

AGATA WYCIŚŁOK

Politechnika Śląska, Wydział Architektury, ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice; e-mail: agata.wycislok@polsl.pl

PIOTR WYCIŚŁOK

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach, Wydział Architektury, Budownictwa i sztuk Stosowanych, ul. Rolna 43, 40-555 Katowice; e-mail: piotr.wycislok@wst.com.pl

W KIERUNKU BUDYNKU PRZYJAZNEGO ŚRODOWISKU – PROPOZYCJE ZMNIEJSZENIA ŚLADU WĘGLOWEGO W BUDYNKACH WYSOKOŚCIOWYCH

s. 23-36

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono propozycję zastosowania całościowego podejścia do projektowania, budowy, eksploatacji i likwidacji budynków wysokościowych, zmierzającą do minimalizacji ich oddziaływania na środowisko. Koncepcję oparto o ideę domu samowystarczalnego w każdym aspekcie jego działania, wzmocnioną starannym doбором materiałów konstrukcyjnych, jak np. spoiwa geopolimerowe. Budynek samowystarczalny w myśl tej koncepcji produkuje wodę, energię, oczyszcza ścieki i przetwarza odpady, dzięki takim technologiom jak komin solarny czy odwrócona osmoza. Jednocześnie budynek dopasowuje się do bieżących potrzeb poprzez łatwą możliwość zmiany nie tylko swojej funkcjonalności, ale także i zmiany powierzchni użytkowej czy podziału jego struktury, co wydłuża niepomiarne okres jego pełnej użyteczności. Ważną rolę w powstaniu takiego budynku pełnią materiały z recyklingu.

SŁOWA KLUCZOWE

śląd węglowy, recykling, budynek samowystarczalny

1. Wstęp

Gwałtowny rozwój cywilizacyjny mający swoje początki już pod koniec XVIII wieku przyniósł nie tylko korzyści naukowe czy ekonomiczne, ale spowodował także szereg niebezpiecznych zjawisk, z których konsekwencjami musimy się obecnie zmierzyć. Konieczność podjęcia działań w sprawie globalnego ocieplenia na szczeblu międzynarodowym została zauważona już 1992r. podczas Konferencji Narodów Zjednoczonych na temat Środowiska i Rozwoju. Wtedy też ukształtowała się Ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, która wprowadziła sama nie zawierała szczegółowych wytycznych i nakazów dotyczących emisji gazów cieplarnianych, ale stanowiła wytyczną dla powstałego kilka lat później protokołu z Kioto. W nim zostały uwzględnione szczegółowe limity emisji dla krajów, które zdecydowały się na jego ratyfikację. 10 lat po wejściu w życie tego protokołu po raz pierwszy udało się osiągnąć światowy kompromis w kwestiach związanych z ograniczeniem zmian klimatu. Zgodnie z Porozumieniem Paryskim przyjętym w 2015 roku podczas 21. Konferencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmiany klimatu, ustalono światowy kompromis w kwestii ograniczenia zmian klimatu [1]. Głównym celem porozumienia jest ograniczenie średniego wzrostu temperatury na Ziemi do poziomu poniżej 2°C oraz podejmowanie wysiłku w celu dalszego ograniczenia wzrostu temperatury do 1,5°C.

Jednym z czynników zanieczyszczenia środowiska jest industrializacja obecna także w sektorze budownictwa. Liczne problemy, z którymi borykamy się w ostatnich latach są konsekwencją wyczerpywania się zasobów naturalnych, zubożenia biosfery, czy zachwiania równowagi ekologicznej, spowodowanej przez szybki, niezrównoważony rozwój [2]. Wydaje się, że dalszy rozwój cywilizacyjny, który zapewni dobrobyt także kolejnym pokoleniom, nie jest już możliwy bez zachowania zasad zrównoważonego rozwoju [3],[4]. Jak dzisiaj już widać nie tylko ograniczanie bezpośredniego zużycia energii, ale także ponowne wykorzystanie materiałów to, jak się obecnie wydaje, główne metody do niego prowadzące.

Jak powiedziano już wyżej jednym z najważniejszych obszarów, w których podjęcie działań jest niezbędne, jest budownictwo i architektura. Gdyż to ta działalność człowieka jest odpowiedzialna za znaczną emisję gazów cieplarnianych, takich jak dwutlenek węgla i to niezależnie od faktu dramatycznego spadku bezpośredniego wytwarzania dwutlenku węgla w budynkach w ciągu ostatnich 50 lat [5]. Zgodnie z danymi dostępnymi w Globalnym Raplocie, dotyczącym budynków i konstrukcji [6], budownictwo to sektor, który jest odpowiedzialny za konsumpcję 35% światowej energii. Jest to także sektor stojący na czele światowej emisji gazów cieplarnianych, będąc odpowiedzialnym za 38% globalnej emisji, co w 2020 roku stanowiło niemalże 20 mld ton CO_{2eq}. Ciągłe jeszcze 28 punktów procentowych tej emisji to operacyjny ślad węglowy, który jest wynikiem zapotrzebowania budynków na energię, czy to produkowaną na miejscu, czy też pochodzącą z sieci. Jest on związany z fazą operacyjną budynku i generuje emisję przez cały okres funkcjonowania obiektu. Pozostałe 10 punktów procentowych to wbudowany ślad węglowy, czyli emisja wynikająca z produkcji materiałów budowlanych i samego procesu budowy.

Dlatego też branża budowlana musi się zmieniać, aby dostosować się do potrzeb nowych czasów. Ponieważ ponad połowa światowej populacji mieszka w miastach, a więc w budynkach produkowanych przemysłowo, jednym z istotnych sposobów zmniejszenia wpływu tej branży na środowisko będzie odzyskiwanie i recykling materiałów budowlanych. Wymaga to jednak zmiany świadomości społecznej tak, by w podejmowanych przez siebie działaniach ludzie uwzględniali ich wpływ na środowisko [7]. Stąd wiele różnorodnych inicjatyw i działań jakie podejmuje się w praktycznie wszystkich obszarach ludzkiej aktywności, a zmierzających do poprawy efektywności ekologicznej ludzkiej wytwórczości. Celem niniejszych badań jest zaprezentowanie koncepcji budynku wysokościowego, która ukazuje możliwości zmniejszenia negatywnego oddziaływania budynków tego typu na środowisko. Artykuł pokazuje, że dzięki zastosowanym rozwiązaniom architektonicznym i technologicznym możliwe jest takie zaprojektowanie budynku, aby zredukować generowany przez niego ślad węglowy i sprawić, że stałby się on przyjazny dla otoczenia.

