (ekosystemem, w którym egzystuje ponad 7 miliardów ludzi).

Artykuł jest również przyczynkiem do dyskusji nad kształtowaniem początkowego procesu projektowego z uwzględnieniem logistycznych aspektów transportu materiałów – wbudowanego ekologicznego cyklu życia – w dobie kryzysu ekologicznego.

Architecture – ecological transportation of the material

Abstract

Architectural expansion through life cycle – the construction, use, demolition and selection of materials (also containing life cycle) due to the possibility of the current development of the global logistics transport distributing the materials necessary for the formation of the buildings, escalates the environment. With this in mind, the author into article create the thesis: introduction in the early stages of the design process, ecological analysis of logistics – transportation – supplied of the materials, will help to reduce the impact of architectural objects on the environment during all phases of the life cycle when it is necessary building material.

Based on, studied and analyzed examples the author presents expose the life cycle of architectural objects in terms matched/supplied building materials within the meaning of the sustainable development concept. Thus, indicate in which direction should aim the design process in the light of supplied building materials, and the role and place of the architect defining an axis between the building (artificial habitat) and the environment (ecosystem, which exists more than 7 billion people).

The article is also a contribution to the discussion on the evolution of the early design process, taking into account the logistics aspects of transport of materials – the embodied ecological life cycle – in era of environmental crisis.

LITERATURA / BIBLIOGRAPHY

- [1] Baran J., Janik A., *Zastosowanie wybranych metod analizy i oceny wpływu cyklu życia na środowisko w procesie ekoprojektowania*, XVI Konferencja Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Zakopane 24–26.02.2013.
- [2] http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2013/p002.pdf (dostęp: 20.02.2015).
- [3] Cole R.J., Kernan P.C., *Life-Cycle Energy Use in Office Buildings*, "Building and Environment" 1996, vol. 31, s. 307–217.
- [4] Densley Tingley D., Davison B., *Developing an LCA methodology to account for the environmental benefits of design for deconstruction*, "Building and Environment" 2012, vol. 57, s. 387–395.
- [5] Dimson B., *Principles and Challenges of Sustainable Design and Construction*, "Industry and Environment" 1996, vol. 19, s. 19.
- [6] Fumo N, Mago P., Luck R., *Methodology to estimate building energy consumption using Energy Plus benchmark models*, "Energy and Buildings" 2010, vol. 42, s. 2331–2337.
- [7] IPCC 2014, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, New York, NY, USA, 2014, s. 599–671.
- [8] IPCC 2014, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, New York, NY, USA, 2014, s. 671–738.
- [9] Matos G., Wagner L., *Consumption of Materials in the United States 1900–1995*, "Annual Reviews of Energy and the Environment", 1998, vol. 23, s. 107–122.
- [10] Mazria E., *Roadmap To Zero Emissions*, The Organization of Economic Cooperation and Development's Climate Change Expert Group (OECD CCXG) Global Forum, Paris, 2014, http://architecture2030.org/files/roadmap_web.pdf (dostęp: 20.02.2015).
- [11] Mazria E., *Turning Down the Global Thermostat*, "Metropolis Magazine" 2003, s. 102–152.
- [12] USDOE, *Emissions of greenhouse gases in the United States 2009*, DC: US Energy Information Administration, Washington 2011.
- [13] <http://media.cannondesign.com/uploads/files/MaterialLife-9-6.pdf> (dostęp: 20.02.2015).
- [14] <http://unfccc.int/bodies/body/6383/php/view/documents.php> (dostęp: 20.02.2015).
- [15] <http://www.epa.gov/otaq/climate/documents/420f14040.pdf> (dostęp: 20.02.2015).
- [16] <http://www.ictsd.org/downloads/2012/01/transport-trade-and-climate-change-carbon-footprints-fuel-subsidies-and-marketbased-measures.pdf> (dostęp: 20.02.2015).
- [17] <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/10GHGTrends.pdf> (dostęp: 20.02.2015).
- [18] <http://www.mg.gov.pl/NR/rdonlyres/5F07298D-1CFC-4D08-85DC-41E2A042001B/56758/Carbonfootprint.pdf> (dostęp: 20.02.2015).
- [19] http://www.steelconstruction.info/Life_cycle_assessment_and_embodied_carbon (dostęp: 20.02.2015).
- [20] <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/373.pdf> (dostęp: 20.02.2015).
- [21] <http://www.victoria.ac.nz/architecture/centres/cbpr/resources/pdfs/ee-coefficients.pdf> (dostęp: 20.02.2015).