

dr inż. Andrzej Szymon Borkowski^{1)*}

ORCID: 0000-0002-7013-670X

inż. Natalia Osińska¹⁾

ORCID: 0000-0001-6231-7802

inż. Natalia Szymańska¹⁾

ORCID: 0000-0002-8548-5160

DOI: 10.15199/33.2022.08.07

Streszczenie. Głównym kierunkiem rozwoju współczesnej architektury i budownictwa jest tworzenie ekologicznych i zrównoważonych budynków oraz ograniczenie ich negatywnego wpływu na środowisko. Zrozumienie aspektów energetycznych w budownictwie to jeden z tematów rozważanych i dyskutowanych przy pracy nad innowacyjnymi technologiami budowlanymi, pracą zawodową i edukacją inżynierów w XXI wieku. Zastosowanie technologii BIM w znacznym stopniu przyczynia się do zwiększenia efektywności energetycznej budynków oraz pomaga architektom i projektantom w zrozumieniu wpływu podejmowanych przez nich decyzji na środowisko przyrodnicze. Celem artykułu było przedstawienie możliwości sporządzania analiz energetycznych budynków za pomocą technologii BIM. Trójwymiarowe modele BIM zawierające dane i parametry energetyczne, na podstawie których generowane są precyzyjne raporty energetyczne, dostarczają kluczowych informacji służących optymalizacji zużycia energii na etapie projektu, budowy i eksploatacji budynku i nazywane są modelami BIM poziomu 6D. Dane pozyskiwane z takich modeli mogą wspomagać proces decyzyjny. **Słowa kluczowe:** modelowanie informacji o budynku (BIM); model energetyczny budynku (BEM); analizy energetyczne; model BIM 6D.

Z e statystyk wynika, że sektor budownictwa konsumuje 50 – 60% światowej produkcji energii, w tym 36% zużywa się na utrzymanie istniejących obiektów budowlanych, a 14 – 24% konsumuje produkcja materiałów wykorzystanych podczas budowy nowych obiektów [1]. W ciągu ostatnich dziesięcioleci obserwuje się znaczny wzrost zużycia energii w budownictwie m.in. wskutek gwałtownego przyrostu liczby ludności, postępującego procesu urbanizacji oraz rosnących wymagań dotyczących jakości obiektów budowlanych. Obecnie budownictwo odpowiada za 40% całkowitego zużycia energii w Unii Europejskiej. W tej sytuacji poprawa efektywności energetycznej budynków stała się kluczowym wyzwaniem strategicznym w osiągnięciu neutralności emisyjnej do 2050 r. [2], które należy realizować

¹⁾ Politechnika Warszawska; Wydział Geodezji i Kartografii

^{*}) Adres do korespondencji: andrzej.borkowski@pw.edu.pl

przez stosowanie inteligentnych rozwiązań budowlanych oraz wykorzystywanie energooszczędnych materiałów. Skutecznym działaniem (wielokrotnie potwierdzonym w literaturze i badaniach) w realizacji postulatów i celów zrównoważonego budownictwa jest technologia BIM (ang. *Building Information Modeling*), która umożliwia przeprowadzanie szczegółowych analiz i ekspertyz energetycznych już we wczesnych fazach projektu (studia przedrealizacyjne, koncepcja, projekt budowlany) oraz może istotnie wpłynąć na poprawę efektywności energetycznej budynków. Obecnie opracowywane modele BIM zmieniają sposób projektowania i realizacji budynków. Mogą ułatwić koordynację wielobranżową (federowaną) oraz zintegrować jednocześnie: projektowanie 3D, planowanie harmonogramu budowy, szacowanie kosztów czy przeprowadzanie analiz. Przez rozszerzenie modelu na okres po zakończeniu budowy, modele BIM mogą być wykorzystywane do wspierania zarządza-

nia w okresie eksploatacji, tym samym oferując dobry dostęp do informacji dotyczących wszystkich aspektów funkcjonowania budynku [3].