2. Samowystarczalność budynku

Współczesne budynki, mimo daleko idących zmian, w związku z rozwijającymi się stale nowymi technologiami, opartymi na konsumpcji energii (automatyka, informatyka) i poszukiwaniem przez człowieka nowych form aktywności (rozrywka, praca), dalekie są od jedynej obecnie realizowanej formy możliwie obojętnej dla środowiska budynku, tj. budynku pasywnego [7]. Co więcej, choć idea budynku pasywnego jest w sposób oczywisty godna pochwały, tym nie mniej nie jest ona ani kompletna, ani dostateczna. Zwłaszcza jeżeli mówimy o budynku o charakterze publicznym, czy użytkowym. Zapotrzebowanie na energię takiego budynku oczywiście można znacząco zmniejszyć,

dzięki wykorzystaniu technik projektu pasywnego, nie da się jednak tą drogą zaspokoić ani pełnych potrzeb energetycznych, ani zapotrzebowania na inne media, jak chociażby wodę. By budynek mógł być uznany za nieobciążający środowiska w trakcie eksploatacji, musi spełniać szereg warunków. Tak więc dom prawdziwie nieobciążający środowiska powinien być samowystarczalny w zakresie:

- gospodarki energetycznej,
- gospodarki wodnościekowej,
- gospodarki odpadkami,
- gospodarki gazami nieobojętymi dla środowiska.

Budynkiem samowystarczalnym jest oczywiście budynek autonomiczny, jednakże w niniejszej pracy nie chodzi o pełną autonomię, a o możliwie daleko idącą samowystarczalność. Jako samowystarczalność rozumie się tutaj zdolność budynku do funkcjonowania bez negatywnego wpływu na zewnętrzne środowisko.

3. Przewaga budynków wysokościowych w możliwościach redukcji CO₂

W większości miast jest stosunkowo niewiele budynków wysokościowych, które jednak są odpowiedzialne za około 50% emisji z sektora budowlanego w całym mieście, natomiast dużo większa jest liczba małych obiektów odpowiedzialnych za pozostałe 50% emisji [9]. Podążając za przedstawioną statystyką łatwo można zauważyć, że stosowanie rozwiązań ekologicznych w jednym dużym obiekcie będzie mieć większy wpływ na środowisko, niż zastosowanie tych samych metod np. w jednym domu jednorodzinnym. Idea zaprojektowania budynku wysokościowego, podążającego za zasadami zrównoważonego rozwoju i dążącego do redukcji emisyjności nie jest zupełnie nowa. W 2019 roku studio architektoniczne Tredje Natur przedstawiło koncepcję wieżowca CPH Common House, do budowy którego zaproponowano wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu. W celu zminimalizowania emisji CO₂ i ograniczenia wykorzystywania nowych zasobów zastosowano lokalne materiały budowlane z odzysku. Autorzy koncepcji przewidują, że wykorzystane zostałyby 17577 ton odpadów, co przełożyłoby się na zaoszczędzenie 1174 ton CO₂ już w trakcie samej fazy budowy [10].

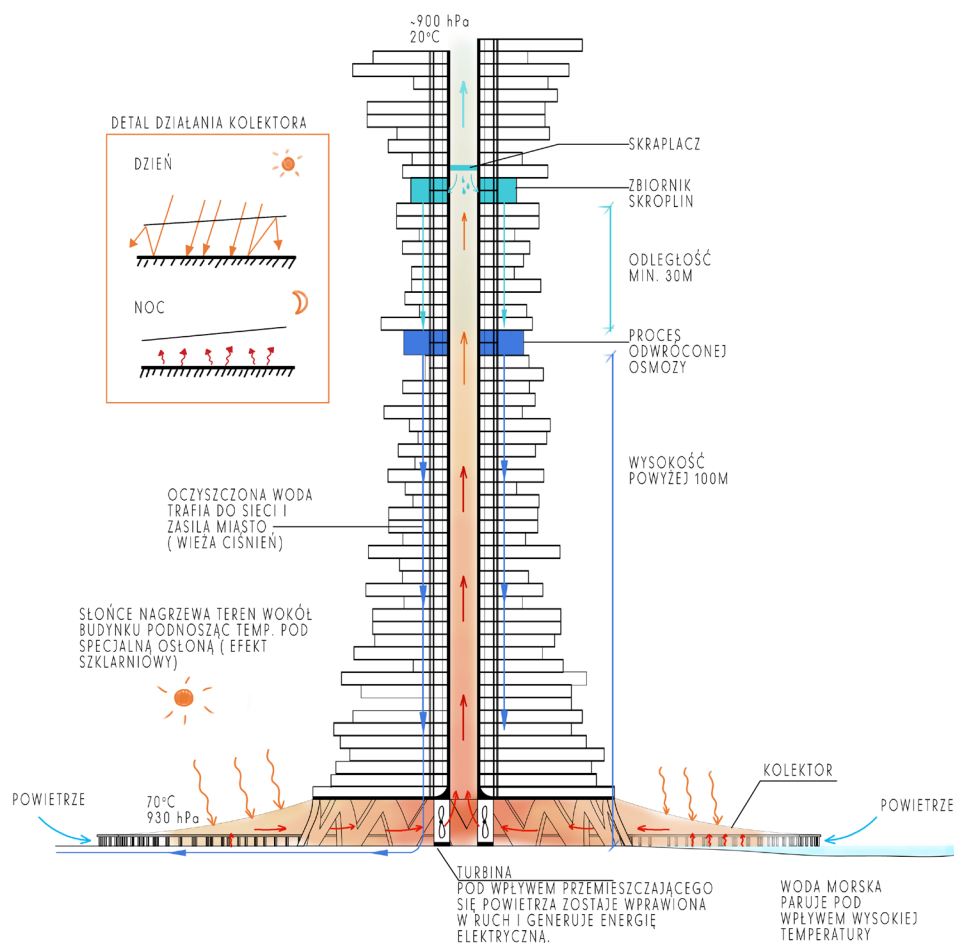
Zastosowanie materiałów z odzysku, bądź powtórne wykorzystanie raz użytych materiałów jest niestety bardzo łatwe jedynie na etapie koncepcyjnym. Faktyczne zastosowanie ich w obiekcie bywa skomplikowane, ze względu na szereg przepisów jakie muszą spełnić wprowadzane do obrotu produkty budowlane. Przepisy te różnią się w zależności od kraju, choć na terenie Unii Europejskiej regulacje te zostały ujednolicone i poszczególne przepisy krajowe musiały zostać dostosowane do unijnych dyrektyw [11][12]. Możemy wyróżnić trzy główne źródła materiałów z drugiego obiegu. Po pierwsze będą to materiały z recyklingu, czyli produkty raz użyte zostały przetworzone i użyte ponownie, ale jako zupełnie nowy produkt. Druga sytuacja to materiały rozbiórkowe, które po wymontowaniu z obiektu i odpowiednim przygotowaniu chcemy ponownie wykorzystać przy budowie nowego obiektu, w ten sam sposób w jaki użyte były pierwotnie. Trzeci przypadek zakłada wykorzystanie materiałów rozbiórkowych w sposób nietypowy, różny od początkowego przeznaczenia. W przypadku materiałów recyklingowych, jak i materiałów użytych w inny sposób niż zakładał producent, mamy do czynienia z sytuacją, w której ze zużytych materiałów powstaje zupełnie nowy produkt, a więc musi on zostać ponownie wprowadzony do obiegu, a co za tym idzie musi uzyskać wszelkie niezbędne certyfikaty i aprobaty techniczne. W przypadku powtórnego wykorzystania raz użytych materiałów sytuacja

