

„Smart project & building” – projektowanie budynków energooszczędnych w standardzie BIM

“Smart project & building” – BIM-standard design of energy efficient buildings

Streszczenie

Aktualnie powszechnie stosowane tradycyjne standardy projektowania architektoniczno-budowlanego powinny być radykalnie zmodyfikowane i dostosowane do współczesnych potrzeb.

- SMART PROJECT – we współczesnym warsztacie architekta dokonuje się rewolucja informatyczna, związana z wprowadzaniem do powszechnego użytku nowych narzędzi wspomagających projektowanie w standardzie BIM, które umożliwiają budowę wirtualnego modelu budynku, połączonego z olbrzymią bazą danych, która parametryzuje wszystkie zastosowane materiały budowlane, technologie i wyposażenie techniczne budynku. Z wirtualnym projektem można powiązać parametry klimatyczne dla konkretnej lokalizacji geograficznej, a z drugiej strony parametry użytkowe dla poszczególnych pomieszczeń.
- SMART BUILDING – w całym sektorze budownictwa radykalnie zwiększane są wymagania związane z energooszczędnością. W najbliższych latach ma to doprowadzić do osiągnięcia standardu tzw. „budynków nieomal zero-energetycznych”. Budynki o tak wysokiej efektywności energetycznej będą musiały być wyposażone w cały szereg innowacyjnych rozwiązań architektoniczno-budowlano-instalacyjnych, które znacznie się różnią od dotychczas stosowanych rozwiązań typowych.

Abstract

The current, widely used traditional standards of architectural and construction design should be radically modified and adapted to modern needs.

- SMART PROJECT – There is currently an information technology-based revolution happening in the modern architectural toolset, associated with introducing new BIM-standard digital design support tools into common use. These tools make it possible to create a virtual model of a building, linked to an immense database that parameterises all the implemented construction materials, technologies and building services of a building. The virtual design can be linked to climate parameters of a specific geographic location on the one hand, as well as occupancy parameters for each room on the other.
- SMART BUILDING – Energy efficiency requirements are radically increasing across the entire construction sector. This is meant to lead to achieving the „near-zero energy building” standard in the next few years. Buildings that feature such a high energy effectiveness will have to include an entire array of innovative architectural, structural and building services solutions that significantly differ from the typical ones in use today.

Słowa kluczowe: model wirtualny budynku, BIM, model energetyczny, zintegrowane projektowanie energetyczne, wydajność energetyczna

Keywords: entrance groups, built-in public service establishments, compositional and spatial structure.

1. Wprowadzenie

Polska znajduje się dzisiaj w czołówce krajów europejskich o najgorszej jakości powietrza, czego jedną z głównych przyczyn jest bardzo niski standard energetyczny budynków. Emisja z sektora budownictwa powoduje zanieczyszczenia powietrza najbardziej szkodliwymi substancjami – pyłem za-

1. Introduction

Poland is currently one of the leading European countries in terms of the worst air quality, one of the main reasons for this state of affairs being a very low energy standard of buildings. Emissions from the construction sector cause the air to be-

wieszonym, wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi, metalami ciężkimi i dioksynami¹. Z drugiej strony, w sektorze tym zawarty jest największy potencjał w zakresie możliwości redukcji konsumpcji energii i ochrony środowiska. Rachunek, jaki płacimy za wszechobecny w Polsce smog, jest ogromny i należy dotożyć wszelkich starań, aby jak najszybciej doprowadzić do poprawy sytuacji energetycznej w budownictwie przez radykalne zwiększenie efektywności energetycznej budynków.

Budynki energooszczędne stają się już nie ekskluzywną alternatywą dla budynków tradycyjnych, lecz powszechną koniecznością. Nowe, uregulowane przepisami prawa budowlanego, standardy wprowadzane są ze względów środowiskowych, ekonomicznych i społecznych.