Wielowymiarowość modeli BIM

BIM ma fundamentalne znaczenie dla rozwoju współczesnego zrównoważonego budownictwa, jest stale rozwijany, a jego funkcjonalność jest poszerzana. BIM można rozpatrywać jako proces, metodę lub narzędzie, w ramach którego baza danych na temat obiektu budowlanego jest stale uzupełniana aktualnymi informacjami, a potencjał danych (odpowiednich i dostarczonych na czas) umieszczonych w bazie jest maksymalnie wykorzystywany przez menedżerów i wiele innych podmiotów przedsięwzięcia budowlanego, w celu lepszej organizacji, koordynacji i zarządzania inwestycją. Środowisko pracy BIM umożliwi zarządzanie trójwymiarowymi modelami zawierającymi dane opisujące cechy fizyczne, chemiczne,

Analizy energetyczne w modelach BIM 6D

Energy analyses of 6D BIM models

Abstract. The main direction of development of modern architecture and construction is creation of ecological and sustainable buildings and reduction their negative impact on the environment. Understanding energy aspects in the construction industry is one of the topics considered and discussed when working on innovative construction technologies, career and education of engineers in the 21st century. The use of BIM technology contributes significantly to the energy efficiency of buildings and helps architects and designers to understand the environmental impact of their decisions. The aim of this paper was to present the possibility of prepare an energy analyses of buildings using BIM technology. Three-dimensional BIM models complete with energy parameters, on the basis of which precise energy reports are generated, provide key information for optimizing energy consumption during the design, construction and operation phases of a building and are called Level 6D BIM models. The data obtained from such models can be used to determine the so-called carbon footprint.

Keywords: Building Information Modeling (BIM); Building Energy Modeling (BEM); energy analyses; model 6D.

akustyczne czy termiczne obiektów budowlanych. BIM jest ciągle jeszcze kojarzony z modelem 3D, natomiast należy podkreślić, iż w procesie projektowania oprócz danych geometrycznych wykorzystuje się także dane niegeometryczne (opisowe), które dotyczą m.in. kosztów budowy, etapów realizacji oraz innych specjalistycznych parametrów. Tym samym **BIM jest modelem wielowymiarowym**, który zawiera dane pozwalające na planowanie harmonogramu realizacji (BIM 4D), analizowanie i tworzenie kosztorysów (BIM 5D), przeprowadzanie analiz środowiskowych, w tym analiz energetycznych (BIM 6D) oraz zarządzanie eksploatacją obiektu (BIM 7D). W innych klasyfikacjach aspekty energetyczne uznaje się czasami za poziom BIM 7D związany z tzw. FM (ang. Facilities Management) [4]. Niezależnie od przyjętej nomenklatury wyodrębnienie poziomów 2D, 3D, 4D, 5D, 6D oraz 7D pozwala na usystematyzowanie wykorzystanych danych w projekcie oraz jednoznaczne określenie wymagań zamawiającego [1].

Model BIM na poziomie 6D jest narzędziem wspierania zrównoważonego budownictwa, które polega m.in. na ograniczeniu zużycia energii i zasobów naturalnych, redukcji wyprodukowanych zanieczyszczeń i odpadów oraz wykorzystywaniu ekologicznych materiałów budowlanych, podlegających recyklingowi. Działania bezpośrednie przyczyniają się do poprawy zarządzania inwestycją zgodnie z uwarunkowaniami środowiskowymi oraz do zmniejszenia kosztów eksploatacji budynków. Jednym z najbardziej popularnych kierunków zastosowania modelu BIM 6D jest przeprowadzanie analiz energetycznych. Analizy są wykonywane na wczesnym etapie np. koncepcji, dzięki czemu możliwe jest sprawdzenie wielu wariantów rozwiązań zastosowanych w projekcie. Należy podkreślić, że wyniki otrzymane w początkowej fazie projektu są jedynie orientacyjne i nie gwarantują utrzymania jednakowych parametrów w modelu finalnym. Model BIM 6D pozwala także na przeprowadzenie symulacji związanych z koniecznością modernizacji budynku lub obliczenia szacunkowego zapotrzebowania na energię w fazie eksploatacji budynku [1].

