

Architektura energoaktywna po 2021

Tom 2. Zagadnienia instalacyjno-projektowe

REDAKCJA NAUKOWA ANNA BAĆ



Architektura energoaktywna po 2021

Tom 2. Zagadnienia instalacyjno-projektowe

REDAKCJA NAUKOWA ANNA BAĆ



OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ, WROCŁAW 2020

ae

RECENZENCI

Janusz Rębielak

Michał Stangel

Jarosław Witek – Arup

REDAKCJA

Anna Miecznikowska

OPRACOWANIE TYPOGRAFICZNE

Anna Bać

Tomasz Gracek

SKŁAD

Tomasz Gracek

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości, jak i we fragmentach nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2020

Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

<http://www.oficyna.pwr.edu.pl>

e-mail: oficwyd@pwr.edu.pl

zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-128-1

DOI: 10.37190/archen2021t2

Patronat honorowy



Patronat

DOLNOŚLĄSKA OKRĘGOWA
IZBA ARCHITEKTÓW RP



Główny patronat medialny



Patronat medialny



SPIS TREŚCI

	Wstęp	5
	Anna Bać	
1	Podstawy instalacyjnych rozwiązań energoaktywnych	8
	Piotr Kęskiewicz	
2	Przykłady rozwiązań instalacyjnych a zasada „M-Z-P-O”	20
	Piotr Kęskiewicz	
3	BIM z perspektywy projektanta architektury	36
	Przemysław Wojsznis	
4	Zastosowanie BIM w procesie inwestycyjnym	54
	Radosław Radziecki	
5	Narzędzia symulacyjne w procesie projektowym	66
	Wojciech Stec	
6	Efektywność energetyczna i ekonomiczna budynków	81
	Konrad Witczak	
7	Metoda oceny cyklu życia budynku	96
	Wojciech Kujawski	
	Słownik pojęć z objaśnieniem skrótów	110
	Summary	117

Wstęp

ANNA BAĆ

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, WYDZIAŁ ARCHITEKTURY

Zawarta w tej książce treść stanowi uzupełnienie materiału z pierwszego tomu, który ma charakter bardziej architektoniczny¹. Obie części składają się na kompendium wiedzy na temat architektury aktywnej energetycznie oraz zawierają kwintesencję tego, co architekt powinien wiedzieć o projektowaniu klimatycznym i niskoenergochłonnym, wymogach prawnych związanych z energią w roku 2021 w Polsce i Unii Europejskiej oraz o możliwościach i uwarunkowaniach ich spełniania.

Nie ulega wątpliwości, że szeroko pojęte oszczędzanie energii w budynkach (m.in. użytkowej i wbudowanej w tzw. całym cyklu życia) wymaga znajomości zagadnień z innych dyscyplin, przede wszystkim z budownictwa, inżynierii środowiska oraz ekonomii. Kwestie energetyki niejako wymuszają posługiwanie się metodami i narzędziami, które wykraczają poza dotychczasowe tradycyjne umiejętności poszczególnych branż. Zmienia się też podejście do projektowania z takiego, w którym architekt (lub inny projektant) narzucał rozwiązania obiektowe, na tzw. zintegrowany proces projektowy (ZPP). W nim cały zespół projektowy wraz ze wszystkimi interesariuszami inwestycji poszukuje zrównoważonych, optymalnych rozwiązań dla danego przypadku i lokalizacji, mając na uwadze także kwestie użytkowania, zarządzania, napraw oraz rozbiórki obiektu. Równocześnie powstają nowe zawody i funkcje, takie jak Building Information Modeling (BIM) Manager, asesor, analityk czy specjalista od zielonego budownictwa. Znaczącą rolę odgrywają także narzędzia służące optymalizacji projektów pod kątem zapewnienia komfortu użytkownika oraz redukcji negatywnego wpływu inwestycji na środowisko w całym cyklu życia.

Doświadczenia pokazują, że poziom wiedzy studentów czy nawet architektów na temat ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i oświetlenia w budynkach jest stosunkowo niski. Niektórzy nadal twierdzą, że zapewnienie komfortowych warunków przebywania w obiektach należy wyłącznie do obowiązków instalatorów. Tymczasem, jak wspomniałam we wstępie do pierwszego tomu, kwestie

¹ W pierwszym tomie książki zawarto wyjaśnienie pojęcia ergoaktywności, jego genezę oraz obszar zagadnień, których dotyczy (rozdział 1, autorka: A. Bać). Omówiono aktualną politykę energetyczną w Polsce i Unii Europejskiej jako wyznacznik działań w branży budowlanej (rozdział 2, autor: H. Kwapisz). Następnie zaprezentowano rozwiązania ergoaktywne z dwóch różnych perspektyw: architektonicznej (rozdziały: 3 i 5, autorka: K. Zielonko-Jung) oraz budowlanej popartej wymogami prawnymi (rozdziały: 4 i 6, autor: Ł. Nowak). Wskazano metody graficznej prezentacji zagadnień energetycznych (rozdział 7, autor: J. Figaszewski). Przedstawiono także praktyczne zastosowanie rozwiązań ergoaktywnych w projektach architektonicznych (zrealizowanych i koncepcyjnych, rozdział 8, autor: P. Kuczia).

energii w architekturze leżą w gestii całego zespołu projektowego. Co więcej, im wcześniej pojawią się w procesie realizacji inwestycji, tym niższe będą koszty środowiskowe i finansowe. Dodatkowo wiodące znaczenie ma całościowe ujęcie cyklu życia budynków i materiałów. Te inne wątki, poza czysto architektonicznymi, są tematem niniejszego opracowania.

W tym tomie opisano podstawy i zasady instalacyjnych rozwiązań energoaktywnych (rozdziały 1 i 2, autor: P. Kęskiewicz), które sformułowano w dużej mierze na podstawie projektów dyplomowych na Wydziale Architektury PWr zgłaszanych do konkursu Architektura Energoaktywna (AE) – więcej na ten temat we wstępie do pierwszego tomu. Następnie przybliżono BIM jako narzędzie projektowe – uczyniono to z dwóch różnych perspektyw: architektonicznej (rozdział 3, autor: P. Wojsznis) i instalacyjnej (rozdział 4, autor: R. Radziecki). Dokonano przeglądu zaawansowanych narzędzi symulacyjnych przydatnych w projektowaniu skierowanym na oszczędność nakładów energii (rozdział 5, autor: W. Stec). Przedstawiono zagadnienia efektywności energetycznej i ekonomicznej w obiektach (rozdział 6, autor: K. Witczak) oraz na zakończenie ich ocenę w tzw. cyklu życia (rozdział 7, autor: W. Kujawski). Ponadto rozdziały 4 i 6 odnoszą się do systemów wielokryterialnej oceny oddziaływania budynków na środowisko.

Oba tomy skonstruowane są analogicznie – poprzedza je wprowadzenie, dla ułatwienia w obu zawarto słownik ważniejszych pojęć. Każdy rozdział rozpoczyna krótkie streszczenie w języku polskim, a kończy bibliografia i nota o autorze. W kilku rozdziałach podano dodatkowe informacje dotyczące wymagań prawnych oraz autorskie opracowania wytycznych dla architektury aktywnej energetycznie. Na końcu książki zebrano streszczenia w języku angielskim.

Zasadniczo rozdziały odnoszą się do wszystkich etapów procesu realizacji inwestycji, od planowania poprzez projektowanie, w nieznacznym stopniu wykonawstwo, po etap użytkowania i zarządzania obiektem. Może najmniej traktują o etapie utylizacji budynków, co moim zdaniem odzwierciedla małą popularność widzenia ich w całym cyklu życia.

W tym miejscu serdecznie dziękuję wszystkim Autorom za zaangażowanie i trud włożone w pisanie poszczególnych rozdziałów. Szczególnie wdzięczna jestem tym osobom, które uczestniczyły w spotkaniach roboczych i naradach nad kształtem książki. Dziękuję Studentkom z koła naukowego eko_studio za aktywny udział w dyskusjach i w przedsięwzięciu. Wyrazy wdzięczności składam szanownym Recenzentom, których niezwykle cenne uwagi wpłynęły na poprawę jakości merytorycznej pracy. Podziękowania kieruję do redaktorki językowej, wykonawcy składu, dzięki którym książka przyjęła swój ostateczny kształt. Dziękuję Oficynie Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej

za współpracę, a także sobie za to, że podjęłam się tego dużego wyzwania, które stało się dla mnie źródłem nauki i ciekawych nowych doświadczeń.

Książkę dedykuję przede wszystkim studentom architektury, wszak wy w niedalekiej przyszłości będziecie kreować naszą przestrzeń do życia. Kieruje ją także do planistów, decydentów, projektantów, użytkowników i zarządców – żeby świadomie gospodarowali zużyciem energii i zasobów naturalnych dla dobra przyszłych pokoleń.

1. Podstawy instalacyjnych rozwiązań energoaktywnych

PIOTR KĘSKIEWICZ

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA

W rozdziale przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z instalacjami sanitarnymi budynków i możliwością ich wykorzystania jako ważnego elementu architektury energoaktywnej. Omówiono parametry wewnętrzne, których utrzymanie jest niezbędne do zapewnienia komfortu użytkowników, i odpowiednie instalacje odpowiedzialne za wykonanie tego zadania. W dalszej części rozdziału przybliżono zasadę M-Z-P-O, której stosowanie powinno ułatwić architektom wybór i lokalizację poszczególnych elementów składowych instalacji budynku.

1.1. Wprowadzenie

Aby każdy obiekt mógł poprawnie funkcjonować, należy zapewnić możliwość utrzymywania podstawowych parametrów wewnętrznych w wymaganych przedziałach wartości. Parametry te określone są najczęściej koniecznością zapewnienia użytkownikom budynku komfortu przebywania i pracy w pomieszczeniach, w szczególnych przypadkach dyktowane są przez wymogi zastosowanej technologii.

Zadaniem architekta jest takie sprecyzowanie przeznaczenia i związanych z tym wymogów eksploatacyjnych, aby umożliwić szczegółowe określenie parametrów wewnętrznych specjalistom z zakresu instalacji sanitarnych (np. instalatorom HVAC). Aby móc zrealizować to zadanie, architekt w ramach współpracy międzybranżowej zintegrowanego procesu projektowego powinien ostatecznie zdecydować, jakie parametry wewnętrzne mają być normowane, czy dopuszczalne

są ewentualne odstępstwa od założonych wartości granicznych (np. zastosowanie rozwiązań komfortu adaptacyjnego), jakie instalacje mają zostać wykorzystane oraz w jaki sposób poszczególne elementy systemów mają ze sobą współpracować. Należy również pamiętać, że pomieszczenia w jednym budynku mogą wymagać normowania różnych parametrów wewnętrznych w różnych zakresach wartości, co może wymusić zastosowanie odrębnych instalacji.

Konieczność zapewnienia minimalnej temperatury powietrza i właściwe oświetlenie pomieszczeń oraz doprowadzenie wymaganej ilości świeżego powietrza narzucone jest przez wytyczne Warunków Technicznych (WT), jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [1]. Określenie pozostałych parametrów wymienionych w tabeli 1 zależy od konkretnego przypadku. Może polegać na przyjęciu przybliżonych wartości znormalizowanych (np. ilości wody wypływające z punktów czerpalnych według normy [2]) lub precyzyjnie określonych wartości (np. wyliczonych parametrów komfortu termicznego według szczegółowych obliczeń normy [3]). Należy również pamiętać o wielu różnych ograniczeniach narzucanych np. przez lokalne wymogi prawne lub granice możliwości wybranych rozwiązań instalacyjnych.

1.2. Instalacje sanitarne – od czego zacząć?

W ramach zintegrowanego procesu projektowego architekt powinien podjąć ostateczną decyzję, jakie rodzaje instalacji sanitarnych należy zastosować oraz jakie rozwiązania i elementy mają być wykorzystane. Aby to zrobić, powinien ściśle współpracować ze specjalistami MEC (Mechanical, Electrical, Plumbing) już na etapie koncepcji architektonicznej (wstępne określenie parametrów funkcjonowania stref obiektu i przewidzianych lokalizacji przestrzeni instalacyjnych), co powinno umożliwić instalatorowi opracowanie propozycji szczegółowych rozwiązań oraz zaproponowanie ewentualnych zmian w koncepcji architektonicznej obiektu, umożliwiających zastosowanie lub poprawiających efektywność ich działania. Pomocą dla architekta są odpowiedzi na poniższe pytania.

W jakim celu ma być stosowana dana instalacja? Za punkt wyjścia należy przyjąć sprecyzowanie, jakie parametry komfortu ma normować instalacja w wybranych pomieszczeniach czy strefach obiektu. W tym zadaniu niezbędne jest określenie ich przeznaczenia i sposobu wykorzystania, ze szczególnym uwzględnieniem indywidualnych wymagań ze względu na specjalne przeznaczenie (np. technologie). Istotne jest wspólne (architekt i instalator) wydzielenie stref obiektu charakteryzujących się zbliżonymi do siebie wymaganiami dotyczącymi parametrów komfortu wewnętrznego i sposobów wykorzystania poszczególnych pomieszczeń danej strefy. Podejście takie znacząco

Tab. 1. Zestawienie parametrów komfortu wewnętrznego zapewnianych przez rozwiązania instalacji wewnętrznych budynku (oprac. P. Kęskiewicz na podst. [1–6])

PARAMETR		PRZYKŁADOWE WARTOŚCI DLA TYPOWYCH POMIESZCZEŃ	POWIĄZANE ROZWIĄZANIA INSTALACYJNE
Świeże powietrze		<ul style="list-style-type: none"> ▪ wentylacja mechaniczna: sugerowane minimum 30 m³/h dla każdej osoby przewidzianej na pobyt stały w pomieszczeniu ▪ wentylacja grawitacyjna pomieszczeń mieszkalnych: wymiana połowy powietrza w pomieszczeniu w ciągu godziny 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wentylacja naturalna (np. przewietrzanie), grawitacyjna, mechaniczna; hybrydowa ▪ klimatyzacja
Minimalna temperatura powietrza wewnętrznego		<ul style="list-style-type: none"> ▪ dla pomieszczeń mieszkalnych: 20°C ▪ dla łazienek: 24°C ▪ dla klatek schodowych: 8°C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ instalacje centralnego ogrzewania, rozwiązania ogrzewania miejscowego ▪ ogrzewanie powietrzne (wentylacja lub klimatyzacja)
Dzienne i sztuczne oświetlenie		<ul style="list-style-type: none"> ▪ wskazane doprowadzenie oświetlenia naturalnego do pomieszczenia mieszkalnego: stosunek powierzchni przeszklenia do powierzchni podłogi co najmniej 1:8 ▪ minimalny poziom natężenia oświetlenia do pracy przy komputerze: 500 lx 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ systemy przeszkleń – oświetlenie naturalne ▪ systemy oświetlenia sztucznego
Zimna i ciepła woda, usuwanie ścieków i kanalizacja deszczowa		<ul style="list-style-type: none"> ▪ ciśnienie wody w zakresie: od 0,5 do 6,0 barów (ogranicza głównie wysokość instalacji) ▪ temperatura ciepłej wody: od 55 do 60°C ▪ ilość wody wypływającej z punktu czerpalnego zróżnicowana, zależna od przeznaczenia punktu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ instalacja zimnej i ciepłej wody użytkowej ▪ cyrkulacja ciepłej wody ▪ instalacje kanalizacji sanitarnej i deszczowej
Maksymalna temperatura powietrza wewnętrznego		<ul style="list-style-type: none"> ▪ temperatura nadążna: średnia wartość aktualnej temperatury powietrza zewnętrznego i temperatury równej 20°C ▪ temperatura stała (rozwiązanie niezalecane dla pomieszczeń stałego przebywania ludzi; stosowane głównie ze względu na wymagania technologii lub specyficzne przeznaczenie pomieszczenia, np. chłodzenie serwerowni czy zapewnienie –20°C w chłodni) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ obniżenie temperatury, ale brak gwarancji nieprzekroczenia wartości maksymalnej: rozwiązania zacieniające, przewietrzanie, gruntowe wymienniki ciepła, akumulacja ciepła budynku ▪ gwarancja nieprzekroczenia wartości maksymalnej: miejscowe i centralne rozwiązania chłodzenia, instalacje wentylacji z całorocznym normowaniem temperatury i klimatyzacji pełnej
Inne parametry powietrza wewnętrznego	wilgotność względna	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wartości optymalne dla przebywania ludzi w zakresie od 40 do 60% ▪ ze względu na wymogi technologii lub przeznaczenia pomieszczenia może wystąpić konieczność zdecydowanie niższych (osuszanie) lub wyższych wartości (nawilżanie i dowilżanie) wilgotności względnej 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ częściowe normowanie parametrów (obniżenie parametru, ale brak gwarancji nieprzekroczenia wartości maksymalnej): wentylacja naturalna, grawitacyjna, mechaniczna i wentylacja z całorocznym normowaniem temperatury ▪ pełne normowanie parametrów: pełna klimatyzacja, wsparcie rozwiązaniami wentylacji pomieszczeń technologicznych (np. rozwiązania wentylacji miejscowej)
	prędkość powietrza	<ul style="list-style-type: none"> ▪ przy niskiej aktywności ludzi: około 0,2 m/s ▪ przy dużej aktywności ludzi: do 0,6 m/s ▪ wymogi technologii lub przeznaczenia pomieszczenia mogą narzucać konieczność nawet znacznego przekroczenia tych wartości 	
	zawartość CO ₂ i lotnych zanieczyszczeń	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wartości bardzo zróżnicowane w zależności od przeznaczenia pomieszczenia, zwłaszcza po uwzględnieniu wymogów technologii i nietypowego przeznaczenia pomieszczenia 	

ułatwia dokładniejsze dopasowanie rozwiązań instalacyjnych do konkretnej sytuacji i może przyczynić się do ograniczenia powstawania potencjalnych niezgodności w dalszych fazach zintegrowanego procesu projektowego. Na tym etapie konieczne należy również rozpatrzyć ewentualną możliwość stosowania wytycznych komfortu adaptacyjnego i jego dopuszczalny zakres.

Jaką instalację zastosować? Wskazany jest wybór kilku możliwych do wprowadzenia rozwiązań gwarantujących dotrzymanie określonych wcześniej parametrów komfortu wewnętrznego. Konieczne należy rozpatrzyć możliwości zastosowania wariantów rozwiązań w wybranej lokalizacji budynku (m.in. należy uwzględnić parametry klimatyczne, ukształtowanie terenu, lokalne uwarunkowania prawne, wytyczne dostawców mediów), wstępne założenia i narzucone ograniczenia (rodzaj obiektu, nietypowa eksploatacja, cele ekologiczne i ekonomiczne itp.). Ostateczny wybór konkretnego rozwiązania powinien nastąpić dopiero po przeprowadzeniu specjalistycznych analiz systemów instalacyjnych i uzgodnień międzybranżowych.

Gdzie umieścić elementy instalacji? Już na etapie wstępnego wyboru rodzaju instalacji należy koniecznie przewidzieć, gdzie poszczególne elementy tego systemu będą lokalizowane i ile przestrzeni będą zajmowały (pomieszczenia i przestrzenie techniczne, szachty montażowe, miejsca montażu odbiorników itp.). Na rycinie 1 widać przykładowe nowoczesne pomieszczenie techniczne. Trzeba zdawać sobie sprawę, że niektóre efektywne i energooszczędne rozwiązania instalacyjne do poprawnej i możliwie wydajnej pracy systemu będą wymagały więcej przestrzeni montażowej niż rozwiązania stosowane dotychczas. Bardzo ważnym elementem jest również uwzględnienie sposobu działania poszczególnych części składowych wybranego systemu, przykładowo: głośności pracy urządzeń (np. pomp, central wentylacyjnych, jednostek zewnętrznych układów chłodniczych), minimalnych i maksymalnych temperatur montażu (np. przewody wodne prowadzone w nieogrzewanych pomieszczeniach), parametrów wpływających na efektywność działania urządzenia (np. znaczące zmniejszenie mocy grzejnika przez jego obudowanie maskownicą i umieszczenie pod stropem pomieszczenia).

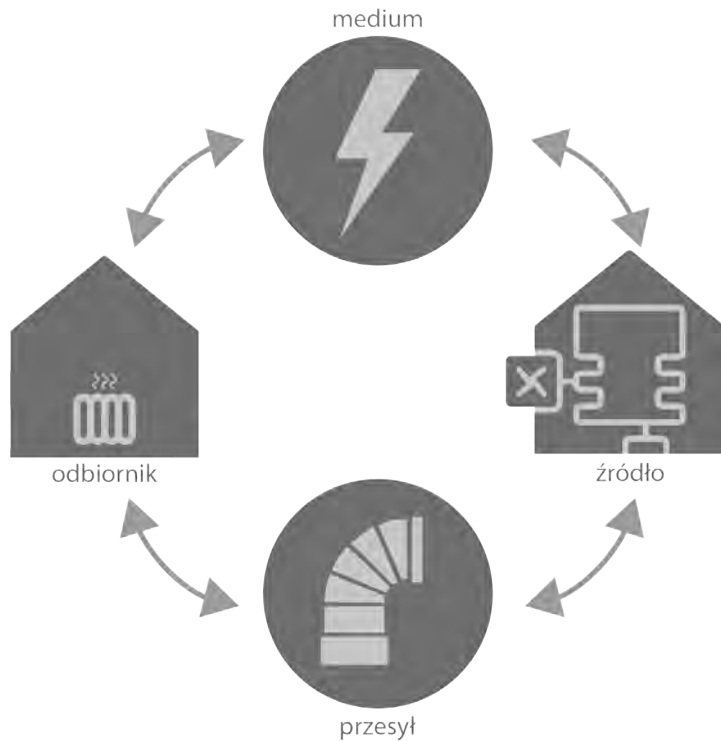
Czy możliwa jest współpraca danej instalacji z innymi systemami budynku? Już na wstępnych etapach zintegrowanego procesu projektowego bardzo ważne jest określenie zasad współpracy pomiędzy poszczególnymi systemami budynku. Pozwala to na odpowiednie dopasowanie i skoordynowanie szczegółowych parametrów pracy poszczególnych instalacji tak, aby w pełni wykorzystać potencjał obiektu jako całości i znacząco ograniczyć instalacyjne zużycie energii (np. równoczesna współpraca instalacji klimatyzacyjnej i instalacji grzewczej z zewnętrznym systemem

Ryc. 1. Wnętrze pomieszczenia technicznego, hybrydowa centrala grzewczo-chłodząca na bazie powietrznej pompy ciepła i kaskady kotłów gazowych (fot. archiwum Viessmann)¹



zacierającym umożliwia pełniejsze wykorzystanie wewnętrznych zysków ciepła od nasłonecznienia w sezonie zimowym i ochronę przed przegrzewaniem pomieszczeń w okresie letnim, zapewnia oszczędność energii do ogrzewania i chłodzenia obiektu). Takie podejście może przyczynić się również do zmniejszenia projektowych mocy poszczególnych instalacji, co umożliwi dobór urządzeń i przewodów wymagających mniejszych przestrzeni montażowych. W zapewnieniu odpowiedniej współpracy między poszczególnymi instalacjami pomaga także wprowadzenie zaawansowanych rozwiązań automatyki budynkowej – przykładowo Building Management System (BMS) lub bardziej złożonych, ale dających więcej możliwości systemów Building Energy Management System (BEMS).

¹ Zdjęcia w tym rozdziale zostały udostępnione przez Łukasza Sajewicza, dyrektora ds. klientów strategicznych, Viessmann Sp. z o.o.



Ryc. 2. Składowe instalacji budynkowej tworzące zasadę M-Z-P-O (oprac. P. Kęskiewicz, rys. J. Kochańska)

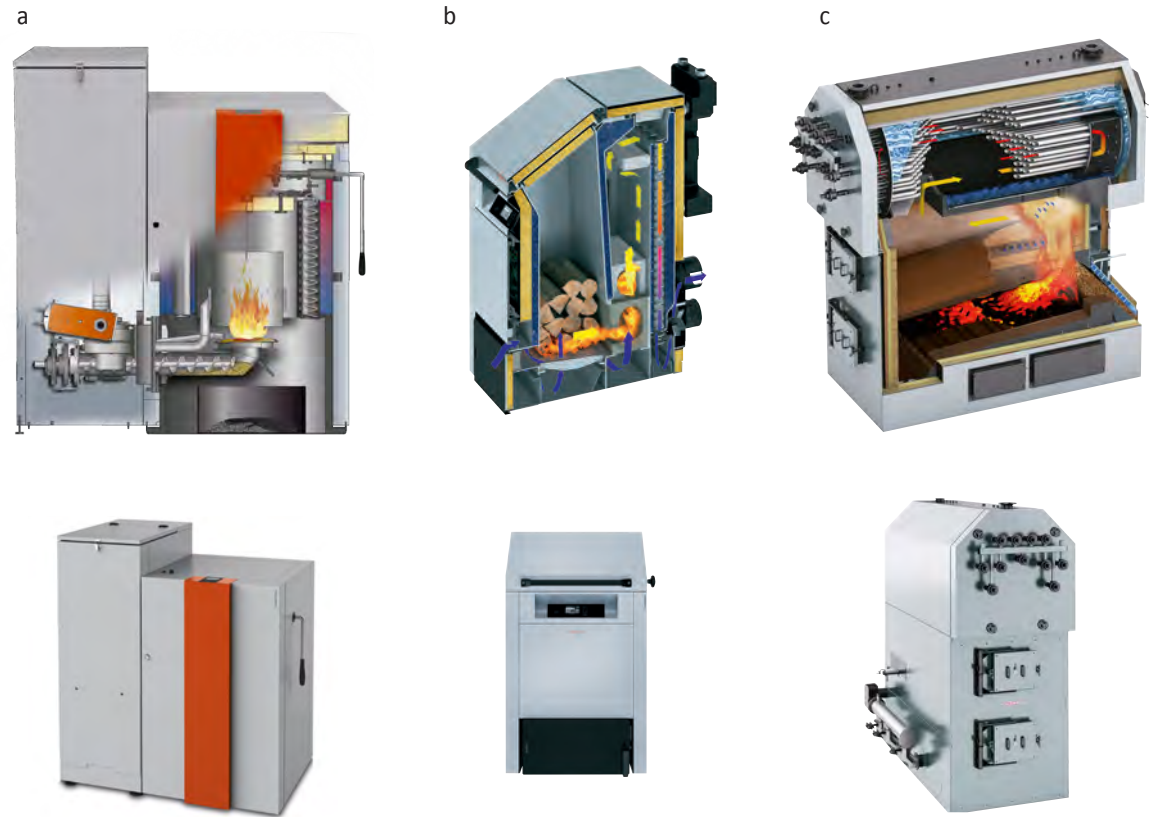
1.3. Zasada M-Z-P-O

Budowę większości instalacji sanitarnych można zwięźle opisać czterema głównymi grupami zagadnień: medium, źródło, przesył i odbiornik. Na podstawie tych grup, na potrzeby niniejszego opracowania stworzono zasadę „medium – źródło – przesył – odbiornik” – M-Z-P-O, graficznie przedstawioną na rycinie 2. Jej głównym zadaniem jest ułatwienie architektowi nazwania i wstępnego określenia lokalizacji poszczególnych elementów składowych wybranej instalacji. Dzięki zastosowaniu zasady M-Z-P-O architektowi łatwiej będzie opracowywać ogólną koncepcję obiektu i – w dalszych etapach projektu – szczegółowe rozwiązania architektoniczne umożliwiające instalatorowi zaimplementowanie wszystkich elementów instalacji w budynku. Zaproponowana kolejność przedstawienia grup nie jest istotna, każdorazowo powinna być dostosowywana do konkretnego przypadku i traktowana jak lista kontrolna (checklista). Należy również pamiętać, że niektóre rodzaje instalacji i ich elementy składowe mogą być bardzo nietypowe. W takich przypadkach dosłowne podejście do zasady M-Z-P-O może być utrudnione i wymagać nieznacznego poszerzenia standardowych definicji występujących w niej grup.

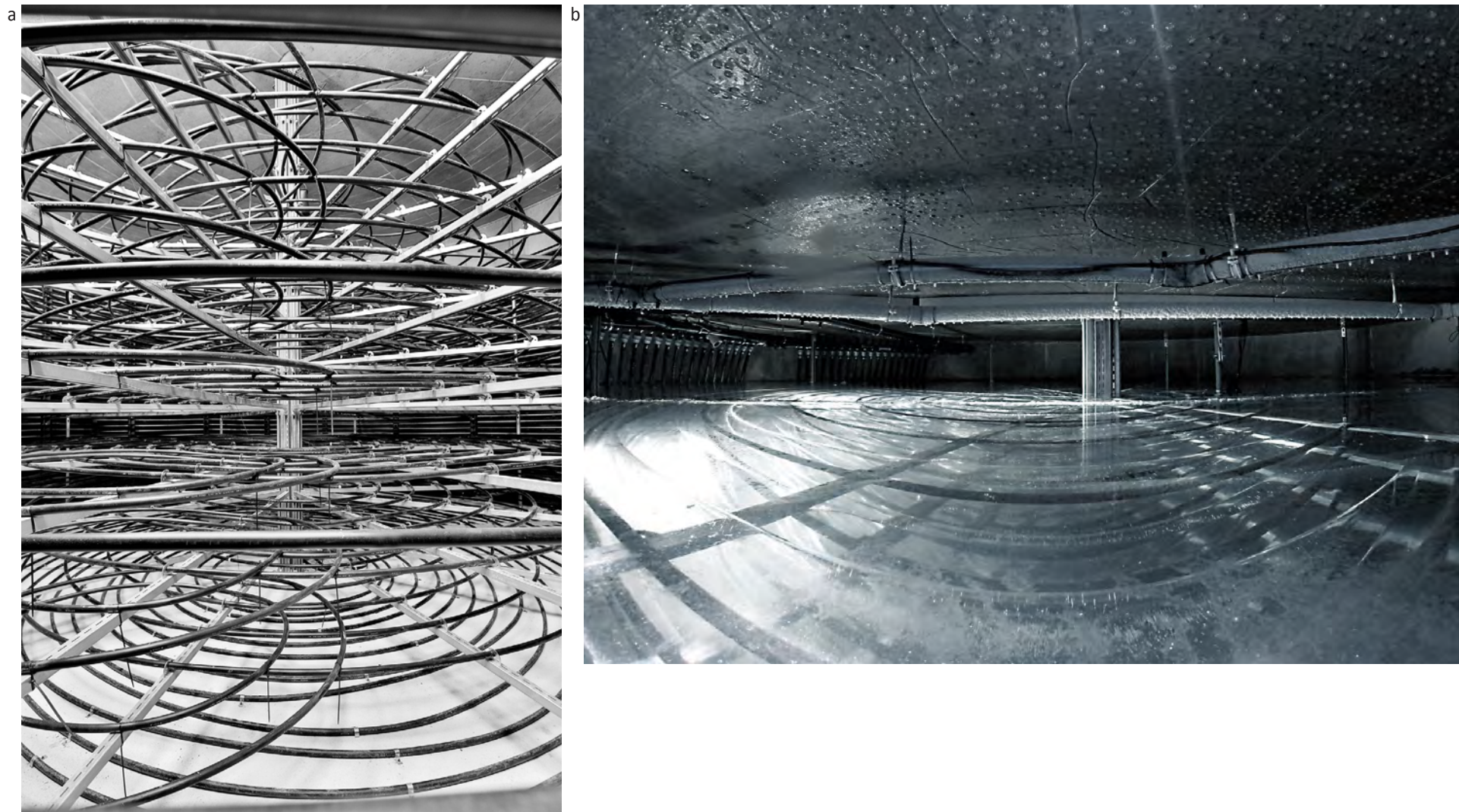
„M” – **medium** – jest to grupa, w której skład wchodzi elementy umożliwiające poprawną pracę źródła. W większości przypadków jest to jakiś rodzaj energii (paliwo, ciepło sieciowe, energia elektryczna, energia odnawialna itp.) dostarczanej do źródła w celu odpowiedniego jej przetworzenia lub zasilającej bezpośrednio źródło (np. energia elektryczna zasilająca wentylatory centrali klimatyzacyjnej). W skład grupy „medium” wchodzi również inne, trudniejsze do jednoznacznego przypisania czynniki dostarczane do źródła, najczęściej z zewnątrz obiektu. Takimi czynnikami mogą być świeże powietrze wentylacyjne i woda wodociągowa. W przypadku wyboru medium konieczne jest m.in. przeprowadzenie analizy dostępności i jakości medium w danej lokalizacji obiektu oraz uwzględnienie ewentualnych kosztów środowiskowych i ekonomicznych dostarczenia medium do źródła (np. straty ciepła sieciowego na przesył, konieczność budowy przyłączy sieciowych). Należy także mieć świadomość, że zastosowanie danego medium najczęściej bardzo ogranicza możliwości wyboru różnego rodzaju źródeł, a nawet pozostałych części instalacji.

„Z” – **źródło** – najczęściej w skład tej grupy wchodzi pojedyncze urządzenia (np. kotły, pompy ciepła) lub całe ich zestawy (np. kotłownie na biomasę o małej i dużej mocy, ryc. 3), których zadaniem jest odpowiednie przetworzenie medium w sposób umożliwiający zasilenie instalacji budynku (np. spalanie biomasy, wytworzenie ciepła i jego przekazanie do przesyłu). Rzadziej spotykane są źródła, które tylko „przekazują” medium, nie zmieniając jego parametrów. Przykładem mogą

Ryc. 3. Kotły zasilane biomasą: a) kocioł grzewczy z automatycznym zasilaniem pelletem drzewnym, Easypell 20 (6–20 kW); b) kocioł zgazowujący drewno, Vitoligno 300-S (33–75 kW); c) kocioł z płaskim rusztem skokowym, Vitoflex 300-FSB (180–1700 kW) (fot. archiwum Viessmann)



być nawiewniki okienne wentylacji grawitacyjnej. Zapewniają przedostanie się świeżego powietrza (medium) do pomieszczenia i jego przepływ (przesył) do kratki wywiewnych (odbiornika). Ciekawym elementem źródła (np. zasobniki w postaci zbiorników magazynujących ciepło bądź chłód) lub nawet samodzielnym źródłem w postaci pojedynczego elementu (np. ściana akumulacyjna biernie magazynująca wewnętrzne zyski ciepła od nasłonecznienia) mogą być rozwiązania pozwalające na magazynowanie medium, najczęściej ciepła i chłodu, widoczne na rycinie 4, energii elektrycznej lub wody. Głównym wyzwaniem dla architekta związanym z elementami źródła jest uwzględnienie w koncepcji architektonicznej, po uzgodnieniu z instalatorem: właściwej lokalizacji źródła gwarantującej możliwie proste podłączenie medium i elementów przesyłu (najczęściej



Ryc. 4. Zbiorniki magazynujące ciepło bądź chłód: a) pusty zasobnik z rurami; b) lód z rurami (fot. archiwum Viessmann)

w centralnej części obiektu, przy przegrodzie zewnętrznej), odpowiedniej przestrzeni montażowej zapewniającej dostęp do wszystkich fragmentów instalacji (np. szachty, stropy podwieszane, podłogi, a nawet całe pomieszczenia techniczne) i zapewnienie podłączenia wymaganego medium wraz z początkowymi elementami przesyłu. W niektórych przypadkach należy również uwzględnić inne parametry, przykładowo: nośność konstrukcji podtrzymującej źródło, wytlumienie hałasu pracy źródła, zapewnienie odpowiedniego dostępu serwisowego, potencjalne zagrożenia wynikające ze stosowania danego rozwiązania (np. wysoka temperatura i ciśnienie sieci ciepłowniczej znacznie ogranicza możliwość prowadzenia tego typu przewodów w pomieszczeniach z dostępem osób trzecich, z tego względu węzły ciepłownicze powinny być lokalizowane przy ścianie zewnętrznej, co pozwala na bezpośrednie podłączenie „niebezpiecznego” medium do źródła) itp.

„P” – przesył – elementy wchodzące w skład tej grupy zapewniają połączenie źródła z odbiornikiem. Najczęściej stosowane są przewody wodne (potocznie „rury”) i elektryczne, kanały wentylacyjne, przestrzenie techniczne. W M-Z-P-O przesyłem można nazwać również np. przepływ powietrza przez pomieszczenia w przypadku zastosowania wentylacji grawitacyjnej. Bardzo ważnymi elementami tej grupy są urządzenia wspomagające przesył (np. zawory regulacyjne, tłumiki hałasu, rewizje, szafki pomiarowe), najczęściej montowane punktowo na przewodach rozprowadzających lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Nie można o nich zapominać, ponieważ zwykle mają większe gabaryty niż przewody, na których są montowane, i niejednokrotnie wymagają zapewnienia do nich odpowiedniego dostępu serwisowego (rewizje, szafki dostępowe, elementy demontowane, maskownice itp.). Wymiary elementów przesyłu najczęściej rosną wraz z podłączaniem kolejnych odbiorników, największe urządzenia montowane są zwykle w pobliżu źródła. Ograniczenie liczby podłączonych odbiorników, centralne lokalizowanie źródła, stosowanie kilku źródeł rozproszonych są przykładami rozwiązań umożliwiających zmniejszenie gabarytów elementów przesyłu (zarówno przewodów, jak i urządzeń wspomagających). W rozwiązaniach instalacyjnych nowoczesnego budownictwa nieodzowne jest stosowanie odpowiednich izolacji zdecydowanej większości elementów przesyłu (nie tylko elementów o podwyższonej temperaturze, ale również związanych z instalacjami chłodniczymi, zimną wodą użytkową – m.in. zapobieganie wykraplaniu się wilgoci, kanałów wentylacyjnych – m.in. dodatkowa izolacja akustyczna). Należy pamiętać, że właściwe zaizolowanie elementów przesyłu wymaga zapewnienia dodatkowej przestrzeni, zwykle tym większej, im większa jest różnica (np. temperatur, hałasu) pomiędzy przesyłem a otoczeniem (potrzeba najczęściej od kilku do kilkunastu dodatkowych centymetrów). Głównym wyzwaniem dla architekta związanym z elementami przesyłu jest zagwarantowanie odpowiednich przestrzeni monta-

wych (przede wszystkim w przypadku kanałów wentylacyjnych – duże gabaryty) i odpowiedniego dostępu do nich, zwłaszcza w miejscu montażu elementów wymagających okresowego serwisu. W przypadku rozległych obiektów (zwłaszcza wysokich i wysokościowych) może wystąpić konieczność zastosowania dodatkowych pomieszczeń, czasami nawet całych kondygnacji technicznych.

„O” – odbiornik – jest to grupa elementów najbliższa użytkownikom pomieszczeń i w większości przypadków dla nich widoczna. Odbiorniki bezpośrednio odpowiadają za utrzymanie i kształtowanie zadanych parametrów komfortu w budynku, poprzez dostarczenie we właściwy sposób, przygotowanego w źródle i przesłanego elementami przesyłu nośnika. Rodzaj, lokalizacja, wymiary itd. odbiorników związane są nie tylko z zastosowanym rodzajem i właściwościami pracy źródła, ale również ze sposobem wykończenia i eksploatacji pomieszczenia. Elementy odbiornika są zwykle bardzo istotne zarówno dla architektów (powinny współgrać z architekturą całego budynku czy jego poszczególnych stref), jak i instalatorów (mają znaczący wpływ na możliwości kształtowania komfortu). Wybór konkretnego odbiornika może wiązać się ze znaczącymi ograniczeniami swobody projektowej obu grup specjalistów (np. zastosowanie podokiennych grzejników płytowych ograniczy architektom możliwość wprowadzenia maksymalnej wysokości przeszklenia kondygnacji, dla instalatorów będzie miało wpływ na wybór rodzaju i parametrów pracy źródła ciepła). Z tego względu prowadzenie konsultacji międzybranżowych w ramach zintegrowanego procesu projektowego jest szczególnie wskazane. Wynikiem konsultacji powinien być dobór rodzaju rozwiązania instalacyjnego zgodnego z zamysłem architekta (np. w wielu przypadkach rezygnacja z grzejników płytowych na rzecz grzejników kanałowych lub płaszczyznowych umożliwi architektowi zastosowanie maksymalnej wysokości przeszkleń kondygnacji ale jednocześnie umożliwiającego zapewnienie odpowiednich warunków w pomieszczeniach (np. zastosowanie odbiorników niskotemperaturowych może znacząco ograniczyć moc maksymalną instalacji grzewczej, co utrudni lub uniemożliwi zapewnienie odpowiednich warunków cieplnych). W przypadku grupy odbiornika wyzwanie stanowi umożliwienie odpowiedniego rozlokowania elementów grupy zapewniającego ich właściwą pracę oraz skomponowanie ich z architekturą konkretnych wnętrz. Dlatego atrakcyjnym rozwiązaniem są np. systemy płaszczyznowe (podłogowe, sufitowe czy ściennie) wykorzystywane zarówno do grzania, jak i chłodzenia pomieszczeń. Należy bezwzględnie pamiętać, że obudowywanie, maskowanie odgradzanie np. ściankami działowymi elementów odbiornika może mieć bardzo duży wpływ na jego działanie i każdorazowo powinno być konsultowane z instalatorem.

1.4. Podsumowanie

Przedstawione w rozdziale informacje, zwłaszcza dotyczące stosowania zaproponowanej zasady „medium – źródło – przesył – odbiornik”, powinny ułatwić architektowi kontakt ze specjalistami branży instalacyjnej i przyczynić się do lepszego zrozumienia wzajemnego oddziaływania instalacyjnych rozwiązań energoaktywnych z pozostałymi elementami zintegrowanego procesu projektowego. Dodatkowo należy pamiętać, że umiejętne wykorzystanie zasady M-Z-P-O może znacząco ułatwić poznanie działania oraz wstępne nakreślenie zalet i wad nawet najnowocześniejszych rozwiązań instalacyjnych, których architekt wcześniej nie musiał znać. W kolejnym rozdziale zaprezentowano przykłady zastosowania zasady M-Z-P-O dla kilku rodzajów instalacji, wraz ze wskazaniem podstaw jej wykorzystania.

Bibliografia

- [1] *Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 7 czerwca 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. 2019, poz. 1065, <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU2019000-1065/O/D20191065.pdf>, dostęp 18.10.2019.
- [2] PN-B-01706: 1992 – *Instalacje wodociągowe – Wymagania w projektowaniu*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa [norma wycofana w 2009 r.].
- [3] PN-EN ISO 7730: 2006 – *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [4] PN-EN 12464-1: 2012 – *Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy - Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [5] Pełech A., *Wentylacja i klimatyzacja. Podstawy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [6] PN-B-03421: 1978 – *Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa [norma wycofana w 2015 r.].



PIOTR KĘSKIEWICZ

➔ Doktor inżynier, adiunkt naukowo-dydaktyczny na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej w Katedrze Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza (gdzie pracuje od 2011 roku). Jest członkiem zespołu badawczo-dydaktycznego ogrzewnictwa i ciepłownictwa. Organizator i współorganizator wielu warsztatów, szkoleń, pokazów oraz obozów naukowych popularyzujących rozwiązania energooszczędne w budownictwie.

Zajmuje się badaniami naukowymi oraz dydaktyką, ze szczególnym uwzględnieniem analiz wpływu stosowania nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych i instalacyjnych na charakterystykę energetyczną budynków. Wypromował ponad 30 prac dyplomowych, z czego sześć uzyskało wyróżnienia. Od 2014 roku współpracuje z Wydziałem Architektury PWr w zakresie popularyzowania budownictwa zeroenergetycznego. Był jurorem czterech edycji konkursu architektonicznego na prace dyplomowe Architektura Energoaktywna.