Budynki o wysokiej efektywności energetycznej są obiektami o wysokim zaawansowaniu technicznym. Zawierają one cały szereg innowacyjnych rozwiązań architektoniczno-budowlano-instalacyjnych, które znacznie się różnią od stosowanych od wielu dekad, typowych rozwiązań projektowych. Ponadto wszystkie stosowane rozwiązania projektowe powinny być zweryfikowane odpowiednimi obliczeniami. Ze względu na bardzo dużą ilość parametrów, które w projektach budynków energooszczędnych należy uwzględnić w obliczeniach, niezbędne jest odpowiednie wspomaganie komputerowe. Stąd, aby proces projektowania takich budynków przebiegał wydajnie, sprawnie i zapewniał odpowiednią jakość rozwiązań projektowych, niezbędne jest wprowadzenie do warsztatu projektowego pracowni architektonicznych nowych narzędzi wspomagających projektowanie architektoniczno-budowlane w postaci oprogramowania komputerowego w standardzie BIM w powiązaniu z programami pozwalającymi na symulację wydajności energetycznej wirtualnego projektu.

2. Smart project, czyli wspomagające projektowanie narzędzia programistyczne i metodologia projektowania budynków energooszczędnych

2.1. Modelowanie informacji o budynku – BIM

BIM (ang. Building Information Modeling)² to w dosłownym przekładzie „modelowanie informacji o budynku”, co oznacza tworzenie, za pomocą odpowiedniego oprogramowania, ogromnej bazy danych, dokładnie definiującej każdą część budynku (konstrukcję, materiały i ich właściwości, wyposażenie, itp.) i uporządkowanej w trójwymiarowej przestrzeni w postaci wirtualnego modelu 3D. Projekt w standardzie BIM powstaje przy użyciu trójwymiarowych obiektów, takich jak ściany, stropy, dachy, sufity, okna, drzwi, itd., którym, poza wymiarami geometrycznymi, nadawane są odpowiednie parametry (właściwości fizyczne, techniczne, itp.). Integracja informacji w ramach jednej bazy danych umożliwia automatyczną identyfikację wprowadzanych zmian i rozpoznanie ewentualnych kolizji. Model budynku może być uzupełniony i weryfikowany przez różnego typu zestawienia, harmonogramy, kosztorysy, itp. Zaprojektowanie budynku jako wirtualnego modelu przestrzennego, w którym wprowadzone są wszystkie parametry rzeczywistego obiektu, takie jak np. warstwy przegród z określonymi materiałami i ich właściwościami fizycznymi, parametrami technicznymi, cenami, itp. pozwala już na wczes-

come polluted with the most harmful substances – suspended particulate matter, polycyclic aromatic hydrocarbons, heavy metals and dioxins. On the other hand, the sector possesses the greatest potential in terms of reducing energy consumption and protecting the environment. The price that we pay for Poland’s ever-present smog is immense and we need to focus our efforts on leading to an improvement of the situation in terms of energy in the construction sector through radically increasing the energy effectiveness of buildings.

Energy efficient buildings are no longer an exclusive alternative to traditional buildings, but a common necessity. New standards that are regulated through construction law are being introduced not because of environmental reasons, but for economic and social ones.

Buildings with a high energy efficiency are structures that are highly advanced in terms of technology. They feature an entire array of innovative architectural, structural and building services solutions that greatly differ from typical design solutions that have been in use for the last several decades. Furthermore, all of their design solutions should be verified through appropriate calculations. Due to the very high amount of parameters that need to be taken into account in the calculations that pertain to energy efficient buildings, appropriate software support is necessary. Thus, in order for the design process of such buildings to be productive, efficient and provide an appropriate level of quality in terms of design solutions, it is necessary to introduce new digital design support tools to the toolset of architectural practices in the form of BIM software coupled with programs that enable the simulating of the energy efficiency of a virtual design.