jest, niestety, dosyć podobna, dodatkowo przepisy w tym zakresie często nie są jasne. Dlatego też każdorazowo należałoby sprawdzić, czy dany produkt w dalszym ciągu spełnia normy odpowiednie dla jego zastosowania w konkretnym miejscu obiektu. Jest to związane z wykonaniem szeregu badań laboratoryjnych celem sprawdzenia właściwości użytkowych danego produktu. Są to jednak działania drogie i czasochłonne. Z tego też powodu zastosowanie materiałów z odzysku w przypadku pojedynczego niewielkiego obiektu wydaje się być nieopłacalne, gdyż koszt takich badań niejednokrotnie stanowiłby istotną część kosztów całej inwestycji. Sytuacja może być jednak znacznie korzystniejsza w przypadku omawianych budynków wysokościowych.

Choć koszty stosowania różnego rodzaju rozwiązań ekologicznych niejednokrotnie są wyższe niż w przypadku standardowych rozwiązań, to w przypadku tak dużego obiektu, koszt badań potrzebnych do zastosowania materiałów z odzysku wydaje się stanowić niewielki procent całości. Dodatkowo im więcej będzie podejmowanych prób wykorzystania nietypowych rozwiązań materiałowych tym większa szansa, że w przyszłości możliwe będzie uproszczenie procedur z tym związanych, a tym samym zmniejszenia kosztów do poziomu akceptowanego przy budowie małych budynków. W przypadku omawianego projektu takie działania mają także wymiar edukacyjny i badawczy. Nie tylko będzie on propagować ideę odzysku materiałów, ale także zapewni zaplecze badawcze, w ramach którego będą mogły być wykonywane testy materiałowe i poszukiwania nowych rozwiązań materiałowych. Cały obiekt wraz ze swoim centrum edukacyjnym stanie się dowodem na to, że możliwe jest budowanie przy zachowaniu ograniczonego wpływu procesu budowlanego na środowisko.

4. Rozwiązania projektowe redukujące emisję CO₂ w proponowanym budynku

Jako, że jedną z podstawowych funkcji obiektu jest zapewnienie wody pitnej, przy jednoczesnym minimalnym wpływie na środowisko budynek musi zostać zlokalizowany na odpowiedniej szerokości geograficznej, gwarantującej odpowiednią ekspozycję słoneczną. Tu zaproponowano lokalizację w Kuwejcie, który cechuje się odpowiednimi do tego celu warunkami atmosferycznymi [13], jednocześnie wskazane położenie charakteryzuje się poważnym brakiem słodkiej wody, co dla proponowanych rozwiązań jest istotnym wskaźnikiem. Duże budynki są złożonymi układami mającymi zapewnić pełną obsługę małej społeczności, wymagają więc skomplikowanych rozwiązań, a projekt obejmuje szeroki zakres funkcji i procesów technologicznych (Rys.1). Dla prezentowanego budynku forma w znacznej mierze została podyktowana najtrudniejszym wyzwaniem, jakim jest zapewnienie samowystarczalności wodno-ściekowej. Swoim kształtem przypomina chłodnię kominową i podobną też funkcję pełni komin, znajdujący się w środku budynku. Stanowi on trzon konstrukcyjny i technologiczny całego projektu, będąc istotnym elementem systemu odsalania i rozprowadzania wody, jak również istotnym elementem systemu generowania energii. Podstawowym parametrem sprzyjającym prawidłowej gospodarce gazami cieplarnianymi, na etapie eksploatacji budynku, jest minimalizacja wytwarzania tych gazów, do czego przyczyniają się przede wszystkim zastosowane technologie.