Building Energy Modeling

Building Energy Modeling (BEM), czyli Modelowanie Energetyczne Budynku lub Model Energetyczny Budynku, dotyczy energetycznej charakterystyki budynków oraz pomaga projektantom w zrozumieniu, jaki wpływ na środowisko mają podejmowane przez nich decyzje. Integracja BIM i BEM jest bardzo ważna z punktu widzenia wprowadzania nowoczesnych rozwiązań projektowych, tworzenia wieloaspektowej dokumentacji oraz projektowania w sposób ekologiczny [5]. We współczesnej architekturze i budownictwie zwraca się szczególną uwagę na kwestie ochrony środowiska przyrodniczego. Coraz częściej prowadzi się szczegółowe analizy dotyczące energooszczędności oraz stosuje ekologiczne materiały budowlane. Wraz z wytyczaniem nowych kierunków rozwoju budownictwa powstają kolejne regulacje formalnoprawne oraz systemy oceny budynków, które uwzględniają proekologiczne działania na każdym etapie przedsięwzięcia. Jednym z najbardziej popularnych systemów certyfikacji jest system oceny wielokryterialnej budynków LEED (ang. *Leadership in Energy and Environmental Design*), który został wprowadzony przez U.S. Green Building Council. System ten służy do oceny wpływu budynków na środowisko naturalne na podstawie takich aspektów, jak lokalizacja budynku; zużycie energii; wykorzystanie materiałów budowlanych i zasobów naturalnych oraz efektywność bilansu wodnego [6]. W związku z tym powszechne stosowanie BEM niewątpliwie stanowi krok naprzód w kierunku energooszczędności projektowanych budynków oraz zrównoważonego budownictwa.

Silniki i narzędzia BEM

Narzędzia służące do modelowania energetycznego budynków opierają się głównie na dwóch powszechnie stosowanych silnikach do symulacji zużycia energii: DOE i EnergyPlus. Projekt DOE został opracowany po raz pierwszy w 1976 r. przez Department Energii Stanów Zjednoczonych (ang. *United States Department of Energy* – USDOE). Od tamtego czasu jest on aktualizowany (najnowsza wersja DOE-2.2.). Do narzędzi wykorzystujących silnik DOE-2.2

należą popularne aplikacje: Green Building Studio oraz eQuest [7]. Tworzony od 1997 r. EnergyPlus jest następcą silnika DOE-2.1E. Rozwój EnergyPlus jest wspierany przez The Building Technologies Office (BTO), który systematycznie wydaje jego nowe aktualizacje. Silnik jest wykorzystywany przez narzędzia BEM, takie jak Insight, Open Studio, Safaira i wiele innych [8]. Oba silniki mają na celu rozszerzenie funkcjonalności narzędzi BIM przez umożliwienie wykonywania szczegółowych analiz energetycznych. Przyczyniają się one tym samym do poprawy efektywności energetycznej, zapewnienia komfortu cieplnego budynków oraz opłacalności ekonomicznej inwestycji. Wymienione cele są realizowane przez implementowanie danych do projektu dotyczących m.in. wskaźników termicznych, kosztów zużycia energii czy efektywności konstrukcji i instalacji zastosowanych w projekcie. W związku z tym zintegrowane projektowanie, wykorzystujące narzędzia BEM, może zmniejszyć potencjalne zużycie energii. Potwierdza to badanie przeprowadzone przez American Institute of Architects (AIA) w latach 2013-2015, które dowodzi, że budynki zaprojektowane z użyciem narzędzi BEM redukują zużycie energii aż o 44% [8].

Analiza energetyczna budynku jednorodzinnego

Symulacje energetyczne zostały wykonane w aplikacji Insight oraz Green Building Studio na podstawie zbudowanego od podstaw modelu BIM budynku utworzonego w Autodesk Revit. Insight działa jako wtyczka do oprogramowania Revit lub jako usługa sieciowa, w której jest generowany model energetyczny. Program jest oparty na silniku EnergyPlus. Green Building Studio jest z kolei usługą opartą na chmurze w pełni zintegrowaną z Revitem, ale może działać niezależnie od niego. Wykorzystuje silnik symulacji energetycznej DOE-2.2 [9]. Przeprowadzone badanie miało na celu porównanie silników służących do symulacji efektywności energetycznej budynków, obliczenie zużycia energii budynku, przy zmiennych właściwościach termicznych oraz dobranie optymalnych materiałów budowlanych i izolacyjnych.