Jest autorem i współautorem 24 publikacji i raportów naukowych, z czego kilka indeksowanych w bazach Web of Science oraz SCOPUS. Uczestniczył w wielu konferencjach naukowych z zakresu budownictwa niskoenergetycznego, m.in. w International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering oraz International Conference Air & Heat, Water & Energy.

Jest autorem lub współautorem ponad 40 projektów instalacji sanitarnych (centralnego ogrzewania, gazowych, wodnych, kanalizacyjnych) oraz różnego rodzaju analiz energetycznych (m.in. budynków: biurowych, administracyjnych, wielkokubaturowych magazynów blisko zeroenergetycznych). Był członkiem zespołu realizującego szóste zadanie badawcze „Analiza wymagań technicznych i eksploatacyjnych dla budynków przy zasilaniu ze scentralizowanych źródeł ciepła” w ramach strategicznego programu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Brał udział w pracach zespołu wspierającego projekt architektoniczny budynku 3E wchodzącego w skład kompleksu budynków WIŚ PWr.

2. Przykłady rozwiązań instalacyjnych a zasada M-Z-P-O

PIOTR KĘSKIEWICZ

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA

W rozdziale zostały przedstawione przykłady podstawowych rozwiązań instalacyjnych stosowanych w nowo budowanych obiektach. Uwzględniono opis zagadnień związanych z architekturą energoaktywną w zakresie wentylacji naturalnej i grawitacyjnej, instalacji wentylacji i klimatyzacji mechanicznej, instalacji grzewczych (w szczególności zagadnienia związane z elementami źródła). Przedstawiono praktyczny sposób interpretacji i wykorzystania zasady M-Z-P-O dla opisywanych instalacji oraz przygotowano zestawienia istotnych uwag z nimi związanych.

2.1. Wprowadzenie

Instalacje przedstawione w tym rozdziale zaliczają się do rozwiązań pasywnych oraz aktywnych szczególnie omówionych we wstępie do pierwszego tomu niniejszej publikacji. Do tych pasywnych należy m.in. wentylacja naturalna i grawitacyjna, a także naturalny free cooling. Do aktywnych zalicza się m.in. wentylację mechaniczną i klimatyzację oraz większość rodzajów instalacji ogrzewania i chłodzenia. Wyróżnia się także rozwiązania hybrydowe, np. kiedy podzespoły wentylacji naturalnej lub grawitacyjnej wyposażone są w elementy wspomagające ich funkcjonowanie zasilane energią elektryczną, jak wentylatory wymuszające wyciąg powietrza na pionach wentylacji grawitacyjnej czy czujniki i siłowniki poruszające elementy otwieralne służące przewietrzaniu. Te nazywane są semiaktywnymi.

Instalacje zostały omówione według jednolitego systemu: znaczenia dla parametrów obiektu, zasady działania, zalet i wad oraz zapotrzebowania na powierzchnię w budynku. Wyjątek stanowi część dedykowana instalacjom grzewczym, których zakres jest bardzo rozległy, a możliwości oraz wady poszczególnych rozwiązań objęte są wieloma uwarunkowaniami. Wraz z zasadą medium – źródło – przesył – odbiornik (w skrócie M-Z-P-O), szczegółowo omówioną w rozdziale 1, przyjęty system tworzy przejrzystą dla architekta strukturę zagadnień instalacyjnych¹.

2.2. Wentylacja naturalna i grawitacyjna

Parametry wewnętrzne budynku, na które wpływa instalacja

Instalacja wentylacji naturalnej bądź grawitacyjnej odpowiada głównie za dostarczenie wymaganej ilości świeżego powietrza i usunięcie lotnych zanieczyszczeń z pomieszczenia. Może być wykorzystana do usuwania nadmiernych wewnętrznych zysków ciepła (np. free cooling naturalny) oraz w celu ograniczenia wzrostu temperatury wewnątrz pomieszczeń w okresie ciepłym – ta funkcja może jednak wymagać zastosowania dodatkowych rozwiązań wspierających działanie instalacji (instalacja hybrydowa).

- **Zasada działania instalacji**

W przypadku wentylacji grawitacyjnej przepływ świeżego powietrza do wewnątrz pomieszczeń i „zużytego” na zewnątrz wywołany jest przez różnicę ciśnień, tworzoną najczęściej przez różnicę temperatur (gęstości) pomiędzy ciepłym (lżejszym) powietrzem wewnętrznym i chłodniejszym (cięższym) powietrzem zewnętrznym [1]. W przypadku odwrotnego rozkładu temperatur wentylacja tego typu nie będzie działać. Różnica ciśnień może być wywołana również oddziaływaniem wiatru na budynek. W przypadku wentylacji naturalnej wykorzystuje się przewietrzanie, tj. przepływ mas powietrza wywołany różnicą ciśnień po obu stronach przegrody zwiększony otwarciem okien lub innych elementów do tego przeznaczonych (tzw. podzespołów wentylacji naturalnej, jak lufciki, otwierane naświetla, okna połaciowe itp., a także drzwi, szczeliny powietrzne lub kratki wentylacyjne). Jej warunkiem jest usytuowanie elementów nawiewnych i wywiewnych w obrębie różnych przegród zewnętrznych z możliwością zapewnienia przepływu powietrza pomiędzy nimi [1–3]. Jej działanie może być zintensyfikowane poprzez stosowanie wyspecjalizowanych rozwiązań architektoniczno-instalacyjnych, jak np. kominy solarne i ściany Trombe’a czy wieże wiatrowe.

¹ Kwestie chłodzenia zostały ujęte w kolejnych rozdziałach tomu i nie mają odrębnego opracowania.

- **Czym się różni wentylacja naturalna od grawitacyjnej**

Jeżeli instalacja wykorzystuje różnicę ciśnień do wywołania ruchu powietrza oraz zastosowano w niej elementy nawiewne (nawiewniki) i kanały wywiewne, mowa o instalacji grawitacyjnej. Jeżeli nie zostały wykorzystane kanały wywiewne, jest to wentylacja naturalna [1].

- **Główne zalety stosowania instalacji**

Do poprawnej pracy instalacje tego typu najczęściej nie potrzebują energii z zewnątrz. Wentylacja naturalna nie wymaga prowadzenia żadnych kanałów wentylacyjnych, grawitacyjna natomiast opiera się na pionach wentylacyjnych pełniących funkcję kanałów wywiewnych.

- **Główne wady stosowania instalacji**

Nie gwarantuje zapewnienia wymaganych parametrów komfortu podczas całego okresu eksploatacji pomieszczeń. Jej działanie ściśle powiązane jest z odpowiednią różnicą pomiędzy warunkami wewnętrznymi i zewnętrznymi (np. im większa różnica temperatur, tym większy strumień powietrza wentylującego – warunki trudne do spełnienia w okresie ciepłym). System wiąże się z bardzo utrudnionym odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego.

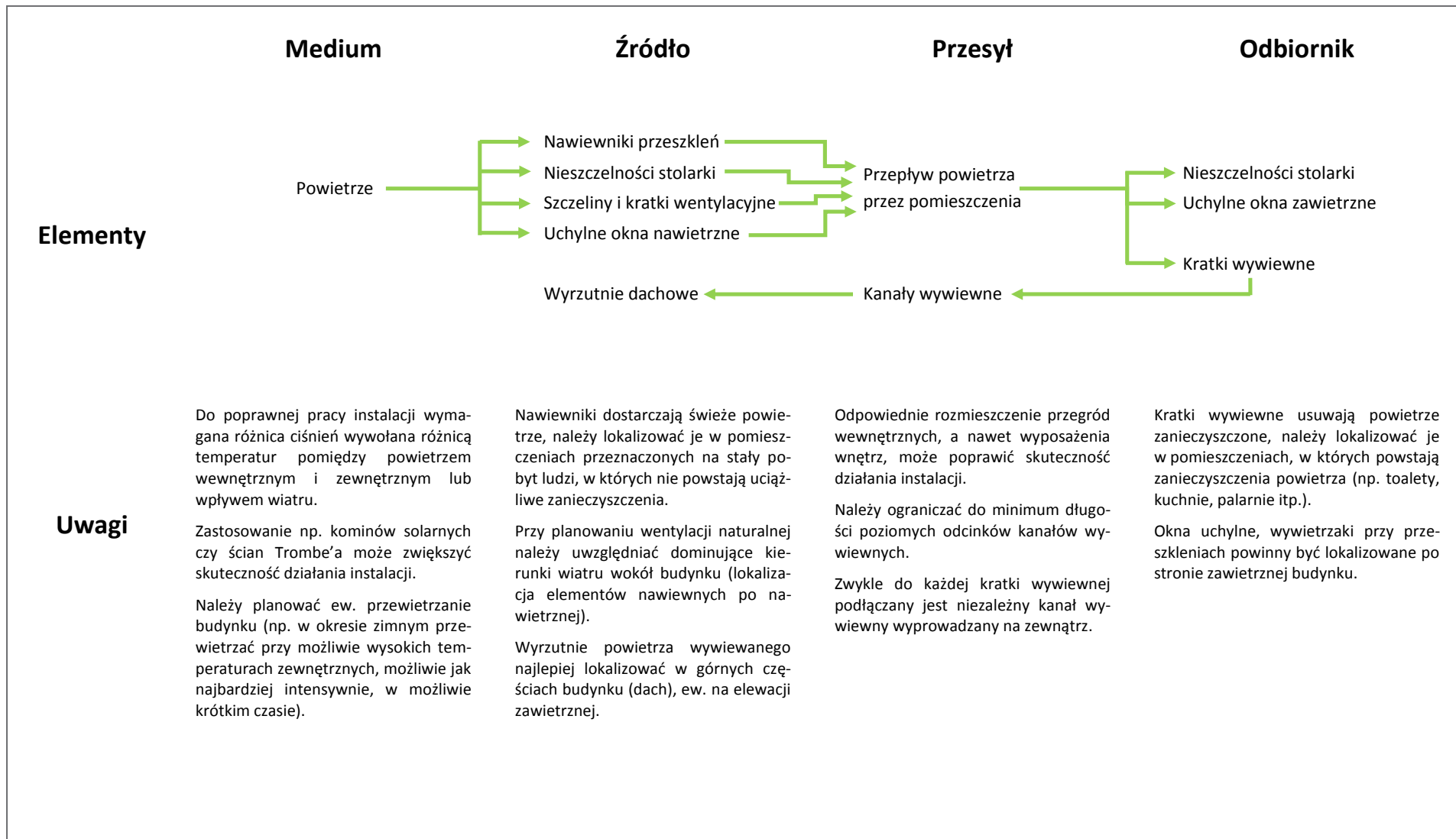
- **Wymiary i przestrzenie montażowe**

Ze względu na sposób działania elementy wentylacji grawitacyjnej zajmują stosunkowo niedużo miejsca. Należy zwrócić uwagę głównie na zagwarantowanie odpowiedniej przestrzeni na wykonanie szachtów kanałów wywiewnych wraz z kłapami rewizyjnymi oraz zapewnienie możliwości wyprowadzenia ich ponad dach budynku. Największe wymagania narzuca stosowanie rozwiązań wspomagających – kominów solarnych czy ścian Trombe'a. Są to często elementy znacznych rozmiarów, szczegółowo dobierane do konkretnych przypadków.

- **Dodatkowe informacje**

Istnieje możliwość powiązania pracy instalacji wentylacji naturalnej lub grawitacyjnej z wentylacją mechaniczną. Taki rodzaj wentylacji pomieszczeń nazywany jest wentylacją hybrydową. Więcej podstawowych informacji o tym rozwiązaniu podano w dalszej części rozdziału.

Elementy zasady M-Z-P-O oraz uwagi związane z instalacjami wentylacji naturalnej i grawitacyjnej przedstawiono na rycinie 1.



Ryc. 1. Schemat przedstawiający elementy zasady M-Z-P-O oraz przykładowe uwagi związane z instalacjami wentylacji naturalnej i grawitacyjnej (oprac. P. Kęskiewicz)



Ryc. 2. System centralnej wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła Vitovent 300-F współpracujący z pompą ciepła powietrze–woda Vitoval 222-S (fot. archiwum Viessmann)²

² Zdjęcia w tym rozdziale zostały udostępnione przez Łukasza Sajewicza, dyrektora ds. klientów strategicznych, Viessmann Sp. z o.o.

2.3. Wentylacja mechaniczna i klimatyzacja

• Parametry wewnętrzne budynku, na które wpływa instalacja

Wentylacja mechaniczna odpowiada głównie za dostarczenie wymaganej ilości świeżego powietrza, ale również zapewnia możliwość oczyszczenia i sterowania temperaturą powietrza nawiewanego. Poprzez zwiększenie strumienia powietrza nawiewanego może być wykorzystana do usuwania nadmiernych wewnętrznych zysków ciepła (rozwiązanie free coolingu bezpośredniego). Instalacja wentylacyjna wyposażona odpowiednio w systemy nagrzewania i/lub chłodzenia (tzw. instalacja wentylacji mechanicznej z całorocznym normowaniem temperatury powietrza) gwarantuje dodatkowo możliwość dogrzewania i/lub schłodzenia powietrza nawiewanego do zaprojektowanych wartości (ryc. 2).

Najbardziej rozbudowanym i najbardziej energochłonnym rozwiązaniem jest instalacja klimatyzacyjna (ryc. 3), która umożliwia nie tylko kontrolowanie temperatury powietrza, lecz także utrzymanie zadanych wartości innych parametrów powietrza w pomieszczeniach, głównie wilgotności względnej. Instalacje wentylacji mechanicznej czy instalacje klimatyzacyjne mogą zostać wykorzystane również do wentylacji wyspecjalizowanych pomieszczeń technologicznych (np. laboratoriów chemicznych, sal operacyjnych, serwerowni, gastronomii, budynków hodowlanych). Kształtowanie w sposób kontrolowany warunków w pomieszczeniu, dokładne utrzymywanie zadanych parametrów powietrza zwłaszcza w konkretnych strefach pomieszczeń, ścisła kontrola nad ilością i jakością nawiewanego czy wywiewanego powietrza są głównymi zaletami tego typu rozwiązań.

• Zasada działania instalacji

Powietrze świeże, z zewnętrznych źródeł, dostarczane jest do centrali wentylacyjnej, gdzie może podlegać odpowiedniej obróbce (oczyszczeniu, dograniu lub ochłodzeniu, nawilżeniu lub osuszeniu itp.). Tak przygotowane przetłaczane jest przy użyciu wentylatorów przez kanały nawiewne i nawiewniki do pomieszczeń, wpływając na parametry komfortu. Zużyte powietrze transportowane jest z pomieszczeń poprzez szczeliny, wywiewniki i kanały wywiewne do centrali wentylacyjnej (ryc. 4). Ostatecznie usuwane jest z centrali przez wyrzutnie zlokalizowane na zewnątrz budynku. Zebranie powietrza w jednym miejscu instalacji ułatwia odzyskanie z niego energii. W większości przypadków konieczność stosowania odzysku jest narzucona przepisami Warunków Technicznych [4] oraz dyrektywą [5]. Odzyskana energia może zostać powtórnie wykorzystana bezpośrednio w instalacji wentylacyjnej (np. wstępne podgrzanie lub schłodzenie powietrza nawiewanego z wykorzystaniem różnego rodzaju wymienników) lub w szczególnych przypadkach (wyspecjalizowane

instalacje np. w budynkach przemysłowych, biurowych, handlowych) jako medium dla innych instalacji budynku (np. odzysk ciepła z powietrza chłodzącego serwerownie komputerowe wykorzystywany do wstępnego przygotowania ciepłej wody użytkowej, ryc. 5).

Mechaniczne instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne m.in. mogą zostać wsparte również poprzez zastosowanie rozwiązań związanych z tak zwanym free coolingiem. Są to rozwiązania pozwalające w sposób bezpośredni (np. zwiększenie strumienia wentylującego), pośredni (np. wykorzystanie wymiennika ciepła do przekazania energii) lub z wykorzystaniem rozwiązań agregatów chłodniczych (np. bezpośrednie i pośrednie schładzanie nośnika chłodu) na czasowe wykorzystywanie niższych temperatur powietrza zewnętrznego do skuteczniejszej kontroli maksymalnych temperatur w strefach budynku [6]. Ze względu na zasady funkcjonowania systemów free colling w polskim klimacie zwykle przynosi oszczędności w okresach przejściowych oraz zwłaszcza w sezonie grzewczym [1–3].

- **Główne zalety stosowania instalacji**

Poprawnie zaprojektowane instalacje mechaniczne dają gwarancję utrzymania wyznaczonych parametrów komfortu w pomieszczeniach lub zapewnienie odpowiedniego ich funkcjonowania. Dają możliwość stosunkowo prostego zastosowania odzysku energii zawartej w powietrzu wentylacyjnym (np. rekuperatory, pompy ciepła) oraz rozwiązań free coolingu. Instalacje wentylacyjne z całorocznym normowaniem temperatury i instalacje klimatyzacyjne pozwalają na chłodzenie pomieszczeń do zadanej temperatury maksymalnej niezależnie od warunków zewnętrznych, a nawet utrzymanie optymalnej wilgotności i innych bardziej nietypowych parametrów powietrza.

- **Główne wady stosowania instalacji**

Wymaga ona dostarczenia odpowiedniej ilości i rodzaju energii do poprawnej pracy instalacji, co wiąże się ze zwiększeniem kosztów eksploatacyjnych. Konieczność prowadzenia kanałów wentylacyjnych i lokalizacji central wentylacyjnych charakteryzujących się dużymi wymiarami wymusza uwzględnienie w koncepcji architektonicznej obiektu odpowiednich przestrzeni technicznych.

- **Wymiary i przestrzenie montażowe**

Instalacje wentylacji i klimatyzacji mechanicznej są zwykle systemami bardzo rozbudowanymi, które wymagają stosunkowo dużych i niejednokrotnie nietypowych przestrzeni montażowych. Elementy składowe tych systemów charakteryzują się najczęściej również największymi gabarytami spośród wszystkich typowych instalacji budynkowych.



Ryc. 3. Klimatyzator typu Split do chłodzenia i ogrzewania pomieszczeń, znamionowa moc chłodzenia: 2,7 kW, 3,5 kW i 5,2 kW, Vitoclima 200-S: a) jednostka wewnętrzna; b) jednostka zewnętrzna z zapewnieniem odprowadzenia skroplin (fot. archiwum Viessmann)



Ryc. 4. Centrala dla jednostki mieszkalnej systemu wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, Vitovent 300-W (fot. archiwum Viessmann)



Ryc. 5. Pompa ciepła solanka-woda, moc znamionowa od 82,8 do 222 kW, Vitocal 300-G PRO (fot. archiwum Viessmann)

Ze względu na dużą różnorodność stosowanych rozwiązań i szeroki zakres wydajności systemów bardzo ważne jest, aby wyznaczenie miejsc montażu i wymaganych wielkości potrzebnych przestrzeni montażowych i serwisowych odbyło się na podstawie szczegółowych konsultacji ze specjalistą branży instalacyjnej. W dalszej części rozdziału podano jedynie bardzo orientacyjne wartości mogące posłużyć architektowi jako punkt wyjścia kolejnych etapów procesu projektowego.

Źródłem dla instalacji wentylacji i klimatyzacji mechanicznej są zwykle centrale wentylacyjne. Są to grupy urządzeń montowanych najczęściej w formie central dachowych (zabezpieczonych przed wpływem warunków pogodowych, wymagających do usytuowania na dachu odpowiednich konstrukcji nośnych, ramp obsługowych, ewentualnie maskownic) lub urządzeń montowanych w wydzielonych pomieszczeniach maszynowni wentylacyjnych (lokalizuje się je najczęściej w piwnicach, na najwyższych piętrach, ewentualnie na kondygnacjach technicznych). Pomieszczenia maszynowni i centrale dachowe powinny być położone jak najbliżej pomieszczeń przez nie wentylowanych. Należy zapewnić możliwość: podłączenia do nich wymaganych mediów (przykład na ryc. 5), wniesienia i ewentualnie wymiany poszczególnych części urządzeń (zapewnienie odpowiednich wymiarów ciągów komunikacyjnych oraz drzwi), łatwego dostępu do przestrzeni serwisowych podawanych w dokumentacji technicznej konkretnych urządzeń (w uproszczeniu można przyjąć pas o szerokości centrali poszerzony o 0,6 m) [1]. Obecnie ze względu na bardzo duże zróżnicowanie dostępnych funkcji, modułów, rozwiązań konstrukcyjnych central wentylacyjnych i ich podłączeń bardzo trudne jest przedstawienie uniwersalnych wytycznych opisujących wymiary central lub pomieszczeń maszynowni wentylacyjnych, które można było sprecyzować jeszcze kilka lat temu [7]. Niemniej na potrzeby niniejszego rozdziału można podzielić centrale wentylacyjne na małe – dla domów jednorodzinnych lub mieszkań oraz dla większych kubatur. Dla średniej wielkości domu jednorodzinnego wymiary centrali podwieszanej pod stropem pomieszczenia technicznego wynoszą przykładowo przeciętnie $0,8 \times 0,3 \times 0,9$ m (wydajność 300–400 m³/h, rekuperator z wymiennikiem przeciwprądowym). W tabeli 1 przedstawiono przybliżone wymiary jednego z obecnie stosowanych zestawów sekcyjnej centrali klimatyzacyjnej. Należy jednak pamiętać, że wprowadzenie zmian np. w rodzaju zastosowanych sekcji może mieć znaczący wpływ na ostateczny wymiar całości centrali, a co za tym idzie – na wymaganą minimalną wielkość całego pomieszczenia maszynowni wentylacyjnej (przykładowo dla centrali z tab. 1, przy strumieniu powietrza równym 10 000 m³/h długość zestawu wynosi 4,0 m, w przypadku zastąpienia wymiennika obrotowego wymiennikiem płytowym centrala wydłużyłaby się aż o 1,8 m).

Tab. 1. Przybliżone wymiary zewnętrzne pojedynczej, segmentowej, poziomej centrali klimatyzacyjnej nawiewno-wywiewnej, w przybliżeniu klasa energetyczna A; zastosowane główne segmenty: filtry, wentylatory, nagrzewnica, chłodnica, obrotowy wymiennik ciepła (oprac. P. Kęskiewicz)

Lp.	STRUMIEŃ POWIETRZA WENTYLUJĄCEGO*	SZEROKOŚĆ CENTRALI	WYSOKOŚĆ CENTRALI	DŁUGOŚĆ CENTRALI	SUGEROWANA PRZE- STRZEŃ OBSŁUGOWA**
	[m ³ /h]	[m]			
1	5 000	1,4	1,7	3,2	2,0
2	10 000	2,0	2,3	4,0	2,6
3	20 000	2,6	3,4	5,4	3,2
4	30 000	3,2	4,4	5,5	3,8
5	50 000	3,5	5,0	6,4	4,1

* Do wstępnego określenia strumienia powietrza wentylującego można przyjąć, że zapotrzebowanie powietrza na jednego użytkownika strefy obsługiwanej przez maszynownię będzie wynosić 30 m³/(h · os).

** Przestrzeń obsługową można wykorzystać jako wspólną dla dwóch ułożonych równoległe względem siebie central wentylacyjnych.

Elementami przesyłu instalacji wentylacji i klimatyzacji mechanicznej są najczęściej kanały wentylacyjne nawiewne i wywiewne, inne rozwiązania są rzadziej stosowane (np. podpodłogowe przestrzenie wentylacyjne). W Polsce stosuje się najczęściej przewody stalowe prostokątne, okrągłe, spiralne zwijane oraz przewody elastyczne (metalowe i z tworzyw sztucznych). Typowe wymiary tych przewodów można znaleźć w normach [8, 9]. Dobór konkretnego rodzaju i wielkości przewodów musi być wynikiem szczegółowych obliczeń wykonanych przez specjalistę branży instalacyjnej. W bardzo dużym uproszczeniu można jednak roboczo przyjąć, że przewody wentylacyjne dobiera się, uwzględniając prędkość przepływu powietrza w kanale. Zakładane wartości prędkości zawierają się zwykle w przedziale od 2,0 do 11,0 m/s, przy czym wartości niższe stosowane są w przewodach prowadzonych w pobliżu użytkowników obiektów [10]. Dokładniejsze obliczenia do dobru instalacji wentylacyjnych o podwyższonym stopniu energooszczędności wykonywane są obecnie najczęściej na podstawie jednostkowych strat ciśnień lub nawet bilansu ciśnień całości instalacji. Obliczenia tego typu mogą być prowadzone jedynie przez specjalistę branży instalacyjnej, ich wynikiem jest przeważnie dobór przewodów i urządzeń o większych gabarytach.

Przewody wentylacyjne mogą być: ukryte przykładowo w specjalnych szachtach wentylacyjnych, w przestrzeniach nad sufitami podwieszanymi czy w przestrzeniach montażowych pod podłogami

lub prowadzone na specjalnych konstrukcjach wsporczych czy zawiesiach. Należy pamiętać o konieczności zapewnienia dostępu do fragmentów montażowych przewodów i urządzeń wymagających obsługi montowanych bezpośrednio na kanałach (zwłaszcza przepustnic, filtrów, elementów automatyki itp.).

- **Wentylacja hybrydowa**

Rodzaj instalacji wentylacyjnej łączący zalety wentylacji naturalnej lub grawitacyjnej z zaletami wentylacji mechanicznej to wentylacja hybrydowa. Istotą działania tego systemu jest wykorzystywanie wentylacji grawitacyjnej w czasie występowania korzystnych (głównie umożliwiających uzyskanie wymaganych strumieni wentylacyjnych, najczęściej w okresach przejściowych i sezonie grzewczym) warunków zewnętrznych i wewnętrznych. W przypadku niedotrzymania przyjętych parametrów wewnętrznych następuje uruchomienie elementów wentylacji mechanicznej, będących wsparciem dla wentylacji naturalnej czy grawitacyjnej lub wręcz całkowicie ją zastępujących. Zastosowanie wentylacji hybrydowej zapewnia utrzymanie wymaganych parametrów wewnątrz stref budynku, przy jednoczesnym minimalizowaniu kosztów związanych z funkcjonowaniem urządzeń wentylacji mechanicznej. Rozwiązanie to wymaga jednak często zdublowania niektórych elementów obydwu rodzajów instalacji (np. zastosowanie dwóch różnych rodzajów nawiewników) oraz wdrożenia bardziej zaawansowanych algorytmów sterowania całością systemu (np. wykorzystanie bardziej zaawansowanych systemów typu BEMS).

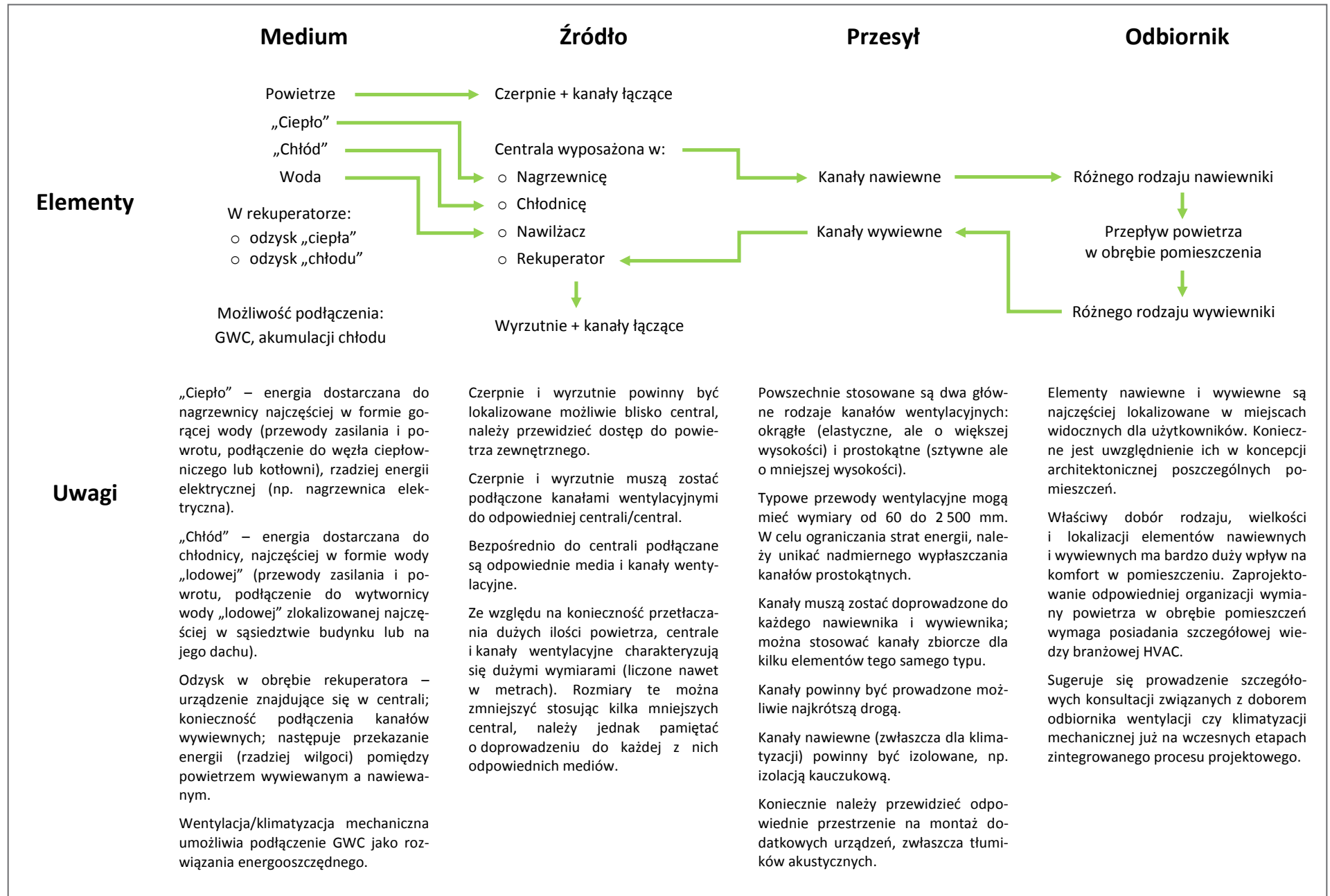
- **Dodatkowe informacje**

Elementy zasady M-Z-P-O oraz uwagi związane z instalacjami wentylacji mechanicznej i klimatyzacji przedstawiono na rycinie 6.

2.4. Instalacje grzewcze

- **Parametry wewnętrzne budynku, na które wpływa instalacja**

Zadaniem instalacji grzewczej jest niedopuszczenie do spadku temperatury w pomieszczeniach poniżej wartości zadanych. Instalacja najczęściej działa jedynie w sezonie grzewczym. Istnieje możliwość planowania czasowych osłabień w jej pracy celem uzyskania oszczędności energii i ewentualnie uwzględnienie wytycznych komfortu adaptacyjnego. Niektóre instalacje grzewcze mają również funkcję chłodzenia, jak np. pompy ciepła czy gruntuowe wymienniki ciepła.



Ryc. 6. Schemat przedstawiający elementy zasady M-Z-P-O oraz przykładowe uwagi związane z instalacjami wentylacji mechanicznej i klimatyzacji (oprac. P. Kęskiewicz)

- **Zasada działania instalacji**

Ogrzewanie pomieszczeń może odbywać się za pomocą rozwiązań miejscowych (np. kominki, elektryczne i gazowe grzejniki akumulacyjne, promienniki) lub centralnych (centralnego ogrzewania – c.o.). Ta grupa instalacji dzieli się najczęściej na: powietrzne (obiekty o stosunkowo niedużych stratach ciepła), płaszczyznowe (jego stosowanie wskazane jest przy współpracy z niskotemperaturowymi źródłami ciepła takimi jak np. pompy ciepła), grzejnikowe oraz połączenia wcześniej wymienionych. We wszystkich przypadkach w źródle następuje wytworzenie bądź dostosowanie ciepła do parametrów właściwych dla instalacji i jego przekazanie elementami przesyłu do odbiorników zlokalizowanych w poszczególnych pomieszczeniach [2, 3, 11].

- **Urządzenia grupy „źródła”**

W przypadku instalacji grzewczych największy wpływ na ostateczne wyniki stosowania rozwiązań energoaktywnych ma najczęściej właściwy wybór i dostosowanie parametrów pracy grupy „źródła”. Główne kwestie związane z tym zagadnieniem przedstawiono w podpunktach [12].

- Zastosowanie gazowych kotłów kondensacyjnych, kogeneracji, trigeneracji (ryc. 7) wymaga m.in. podłączenia przewodów sieci gazowej, przeznaczenia osobnego pomieszczenia kotłowni (najczęściej pomieszczenie dobudowane bądź wkomponowane w ogrzewany obiekt lub wolnostojące, w bardzo dużym uproszczeniu: o minimalnej wysokości co najmniej 2,2 m i kubaturze wyliczanej przy założeniu 1 m³ na każde 4,65 kW mocy źródła [4]), podłączenia przewodów spalinowych i wentylacyjnych wyprowadzonych ponad dach budynku.
- Zastosowanie kotłów opalanych biomasą lub alternatywnie innymi paliwami stałymi nie wiąże się z koniecznością podłączenia przewodów sieci gazowej, ale wymusza odpowiednie magazynowanie paliwa, najczęściej w osobnych pomieszczeniach spełniających specjalne wymagania przeciwpożarowe.
- Zastosowanie pomp ciepła (PC) to mniejsze wymagania odnośnie do pomieszczenia technicznego (większość PC montuje się na zewnątrz budynku), brak przewodów spalinowych, przyłącza gazu i magazynów paliwa. Przy wyborze lokalizacji jednostki zewnętrznej PC należy zwrócić uwagę na generowany przez nią hałas. Przy wykorzystaniu powietrznych PC o większej mocy (duże budynki wielorodzinne, biurowce itp.) niezbędne może się okazać wprowadzenie dodatkowego (szczytowego), konwencjonalnego źródła ciepła [13].
- Zastosowanie gruntowych PC to z kolei brak generującej hałas jednostki zewnętrznej. Należy przewidzieć miejsce na wykonanie gruntowego wymiennika ciepła. W przypadku mniejszych

Ryc. 7. Kotłownia oparta na systemie trigeneracji – produkcja prądu, ciepła i chłodu (fot. archiwum Viessmann)



obiektów można zastosować wymiennik poziomy (rozwiązanie zwykle tańsze, ale zajmujące zdecydowanie większą powierzchnię pod budynkiem lub wokół niego). Dla budynków większych konieczne jest zastosowanie wymienników pionowych (co wymusza m.in. zapewnienie dojazdu wiertnicy)[13].

- Zastosowanie węzła ciepłowniczego możliwe jest jedynie w przypadku lokalizacji w pobliżu sieci ciepłowniczej (miejskiej lub lokalnej, np. osiedlowej). Wiązą się z nim stosunkowo nieduże wymagania odnośnie do pomieszczenia węzła ciepłowniczego: powinno być zlokalizowane w piwnicy, najlepiej przy zewnętrznej ścianie budynku, z możliwością wejścia do pomieszczenia od zewnątrz. Przykładowe wymiary minimalne pomieszczenia węzła ciepłownego przedstawiono w tabeli 2. Dla węzłów ciepłych nie występuje konieczność stosowania magazynów paliwa, elementów zewnętrznych, przewodów spalinowych. Rozwiązanie to przyczynia się do ograniczenia rozproszonej emisji zanieczyszczeń – redukcji smogu [14, 15].

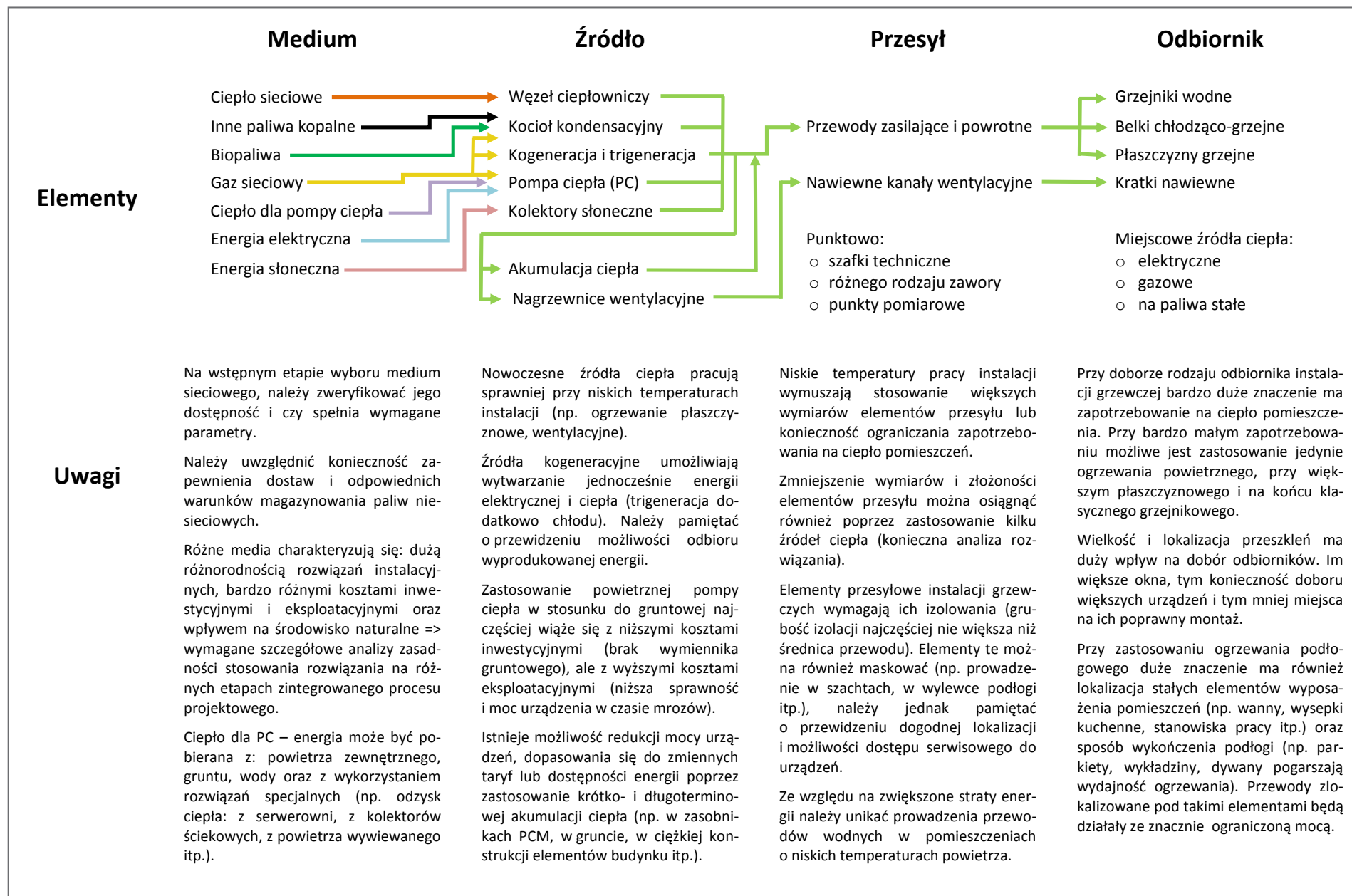
Tab. 2. Zalecane przez dostawcę ciepła dla Warszawy minimalne wymiary pomieszczenia węzła cieplnego centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej (oprac. P. Kęskiewicz na podst. wytycznych [15])

CAŁKOWITA MOC MAKSYMALNA*	POWIERZCHNIA POMIESZCZENIA	MINIMALNA WYSOKOŚĆ POMIESZCZENIA
[kW]	[m ²]	[m]
< 75	10,0	2,0
75–150	15,0	2,2
150–500	20,0	2,2
500–1000	25,0	2,5
1000–1500	30,0	2,5
>1500	indywidualnie	2,7
dotatkowa funkcja**	+ 5,0	według mocy

* Moc cieplna węzła określona w projekcie jako suma obliczeniowa mocy poszczególnych funkcji węzła.

** Każda dodatkowa funkcja węzła cieplnego poza c.o. i c.w.u., np. funkcja wentylacji, funkcja ciepła na potrzeby technologii.

- Kolektory słoneczne – do ich poprawnej pracy wymagane jest doprowadzenie płynnego nośnika ciepła (najczęściej wody, roztworu glikolu, rzadziej powietrza). Powinny być lokalizowane w miejscach jak najlepiej nasłonecznionych (południowa elewacja i dach budynku). W polskim klimacie są najczęściej wykorzystywane do produkcji tzw. ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), ciepła technologicznego, np. do ogrzewania wody w basenach oraz bywają wsparciem ograniczającym zużycie energii innego źródła ciepła.
- Akumulacja ciepła lub chłodu – ich zastosowanie pozwala na zmniejszenie mocy, a co za tym idzie również wielkości niezbędnych urządzeń źródła. Rozwiązanie to wymaga najczęściej przewidzenia dodatkowej przestrzeni pomieszczenia technicznego źródła ciepła. Wielkość akumulatorów ciepła można zmniejszyć, wprowadzając m.in. nowoczesne zasobniki wykorzystujące materiały zmiennofazowe typu PCM (np. zasobniki lodu).
- Funkcja akumulacji ciepła lub chłodu może zostać również częściowo lub w całości przeniesiona na elementy konstrukcyjne budynku. Wymagana jest wówczas ciężka konstrukcja przegród budynku (nie stosować np. bloczków gazobetonowych) lub wprowadzenie w zewnętrzne warstwy przegrody rozwiązań wykorzystujących materiały PCM (np. płyty podtynkowe, granulaty). W takiej sytuacji wskazane jest ułatwienie wymiany energii pomiędzy otoczeniem



Ryc. 8. Schemat przedstawiający elementy zasady M-Z-P-O oraz wybrane uwagi związane z instalacjami grzewczymi (oprac. P. Kęskiewicz)

a warstwą przegrody o największej akumulacyjności cieplnej (możliwe ograniczenie stosowania warstw ozdobnych, mogących negatywnie wpływać na wymianę ciepła przegrody, np. dywanów, boazerii, lekkich tynków). Pełne możliwości akumulacyjne przegród można osiągnąć poprzez instalacyjne ich aktywowanie cieplne (wprowadzenie systemów ogrzewania i chłodzenia płaszczyznowego).

Elementy zasady M-Z-P-O oraz uwagi związane z instalacją grzewczą budynku przedstawiono na rycinie 8.

2.5. Podsumowanie

Należy koniecznie pamiętać, że przedstawione w rozdziale wskazówki i orientacyjne wartości nie mogą być wprost wykorzystywane jako instalacyjne wytyczne projektowe. Zachęca się architektów do traktowania ich jedynie jako punktów odniesienia umożliwiających, na początkowych etapach zintegrowanego procesu projektowego, świadome i przybliżone określenie kształtowanych parametrów komfortu poszczególnych stref budynku, odrzucenie niemożliwych do zastosowania wariantów poszczególnych systemów bądź ich elementów oraz wstępne zaplanowanie lokalizacji i wielkości przestrzeni przeznaczonych dla branży instalacyjnej. Powinny również zagwarantować lub przynajmniej ułatwić właściwą współpracę i wymianę informacji pomiędzy specjalistami poszczególnych branż, czyli elementy, których koordynacji oczekuje się od architekta.