Rys. 1. Zasada funkcjonowania Wieży Ma'an;

Fig. 1. Functioning of a Ma'an Tower;

Źródło: Wyciśłok P., Wyciśłok A., Ma'an – the new approach on the autonomus building [13]

4.1. Samowystarczalność wodno-ściekowa i energetyczna

Zapewnienie samowystarczalności wodnej oparte jest o system bezenergetycznego odsalania wody morskiej. Podstawowym elementem systemu wytwarzania wody słodkiej jest 260-metrowy komin, działający jako wieża chłodnicza, w której ze względu na różnice temperatury i ciśnienia, gorące i wilgotne powietrze przepływa z dołu do góry, ochładzając się i prowadząc ostatecznie do kondensacji pary wodnej. Gorące, wilgotne powietrze jest pobierane w wyniku parowania wody ze stawów odsalania. Temperaturę wymaganą do tego procesu uzyskuje się za pomocą kolektora ciepła. Kolektor ten rozciąga się na dużym obszarze zarówno nad wodą, jak i gruntem, wykorzystuje efekt cieplarniany. Podział kolektora na część mokrą i suchą pozwala mu działać zarówno w dzień, jak i w nocy, dzięki ciepłu zakumulowanemu w gruncie. Woda zgromadzona w skraplaczach, których efektywność podnosi wykorzystanie chłodnego powietrza z układu wentylacji budynku, przepływa następnie, w części przeznaczonej do spożycia, przez filtry odwróconej osmozy. Filtry te wymagają dostarczenia wody pod ciśnieniem, które zostanie wytworzone dzięki różnicy poziomów pomiędzy stacją skraplania i stacją

filtrów osmotycznych. Ciąg mas powietrza poprzez komin będzie wykorzystany również do generacji energii elektrycznej. Tak jak to ma miejsce w testowych instalacjach komina solarnego w hiszpańskiej miejscowości Manzanares [14], gdzie badano działanie elektrowni wiatrowej o stałym przepływie powietrza wywołanym różnicą temperatur [15], w której turbiny wytwarzają energię elektryczną w wyniku przepływu gorącego powietrza. Podobnie jak w procesie parowania, sucha część kolektora słonecznego pozwala działać takiemu układowi przez całą dobę. Prezentowane instalacje będą więc służyć zarówno pozyskaniu słodkiej czystej wody, jak i wytwarzaniu energii. Podczas gdy tradycyjne metody odsalania powodują ogromne ślady węglowe, tu mamy do czynienia z odwróceniem tej sytuacji.

Sektor budowlany odpowiada dziś bezpośrednio i pośrednio za globalne końcowe zużycie energii na poziomie 30% całkowitej energii końcowej zużywanej na całym świecie, a zużycie energii elektrycznej w budynkach stanowi prawie 55% światowego poboru prądu (zużycia energii elektrycznej) [16]. Mając to na uwadze, w proponowanym obiekcie wykorzystanie komina nie ogranicza się do transportu pary wodnej. Układ ten jest również elementem elektrowni wiatrowej, o stałym przepływie powietrza, wywołanym różnicą temperatur [17], w której turbiny wytwarzają energię elektryczną w wyniku przepływu gorącego powietrza. Podobnie jak w procesie parowania, sucha część kolektora słonecznego pozwala działać takiemu układowi przez całą dobę.

4.2. Dobór materiałów

Wydawać by się mogło, że budynek niewiele może pomóc w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych, bo głównie o te gazy tutaj chodzi, choć oczywiście nie wyczerpuje to tematu, zwłaszcza jeżeli chodzi o emisje gazów promieniotwórczych [18]. Nie jest to prawda. Jest oczywiste, że użyte materiały budowlane mają długookresowy wpływ na poziom zanieczyszczenia gazami cieplarnianymi. Jeżeli wziąć tylko pod uwagę beton [19] potwierdzono wieloletnią zdolność tego materiału do pochłaniania CO₂ oraz NO_x. Wprowadzie obecnie całościowy (łącznie z produkcją) bilans absorpcji i emisji nie jest dla betonu korzystny, to jednakże należy zauważyć, że betonowe budynki powstają głównie tam, gdzie następuje emisja dwutlenku węgla z innych źródeł (centra miast). Bilans ten lokalnie może być korzystny. Dodatkowo pojawiają się nowe technologie produkcji cementu, nie tak energochłonne jak obecnie stosowane [20], czy nawet nowe wydanie tych znanych materiałów jak np. spoiwa geopolimerowe. Tutaj redukcja CO₂ może osiągnąć od 70% do 90%, w porównaniu z klasyczną produkcją cementu [21]. Jak zauważono w kilku źródłach [22][23] wraz z dążeniem do budowania coraz bardziej energooszczędnych budynków, wbudowany ślad węglowy będzie stanowić coraz to większą składową ogólną emisji dwutlenku węgla, w trakcie całego cyklu życia budynku. Podobnie sytuacja wygląda w przypadku energii zawartej w materiałach budowlanych. Prezentowany w niniejszym artykule obiekt zawiera szereg rozwiązań technologicznych dążących do zapewnienia mu samowystarczalności, a co za tym idzie, także do energooszczędności. Dlatego też oprócz rozwiązań technologicznych, poruszono kwestię doboru materiałów w tego typu obiektach, co niewątpliwie ma znaczenie w ocenie całłościowego wpływu budynków na środowisko.

4.2.1. Konstrukcja

W przypadku części konstrukcyjnej projektowanego obiektu nie zostały wzięte pod uwagę materiały recyklingowe lub materiały z odzysku, ponieważ trudno w tak skomplikowanym i wymagającym pod względem technicznym budynku (300m wysokości) wykorzystywać materiały, co do których nie mamy 100% pewności spełnienia wszystkich wymaganych właściwości użytkowych. Takie rozwiązania mogą jednak zostać z powodzeniem zastosowane w przypadku materiałów wykończeniowych. Nie oznacza to jednak, że materiały konstrukcyjne nie mogą zostać dobrane w taki sposób, aby ograniczyć ich wpływ na środowisko. Według S.Tae [24] użycie betonu o wysokiej wytrzymałości 40 MPa w budynkach wysokościowych mogłoby przyczynić się do zmniejszenia całkowitej emisji CO₂ w całym cyklu życia, nawet o 16,70% w stosunku do mniej wytrzymałych betonów, w przypadku których elementy konstrukcyjne zniszczone przez karbonizację muszą zostać poddane konserwacji celem wydłużenia życia budynku. Dlatego też proponuje się wykonanie głównej konstrukcji budynku właśnie z tego typu betonu. Za bazowy materiał konstrukcji komina, będącego również elementem nośnym konstrukcji budynku, wybrano spoiwa geopolimerowe, które powinny zapewnić długookresowy korzystny bilans CO₂ oraz NO_x z uwagi na niewielki ślad węglowy powstały w okresie budowy budynku [25].