Efektywność energetyczna budynków zależy przede wszystkim od adaptacji do warunków klimatycznych, w których zlokalizowany jest budynek, orientacji i formy ukształtowanej bryły oraz od zastosowanych materiałów budowlanych. Podstawą do wykonania analizy energetycznej jest model 3D, który oprócz bazowych danych informujących m.in. o wymiarach obiektu i sposobach wiązania, zawiera również informacje o cechach energetycznych, takich jak ciepło właściwe materiału, przewodność cieplna, współczynnik odbicia światła, gęstość materiału i wiele innych. Na podstawie specjalistycznych właściwości termicznych podanych przez producenta materiałów w programie automatycznie są obliczane ważne wskaźniki energetyczne, takie jak opór cieplny (R), czy współczynnik przewodzenia ciepła (λ). W związku z tym, mając na celu uzyskanie szczegółowej symulacji energetycznej, należy zastosować materiały budowlane o korzystnych właściwościach termicznych oraz zwrócić szczególną uwagę na dobór elementów konstrukcyjnych oraz stolarki drzwiowej i okiennej [10].

Przeprowadzenie analiz energetycznych wymaga wykorzystania modelu BIM co najmniej na poziomie szczegółowości LOD 4 (ang. *Level of Development*) wg klasyfikacji brytyjskiej normy PAS 1192-2 (odpowiednikiem tego poziomu wg klasyfikacji Amerykańskiej Izby Architektów jest LOD 300). Model BIM na poziomie LOD 4 zawiera informacje o rzeczywistych wymiarach obiektu oraz zastosowanych materiałach. Projekt jest zgodny z założeniami projektowymi oraz z finalną wersją etapu projektowego. Należy podkreślić, że dobór właściwego poziomu szczegółowości jest bardzo istotny z punktu widzenia efektywności modelu. Zwraca się uwagę, że w nieuzasadnionych przypadkach nie należy stosować zbyt wysokiego poziomu szczegółowości i używać zbyt dużej liczby danych. W doborze właściwego poziomu pomaga protokół BIM AEC UK (ang. *Architectural, Engineering and Construction United Kingdom*) [1].

Do badań wykorzystano jednorodzinny budynek mieszkalny o powierzchni użytkowej 170 m² (rysunki 1, 2). Pierwszy wariant analizy wykonano



Rys. 1. Model 3D budynku jednorodzinnego na poziomie LOD 4

[Źródło: opracowanie własne]

Fig. 1. 3D model of single-family building at LOD 4 level



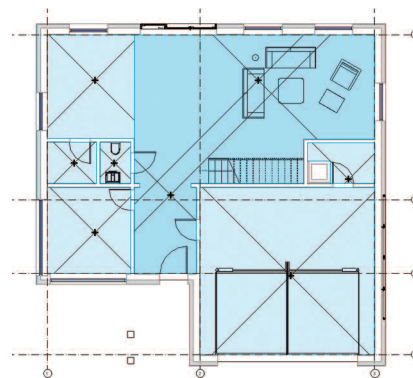
Rys. 2. Przekrój budynku jednorodzinnego – konstrukcja

[Źródło: opracowanie własne]

Fig. 2. Single-family building cross-section – construction

z uwzględnieniem następujących parametrów: ściany konstrukcyjne z bloczków ceramicznych oraz ocieplone płytą styropianową EPS; strop gęstożebrowy o szerokości 20 cm; dach żelbetonowy ocieplony. Konstrukcję analityczną stolarki okiennej zdefiniowano jako podwójne przeszklenie odbijające. Zastosowano drewniane drzwi oraz metalową bramę garażową. W projekcie założono, że budynek jest ogrzewany pompą ciepła.