Bibliografia

- [1] Pełech A., *Wentylacja i klimatyzacja. Podstawy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [2] Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R., *Kompendium ogrzewnictwa i klimatyzacji*, Omni-Scala, Wrocław 2008.
- [3] Albers J., Dommel R., Montaldo-Ventsam H., Nedo H., Uebelacker E., Wagner J., *Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji. Poradnik dla projektantów i instalatorów*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne PWN-WNT, Warszawa 2007.
- [4] *Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. 2019 poz. 1065, <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU2019000-1065/O/D20191065.pdf>, dostęp: 4.02.2020
- [5] *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=ES>, dostęp: 4.02.2020.
- [6] Adamski B., *Free cooling (cz. 1)*, „Rynek Instalacyjny” 2011, nr 3, s. 58–61.

- [7] Lampe G., Pfeil A., Schmittlutz R., Tokarz M., *Projekt klimatyzacji a projekt budynku*, Arkady, Warszawa 1981.
- [8] PN-EN 1505:2001 – *Wentylacja budynków – Przewody proste i kształtki wentylacyjne z blachy o przekroju prostokątnym – Wymiary*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [9] PN-EN 1506:2007 – *Wentylacja budynków – Przewody proste i kształtki wentylacyjne z blachy o przekroju kołowym – Wymiary*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [10] Malicki M., *Tablice do obliczania przewodów wentylacyjnych*, Arkady, Warszawa 1977.
- [11] Kołodziejczyk W., Płuciennik M., *Wymagania techniczne, Zeszyt 2, Wytyczne projektowania instalacji centralnego ogrzewania*, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Techniki Instalacyjnej INSTAL wraz z Ośrodkiem Informacji Technika Instalacyjna w Budownictwie, COBRTI INSTAL, Warszawa 2001.
- [12] Mizielińska K., Olszak J., *Gazowe i olejowe źródła ciepła małej mocy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- [13] Rubik M., *Pompy ciepła. Poradnik*, Ośrodek Informacji Technika Instalacyjna w Budownictwie, Warszawa 2006.
- [14] Żarski K., *Węzły ciepłe – poradnik projektowania*, Danfoss HVAC Project, Warszawa 2014.
- [15] Kłazyński A., *Wytyczne projektowania węzłów cieplnych. Część 1*, Veolia Energia Warszawa, Warszawa 2017.

3. BIM z perspektywy projektanta architektury

PRZEMYSŁAW WOJSZNIS
POLITECHNIKI WROCŁAWSKA, WYDZIAŁ ARCHITEKTURY

W rozdziale omówiono założenia Building Information Modeling (BIM) i doświadczenia architekta posługującego się nim w pracy projektowej i w dydaktyce. Przedstawiono rys historyczny, omówiono główne pojęcia, wymagania, metody oraz wykorzystanie w procesie inwestycyjnym. Celem rozdziału jest ukazanie zalet i wskazanie przydatności BIM od planowania, poprzez prace koncepcyjne, projektowe, po wykonawstwo i co równie ważne – zarządzanie obiektem, a nawet w końcowym etapie – utylizację. Cechy te umożliwiają zmianę relacji pomiędzy inwestorem, projektantem, wykonawcą i użytkownikiem.

3.1. Wprowadzenie

Wśród uczestników procesu projektowego i wykonawczego obserwować można różne sposoby podejścia do tematu Building Information Modeling (BIM). Od tych skrajnie negatywnych po entuzjastyczne. Powodów sceptycznego podejścia do technologii BIM jest wiele, przede wszystkim przyzwyczajenie do wykonywania płaskich rysunków CAD z rozszerzeniem DWG, a także brak czasu na naukę i wdrożenie nowego systemu oraz obawa przed wzrostem kosztów dokumentacji projektowej. Niemniej można stwierdzić, że architekci są gotowi na BIM [1, s. 31], natomiast branżyci są prawie gotowi [2, s. 80]. Często projektanci architektury już wykonują dokumentację w BIM, podczas gdy przedstawiciele innych branż w większości pracują wciąż na płaskich rysunkach, nie wykorzystując modelu wykonanego przez architekta. Dotyczy to zwłaszcza niewielkich firm projektowych. Ponadto brakuje doświadczeń w koordynacji międzybranżowej oraz szkoleń w modelowaniu 3D dla konstruktorów, instalatorów, elektryków. Rewolucja, jaką niesie BIM, wymaga zmiany starych przyzwyczajzeń oraz nowego spojrzenia na inwestycje. Jak stwierdziła Katarzyna Orlińska-Dejer: *zamiast szykować się na utratę pracy, powinniśmy się raczej przygotować na zmianę zakresu*

naszych obowiązków [3, s. 40]. Michał Dąbrowski uważa, według autora słusznie, że BIM wymaga wzięcia przez projektanta odpowiedzialności za budżet inwestycji, co w naturalny sposób spowoduje wzrost stawek za jego usługi [4, s. 024].

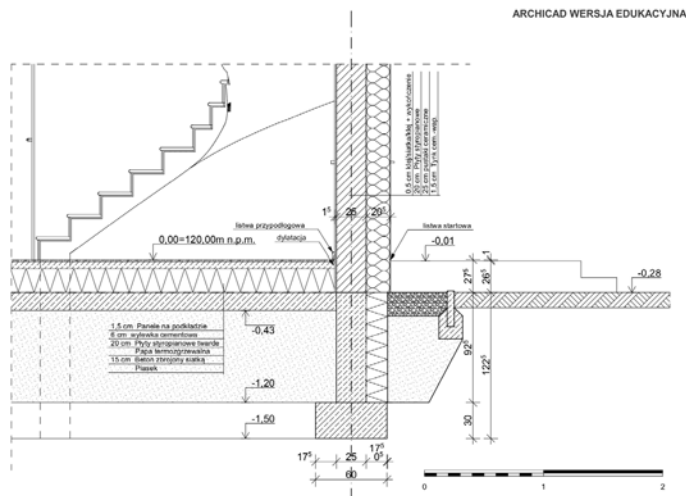
Nie są na pewno przygotowani na BIM wykonawcy, inwestorzy i przyszli użytkownicy obiektów. Głównym celem wdrażania BIM powinno być uświadomienie tych uczestników procesu budowlanego, aby poczuli potrzebę zamawiania i wykorzystania BIM oraz poznali korzyści z tego płynące.

3.2. Od deski kreślarskiej do BIM

W 1982 roku świat projektów wykonywanych od wieków w praktycznie niezmienionej formie modeli oraz rysunków papierowych z tabelami i opisami przeżył rewolucję. W Kalifornii grupa programistów i inżynierów przygotowała program komputerowy do wspomaganie rysowania – pierwowzór AutoCAD-a. W 1984 roku stworzono Bentley Systems, który opublikował Microstation, a w 1985 roku Diehl Graphisoft opracował MiniCAD na komputery Mac [5, s. 22]. W ciągu około 10 lat Autodesk sprzedał milion licencji AutoCAD-a 2D na PC, a w 1994 wydał AutoCAD-a 13 z funkcjami modelowania 3D [5, s. 22]. Duże biura wyposażone w niezliczone deski kreślarskie zamieniły się na sieć małych biur z kilkoma komputerami.

W Polsce w tym czasie następowała zmiana ustroju. Powstała duża liczba małych prywatnych biur architektonicznych, których właściciele, licząc bilans zysków i strat, zdecydowali się na przejście na rysunek komputerowy. Przygotowanie projektu w AutoCAD-zie trwało nieco dłużej niż rozrysowanie go na papierze, jednak tempo jego korekty i możliwość wielokrotnych wydruków przyspieszały prace projektowe. W tym czasie brakowało standardów reprezentacji, przechowywania i zarządzania dokumentacją. Wykorzystywane były przyzwyczajenia i standardy opracowane wcześniej dla dokumentacji papierowej. W nomenklaturze BIM ten rodzaj rysowania 2D nazwano poziomem BIM 0 (ryc. 1).

Skrót BIM od Building Information Modeling tłumaczony jest jako Model Informacyjny (cyfrowy) Obiektu Budowlanego. Spotyka się też inne rozwinięcie skrótu BIM – Building Information Management, czyli Zarządzanie Informacją o Obiekcie Budowlanym [1, s. 16]¹. BIM to baza danych, informacji opisujących obiekt budowlany. Baza ta powinna być **aktualna** (uzupełniana na bieżąco), **kompletna** (wyczerpująco odpowiadająca na określone zapytanie), **czytelna** (prezentowana w formie zrozumiałej nawet dla odbiorcy, który nie ma wykształcenia budowlanego), **dostępna**



Ryc. 1. Ograniczona liczba informacji, którą przenosi rysunek płaski CAD BIM poziom 0, detal fundamentu budynku (oprac. P. Wojsznis)

¹ Angielskie słowo *building* nie oznacza tylko budynku, lecz zgodnie z polską nomenklaturą budowlaną obiekt budowlany [1].

(z każdego miejsca, w każdym momencie, dla każdego podmiotu, który ma uprawnienia), **łatwa do modyfikacji** (tylko wtedy można spełnić kryterium aktualności i kompletności informacji), **chroniona** (dostępna z możliwością zmian lub tylko do odczytu wyłącznie dla uprawnionych użytkowników oraz przechowywana w sposób gwarantujący jej bezpieczeństwo) [1, s. 14].

Aby jak najskuteczniej wykorzystać środowisko BIM, inwestor musi dokładnie określić w Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia (SIWZ) swoje oczekiwania poprzez wskazanie poziomu „dojrzałości” BIM [1, s. 18].

3.3. Poziomy rozwoju BIM

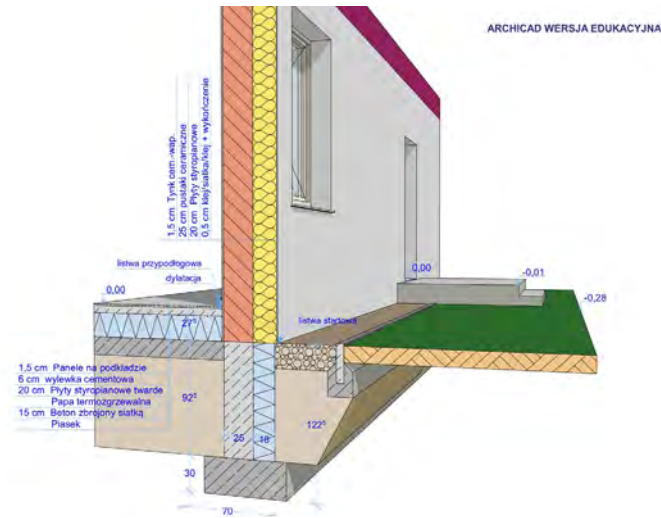
Wyróżnia się cztery poziomy BIM – od 0 do 3 (tab. 1). Tradycyjne rysunki CAD 2D i 3D są uznawane za BIM poziom 0².

Tab. 1. Poziomy rozwoju BIM na podstawie ryciny opracowanej przez Mervyn Richards i Marka Bewa w 2008 roku (oprac. P. Wojsznis)

BIM	POZIOM INFORMACJI	OPIS INFORMACJI	DOKUMENTY STANDARYZUJĄCE
Poziom 0	CAD 2D	rysunki techniczne 2D i 3D, tabele, teksty itd.	
Poziom 1	CAD 3D	model trójwymiarowy obiektu, wizualizacje, animacje	elementy standaryzacji zarządzania informacją CPIC Avanti BS1192:2007
Poziom 2	4D	czas (planowanie robót, harmonogram dostaw i realizacji)	zarządzanie danymi BIMs: SIM, AIM, FIM, BSIM, BrIM,
	5D	koszty (planowanie kosztów, budżetowanie)	standardy interoperacyjności:
	6D	parametry energetyczne, trwałość, wpływ na środowisko	IFC, IFD, IDM
	7D	parametry eksploatacyjne, użytkowania	normy i standardy: ISO BIM
	xD	+ ?	
Poziom 3	iBIM*	<ul style="list-style-type: none"> ▪ model xD oparty na jednym pliku ▪ zintegrowana interpolacyjność 	

² Dla uproszczenia używa się określenia BIM 0, BIM 1 itp.

* iBIM – Interoperable Building Information Model, czyli Interoperacyjny Cyfrowy Model Obiektu.



Ryc. 2. Rysunek detalu fundamentu budynku z ryciny 1 wykonany jako rysunek trójwymiarowy BIM 1 (oprac. P. Wojsznis)

Głównym rewolucyjnym elementem BIM 1 jest model 3D, z którego generowane są rysunki płaskie (ryc. 2). Tę filozofię kształtowania najpierw modelu, jako najważniejszego elementu dokumentacji, można obserwować, korzystając z MicroStation AECOSim Building Designer. W programach ArchiCAD czy Revit podstawą są rzuty, choć tylko od użytkownika oprogramowania zależy, w jakim rysunku rzutu, przekroju, elewacji czy widoku perspektywicznego chce wprowadzać czy modelować elementy. Zmiana jest widoczna na każdym z generowanych rysunków. W projektowaniu stosuje się powiązania elementów między sobą³ oraz automatyczne zestawienia⁴ [6, s. 46].

Model 3D może być podstawą do przygotowania fotorealistycznej wizualizacji, która ułatwi zrozumienie inwestorowi czy przyszłemu użytkownikowi wizji architekta. Może też stanowić element reklamy obiektu wspomagający jego sprzedaż. Dotychczas architekci wykonujący rysunki płaskie CAD przesyłali je do specjalistów, którzy modelowali obiekt trójwymiarowy przeważnie w 3dsMAX (lub Blender) i na jego podstawie generowali realistyczną wizualizację. Architekt mający model trójwymiarowy ułatwi pracę specjalistom od renderingu przygotowującym wizualizację, przysyłając im skończony model. Jest to rozwiązanie często stosowane, ale może zakłócić zasadę automatycznej zmiany projektu widocznej na każdym z generowanych rysunków, w tym na fotorealistycznej wizualizacji. Dlatego do przygotowania fotorealistycznej wizualizacji zaleca się oprogramowanie, w którym tworzony jest model 3D (np. ArchiCAD), lub zewnętrzne programy renderujące działające na zasadzie odniesienia z nanoszeniem automatycznych zmian z programu do projektowania modeli 3D (np. Artlantis, Twinmotion, Lumion itp.).

Bardziej przydatne podczas prezentacji wczesnych koncepcji lub nawet projektu może być wykorzystanie zewnętrznych przeglądark plików 3D (z niekiedy dołączonymi rysunkami płaskimi) na urządzenia mobilne czy nawet okulary 3D umożliwiające wirtualny spacer⁵. Widok 3D nie jest wtedy fotorealistyczną wizualizacją, ale oknem 3D projektu. Jego przygotowanie wymaga o wiele mniejszego nakładu pracy i pozwala szybko zobrazować zmianę np. grubości ocieplenia, zmniejszenia/zwiększenia okna związaną z oszczędnością energii, a mającą wpływ na wygląd obiektu. Doświadczenia projektowe pokazują, że inwestorzy coraz częściej wybierają taką formę prezentacji koncepcji, a nawet projektu, zamiast niezrozumiałych dla nich rzutów, elewacji i przekrojów, jak w dokumentacji papierowej (ryc. 3). Dla architekta jest to dlatego korzystne, że przy zmianach modelu, wielu koncepcjach, kilku opcjach projektu wykonanie wizualizacji do każdego pomysłu jest pracochłonne, a co za tym idzie – kosztowne.

³ Powiązać można np. wysokość ścian z wysokością kondygnacji czy wysokością i liczbą schodów; linii wymiarowania z elementami wymiarowanymi.

⁴ Na przykład: powierzchni, elementów, materiałów, wykończenia.

⁵ W ArchiCAD-zie jest to BIM-x.

Ryc. 3. Budynek mieszkalny jednorodzinny: a) rzut parteru; b) widok 3D przycięty na poziomie parteru ułatwiający inwestorowi zrozumienie koncepcji projektowej, a także widok salonu, w zewnętrznej przeglądarce na urządzeniu mobilnym (oprac. P. Wojsznis)⁶



W kolejnych poziomach BIM na tej technologii ma być oparte przekazywanie dokumentacji na budowę. Jej obsługa, kierownik, inżynierowie czy menedżer BIM będą mieli do trójwymiarowego modelu budynku podpięte wszystkie rysunki, żeby w razie potrzeb „kroić” samodzielnie model w dowolnym miejscu.

BIM 1 wprowadza pierwsze elementy standaryzacji zarządzania informacją i współpracy uczestników procesu budowlanego⁷. Jednak dane 3D z modelu nie są przez architekta udostępniane innym projektantom: konstruktorom, instalatorom, kosztorysantom, którzy niekiedy na własne potrzeby tworzą modele 3D w celu wykonania obliczeń i symulacji konstrukcji, obliczenia zapotrzebowania energetycznego obiektu, zapotrzebowania na powietrze, a co za tym idzie określenia wielkości kanałów wentylacyjnych, przygotowania kosztorysu. Dlatego poziom ten jest nazywany

⁶ Wszystkie ryciny pokazujące projekty wykonano w 5D Pracownia Projektowa Przemysław Wojsznis, przy użyciu programu ArchiCAD 21 i przeglądarki BIM-x.

⁷ Construction Project Information Committee w Wielkiej Brytanii, projekt Avanti, który później wykorzystano przy tworzeniu normy BS 1192:2007 [1].

często „samotnym BIM-em”. Podstawowym formatem wymiany danych jest rysunek płaski w formacie DWG.

BIM 2 to najbardziej popularny obecnie „bank” informacji o obiekcie, przez niektórych autorów nazywany „zintegrowanym” [1, s. 20]. Jego podstawą jest model 3D BIM, osobny dla każdej branży, z podłączonymi do niego (w ArchiCAD-zie poprzez moduły Hotlink) różnorodnymi plikami odniesienia innych branż⁸, wykonywanymi najczęściej odrębnie w różnych specjalistycznych programach. Niejednokrotnie w dużych biurach architektonicznych nawet projekty jednej branży są tworzone w kilku modelach połączonych odniesieniami. Znacznym ułatwieniem jest wprowadzenie przez producentów oprogramowania możliwości pracy nad jednym modelem przez niezliczoną liczbę użytkowników⁹.

W poziomie 2 format wymiany danych DWG (który nie jest otwarty, jest produktem komercyjnym) musiał zostać zastąpiony przez inny przenoszący większą ilość informacji. Funkcję tę obecnie pełni format IFC (Industry Foundation Classes) zwany OpenBIM [5, s. 95], który stosuje np. Graphisoft ArchiCAD. Jest to otwarty format opracowany przez organizację Building Smart Alliance. Umożliwia on komunikację pomiędzy różnymi platformami i narzędziami modelowania różnych branż [7, s. 084].

Informacje zawarte (przenieszone) w modelu IFC:

- hierarchia budynku (faza, etap, obiekt, piętro),
- typ elementu (ściana, płyta, słup, belka, schody itd.),
- geometria (wymiary, współrzędne elementu, objętość itd.),
- zależności pomiędzy poszczególnymi elementami,
- właściwości standardowe i niestandardowe przypisane elementom (materiał, kolor, przekroje, ochrona przeciwpożarowa, ciężar itd.).

Autodesk Revit czy Bentley AECOSim stosują własne „zamknięte” formaty, które przenoszą jednak większą ilość informacji.

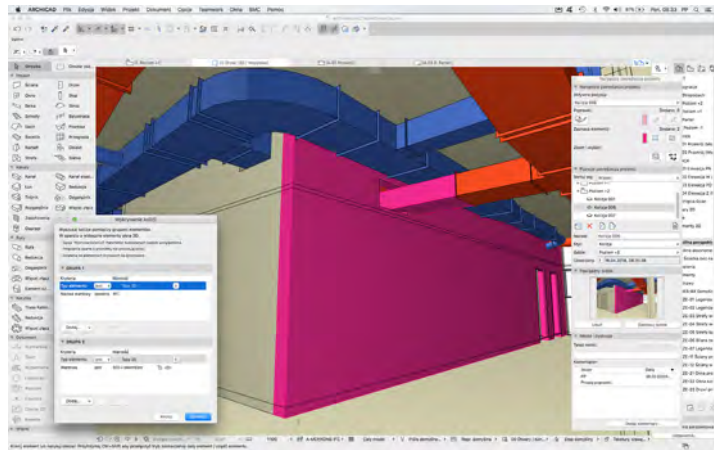
Wymiana danych między użytkownikami jest jednym z większych problemów praktycznych, z którymi musi się uporać menedżer BIM. Korzystając ze zintegrowanego modelu trójwymiarowego BIM poziomu 2, można przeprowadzać różnorodne symulacje: analizę nasłonecznienia¹⁰ czy analizę ewakuacji¹¹ (zob. też rozdział 5). Model można wydrukować na drukarce 3D, ułatwiając inwestorowi akceptację rozwiązań. Jednym z atutów BIM 2 jest automatyczne wykrywanie kolizji pomiędzy

⁸ Zintegrowany model informacyjny obejmuje dane, które dotyczą wielu obszarów, m.in.: konstrukcji SIM (Structure Information Model), architektury AIM (Architecture Information Model), wyposażenia i zarządzania FIM (Facilities Information Model), usług BSIM (Building Services Information Model), mostów BrIM (Bridge Information Model).

⁹ W ArchiCAD-zie 21 firmy Graphisoft testowany przez studentów Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej tzw. teamwork umożliwiał pracę dziesiątek studentów nad jednym modelem z dowolnego miejsca na ziemi z dostępem do Internetu.

¹⁰ Na przykład w samym programie ArchiCAD lub z wykorzystaniem wtyczki Ladybug programu Grasshoper pod Rhino.

¹¹ Na przykład z wykorzystaniem programu Solibri Model Checker wyznaczającego drogę ewakuacji zgodnie z obowiązującymi Warunkami Technicznymi (WT). Przeprowadzenie realnej symulacji ewakuacji wraz z obliczeniem czasu jej trwania możliwe jest natomiast dzięki programom: Legion, Simulex, Evacnet, Egres, Exodus, Myrad itp.



Ryc. 4. Przykład kolizji wykrytej na etapie projektu pomiędzy ścianą konstrukcyjną a wentylacją. Oba elementy zaznaczone na różowo. Zbyt mały otwór w ścianie konstrukcyjnej w stosunku do wielkości kanału wentylacji (zrzut ekranu udostępniony przez firmę WSC Graphisoft Center z Warszawy)

¹² Na przykład trzykrotnego malowania, gdy w specyfikacji przewidziano tylko malowanie dwukrotne.

¹³ Autor zgadza się z Marleną Ratajczyk [8], że nie można liczyć na pełną automatyzację kosztorysowania. Można jedynie maksymalnie ułatwić pracę specjalście, który i tak będzie musiał wykazać się doświadczeniem i umiejętnościami potrzebnymi do wykonania dokumentacji kosztorysowej.

dwoma dowolnymi zbiorami elementów, co pokazano na rycinie 4. Następuje uwidocznienie ich w zakresie projektu w postaci notatek umożliwiających komentowanie i dyskusję w celu znalezienia optymalnego rozwiązania problemu [7, s. 084]. Uniknięcie błędów projektowych na styku architektury i konstrukcji czy konstrukcji i wentylacji doceniają projektanci, kierownicy budów i inwestorzy, którzy do tej pory mieli duże kłopoty z koordynacją międzybranżową (ryc. 5).

W poziomie 2 BIM model trójwymiarowy poszerzono o bazy kolejnych informacji, rozróżniając je kolejnymi liczbami. Jako 4D opisuje się model trójwymiarowy z dodaniem parametru czasu pozwalający planować inwestycję. Planowanie robót, a wraz z nimi harmonogram dostaw i realizacji do tej pory było domeną wykonawców. Dzięki BIM można je zapisać w modelu projektu, usprawniając prace, wskazując kolejność działań, umożliwiając konfrontację różnych projektów organizacji placu budowy oraz samej budowy, a także wybór optymalnego, najczęściej najtańszego wariantu czy takiego, który „wytwarza” najmniej przestoju, nadprodukcji, przeróbek, pustych przebiegów, nadaktywności¹², nieodpowiednich rezerw oraz niewłaściwego transportu [5, s. 55].

Mając model trójwymiarowy budynku, bez trudu można wygenerować ilościowe zestawienie użytych materiałów. Ułatwi to wykonanie przedmiaru robót czy po dodaniu parametru ceny – kosztorysu. Możliwość tę nazwano 5D. Zwiększa się tym samym nieznacznie nakład pracy architekta nad projektem (musi przygotować i wygenerować zestawienie materiałów z trójwymiarowego modelu obiektu), jednak przyspiesza pracę kosztorysanta [8], która nie polega już na skrupulatnym zliczaniu powierzchni i kubatur materiałów z rysunków płaskich, ale jedynie na wykonaniu metodą uproszczoną lub metodą szczegółową zgodnie z Katalogiem Nakładów Rzeczowych (KNR) przedmiarów i kosztorysów¹³. Jest to bardzo potrzebna funkcja zwłaszcza dla inwestorów planujących dokładnie budżet inwestycji i czas jej zwrotu. Można też taką kalkulację wykonać na etapie koncepcji i nie będzie już ona jak dotychczas funkcją szacowania przewidywanych kosztów – jak ją określają Zdzisław Kowalczyk i Jacek Zabielski w [9, s. 228], nieznaną jeszcze możliwości BIM – ale urealnioną wartością powiązaną z modelem 3D. Według Andrzeja Tomani [5, s. 56] inwestycje prowadzone z wykorzystaniem BIM 5D są z reguły zgodne z planowanym budżetem i harmonogramem. Potwierdza to Katarzyna Orlińska-Dejer [3, s. 44] zwracająca jeszcze uwagę na kłopotliwy problem kolejnych modyfikacji w gotowym projekcie, które skutkują zmianą wielu pozycji kosztorysowych.

Z perspektywy analizy kosztów, dla przykładu, zwiększenie grubości styropianu użytego do ocieplenia ścian podnosi koszty inwestycji CAPEX (Capital Expenditure), a jednocześnie zmniejsza koszty utrzymania i eksploatacji OPEX (Operating Expenditure) i na odwrót [1, s. 17].



Ryc. 5. Przebudowa istniejącego budynku zgodnie z procedurą „za-projektuj i wybuduj” wykonana tylko na podstawie rysunków płaskich CAD. Nowa wentylacja (projektowana jedynie na rzutach 2D liniami) miała przechodzić nad schodami. Niestety na płaskim rzucie projektanci „nie zauważyli” braku miejsca niezbędnego do korzystania ze schodów. Błąd, którego można by bez trudu uniknąć, gdyby przygotowano dokumentację trójwymiarową (fot. P. Wojsznis)

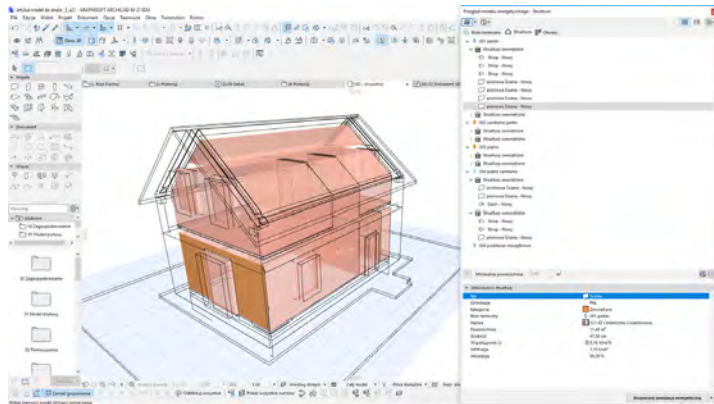
Przypisywanie modelowanym elementom właściwości fizycznych i analizowanie wpływu projektu na środowisko wykonuje się w poziomie 6D. Można taką analizę przygotować już na etapie koncepcji, przedstawiając inwestorowi kilka możliwości. Programy BIM umożliwiają obliczenie wartości współczynnika przenikania ciepła U_c dla wszystkich przegród budowlanych. Z doświadczenia autora wynika, że nie jest to rozwiązanie czytelne dla inwestora. Wartość współczynnika U_w [W/m²·K] przegród jest dla laika wartością abstrakcyjną. Podzielenie budynku na bloki termiczne (ryc. 6) i wykonanie wstępnego oszacowania energetycznego, którego zmiany inwestor widzi w złotówkach, jest bardziej czytelne (ryc. 7, 8).

Oszacowanie energetyczne pozwala też znaleźć najbardziej optymalny stosunek między CAPEX a OPEX. Programy BIM umożliwiają wykonanie takiej symulacji przez architekta na każdym etapie projektowania, nawet koncepcji. Jeszcze do niedawna musiał on w tym zakresie ściśle współpracować ze specjalistą wykonującym wstępny audyt energetyczny. W razie niezadowolających wyników projekt wracał do architekta do korekty. Generowało to duże koszty i było czasochłonne. Autor zgadza się z opinią, że w 80% efektywność energetyczna obiektu zależy od decyzji podejmowanych przez architektów we wstępnej fazie projektowania [10, s. 088].

Dodatkowym atutem wykonania projektu w poziomie BIM 2 6D może być przekazanie pliku z projektem oraz symulacjami energii specjalistom w celu przygotowania charakterystyki energetycznej budynku (ryc. 9) zgodnie z wymaganiami WT (zmniejszony jest wtedy nakład pracy instalatora, który najczęściej sam modeluje budynek na podstawie przekazanych przez architekta płaskich rysunków w formacie DWG).

Kolejny poziom informacji w pliku BIM, zwany 7D, zawiera dane, które będą wspomagać zarządzanie gotowym obiektem. Zawiera m.in. instrukcje obsługi sprzętu, parametry eksploatacyjne, wytyczne użytkowania oraz inwentaryzację mebli, środków trwałych. Sprzężenie projektu BIM z programami wspomagającymi zarządzanie obiektem jest dużym atutem dla użytkowników obiektu. Ta możliwość zostanie opisana w kolejnym podrozdziale.

BIM 3 to według danych z literatury przedmiotu największe wyzwanie dla uczestników procesu budowlanego [1, s. 21]. Zasadą jest, że wszyscy pracują na jednym modelu zwanym iBIM. Model ten ma co do zasady być aktualizowany w trybie ciągłym, tworzony w jednym programie komputerowym lub w wielu, ale umożliwiających dwukierunkową stałą wymianę informacji. Spełniałby on w pełni postulat, aby oprócz projektowanego/budowanego/użytkowanego budynku powstał i był na bieżąco modyfikowany taki sam wirtualny w środowisku komputerowym [1, s. 21].



Ryc. 6. Podział budynku na bloki termiczne wraz z obliczonymi współczynnikami U_c dla wszystkich przegród budowlanych w ArchiCAD-zie 21 (oprac. P. Wojsznis)

Niestety nie ma jeszcze jednego kompleksowego oprogramowania, które miałyby w sobie wszystkie funkcje wykorzystywane i wymagane przez projektantów różnych specjalności. Moduł do konstrukcji czy wentylacji w oprogramowaniu wielobranżowym Autodesk REVIT czy Bentley AECOsim nie wykonuje obliczeń, tylko pozwala rysować i modelować zgodnie z już otrzymanymi w innym oprogramowaniu wynikami. Przedmiarów obliczonych w BIM nie da się połączyć z programami do kosztorysowania itd. Teoretycznie najszybciej możliwe będzie połączenie bardzo specjalistycznych programów poszczególnych branż odniesieniami w trybie ciągłym dwukierunkowo. Dzieje się tak już pomiędzy programami do modelowania i wizualizacji czy modelowania parametrycznego. Oprogramowanie różnych producentów, które obecnie jest stosowane, nie umożliwia wymiany danych pomiędzy architektami, konstruktorami i instalatorami. W środowisku słyszy się głosy o potrzebie dodania podpoziomów BIM pomiędzy wykorzystywanym poziomem 2 a nieosiągalnym poziomem 3, który przez to nazywany jest „świętym Graalem” budownictwa [1, s. 22].

3.4. BIM w małych biurach architektonicznych

W małych biurach architektonicznych, przy małych projektach najczęściej to architekci przyjmują na swoje barki największy ciężar zmian, wyręczając poszczególnych branżystów, którzy albo nie mają umiejętności, albo odpowiednich programów BIM kompatybilnych z programem architekta. Ostatnie projekty budynków mieszkalnych jednorodzinnych w pracowni prowadzonej przez autora oprócz architektury zawierają konstrukcję (ryc. 10 i 11), instalacje elektryczne (ryc. 12), oszacowanie energetyczne (ryc. 7 i 8) w jednym pliku BIM rysowane w jednym programie Graphisoft ArchiCAD 21. Bardzo przydatna jest możliwość porównania na etapie koncepcji wydajności energetycznej dla budynku po zmianie kształtu, wielkości i usytuowania okien czy nawet źródła ciepła, np. ogrzewanego gazem (ryc. 7) i pompą ciepła (ryc. 8).

W środowisku pracy Graphisoft ArchiCAD możliwe jest obecnie zakupienie nakładek: MEP Modeler, aby wykonywać projekt wentylacji w jednym modelu BIM, Reinforcement do przygotowywania rysunków trójwymiarowych zbrojeń wraz z zestawieniami, Archiframe dla modeli konstrukcji drewnianych czy Tiling do tworzenia układów płytek na ścianach i podłogach [12]. Pozwala to na pełniejszą wymianę danych w jednym środowisku. Zebranie w jednym pliku jak największej liczby branż, szczególnie przy kolejnych zmianach, oszczędza czas i pieniądze. Oczywiście mowa tu o małych projektach, które architekt wykonuje samodzielnie. Przy dużych inwestycjach nie będzie to możliwe. Architekci nie mają umiejętności, wykształcenia, doświadczenia i uprawnień, aby w pełni zastąpić

Ryc. 7. Wstępne oszacowanie wydajności energetycznej domu jednorodzinnego wykonane na etapie koncepcji przez architekta dla budynku ogrzewanego gazem z wentylacją mechaniczną i rekuperacją (porównaj z ryc. 8 dla budynku ogrzewanego pompą ciepła) (oprac. P. Wojsznis)

Wartości kluczowe

Ogólne dane projektu

Nazwa projektu:	PROJEKT
Lokalizacja:	
Szerokość geograficzna:	51° 7' 0" Płn
Długość geograficzna:	17° 3' 0" Wsch
Wysokość:	118,50 m
Źródło danych pogodowych:	Serwer Strusoft
Data sporządzenia raportu:	2017-11-12 18:37:50

Dane geometrii budynku

Powierzchnia brutto:	359,0	m ²
Powierzchnia użytkowa:	301,0	m ²
Powierzchnia przegród:	527,5	m ²
Kubatura wentylowana:	805,16	m ³
Współczynnik szklenia:	8	%

Charakterystyka przegród budynku

Infiltracja przy 50Pa:	2,23	1/h
------------------------	------	-----

Współcz. przewodności ciepłej U

Średnia dla przegród budynku:	0,50	[W/m ² K]
Piętra:	0,14 - 0,16	
Zewnętrzne:	0,13 - 1,19	
W gruncie:	--	
Otwory:	1,23 - 1,81	

Charakterystyczne wartości roczne

Energia grzewcza netto:	43,87	kWh/m ² r
Energia chłodząca netto:	0,00	kWh/m ² r
Całkowita energia netto:	43,87	kWh/m ² r
Zużycie energii:	62,05	kWh/m ² r
Zużycie paliwa:	62,05	kWh/m ² r
Główne źródło energii:	91,10	kWh/m ² r
Koszt paliwa:	18,55	PLN/m ² r
Emisja CO ₂ :	13,40	kg/m ² r

Stopniodni

Ogrzewanie (HDD):	3541,38
Chłodzenie (CDD):	1488,83

Konsumpcja energii według źródła

Rodzaj źródła	Energia				Emisja CO ₂ kg/r
	Nazwa źródła	Ilość kWh/r	Pierwszy kWh/r	Koszt PLN/r	
Kopaliny	Gaz ziemny	15055	16560	3230	3251
Drugi Kierunek	Elektryczność	3619	10857	2352	781
	Suma:	18674	27418	5582	4033

innych specjalistów. Wykonując swoją część zadania projektowego, przy napiętych terminach, nie mają czasu, aby modelować również część konstrukcyjną czy instalacyjną. W dużych projektach każda branża musi być połączona odniesieniami i tylko przy pracy zespołowej osiągnie się sukces.

3.5. BIM a użytkownicy obiektów

W ramach BIM 7D powstały specjalne programy FM (Facility Management) służące do zarządzania obiektem¹⁴, m.in. do wykonywania inwentaryzacji mebli i środków trwałych, programowania wentylacji czy klimatyzacji. Są one na tyle atrakcyjne, że nawet w obiektach istniejących opłaca się je wprowadzić.

¹⁴ Andrzej Tomana wymienia FIS, Ramby, FM: Systems, Vizelia, Rhyti [5, s. 225].

Ryc. 8. Wstępne oszacowanie wydajności energetycznej domu jednorodzinnego wykonane na etapie koncepcji przez architekta dla budynku ogrzewanego pompą ciepła z wentylacją mechaniczną i rekuperacją (porównaj z ryc. 7 dla budynku ogrzewanego gazem) (oprac. P. Wojsznis)

Wartości kluczowe

Ogólne dane projektu

Nazwa projektu:	PROJEKT
Lokalizacja:	
Szerokość geograficzna:	51° 7' 0" Płn
Długość geograficzna:	17° 3' 0" Wsch
Wysokość:	118,50 m
Źródło danych pogodowych:	Serwer Strusoft
Data sporządzenia raportu:	2017-11-12 18:34:45

Dane geometrii budynku

Powierzchnia brutto:	359,0	m ²
Powierzchnia użytkowa:	301,0	m ²
Powierzchnia przegród:	527,5	m ²
Kubatura wentylowana:	805,16	m ³
Współczynnik szklenia:	8	%

Charakterystyka przegród budynku

Infiltracja przy 50Pa:	2,23	1/h
------------------------	------	-----

Współcz. przewodności ciepłej

Średnia dla przegród budynku:	0,50	[W/m ² K]
Piętra:	0,14 - 0,16	
Zewnętrzne:	0,13 - 1,19	
W gruncie:	--	
Otwory:	1,23 - 1,81	


Charakterystyczne wartości roczne

Energia grzewcza netto:	43,67	kWh/m ² r
Energia chłodząca netto:	0,00	kWh/m ² r
Całkowita energia netto:	43,67	kWh/m ² r
Zużycie energii:	66,59	kWh/m ² r
Zużycie paliwa:	22,62	kWh/m ² r
Główne źródło energii:	111,84	kWh/m ² r
Koszt paliwa:	14,71	PLN/m ² r
Emisja CO ₂ :	4,89	kg/m ² r

Stopniodni

Ogrzewanie (HDD):	3541,38
Chłodzenie (CDD):	1488,83

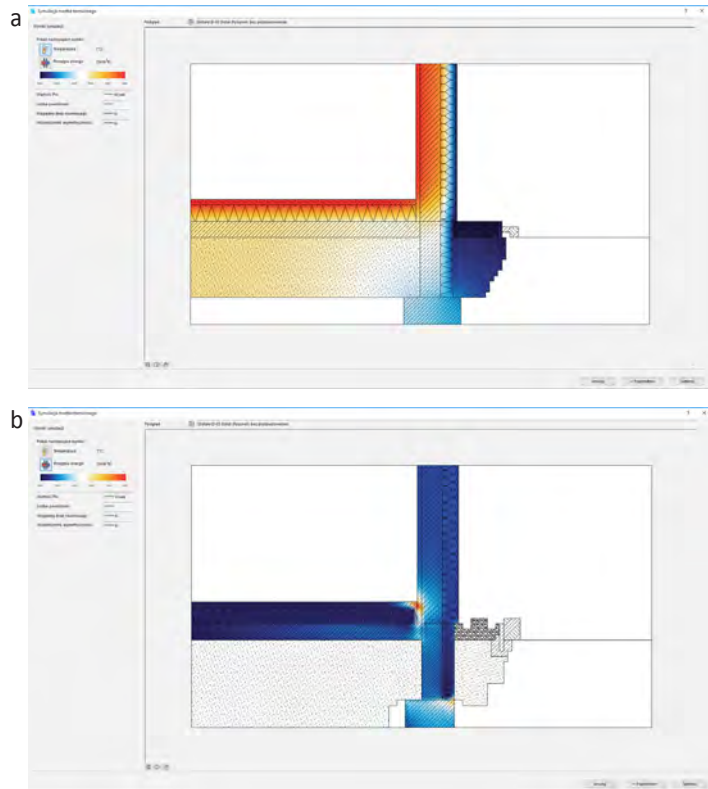
Konsumpcja energii według źródła

Rodzaj źródła	Energia				Emisja CO ₂ kg/r
	Nazwa źródła	Ilość kWh/r	Pierwszy kWh/r	Koszt PLN/r	
Odnawialne 	Energia geotermalna	13232	13232	N/D	0
Drugi Kierunek 	Elektryczność	6809	20427	4425	1470
	Suma:	20042	33660	4425	1470

Projekt BIM 7D może być podstawą uzupełnianą i wykorzystywaną dalej przez użytkownika obiektu, stając się wirtualnym budynkiem, który „żyje” razem z realnym, zmieniając się wraz z nim. Oczywiście należy podjąć wysiłek aktualizacji modelu 3D. W zamian otrzymuje się bieżącą, kompletną informację – klucz do sukcesu mieszkańca, któremu powinna ona być przedstawiona w czytelny sposób, jednocześnie chroniona i przechowywana w sposób gwarantujący jej bezpieczeństwo.

Systemy FM współpracujące z CAD/BIM umożliwiają zarządzanie:

- powierzchnią użytkową (plany pomieszczeń, rozmieszczenia urządzeń, mebli, środków trwałych, dane o użytkowniku, wynajmującym, historię wynajmu, dane finansowo-kosztowe),
- strategiczne (analiza scenariusza „co będzie, jeżeli”),



Ryc. 9. Symulacja mostka termicznego dla detalu z ryciny 1 i 2: a) temperatura w [°C], b) przepływ energii w [W/m²·K] wykonana w ArchiCAD-zie 21 (oprac. P. Wojsznis)

- wartością nieruchomości,
- ruchem (zmiany lokalizacyjne użytkowników, rekonfiguracja zespołów roboczych, dostosowanie infrastruktury do zasobów ludzkich),
- utrzymaniem obiektu (zarządzanie środkami trwałymi i wyposażeniem, historią serwisowania i związanych z tym kosztów, leasingowania, przeglądów),
- oszczędną eksploatacją – monitorowanie zużycia wody, energii, ciepła (w tym klimatyzacji), emisji zanieczyszczeń, recyklingu i strat, obliczanie (symulacje) wskaźników energetycznych [5, s. 225].

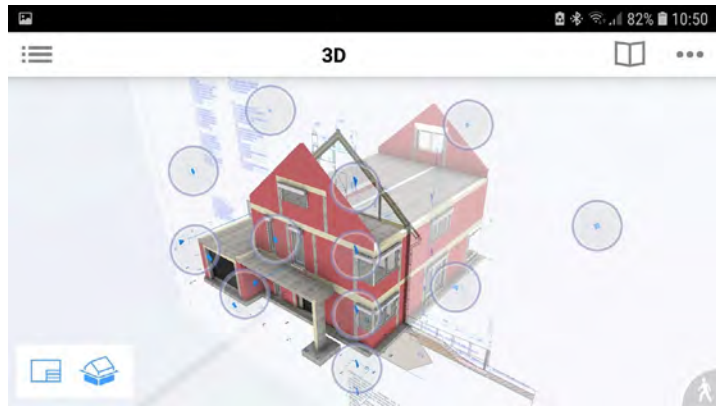
Obecnie każdy użytkownik obiektu z lepszym bądź gorszym skutkiem wykonuje tę pracę, najczęściej bez powiązania z projektem. Podejmując się zarządzania, zaczyna praktycznie „od zera”, tworząc bazę środków trwałych i sprzętów, książkę obiektu czy archiwum z instrukcjami, umowami, np. wynajmu, dokumentacją papierową.