2. Smart project – computer aided design software programming tools and a methodology of designing energy efficient buildings

2.1. Building information modelling – BIM

BIM (Building Information Modelling) stands for the creation – by means of relevant software – of an enormous database which precisely defines each part of the building (its structure, materials and their properties, fittings, etc.) and is arranged in the 3D space in the form of a virtual 3D model. A design prepared in the BIM standard comes into being by means of three-dimensional elements, such as walls, ceilings, roofs, floors, windows, doors, etc., which apart from geometrical dimensions are assigned with relevant parameters (physical, technical properties, etc.). Information integration within one database allows for automatic identification of introduced changes and identification of collisions, if any. Designing a building as a virtual spatial model with all parameters of the actual buildings introduced, such as the layers of partitions with specific materials and their physical properties, technical parameters, prices, etc. allows to conduct all types of analyses and simulations already at a very early stage, something which is quite impossible in tra-

nym etapie projektowania na przeprowadzanie różnego typu analiz i symulacji³, zupełnie niedostępnych w tradycyjnych projektach, opracowywanych w programach typu CAD-2D⁴, w postaci zestawu płaskich rzutów, przekrojów i elewacji.

Dzięki zastosowaniu programów w standardzie BIM projektanci są w stanie opracowywać projekty dla najbardziej skomplikowanych budynków. BIM jest wykorzystywany w zakresie planowania, projektowania, zarządzania i prowadzenia budowy. Pracując w tym standardzie projektanci łatwo gromadzą i wymieniają dane, współpracując i udostępniając sobie niezbędne informacje.

Niezależnie od rodzaju inwestycji (nowa realizacja, przebudowa, czy też rozbudowa istniejącego już obiektu) oraz jej rozmiarów wykorzystanie tej technologii jest również bardzo opłacalne pod względem ekonomicznym. Korzyści, jakie odnosi Inwestor decydując się na realizację inwestycji z wykorzystaniem technologii BIM, są niepodważalne. BIM pomaga koordynować współpracę pomiędzy Inwestorem, Wykonawcą i Projektantami. Stwarza też możliwość szybkiego opracowania symulacji różnych wersji projektu, w celu wybrania tego najbliższego oczekiwaniom Inwestora. Zmiany koncepcyjne wprowadzane w projekcie są nanoszone do modelu 3D i automatycznie znajdują odzwierciedlenie w raportach ilościowych oraz dokumentacji projektowej.

Charakterystycznym wyróżnikiem projektowania w programach wspomagających projektowanie w standardzie BIM jest przesunięcie głównego nakładu pracy na wczesne fazy procesu projektowego (etap koncepcji), dzięki czemu możliwości wpływania na efektywność są największe, przy najniższych kosztach i najmniejszych trudnościach z tym związanych⁵.

Do programów klasy BIM należą między innymi takie platformy cyfrowe wspomagające projektowanie, jak: ArchiCAD, Autodesk Revit, Bentley, Nemetschek Allplan, Tekla Structures, BIMVision, itp.

2.2. Model energetyczny budynku

Efektywność energetyczną projektowanego budynku można przetestować już we wczesnej fazie projektowania i na długo przed realizacją i zastosowaniem wszystkich rozwiązań w rzeczywistości, poprzez symulacje określane jako „modelowanie energetyczne”. Przeprowadzenie takich symulacji wymaga stworzenia, przy pomocy odpowiedniego oprogramowania

ditional designs, developed in CAD-2D software, in the form of flat projections, sections, and elevations.

Thanks to the use of BIM-standard software, designers can develop designs of more complicated buildings. BIM is being used in the planning, design, management and conducting of construction. Designers who work using this standard easily gather and exchange data, cooperating and sharing all necessary information. Regardless of the type of a project (new construction, redevelopment or expansion of an existing structure) and its size, the use of this technology is also very profitable in economic terms. The benefits that a developer can enjoy due to deciding to carry out their development project with the use of BIM software are incontestable. BIM helps to coordinate the cooperation between a developer, contractor and the designers. It also provides the ability to quickly prepare a simulation of different versions of a design in order to select the one that most closely reflects a client's expectations. Conceptual changes to the design are being applied to a 3D model and are automatically reflected in quantitative reports and design documentation.