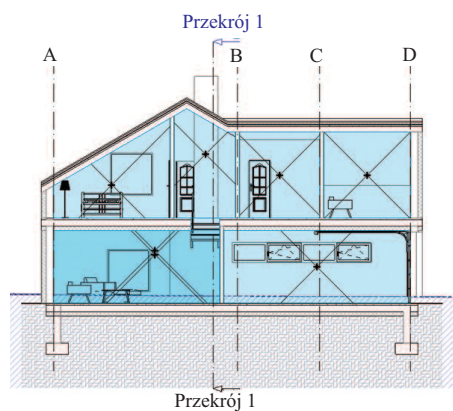
Istotną czynnością do wykonania przed przystąpieniem do sporządzenia analiz energetycznych jest właściwe zdefiniowanie pomieszczeń (rysunki 3 i 4). Informacje o powierzchni i kubaturze są niezbędne do przeprowadzenia podstawowych obliczeń. Przed przystąpieniem do analizy należy upewnić się, czy pomieszczenia są prawidłowo zdefiniowane oraz czy sięgają całej wysokości pomieszczenia. W przeciwnym wypadku model może generować błędy w analizie. Kolejnym niezbędnym elementem jest określenie lokalizacji modelu BIM. W tym celu należy zdefiniować położenie projektu, zaimportować dane pogodowe z lokalnej stacji meteorologicznej oraz ustawić orientację budynku względem ekliptyki Słońca.



Rys. 3. Rzut parteru – wyznaczenie pomieszczeń

[Źródło: opracowanie własne]

Fig. 3. First floor plan – designation of rooms



Rys. 4. Przekrój budynku – wyznaczenie pomieszczeń

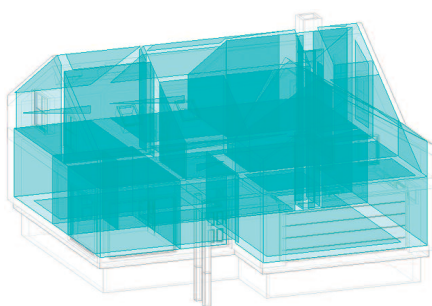
[Źródło: opracowanie własne]

Fig. 4. Building cross-section – designation of rooms

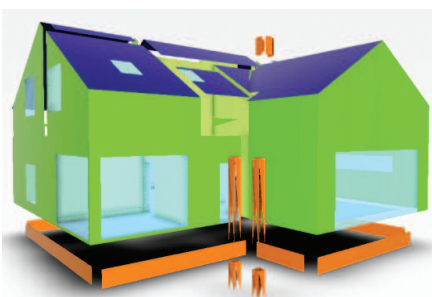
Po odpowiednim przygotowaniu środowiska pracy i uzupełnieniu modelu w kluczowe dane można przystąpić do generowania wyników analizy energetycznej. W aplikacji Insight został wygenerowany model analityczny, a w aplikacji Green Building Studio utworzono szczegółowy raport dotyczący efektywności zaprojektowanego budynku.

Aplikacja Insight

Model energetyczny zwizualizowano w aplikacji Insight (rysunki 5 i 6). Model dostarcza wiele cennych informacji na temat rocznego zużycia energii w budynku oraz możliwości jego optymalizowania. Wydajność zaprojektowanego budynku jest określona przez roczną całkowitą energię netto wyrażoną w kilowatogodzinach, która została automatycznie porównana z innymi obiektami o podobnych parametrach. W aplikacji Insight dostępne są również informacje dotyczące

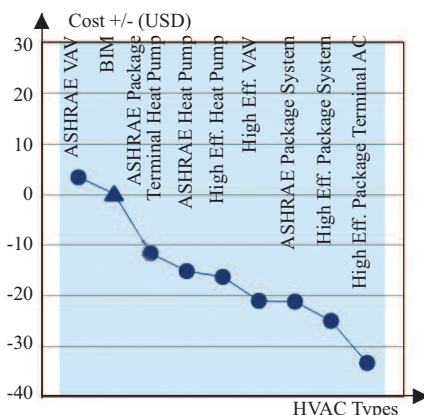


Rys. 5. Model energetyczny w Revicie
[Źródło: opracowanie własne]
Fig. 5. Energy model in Revit