Wykorzystanie projektu BIM pozwala uniknąć kosztownego początku. Zachowana jest ciągłość od koncepcji poprzez projekt, realizację, zarządzanie, aż po rozbiórkę i ewentualny recykling obiektu.

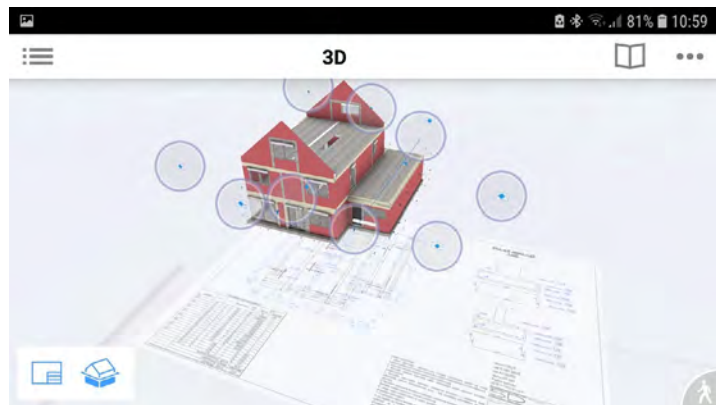
3.6. Zawód: menedżer BIM

Aby można było efektywnie wykorzystywać BIM a współpraca pomiędzy poszczególnymi uczestnikami procesu budowlanego oraz podwykonawcami projektantów przebiegała pomyślnie, należy najpierw opracować standardy i reguły wymiany danych – od tych najprostszyc (kolory, położenie punktów odniesienia), aż po klasyfikacje, normy, wzory procedur oraz poziomy szczegółowości modelu, rysunków i informacji. Bardzo istotnym problemem, od którego należałoby zacząć, jest określenie poziomu zaawansowania lub szczegółowości (patrz 3.3) poszczególnych modeli zgodnie z warunkami zamówienia, czyli stworzenie BIM Execution Plan (BEP). Dokument ten definiuje na przykład, które z parametrów mają być modelowane trójwymiarowo, które płasko, a które mają wystąpić jedynie w opisie [3, s. 39]. W takiej sytuacji potrzebne jest wprowadzenie nowego stanowiska – menedżera BIM. Jego zadaniem jest m.in. wdrożenie i nadzorowanie projektów BIM.

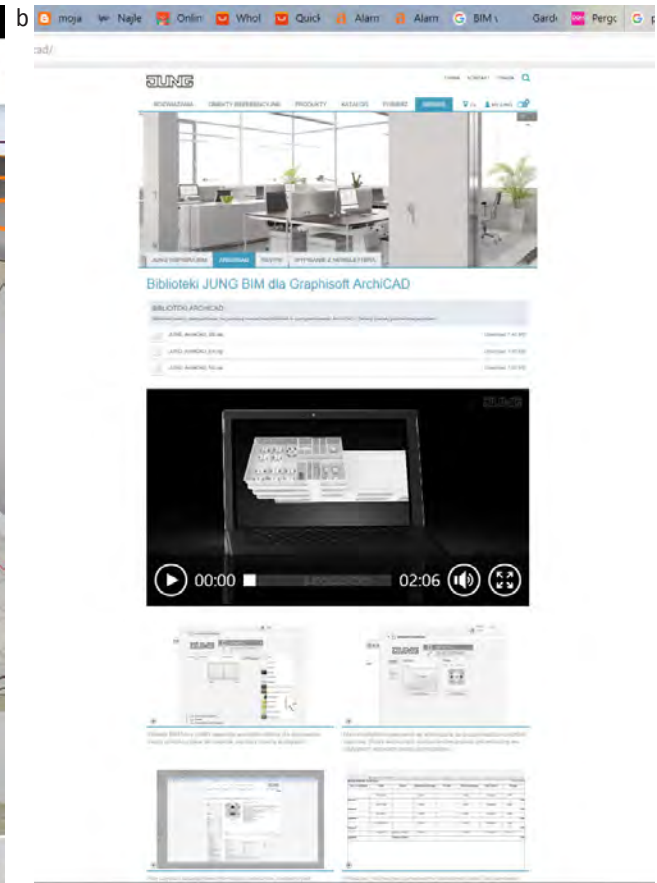
Stanowisko menedżera BIM wymaga nie tylko odpowiedniego przygotowania teoretycznego, ale głównie – w opinii autora – szerokiej wiedzy inżynierskiej z wielu dziedzin. Jednym z zadań będzie nie tylko analizowanie błędów i kolizji w modelu jednej branży, ale koordynacja międzybranżowa wraz z szacowaniem kosztów.



Ryc. 10. Przykład integracji w jednym modelu projektu architektonicznego i konstrukcyjnego. Budynek mieszkalny jednorodzinny z widoczną jedynie konstrukcją murów ceramicznych i elementów żelbetowych (oprac. P. Wojsznis)



Ryc. 11. Przykład integracji w jednym modelu projektu architektonicznego i konstrukcyjnego. Projekt płyty fundamentowej w budynku mieszkalnym jednorodzinny (oprac. P. Wojsznis)



Ryc. 12. Przykład integracji: a) w jednym modelu projektu architektonicznego z podrysem projektu elektrycznego 2D; b) możliwość zastosowania symboli elektrycznych 3D BIM np. firmy JUNG [11] (oprac. P. Wojsznis)

3.7. Poziom zaawansowania a poziom szczegółowości

Znany wszystkim stopień dokładności rysunków technicznych zastępuje w BIM poziom zaawansowania LOD (Level of Development). Ma on na celu uporządkowanie zasad i uzgodnień dotyczących dokumentacji. Wykonawca budynku nie musi wiedzieć, jak ma wyglądać element wyposażenia, i nie musi umieszczać go w budynku, ale musi znać jego producenta i model. Inni uczestnicy procesu mogą potrzebować jego wymiarów, aby zmieścić go między innymi elementami. Idea opracowana pierwotnie przez firmę Vicosoftware (producenta oprogramowania do kalkulacji kosztów), przejęta i opublikowana w 2008 roku przez AIA (American Institute of Architects) i uszczegółowiona w kwietniu 2013 roku przez BIMForum zakłada, że [5, s. 125]:





- LOD 100 oznacza niezbyt precyzyjny obszar lub objętość, najczęściej symbol graficzny przedstawiający element modelu,
- LOD 200 prezentuje element modelu w konkretnych rozmiarach, kształcie, położeniu, orientacji i zapotrzebowaniu na przestrzeń, może zawierać przypisane dodatkowe informacje,
- LOD 300 pokazuje element modelu graficznie w odpowiadającym rzeczywistości kształcie wraz z dokładnymi informacjami dotyczącymi ilości, wielkości, położenia i orientacji z funkcjami i opcjami,
- LOD 350 jest powtórzeniem 300 z dodaną relacją z innymi elementami budynku,
- LOD 400 jak powyższe wraz z detalami dotyczącymi produkcji, montażu, instalacji,
- LOD 500 zawiera element modelu, który jest zweryfikowany na budowie i w pełni odpowiada rzeczywistości pod względem ilości, wielkości, kształtu, położenia, orientacji. Do modelu mogą być przypisane dodatkowe informacje (ryc. 13).

Poziom zaawansowania projektu można porównać do dobrze nam znanego polskiego procesu budowlanego. Projekt koncepcyjny zawiera LOD 100–200, projekt wstępny LOD 300, projekt budowlany LOD 350, projekt wykonawczy LOD 400, zarządzanie obiektem LOD 500.

Lepszym, bardziej zrozumiałym dla polskich projektantów podziałem jest zdefiniowanie poziomu szczegółowości atrybutów graficznych i niegraficznych w angielskich standardach architektonicznych, inżynierskich i konstrukcyjnych (Architectural, Engineering and Construction – AEC UK) BIM Protocol [13–15]:

- G0 – schemat. Symbol reprezentujący obiekt, który może nie mieć skali ani żadnych wymiarów – jest to szczególnie istotne dla symboli elektrycznych, które mogą nigdy nie istnieć jako obiekty 3D.




Ryc. 13. Graficzny przykład przedstawienia poziomu zaawansowania projektu LOD (oprac. P. Wojsznis na podst. [1, s. 142; 5, s. 125; 13])

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
koncepcja	projektowanie	dokumentacja	budowa, produkcja, montaż	użytkowanie, utrzymanie
opis: miska ustępowa	opis: miska ustępowa	opis: miska ustępowa z odpływem poziomym	opis: miska ustępowa z odpływem poziomym	opis: miska ustępowa z odpływem poziomym
szerokość:	szerokość: 36 cm	szerokość: 36 cm	szerokość: 36 cm	szerokość: 36 cm
długość:	długość: 55 cm	długość: 55 cm	długość: 55 cm	długość: 55 cm
wysokość:	wysokość: 100 cm	wysokość: 100 cm	wysokość: 100 cm	wysokość: 100 cm
producent:	producent:	producent:	producent: KOŁO	producent: KOŁO
model:	model:	model:	model: idol	model: idol
ilość:	ilość: 1 szt.	ilość: 1 szt.	ilość: 1 szt.	ilość: 1 szt.
				data zakupu: 30.04.2020 r.

- G1 – koncepcja. Prosta jednomateriałowa bryła trójwymiarowa, którą jednak można zidentyfikować, „rezerwująca” odpowiednią ilość przestrzeni.
- G2 – zdefiniowany. Wystarczający dla większości projektów. Ma prawidłową geometrię i materiały składowe, tak aby nadawał się do wykonania, może być obiektem pobranym bezpośrednio od producenta (np. ze strony <https://www.bimobject.com/pl>), zazwyczaj zawiera symbol 2D „odpowiedni” dla skali.
- G3 – wizualizacja. Identyczny z G2 różni się tylko w reprezentacji 3D wysoką rozdzielczością, ze wszystkimi szczegółami, materiałami [14] (ryc. 14).

Jak widać, niezbędne staje się opracowanie własnych, krajowych poziomów dopasowanych do stopnia dokładności rysunków technicznych oraz zakresu i formy dokumentacji projektowej wymaganej przez urzędy.

Ryc. 14. Graficzny przykład przedstawienia poziomu szczegółowości projektu zgodnie z AEC (UK) BIM Protocol (oprac. P. Wojsznis na podst. [13])

G0	G1	G2	G3
			
schemat	koncepcja	zdefiniowany	wizualizacja
opis: miska ustępowa	opis: miska ustępowa	opis: miska ustępowa z odpływem poziomym	opis: miska ustępowa z odpływem poziomym
szerokość:	szerokość: 36 cm	szerokość: 36 cm	szerokość: 36 cm
długość:	długość: 55 cm	długość: 55 cm	długość: 55 cm
wysokość:	wysokość: 100 cm	wysokość: 100 cm	wysokość: 100 cm
producent:	producent:	producent: KOŁO	producent: KOŁO
model:	model:	model: idol	model: idol

3.8. Podsumowanie

Niewątpliwie tworzenie modelu trójwymiarowego BIM wymaga większego zaangażowania projektantów. Niemniej, w opinii autora, jest to niezwykle opłacalne. Wszyscy uczestnicy procesu realizacji inwestycji, poczynając od inwestora, projektantów, wykonawcy i przyszłego użytkownika zaczynają sobie zdawać sprawę, że wdrożenie BIM jest niezbędne, aby osiągnąć większą efektywność w budownictwie [1], większą przejrzystość i zrozumiałość schematów dla inwestora oraz uzyskać projekty mające mniej błędów i wykazywanych kolizji.

Bibliografia

- [1] Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P., *BIM w praktyce: standardy, wdrożenie, case study*, PWN, Warszawa 2017.
- [2] Rusinek K., *BIM jako nowy standard projektowania sieci zewnętrznych*, „Inżynier Budownictwa” 2018, nr 5, s. 76–80.
- [3] Orlińska-Dejer K., *Przedmiar BIM*, „Inżynier Budownictwa” 2018, nr 7/8, s. 39–44.
- [4] Dąbrowski M., *Konsolidacja albo... ?!*, „Zawód: Architekt” 2015, nr 47, s. 020–024.
- [5] Tomana A., *BIM innowacyjna technologia w budownictwie*, PWB MEDIA Zdziebłowski, Kraków 2016.
- [6] Ślęk R., *ArchiCAD. Wprowadzenie do projektowania BIM*, Helion, Gliwice 2013.
- [7] Przybyłowicz P., *Open BIM/Współpraca i koordynacja międzybranżowa*, „Zawód: Architekt” 2018, nr 61, s. 084–086.
- [8] Ratajczyk M., *Kosztorysowanie robót budowlanych*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2009.
- [9] Kowalczyk Z., Zabielski J., *Kosztorysowanie i normowanie w budownictwie*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2005.
- [10] Szymanik W., *Droga do BIM*, „Zawód: Architekt” 2018, nr 60, s. 088–090.
- [11] Jung, <https://www.jung.de/pl/5240/serwis/jung-wspiera-bim/archicad/>, dostęp 17.08.2020.
- [12] Graphisoft, <http://www.archicad.pl>, dostęp 30.08.2020.
- [13] BLOGSPOT, <http://practicalbim.blogspot.com/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html>, dostęp 30.08.2020.
- [14] AEC, <https://aecuk.wordpress.com/documents/>, dostęp 30.08.2019.
- [15] EVOLVE-CONSULTANCY, <https://evolve-consultancy.com/lod-lod-loi/>, dostęp 30.08.2020.



PRZEMYSŁAW WOJSZNIS

➔ Doktor inżynier architekt, od 2010 roku starszy wykładowca na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej. Prowadzi zajęcia z geometrii wykreślnej, komputerowego wspomaganego projektowania, w tym wykłady z BIM, wizualizacji i modelowania parametrycznego na studiach dziennych oraz podyplomowych. W latach 2011–2014 wykładał również w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Wałbrzychu na kierunku architektura krajobrazu, a w latach 2015–2018 na kierunku architektura wnętrz. Od 2012 roku współpracuje z Wyższą Szkołą Humanistyczną (architektura wnętrz oraz studia podyplomowe). Od 2019 roku jest opiekunem koła naukowego BIM-iś. Brał udział w pracach Komitetu Naukowego i Komitetu Recenzentów Konferencji Naukowej Studentów. Opublikował jako autor i współautor kilkanaście raportów naukowych i rozdziałów w książkach. Uczestniczył w konferencjach naukowych.

Od 2009 roku prowadzi własną pracownię projektową o nazwie 5D Pracownia Projektowa Przemysław Wojsznis. Jest autorem dziesiątek projektów budynków, przebudów i zagospodarowania terenu, w tym pod budownictwo sportowe. Obecnie specjalizuje się w przygotowywaniu projektów budynków mieszkalnych jednorodzinnych, w których istotne jest indywidualne podejście do wymagań inwestora. Podczas codziennej pracy wykonuje modele 3D, które prezentuje inwestorowi z wykorzystaniem okularów wirtualnej rzeczywistości w technologii BIM-x oraz wszystkich innych możliwości płynących z technologii BIM.

Ma uprawnienia budowlane w specjalności architektonicznej bez ograniczeń oraz uprawnienia budowlane w specjalności konstrukcyjnej do projektowania i kierowania robotami budowlanymi w ograniczonym zakresie. Jest członkiem m.in. Dolnośląskiej Okręgowej Izby Architektów – DOIA. Prowadzi komercyjne szkolenia z BIM w programie ArchiCAD w firmach oraz instytucjach państwowych, ostatnio w DOIA.

4. Zastosowanie BIM w procesie inwestycyjnym

RADOSŁAW RADZIECKI
CEGROUP

W rozdziale przybliżono pojęcie BIM (Building Information Modeling) oraz opisano przejście od prostej koordynacji międzybranżowej w środowisku 3D do wykorzystania modelu w zaawansowanej analizie energetycznej. Przedstawiono problemy i wyzwania, jakie należało podjąć, aby przejść tę drogę w ciągu wielu lat na przykładzie doświadczeń biura inżynierskiego Cegroup zajmującego się projektowaniem instalacji MEP (Mechanical, electrical and plumbing). Omówiono również funkcję menedżera BIM, który jest swego rodzaju ogniwem łączącym zespoły projektowe. Skupiono się też na ukazaniu roli ścisłej współpracy z zespołem generalnego wykonawcy, wnoszącego uwagi już na etapie powstawania wirtualnego modelu budynku. Wnioskiem płynącym z przedstawionych treści jest stwierdzenie, że podczas pracy w środowisku BIM z każdym kolejnym projektem rośnie świadomość możliwości zastosowania tej metodologii w coraz szerszym zakresie. Głównie dotyczy to wielu analiz mających wpływ na przyszłą eksploatację budynku.

4.1. Wprowadzenie

Nazwa Building Information Modeling dobrze definiuje podstawowe założenie przyświecające wprowadzaniu i doskonaleniu metodyki BIM – zebranie wszystkich informacji o budynku w jednym spójnym wirtualnym modelu. Kluczem do uporządkowanego rozwoju BIM w projektowaniu jest powstanie standardów na poziomie szczegółowości zarówno elementów geometrycznych modelu, jak i informacji niegeometrycznych. Jak dotąd najlepiej te klasy opisane zostały przez American Institute of Architects (AIA) jako LOD 100, LOD 200 ... LOD 500 [1] oraz British Standards Institution (BSI) jako BIM Level 1, BIM Level 2 i BIM Level 3¹. LOD to skrót od Level of Development.

¹ Dla uproszczenia w dalszej części stosowana jest nazwa skrócona – BIM 1, BIM 2 itd.

Klasyfikacja ta opisuje poziom szczegółowości modelu. Klasyfikacja BIM Level jest znacznie szerszym pojęciem i opisuje standard współpracy pomiędzy zespołami projektowymi oraz standardy takie jak nazewnictwo, archiwizacja i obieg informacji [2]. Metodę tę szczegółowo przedstawiono na brytyjskiej stronie organizacji zajmującej się popularyzowaniem BIM² [<https://ukbimframework.org/>](zob. też rozdział 3).

Pierwsze projekty z zastosowaniem elementów BIM zaczęły powstawać w Polsce raptem kilka lat temu. Początkowe fazy rozwoju BIM w naszym kraju to przede wszystkim zastosowanie zaawansowanego oprogramowania do spełniania doraźnych celów, jakimi jest koordynacja całości lub fragmentów projektu. Można nazwać ten etap BIM 3D. Pojawiają się już pierwsze inwestycje, w których stosowany jest tzw. BIM 4D i BIM 5D, czyli po wykorzystaniu modelu w fazie projektu jest on przetwarzany przez generalnego wykonawcę na potrzeby harmonogramowania (BIM 4D) i kosztorysowania (BIM 5D). Sporadycznie pojawiają się projekty z wykorzystaniem modelowania energetycznego, czyli BIM 6D. W związku z krótkim czasem funkcjonowania tej metodologii na rynku należy oczekiwać, że dopiero w przyszłości modele budynków będą wykorzystywane w procesie zarządzania nieruchomością, czyli tzw. BIM 7D.

Opis podstawowych definicji i stan ich wdrożenia w polskich zamówieniach publicznych dobrze opisuje raport sporządzony przez KPMG Advisory [3] i dostępny na stronach Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa. W Polsce bodźcem do wprowadzenia wymogów dotyczących modelowania BIM głównie w odniesieniu do zamówień publicznych jest dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2014/24/UE z dnia 26.02.2014 r. [4]. Dyrektywa ta zachęca do stworzenia wymogów związanych z BIM, które zastosowane zostaną w formułowaniu specyfikacji do zamówień publicznych.

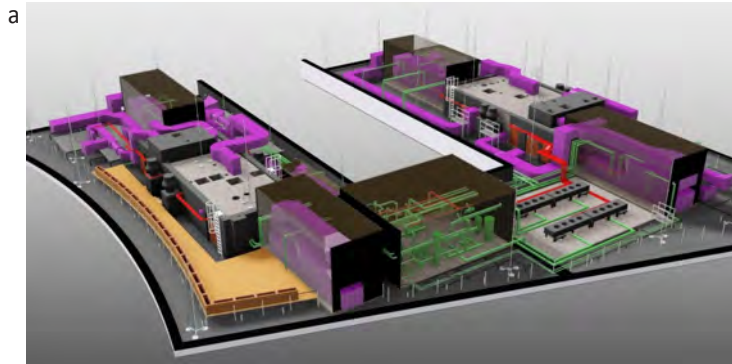
4.2. Od teorii do praktyki BIM

Historię wprowadzania BIM w pracowni projektowej Cegroup można z grubsza przyporządkować brytyjskiej klasyfikacji BIM Level:

- W roku 2012 rozpoczęto pierwszy projekt wykorzystujący BIM. Był to Etap I pracy z wykorzystaniem tej metodyki, odpowiadający definicji BIM 1. Oznaczało to odwzorowanie części dokumentacji w 3D i wymianę danych pomiędzy pracownikami w postaci przesyłanych plików.
- W roku 2015 rozpoczęto projekt, który należy uznać za początek pracy w nowym wymiarze BIM. Był to etap II wprowadzania BIM w pracowni Cegroup, odpowiadający BIM 2³. Praca polegała na pełniejszym niż we wcześniejszych latach korzystaniu z modelu BIM. Dokumentacja 2D

² Organizacja UK BIM Framework, działa pod opieką trzech instytucji: British Standards Institution (BSI), Centre for Digital Built Britain (CDBB) oraz UK BIM Alliance.

³ Zgodnie z definicją obecnie obowiązującą w Wielkiej Brytanii i wielokrotnie przywoływaną w prawodawstwie tego kraju. Przykładem może być dokument „Government Construction Strategy: 2016–2020” [5].



Ryc. 1. Budynek biurowy Green Horizon w Łodzi: a) widok projektu instalacji na dachu (wizualizacja: Cegroup); b) widok od strony ul. Pomorskiej (wizualizacja: medusagroup)

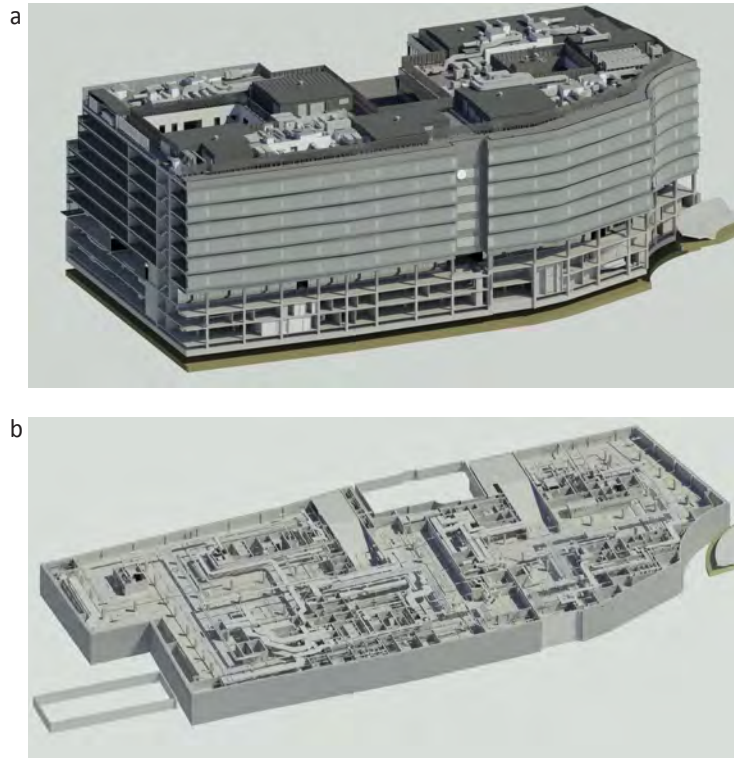


była generowana już z modelu 3D. Oznaczało to przyjęcie wspólnych standardów wykonania modelu dla pracowni architektonicznej, konstrukcyjnej i instalacji MEP.

- W projektach przygotowywanych obecnie zespół Cegroup stara się wdrażać elementy BIM 3, co wiąże się z wielobranżową współpracą nad jednym, umieszczonym w chmurze modelem.

- **Etap I – BIM Level 1**

Jako biuro inżynierskie już w 2012 roku dostrzegliśmy zalety stosowania metodyki BIM. Przystąpiono wtedy do realizacji drugiego etapu projektu biurowca Green Horizon w Łodzi. Po pierwszym, już zakończonym, wynikło, że jest problem z dostępem serwisowym do instalacji na dachu oraz że są one widoczne z poziomu ulicy. Wtedy wspólnie z biurem architektonicznym postanowiono wykonać wielobranżowy model 3D dachu, w celu wyeliminowania opisanych powyżej problemów (ryc. 1). Było to zastosowanie BIM w jego najprostszej formie, tzw. BIM 3D. Projekt był realizowany przez nas od etapu koncepcji, poprzez koncepcję wielobranżową szczegółową, projekt budowlany



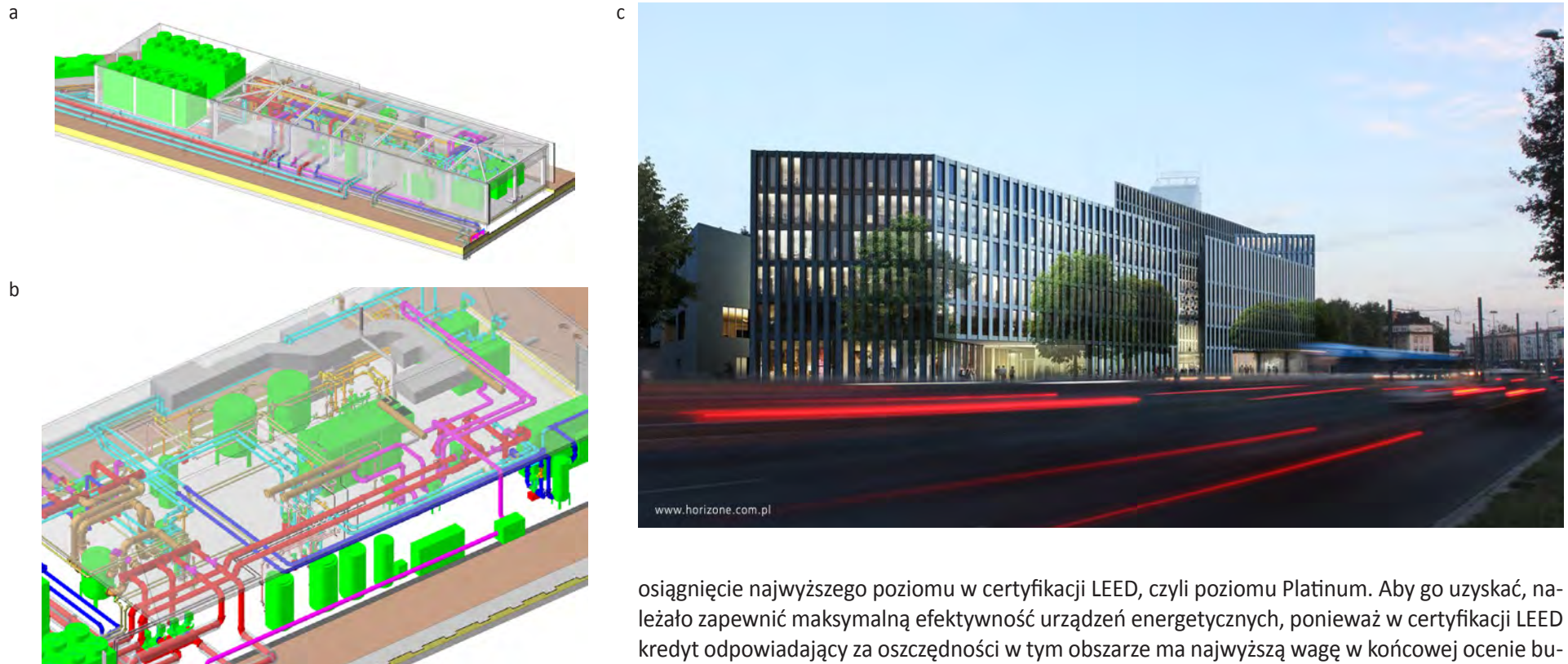
Ryc. 2. Budynek biurowy Dominikański we Wrocławiu: a) widok projektu instalacji na dachu (wizualizacja: Cegroup); b) widok projektu instalacji na poziomie -1 (wizualizacja: Cegroup); c) widok od strony ul. Piotra Skargi (wizualizacja: medusagroup)



i projekt wykonawczy. Na tym wstępnym etapie wprowadzania BIM w naszej pracowni model mógł być tworzony dość późno, dopiero w projekcie wykonawczym. Narzędzie sprawdziło się w 100% i od tego czasu postanowiliśmy korzystać z niego stale.

Tym, co może zniechęcić osoby rozpoczynające swoją przygodę z BIM, jest zwiększony nakład pracy w pierwszych fazach projektu. Dotyczy to głównie koncepcji architektonicznej. Jako projektanci branży rozpoczynamy projektowanie z użyciem metodologii BIM od kolejnego etapu, czyli koncepcji wielobranżowej szczegółowej. Choć początkowe fazy przygotowywania projektu wymagają dużego zaangażowania, rekompensatą jest bardzo dopracowany projekt budowlany, który eliminuje konieczność wprowadzania czasochłonnych poprawek na dalszych etapach. Z każdym kolejnym wykonanym projektem przekonujemy się, że opisany tok postępowania przynosi korzyści dla jakości i kosztu projektu.

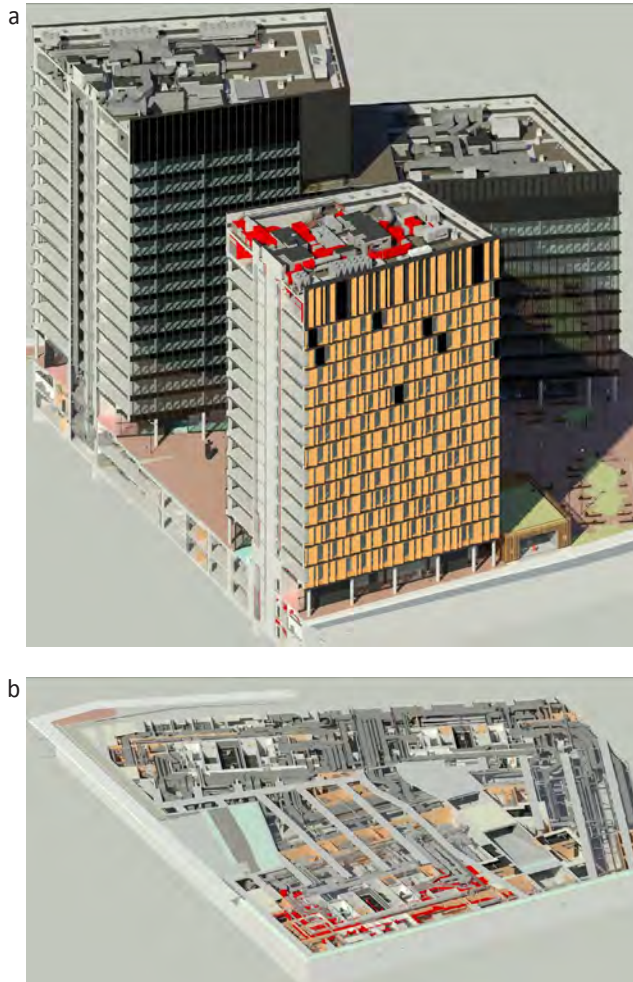
Ważne doświadczenia we wdrażaniu metodyki BIM przyniosły prace nad koncepcją budynku biurowego Dominikański we Wrocławiu. Projekt był realizowany w latach 2012–2013 i zakładał



Ryc. 3. Budynek Ratusza Marszałkowskiego w Krakowie: a) widok projektu instalacji na dachu (wizualizacja: Cegroup); b) fragment projektu instalacji na dachu (wizualizacja: Cegroup); c) widok od al. Powstania Warszawskiego (wizualizacja: Horizone Studio)

osiągnięcie najwyższego poziomu w certyfikacji LEED, czyli poziomu Platinum. Aby go uzyskać, należało zapewnić maksymalną efektywność urządzeń energetycznych, ponieważ w certyfikacji LEED kredyt odpowiadający za oszczędności w tym obszarze ma najwyższą wagę w końcowej ocenie budynku. To z kolei wymaga ograniczenia oporów na wszystkich instalacjach. W uproszczeniu można powiedzieć, że dokonano tego dzięki znacznemu przewymiarowaniu urządzeń i średnic instalacji. Jak można się domyślić, konieczna była w tym celu współpraca i wzajemne zrozumienie pomiędzy specjalistami z zakresu architektury, konstrukcji i instalacji. Właśnie w przedstawieniu problemu w całym zespole projektowym pomogły wizualizacje dachu i szachtów wewnątrz budynku (ryc. 2).

Innym projektem, który miał osiągnąć bardzo wysoki poziom certyfikacji – tym razem BREEAM na poziomie Excellent – był budynek Ratusza Marszałkowskiego w Krakowie. Projekt wykonano w latach 2014–2016. W tym przypadku, wspólnie z inwestorem, po przeprowadzeniu analiz energetycznych zdecydowano się na źródło trigeneracyjne. Ponieważ budynek miał stać w reprezentacyjnej części Krakowa, przy al. Powstania Warszawskiego, architektom bardzo zależało na



Ryc. 4. Budynek Brama Miasta Łodzi: a) widok projektu instalacji na dachu (wizualizacja: Cegroup); b) widok projektu instalacji na poziomie -1 (wizualizacja: Cegroup); c) widok od ul. Jana Kilińskiego (wizualizacja: medusagroup)



przysłonięciu źródła ciepła, które zostało zlokalizowane na dachu. Zadanie to należało do niełatwych, gdyż źródło to było swoistą małą elektrociepłownią usytuowaną na dachu stosunkowo niewysokiego budynku (ryc. 3). Tu również z pomocą przyszła metodyka BIM. Dzięki niej zoptymalizowano przestrzeń potrzebną na instalacje, a wizualizacje budynku z poziomu ulicy, wykonane bezpośrednio z modelu BIM, pozwoliły znaleźć sposób na ukrycie instalacji na dachu.

• Etap II – BIM Level 2

Naturalnym krokiem we wprowadzaniu metodyki BIM było dla nas wykorzystanie jej do kompletnego procesu projektowego. Taka okazja nadarzyła się podczas prac przy koncepcji biurowca Brama Miasta Łodzi (ryc. 4). Projekt powstawał w latach 2015–2017.

Przy Bramie Miasta Łodzi postanowiliśmy nie używać „płaskich” rysunków i większość z nich została wygenerowana wprost z modelu 3D. Obiekt składa się z dwóch wież. Aby zminimalizować ryzyko ewentualnego niepowodzenia w dużym przedsięwzięciu, taki standard dokumentacji

wprowadziliśmy dla mniejszej wieży. W przypadku większej wieży dokumentacja była tworzona w części równolegle w 2D i w modelu. Ponieważ projekt był przez pracownię realizowany od wczesnej koncepcji aż do fazy wykonawczej, postanowiono stworzyć model od początku fazy koncepcji. Dzięki opisanemu wyżej podziałowi możliwe było porównanie efektywności pracy w modelu BIM z projektowaniem „płaskim”. Porównanie wypadło zdecydowanie na korzyść modelu BIM bez równoległej pracy w „płaskich” systemach CAD. Przy tym zasobie wiedzy, którym dysponowano w tamtym czasie, bardzo pracowitymi czynnościami było wprowadzanie standardów wydruków bezpośrednio z modelu, generowanie zestawień materiałów i kształcenie umiejętności projektowania w 3D wśród członków zespołu. Czas poświęcony powyższym czynnościom został z nawiązką odrobiony na etapie koordynacji międzybranżowej. W tym projekcie wykorzystano BIM do tworzenia zestawień materiałów oraz do obliczeń hydraulicznych i akustycznych.

- **Etap III – BIM Level 3**

Kolejnym etapem wdrażania metodyki BIM w Cegroup było rozpoczęcie w 2016 roku pracy nad biurowcem o powierzchni najmu netto (Net Lettable Area – NLA) około 40 tys. m² w Gdańsku, przy al. Grunwaldzkiej. W tym projekcie wykorzystano połączenie oprogramowania Revit i BIM 360 firmy Autodesk. Dzięki połączeniu tych dwóch narzędzi wprowadzono pracę grupową na zupełnie inny poziom. Możliwe stało się efektywne współdziałanie z zespołem generalnego wykonawcy, wnoszącym uwagi do powstającej dokumentacji niemal „online”. Wspomniane narzędzie ułatwia komunikację pomiędzy inwestorem, inspektorem nadzoru, projektantem, głównym wykonawcą i podwykonawcami do samego końca budowy. Dzięki temu za pomocą zdefiniowanych schematów komunikacji i akceptacji zmian proces projektowy przebiega sprawnie i pod większą kontrolą niż w tradycyjnie prowadzonych inwestycjach. Aplikacja BIM 360 dzięki jednemu z modułów pozwala na podgląd i wnoszenie uwag do modelu BIM każdej z osób bezpośrednio zaangażowanych w powstawanie budynku.

4.3. Rola menedżera BIM w zintegrowanym procesie projektowym

Już po pierwszym projekcie wykonanym w BIM stało się dla nas jasne, że połączenie trzech zespołów pracujących na wspólnym modelu (architekci, konstruktorzy i projektanci instalacji MEP) wymaga stworzenia w każdym z nich stanowiska dla osoby odpowiedzialnej za synchronizację danych i modelowanie informacji na punktach styku wspomnianych branż. Z każdym projektem, wraz

z głębszym wdrożeniem BIM, rola menedżera BIM nabiera nowego znaczenia. Do jego obowiązków należy m.in.:

- tworzenie standardów pracy w środowisku BIM dla całego zespołu,
- organizacja pracy w obrębie danej pracowni w porozumieniu z menedżerem projektu nadzorującym harmonogram,
- koordynacja międzybranżowa modelu w celu wyeliminowania kolizji,
- współpraca w biurze instalacyjnym z osobą na analogicznym stanowisku po stronie zespołu konstruktorów i architektów,
- szkolenie pracowników rozpoczynających pracę z oprogramowaniem BIM.

Szczególnie ważnym obowiązkiem menedżera BIM jest wspomniane zharmonizowanie pracy poszczególnych zespołów projektowych. Jako przykład może posłużyć koordynacja otworowania przy przejściach instalacji przez przegrody, angażującego zespół architektów, projektantów konstrukcji i instalacji. W tym przypadku menedżer BIM po stronie biura MEP musi na bieżąco przekazywać zmiany wnoszone przez konstruktorów poszczególnym projektantom instalacji, których w jednym projekcie może być zaangażowanych nawet kilkudziesięciu.

4.4. Zastosowanie modelu BIM do zaawansowanych analiz energetycznych budynku

W 2018 roku w kolejnym naszym projekcie Małopolskiego Centrum Nauki wykorzystaliśmy BIM do modelowania energetycznego budynku – Cogiteon w Krakowie (ryc. 5). Zamawiający na etapie konkursu zdefiniował w kilkudziesięciostronicowym dokumencie wymogi dotyczące BIM. Zgodnie z nimi model miał zostać opracowany na poziomie 7D zgodnie ze skalą opisaną w punkcie 4.1. Jest to możliwe dzięki modułowi Green Building Studio firmy Autodesk [6]. Za pomocą tego narzędzia można wykonać model obrazujący zużycie energii w budynku z podziałem na poszczególne jej składowe, jak np. energia elektryczna i ciepła. Taki model energetyczny wykonuje się w oparciu o dane geometryczne wyeksportowane z programu Revit do formatu gbXML. Następnie dane w tym formacie wczytuje się do usługi Green Building Studio udostępnianej przez firmę Autodesk w chmurze. Rezultatem tych działań jest raport wykonany na podstawie analizy godzinowej przeprowadzonej z wykorzystaniem danych geometrycznych budynku, danych dotyczących właściwości użytych materiałów, parametrów systemów HVAC i zainstalowanych urządzeń elektrycznych. Obliczenia przeprowadzane są w oparciu o zadaną lokalizację obiektu, dane pogodowe



Ryc. 5. Budynek Małopolskiego Centrum Nauki – Cogiteon w Krakowie: a) widok zielonego dachu; b) widok od strony dziedzińca (wizualizacja: Heinle, Wischer und Partner Architekci); c) widok maszynowni wody lodowej (wizualizacja: Cegroup)

charakterystyczne dla danego regionu dostępne w aplikacji oraz przedziały czasowe, w jakich obiekt jest użytkowany. Otrzymane wyniki można wykorzystać do poprawy rozwiązań mających wpływ na zużycie energii oraz do udokumentowania punktów w certyfikacji LEED [7].

Opisany powyżej tok postępowania jest możliwy pod warunkiem bardzo dokładnego wykonania modelu w części architektonicznej. Jeżeli powyższy warunek nie jest spełniony, przygotowanie modeli energetycznych w popularnych programach do modelowania, np. HAP [8], eQUEST [9], EnergyPlus [10] jest najlepszym rozwiązaniem i daje najbardziej wiarygodne wyniki (zob. też rozdział 6).

4.5. Rola analizy energetycznej w procesie inwestycyjnym

Wśród inicjatorów wykonania analizy energetycznej projektowanego obiektu można wyróżnić inwestora, który poprzez decyzję o certyfikacji budynku (np. LEED lub BREEAM) wymusza konieczność jej przygotowania. Analiza energetyczna na potrzeby certyfikacji może prowadzić do niewłaściwych wniosków, jeżeli będzie się chciało użyć jej również do optymalizacji rozwiązań wpływających na zużycie energii przez budynek. Dzieje się tak, ponieważ głównym celem certyfikacji jest porównanie budynków, co często powoduje sprowadzenie niektórych parametrów modelu energetycznego do wspólnego mianownika z budynkiem porównywanym. Przykładem może być narzucony współczynnik zagęszczenia ludzi w certyfikacji LEED-CS. Zagęszczenie, które w Polsce jest znacznie większe niż w bardziej rozwiniętych krajach, ma podstawowe znaczenie w obliczeniach zysków ciepła.

Warto wykorzystać model energetyczny przygotowany na potrzeby certyfikacji, wprowadzając do niego świadomie zmiany, również w celu optymalizacji fasady, doboru elementów zacieniających itp. Ponieważ certyfikacja stała się w Polsce niemal standardem dla obiektów wielkopowierzchniowych, analiza energetyczna jest również wykonywana w większości z nich. Niestety jako standard certyfikacja przyjęta jest przez inwestorów prywatnych, natomiast w zamówieniach publicznych jest to ciągle rzadkość. Jako pozytywny wyjątek można wymienić tutaj projekt Ratusza Marszałkowskiego w Krakowie. Ponieważ wspomniana powyżej analiza na potrzeby certyfikacji jest wykonywana według ściśle określonych zasad i ma na celu wykazanie głównie różnicy w zużyciu bądź koszcie energii projektowanego budynku w stosunku do budynku referencyjnego, zespoły projektowe decydują się czasami na dodatkowe analizy np. na potrzeby wyboru właściwego źródła ciepła bądź chłodu. Taka sytuacja miała miejsce w przypadku Ratusza Marszałkowskiego w Krakowie. Optymalnym działaniem jest wówczas wykorzystanie do modelowania energetycznego już stworzonego wcześniej modelu BIM.