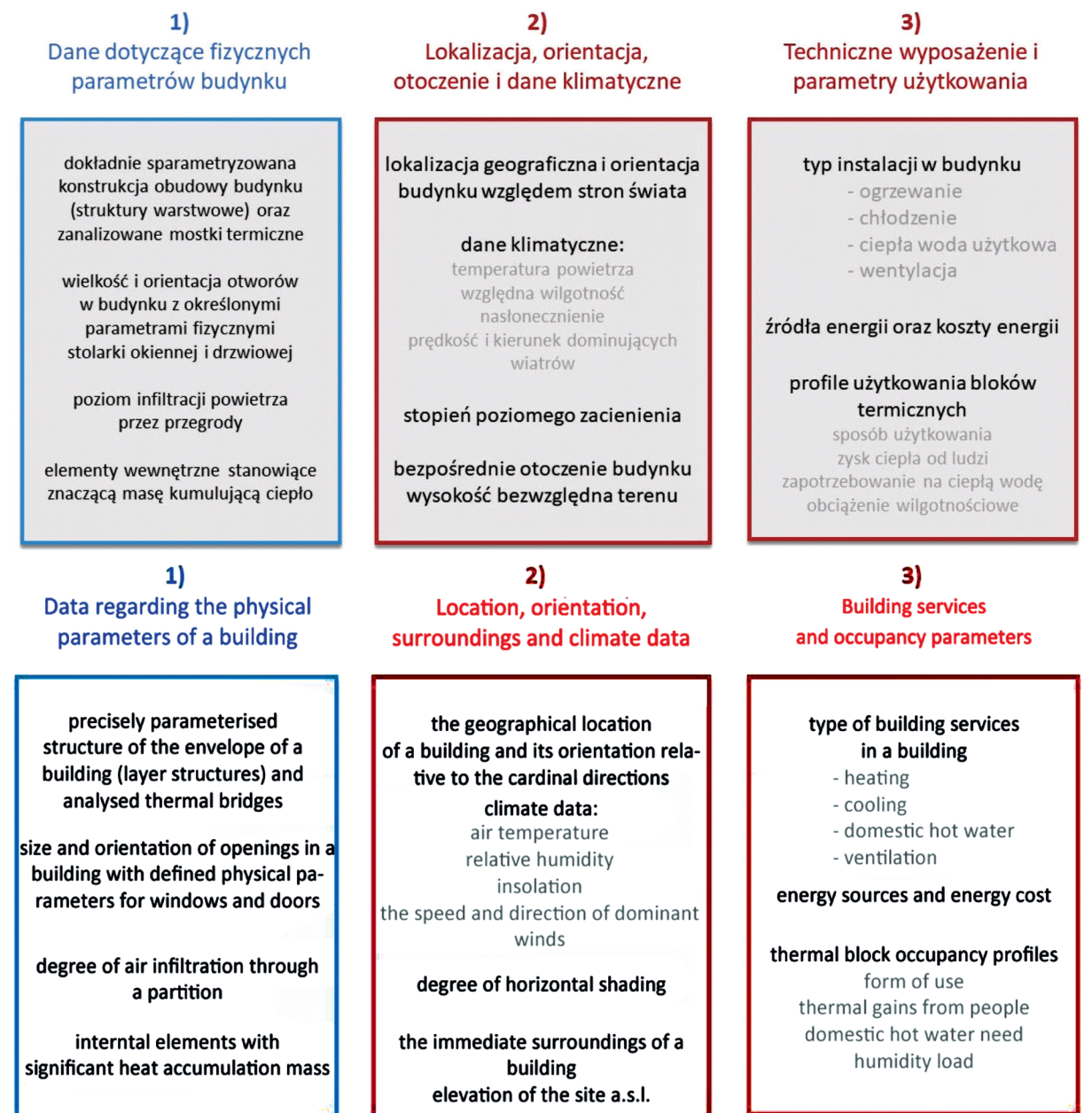
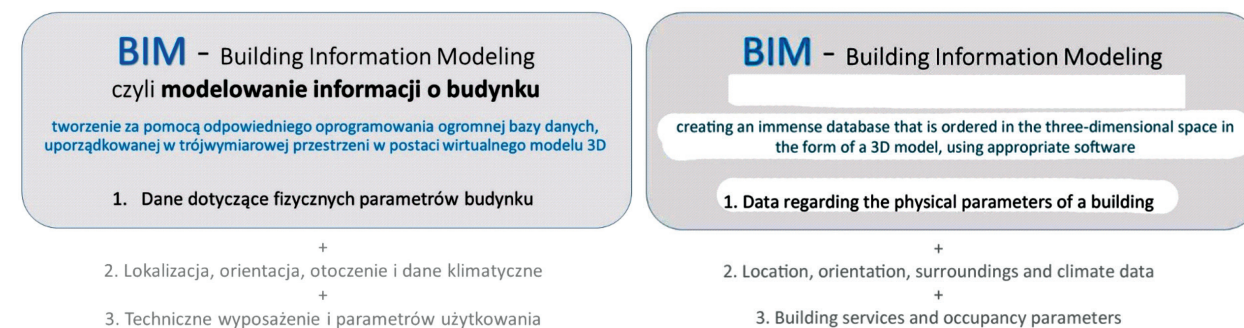
A characteristic feature of designing in design supporting software in the BIM standard is the shift of the main workload to the early stages of the designing process (the conceptual stage), thanks to which the opportunities to influence efficiency are the greatest, at the lowest costs and the smallest difficulties connected with it.