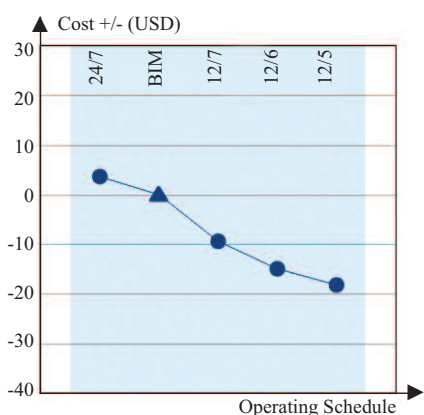


Rys. 6. Model energetyczny w Insight
[Źródło: opracowanie własne]
Fig. 6. Energy model in Insight

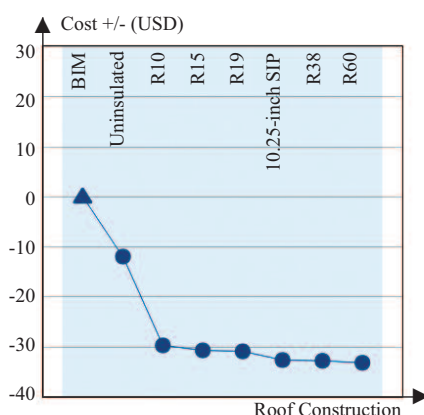
modelu energetycznego na temat orientacji budynku, współczynnika powierzchni przeszklenia, właściwości materiałów stolarki okiennej, konstrukcji ściennych oraz dachowych, efektywności oświetlenia, wydajności systemu HVAC, harmonogramu operacyjnego, określającego typowe godziny użytkowania budynku, a także wydajności energii słonecznej i wielkości powierzchni dachu, na której można zamontować panele fotowoltaiczne. Na podstawie takiego zestawienia projektant jest w stanie określić efektywność energetyczną modelu oraz wprowadzić niezbędne zmiany. Przeprowadzona analiza pierwszego wariantu projektu dostarczyła kompletnych danych na temat możliwości zoptymalizowania zużycia energii. Wskaźniki energetyczne otrzymane w badaniu wskazują na sposoby optymalizacji energii, takie jak zmiana systemu HVAC (rysunek 7), wydajności harmonogramu operacyjnego (rysunek 8) oraz konstrukcji dachu (rysunek 9). Należy podkreślić, że model analizowanego budynku jednorodzinny jest w pełni sparametryzowany, co umożliwia szybkie i bezkolizyjne wprowadzenie zmian. Po dokonaniu koniecznych modyfikacji w mo-



Rys. 7. Wykres wydajności systemu HVAC
[Źródło: insight.autodesk.com]
Fig. 7. HVAC system performance graph



Rys. 8. Wykres wydajności harmonogramu operacyjnego
[Źródło: insight.autodesk.com]
Fig. 8. Operating schedule performance graph



Rys. 9. Wykres wydajności konstrukcji dachu
[Źródło: insight.autodesk.com]
Fig. 9. Roof structure performance graph

delu, ponownie wygenerowano analizę energetyczną. Drugi wariant projektu miał bardziej energooszczędne właściwości i był opracowany z wykorzystaniem bardziej wydajnych materiałów budowlanych.

Rozwiązania projektowe są przedstawione za pomocą wskaźników oraz wykresów zużycia energii, co przyczynia się do podejmowania lepszych decyzji projektowych oraz skutecznego zarządzania budynkiem zarówno w fazie projektu, jak i eksploatacji. Insight jest programem o bardzo czytelnym interfejsie, dzięki czemu może być wykorzystywany przez osoby, które dysponują doświadczeniem w projektowaniu BIM, natomiast nie posiadają specjalistycznej wiedzy z zakresu analiz energetycznych. W programie dostarczane są powierzchniowe dane, dotyczące wpływu poszczególnych rozwiązań projektowych na efektywność energetyczną budynku, natomiast za pomocą wykresów graficznych sugerowana jest zmiana parametrów, które wpływają na optymalizację energii. Jest to duża zaleta programu, gdyż umożliwia powszechne przeprowadzanie analiz przez architektów, projektantów oraz inżynierów w całym cyklu życia budynku, co z kolei przynosi wymierne korzyści w kształtowaniu zrównoważonego środowiska budowlanego.