Od 2003 roku istnieje obowiązek załączania do projektu budowlanego charakterystyki energetycznej, która jest swojego rodzaju analizą energetyczną. Nie należy jej jednak mylić z opisanymi wcześniej modelami energetycznymi budynku, gdyż nie uwzględnia wielu czynników wpływających na zużycie energii i przez to nie sprawdza się jako pomoc w podejmowaniu decyzji inwestycyjnych.

4.6. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych przykładów, opisanej ewolucji pracy w środowisku BIM i większego zaangażowania zespołów projektowych w bardziej zintegrowane modelowanie informacji o budynku można powiedzieć, że przez wdrożenie BIM w naturalny sposób doszliśmy do podstaw tego, co można nazwać zintegrowanym procesem projektowym – ZPP (Integrated Design Process – IDP). W założeniach opisanego procesu leży wzajemne zrozumienie wyznaczonych celów. Wspólne edytowanie modelu BIM przez zespół architektów, projektantów konstrukcji i instalacji prowadzi do lepszego zobrazowania problemów poszczególnych uczestników procesu inwestycyjnego. Pokazano to na przykładzie wpływu wyników analizy widoczności urządzeń na dachu na rozwiązania projektów instalacyjnych i architektonicznych, a także na przykładzie wpływu analiz energetycznych na rozwiązania instalacyjne i w konsekwencji architektoniczne oraz konstrukcyjne (np. konieczność powiększenia szachtów i urządzeń na dachu).

Praca w ramach zintegrowanego procesu projektowego wymaga od całego zespołu wielu analiz, z których wynika konieczność wprowadzenia zmian do projektu. Aby oszacować skalę i skutki zmian, niezwykle pomocny jest model BIM. Wspomniane wyżej analizy prowadzone są na dużym poziomie ogólności – od etapu koncepcji aż po etap projektu wykonawczego, gdzie zmiany studiowane są już na szczegółowym modelu.

Bibliografia

- [1] <http://www.aiacc.org/>, dostęp 12.04.2020.
- [2] <http://bim-level2.org/en/>, dostęp 12.04.2020.
- [3] KPMG Advisory, *BIM – Ekspertyza dotycząca możliwości wdrożenia metodyki BIM w Polsce*, Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, wrzesień 2016.
- [4] *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z dnia 26.02.2014 w sprawie udzielenia zamówień publicznych, uchylająca dyrektywę 2004/18/WE*, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, dostęp 12.04.2020.
- [5] <https://www.gov.uk/government/publications/government-construction-strategy-2016-2020>, dostęp 13.04.2020.
- [6] <https://gbs.autodesk.com/GBS/>, dostęp 12.04.2020
- [7] <https://knowledge.autodesk.com/>, dostęp 12.04.2020.
- [8] <https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/hourly-analysis-program/>, dostęp 13.04.2020.
- [9] <http://energy-models.com/equest>, dostęp 10.04.2020.
- [10] <https://energyplus.net/>, dostęp 12.04.2020.



RADOSŁAW RADZIECKI

➔ Prezes zarządu, dyrektor i główny projektant biura Cegroup zatrudniającego 60 inżynierów. Autor kilku publikacji w czasopismach branżowych. Jest współautorem kilkudziesięciu projektów instalacji mechanicznych i elektrycznych w budynkach wielokubaturowych, m.in. dziesięciu budynków biurowych o powierzchni najmu 20–40 tys. m², dwóch stadionów wraz z infrastrukturą, budynku dużej serwerowni o mocy około 4 MW dla Politechniki Gdańskiej, instalacji fotowoltaicznej dla budynków Politechniki Śląskiej o mocy 500 kWp. Wiele projektów uzyskało kilkakrotnie nagrody w konkursach architektonicznych, m.in. budynki: Muzeum Przełomy w Szczecinie, Muzeum Żołnierzy Wyklętych w Warszawie, Wydziału Radia i Telewizji Uniwersytetu Śląskiego. W 2016 roku projekt wentylacji i klimatyzacji biurowca Dominikański we Wrocławiu został wyróżniony podczas finałowej gali nagród Pascal 2016, jako wyróżniający się wyjątkowymi rozwiązaniami funkcjonalnymi i energooszczędnymi.

Projekty wykonywane w Cegroup cechuje bardzo innowacyjne podejście do produkcji i zarządzania energią w budynku. Przykładem może być układ trigeneracji w budynku Ratusza Marszałkowskiego w Krakowie lub układ pomp ciepła współpracujący z podziemnym zbiornikiem lodu dla budynku Małopolskiego Centrum Nauki. W projektach wykorzystywane jest modelowanie energetyczne. Większość projektów uzyskała certyfikaty LEED oraz BREEAM na bardzo wysokich poziomach. Od roku 2012 stosuje BIM.

5. Narzędzia symulacyjne w procesie projektowym

WOJCIECH STEC
CUNDALL

W rozdziale omówiono wybrane elementy analiz z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi symulacyjnych. Przedstawiono przykładowe rodzaje symulacji i ich potencjalne funkcje. Opisano także wymogi stawiane użytkownikowi symulacji oraz proponowany harmonogram przeprowadzania prac analitycznych w projekcie. W końcowej części pokazano odpowiednie przykłady zastosowania symulacji do projektów budynków na terenie Polski i świata. Głównym przekazem rozdziału jest zaznaczenie, że współcześnie symulacje stają się nieodłącznym elementem tworzenia nowoczesnego budynku, za względu na rosnącą potrzebę optymalizacji projektów spowodowaną przez mnogość oraz stopień trudności często sprzecznych z sobą kryteriów. Co ważne, symulacje nie powinny być celem, ale narzędziem dopasowanym do konkretnej analizy i zadań projektowych. Tylko wówczas ich potencjał będzie w pełni wykorzystany.

5.1. Wprowadzenie

Budynki stają się coraz bardziej zaawansowane technologicznie i jednocześnie muszą sprostać coraz większej liczbie kryteriów związanych z ich funkcją, komfortem, doświetleniem, spełnieniem surowych norm dotyczących m.in. zużycia energii, akustyki, bezpieczeństwa. Niezależnie od wiedzy i doświadczenia projektantów spełnienie wszystkich często ze sobą sprzecznych wymagań nie jest możliwe do zrealizowania bez zastosowania zaawansowanych symulacji. Warto jednak zaznaczyć, że wykonanie jednej z symulacji samo w sobie nie gwarantuje otrzymania należytego rozwiązania i nie stanowi wystarczającego wsparcia w procesie projektowym. Bardzo ważna jest jeszcze weryfikacja założeń oraz wyników symulacji przez doświadczonych specjalistów.

Rolą symulacji jest określenie – z dużą dozą prawdopodobieństwa – zachowania się budynku oraz porównanie różnych opcji w celu wybrania tzw. złotego środka, rozwiązania w najlepszy sposób spełniającego wiele kryteriów. Symulacje pozwalają więc projektantowi na ocenienie jakości projektu oraz kontrolę proponowanych rozwiązań pod kątem spełnienia założonych priorytetów.

5.2. Rodzaje analiz specjalistycznych

Powszechną praktyką stało się wykonywanie obliczeń w dziedzinie normatywnego spełnienia kryteriów w zakresie zużycia energii, jakości oświetlenia światłem sztucznym, akustyki czy systemów oddymiania. Obliczenia takie stanowią jedynie pojedynczą grupę możliwych analiz przeprowadzanych na etapie projektowania. Nowoczesne rozwiązania stosowane w budownictwie coraz częściej wykraczają poza podstawowe założenia obliczeniowe i wymagają wprowadzenia dodatkowych metod w celu rzeczywistego określenia tego, jak budynek będzie funkcjonował, jak spełni poszczególne wymagania i w jakim stopniu wpłynie na najbliższe otoczenie. W literaturze przedmiotu istnieją różne typologie analiz wykorzystujących symulacje. Różnicowanie może na przykład wynikać z ich funkcji [1], rodzaju narzędzi, stopnia odwzorowania budynku lub etapu projektowego [2, 3]. Przykładowy podział analiz wykonywanych w oparciu o narzędzia symulacyjne przedstawiono w tabeli 1.

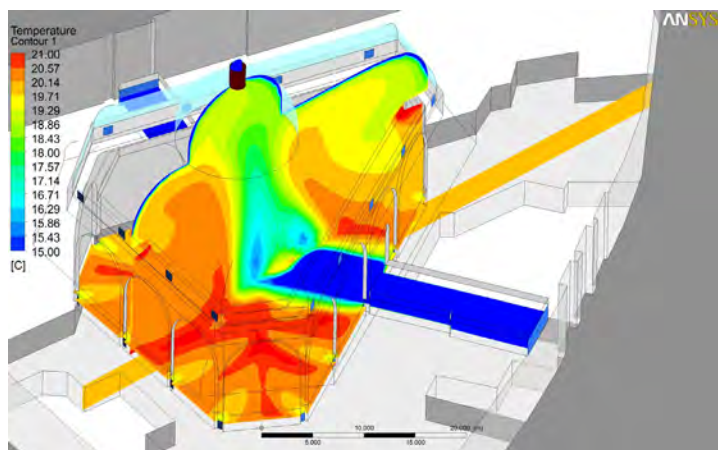
Wybrane przykładowe rodzaje analiz wykonanych z udziałem symulacji (ze względu na funkcję) można scharakteryzować następująco:

Tab. 1. Ogólne klasyfikacje symulacji (na podst. [2, 3], oprac. W. Stec)

PODZIAŁ SYMULACJI		
Funkcje symulacji	Narzędzia symulacyjne	Etap wykorzystania
<ul style="list-style-type: none"> ▪ zużycie energii ▪ komfort termiczny ▪ sprawność wentylacji naturalnej ▪ komfort przechodniów ▪ sprawność systemów oddymiania lub transportu i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ▪ mostki cieplne i ryzyko kondensacji ▪ doświetlenie wnętrza światłem dziennym ▪ optymalizacja podzespołów systemu wentylacji, ogrzewania, chłodzenia itd. ▪ oddziaływanie promieniowania słonecznego na otoczenie budynku ▪ sprawność wentylacji mechanicznej, systemów chłodzenia i ogrzewania ▪ optymalizacja fasad budynku 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dynamiczne modele symulacyjne ▪ numeryczna mechanika płynów (CFD) ▪ modelowanie parametryczne ▪ arkusze kalkulacyjne ▪ normatywne statyczne programy obliczeniowe 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ koncepcyjny ▪ normatywny ▪ detaliczny



Ryc. 1. Przykład wizualizacji modelu energetycznego wykonanego w programie EDSL TAS, Spa Hotel koło Piwnicznej, projekt Studio EL (wizualizacja: Cundall)



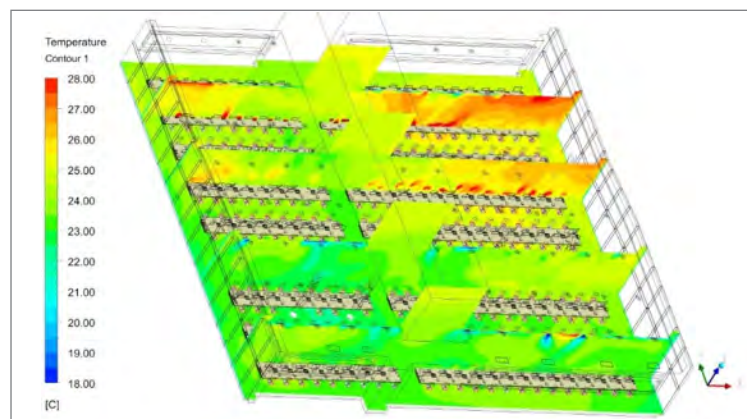
Ryc. 2. Przykład symulacji obrazującej ryzyko przeciągu w hali targowej Corn Exchange, Manchester, WB (oprac. Cundall)

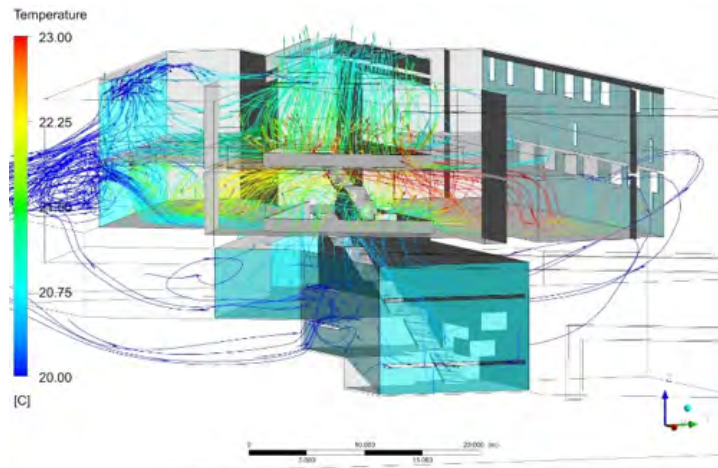
Ryc. 3. Przykład symulacji obrazującej komfort cieplny w budynku biurowym BBVA, Madryt, Hiszpania (oprac. Cundall)

Analiza zużycia energii. Detaliczna analiza zużycia energii w wymiarze rocznym, sezonowym czy dziennym pozwala na całościową ocenę funkcjonowania obiektu i wpływu różnych elementów – takich jak fasada, rozkład pomieszczeń, dobór materiałów, rodzaje instalacji wentylacyjnych, ogrzewania i klimatyzacji oraz systemów regulacji – na zużycie energii w budynku. Analiza możliwych alternatywnych opcji projektowych pozwala na optymalizację założeń i właściwości poszczególnych elementów obiektu [4]. Na rycinie 1 pokazano wizualizację projektu budynku użytego w optymalizacji energetycznej.

Analiza komfortu termicznego wnętrza, rozpatrywana w poszczególnych krytycznych momentach funkcjonowania budynku:

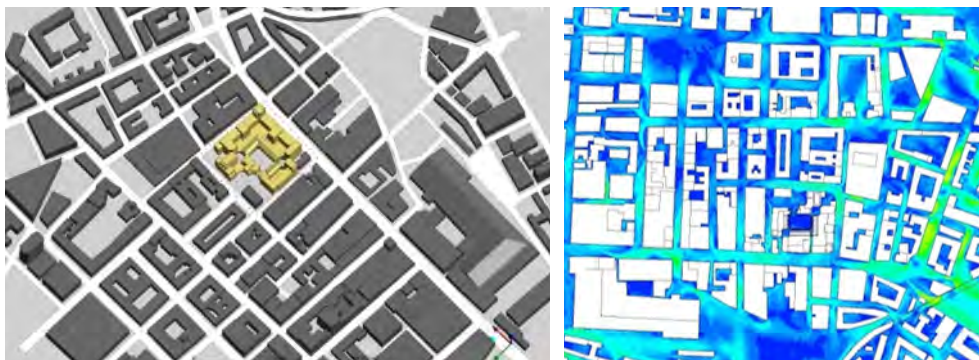
- dla okresu letniego, jako wynik działania systemu wentylacji, klimatyzacji czy chłodzenia powierzchniowego (belki chłodzące, elementy konstrukcyjne budynku) i ich sprawność w kompensowaniu zysków ciepła (przez fasady, od ludzi, oświetlenia itd.),
- dla okresu zimowego, jako wynik działania systemu ogrzewania i doboru np. fasady w minimalizacji np. ryzyka przeciągu, lub nierównomiernego rozkładu temperatur. Symulacja pomaga oszacować skalę problemu i zweryfikować działania zapobiegawcze w postaci np. kurtyn powietrznych, ogrzewania kanałowego czy zastosowania ekranów (ryc. 2),
- dla całego roku – analiza funkcjonowania budynku dla każdej godziny w ciągu całego roku pozwala na ocenę przewidywanego poziomu komfortu termicznego w niewralgicznych pomieszczeniach lub strefach budynku, co w konsekwencji pozwala na optymalizację doboru fasady, funkcji wnętrza, systemów HVAC itd. (ryc. 3).





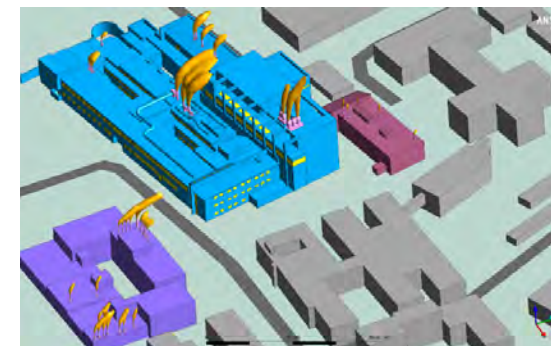
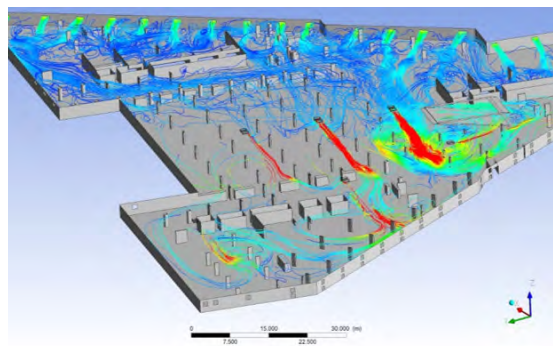
Ryc. 4. Przykład symulacji analizującej sprawność wentylacji naturalnej w budynku University of Huddersfield, WB (oprac. Cundall)

Ryc. 5. Wizualizacja 3d i symulacja wykonane na potrzeby analizy komfortu przechodniów Candleriggs Street, Glasgow, WB (oprac. Cundall)



Ryc. 6. Symulacja systemu oddymiania garażu Ryde Gardens, Sydney, Australia (oprac. Cundall)

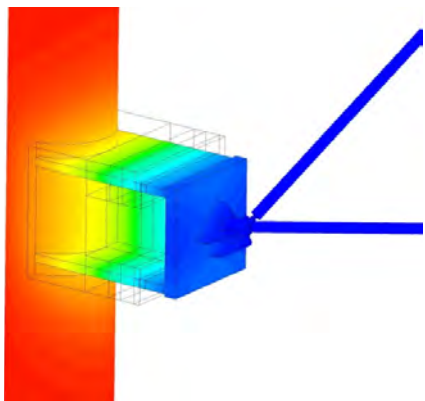
Ryc. 7. Przykład analizy rozchodzenia się zanieczyszczeń w budynku laboratorium, Keele University, WB (oprac. Cundall). Analiza pozwoliła na minimalizację wpływu zanieczyszczeń z kominów lub wywiewów wentylacyjnych na otoczenie i ich niewrażliwe lokalizacje (czerpnie powietrza czy otwieralne okna)



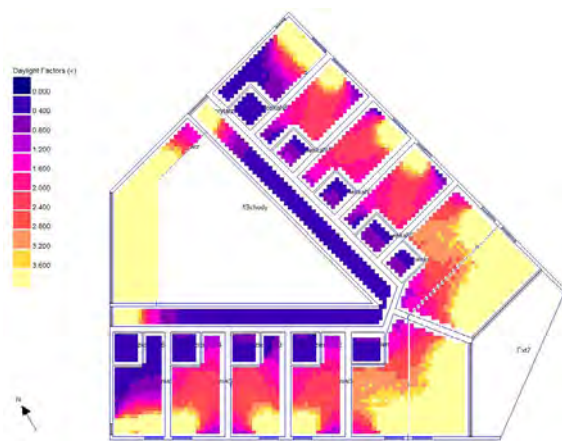
Analiza sprawności wentylacji naturalnej pod kątem przepływu powietrza wywołanego działaniem wiatru i różnicą temperatur oraz potencjału chłodzenia (także w trybie dzień i noc) (ryc. 4).

Analiza komfortu przechodniów. Analiza przepływu powietrza w terenie zabudowanym oraz ocena oddziaływania powstających budynków na komfort przechodniów, np. wykonana przy wykorzystaniu jednej z dostępnych metodologii [5]. Pozwala to zapewnić odpowiedni komfort dookoła budynków, a zwłaszcza w strefach rekreacyjnych (ryc. 5).

Analiza sprawności systemów oddymiania lub transportu i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Poprzez wykonanie dynamicznych symulacji obrazujących rozprzestrzenianie się dymu/zanieczyszczeń/wilgoci możliwa jest ocena zagrożenia oraz ocena sprawności systemów wentylacyjnych służących do oddymiania lub transportu zanieczyszczeń z parkingów, stacji kolejowych itd. (ryc. 6, 7).



Ryc. 8. Przykład symulacji ryzyka kondensacji i mostków cieplnych centrum handlowe w Wielkiej Brytanii (oprac. Cundall)



Ryc. 9. Przykład analizy doświetlenia wnętr światłem dziennym Spa hotel koło Piwnicznej, projekt Studio EL (oprac. Cundall)

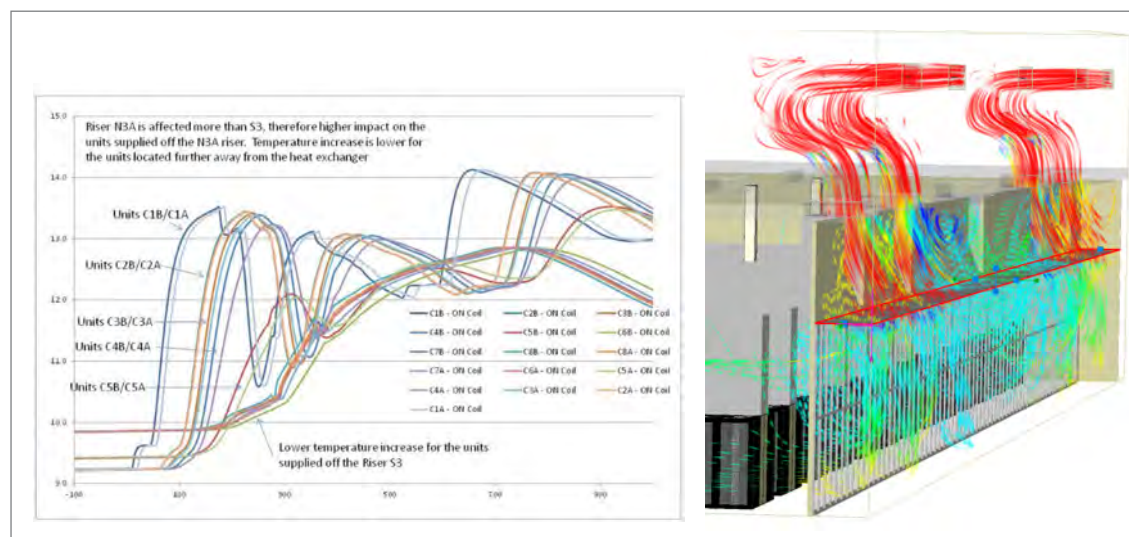
Ryc. 10. Przykład symulacji funkcjonowania centrum przetwarzania danych Data Center, Wielka Brytania (oprac. Cundall)

Analiza mostków cieplnych i ryzyka kondensacji. Analiza 3D elementów budowlanych pozwalająca obliczyć przepływ energii/wilgoci przez przegrody budowlane oraz wynikający z tego rozkład temperatur i ryzyko kondensacji (ryc. 8).

Analiza doświetlenia wnętr światłem dziennym pod kątem intensywności, równomierności i kontrastów (minimalizacja olśnienia). Doświetlenie światłem dziennym może być wykorzystane w celu optymalizacji rozplanowania przestrzeni wewnątrz budynku, fasady czy systemów przeciwsłonecznych. Analiza może też być stosowana w optymalizowaniu algorytmów kontroli ustawienia żaluzji i światła sztucznego (ryc. 9).

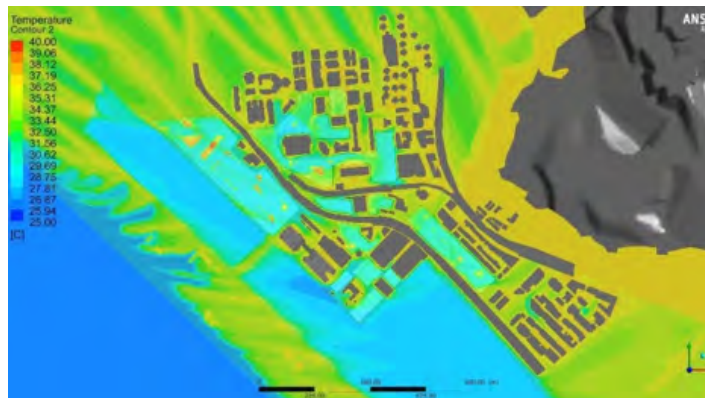
Optymalizacja podzespołów systemu wentylacji, ogrzewania i chłodzenia. Specjalistyczna analiza sprawności systemu chłodzenia, sprawności energetycznej, równomierności rozprowadzania powietrza do poszczególnych podzespołów, analiza funkcjonowania maszynowni z oszacowaniem ryzyka recyrkulacji ciepła odpadowego (ryc. 10).

Ocena oddziaływania promieniowania słonecznego na otoczenie budynków, w celu minimalizacji efektu miejskiej wyspy ciepła – uwzględnia wpływ nasłonecznienia, wiatru, doboru materiałów oraz wykorzystania roślin (ryc. 11).





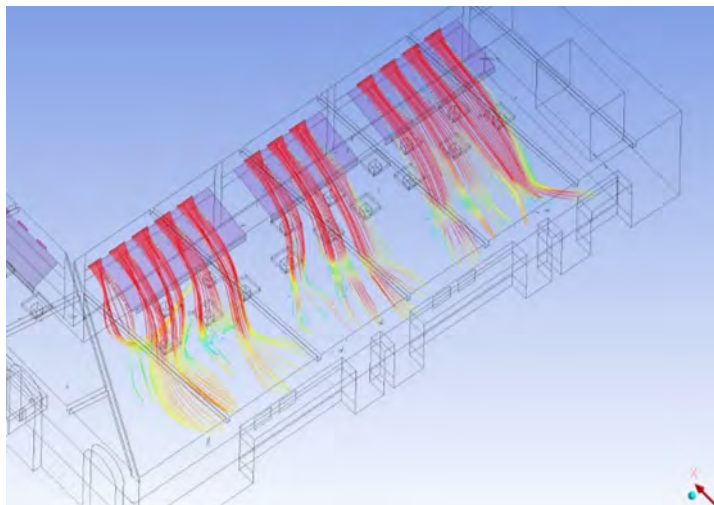
Ryc. 11. Przykład analizy wpływu terenów zielonych na efekt miejskiej wyspy ciepła Hong Kong (oprac. Cundall)



Analiza sprawności wentylacji mechanicznej, systemów chłodzenia i ogrzewania. Symulacja pozwala zweryfikować równomierność wentylacji, prędkość powietrza i intensywność cyrkulacji powietrza oraz rozkład temperatury (ryc. 12).

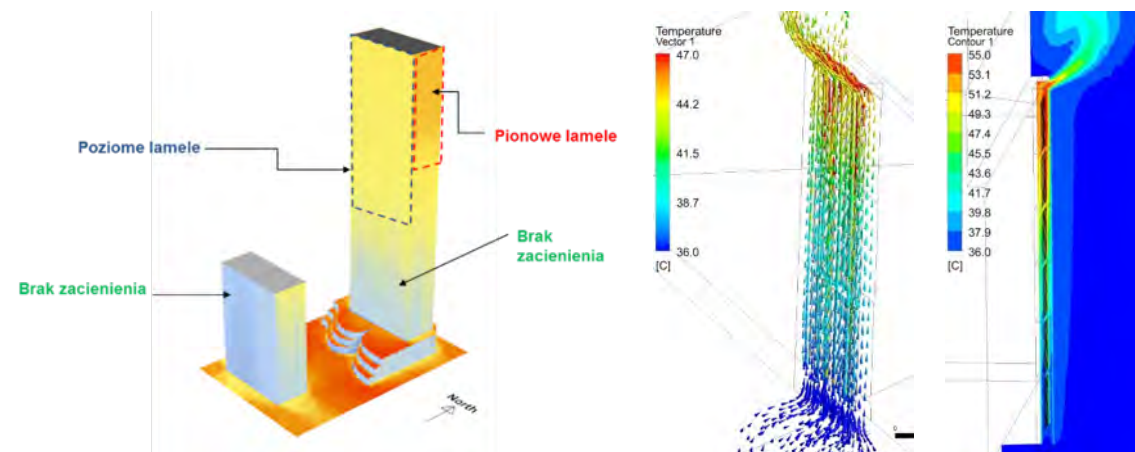
Optymalizacja fasady budynku pod względem jej parametrów i wpływu na komfort wewnątrz w okresie zimy i lata oraz zużycie energii (ryc. 13).

Powyższe zestawienie nie stanowi wyczerpującej listy i w zależności od funkcji, lokalizacji czy wielkości budynku wymagane będą potencjalnie dodatkowe symulacje lub analizy.



Ryc. 12. Przykład analizy cyrkulacji powietrza wewnątrz pomieszczeń – budynek biurowy, Warszawa (oprac. Cundall)

Ryc. 13. Wizualizacja analizy doboru systemu przeciwsłonecznego (Shanghai), analiza termiczna ściany dwuwarstwowej New Children Hospital, Perth (oprac. Cundall)



5.3. Rodzaje specjalistycznych narzędzi symulacyjnych

W zależności od stopnia zaawansowania projektu, a także problemu do rozwiązania, potrzebne są odpowiedzi na różnym poziomie ogólnikowości. Jako przykład postużyć może doświetlenie wnętrza. Na etapie wstępnej koncepcji architektonicznej celem będzie ukształtowanie bryły budynku, bez uwzględnienia detali fasady czy rozplanowania wnętrza. W tej fazie niezbędne jest więc udzielenie relatywnie szybkiej odpowiedzi na pytanie o to, która z możliwych opcji kształtu i formy budynku najlepiej będzie spełniać kryteria doświetlenia wnętrza światłem dziennym oraz jakie parametry fasad lub rozplanowania wnętrza będą konieczne. Dopiero na późniejszych etapach projektowych będzie można zastosować dokładniejsze narzędzia w celu potwierdzenia, czy ostateczna propozycja spełnia określone kryteria.

W zależności od oczekiwanego stopnia dokładności odpowiedzi można dopasować najlepsze narzędzia symulacji. Proponuje się następujące rozróżnienie stopnia dokładności symulacji i etap wykorzystania symulacji w procesie projektowym:

Symulacje koncepcyjne: ich celem jest przeanalizowanie opcji projektowych w sposób uproszczony relatywnie szybko, tak aby móc skierować decyzje we właściwą stronę. Efektem nie jest dokładna wartość końcowego wyniku, ale porównanie i wybór opcji obciążonej mniejszym ryzykiem niespełnienia kryterium. Nie ma jednego narzędzia realizującego dany wymóg w sposób idealny, dlatego dobór narzędzi zależy od wielu czynników, takich jak aspiracje zespołu projektowego względem budynku, wielkość inwestycji, zadane kryterium analizy, preferencje specjalisty. Najczęściej stosowanymi narzędziami na tym etapie są:

- modelowanie parametryczne [6] – celem modelowania parametrycznego w tej fazie procesu inwestycyjnego jest wykorzystanie dostępnej geometrii budynku, jej obróbka parametryczna i optymalizacja w celu spełnienia wymagań (np. maksymalne doświetlenie, minimalny wpływ na otoczenie i maksymalna powierzchnia użytkowa),
- uproszczone analizy numerycznej mechaniki płynów (computational fluid dynamic – CFD) – celem symulacji CFD jest także uproszczona konwersja dostępnej geometrii budynku lub jego kompleksu i analiza kształtu lub formy pod kątem spełnienia kryteriów (np. miejska wyspa ciepła czy komfort przechodniów),
- dynamiczne analizy energetyczne, doświetlenia wnętrza z wykorzystaniem uniwersalnych narzędzi dynamicznych modeli symulacyjnych [1, 4] – zakłada się reprezentację rozplanowania wnętrza, detali fasad czy systemu HVAC na potrzeby wstępnych analiz,

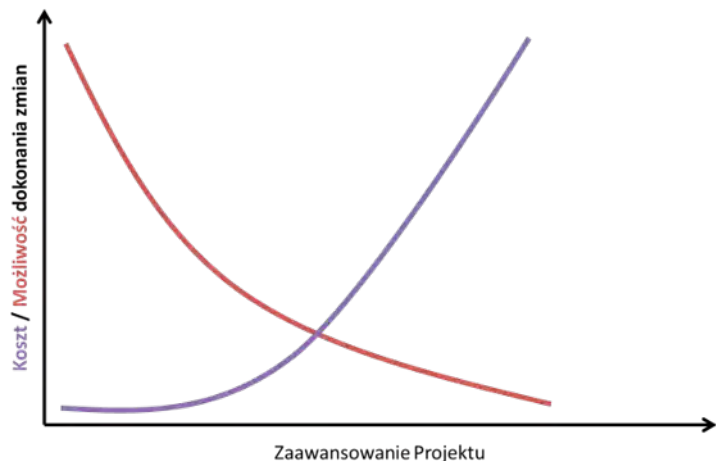
- arkusze kalkulacyjne lub normatywne statyczne programy obliczeniowe opisujące analizowane kryterium w stopniu wystarczającym na tym etapie projektowym.

Symulacje detaliczne: ich celem jest rozpatrzenie analizowanego kryterium w dużym uszczegółowieniu, tak by wynik jak najbardziej odpowiadał końcowemu rzeczywistemu zachowaniu się budynku. Analizy te muszą więc uwzględnić odpowiednio większą liczbę parametrów obiektu: architektury, instalacji, fasad, otoczenia obiektu czy jego sposobu użytkowania (funkcji pomieszczeń, profilu użytkowania budynku, pracy sprzętu pomocniczego, pracy urządzeń technologicznych, obecności ludzi, sztucznego oświetlenia itd.). Często narzędzia stosowane w tej fazie prac mogą się pokrywać z narzędziami wykorzystanymi we wczesnych etapach projektowych. W takim przypadku istniejący uproszczony model czy geometria jest odświeżana i uszczegółowiana elementami wymaganymi na danym etapie. Symulacje dynamiczne lub narzędzia numerycznej mechaniki płynów (CFD) mogą mieć zastosowanie zarówno we wcześniejszych, jak i późniejszych etapach projektowych, natomiast narzędzia stworzone do analiz koncepcyjnych (modelowanie parametryczne, uproszczone arkusze kalkulacyjne itd.) nie spełnią swojej funkcji na etapie szczegółowym.

Obliczenia normatywne: ich celem jest potwierdzenie, czy projekt spełnia warunki techniczne oraz normy branżowe wymagane w procesie uzyskiwania pozwolenia na budowę lub użytkowanie budynku. Narzędzia, metodologia oraz proces często opisane są w odpowiednich rozporządzeniach, wytycznych lub normach i nie są omawiane w dalszej części tego opracowania.

5.4. Symulacje a koszty budynku

Wykorzystanie symulacji powinno być równoznaczne z procesem optymalizacji budynku. W przypadku braku potrzeby optymalizacji i godzenia ze sobą przeciwnych kryteriów lub też braku konieczności wykraczania poza „strefę komfortu” projektantów (sytuacja, w której mają oni odpowiednie doświadczenie i wiedzę, by wybrać odpowiednią opcję bez symulacji) zastosowanie zaawansowanych symulacji nie ma większego sensu. Koszty związane z przeprowadzeniem procesu optymalizacji i wykorzystaniem symulacji muszą więc być dopasowane do rodzaju i wielkości inwestycji oraz kryteriów projektu. Wymagania dla typowego domku jednorodzinnego, a co z tym się wiąże koszty symulacji, nie powinny być porównywalne z kosztami symulacji dla dużego centrum handlowego. Oznacza to, że liczba kryteriów, sposób ich spełnienia i wymogi względem narzędzi symulacyjnych w obu przypadkach nie powinny być takie same.



Ryc. 14. Wykres obrazujący możliwości wprowadzania zmian w projekcie versus ich koszty (oprac. W. Stec w oparciu o PMI [7])

Dodatkowo, koszty poniesione na symulację i optymalizację powinny z zasady zwrócić się poprzez obniżone koszty inwestycyjne, koszty zużycia energii czy wyższą jakość budynku, a przez to zwiększoną jego żywotność. Wyjątkiem są symulacje wykonane w celu potwierdzenia spełnienia wymogów formalnych.

Pytanie, jakie się zatem nasuwa, dotyczy nie tyle rzeczywistego kosztu wykonania symulacji, ile kosztu i celów projektu, jakie mają być osiągnięte.

Koszty procesu optymalizacji mogą być więc zminimalizowane w kontekście otrzymanych zysków przez:

- wyznaczenie jasnych celów i wymagań dla projektu (pod kątem np. energii, komfortu, kosztów),
- dopasowanie doboru narzędzi i procesu do stopnia trudności stawianych kryteriów, wielkości i rodzaju inwestycji,
- wybranie właściwego czasu przeprowadzania procesu optymalizacji – idealnie jest rozpocząć proces na etapie koncepcji, kiedy wprowadzanie zmian w projekcie obciążone jest niższymi kosztami (ryc. 14).

Dzięki postępowaniu zgodnie z powyższymi wyznacznikami możliwe będzie wykorzystanie pełnego potencjału projektu, wynikającego z zastosowania symulacji i optymalizacji przy jednoczesnym zminimalizowaniu kosztów.

5.5. Zawód: specjalista do spraw symulacji

Aby proces optymalizacji został przeprowadzony pomyślnie, od użytkownika symulacji wymagane są różne umiejętności i kompetencje, w zależności od stopnia zaawansowania wykorzystywanego narzędzia.

Podstawowym wymogiem jest odpowiednie przygotowanie teoretyczne. Pozwala ono na zrozumienie zagadnień, możliwości doboru i dopasowania narzędzi do specyfiki projektu oraz na dobór właściwych ustawień w modelu symulacyjnym. Najważniejsze jednak, iż odpowiednie podstawy teoretyczne pomagają krytycznie zweryfikować wyniki symulacji pod kątem ich poprawności. Brak takiej wiedzy może skutkować niewłaściwym użyciem narzędzi i ustawień modelu, a w konsekwencji nieumiejętną oceną wyników symulacji. Oznacza to, że znajomość narzędzi symulacyjnych nie jest jednoznaczna z możliwością wykonania zakładanej analizy w sposób wiarygodny i optymalny.

We właściwym przygotowaniu analizy pomocne jest również doświadczenie specjalisty w przeprowadzaniu danego rodzaju symulacji oraz jego zdolności analityczne. Jak w każdej innej dziedzinie, odpowiednie doświadczenie pozwala na szybsze i dokładniejsze zrealizowanie powierzonego zadania.

Symulacje w zakresie zużycia energii w budynku powinny być zatem przeprowadzone przez osobę rozumiejącą sposoby, rodzaje i zależności zużycia energii w budynkach. Doświadczenie pozwoli na rozróżnienie budynków o różnych lokalizacjach, funkcjach i parametrach.

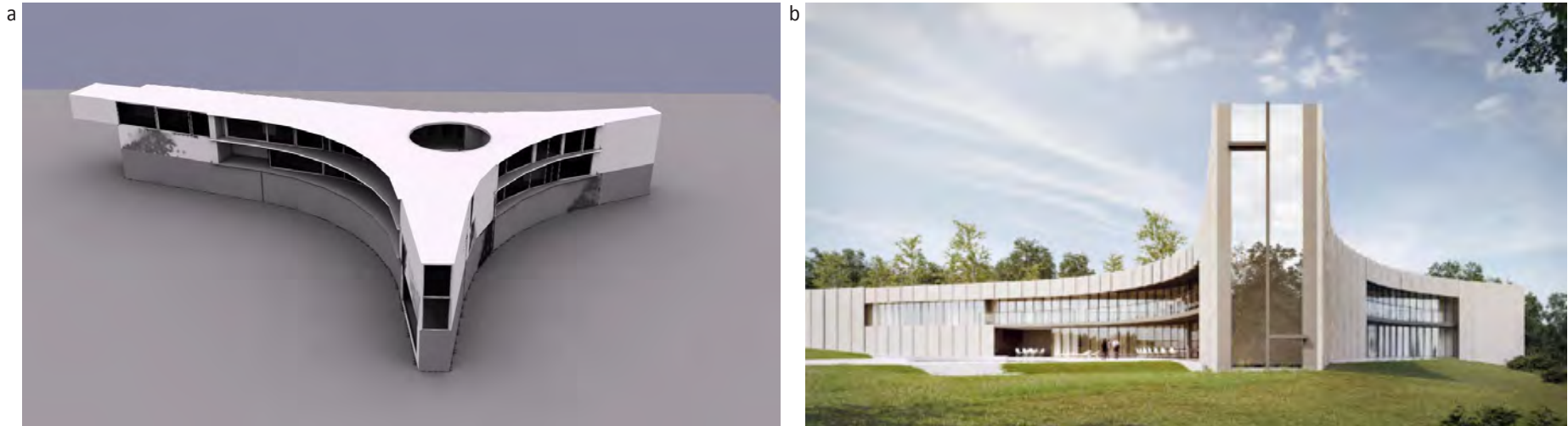
W przypadku symulacji doświetlenia wewnątrz wymagane jest zrozumienie korelacji pomiędzy źródłem światła bezpośredniego i rozproszonego, wielkością, orientacją i parametrami fasady, materiałami wykończenia a intensywnością oświetlenia pomieszczeń. Podobne reguły dotyczyć będą analiz komfortu, wiatru, wentylacji naturalnej, wykorzystania elementów pasywnych w budynkach itd.

Jak podają Yan [8] oraz Hensen i Lamberts [9] wzorcowy proces przeprowadzenia analizy z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych przez specjalistę powinien wyglądać następująco:

- zapoznanie się z problemem będącym przedmiotem oceny – wymaga to zrozumienia problemu, celów projektu i badanych zjawisk, potencjalnych rozwiązań,
- dobór najbardziej optymalnej metodologii, która uwzględnić będzie poziom szczegółowości, zakładaną dokładność obliczeń i poziom odwzorowania budynku czy sytuacji, także najbardziej optymalne narzędzie symulacyjne,
- analiza z wykorzystaniem symulacji oraz jej weryfikacja przez osobę o odpowiednich kwalifikacjach,
- opracowanie wyników, wyciągnięcie wniosków oraz zaproponowanie środków zaradczych,
- przygotowanie zestawienia wyników, wniosków i zaleceń dla zespołu projektowego,
- potencjalne wykonanie kolejnej iteracji procesu w celu optymalizacji projektu lub rozwiązania problemu.