4.2.2. Materiały niekonstrukcyjne i wykończeniowe

Jednym z narzędzi jakie mogą pomóc projektantom w doborze materiałów pod kątem ich wpływu na środowisko jest ocena cyklu życia. LCA (ang. Life cycle assessment) to technika oceny aspektów środowiskowych, związanych z danym produktem na przestrzeni całego jego cyklu życia [26]. Norma EN-15978 określa poszczególne fazy cyklu życia budynku, gdzie fazy A1-A3 określają etapy związane bezpośrednio z produkcją danego materiału (cradle-to-gate), a więc odpowiadają za wbudowany ślad węglowy. Jest to też faza, na której temat najwięcej jest dostępnych danych. Ciekawym rozwiązaniem, które w przystępny sposób pozwala na szybkie rozeznanie w zakresie wpływu danego materiału na środowisko jest opracowana w Danii piramida materiałowa. Nie jest to narzędzie równoważne do analiz LCA, ale bazuje na tych samych danych i stanowi dobry punkt wyjściowy przy wstępnych decyzjach i przedstawianiu inwestorom propozycji projektowych. Pokazuje ona wpływ na środowisko szeregu wybranych, najczęściej używanych w Danii materiałów budowlanych w oparciu o Środowiskowe Deklaracje Produktu (EPD)[27]. Istnieje wiele kategorii wpływu środowiskowego, z których na potrzeby piramidy wybrano 5 najczęściej stosowanych w LCA związanych z budownictwem, w tym współczynnik globalnego ocieplenia (GWP), określane często mianem śladu węglowego.

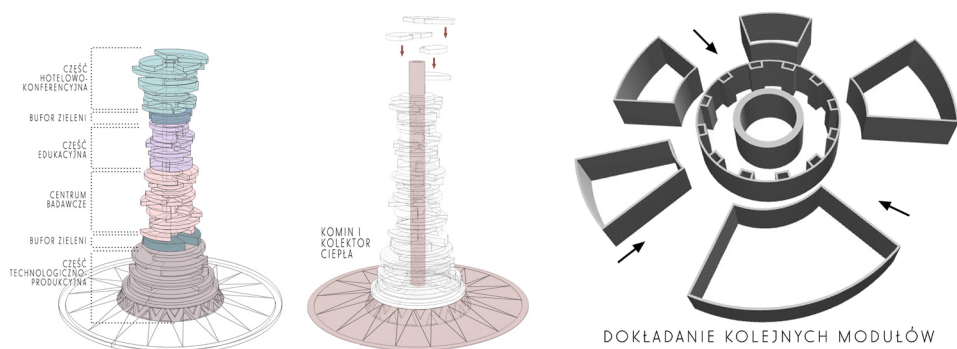
Jako, że zaprezentowany w niniejszej pracy projekt jest jedynie założeniem koncepcyjnym, nie przeprowadzono dokładnych analiz LCA, ale bazowano na pochodzących z nich danych oraz na wspomnianej piramidzie. Jedną z pierwszych rzeczy jakie można zauważyć w piramidzie to ujemne wartości GWP dla materiałów drewnopochodnych. Dzieje się tak, ponieważ rosnące drzewa pobierają CO₂ z atmosfery, oddając do niej tlen (O₂), a pobierając węgiel (C). Drewno składa się z węgla w około 50% w przeliczeniu na suchą masę [28]. Zatem drewno użyte w konstrukcji budynku zapewnia fizyczne magazynowanie węgla, który w przeciwnym razie zostałby wyemitowany z powrotem do atmosfery. Nawet jeżeli drzewa nie zostaną wycięte i pozyskane do wytworzenia różnych produktów, również z czasem oddadzą zmagazynowany węgiel w naturalnym procesie gnicia, czy podczas pożaru lasu. Wtedy zastępują je nowe drzewa, które

dalej pochłaniają CO₂. W drewnianym budynku węgiel jest magazynowany przez cały okres eksploatacji lub nawet dłużej, jeżeli drewno zostanie odzyskane i ponownie wykorzystane lub przetworzone w nowy produkt [29]. Dlatego też w przypadku proponowanego w niniejszym artykule obiektu oraz innych budynków wysokościowych należałoby zastanowić się nad wykorzystaniem drewnopochodnych materiałów np. izolacji cieplnej lub akustycznej z wełny drzewnej, ścian działowych z OSB lub sklejkę, czy wreszcie drewnianych materiałów wykończeniowych jak meble, okładziny, parkiety. Z pewnością warto unikać nadmiaru elementów aluminiowych, które znajdują się na samym szczycie piramidy. Niezależnie jednak od wybranego materiału, jeżeli to tylko możliwe, należy rozważyć wykorzystanie materiałów z odzysku, ponieważ materiały te, już i tak pozostawiły po sobie ślad węglowy, a wykorzystując je jeszcze raz w miejsce nowych produktów nie przyczyniamy się do wyemitowania kolejnych porcji CO₂.