Analizy w programie Green Building Studio

Green Building Studio to usługa chmurowa, która ma potężną moc obliczeniową umożliwiającą przeprowadzenie analiz w celu optymalizacji zużycia energii, obniżenia emisji dwutlenku węgla, zmniejszenia zużycia wody oraz zwiększenia potencjału fotowoltaicznego. Symulacje energetyczne przeprowadzone na wczesnym etapie projektowania pozwalają na tworzenie efektywnych energetycznie budynków, z wykorzystaniem niekonwencjonalnych rozwiązań oraz dostarczają wielu szczegółowych wskazówek, co w rzeczywistości wpływa na koszty energii oraz umożliwia tworzenie rzetelnych prognoz kosztów energii w całym cyklu życia budynku. Analizy w Green Building Studio wykonywane są na podstawie typu budynku (jego funkcji), jego powierzchni i lokalizacji oraz kosztów energii elektrycznej. Dane otrzymane z analizy dotyczą przede wszystkim rocznego kosztu energii, kosztu cyklu życia budynku, rocznej emisji CO₂ oraz intensywności zużycia energii (EUI).

Dodatkowo z wygenerowanego raportu można odczytać wielokryterialną ocenę budynków LEED, potencjał fotowoltaiczny, potencjał energii wiatrowej oraz naturalny potencjał wentylacji (rysunek 10). Wyniki z analizy można wyko-

tylko wskaźniki zużycia energii, bez przyczyn oraz możliwych rozwiązań redukcji zużycia energii. Tym samym Green Building Studio jest o wiele mniej intuicyjny niż Insight. Główną zaletą programu jest jednak możliwość

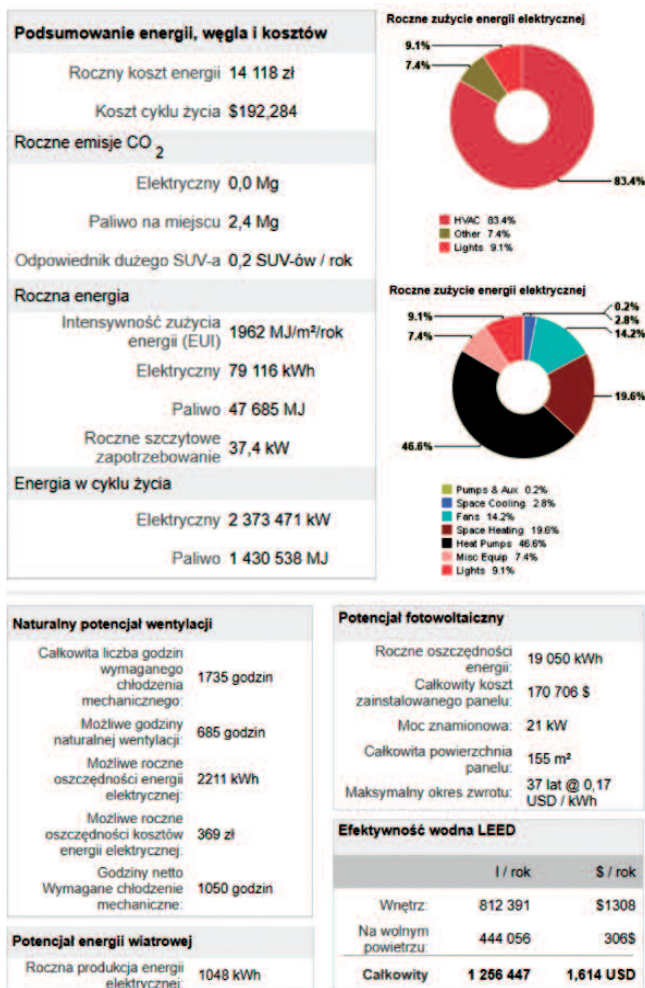
przeprowadzania analizy zgodności z systemem certyfikacji LEED. Ponadto, program dostarcza informacji o kosztach rocznego zużycia energii, zużycia wody i kosztach zainstalowanego panelu fotowoltaicznego oraz jego maksymalnego okresu zwrotu z inwestycji. Zbadanie większej liczby opcji projektowych pozwala na zminimalizowanie kosztów eksploatacji budynku na wielu płaszczyznach [12].

na podjęcie świadomych decyzji projektowych uwzględniających uwarunkowania środowiskowe, klimatyczne oraz finansowe. W rezultacie zintegrowanie BIM i BEM przynosi wymierne korzyści zarówno dla środowiska przyrodniczego, jak i inwestora.