5.6. Przykład wykorzystania symulacji

Poniżej przedstawiono przykładowe zastosowanie procesu optymalizacji projektu z wykorzystaniem symulacji dla wielopokoleniowej rezydencji mieszkalnej. Budynek zaprojektowany został przez pracownię PAG Pracownia Architektury Głównicki. Budynek usytuowany jest na wzgórzu w terenie podmiejskim. Całkowita powierzchnia wynosi 1500 m² i obejmuje część mieszkalną



Ryc. 15. Projekt rezydencja prywatna: a) widok modelu symulacyjnego (oprac. Cundall); b) widok (wizualizacja PAG Pracownia Architektury Głowacki)

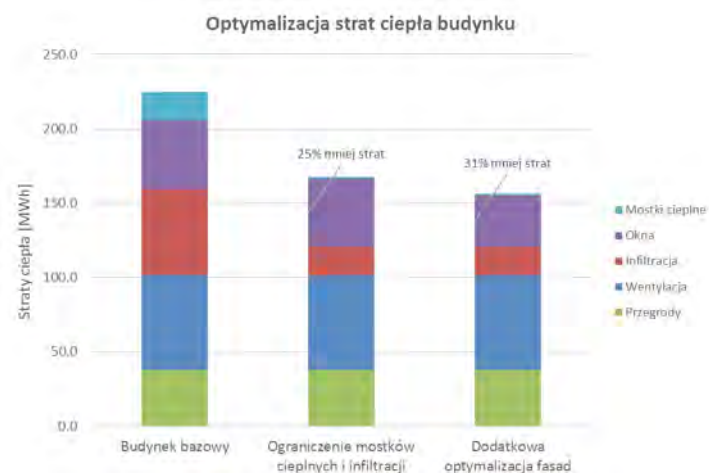
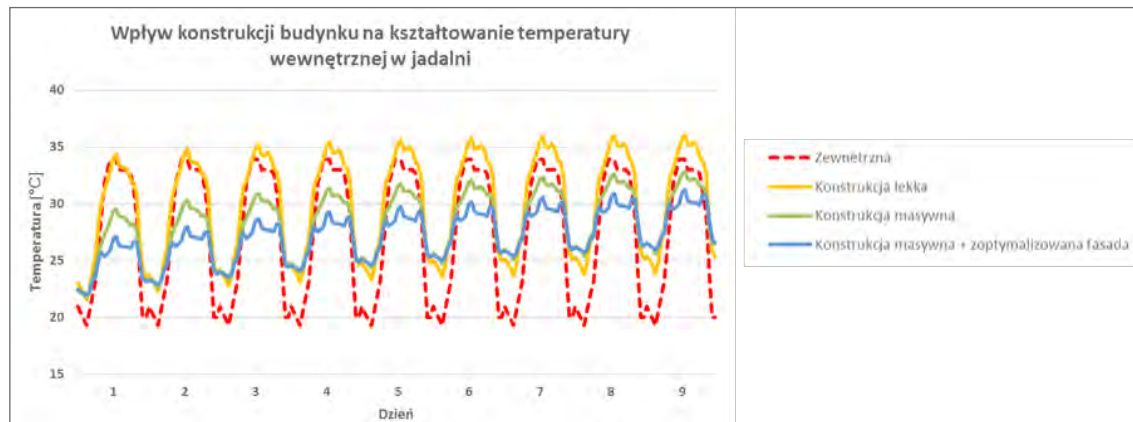
z wydzielonymi apartamentami, częścią wspólną z salonem, jadalnią, holem i biblioteką oraz częścią rekreacyjną z basenem, siłownią, bawialnią i kaplicą (ryc. 15).

Powodem uwzględnienia optymalizacji i symulacji w projekcie budynku były specyficzne wymagania postawione przez inwestora, a mianowicie:

- budynek ma zapewnić maksymalny komfort cieplny w lecie – założono następujące warunki komfortu:
 - temperatura wewnątrz budynku w okresie gorącego lata będzie zawsze o minimum 5° niższa niż temperatura na zewnątrz,
 - temperatura wewnątrz budynku nie przekroczy poziomu 27°C .
- budynek ma osiągnąć powyższe parametry komfortu przy minimalizacji zastosowania klimatyzacji oraz wentylacji mechanicznej, preferowana jest wentylacja naturalna,
- budynek ma osiągnąć wysoki standard zużycia energii, odpowiadający klasie energetycznej NF30 (budynek niskoenergetyczny),
- pomieszczenia użytkowe (salon, sypialnie, kuchnia, jadalnia) mają charakteryzować się wysokim poziomem doświetlenia światłem dziennym, o współczynniku DF w przedziale 2–3%.

Aby spełnić powyższe wymagania, zaproponowano możliwie największe wykorzystanie elementów pasywnych budynku w postaci masywnych wewnętrznych ścian i stropów (wyeksponowanych

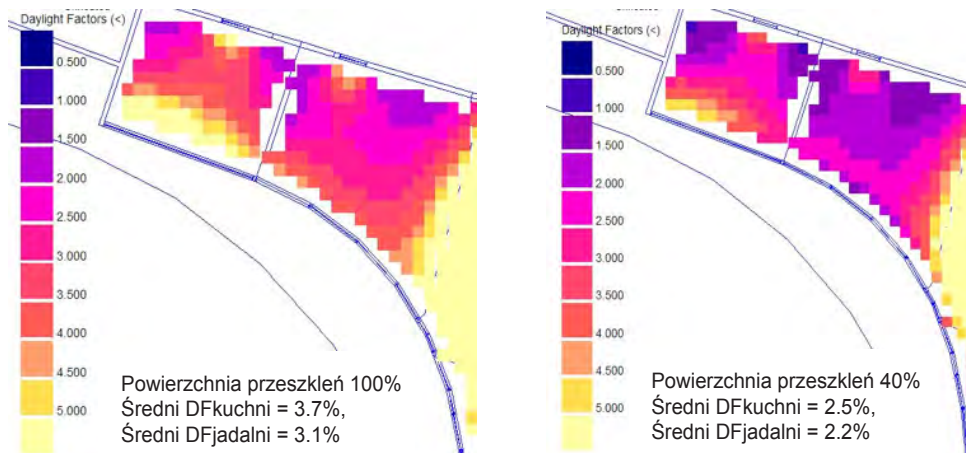
Ryc. 16. Rozkład temperatury wewnętrznej w szczycie letnim w zależności od opcji projektowej (oprac. Cundall). Obrazuje on wpływ masy budynku i minimalizacji zysków słonecznych na temperaturę wewnątrz podczas długotrwałych upałów

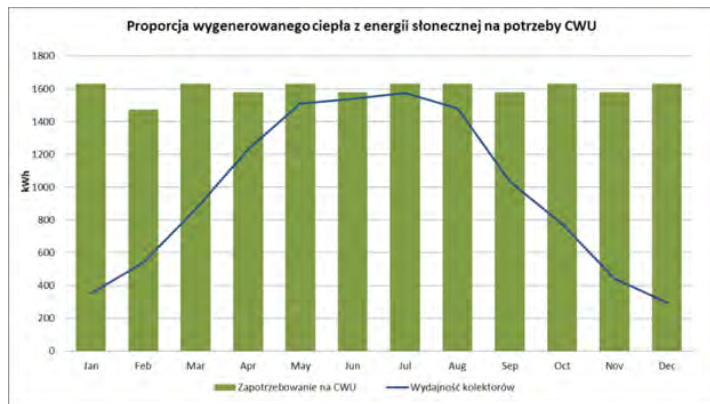


Ryc. 17. Obliczeniowe straty ciepła dla budynku w zależności od opcji projektowej. Zakładany pierwotny udział balkonów i tarasów został na podstawie powyższego wykresu znacznie ograniczony (oprac. Cundall)

Ryc. 18. Wizualizacja wyników doświetlenia wnętr światłem dziennym. Na ich podstawie zaproponowano zmniejszenie wielkości okien w celu zminimalizowania zysków słonecznych i strat ciepła (oprac. Cundall)

dla ułatwienia kontaktu z powietrzem wewnętrznym dla stabilizacji temperatury), dobrej jakości izolacji ścian zewnętrznych, optymalizacji fasad w celu zapewnienia odpowiedniego stopnia doświetlenia wnętr i minimalizacji zysków słonecznych oraz wykorzystania rozplanowania budynku dla cyrkulacji powietrza wymuszonej wentylacją naturalną (efekt kominowy oraz wpływ wiatru). Powyższe elementy uwzględnione zostały w symulacji dynamicznej budynku oraz symulacji





Ryc. 19. Porównanie miesięcznego zapotrzebowania CWU z potencjałem generowania ciepła z kolektorów słonecznych (oprac. Cundall)

doświetlenia światłem dziennym, przez co wyznaczono dla każdego wariantu poziom zużycia energii, komfortu wewnątrz i stopnia doświetlenia światłem dziennym. Dodatkowo w symulacjach zużycia energii przewidziano wiele opcji uwzględniających źródło ciepła (gaz, biomasa, pompa ciepła), sposób wentylacji (różny zakres wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła lub gruntowego wymiennika ciepła) oraz zastosowanie źródeł energii odnawialnej. Proces optymalizacji przeprowadzono na etapie koncepcji budynku przy dużym zaangażowaniu inwestora oraz architekta, dzięki czemu udało się przedstawić kilka opcji, przeanalizować je i przedyskutować oraz wybrać w sposób najbardziej świadomy najlepiej pasującą do założeń budżetowych i spełniającą wymagania inwestora.

Wybrane wyniki analizy pokazano w tabeli 2 i na rycinach 16–19.

Dzięki przeprowadzeniu powyższych analiz na etapie koncepcji architektonicznej i wielobranżowej udało się zoptymalizować zarówno formę budynku, jak i jego fasady oraz dopasować najlepszy system wentylacji i chłodzenia. Zaproponowane opcje zostały z sobą porównane, aby inwestor mógł dokonać świadomego wyboru rozwiązań dla budynku. Jako wynik ustalono kluczowe elementy

Tab. 2. Wyniki całorocznych analiz komfortu termicznego dla wybranej opcji projektowej omawianego budynku (oprac. Cundall)

ZYSKI CIEPŁA NORMALNE					
NAZWA POMIESZCZENIA	ROZWIĄZANIA BUDYNKU				
	konstrukcja budynku lekka, wentylacja naturalna	konstrukcja budynku ciężka, wentylacja naturalna	konstrukcja budynku ciężka, wentylacja hybrydowa	konstrukcja budynku ciężka, wentylacja naturalna, zoptymalizowana fasada	konstrukcja budynku ciężka, wentylacja hybrydowa, zoptymalizowana fasada
jadalnia	niedopuszczalny	dyskusyjny	względny	względny	bardzo dobry
salon	niedopuszczalny	dyskusyjny	względny	bardzo dobry	bardzo dobry
sypialnia nieosłonięta	niedopuszczalny	dyskusyjny	dyskusyjny	bardzo dobry	bardzo dobry
sypialnia osłonięta	dyskusyjny	względny	względny	bardzo dobry	bardzo dobry

koncepcji oraz zestaw parametrów, które mają zostać spełnione przez budynek (np. wielkość i rodzaj przeszkleń, rodzaj izolacji, wykończenia wewnątrz, doboru i automatyki okien, rodzaj, zakres i sprawność systemu HVAC). Dodatkowy wysiłek związany z procesem optymalizacji pozwolił na skrócenie czasu poświęconego na proces decyzyjny oraz późniejsze etapy tworzenia dokumentacji projektowej.

Bibliografia

- [1] Awbi H.B., Parand F., Raslan R., *Application Manual 11:2015: Building performance modelling*, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London 2015.
- [2] Nguyen A.-T., Reiter S., Rigo P., *A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis*, „Applied Energy” 2014, Vol. 113, s. 1043–1058.
- [3] Evins R., *A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2013, Vol. 22, s. 230–245.
- [4] Bazjanac V., Maile T., Rose C. et al., *An assessment of the use of building energy performance simulation in early design*, [w:] *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14–16 November, 2011*, s. 1579–1585, http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2011/P_1531.pdf, dostęp 13.03.2020.
- [5] Lawson T.V., Penwarden A.D., *The effects of wind on people in the vicinity of buildings*, [w:] *Proceedings 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Cambridge University Press, Heathrow 1975, s. 605–622.
- [6] Steinø N., Veirum N.E., *A parametric approach to urban design: tentative formulations of a methodology*, [w:] *eCAADe 23: Digital design: the quest for new paradigms*, Technical University of Lisbon, Lisbon 2005, s. 679–686, http://papers.cumincad.org/data/works/att/2005_679.content.pdf, dostęp 10.09.2019.
- [7] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge – Fifth Edition*, PMI Book Service Center, Atlanta 2013.
- [8] Yan W., *Parametric BIM SIM: Integrating Parametric Modeling, BIM, and Simulation for Architectural Design*, [w:] Kensek K.M., Noble D.E. (eds.), *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2015, s. 57–79.
- [9] Hensen J.L.M., Lamberts R. (eds.), *Building performance simulation for design and operation*, Spoon Press, Oxon 2011.



WOJCIECH STEC

➡ Doktor inżynier, dyrektor firmy inżynierskiej Cundall Polska, będącej filią Cundall Global (gdzie pracuje od 2006 roku) – jednej z największych firm inżynierskich na świecie specjalizującej się w zielonym budownictwie. Jest absolwentem Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej oraz wydziału Mechanical Engineering Uniwersytetu Technicznego w Delft w Holandii (ME TU Delft), który ukończył, otrzymując tytuł doktora nauk w specjalności projektowania fasad dwuwarstwowych, wentylacji naturalnej i budynków pasywnych. Współpracuje z Wydziałem Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej oraz Wydziałem Architektury Politechniki Wrocławskiej, biorąc udział w wykładach, warsztatach naukowych i w działalności koła naukowego eko_studio.

Specjalizuje się w zrównoważonym budownictwie, optymalizacji budynków pod kątem zużycia energii, komfortu oraz sprawności systemów HVAC (Heating, Ventilation Air, Conditioning, czyli inżynierii sanitarnej). Jest specjalistą w wykorzystaniu zaawansowanych symulacji w projektowaniu, w tym narzędzi CFD (Computational Fluid Dynamics, czyli numerycznej mechaniki płynów). Ma bogate doświadczenie w projektowaniu budynków pasywnych różnego typu i przeznaczenia zlokalizowanych w wielu krajach na świecie, w różnych strefach klimatycznych oraz budynków pełniących różne funkcje, m.in. szkół, uniwersytetów, hoteli, szpitali, centrów przetwarzania danych. Uczestniczył w optymalizacji ponad 50 projektów pod kątem redukcji negatywnego oddziaływania na środowisko, komfortu użytkowników oraz analiz aerodynamicznych i komfortu przechodniów. Niektóre z nich wygrały nagrody w międzynarodowych konkursach architektonicznych.

Jest autorem ponad 20 publikacji naukowych, w tym monografii pt. *Symbiosis of double skin facade and indoor climate installation* oraz artykułów w czasopiśmie „Energy and Buildings”, „Renewable Energy”. Występował i uczestniczył w wielu konferencjach naukowych o tematyce budownictwa zrównoważonego i blisko zeroenergetycznego. Zrzeszony w CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers, czyli Brytyjskiej Izbie Techniki Instalacyjnej). Czynnny approved professional w systemach BREEAM, LEED i WELL, w których przeprowadził kilkanaście certyfikacji.

6. Efektywność energetyczna i ekonomiczna budynków

KONRAD WITCZAK

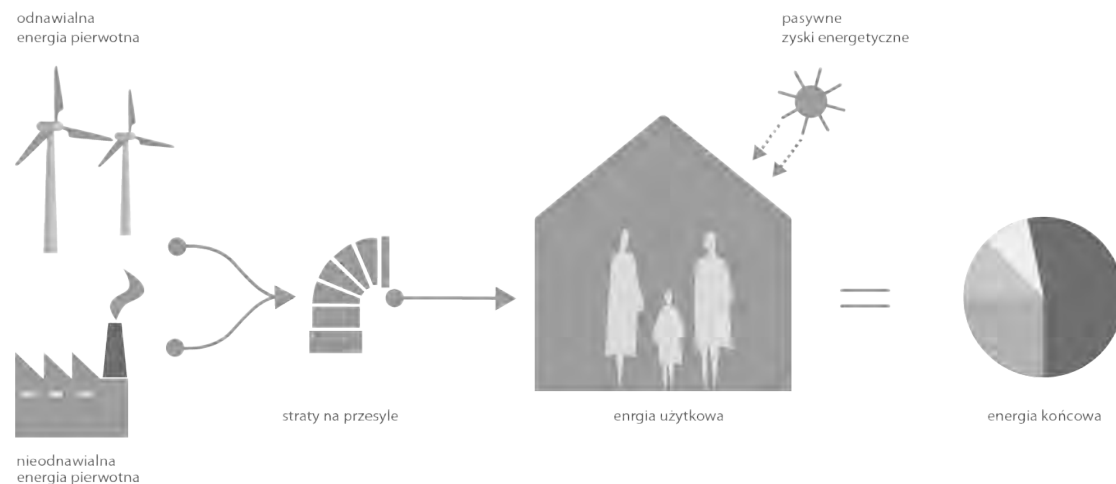
POLITECHNIKA ŁÓDZKA, WYDZIAŁ BUDOWNICTWA, ARCHITEKTURY I INŻYNIERII ŚRODOWISKA

W niniejszym rozdziale omówiono zagadnienia dotyczące efektywności energetycznej i ekonomicznej budynków z punktu widzenia cyklu życia, co pozwala na ocenę wpływu danej inwestycji na rozwój zrównoważony. Przedstawiono miary efektywności energetycznej z różnych poziomów jej bilansowania. Wskazano najważniejsze kroki w procesie projektowym i przybliżono wybrane programy komputerowe służące do podnoszenia efektywności energetycznej. Określono pojęcie cyklu życia budynku z punktu widzenia wielokryterialnych systemów oceny oddziaływania obiektów na środowisko, a także wskazano sposób obliczania jego kosztu.

6.1. Wprowadzenie

Efektywność energetyczna budynków jest pojęciem szerokim, związanym z energią i procesem jej przekształcania oraz zużywania na potrzeby budownictwa. Nie istnieje jedna formalna definicja budynków o wysokiej efektywności energetycznej lub budynków energooszczędnych. Efektywność energetyczna budynków może być odnoszona do różnych poziomów bilansowania energii (ryc. 1), np. całkowitej energii pierwotnej, nieodnawialnej energii pierwotnej, odnawialnej energii pierwotnej, energii końcowej, energii użytkowej (definicje energii podano w słowniku). Adekwatnie do poziomów bilansowania energii odnoszą się odpowiednie miary efektywności energetycznej budynków, na przykład:

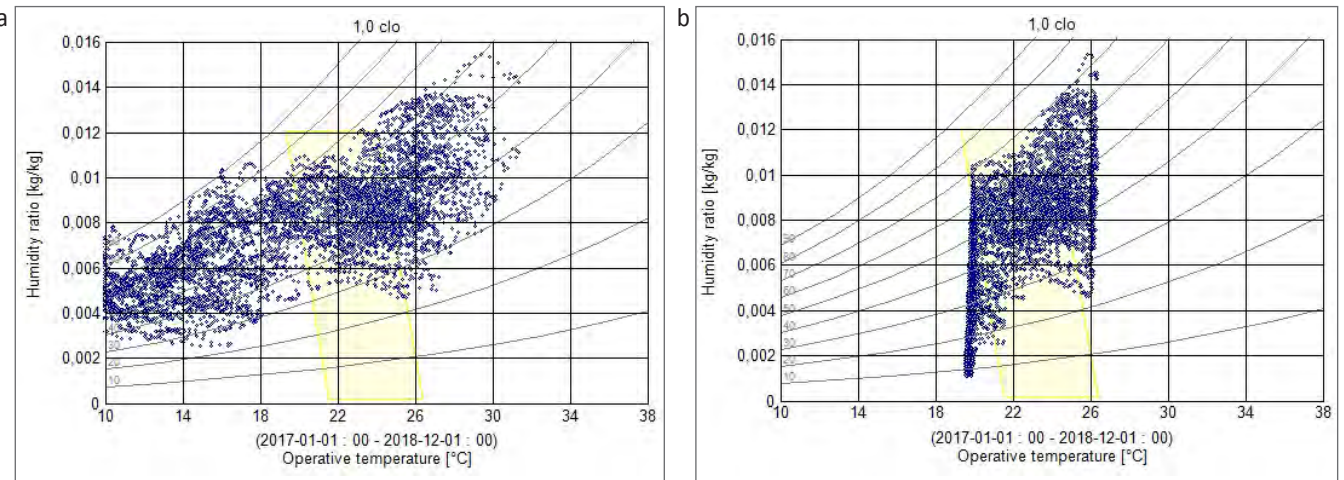
Ryc. 1. Granice bilansowania energii użytkowej, końcowej oraz pierwotnej (oprac. K. Witczak, rys. J. Kocharńska)



- definicja tzw. budynku pasywnego (według Instytutu Budownictwa Pasywnego w Darmstadt [1]) obejmuje m.in. wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i chłodzenia oraz wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną,
- w obowiązującym w Polsce rozporządzeniu o warunkach technicznych (WT) [2], jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, do określenia wymagań dotyczących racjonalnego użytkowania energii w budynkach zaleca się m.in. (oprócz współczynników przenikania ciepła) kryterium oparte na wskaźniku zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną,
- definicja budynków tzw. plus energetycznych opiera się na bilansie energii końcowej zużytej przez budynek na jego własne potrzeby i oddawanej na zewnątrz jak nadwyżka.

Pierwszym krokiem w projektowaniu budynków pod kątem ich wysokiej efektywności energetycznej powinno być ograniczanie zapotrzebowania na energię użytkową, co oznacza efektywne wykorzystanie tzw. technik pasywnych (zob. tom I, rozdział 3 i 4). Na rycinie 2a przedstawiono wyniki symulacji komfortu cieplnego dla pomieszczenia w budynku biurowym, po zastosowaniu tylko technik pasywnych. Z punktu widzenia efektywności energetycznej ideałem byłoby takie zaprojektowanie budynku, aby jedynie przy wykorzystaniu technik pasywnych wszystkie wyniki dotyczące komfortu cieplnego (punkty niebieskie na ryc. 2a i b) mieściły się w obrębie komfortu akceptowalnego przez użytkowników (pole żółte na ryc. 2a i b). W polskich warunkach meteorologicznych trudno jest jednak spełnić warunek zapewnienia odpowiedniego komfortu cieplnego przez

Ryc. 2. Wyniki symulacji rozkładu rocznych wartości temperatur operatywnych i wilgotności bezwzględnych powietrza wewnętrznego przy wykorzystaniu: a) tylko technik pasywnych; b) tylko technik aktywnych – systemu ogrzewania i chłodzenia (obliczenia wykonano programem WUFI Plus) (oprac. K. Witczak)



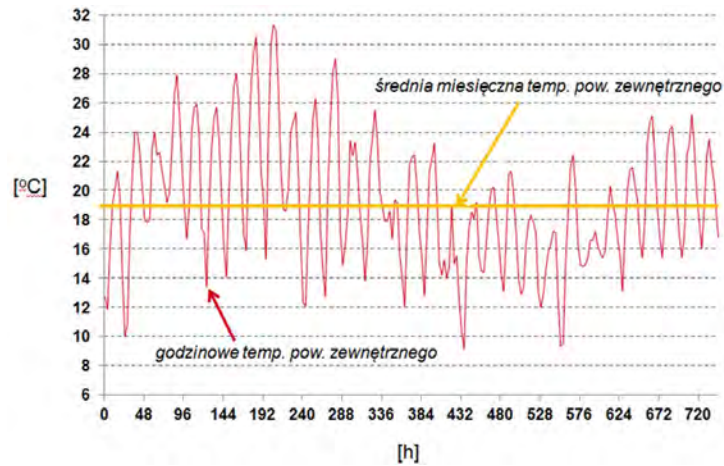
cały rok, stosując tylko techniki pasywne, w związku z czym przy niekorzystnych warunkach pogodowych (np. niskie lub wysokie temperatury powietrza zewnętrznego) wykorzystywane są techniki aktywne. Na rycinie 2b przedstawiono dane na temat komfortu cieplnego dla tego samego pomieszczenia biurowego, ale po uwzględnieniu działania systemu ogrzewania i chłodzenia. Drugim krokiem w projektowaniu budynków energooszczędnych, po ograniczeniu zapotrzebowanie na energię użytkową, powinno być zatem stosowanie wysokiej sprawności systemów aktywnych. W ten sposób zostaje ograniczone zapotrzebowanie na energię końcową. Jeśli w procesie projektowym uda się uwzględnić te dwa pierwsze kroki, tzn. ograniczyć zapotrzebowanie na energię użytkową i końcową, to wówczas łatwiej jest dobrać odnawialne źródła energii tak, aby przynajmniej częściowo pokryły zapotrzebowanie energetyczne obiektu.

Oprócz oceny wpływu technik pasywnych na poprawę komfortu użytkowania pomieszczeń należy także przeprowadzić ocenę ich opłacalności ekonomicznej. W ramach koncepcji zrównoważonego ocenę opłacalności ekonomicznej budynków wykonuje się zgodnie z zasadą oceny kosztów w cyklu życia inwestycji (Life Cycle Costing – LCC). Dopiero gdy wyniki przeprowadzonych wcześniej analiz dotyczących poprawy komfortu cieplnego i opłacalności ekonomicznej potwierdzą, że techniki pasywne okażą się nieefektywne, należy rozważyć zastosowanie technik aktywnych.

6.2. Wybrane programy komputerowe i metody służące do obliczenia efektywności energetycznej budynków

Istnieje bardzo wiele programów komputerowych wspomagających projektanta w obliczeniach zapotrzebowania budynków na energię: grzewczą, chłodniczą, oświetlenia, urządzeń pomocniczych itd. Podstawowe kryterium podziału tych programów, jakie można wprowadzić, to długość kroku czasowego stosowanego w obliczeniach. Najczęściej mamy do czynienia z programami wykorzystującymi metodę miesięczną (metoda bilansów miesięcznych) i programami symulacyjnymi opartymi na godzinowych lub krótszych krokach czasowych. Programy komputerowe należące do pierwszej grupy służą głównie do wstępnych, uproszczonych analiz energetycznych. Obecnie stosuje się je również do obliczania tzw. świadectw charakterystyki energetycznej budynków, gdyż właśnie na metodzie bilansów miesięcznych bazuje *Rozporządzenie w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków* [3, 4]. Najbardziej popularne w Polsce programy komputerowe służące do wykonywania takich charakterystyk energetycznych budynków to m.in.: Arcadia TERMO [5], CERTO [6], Audytor OZC [7], BuildDesk Energy Certificate [8].

Ponieważ programy te obliczają charakterystykę energetyczną budynku zgodnie z wyżej wymienionym rozporządzeniem w sprawie metodologii [3], uwzględniają zapotrzebowanie budynku na energię: grzewczą, chłodniczą (bez pełnej klimatyzacji, czyli bez energii związanej z nawilżaniem lub osuszaniem powietrza), ciepłej wody użytkowej, oświetlenia i tzw. urządzeń pomocniczych, jak m.in. pompy obiegowe, cyrkulacyjne, wentylatory w wentylacji mechanicznej. Niestety, ponieważ obowiązująca metodologia oparta jest na bilansach miesięcznych zapotrzebowania na energię, nie pozwala na uwzględnienie bardzo wielu ważnych czynników pozwalających na modelowanie budynków w sposób zbliżony do ich rzeczywistego zachowania i zapotrzebowania na energię. Metoda ta nie daje m.in. możliwości odwzorowania profili funkcjonowania wszelkiego rodzaju instalacji pracujących w zmiennych trybach dobowych lub tygodniowych, co jest powszechnie stosowane w przypadku wentylacji mechanicznej, systemów ogrzewania i chłodzenia wykorzystujących automatyczną regulację temperatury wewnętrznej. Miesięczna metoda obliczeń nie daje także możliwości uwzględniania zmiennych profili użytkowania budynków, zwłaszcza przy obliczeniach dotyczących wymaganego strumienia powietrza wentylacyjnego (w przypadku wentylacji mechanicznej) i bytowych zysków ciepła.



Ryc. 3. Średnie miesięczne i godzinowe wartości temperatur powietrza zewnętrznego w lipcu dla Warszawy na podstawie danych Typowego Roku Meteorologicznego (oprac. K. Witczak)

W WT występuje np. wymóg dotyczący maksymalnego współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego w okresie letnim ($g \leq 0,35$) [2]. Niestety brak możliwości uwzględniania dobowych zmian współczynnika g , np. dzięki zastosowaniu automatyki zacinającej, prowadzi do błędnych wyników przy obliczeniach zapotrzebowania budynku na chłodzenie. W przypadku obliczenia zapotrzebowania obiektu na energię do chłodzenia, metoda miesięczna w ogóle nie powinna być stosowana, gdyż wyniki uzyskiwane z takich obliczeń są sprzeczne z rzeczywistym zachowaniem budynku w okresie letnim. Spowodowane jest to tym, że w metodzie miesięcznej konsekwentnie stosuje się również średnie miesięczne dane pogodowe (ryc. 3). W każdej lokalizacji w Polsce średnia miesięczna wartość temperatury powietrza zewnętrznego w miesiącach letnich (czerwiec, lipiec, sierpień) nie przekracza 20°C . Na rycinie 3 przedstawiono przebieg temperatury powietrza zewnętrznego (wartości godzinowe i średnia wartość miesięczna) w lipcu dla Warszawy, według danych z Typowego Roku Meteorologicznego [9].

Nie da się nawet zgrubnie oszacować zapotrzebowania na chłodzenie w przypadku tak dużych różnic pomiędzy średnią temperaturą miesięczną a wartościami godzinowymi temperatury powietrza zewnętrznego, w których występuje zapotrzebowanie na chłodzenie budynku.

Kolejną grupą programów wspierających pracę projektantów przy obliczeniach dotyczących efektywności energetycznej budynków są programy symulacyjne wykorzystujące godzinowe lub krótsze kroki obliczeniowe. W ich przypadku dokładność i zakres zarówno wprowadzania i definiowania danych wejściowych, jak również uzyskiwanych wyników są dużo większe niż w programach opartych na metodach miesięcznych. Programy symulacyjne wykorzystujące dane godzinowe są również trudniejsze w obsłudze i wymagają sporej wiedzy na temat modelowanych zjawisk. Dają jednak dużo większą elastyczność, pozwalając na bardzo precyzyjne przewidywanie zapotrzebowania na energię projektowanych budynków czy też analizowanie wpływu rozwiązań poprawiających efektywność energetyczną budynków istniejących (zob. rozdział 5).

Programy symulacyjne pozwalają na:

- uwzględnianie w obliczeniach rzeczywistych godzinowych danych pogodowych obejmujących m.in. temperatury i wilgotność powietrza zewnętrznego, wartości promieniowania słonecznego bezpośredniego i rozproszonego, kierunek i prędkość wiatru, stężenie CO_2 w powietrzu zewnętrznym,
- równoczesne, sprzężone rozwiązanie warunków modelowanych stref cieplnych i odpowiedzi systemów cieplnych, wentylacji i klimatyzacji,

- obliczanie komfortu cieplnego użytkowników m.in. w oparciu o wskaźnik PMV (Predicted Mean Vote), PPD (Predicted Percentage Dissatisfied), temperaturę promieniowania przegród, temperaturę operatywną,
- obliczanie komfortu wizualnego użytkowników np. w oparciu o wskaźnik DF (Daylight Factor),
- obliczenia dotyczące jakości powietrza wewnętrznego (koncentracja CO₂ lub innych niekorzystnych dla zdrowia substancji),
- dokładne (godzinowe, dobowe, tygodniowe) modelowanie pracy systemów budynku (m.in. ogrzewania, chłodzenia, wentylacji mechanicznej, oświetlenia, urządzeń biurowych),
- uwzględnianie zmiennych parametrów pracy (np. sprawność, zużycie energii) modelowanych urządzeń lub części instalacji,
- wykorzystywanie obliczeń komputerowej dynamiki płynów (Computational Fluid Dynamics – CFD).

Do grupy programów symulacyjnych według Lidii Fedorowicz i innych [10] oraz Tadeusza Kuczyńskiego i innych [11] zaliczyć można następujące programy: EnergyPlus [12], TRNSYS [13], ESP-r [14], WUFI Plus [15] oraz Design Builder [16] i OpenStudio [17]. Dwa ostatnie jako silnik obliczeniowy wykorzystują program EnergyPlus.

Wskaźniki oceny efektywności energetycznej budynków zostały umieszczone w tzw. filarze środowiskowym, a więc w normie *Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania* [18]. Dotyczą one zużycia zarówno odnawialnej, jak i nieodnawialnej energii pierwotnej z podziałem na energię zawartą w surowcach wymaganych do wznoszenia danego budynku, jak i z wyłączeniem tej energii. Łącznie istnieją więc cztery rodzaje zużycia energii, które dla pełnej oceny energochłonności budynku (inwestycji) powinny uwzględniać wszystkie fazy cyklu życia budynku:

- zużycie odnawialnej energii pierwotnej, z wyłączeniem zasobów odnawialnej energii pierwotnej stosowanej w odniesieniu do surowców (wyrobów),
- zużycie zasobów odnawialnej energii pierwotnej stosowanej w odniesieniu do surowców (wyrobów),
- zużycie nieodnawialnej energii pierwotnej, z wyłączeniem zasobów nieodnawialnej energii pierwotnej stosowanej w odniesieniu do surowców (wyrobów),
- zużycie zasobów nieodnawialnej energii pierwotnej stosowanej w odniesieniu do surowców (wyrobów).

Bardzo często energię związaną z zastosowaniem konkretnych surowców (wyrobów), a więc także uwzględniającą nakłady energetyczne na ich produkcję, transport, utrzymanie oraz utylizację określa się jako tzw. energię wbudowaną (embodied energy). Przedstawiony wcześniej podział, według normy PN-EN 15978, dodatkowo uwzględnia to, że część energii wbudowanej może pochodzić ze źródeł odnawialnych, a część ze źródeł nieodnawialnych [18].

6.3. Cykl życia budynku w systemach oceny efektywności energetycznej i ekonomicznej

Obowiązujące obecnie w Polsce WT [2] dotyczące efektywności energetycznej budynków określają wymagane współczynniki przenikania ciepła dla przegród zewnętrznych, a także odnoszą się do zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną przez spełnianie wymagań ze względu na wskaźnik energii pierwotnej (EP). Nie uwzględniają wielkości zużycia odnawialnej energii pierwotnej, a więc nie można określić zużycia całkowitej energii pierwotnej. Dodatkowo należy także podkreślić, że wymagania te odnoszą się tylko do fazy użytkowania budynku związanej z zapotrzebowaniem na nieodnawialną energię pierwotną na cele ogrzewania, wentylacji, ciepłej wody użytkowej, chłodzenia, a w przypadku budynków niemieszkalnych także oświetlenia. Nie uwzględniają natomiast zużycia energii (pierwotnej nieodnawialnej i odnawialnej) potrzebnej m.in. na wyprodukowanie, dostarczenie, wbudowanie oraz utylizację i ewentualnie recykling materiałów niezbędnych do wzniesienia obiektu.

Znacznie szerzej do efektywności energetycznej budynków podchodzą wielokryterialne systemy oceny budynków takie jak m.in. DGNB, LEED i BREEAM. Ocena efektywności energetycznej budynków z punktu widzenia systemu DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) polega na porównaniu zapotrzebowania budynku zarówno na energię pierwotną nieodnawialną, jak i pierwotną odnawialną [19]. Dodatkowo system DGNB wymaga uwzględnienia w obliczeniach zapotrzebowania na energię pierwotną zużycia energii związanej z takimi etapami cyklu życia, jak wznoszenie, rozbiórka i utylizacja. Długość okresu użytkowania budynku, uwzględnianą w obliczeniach nakładów energii pierwotnej (odnawialnej i nieodnawialnej), przyjmuje się na poziomie 50 lat.

W czwartej wersji systemu LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) (LEEDv4) kategorię związaną z efektywnością energetyczną budynków nazwano „Energia i Atmosfera” (Energy and Atmosphere) [20]. Umożliwia ona uzyskanie aż 33 punktów na 110 możliwych do uzyskania łącznie

z wszystkich kategorii. „Energia i Atmosfera” składa się z 11 podkategorii, wśród których 4 stanowią wymagania wstępne. Podkategorie takie to m.in.: procedury odbioru i weryfikacji systemów związanych ze zużyciem energii, spełnienie wymagań minimalnych efektywności energetycznej, wyposażenie instalacji w urządzenia mierzące zużycie stosowanych nośników energii, ograniczenia dotyczące wykorzystania substancji niszczącej warstwę ozonową. Podkategorią najwyższej cenioną, bo aż na 18 punktów, jest „Optymalizacja efektywności energetycznej budynku” (Optimize energy performance). W jej ramach oceniany projekt otrzymuje tym więcej punktów, im ma większą redukcję zapotrzebowania na energię w porównaniu z wymaganiami minimalnymi. Optymalizacja efektywności energetycznej budynku musi być przeprowadzona za pomocą programów symulacyjnych. Ocena wykorzystania odnawialnych źródeł energii dokonywana jest natomiast na podstawie udziału pokrycia kosztów związanych ze zużyciem energii w budynku. Jedną z nowych podkategorii wprowadzonych w LEEDv4 jest także ta mówiąca o wykorzystaniu przez budynek tzw. technik DSR (Demand Side Response), czyli możliwości, jakie dają instalacje budynku w zarządzaniu stroną popytu. Techniki DSR wprowadza się głównie w celu odciążenia zewnętrznych systemów elektroenergetycznych w okresie ich szczytowego obciążenia poprzez redukcję lub przesunięcie dobowych pików zapotrzebowania budynku na moce do chłodzenia i ewentualnie ogrzewania.

W systemie BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) ocena efektywności energetycznej znajduje się w kategorii „Energia” (Energy), w której ramach zdefiniowano 9 podkategorii [21]. Podkategorią bezpośrednio związaną z optymalizacją energetyczną budynków jest „Redukcja zużycia energii oraz emisji dwutlenku węgla”. Redukcja ta dotyczy zapotrzebowania budynku na energię końcową i pierwotną. Ocena budynku w ramach pozostałych podkategorii obejmuje m.in.: monitoring zużywanych mediów, zastosowanie energooszczędnego oświetlenia i energooszczędnych środków transportu.

6.4. Opłacalność ekonomiczna obliczana jako koszt cyklu życia budynków

Oceną analogiczną do oceny właściwości środowiskowych budynków w cyklu życia (Life Cycle Assessment – LCA) jest analiza kosztów w cyklu życia (LCC). Obie metody, LCA i LCC, odnoszą się do tych samych etapów cyklu życia budynku (zob. informacje dodatkowe), a więc ogólnie do faz: wzniesienia, użytkowania i utrzymania, rozbiórki i utylizacji. Z tym że LCC jest „tylko” rachunkiem ekonomicznym obliczanym podczas trwania poszczególnych etapów istnienia budynku. Zasady przeprowadzania oceny ekonomicznych właściwości budynków, nowych oraz istniejących, omawia

norma PN-EN 16627 *Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena ekonomicznych właściwości użytkowych budynków – Metody obliczania* [22]. Norma ta ogranicza zakres oceny ekonomicznej tylko do samego budynku, bez uwzględniania kosztów towarzyszącej danemu budynkowi infrastruktury zewnętrznej, np. dróg dojazdowych czy sieci wodociągowych. Metoda obliczania kosztów w cyklu życia należy do metod dyskontowych. Kosztem całkowitym należy objąć sumę wartości bieżącej początkowych kosztów inwestycji, sumę kosztów utrzymania, eksploatacji, jak również kosztów ich usunięcia (definicje kosztów podano w słowniku).

W obliczeniach LCC, w myśl normy PN-EN 16627, przyjęcie długości okresu obliczeniowego może być uzgodnione z inwestorem [22].

Poniżej przedstawiono równanie służące do obliczenia kosztów całkowitych budynku przy założonym okresie obliczeniowym [23].

$$C_{g(\tau)} = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i(j)} \times R_{d(i)}) - V_{f,\tau(j)} \right]$$

gdzie:

τ – okres obliczeniowy w latach,

$C_{g(\tau)}$ – koszt całkowity w okresie obliczeniowym,

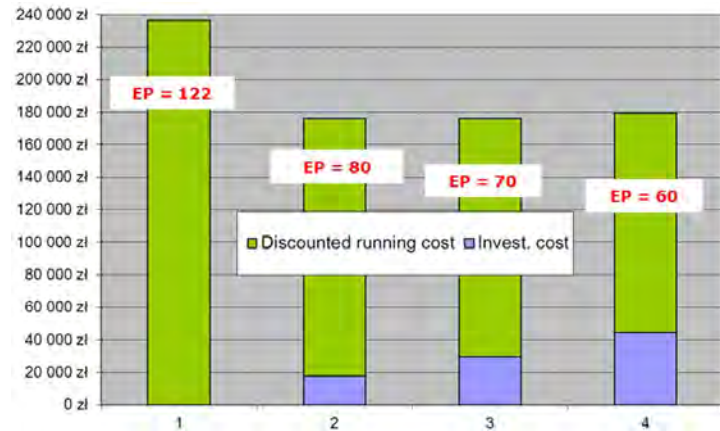
C_I – początkowe koszty inwestycji w odniesieniu do środka lub zestawu środków j ,

$C_{a,i(j)}$ – roczny koszt eksploatacji budynku w roku i po zastosowaniu środka lub zestawu środków j ,

$R_{d(i)}$ – współczynnik dyskontowy dla roku i w oparciu o przyjętą stopę dyskontową r .

$V_{f,\tau(j)}$ – wartość rezydualna środka lub zestawu środków j na koniec okresu obliczeniowego (zdyskontowana do roku zerowego),

Przez j zestaw środków należy rozumieć ulepszenia budynku, które prowadzą do zmniejszenia zapotrzebowania budynku na energię pierwotną. Za optymalne rozwiązania służące określeniu minimalnych wymagań dla budynków należy rozumieć takie zestawy ulepszeń, po których zastosowaniu obliczony koszt całkowity jest najniższy. Jeżeli kilka wariantów ulepszeń daje bardzo podobny minimalny koszt całkowity, należy wybrać ten zestaw ulepszeń, który daje mniejszą wartość zapotrzebowania na energię pierwotną [24].



Ryc. 4. Graficzne przedstawienie wyników obliczeń kosztów w cyklu życia dla czterech wariantów (grup ulepszeń) jednego budynku (oprac. K. Witczak)

Na rycinie 4 przedstawiono graficzną interpretację obliczania kosztów cyklu życia dla czterech analizowanych wariantów (grup ulepszeń) jednego budynku. Pierwszy wariant był wariantem bazowym, czyli bez dodatkowych ulepszeń, a więc z zerowymi, dodatkowymi nakładami inwestycyjnymi. Dla tego wariantu zdyskontowane koszty eksploatacji są najwyższe. Kolejne trzy warianty zawierają inwestycje w dodatkowe ulepszenia poprawiające efektywność energetyczną. W związku z tym rosną nakłady inwestycyjne, a koszty eksploatacyjne maleją. Mimo że wariant czwarty ma najniższe zdyskontowane koszty eksploatacji (w tym wariantcie zainwestowano najwięcej w poprawę efektywności energetycznej), jego koszt całkowity, czyli suma kosztów inwestycji i zdyskontowanych kosztów eksploatacji, nie jest najniższy. Z punktu widzenia kosztów w cyklu życia inwestycji (najniższy koszt całkowity) optymalnymi wariantami budynku byłyby zatem wariant drugi i wariant trzeci. Z tych dwóch wariantów trzeci ma mniejsze zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną, zatem z punktu widzenia oceny zrównoważoności budynków, jest to wariant najkorzystniejszy.

Przeprowadzenie analizy ekonomicznej opartej na obliczeniach kosztów w cyklu życia inwestycji daje np. możliwość oceny, na ile tańsze rozwiązania na etapie inwestycji przełożą się na koszty związane z ich późniejszą eksploatacją.

Również wprowadzone w 2016 roku zmiany do ustawy *Prawo zamówień publicznych* [25] stworzyły możliwość uwzględniania minimalnego kosztu w cyklu życia inwestycji jako kryterium wyboru ofert. Obecnie ustawa daje możliwość wyboru faz cyklu życia inwestycji wpływających na przyjęcie składników kosztów cyklu życia:

3b. Kryterium kosztu można określić z wykorzystaniem rachunku kosztów cyklu życia.