BIM class software includes digital design support platforms such as: ArchiCAD, Autodesk Revit, Bentley, Nemetschek Allplan, Tekla Structures, BIMVision, etc.

2.2. The energy model of a building

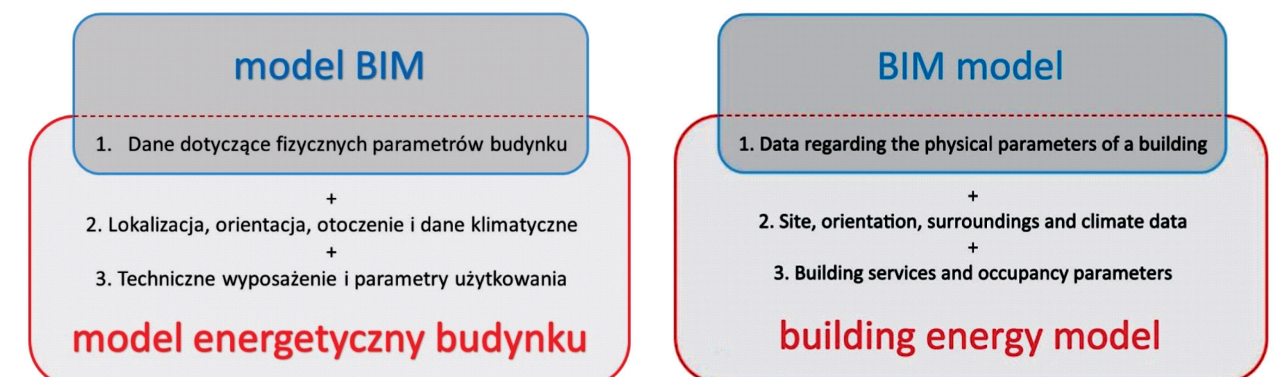
The energy efficiency of the designed building can be tested already at the early stage of the design process and long before all solutions are implemented and applied in reality, by means of simulations referred to as 'energy modelling'. Conducting such simulations requires a three-dimensional virtual model of the building in the BIM standard, where all construction and installation solutions are precisely parameterised.

II. 1 BIM jako baza danych przyporządkowana do modelu 3D (oprac. aut.)/BIM as a database assigned to a 3D model (original work)



II. 2 Przykładowy zakres informacji w bazie danych projektu w standardzie BIM (oprac. aut.)/A sample of the scope of information contained within a database of a design developed using BIM (original work)

II. 3 Zakres pozwalający na utworzenie modelu energetycznego budynku (oprac. aut.)/The elements that make it possible to create an energy model of a building (original work)



wspomagającego projektowanie w technologii BIM, wierne-go, trójwymiarowego, wirtualnego modelu budynku, w którym wszystkie przegrody budowlane mają strukturę warstwową i przypisane konkretne własności fizyczne (masę, ciepło właściwe, współczynniki przenikania ciepła, itd.). Pomieszczeniom przypisuje się ich przyszłe funkcje, wprowadza się do nich ludzi, sprzęt komputerowy, procesy technologiczne wraz z harmonogramami czasowymi użytkowania. Wirtualny budynek wyposaża się w instalacje ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji, oświetlenia, itd. Konfiguruje się również systemy sterowania tymi instalacjami.