Literatura

- [1] Kasznia D, Magiera J, Wierzowiecki P. BIM w praktyce. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN; 2017.
- [2] Komisja Europejska. 2020. Efektywność energetyczna budynków, <https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-lut-17_pl>, [dostęp 24.05.2022];
- [3] McArthur JJ. A building information management (BIM) framework and supporting case study for existing building operations, maintenance and sustainability. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. 2015; doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.450.
- [4] Mohanta A, Das S. BIM as facilities management tool: a brief review. The 7th International Conference on Sustainable Built Environment, Earl's Regency Hotel, Kandy, Sri Lanka from 16th to 18th December 2016.
- [5] Mohajer MF, Aksamiya A. Integration of Building Energy Modeling (BEM) and Building Information Modeling (BIM): Workflows and Case Study, w: Building Technology Educator's Society. 2019; 37.
- [6] Architektura. info, 2022. Certyfikat LEED. <https://architektura.info/architektura_zrownowazona/zielone_innowacje2/certyfikat_leed> [dostęp 27.06.2022].
- [7] James J. Hirsch & Associates. DOE-2.2. 2004. <<https://www.doe2.com/>>, [dostęp 29.06.2022];
- [8] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. 2014. EnergyPlus, <<https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>> [dostęp 29.06.2022].
- [9] Autodesk Green Building Studio. Building Performance Analysis. 2022. <<https://gbs.autodesk.com/GBS/?redirectUri=%2Fgbs%2FScheme%2FEnergyAndCarbonResults%3FRunId%3D%252fPa5SNyqJY%253d%26AltRunId%3DcJfGmxrUVvo%253d>> [dostęp 25.06.2022].
- [10] Giedrowicz M, Szot J. Modelowanie energetyczne – praktyczne zastosowanie BIM w procesie podnoszenia cech proekologicznych architektury współczesnej, w: Człowiek – Ekologia – Architektura. 2017; 19 – 28.
- [11] Autodesk, 2022. Potential Energy Savings (PES) Chart. <<https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-Help/files/GUID-3FE7B133-18A3-4EA0-A726-B778432E2F6D-htm.html>> [dostęp 25.06.2022].
- [12] Carvalho JP, Almeida M, Bragança L, Mateus R. BIM-Based Energy Analysis and Sustainability Assessment – Application to Portuguese Buildings. 2021, w: Buildings <<https://www.mdpi.com/2075-5309/11/6/246/htm>> [dostęp 24.05.2022].

Przyjęto do druku: 22.07.2022 r.



Rys. 10. Raport wygenerowany w GBS

[Źródło: opracowano na podstawie danych wygenerowanych w GBS]

Fig. 10. Report generated in GBS

rzystać w podejmowaniu decyzji projektowych oraz w tworzeniu dokumentacji skutków finansowych. Ponadto, otrzymane dane są poddawane analizie, w jaki sposób możliwe jest uzyskanie potencjalnej oszczędności energii. W tym celu silnik generuje zestawienie różnych wariantów projektu, dotyczących konstrukcji i systemów budynku, które mogą w istotny sposób wpłynąć na wydajność energetyczną.

Analiza przeprowadzona w Green Building Studio jest bardzo szczegółowa. Natomiast należy podkreślić, że w odróżnieniu od Insight podawane są

tacja i wszelkie analizy potrzebne na kolejnych etapach przedsięwzięcia, tj. na etapie budowy oraz eksploatacji, są generowane w sposób automatyczny lub półautomatyczny. Tym samym wykorzystanie BIM wraz z zewnętrznymi programami służącymi do modelowania energetycznego wpływa na proces projektowania i realizacji przedsięwzięcia. Umożliwia sprawdzenie wielu wariantów projektowych we wstępnej fazie, np. koncepcji, oblicza faktyczne koszty eksploatacji budynku, a także bada konieczność przeprowadzenia modernizacji. Zastosowanie BEM wpływa