3c. Rachunek kosztów cyklu życia może obejmować w szczególności koszty:

- 1) poniesione przez zamawiającego lub innych użytkowników związane z:
 - a) nabyciem,
 - b) użytkowaniem, w szczególności zużyciem energii i innych zasobów,
 - c) utrzymaniem,
 - d) wycofaniem z eksploatacji, w szczególności koszty zbierania i recyklingu [26].

6.5. Podsumowanie

Efektywność energetyczna oraz ekonomiczna należą do podstawowych właściwości budynków uwzględnianych w ocenie rozwoju zrównoważonego. Coraz częściej nie tylko w komercyjnych systemach oceny budynków, ale także w przepisach prawa kładzie się nacisk na rozpatrywanie efektywności energetycznej i ekonomicznej z punktu widzenia cyklu życia inwestycji budowlanych. W niniejszym rozdziale przedstawiono definicje i zasady dotyczące oceny budynków pod tym kątem. Opisano także narzędzia i metody służące ocenie efektywności energetycznej budynków. Przywołano aktualne źródła prawne oraz normy związane z omawianymi zagadnieniami. Niestety obowiązujące w Polsce przepisy w niewielkim stopniu odnoszą się do metod wykorzystujących obliczenia kosztów ekonomicznych (LCC) i środowiskowych (LCA) w cyklu życia inwestycji (np. budynku). Jest to jedna z przyczyn wciąż rzadkiego wykorzystywania narzędzi (norm, programów) do przeprowadzania analiz LCC i LCA w ocenianych budynkach.

INFORMACJE DODATKOWE

Wybrane normy rozwoju zrównoważonego budynków – etapy cyklu życia budynku.

Jednym z najistotniejszych unijnych dokumentów w zakresie budownictwa zrównoważonego są normy. Na poziomie europejskim opracowaniem norm z zakresu budownictwa zrównoważonego zajmuje się Komitet Techniczny CEN/TC 350 „Zrównoważony rozwój w budownictwie” (Sustainability of construction works). W Polsce tzw. komitetem lustrzanym do CEN/TC 350 jest KT PKN 307 ds. zrównoważonego budownictwa. Bardzo ważne jest to, że normy opracowywane przez wymienione komitety są grupowane w podziale na filary: środowiskowy, społeczny i ekonomiczny (podział pionowy w tab. 1). Podział poziomy (tab. 1) to zakres szczegółowości, którego dotyczą normy. W tzw. poziomie wyrobów odnosi się norma PN-EN 15804, która opisuje procedurę określania oceny środowiskowej wyrobów [26]. Służy głównie do opracowywania deklaracji środowiskowych wyrobów III typu (Environmental Product Declaration – EPD), z których dane mogą być wykorzystane przez projektantów do ocen środowiskowych także całych budynków [27]. Niestety deklaracje EPD nie zawierają najczęściej informacji o wpływie wyrobu na środowisko uwzględniającej pełen cykl życia wyrobu (tab. 2). Producenci wyrobów budowlanych mają obowiązek deklarowania właściwości środowiskowych jedynie z zakresu etapu wyrobu (A1–A3), a więc z faz tzw. od kołyski do bramy¹ (from cradle to gate) [26]. Z punktu widzenia projektanta istotną grupą są normy, które obejmują tzw. poziom budynku.

¹ Potocznie przyjmuje się nazwę cradle to grave lub cradle to cradle, tu użyto określenia cradle to gate stosowanego w normach.

Tab. 1. Podstawowe normy dotyczące oceny budynków w kontekście zrównoważonego rozwoju (oprac. K. Witczak)

	OCENA ŚRODOWISKOWA	OCENA SPOŁECZNA	OCENA EKONOMICZNA
Ramy metodyczne	PN-EN 15643 – Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena zrównoważoności budynków – Część 1: Zasady ogólne [28]		
POZIOM BUDYNKU	PN-EN 15978 – Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania [29]	PN-EN 16309 – Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena socjalnych właściwości użytkowych budynków – Metodyka obliczania [30]	PN-EN 16627 – Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena ekonomicznych właściwości użytkowych budynków – Metody obliczania [22]
POZIOM WYROBU	PN-EN 15804 – Zrównoważoność obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych [26]		

Tab. 2. Podstawowe etapy cyklu życia budynku występujące w ocenach LCA i LCC na podstawie [22, 29] (oprac. K. Witczak)

INFORMACJE O OCENIE BUDYNKU																	
Cykl życia budynku														Informacje uzupełniające poza cyklem życia budynku			
Etap wyrobu			Etap budowy		Etap użytkowania					Etap końca życia							
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D			
Dostawa surowców	Transport	Wytwarzanie	Transport	Proces budowy	Użytkowanie	Konservacja	Naprawa	Wymiana	Renowacja	Rozbiórka	Transport	Przetwarzanie odpadów	Usuwanie odpadów	Korzyści i obciążenia poza granicą systemu			
					B6 Zużycie energii w fazie użytkowania												
					B7 Zużycie wody w fazie użytkowania												

Definicje pojęć i terminologia stosowana w wymienionych normach nawzajem się przenikają, tak więc normy te są spójne w zakresie użytych w nich definicji. Jednym z ważniejszych pojęć w rozwoju zrównoważonym jest cykl życia budynku [28], definiują je normy wymienione w tabeli 1, a jego etapy przedstawiono w tabeli 2 [22, 29].

Jedynie norma PN-EN 16309 dotycząca oceny aspektów społecznych nie jest normą, w której należy uwzględnić pełen cykl życia budynku. Odnosi się ona jedynie do fazy jego użytkowania. Wynika to z charakteru wskaźników (tzw. aspektów społecznych) zdefiniowanych w tej normie jako tych, którymi budynek oddziałuje na użytkowników [30]. Należą do nich m.in.: w ocenie komfortu cieplnego – wskaźnik PMV lub temperatura operatywna, w ocenie dostępu światła naturalnego – wskaźnik DF, w ocenie jakości powietrza wewnętrznego – koncentracja (w ppm) CO₂.

Bibliografia

- [1] <http://www.passivehouse.com/>, dostęp 8.02.2020.
- [2] *Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. 2019, poz. 1065, <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20190001065/O/D20191065.pdf>, dostęp 3.02.2020.
- [3] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej*, Dz.U. 2015, poz. 376, <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20150000376/O/D20150376.pdf>, dostęp 2.02.2020.
- [4] Kurtz K., Gawin D., *Certyfikacja energetyczna budynków mieszkalnych z przykładami*, Wrocławskie Wydawnictwo Naukowe Atla 2, Wrocław 2009.
- [5] <https://www.intersoft.pl/cad/index.php?kat=certyfikat-energetyczny-audit>, dostęp 8.02.2020.
- [6] http://cieplej.pl/index_daes.php5?dzial=3&kat=14, dostęp 7.07.2020.
- [7] <http://pl.sankom.net/programy/audytor-ozc>, dostęp 2.07.2020.
- [8] <http://www.builddesk.pl/oprogramowanie/program-do-swiadectw-energetycznych>, dostęp 3.07.2020.
- [9] <https://www.gov.pl/web/fundusze-regiony/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>, dostęp 1.07.2020.
- [10] Fedorowicz L., Pokorska-Silva I., *Wspomaganie symulacją oceny energetycznej budynku*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach” 2016, nr 8, s. 87–96.

- [11] Kuczyński T., Ziembicki P., Misztal G., Benysek G., *Komputerowa symulacja energetyczna budynków*, „Przegląd Budowlany” 2011, t. 82, nr 5, s. 42–46.
- [12] <https://energyplus.net/>, dostęp 9.02.2020.
- [13] <http://www.trnsys.com/>, dostęp 12.02.2020.
- [14] <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>, dostęp 28.02.2020.
- [15] <https://wufi.de/en/software/wufi-plus/>, dostęp: 2.02.2020.
- [16] <https://www.designbuilder.co.uk/>, dostęp 28.02.2020.
- [17] <https://www.openstudio.net/>, dostęp 9.02.2020.
- [18] PN-EN 15978:201 – *Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [19] DGNB Manual, New Office and Administrative Buildings, Version 2012, <https://www.dgnb.de/de/index.php>, dostęp 19.08.2019.
- [20] LEED v4 for Building Design and Construction, <https://new.usgbc.org/leed-v4>, dostęp 9.09.2019.
- [21] BREEAM International New Construction 2016, <https://www.breeam.com/>, dostęp 19.09.2019.
- [22] PN-EN 16627:2015-10 – *Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena ekonomicznych właściwości użytkowych budynków – Metody obliczania*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [23] *Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 244/2012 z dnia 16 stycznia 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i ustanawiające ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków*, Dz.U.UE 21.3.2012, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0244&from=PL>, dostęp 19.02.2020.
- [24] *Wytyczne uzupełniające rozporządzenie delegowane Komisji (UE) nr 244/2012 z dnia 16 stycznia 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i ustanawiające ramy metodologii porównawczej do celów obliczania optymalnego pod względem kosztów poziomu wymagań minimalnych dotyczących charakterystyki energetycznej budynków i elementów budynków*, Dz.U. UE 19.4.2012, [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012XC0419\(02\)&from=PL](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012XC0419(02)&from=PL), dostęp 9.02.2020.
- [25] *Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych*, Dz.U. 2017, poz. 1579, <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20040190177/O/D20040177.pdf>, dostęp 9.02.2020.
- [26] PN-EN 15804+A1:2014-04 – *Zrównoważoność obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [27] Tomaszewska J., Bekierski D., Piasecki M., *Deklaracje środowiskowe wyrobów budowlanych narzędziem wspierającym rozwój zrównoważonego budownictwa*, „Przegląd Budowlany” 2017, R. 88, nr 10, s. 34–36.
- [28] Górzyński J., *Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2007.
- [29] PN-EN 15978:2012 – *Zrównoważone obiekty budowlane – Ocena środowiskowych właściwości użytkowych budynków – Metoda obliczania*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [30] PN-EN 16309:2014-05 – *Zrównoważoność obiektów budowlanych – Ocena społecznych właściwości użytkowych budynków – Metodyka obliczania*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.



KONRAD WITCZAK

➔ Doktor inżynier, wykładowca w Katedrze Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej (gdzie pracuje od 2012 roku). Audytor energetyczny oraz specjalista ds. zrównoważonego rozwoju w firmie ROCKWOOL Polska Sp. z o.o. Przewodniczący grupy roboczej ds. efektywnego wykorzystania energii Stowarzyszenia Nowoczesne Budynki. Członek Komitetów Technicznych PKN: KT 179 ds. Ochrony Ciepłej Budynków, KT 307 ds. Zrównoważonego Budownictwa. Uczestnik cyklu seminariów eksperckich organizowanych przez Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju w sprawie określenia proponowanych zmian mających na celu poprawę skuteczności przepisów dotyczących charakterystyki energetycznej budynku.

Na Politechnice Łódzkiej jest kierownikiem przedmiotów na czterech kierunkach kształcenia (budownictwie, architekturze, gospodarce przestrzennej oraz międzyuczelnianym kierunku rewitalizacji miast), a także autorem i współprowadzącym przedmioty takie jak budownictwo ekologiczne, systemy energii odnawialnej w budownictwie, rozwój zrównoważony w budownictwie, efektywność energetyczna obszarów zurbanizowanych, podstawy renowacji energetycznej budynków i obszarów miejskich. Zainteresowania naukowe: efektywność energetyczna budynków, jakość środowiska wewnętrznego, ocena środowiskowa (Life Cycle Assessment) i ekonomiczna (Life Cycle Costing) w cyklu życia materiałów budowlanych i budynków.

Autor i współautor ponad 20 publikacji naukowych dotyczących fizyki budowli i efektywności energetycznej. Wyróżniony przez Ministra Inwestycji i Rozwoju RP za pracę magisterską *Opracowanie programu komputerowego do obliczeń cieplno-wilgotnościowych wg normy europejskiej EN-ISO 13788. Analiza zjawisk cieplno-wilgotnościowych w przegrodach budowlanych przy pomocy programu WUFI*. Uczestnik międzynarodowych projektów, m.in. w zakresie trwałości materiałów budowlanych.

7. Metoda oceny cyklu życia budynku

WOJCIECH KUJAWSKI
ALGONQUIN COLLEGE OTTAWA

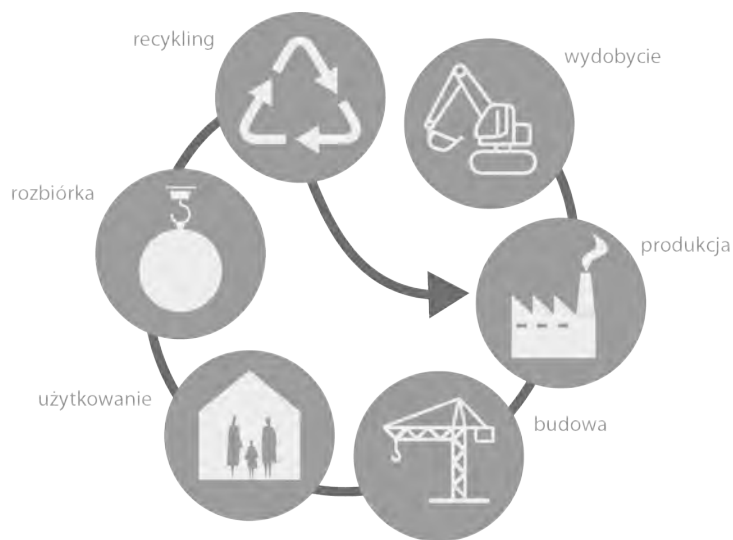
Przy określaniu wpływu budynku na środowisko ważne jest uwzględnienie jego cyklu życia. Obejmuje on wydobycie surowców i produkcję materiałów budowlanych, ich transport, budowę, użytkowanie i wyburzenie, po którym następuje utylizacja, recykling oraz powtórne wykorzystanie. Jedną z metod szacowania oddziaływania obiektów, a także materiałów na stan środowiska naturalnego jest ocena cyklu życia (LCA) wykorzystywana w procesie projektowym. W rozdziale przedstawiono definicje oraz idee towarzyszące wprowadzaniu LCA, przykłady oraz krótki opis programu służącego ewaluacji oddziaływania na środowisko (Environmental Impact Estimator – EIE). Wskazano też konieczność stosowania tej metody w zrównoważonym procesie projektowym.

7.1. Wprowadzenie

Przy ocenie wpływu na środowisko prowadzonej podczas procesu projektowego nowych budynków lub ewaluacji istniejących niezwykle ważne staje się obecnie uwzględnianie cyklu życia wszystkich związanych z nimi produktów. Jego rezultaty powinny być wykorzystywane do redukcji energii wbudowanej zastosowanych materiałów oraz energii zużytej przez sam budynek (tj. energii eksploatacyjnej). Takie analizy cyklu życia materiałów w ocenie środowiskowej (environmental assessment) są stosowane od ponad 45 lat. Najpierw wykorzystywano je wyłącznie w przemyśle chemicznym i opakowań w USA, gdzie skupiano się na materiałach, składnikach i procesie wytwarzania [2]. Symbolicznym początkiem takich działań były w latach sześćdziesiątych oceny opakowań napojów. Zastosowana w nich metodologia przekształciła się w LCA (Life Cycle Assessment – ocenę cyklu życia) bazującą na międzynarodowych standardach dla wytycznych projektowych.

Musimy umieć mierzyć wpływ decyzji projektowych na środowisko nas otaczające w całym cyklu życia budynku i poszukiwać coraz lepszych rozwiązań [1].

Wzrost użycia LCA w świecie prowadzi do większego respektowania zasad zrównoważenia w budownictwie, zwiększenia ilości alternatyw projektowych oraz definiowania informacji o skutkach środowiskowych. LCA zapewnia podstawowe informacje dotyczące procesu projektowego i ochrony środowiska, eliminując domysły, niezamierzone „zazielenienie/ekologizację” i zmiany obciążeń środowiskowych [3]. LCA mierzy przepływy (flow) materiałów i energii „do i z natury” przez cały okres istnienia produktu lub usługi oraz ocenia ich potencjalny wpływ na zasoby, ekosystemy, a także ludzkie zdrowie. Te rodzaje oddziaływania występują na wszystkich etapach cyklu życia produktu. Obok częstego określania procesu LCA jako oceny „od kołyski do grobu” (cradle to grave), obecnie, wraz ze wzrostem świadomości projektantów i trendami regeneracji środowiska, wprowadza się pojęcie „od kołyski do kołyski” (cradle to cradle). LCA należy traktować jako narzędzie służące do kompleksowej oceny środowiskowej, a nie jako „narzędzie”, dzięki któremu można kontrolować ekologię. Nie zajmuje się również ryzykiem, w tym zawodowym, jakością powietrza w pomieszczeniach lub innymi prawnymi limitami emisji, zarządzaniem zasobami czy aspektami sprawiedliwości społecznej.



Ryc. 1. Etapy cyklu życia budynku [1] (ryc. J. Kocharńska)

7.2. Etapy cyklu życia i ich związek ze środowiskiem

Podczas oceny LCA analizowane są następujące etapy cyklu życia (ryc. 1):

- ekstrakcja i produkcja: wydobywanie zasobów, ich transport; rafinacja lub wytwarzanie materiałów na komponenty; wbudowane oddziaływanie,
- budowa: transport komponentów na plac budowy, sama budowa i wbudowane oddziaływanie,
- użytkowanie:
 - pośrednia eksploatacja: wydobywanie, rafinacja i dostawa paliw i energii elektrycznej służące użytkowaniu oraz procesy związane ze zużyciem wody pitnej,
 - bezpośrednie działanie: zużycie energii i wody oraz wytwarzanie ścieków i odpadów stałych – te dane odczytywane są z bezpośrednich pomiarów lub ze specjalistycznych programów, np. energia z symulacji energetycznej budynku,
- utrzymanie (oraz wymiana): produkcja, transport i efekty budowy (użycia) materiałów i czynności związanych z utrzymaniem i wymianą elementów budynku przez cały okres jego użytkowania,
- koniec życia: dekonstrukcja i rozbiórka; ponowne wykorzystanie, recykling i usuwanie materiałów [4].

Przykład: LCA dla drewnianego tarasu musi obejmować energię, zużycie wody i detergentów czyszczących, wpływ produktów do powlekania, takich jak barwniki czy powłoki ochronne, oraz ewentualne zastąpienie niektórych belek przez cały okres użytkowania obiektu (ścinka, obróbka w tartaku, transport, końcowy montaż itd.).

Każda aktywność związana z budownictwem wywołuje konsekwencje na każdym etapie cyklu życia produktu czy budynku takie jak:

- konieczność użycia zasobów – paliw pierwotnych (tj. paliw kopalnych, jądrowych, biomasy), wody, gleby i ciał stałych (substancji organicznych, minerałów, metali),
- powstanie efektów środowiskowych – poprzez uwalnianie gazów cieplarnianych (Green House Gases – GHG) i innych zanieczyszczeń – do powietrza; ciał stałych, związków chemicznych – do wody; związków organicznych i mineralnych – do gleby; oraz konsekwencje tych działań w skali lokalnej, regionalnej i globalnej, takich jak zmiana klimatu czy utrata siedlisk.

Efektywność energetyczna i ekonomiczna inwestycji analizowana jest najczęściej przez specjalistów, natomiast sami projektanci lepiej mogą optymalizować budynki i ich otoczenie za pomocą LCA, które pozwala na szybkie analizy energii wbudowanej. Ciekawe, że jej udział staje się coraz bardziej krytyczny, tzn. zwiększa się, ponieważ optymalizacja energetyczna projektu oraz coraz sprawniejsze zarządzanie budynkiem prowadzą do znacznego zmniejszania zużycia energii eksploatacyjnej.

7.3. Zastosowanie idei cyklu życia do oceny budynku

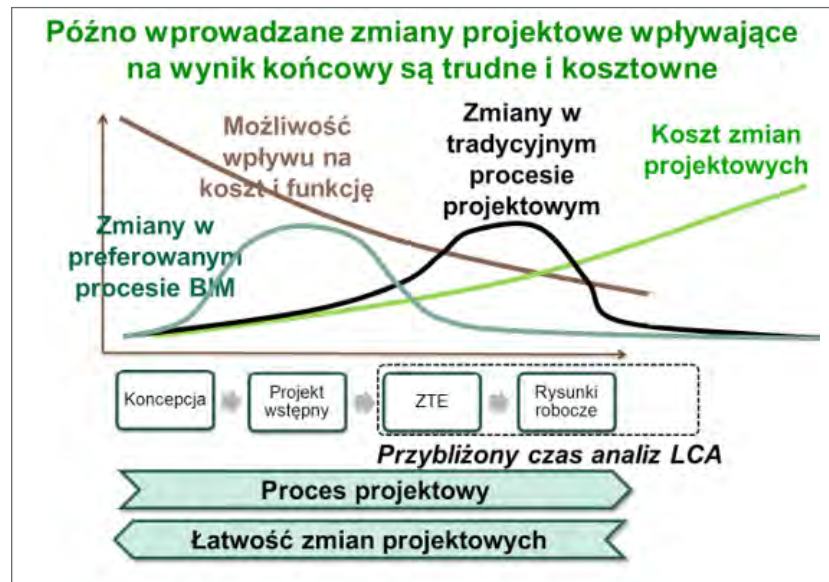
Ocena LCA pozwala na wybór materiałów i przegląd potencjalnych problemów środowiskowych biorący pod uwagę:

- funkcjonalne zastosowanie materiałów,
- emisję gazów cieplarnianych związaną z produkcją i transportem,
- ekologiczne skutki ekstrakcji lub wykorzystania materiału,
- stopień dostępności materiału pod kątem wyczerpywania zasobów naturalnych,
- niebezpieczne produkty uboczne prowadzące do spadku jakości powietrza wewnętrznego, takie jak np. lotne związki organiczne (LZO),
- stopień trudności w pracy z materiałem,
- przyszłe ponowne wykorzystanie lub możliwość recyklingu,
- koszt LCC (Life Cycle Costing – ocena kosztów ekonomicznych w cyklu życia).

Bardzo ważnym zagadnieniem, podobnie jak w przypadku narzędzi do ewaluacji osiągnięć (np. LEED czy BREEAM), jest wymóg wprowadzania danych regionalnych do szczegółowych obliczeń LCA oraz – jak w przypadku każdego złożonego modelu – przyjmowane założenia (np. liczba lat w cyklu, stosunek różnych źródeł energii w całościowym użytkowaniu, zużycie energii). LCA jest narzędziem do szacowania potencjalnego wpływu na środowisko i porównywania względnych osiągnięć analizowanych rozwiązań alternatywnych (zob. rozdział 6). Towarzyszy mu prawdopodobieństwo błędu wynikające z odnoszenia wszystkich przepływów do jednostki funkcjonalnej (np. metra kwadratowego powierzchni użytkowej), trudności w przewidywaniu przyszłych stanów (takich jak koniec życia budynku) oraz brak praktycznej możliwości utrzymania takiego samego poziomu jakościowego dla każdego elementu danych początkowych. Dlatego można powiedzieć, że LCA jest nauką o najlepszych szacunkach, a nie o absolutnych wartościach otrzymanych w wyniku oceny, przy czym nie chodzi o ustalenie, czy produkt jest „ekologiczny” czy nie, ale o ilościowe określenie skutków jego oddziaływania na środowisko i sprawdzenie, czy, jak i gdzie można produkt (budynek) poprawić. LCA kieruje procesami decyzyjnymi w przemyśle, identyfikując środowiskowe „gorące punkty”, oceniając, w jaki sposób można je złagodzić. Redukcja szkodliwości w jednym obszarze LCA nie spowoduje poprawy wpływu na środowisko związanego z innym obszarem (tzw. zmiana obciążenia). Decyzje bazujące na LCA są zawsze lepsze od decyzji podjętych na podstawie niepełnych danych [3] i popartych najlepszymi intencjami. Metoda ta sprawia, że życzeniowe, tzw. ekologiczne projekty, w których jedynie „odgadujemy” wpływ oddziaływania na środowisko, uzyskują konkretne oceny sprawności na podstawie osiągnięć (czyli danych wyjściowych z oceny LCA), będących sprawdzieniem decyzji projektowych. Podejście LCA pomaga w zrozumieniu wbudowanego oddziaływania materiałów na środowisko. Stworzyło to zapotrzebowanie na materiały z dokumentacją LCA, zmuszając jednocześnie producentów do zachowania przejrzystości w tej dziedzinie. Aby najlepiej wykorzystać ocenę LCA, należy ją stosować od etapu koncepcyjnego (ryc. 2), ponieważ decyzje mają wtedy największe konsekwencje dla środowiska oraz najmniejszy wpływ na budżet inwestycji.

Jeden ze sposobów użycia LCA we wczesnej fazie procesu projektowego polega na porównaniu wyników przewidywanych dla proponowanego budynku z odpowiednim budynkiem wzorcowym (benchmark). Najlepszym wykorzystaniem LCA (po wstępnej analizie koncepcyjnej) jest jego wielokrotne stosowanie w trakcie wykonywania założeń techniczno-ekonomicznych (ZTE), przy monitorowaniu aspektów środowiska w miarę postępu projektu oraz przy eksperymentowaniu z opcjami zmniejszania śladu węglowego. Całościowe zastosowanie LCA we wczesnym etapie projektowania

Ryc. 2. Wpływ czasu wprowadzania zmian na ich efektywność w procesie projektowym (grafika adaptowana za pozwoleniem MIT Concrete Sustainability Hub [5])



może znacznie ułatwić podejmowanie decyzji i zrozumienie działania budynku w przyszłości. Projektowanie z uwzględnieniem cyklu życia bierze pod uwagę nie tylko „łagodzenie” zmian klimatycznych, ale również – w miarę konieczności – „dostosowanie się” do nich [3].

Środowisko zbudowane¹ zawiera ogromną ilość energii wbudowanej w materiałach (tab. 1) oraz jest obciążone śladem węglowym. Oba te czynniki są równie ważne co energia eksploatacyjna, stosowana powszechnie w zielonych projektach (w Kanadzie) jako dominujący czynnik decyzyjny. Energia eksploatacyjna zużywana jest powoli z biegiem czasu, a energia wbudowana i ślad węglowy obciążają inwestycję już podczas budowy [3].

Jednym z przykładów zastosowania LCA jest analiza przeprowadzona w Massachusetts Institute of Technology (MIT) dotycząca oddziaływania na środowisko budynków w konstrukcji betonowej w całym cyklu życia [5]. Badane budynki betonowe miały w porównaniu z projektami referencyjnymi:

- większy wpływ wbudowanej energii na potencjał globalnego ocieplenia (PGO) (7–31%),
- mniejsze oddziaływanie PGO na fazy użytkowania (3–10%),
- mniejsze oddziaływanie PGO na cykl życia (5–8%).

¹ Trzeba zaznaczyć, że do środowiska zbudowanego wlicza się nie tylko budynki w potocznym rozumieniu, ale również inne budowle, takie jak porty, elektrownie, magazyny typu silos, mosty, tunele, pasy startowe lotnisk, drogi każdej kategorii – szczególnie autostrady z ich infrastrukturą zajmującą ogromne przestrzenie.

Tab. 1. Wartości energii wbudowanej dla wybranych produktów [1]

MATERIAL	EMBODIED ENERGY	
	(MJ/kg)	(kWh/kg)
kiln-dried sawn softwood /tarcica drewna miękkiego suszona komorowo	3,4	0,94
kiln-dried sawn hardwood /tarcica drewna twardego suszona komorowo	2,0	0,56
air dried sawn hardwood /sezonowana tarcica drewna twardego	0,5	0,14
hardboard /płyta pilśniowa twarda	24,2	6,7
particleboard /płyta wiórowa	8,0	2,2
MDF – Medium Density Fibreboard /płyta MDF	11,3	3,1
plywood /sklejka	10,4	2,9
glue-laminated veneer lumber /estetycznie wykończone drewno konstrukcyjne klejone warstwowo z fornirów	11	3,0
laminated veneer lumber /drewno konstrukcyjne klejone warstwowo z fornirów	11	3,0
straw /słoma	0,24	0,07
stabilised earth /stabilizowana ziemia	0,7	0,19
imported dimension granite /importowane ciosy granitu	13,9	3,9
local dimension granite /ciosy granitu lokalnego pochodzenia	5,9	1,6
gypsum plaster /tynk gipsowy	2,9	0,8
plasterboard /płyta gipsowo-kartonowa (GK)	4,4	1,2
fibre cement /cement włóknisty	4,8	1,3
cement /cement	5,6	1,6
in-situ concrete /beton wylewany na mokro	1,9	0,53
precast steam-cured concrete /beton prefabrykowany utwardzany parą	2,0	0,56
precast tilt-up concrete /prefabrykowany na budowie (wylewany w poziomie i, po utwardzeniu, podnoszony do wymaganej pozycji) element betonowy	1,9	0,53
clay bricks /cegły gliniane	2,5	0,69
concrete blocks /błoczek betonowe	1,5	0,42
autoclaved aerated concrete /autoklawizowany beton komórkowy (gazobeton)	3,6	1,0
plastics – general /ogólnie – plastik	90	25
PVC /polichlorek winylu PCV	80	22
synthetic rubber /kautyzuk syntetyczny	110	30
acrylic paint /farba akrylowa	61,5	17
glass /szkło	12,7	3,5
fibreglass (glasswool) /włókno szklane	28	7,8
aluminium	170	47
copper /miedź	100	28
galvanised steel /stal galwanizowana	38	10,6
stainless steel /stal nierdzewna	51,5	14,3

Poza tym stwierdzono, że:

- Pomimo wyższego poziomu energii wbudowanej betonu, wyższa efektywność energetyczna może przełożyć się na mniejszy całkowity wpływ na cykl życia, ponieważ dominacja fazy eksploatacyjnej daje wiele możliwości jego ograniczenia.
- Zwiększenie ilości popiołów lotnych lub innych uzupełniających substytutów cementu od 10 do 50% w ICF (Insulated Concrete Forms – izolowane formy betonowe) redukuje negatywny wpływ na środowisko od 12 do 14%.
- Przejście z 15 cm do 10 cm ściany betonowej jest korzystne, albowiem redukuje emisje przez cały okres życia, ale powinno być brane pod uwagę w regionach, w których 10 cm ściany spełnia wymagania konstrukcyjne.
- Podniesienie izolacyjności warstw otaczających betonowy element konstrukcji ICF może być finansowo korzystne. Zwiększenie grubości izolacji z 6 cm do 10 cm jest najbardziej opłacalnym sposobem poprawienia cieplnej wydajności ściany, ponieważ podniesiony koszt izolacji jest niższy niż ówczesna (2012) cena rynkowa zaoszczędzonego węgla (chodzi o ślad węglowy).

LCA może być zastosowane dla uzasadnienia masywnej (akumulacyjnej) konstrukcji budynku w celu poprawy jego efektywności energetycznej podczas eksploatacji. Jest to zalecane, ponieważ zasadniczo należy koncentrować się na zmniejszeniu zużycia takich materiałów, jak cement, piasek, tłuczeń, prefabrykaty, lekkie bloczki betonowe lub cementowe, cegła, stal i szkło.

Przykładem zastosowania LCA jest porównanie sumy energii i emisji w cyklu życia dla budynku projektowanego oraz konwencjonalnego [5]. Wykładnikiem śladu węglowego jest CO₂e, czyli ekwiwalent CO₂ w tonach. Gazy cieplarniane w różnym stopniu powodują globalne ocieplenie, a ekwiwalent CO₂ pozwala porównywać emisje różnych gazów, na przykład 1 tona metanu odpowiada 25 tonom CO₂e.

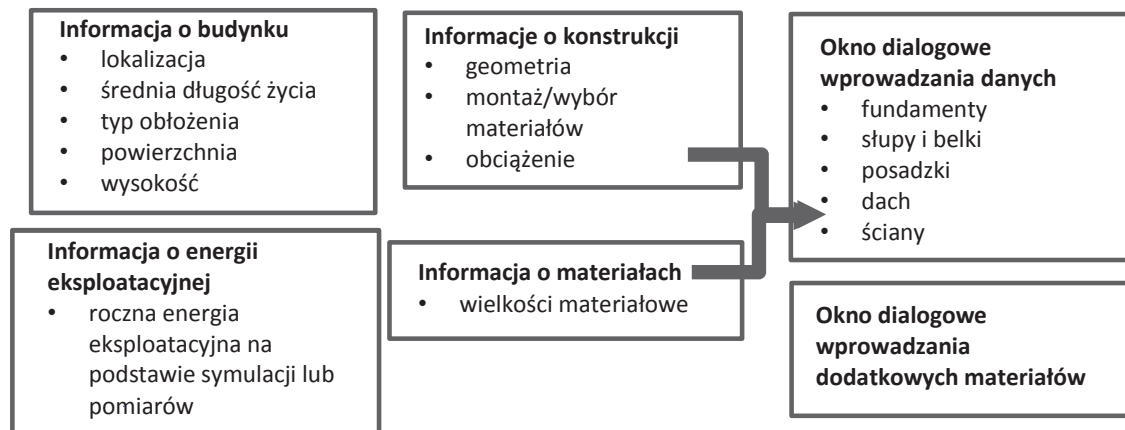
Innym wykorzystaniem LCA jest analiza pod kątem odporności materiałów na zniszczenie (resilience), szczególnie na deteriorację, która następuje nie tylko w wyniku upływu czasu, ale również po katastrofach klimatycznych. Kryteria oceny jej stopnia – aby właściwie oszacować przydatność materiału – powinny brać pod uwagę lokalizację oraz potencjalne przyczyny zniszczeń. Na przykład LCA uwzględnia konieczność stosowania specjalnych rodzajów betonu lub jego dodatków oraz uzbrojenia w zależności od miejsca budowy, stopień zatrucia lokalnej atmosfery, nawet kierunek silnych wiatrów.

7.4. Przykładowe wyniki LCA w Athena Impact Estimator

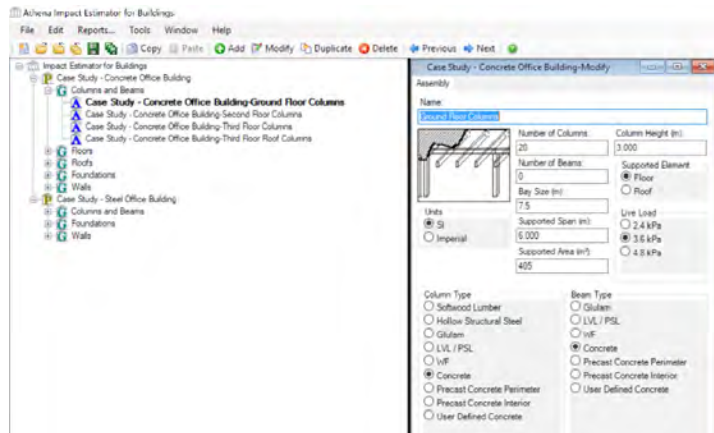
Jednym z narzędzi do wykonania LCA jest kanadyjski program Athena Impact Estimator (AIE). To program bardzo łatwy w obsłudze oraz sprawdzony przez ponad 20 lat stosowania. AIE jest bezpłatny i może być dobrym narzędziem dla architektów i inżynierów oraz nauczycieli akademickich i studentów przy analizach projektów pod kątem LCA na poziomie całego budynku (ryc. 3). Co ważne, jego obsługa nie wiąże się z wymogiem posiadania pełnej wiedzy o LCA. Projektanci określają konstrukcję i elementy zewnętrznej obudowy i otrzymują całościowe wyniki LCA dla budynku. Proponowane w Impact Estimator zmiany pozwalają na wykazanie możliwego kompromisu pomiędzy różnymi wariantami projektu budynku oraz – w połączeniu z dokonanymi niezależnie symulacjami energetycznymi – pomiędzy kosztami energii wbudowanej i eksploatacyjnej [6].

Program jest przyjazny dla użytkownika. Wpisywanie danych jest ułatwione przez domyślne podanie wszystkich elementów konstrukcyjnych, które można następnie modyfikować (ryc. 4 i 5). Widoczne mogą być m.in. efekty PGO. Uzyskana analiza oddziaływania obejmuje globalne ocieplenie (śląd węglowy), zakwaszenie (kwaśne deszcze), eutrofizację (zakwit glonów), tworzenie fotochemicznych utleniaczy (letni smog), zubożenie warstwy ozonowej (dziura ozonowa) oraz energię (tab. 2).

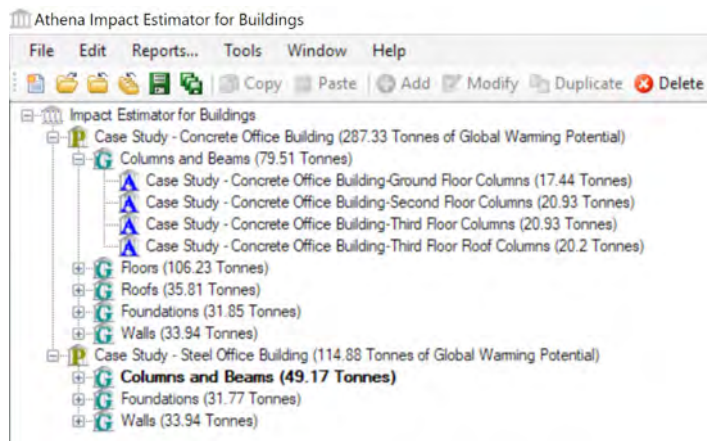
Raporty mogą przybierać formę tabel lub wykresów z wariantami wartości od szczegółowych do sumarycznych. Opcje budynków mogą być porównywane w pełnym zakresie w zależności od



Ryc. 3. Rodzaje informacji wprowadzanej przez użytkownika AIE w celu analizy (oprac. W. Kujawski na podst. [6])



Ryc. 4. Zakres wpisywania detali (oprac. W. Kujawski na podst. [6])



Ryc. 5. Dane wejściowe belek i słupów (oprac. W. Kujawski na podst. [6])

potrzeb (ryc. 6). AIE pozwala też na porównania systemów, z którymi współpracuje, takich jak LEED oraz Green Globes (ryc. 7).

Bardziej zaawansowane narzędzia, używane przez profesjonalistów LCA zazwyczaj do dokładniejszej oceny produktów lub procesów, można również stosować do projektowania budynków poprzez wprowadzanie danych materiałowych. Badania wykazują, że najczęściej rozwiązania projektowe przyjmowane są na etapie ZTE (ryc. 8). Niemniej wartość LCA zależy od fachowej interpretacji wyników, która wymaga wiedzy, doświadczenia, a co za tym idzie – możliwej ostrożności w wyciąganiu wniosków.

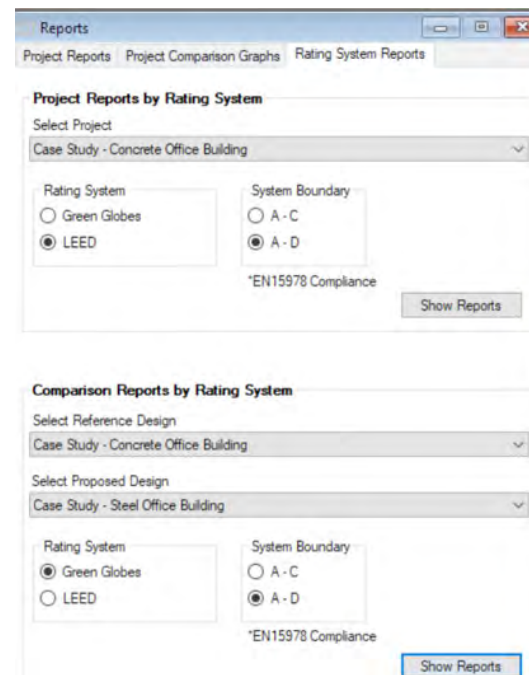
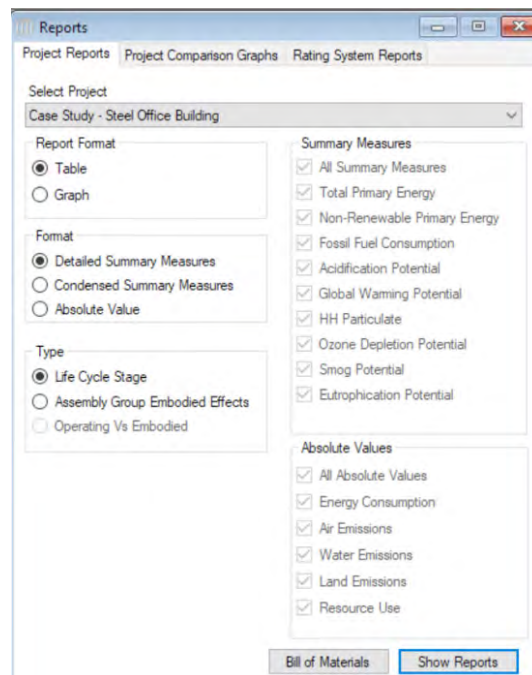
Dla zawodowych praktyków LCA interpretacja ma zasadnicze znaczenie dla publikacji rezultatów ewaluacji. Metody oceny skutków są konieczne, ale niewystarczające, do podejmowania „właściwych” decyzji środowiskowych. Prawdziwe czerpanie korzyści z kompleksowego stosowania LCA wymaga wiedzy na temat produktu, jego procesu produkcyjnego i jego przeznaczenia, niezależnie od jego skali. W przypadku budynku będzie ogólną znajomością konstrukcji, procesów budowlanych oraz jego funkcji. Same „surowe” dane nie oddają całego spektrum zagadnień oddziaływania na środowisko, a doświadczeni praktycy LCA jeszcze przed przyjęciem wniosków i zaleceń z dużą ostrożnością przeprowadzają proces analiz, co zapewnia wyższy stopień wiarygodności wyników. Dodatkowo stosuje się weryfikację przez wykwalifikowane osoby, co zapewnia właściwe wykorzystanie metody i dokładną interpretację. Wzajemna ocena (peer review) jest szczególnie ważna

Tab. 2. Wynik analizy LCA – porównanie budynku projektowanego oraz referencyjnego w celu pokazania ewentualnych ulepszeń w odsetku zmian w budynku (oprac. W. Kujawski na podst. [6])

ODDZIAŁYWANIE	JEDNOSTKI	BUDYNEK REFERENCYJNY	BUDYNEK PROJEKTOWANY	ODSETEK ZMIAN W BUDYNKU [%]
Ślad węglowy/ globalne ocieplenie	kg CO ₂ -eq	384,786	338,612	-12
Zakwaszenie	kg SO ₂ -eq	3,231	3,199	-1
Eutrofizacja	kg N-eq	44,1	45,9	+4
Smog	kg O ₃ -eq	10,820	9,738	-10
Ozon	kg CFC-11-eq	0,00034	0,00034	0
Energia	MJ	6 560,563	5 576,479	-15

Ryc. 6. Typy raportów LCA (oprac. W. Kujawski na podst. [6])

Ryc. 7. Porównanie wyników dla różnych systemów konstrukcyjnych i różnych systemów ocen (oprac. W. Kujawski na podst. [6])

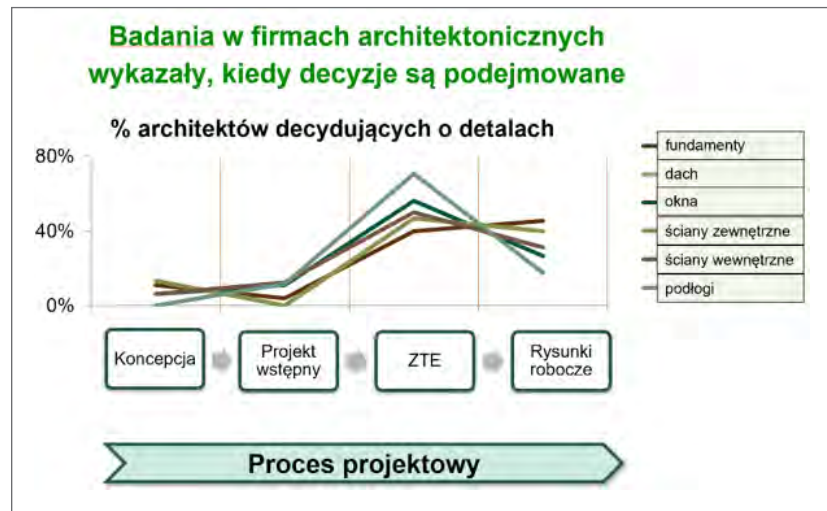


w porównawczych badaniach LCA i jest wymagana w normach ISO². Te rygorystyczne kroki zapewniają wiarygodność danych oraz budują zaufanie do końcowego odbiorcy bez względu na to, czy jest nim producent towaru, zlecający studium, czy projektant budynków uzyskujący dostęp do danych za pomocą narzędzi LCA i następnie używający ich w celach marketingowych.