4.3. Rozwiązania funkcjonalne a redukcja emisji CO₂

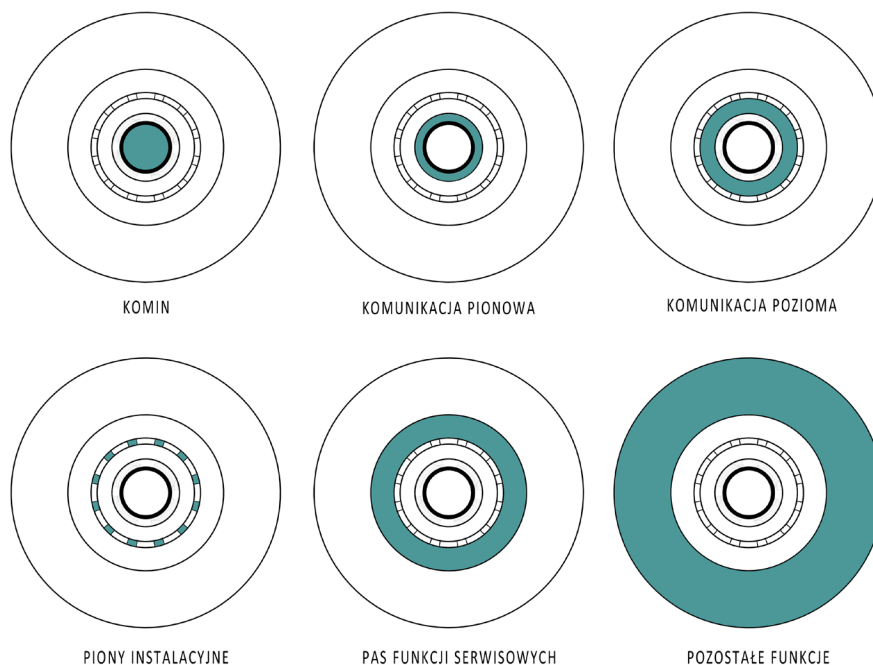
Jak podaje Chau [30] na podstawie przeprowadzonych badań porównawczych 13 wieżowców, stwierdzono, że przeciętna emisja CO₂ związana z zastosowanymi materiałami wynosi 215,1 kg CO₂/m², z czego za największą emisję odpowiedzialne były ściany zewnętrzne i konstrukcja najwyższych pięter, a w następnej kolejności sufity podwieszane oraz materiały wykończeniowe. Razem stanowiły one ponad 3/4 całej emisji związanej z materiałami. W oparciu o zebrane dane badacze stwierdzili, że najbardziej efektywną metodą ograniczenia emisji jest wykorzystywanie już istniejących struktur budynku, jednakże w przeważającej większości przypadków ciężko jest zastosować takie rozwiązanie w przypadku nowo projektowanego obiektu, gdzie buduje się na pustej działce lub istniejące tam zabudowania przeznacza do rozbiórki. Drugą w kolejności efektywną opcją jest przeznaczenie odpadów budowlanych do recyklingu, co mogłoby zmniejszyć całkowitą emisję o 5,9%. Ponowne wykorzystanie używanych materiałów nie tylko zredukowałoby CO₂ o 3,2%, to dodatkowo pozwoliłoby na odciążenie składowisk odpadów.

Biorąc pod uwagę powyższe badania, w proponowanym przez autorów artykułu budynku proponowane są adekwatne rozwiązania. Powstawanie projektowanego budynku proponuje się rozłożyć w czasie na etapy, tak, aby dopasować się do aktualnych potrzeb i możliwości. Jest to możliwe dzięki konstrukcji obiektu. Zaprojektowany został główny kręgosłup konstrukcyjny całego budynku, zawierający wszystkie potrzebne instalacje, do którego można dokładać kolejne elementy funkcjonalne (Rys. 2).



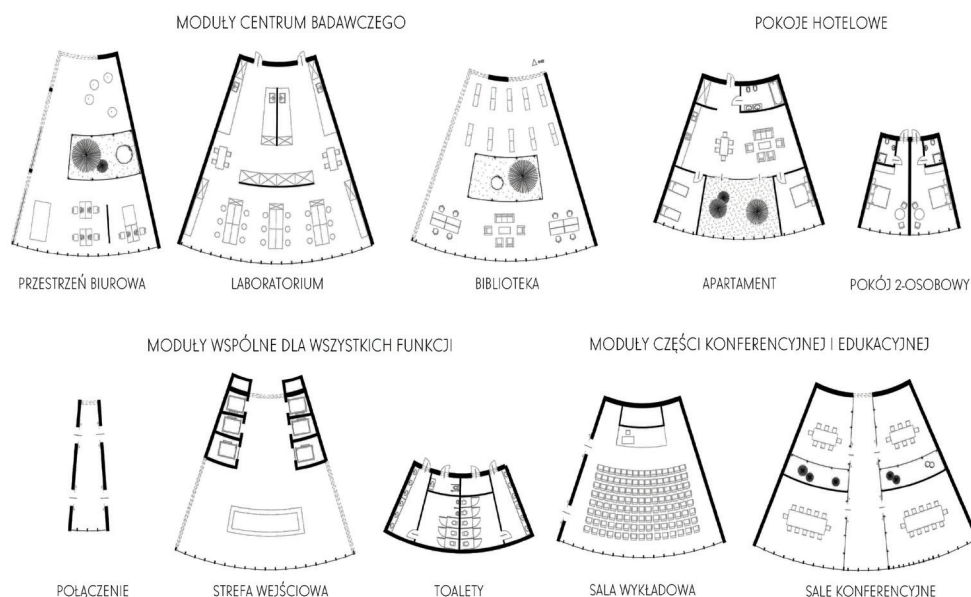
Rys. 2. Schemat funkcjonalny;
 Fig. 2. Functional scheme;
 Źródło: opracowanie własne