Dane z osiągnięć (performance) mogą być elementem marketingowym przekazu o produktach (w tym o budynkach), pod warunkiem że będą czytelnie przedstawione. Podanie takich informacji wyzwało proces edukacji projektantów dającej poczucie wpływu na wspomniany łańcuch wartości w ocenie LCA, co coraz częściej owocuje bardziej ekologicznymi rozwiązaniami. Metodologia LCA jest okresowo aktualizowana w międzynarodowych standardach, a następnie w krajowych bazach danych LCA, standardach i programach ratingowych. Zainteresowanie cyklem życia przez Amerykański Instytut Architektów (AIA) wraz z jego Komitetem ds. Środowiska doprowadziło w 2010 roku do publikacji „Przewodnika po LCA” (*AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*) [7].

² Izba Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO ma kilka standardów dla LCA, które są właściwym źródłem międzynarodowych definicji i oceny cyklu życia. Seria 14 000 obejmuje standard ISO 14 001 w zakresie systemów zarządzania środowiskowego (Environmental Management Systems – EMS), a także serię norm związanych z LCA (seria 14 040).

Ryc. 8. Decyzje projektowe podejmowane przez architektów na różnych etapach projektowania (grafika adaptowana za pozwoleniem MIT Concrete Sustainability Hub) [5]



Amerykańskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego (USGBC) włączyło LCA do aktualizacji LEED v.4 (będącego praktycznie standardem środowiskowym w większości krajów prowadzących LCA). W wielu kategoriach dodaje się punkty (credits) mające na celu ujawnianie wpływu na środowisko właśnie poprzez raporty LCA lub środowiskowe deklaracje produktów (Environmental Product Declaration – EPD). Zalecane zastosowanie LCA dotyczy najlepszych szacunków i oceny względnej wydajności różnych opcji. W 2009 roku Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Ogrzewnictwa, Chłodnictwa i Klimatyzacji (ASHRAE) opublikowało standard ekologicznego budynku o nazwie ANSI/ASHRAE/USGBC/IES Standard 189.1 [8]³ (cyklicznie aktualizowany). W przypadku wyboru materiału ten standard ma określony tor postępowania wraz z listą atrybutów, np. alternatywna ścieżka wydajności określająca wykorzystanie LCA do ulepszenia całego referencyjnego budynku.

Normy opisowe (preskrytywne) są celowo proste ze względu na konieczność łatwości użycia, ale utrudniają twórcze rozwiązania i w rzeczywistości mogą nie przynieść zamierzonego poziomu wydajności (performance). Analizy alternatywnych ścieżek osiągnięć pozwalają na innowacje projektowe i kompromisy między komponentami budynku. Takie opcje zastępujące wskaźniki opisowe pomiarami są ważne do doskonalenia zrównoważonych praktyk projektowych.

³ Modelowy/przykładowy kodeks, który zawiera minimalne wymagania dotyczące zwiększenia efektywności środowiskowej i zdrowotnej budynków i placów budowy. Zasadniczo dotyczy on projektowania i budowy wszystkich typów budynków, z wyjątkiem domów jednorodzinnych, domów wielorodzinnych do trzech kondygnacji oraz domów modułowych i mobilnych.

7.5. Podsumowanie

LCA jest narzędziem, które pomoże:

- obniżyć wpływ na środowisko w branży budowlanej, zazielenić (zekologizować) produkty oraz poprowadzić do bardziej zrównoważonego sposobu projektowania,
- wypełnić lukę między nauką a pustym marketingiem, stanowiąc ważny element w zestawie narzędzi zrównoważonego rozwoju.

W Europie Zachodniej LCA ma silną pozycję w branży budowlanej, a dla produktów budowlanych dostępne są setki deklaracji środowiskowych EPD. W Ameryce Północnej LCA jest już powszechnie używane przez wiodących projektantów, zarówno architektów, jak i inżynierów. Praktycy LCA dokładają starań, aby metoda była jak najbardziej dostępna, użyteczna i niezawodna. Projektanci coraz częściej korzystają z LCA w celu uzupełnienia np. takich danych jak modelowanie informacji o budynku (BIM), symulacje energii i kalkulacje kosztów cyklu życia. Sprzężenie zwrotne z tych działań udoskonala aplikację LCA, włączając ją do wymaganych elementów decyzyjnych, a projektantów „zmusza” do projektowania coraz lepszych budynków. Bardziej zaawansowane narzędzia, używane przez profesjonalistów do dokładniejszej oceny produktów lub procesów, można również stosować do projektowania budynków poprzez wprowadzanie danych materiałowych.

Przydatność LCA zależy od fachowej interpretacji wyników, co wymaga wiedzy i doświadczenia, a także ostrożności w formowaniu zaleceń projektowych. Metody oceny skutków są konieczne, ale niewystarczające do podejmowania decyzji środowiskowych. Prawdziwe czerpanie korzyści z kompleksowego LCA wymaga, w przypadku budynku, ogólnej znajomości konstrukcji, procesów budowlanych oraz funkcji budynku.

INFORMACJE DODATKOWE

Niektóre fragmenty ze standardów ISO LCA niewymienione w opracowaniu:

- Nie ma jednej metody prowadzenia LCA. Organizacje mają swobodę wdrożenia LCA zgodnie z normą międzynarodową oraz z zamierzoną aplikacją i własnymi wymaganiami.
- LCA uwzględnia potencjalny wpływ na środowisko, ale nie przewiduje go w sposób absolutny ani dokładny, również ze względu na fakt, że niektóre rodzaje oddziaływania na środowisko są wyraźnie przyszłymi skutkami.
- Interpretacja powinna odzwierciedlać fakt, że wyniki oddziaływania oparte na wielu zależnościach wskazują na potencjalne skutki środowiskowe, ale nie przewidują rzeczywistych

wpływów na końcowe punkty analizowanych kategorii, przekroczenia progów, marginesów bezpieczeństwa lub ryzyka.

- Wyniki wpływów środowiskowych nie powinny stanowić jedynej porównawczej podstawy dla opinii publicznej o ogólnej wyższości lub równoważności środowiskowej, ponieważ konieczne mogą być dodatkowe informacje do wyjaśnienia niektórych nieodłącznych ograniczeń w ocenie skutków.

NARZĘDZIA LCA

Istnieje wiele narzędzi do oceny cyklu życia. Choć każde ma swoje własne cechy, prawie wszystkie z nich są oparte na tej samej metodologii. Większość narzędzi jest dostępna na stronie Services for Green Products [9].

Bibliografia

- [1] Athena SMI, <http://www.athenasmi.org/resources/about-lca/technical-details/>, dostęp 12.03.2020.
- [2] Jensen A.A., Elkington J., Christiansen K. et al., *Life Cycle Assessment (LCA) – a guide to approaches, experiences and information sources*, Environmental Issues Series Nr 6, European Environment Agency, 1998, https://www.researchgate.net/publication/299446257_Life_cycle_assessment_LCA_-_a_guide_to_approaches_experiences_and_information_sources, dostęp 12.03.2020.
- [3] O'Connor J., Meil J., Baer S. et al., *LCA in construction: status, impact, and limitations*, Athena Sustainable Materials Institute, http://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2012/08/ASMI_PE_INTL_White_Paper_LCA-in-Construction_status_impact_and_limitations.pdf, dostęp 22.03.2020.
- [4] Kynoch B., Adelaar M., Trudeau M. et al., *Life-Cycle Environmental Impacts of the Canadian Residential Sector*, 2008 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, <https://pdfs.semanticscholar.org/9184/19d8e1705235490f47748a97004ebd6adee1.pdf>, dostęp 12.03.2020.
- [5] MIT Concrete Sustainability Hub: <http://cshub.mit.edu/>, dostęp 12.03.2020.
- [6] Athena SMI, *Impact Estimator for Buildings*, <https://calculatelca.com/software/impact-estimator/>, dostęp 23.03.2020.
- [7] American Institute of Architects (AIA) Committee on the Environment, *AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*, 2010, <https://www.brikbases.org/sites/default/files/aia082942.pdf>, dostęp 13.03.2020.
- [8] ANSI/ASHRAE/USGBC/IES Standard 189.1-2014: Standard for the Design of High-Performance Green Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ASHRAE 189.1), <https://www.epa.gov/smartgrowth/ansiashraeusgbcies-standard-1891-2014-standard-design-high-performance-green-buildings>, dostęp 02.03.2020.
- [9] Eco-Smes, *Services for Green Products*, <http://www.ecosmes.net/cm/navContents?l=EN&navID=lcaSmesStandardReg&subNavID=3&pagID=1&flag=1>, dostęp 22.03.2020.



WOJCIECH KUJAŃSKI

➔ Doktor architekt oraz właściciel i dyrektor w firmach INPOL Consulting oraz ISG Inc., wykładowca w Algonquin College w Ottawie w Kanadzie na kierunku Building Science oraz w programie podyplomowym Green Architecture. Wykłada też na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej. Wcześniej długi letni senior researcher w Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) w rządzie Kanady. Zajmuje się konsultacjami, dydaktyką oraz badaniami w dziedzinie energii i środowiska w sektorze budowlanym oraz transportowym.

Jest członkiem MRAIC (Member of the Royal Architectural Institute of Canada), iISBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment; członek zarządu 2003–2006), BECOR (Building Envelope Council Ottawa Region), CaGBC – Canada Green Building Council (Rada ds. Zielonych Budynków); BR&I – Building Research & Information – komisja rozpatrująca publikacje; CESBE07 – Członek Komitetu Naukowego. Członek kanadyjskich zespołów w GBC (Green Building Challenge) oraz SBC (Sustainable Building Challenge), m.in. w Oslo, Tokio, Melbourne. W Polsce wykonał m.in. prace dla Ministerstwa Rozwoju o tematyce procesów zrównoważenia w budownictwie. Jest autorem pierwszej wersji programu komputerowego GBTool do oceny budynków w procesie Green Building stosowanego w 14 krajach. Za Program On-Track do oceny środowiskowej pojazdów w rządzie federalnym otrzymał nagrodę Ministerstwa Obrony Narodowej Kanady „Environmental Recognition Award”.

Stworzył lub współtworzył blisko 30 projektów architektonicznych w Polsce, Algierii i Kanadzie, m.in. w biurze arch. Moshe Safdiego. Prowadzi szeroką działalność popularyzatorską i organizacyjną w zakresie budownictwa zrównoważonego, m.in. seminaria iISBE na czterech kontynentach, współorganizował wprowadzenie Polski oraz Republiki Czeskiej do iISBE, warsztaty Passive House w Ottawie, seminaria z udziałem US.DoE, seminaria naukowe (przez ISG) na Uniwersytecie Carleton w Ottawie oraz dla SARP-u i Politechniki Wrocławskiej. Jest autorem lub współautorem 35 publikacji (m.in. w „Architektura Murator”, „Zawód: Architekt”, „Czasopismo Techniczne”), a także redaktorem i współautorem 23 publikacji badawczych w Kanadzie.

Słownik pojęć z objaśnieniem skrótów

A

Akumulacja energii

Magazynowanie energii (najczęściej w postaci ciepła i chłodu) w czasie występowania jej nadwyżek, celem późniejszego wykorzystania. Stosuje się różne metody akumulacji: w ciałach stałych i płynach (np. w gruncie, w elementach konstrukcji budynku o wysokiej akumulacyjności cieplnej, tj. ceramice pełnej, betonie, kamieniach naturalnych oraz w skałach, wodzie, oleju); z wykorzystaniem przemian fazowych (np. w lodzie, parafinach, roztworach solnych, materiałach zmiennofazowych lub zmieszanych z materiałem budowlanym, jak beton, tynki, wylewki cementowe); elektrochemiczną i elektryczną (np. akumulatory niklowo-kadmowe, kwasowo-ołowiowe, wodorowe, kondensatory); z wykorzystaniem energii mechanicznej (np. sprężone powietrze, różnica wysokości, koła zamachowe).

Energia może być akumulowana krótko- i długoterminowo. W przypadku akumulacji ciepła i chłodu najczęściej stosuje się akumulację krótkookresową (dobową lub 1–2-dniową), rzadziej średniookresową (1–2 miesiące) lub sezonową (2–6 miesięcy).

Architektura energoaktywna

Architektura, w której świadomie wykorzystuje się strategie związane z redukcją zużycia szeroko pojętej energii w budynkach w całym cyklu ich życia, tj. energii użytkowej (na cele ogrzewania, chłodzenia, wentylacji i ciepłej wody użytkowej) potrzebnej do zapewnienia komfortu, energii elektrycznej (na cele oświetlenia i zasilania urządzeń) oraz wbudowanej (w materiały i procesy związane z realizacją inwestycji).

Architektura zrównoważona

Obiekty podporządkowane idei zapewnienia społecznej satysfakcji, regeneracji środowiska i trwania w biofizycznych granicach planety oraz dobrobytu ekonomicznego. Charakteryzują ją rozwiązania umożliwiające redukcję zużycia zasobów poprzez strategie projektowania w obszarach energii, wody, materiałów, odpadów, transportu i zieleni, w całym cyklu życia.

Powstał zestaw norm dotyczących oceny zrównoważoności budynków, tj. normy zawierające kryteria budynków w filarze społecznym EN 16309 i środowiskowym EN 15978.

Architektura wernakularna

Obiekty budowane w tradycji lokalnej, najczęściej bez udziału architekta.

B

BEMS – Building & Energy Management System

System zarządzania energią i budynkiem – BMS rozszerzony o funkcje umożliwiające zarządzanie i monitoring energii zużywanej lub produkowanej przez poszczególne instalacje budynku, a także pozwalający na ich optymalizację energetyczną.

Białe certyfikaty

Świadectwa efektywności energetycznej potwierdzające planowane do zaoszczędzenia ilości energii w trzech obszarach: przez odbiorców końcowych, przez urządzenia potrzeb własnych oraz przez zmniejszenie strat energii elektrycznej ciepła i gazu w dystrybucji i przemyśle. Mogą dotyczyć termomodernizacji obiektów i infrastruktury lub modernizacji systemów oświetlenia w budownictwie, efektywności paliwowej w transporcie, recyklingu energii czy promocji racjonalnego korzystania z energii przez odbiorców końcowych itp.

<https://www.kape.gov.pl/page/biale-certyfikaty>

BIM – Building Information Modeling

Metoda zbierania wszystkich informacji o budynku w jednym spójnym wirtualnym modelu przy użyciu określonych standardów na poziomie szczegółowości zarówno elementów geometrycznych modelu, jak i informacji niegeometrycznych. Wymagania projektowe oparte na BIM mają służyć m.in. w formułowaniu specyfikacji do zamówień publicznych w budownictwie.

<https://bim-level2.org/en/>

Biologiczna pojemność (biocapacity)

Zdolność biosfery do zaspokajania potrzeb cywilizacyjnych i pochłaniania zanieczyszczeń oraz degradacji odpadów. Wyrażana za pomocą tzw. globalnych hektarów na osobę, co oznacza liczbę produktywnych hektarów (ziemi i wody) rocznie przypadających na

człowieka, mierzonych na podstawie danych statystycznych ludności ONZ i światowych zasobów gospodarowania gruntami.

<https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>

Bionika (biomimicry)

Koncepcja mówiąca o naśladowaniu natury poprzez czerpanie z niej inspiracji, wzorowanie się na niej i uczenie się od niej.

<https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>

BMS – Building Management System

System umożliwiający jednocześnie zarządzanie automatyką poszczególnych instalacji budynku (np. centralnym ogrzewaniem, klimatyzacją, systemami przeciwpożarowymi) poprzez centrum sterowania i monitoringu. Zastosowanie systemu ułatwia utrzymanie komfortu i bezpieczeństwa w pomieszczeniach budynku, monitoring parametrów pracy elementów systemu i minimalizację kosztów pracy instalacji.

Budownictwo pasywne (Passivhaus (niem.))

Budynki w standardzie pasywnym charakteryzują się wskaźnikiem zapotrzebowania na energię użytkową (ogrzewanie, wentylacja) mniejszym niż 15 kWh/(m²·rok), spełniają kryteria określone przez Passivhaus Institut w Darmstadt, czyli: wskaźnik zapotrzebowania energii pierwotnej nie może przekraczać 120 kWh/(m²·rok), zapotrzebowanie na moc do ogrzewania do 10 W/m², parametry przegród zewnętrznych: współczynnik izolacyjności cieplnej U maksimum – 0,80 W/(m²·K) dla przeszkleń i 0,15 W/(m²·K) dla pozostałych przegród, szczelność $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$, redukcja mostków cieplnych, wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z rekuperacją (zalecany dodatkowo gruntowy wymiennik ciepła), częstotliwość przegrzania w lecie do 10%.

<https://passipedia.de/start>, <https://passiv.de/>, <http://www.pibp.pl/>

Budynki niskoenergetyczne

Wskaźnik rocznego jednostkowego zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji wynosi w nich $\leq 40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

C

C2C – Cradle to cradle (od kołyski do kołyski)

Wyroby wyprodukowane z wykorzystaniem przetworzonych odpadów (np. porozbiórkowych). Jeżeli w procesie produkcji występuje (przestarzały) etap wydobycia surowców – nazywa się on cradle to grave – C2G (od kołyski do grobu). W innym rozumieniu wyroby widziane są w cyklu cradle to gate – C2G (od kołyski do bramy), czyli z perspektywy samego procesu produkcji, tj. wydobycie, transport i pakowanie oraz przechowywanie, a potem w cyklu gate to grave – G2G (od bramy do grobu).

E

Energia końcowa (final energy, site energy)

Ilość energii bardzo ważna z punktu widzenia kosztów eksploatacji budynku. Oprócz zużycia energii związanej bezpośrednio z potrzebami użytkowymi budynku, uwzględnia sprawność poszczególnych elementów instalacji. Im wyższa sprawność elementów odbioru, przesyłu i akumulacji oraz urządzeń automatycznej regulacji, tym niższe zapotrzebowanie na energię końcową przy danym zapotrzebowaniu na energię użytkową. Z zapotrzebowania na energię końcową oblicza się ilości zużywanych przez budynek nośników energii (paliw), jak np. energii elektrycznej, gazu, ciepła sieciowego, biomasy i innych. Znając zaś ilości zużywanych nośników energii, oprócz ich kosztów, można obliczyć również emisję substancji uwalnianych do środowiska zewnętrznego w wyniku spalania danych nośników energii (paliw).

Energia pierwotna (primary energy, source energy)

Oznacza zasoby energetyczne środowiska naturalnego w stanie przed ich jakąkolwiek transformacją i przetwarzaniem. Jest to ilość nośników energii, którą trzeba pobrać ze środowiska i dostarczyć do granicy budynku, aby po ich przetworzeniu (spaleniu) móc zaspokoić potrzeby bytowe użytkowników budynku. Informacja o zapotrzebowaniu na energię pierwotną jest zatem istotna z punktu widzenia bezpieczeństwa surowcowego i środowiskowego danego obszaru. W zależności od nośników energii końcowej (np. gaz ziemny, energia elektryczna, biomasa) stosuje się współczynniki przeliczające zawartą w nich energię pierwotną odnawialną lub nieodnawialną.

Energia użytkowa (usable energy)

Ilość energii przeznaczona bezpośrednio na zapewnienie komfortu użytkownika budynku (najczęściej ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, ciepłej wody użytkowej). Ilość energii użytkowej, a więc dostarczanej bezpośrednio do zaspokojenia potrzeb użytkowników, wraz z uwzględnieniem efektywności jej dostarczenia to energia końcowa.

Energia wbudowana (embodied energy)

Energia wykorzystywana bezpośrednio i pośrednio, związana z wytwarzaniem, transportem, użyciem i usuwaniem produktów, w tym energia zawarta w surowcach, które są również używane jako wspólne źródła energii (np. naturalny gaz wykorzystywany do produkcji różnych tworzyw sztucznych, w tym żywic). Słowo „wbudowana” odnosi się do przypisania w sensie „księgowym” w przeciwieństwie do stricte fizycznego wbudowania. Zarówno wydobywanie, jak i odprowadzanie z powrotem do natury są wbudowanymi efektami, podobnie jak te związane z produkcją i transportem samej energii (efekty wstępnego spalania). Wszystkie fazy obejmują środowiskowe obliczenia powiązanych działań oraz ich produktów, takich jak np. okresowe czyszczenie, malowanie lub wymiana elementów budynku.

EPD – Environmental Product Declaration

Deklaracja środowiskowa wyrobu opracowywana wg procedury zawartej w normie PN-EN 15804. Najczęściej niestety nie zawiera informacji o wpływie wyrobu na środowisko z uwzględnieniem pełnego cyklu życia, a jedynie z etapu wyrobu (dostawa surowców, transport, wytwarzanie), a więc z faz tzw. od kołyski do bramy (from cradle to gate).

F

Free cooling (night cooling)

Proces wykorzystania darmowych pokładów chłodu zawartego w powietrzu zewnętrznym o niskiej temperaturze do schłodzenia powietrza wewnątrz budynku. Dzieli się na proces bezpośredni lub pośredni. Bezpośredni następuje poprzez rozładowanie ciepła nagromadzonego w masie termicznej budynku w czasie dnia, poprzez wykorzystanie nocnego przewietrzania, najczęściej z wykorzystaniem konwekcji. W małej skali typowym przykładem zastosowania są okna dachowe służące odprowadzeniu nadmiaru ciepła z budynku. W większej – w centrach handlowych, które po godzinach pracy i wyłączeniu

wentylacji mechanicznej, po uchyleniu świetlików umożliwiają schłodzenie pomieszczeń dzięki zjawisku konwekcji. Pośredni następuje w instalacji, np. w centrali klimatyzacyjnej.

H

HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning

Skrót z języka angielskiego – ogrzewnictwo, wentylacja i klimatyzacja – określający dziedzinę inżynierii sanitarnej (szerzej inżynierii środowiska) lub instalacje sanitarne obiektu związane z ogrzewaniem, wentylacją i klimatyzacją pomieszczeń.

I

ISO 14000

Zbiór norm opracowanych przez International Organization for Standardization – ISO dotyczących różnych aspektów zarządzania środowiskowego (proekologicznego). Zawiera praktyczne narzędzia dla firm i organizacji chcących zidentyfikować, kontrolować i redukować swój wpływ na środowisko naturalne. Seria 14000 obejmuje standard ISO 14001 w zakresie systemów zarządzania środowiskowego (Eco-management and Audit Scheme – EMAS), a także serię norm związanych z LCA (seria 14040).

Izolacyjność cieplna przegród

Zdolność przegród budynku do przeciwdziałania przepływowi ciepła przez nie (w ziemie – ze środka na zewnątrz, w lecie – z zewnątrz do środka). W skali makro (czyli całych przegród) oznacza w uproszczeniu: więcej izolacji = trochę lepiej energetycznie, mniej izolacji = zauważalnie gorzej, w skali mikro dotyczy mostków cieplnych (czyli miejsc w połączeniach między przegrodami, np. naroża, węzły konstrukcyjne, wieńce, nadproża) i ich wpływu na przepływ ciepła między budynkiem a otoczeniem. Izolacyjność w skali mikro czasami jest trudniejsza do uzyskania i bywa najczęściej zaniedbywana.

Izolacja transparentna (Transparent insulation – TIM)

Materiał izolacyjny charakteryzujący się dużą przepuszczalnością promieniowania słonecznego zapewniającą transmisję znacznych ilości energii do powierzchni absorbującej oraz dobrą izolacyjnością termiczną. Może zostać także wykorzystany do częściowego doświetlenia pomieszczeń.

K

Kaskada energetyczna

Zasada racjonalnego gospodarowania energią w budynku polegająca na pełnym wykorzystaniu ciepła bytowego w postaci energii odpadowej. Kaskada porządkuje różne sposoby użytkowania energii w taki sposób, aby każda energia odpadowa wedle cech jakościowych miała właściwego odbiorcę. Kierując się taką zasadą, można dostosować dobór źródeł energii do potrzeb energetycznych budynku nie tylko w aspekcie ilościowym, ale również jakościowym (np. źródła energii niskotemperaturowej z przeznaczeniem do ogrzewania pomieszczeń, a fotowoltaika wyłącznie do zasilania urządzeń).

Klimatyzacja

Nadawanie powietrza w pomieszczeniach parametrów właściwych do sposobu ich użytkowania (nawilżanie, osuszanie, podgrzewanie i ochładzanie). Klimatyzacja komfortu – bez normowania poziomu wilgoci, klimatyzacja pełna – z normowaniem poziomu wilgoci. Pojęcie często nadużywane i stosowane zamiast określenia „chłodzenie”. Klimatyzacja z wykorzystaniem energii promieniowania słonecznego SDEC (Solar-Desiccative-Evaporative-Cooling) służy do uzdatniania powietrza (zarówno oziębiania latem, jak i ogrzewania zimą).

Kogeneracja

Proces technologiczny jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła użytkowego mający na celu zmniejszenie ilości i kosztu energii pierwotnej niezbędnej do wytworzenia każdej z tych form energii odrębnie. Zob. też trigeneracja.

Komfort

Wyróżnia się: komfort termiczny (cieplny) – uzależniony od temperatury, prędkości ruchu i wilgotności względnej powietrza, temperatury promieniowania powierzchni i asymetrii rozkładu temperatur w pomieszczeniu; komfort wizualny – zapewniony przez właściwe oświetlenie i jego natężenie (lighting, illumination); komfort akustyczny – oznaczany przez słyszalność dźwięku, czas pogłosu i poziom hałasu; komfort ergonomiczny. Składową komfortu jest też jakość powietrza wewnętrznego (indoor air quality – IAQ) zdefiniowana jego temperaturą, wilgotnością i poziomem zanieczyszczenia (zwłaszcza występowaniem CO₂ i innych lotnych związków organicznych – LZO). Z kolei komfort adaptacyjny oznacza akceptowalny przez użytkownika zakres temperatur wnętrza w odniesieniu do

zewnątrznych parametrów meteorologicznych i klimatycznych. Z zasady w zimie akceptowalne są niższe, a w lecie wyższe temperatury pomieszczeń.

Koszty inwestycji (w BIM 2)

Początkowe oznaczają wszystkie nakłady kapitałowe poniesione do momentu oddania budynku do użytkowania. Obejmują projektowanie, budowę, podłączenie do mediów oraz procedury związane z rozruchem eksploatacyjnym. **Koszty utrzymania** to koszty przeznaczane na planowane naprawy budynku, w tym koszty wymiany zużytych elementów i urządzeń, koszty kontroli, sprzątnięcia, ochrony itp. **Koszty eksploatacji** to koszty związane z opłatami ze media i ewentualnymi kosztami ubezpieczenia. **Koszty energii** dotyczą zapotrzebowania budynku na nośniki energii. **Koszty usunięcia** oznaczają koszty likwidacji budynku (ewentualnie elementów budynku), który osiągnął koniec cyklu życia, i obejmują prace rozbiórkowe, transport i recykling. Wszelkie dodatkowe obciążenia finansowe, jak np. podatki VAT, opłaty środowiskowe, a także zachęty finansowe (np. dotacje, gwarantowane ceny zakupu energii), jeśli mają istotny wpływ na koszt całkowity inwestycji, są uwzględniane w analizie kosztów inwestycji z użyciem BIM. W analizie kosztów inwestycji występują koszty: CAPEX (Capital Expenditure) nakłady kapitałowe potrzebne na zrealizowanie inwestycji; OPEX (Operating Expenditure) wydatki związane z utrzymaniem obiektu; TOTEX (Total Expenditure) całkowity koszt inwestycji w całym cyklu jej życia (TOTEX = CAPEX + OPEX).

L

LCA – Life Cycle Assessment

Metoda środowiskowa szacowania obiektu w cyklu życia, oznacza wszystkie fazy istnienia produktu, w tym badanie, rozwój, projektowanie przemysłowe, testowanie, wydobycie lub pozyskanie, produkcję, transport, używanie, utrzymanie przez okres istnienia, logistykę, szkolenie, zużycie, wyburzenie i usuwanie.

LCC – Life Cycle Costing

Metoda kosztowa szacowania przedsięwzięcia w cyklu życia, jest „tylko” rachunkiem ekonomicznym obliczanym w poszczególnych etapach istnienia budynku. Zasady przeprowadzenia oceny ekonomicznych właściwości budynków, nowych oraz istniejących, omawia norma PN-EN 16627 *Ocena właściwości ekonomicznych budynków*.

M

Masa termiczna

Pojemność cieplna przegrody budowlanej, będąca iloczynem ciepła właściwego, masy, grubości i powierzchni danej przegrody. Występuje tzw. radiacyjna masa termiczna, czyli przegroda uzyskująca ciepło wskutek promieniowania słonecznego, oraz tzw. konwekcyjna masa termiczna, która ogrzewa się wskutek omywania nagrzanym powietrzem w budynku (jest kilkukrotnie mniej skuteczna).

Metoda M-Z-P-O, tj. medium – źródło – przesył – odbiornik

Zasada, której celem jest ułatwienie architektowi nazwania i lokalizacji poszczególnych elementów składowych większości rozwiązań instalacji sanitarnych i zwrócenie uwagi na konieczność odpowiedniego dostosowania koncepcji architektonicznej do wymogów wybranego przez architekta rozwiązania instalacyjnego.

Mostki ciepłe (termiczne)

Miejsca w konstrukcji budynku, w których następuje intensyfikacja przepływu ciepła. Jest to dodatkowy przepływ ciepła w obudowie budynku, występujący jako tzw. zimne krawędzie na styku dwóch lub więcej przegród lub w miejscach, w których na danym odcinku pojawia się zmiana geometrii elementu czy grubości jego warstw (liniowe mostki ciepłe) lub jako zimne punkty w miejscach, w których następuje zmiana materiału (punktowe mostki ciepłe).

N

Niska emisja

Określenie emisji produktów spalania paliw stałych, ciekłych i gazowych do atmosfery ze źródeł emisji (emiterów) znajdujących się na wysokości nie większej niż 40 m. Wyróżnia się emisję komunikacyjną, emisję wynikającą z produkcji ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej oraz emisję przemysłową.

P

PCM – Phase Change Material (materiał zmiennofazowy)

Grupa substancji służących do akumulacji ciepła i chłodu w przegrodach budynku lub

w systemach instalacji c.w.u. i klimatyzacji, dzięki wykorzystaniu właściwości przemian fazowych. Umożliwiają one znaczne zmniejszenie wielkości zasobników ciepła lub chłodu. W Polsce najczęściej wykorzystywana jest przemiana woda–lód w systemach chłodniczych. PCM wykorzystywane są również do transportu ciepła w kolektorach słonecznych (kolektory rurowo-próżniowe typu heat pipe).

PGO – potencjał globalnego ocieplenia

Miernik służący redukcji śladu węglowego tworzonego przez emiterów dużej ilości różnych gazów cieplarnianych (np. państwa oraz określone gałęzie przemysłu), mający przyczynić się do łagodzenia zmian klimatycznych. Wykładnikiem śladu węglowego jest CO₂-eq, czyli ekwiwalent CO₂ w tonach, który umożliwia porównanie emisji różnych gazów (np. 1 tona metanu odpowiada 25 tonom CO₂-eq).

Półki świetlne

Systemy poprawiające doświetlenie w pomieszczeniach, polegające na instalowaniu poziomych elementów odbijających i/lub rozpraszających promienie słoneczne. Są elementem profilu elewacji (przekroju pionowego).

PV – Photovoltaic (ogniwa fotowoltaiczne)

Ogniwa wytwarzające prąd o mocy 1–7 W z promieniowania słonecznego w procesie fotowoltaicznym. Połączone ze sobą tworzą moduły, mogą też być zintegrowane z budynkiem, tzw. BIPV Building Integrated Photovoltaic.

<http://www.solarpowereurope.org/>

S

SF – Solar factor

Całkowity współczynnik przepuszczalności energii słonecznej g_n , inaczej zwany SHGC (Solar Heat Gain Coefficient), wyraża stosunek przepuszczonego przez oszklenie promieniowania słonecznego oraz części zaabsorbowanej i wypromieniowanej w kierunku pomieszczenia do całkowitej padającej na nie energii słonecznej (w zakresie od 300 nm do 2500 nm). Występuje też współczynnik przepuszczalności energii całkowitej okna g , który jest iloczynem współczynnika przepuszczalności energii całkowitej oszklenia g_n oraz wartości współczynnika zmniejszającego urządzeń przeciwsłonecznych f_c (wg wzoru $g = f_c \times g_n$). Wartość podawana w procentach lub w przedziale 0–1.

Strategie energetyczne

Dzieli się na pasywne, aktywne oraz semipasywne i semiaktywne. **Strategie pasywne** to rozwiązania i działania mające na celu zmniejszenie zapotrzebowania budynku na energię grzewczą, do chłodzenia i wentylacji, niewymagające dostarczenia prądu, a przepływ nośnika energii, którym jest w większości przypadków powietrze, następuje w sposób niewymuszony mechanicznie. Rozwiązania te powiązane są z zachowaniem, poborem, odzyskiem oraz obiegiem energii w budynku. **Strategie aktywne** wiążą się z zastosowaniem urządzeń mechanicznych zasilanych prądem, służących zapewnieniu komfortu użytkownika, przygotowania c.w.u. oraz produkcji prądu. Często z wykorzystaniem systemów zarządzania BMS – Building Management System lub BEMS – Building Energy Management System.

Struktury szklarniowe

Elementy buforowe wykorzystujące promieniowanie słoneczne do ogrzania i oświetlenia, np. ogrody zimowe, przeszklone loggie, atria ścienna-światlikowe, przeszklone elewacje dwupowłokowe.

Szczelność powietrzna budynku

Odporność na próby przenikania powietrza (infiltracji i eksfiltracji) przez nieszczelności obudowy (szczeliny, pory lub mikropęknięcia w przegrodach zewnętrznych), przy założeniu zamkniętych okien i drzwi oraz z pominięciem wymiany powietrza kanałami wentylacyjnymi. Ocenę szczelności budynku przeprowadza się za pomocą testu blower door.

Symulacje energetyczne

Modelowanie komputerowe wielu parametrów pracy instalacji, poszczególnych części i całości budynku. Pozwalają na uwzględnienie dynamicznych zmian, jakie zachodzą w budynku i jego otoczeniu, wpływających na jego bilans energetyczny. Wykorzystane m.in. do opracowania szczegółowych projektów (architektonicznych, budowlanych, instalacyjnych), oszacowania kosztów eksploatacyjnych budynku, do zlokalizowania i wyeliminowania elementów wpływających na zwiększenie energochłonności obiektu. Obliczenia numeryczne prowadzone są dla zdefiniowanego okresu (najczęściej roku) i w określonym kroku czasowym (najczęściej godzinym) za pomocą programów komputerowych.

Ślad węglowy

Suma emisji gazów cieplarnianych towarzyszących bezpośrednio i pośrednio wszelkim rodzajom aktywności i przedsięwzięciom. Obejmuje emisję dwutlenku węgla, metanu, podtlenku azotu i innych gazów wyrażoną w ekwiwalencie CO₂.

<https://www.carbonfootprint.com/>, <https://smoglab.pl/policz-swoj-slad-weglowy-kalkulator-onz-ci-w-tym-pomoze/>

T

TABS – Thermal Active Building System (termicznie aktywne systemy budynkowe)

Niskoenergetyczny i ekonomiczny system ogrzewania i chłodzenia płaszczyznowego dzięki wykorzystaniu masy akumulacyjnej betonu. Umożliwia redukcję zapotrzebowania szczytowego na ogrzewanie i chłodzenie, zmniejszenie instalacji chłodzących i redukcję wydatków na instalacje. Rozwiązanie polega na umieszczeniu rur ogrzewania lub chłodzenia wodnego w żelbetowych ścianach, podłogach czy stropach budynków. Występuje także w postaci tzw. sufitów radiacyjnych lub belek. Szczególnie popularne w obiektach biurowych.

Termomodernizacja budynków

Wykonanie podstawowego zakresu prac wpływających na poprawę efektywności energetycznej budynków, tj. docieplenie przegród zewnętrznych, wymiana stolarki okiennej i/lub drzwiowej, montaż termostatów, wymiana źródła ciepła, a także izolacja instalacji (przesyłu) budynku i dostosowanie do nowych parametrów. Zazwyczaj redukuje to zapotrzebowanie na energię od 30% do 50%, co przekłada się bezpośrednio na zmniejszenie wydatków związanych z utrzymaniem budynków i tym samym przyczynia się do eliminacji ubóstwa energetycznego.

Trigeneracja

Proces technologicznie skojarzonego wytwarzania energii cieplnej, mechanicznej oraz chłodu użytkowego, mający na celu zmniejszenie ilości i kosztu energii pierwotnej niezbędnej do wytworzenia każdej z tych form energii odrębnie.

U

Ubóstwo energetyczne (fuel poverty)

Trudności w zaspokojeniu potrzeb energetycznych (ogrzewania, ciepłej wody, elektryczności) gospodarstwa domowego z powodu niskiego dochodu lub charakterystyki mieszkania. W Polsce obecnie problem dotyczy 12,2% mieszkańców.

<https://ibs.org.pl/news/infografika-i-filmy-nt-ubostwa-energetycznego/>

W

Wentylacja

Dzieli się na grawitacyjną, naturalną, mechaniczną i hybrydową. Grawitacyjna to samoczynna wymiana powietrza za pomocą pionowych kanałów wywiewnych następująca w wyniku różnicy ciśnień związanych z różnicami temperatur wewnętrznych i zewnętrznych lub będącej efektem występowania silnych wiatrów. Wentylacja naturalna jest

wywołana w analogiczny sposób, lecz nie wymaga kanałów. Jej elementami (podzespołami) są wszelkie elementy uchylne (okna, lufciki, świetliki itp. lub zamykane kratki wentylacyjne). Można ją zintensyfikować poprzez przewietrzanie dzięki otwarciu okien lub innych elementów do tego przeznaczonych.

Współczynnik kształtu A/V

Stosunek powierzchni ograniczających bryłę budynku do jej kubatury.

Z

ZPP – zintegrowany proces projektowy (IDP – Integrated Design Process)

Projektowanie będące procesem, w którym interdyscyplinarny zespół projektantów i interesariuszy realizuje wspólnie wyznaczone cele dla danej inwestycji. Występuje też Zintegrowane projektowanie energetyczne (ZPE), którego celem jest optymalizacja efektywności energetycznej.

Summary

1 Basics of energy-active installation solutions.

Piotr Kęskiewicz

This chapter presents basic issues related to sanitary installations of buildings and the possibility of their use as an important element of energy-efficient architecture. Internal parameters, which are necessary to ensure the comfort of users, and appropriate installations responsible for this task are discussed. The further part of the chapter introduces the M-Z-P-O principle, the application of which should make it easier for architects to select and locate individual building installation components.

2 Examples of installation solutions using the M-Z-P-O principle.

Piotr Kęskiewicz

The chapter presents examples of basic installation solutions used in newly constructed buildings. Issues related to energy-active architecture and natural and gravitational ventilation, HVAC (in particular regarding the source elements) are included. A practical way of interpreting and using the M-Z-P-O principle for aforementioned installations is presented and index of important comments is prepared.

3 Architect's point of view on BIM.

Przemysław Wojsznis

The chapter discusses the premises of BIM and architect's experience of utilizing it in design work and teaching. A historical outline is presented, the main concepts, requirements, methods and use in the investment process are discussed. The purpose of the chapter is to show the benefits of using BIM in the entire investment process from planning, through conceptual and design work, to execution and, equally important, facility management, as well as at the final stage of utilization. These features allow for change of the relationship between investor, designer, contractor and the user.

4 BIM in the investment process – HVAC Engineer’s point of view.

Radosław Radziecki

The chapter introduces the concept of BIM (Building Information Modeling) and describes the transition from simple inter-branch coordination in a 3D environment to model based advanced energy analysis. Examples of problems and challenges over the course of years are based on the experience of the Cegroup engineering office and its practice on MEP installations (Mechanical, Electrical, Plumbing). The BIM manager function, who connects project teams, is also discussed. Attention is paid to the role of close cooperation with general contractor team, making comments already at the stage of creating the virtual building model. The conclusion is drawn, that working in the BIM environment allows to gain more awareness with each subsequent project regarding the possibilities of using this methodology to an ever-greater extent. This mainly applies to many analyses affecting the future operation of the building.

5 Building simulation’s tools in the design process.

Wojciech Stec

The following chapter describes the use of building simulations during the design process. Discussed are the types of simulations and potential exemplary functions. Also, the chapter provides required skillset of the simulation user and suggested simulation process. Finally, a suitable example has been shown to indicate the potential of application of the building optimisation process with the use of simulations. The main objective of this chapter is to emphasise the importance of the building design optimisation and use of simulation in the design process of the advanced buildings. This is mainly due to steadily increasing requirement for a higher quality and satisfying ever increasing set of criteria, often contradicting one another. Additionally, simulations should be essentially a tool suited for each project individually to perform building optimisation in the most cost-effective way, not a default obligation on each project. Only this way the design quality will fully benefit from the application of simulations.

6 Energy and economic efficiency of buildings.

Konrad Witczak

The chapter presents issues related to the energy and economic efficiency of buildings from the life cycle point of view, which allows to assess the impact of a given investment on sustainable development. Energy efficiency measures from various levels of balancing are presented. The most important steps in the design process are indicated and selected computer programs for increasing energy efficiency are shown. The concept of the building life cycle is defined from the point of view of multi-criteria systems for assessing the environmental impact of objects. Methods of calculating life cycle cost are also presented.

7 Building life cycle assessment method.

Wojciech Kujawski

When determining the environmental impact of a building, it is important to consider its life cycle. It covers the extraction of raw materials and the production of building materials, their transport, then construction, use and demolition, followed by utilization, recycling and reuse. One of the methods for estimating the impact of objects and materials on the environment is the life cycle assessment (LCA) used in the design process. The study presents definitions and ideas accompanying the introduction of LCA, examples and a brief description of the program used for LCA - Environmental Impact Estimator (EIE). The necessity of using this method in sustainable design process was also indicated.

ae