Na trzon budynku nakładane zostają poszczególne moduły, które dzięki doczepieniu do strefy instalacyjnej, mogą być swobodnie rozlokowane w obrębie kondygnacji. Zaprojektowano przykładowy podział na strefy w obiekcie, wyodrębniając te, które zdaniem autorów powinny powstać na samym początku oraz kolejne, pojawiające się wraz z upływem czasu. Pierwszy etap to przede wszystkim zagwarantowanie działania technologii odsalających, do czego potrzebny jest komin wraz z kolektorem ciepła oraz zaplecze technologiczno-produkcyjne. Dzięki temu zapewniony zostanie dostęp budynku do słodkiej wody oraz energii elektrycznej. W kolejnym etapie rozwijane będzie centrum badawcze, zajmujące się procesami technologicznymi wykorzystywanymi w obiekcie, ich udoskonalaniem oraz badaniami materiałowymi, w tym stosowaniem materiałów z recyklingu, czy wykonywaniem testów produktów pochodzących z odzysku. Po nim powstanie część edukacyjna, która będzie odpowiedzialna za propagowanie wiedzy o zrównoważonych rozwiązaniach w budownictwie, ich wpływie na środowisko oraz prezentować będzie wyniki badań centrum badawczego. Na samym końcu realizowana będzie część hotelowo-konferencyjna. Forma architektoniczna obiektu została dobrana w taki sposób, aby możliwe było jej dostosowanie do aktualnych potrzeb. Istotna była tutaj nie tylko możliwość etapowania budowy, ale także adaptacja już istniejących fragmentów do nowej roli. Skoro zachowanie istniejących struktur budynku jest jedną z bardziej opłacalnych metod redukcji emisji CO₂, postanowiono potraktować w taki sposób poszczególne moduły budynku. Ze względu na zwartą formę samego wieżowca wykorzystano możliwość kształtowania mniej zwartych struktur, w ramach poszczególnych kondygnacji. Dzięki temu możliwa jest zmiana funkcji w obrębie danego modułu czy kilku modułów na piętrze, bez konieczności dokonywania rozbiórek i budowania na nowo. Nie jest konieczne także wykonywanie nowych instalacji, gdyż strefa techniczna zlokalizowana w wewnętrznym pierścieniu przy konstrukcji głównego trzonu obiektu zapewnia dostęp do tychże instalacji (Rys. 3)



Rys. 3. Schemat funkcjonalny rzutu ; Fig. 3. Plan functional scheme ; Źródło: Wyciśłok P., Wyciśłok A., Ma'an – the new approach on the autonomus building [13]

Nie bez znaczenia jest także wielkość modułów i ich zróżnicowanie, co przekłada się na wspomnianą dowolność adaptacji. Przykładowe moduły dla omówionych wyżej różnych stref funkcjonalnych zostały przedstawione na rysunku 4. W zależności od potrzeb możemy przekształcić mniejszy moduł, większy lub kilka z nich.



Rys. 4. Przykładowe moduły funkcjonalne;
 Fig. 4. Proposed functional modules;
 Źródło: opracowanie własne

5. Wnioski końcowe

Na całym świecie dostrzeżono problem wpływu budownictwa na środowisko, trwają więc intensywne prace zmierzające do zmniejszenia wpływu środowiskowego tej dziedziny gospodarki. Wpływ ten rozpoczyna się od budowy i trwa poprzez eksploatację, aż po czas rozbiórki. Jak wskazuje niniejsza praca wpływ ten można redukować, podchodząc całościowo do zagadnienia, od etapu projektowania do etapu likwidacji budynku, a nawet w pewnym sensie, jeżeli uwzględnić powtórne wykorzystanie materiałów, można również wpływać obniżając ślad węglowy na inne, później powstałe konstrukcje. Takie korzystne ekologicznie efekty uzyskujemy nie tylko dzięki zastosowaniu odpowiednich materiałów, ale również dzięki starannemu wykorzystaniu możliwości jakie dają współczesne technologie, gwarantujące nie tylko nisko szkodliwą eksploatację, ale wręcz odciążające środowisko, czy wreszcie poprzez powtórne wykorzystanie co najmniej istotnej części starego budynku w nowobudowanych. By tak jednak się stało, musimy zmierzyć się z ideą domu samowystarczalnego tak, jak rozumie ją niniejsza praca, a więc budynku, którego każdy aspekt powstawania, działania i końcowej utylizacji nakierowany jest na ograniczenie zewnętrznego, negatywnego wpływu. Zauważyć przy tym należy, że może się to odbyć bez szkody dla funkcjonalności budynku, a wręcz przeciwnie, może się przyczynić do znaczącego wzrostu tej funkcjonalności.

Analizując niniejsze opracowanie warto zwrócić uwagę na takie proponowane rozwiązania jak elastyczność w powstawaniu budynku, który może rosnąć wraz z potrzebami, ale i maleć gdy te ulegają zmniejszeniu, zaś zmiana funkcjonalności może wiązać się z wymianą jednego, czy kilku modułów bez naruszania istoty konstrukcji.

Nie można zapominać także o istotnej roli samych materiałów, gdyż już na etapie projektowania możliwy jest taki ich dobór, który wpłynie pozytywnie na środowisko i przyczyni się do zmniejszenia wykorzystania surowców, poprzez mniejszą dystrybucję nowych produktów. Istotne są także zastosowane rozwiązania techniczne jak odsalanie wody morskiej, które choć może zostać zastosowane jedynie w wybranych lokalizacjach, jest kolejnym czynnikiem zmniejszającym negatywny wpływ budownictwa na środowisko poprzez zapewnienie dostępu do wody pitnej zwłaszcza w rejonach narażonych na jej brak.

Bibliografia

- [1] www.ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_pl [przełączany 1.04.2022]
- [2] Skowroński, A.: Zrównoważony rozwój perspektywą dalszego postępu cywilizacyjnego. W: Problemy Ekorozwoju. 2006, T. 1, nr 2, s. 51.
- [3] Sztumski, W.: Idea zrównoważonego rozwoju a możliwości jej urzeczywistnienia. W: Problemy Ekorozwoju. 2006, T 1, nr 2, s. 73-76.
- [4] Pawluk, K.: Odzysk i recykling odpadów z branży budowlanej. W: Logistyka odzysku. 2016, s. 62-65.
- [5] IEA (2014) CO₂ emissions from residential buildings and commercial and public services. [przełączany 5 stycznia 2020]. Dostępny w: www.data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.BLDG.ZS?view=chart
- [6] United Nations Environment Programme (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi
- [7] Souza, E.: Zero Waste in Architecture: Rethink, Reduce, Reuse and Recycle. W: ArchDaily [online], 24 grudzień 2019 [przełączany 20 listopada 2021], Dostępny w: www.archdaily.com/928391/why-flexibility-and-material-reuse-are-key-aspects-of-sustainability.
- [8] Feist, W., Münzenberg, U., Thumulla, J.: Podstawy budownictwa pasywnego. Gdańsk: Polski Instytut Budownictwa Pasywnego 2009. ISBN 83-923807-0-3
- [9] Big Buildings / Small Buildings [online], [przełączany 16 grudnia 2021], Dostępny w: <https://2030dev-architecture-2030.pantheonsite.io/big-buildings-small-buildings/>,
- [10] Baldwin, E.: Third Nature and Lendager Group Design Upcycled High-Rise for Copenhagen. W: ArchDaily [online], 15 kwiecień 2019. [przełączany 16 grudnia 2021], Dostępny w: www.archdaily.com/915013/third-nature-and-lendager-group-design-upcycled-high-rise-for-copenhagen ISSN 0719-8884
- [11] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 2018/851 z dnia 30 maja 2018r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów, (Dz.U. UE L 150/109 z dnia 14.6.2018)
- [12] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004r. o wyrobach budowlanych, (Dz.U. z 2004r. Nr 92, poz. 881 z późn zm.).
- [13] Wyciśłok P., Wyciśłok A.: Ma'an – the new approach on the autonomus building. W: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, T. 960, nr 3, art. 032104
- [14] Mills D.: Advances in solar thermal electricity technology. [w:] Solar Energy, 2004, Vol. 76, Issues 1–3, s. 19-31
- [15] Bernardes M.: Solar Chimney Power Plants - Developments and Advancements. Solar Energy, Book pod edycją: Radu D. Rugescu, INTECH, Croatia. Styczeń 2010, str. 432. ISBN 978-953-307-052-0.
- [16] IEA.: Energy Technology Perspectives 2020 [online]. Wrzesień 2020, Paris. [przełączany 28 lutego 2022], Dostępny w: www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020
- [17] Bernardes, M.: Solar Chimney Power Plants - Developments and Advancements. Solar Energy, Book pod edycją: Radu D. Rugescu, INTECH, Croatia. Styczeń 2010, str. 432. ISBN 978-953-307-052-0
- [18] Bochicchio, F., McLaughling, J.P., Piermattei, S.: Radon in indoor air. report No 15, European

Commission. Directorate-General for Science, Research and Development. Joint Research Centre-Environment Institute 1995

- [19] Zając, B., Gołębiewska, I.: Możliwość redukcji CO₂ przez zastosowanie betonu zrównoważonego i kruszywa recyklingowego. W: Inżynieria i Aparatura Chemiczna. 2012, T. 51, nr 5, s. 262-264
- [20] Popescu, C.D., Muntean, M., Sharp, J.H.: Industrial trial production of low energy belite cement. W: Cement and Concrete Composites. 2003, T. 25, nr 7, s. 689-693
- [21] McLellan, B.C., Williams, R.P., Lay, J.: Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement. W: Journal of Cleaner Production. 2011, T. 19, nr 9-10, s. 1080-1090.
- [22] Junnila S, Horvath A, Guggemos AA.: Life-cycle assessment of office buildings in Europe and the United States. W: Journal of Infrastructure Systems. Marzec 2006, T.12, nr 1, s. 10-17.
- [23] Reddy, BVV., Jagadish, KS.: Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. W: Energy and Buildings. 2003, T.35, s.129-37.
- [24] Tae, S., Baek, C., Shin, S.: Life cycle CO₂ evaluation on reinforced concrete structures with high-strength concrete. W: Environmental Impact Assessment Review 2011, T.31, nr 3, s. 253-260.
- [25] Mellado, A., C. Catalán, N. Bouzón, M. V. Borrachero, J. M. Monzó, and J. Payá.: Carbon Footprint of Geopolymeric Mortar: Study of the Contribution of the Alkaline Activating Solution and Assessment of an Alternative Route. W: RSC Advances. 2014, T.4, nr. 45, s.23846-23852
- [26] Muralikrishna V.I., Manickam, V.: Life Cycle Assessment. W: Environmental Management. BSP, 2017. ISBN: 978-0-12-811989-1
- [27] CINARK – Centre for Industrialised Architecture, The Royal Danish Academy – Architecture, Design, Conservation. The Construction Material Pyramid. [online], [przełączany 21 grudnia 2021], Dostępny w: www.materialepyramiden.dk/#
- [28] Sathre, R., O'Connor, J.: A Synthesis of Research on Wood Products and Greenhouse Gas Impacts, 2nd Edition. Vancouver: B.C. FPInnovations. 2010, Technical Report No. TR-19R. ISBN 978-0-86488-546-3
- [29] Evaluating the Carbon Footprint of Wood Buildings - Reducing greenhouse gases with high-performance structures. [online], [przełączany 16 grudnia 2021], Dostępny w: www.awc.org/pdf/education/gb/ReThinkMag-GB500A-EvaluatingCarbonFootprint-1810.pdf
- [30] Chau, CK., Hui, WK., Ng, WY., Leung, TM., Xu, JM.: Assessment of CO₂ Emissions Reduction in High-Rise Concrete Office Buildings Using Different Material-Use Options. Handbook of Low Carbon Concrete [online]. Elsevier: 2017, s. 39-61, Dostępny w: www.dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-804524-4.00003-8

TOWARDS ECO-FRIENDLY BUILDING - PROPOSALS TO REDUCE THE CARBON FOOTPRINT OF HIGH-RISE BUILDINGS

ABSTRACT

The article presents a proposal for a holistic approach to the design, construction, operation and demolition of high-rise buildings, aimed at minimizing their environmental impact. The concept was based on the idea of a self-sufficient house in every aspect of its operation, enhanced by the careful selection of construction materials, such as geopolymer binders. According to this concept, a self-sufficient building produces water, energy, purifies sewage and processes waste thanks to technologies such as a solar chimney or reverse osmosis. At the same time, the building adapts to the current needs through the easy possibility of changing not only its functionality, but also the usable area or spatial design, which extends the period of its full usefulness immeasurably. Recycled materials play an important role in the construction of such a building.

KEYWORDS

self-sufficient building, carbon footprint, recycling



Artykuł udostępniony na licencjach Creative Commons/ Article distributed under the terms of Creative Commons licenses: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0). License available: www.creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