Gdy w dokładnie wymodelowanym, wirtualnym modelu architektonicznym 3D, wykonanym w technologii BIM, wprowadzamy dane klimatyczne dla danej lokalizacji, parametry technicznego wyposażenia budynku oraz dane dotyczące parametrów powietrza wewnętrznego wypełniającego poszczególne pomieszczenia – a więc projektowanych temperatur użytkowych, strefowania temperaturowego poszczególnych pomieszczeń, harmonogramów użytkowania, itp. to możemy powiedzieć, że przekształcamy model BIM w tzw. Model Energetyczny Budynku (ang. BEM – Building Energy Model)⁶.

W Modelu Energetycznym Budynku możemy badać wpływ na efektywność energetyczną różnych wariantów projektowych (np. różnych grubości izolacji termicznej przegród budynku), możemy testować różne warianty instalacji i automatyki, itd.⁷ Model budynku usytuowany jest w konkretnej lokalizacji geograficznej, dla której wykorzystuje się komplet danych meteorologicznych. Standardowo obliczenia do symulacji wykonywane są z częstotliwością dla każdej godziny w roku (8760 godzin), co daje olbrzymią dokładność wyników, nieporównywalną np. z wynikami otrzymanymi ze sporządzenia świadectwa charakterystyki energetycznej budynku. Poza ilością energii w rozbięciu na różne składowe (ogrzewanie, chłodzenie, pompy i wentylatory) i różne nośniki energii, można analizować komfort cieplny (PPD, PMV), badać pracę systemów odzysku energii, itp. Przeprowadzanie różnego typu wariantowych analiz i symulacji umożliwia osiągnięcie optymalnej efektywności energetycznej oraz weryfikację i korektę przyjętych rozwiązań.

2.3. Zintegrowane projektowanie energetyczne

Proces Zintegrowanego Projektowania Energetycznego był wdrażany do praktyki projektowej od początku lat dziewięć-

Rooms are being assigned their future forms of use – people are being introduced into them, as well as computer hardware and technological processes, along with usage schedules. The virtual building is being fitted with heating, HVAC installations, lighting, etc. The systems that control these installations are also being configured.

When we enter data pertaining to the designed service temperatures, the temperature zoning of individual rooms, the use schedules etc. in the virtual model of the building, we can say that we transform the BIM model into the so-called Building Energy Model (BEM)

In the Building Energy Model BEM we can examine the effect of different design variants on energy efficiency. The BEM building model is situated in a specific geographical location, for which a set of meteorological information is used. Besides the quantity of energy divided into various components (heating, cooling, ventilation) and different energy carriers, it is possible to analyse heat comfort (PPD, PMV), examine the operation of energy recovery systems, etc. Running all sorts of variant analyses and simulations makes it possible to reach optimum energy efficiency and to verify and correct the adopted solutions.

2.3. Integrated energy design

The process of Integrated Energy Design has been implemented in design practice since the start of the 1990's along with the development of energy efficient and passive buildings. Due to the necessity of achieving much higher energy efficiency levels, a change of design philosophy was necessary. Integrated design started to be implemented instead of traditional, linear design. Four factors are of key significance in integrated design:

- the building envelope,
- climate,
- building services
- human factors

In order for a building to be capable of meeting the criteria of sustainable development, it needs to be designed as an energy efficient building. Contrary to the design of traditional buildings, during an energy efficient building's first phase of design, its architect determines its shape and orientation in line

dziesiątych ubiegłego wieku wraz z rozwojem budynków energooszczędnych i pasywnych. Ze względu na konieczność osiągnięcia znacznie wyższej efektywności energetycznej budynków niezbędna stała się zmiana filozofii projektowania. Zamiast projektowania tradycyjnego – liniowego, rozpoczęto wdrażanie projektowania zintegrowanego, w którym decydujące znaczenie mają cztery moduły⁸:

- obudowa budynku (building envelope),
- środowisko zewnętrzne (climate),
- techniczne wyposażenie budynku (building services),
- wymagania użytkowników (human factors),

Aby budynek mógł spełniać kryteria zrównoważonego rozwoju, musi być zaprojektowany jako budynek energooszczędny. W odróżnieniu od projektowania budynków tradycyjnych, w pierwszym etapie powstawania budynku energooszczędnego architekt określa kształt i orientację budynku, mając na uwadze zalecenia projektanta instalacji. Zalecenia te dotyczą: konstrukcji przegród budowlanych, ich izolacji termicznych jak również usytuowania przeszkleń względem stron świata. Ma to duże znaczenie, ponieważ jednym z głównych źródeł zysków ciepła w okresie grzewczym jest energia słoneczna. Rzuca to na konieczność prawidłowego zaprojektowania elementów budynku służących do ograniczenia nadmiernych zysków ciepła w okresie letnim jednocześnie nie zmniejszając nasłonecznionej powierzchni przegrody w okresie zimowym. Projektowanie zintegrowane to sposób realizacji inwestycji, który w optymalny sposób, pod względem współpracy zespołu projektowego, w skład którego wchodzi: architekt, inżynier, inwestor, wykonawca i użytkownik, pozwala stworzyć obiekt zrównoważony pod względem efektywności energetycznej, kosztów budowy i kosztów eksploatacji. W fazie przygotowania koncepcji projektu podstawę zespołu projektowego stanowi architekt i specjalista z dziedziny efektywności energetycznej budynku. Pozwala to na zaangażowanie kolejnych członków zespołu wraz z ich wiedzą i doświadczeniem w dziedzinie instalacji sanitarnych, wentylacji i klimatyzacji, a także sieci elektrycznej i automatyki na poszczególnych etapach powstawania inwestycji. Taki system współpracy pozwala na osiągnięcie konsensusu wśród osób włączonych w realizację inwestycji, a w rezultacie osiągnięcie perfekcyjnej jakości projektowanych i budowanych przedsięwzięć.

Metodologię i zasady tzw. Zintegrowanego Projektowania Energetycznego (ang. IED – Integrated Energy Design)^{9, 10}, które staje się standardem nowoczesnego projektowania budynków, definiuje się jako¹¹:

- proces organizacji prac projektowych z przesunięciem punktu ciężkości na wczesne etapy projektowania, w celu osiągnięcia większej efektywności i zminimalizowania kosztów,
- priorytetowe traktowanie energooszczędnych, zintegrowanych rozwiązań architektonicznych, budowlanych i instalacyjnych,
- ścisła współpraca pomiędzy inwestorem / klientem i przyszłym użytkownikiem a architektem, konsultantami, ekspertami i projektantami branżowymi od samego początku procesu projektowania aż do realizacji.

Zintegrowane Projektowanie Energetyczne budynków energooszczędnych oznacza również odpowiednią strategię do-

with guidelines provided by a building services designer. These guidelines include: the structure of partitions, their thermal insulation, as well as the orientation of glazed surfaces relative to the cardinal directions. This is of key importance because one of the main sources of thermal gains during the heating season is solar energy. This leads to the necessity of the appropriate design of the elements of a building that are meant to limit excessive thermal gains during the summer season, while at the same time not lowering the amount of insulated surface of a partition during winter.

Integrated design is a manner of carrying out a project that allows the creation of a structure that is sustainable in terms of its energy efficiency, construction and operational cost in a manner that is optimal from the point of view of the cooperation of the design team that includes an architect, an engineer, the developer, contractor and end user. During the conceptual design phase, the design team's foundation includes an architect and a building energy efficiency specialist. This makes it possible for other members of the team to become involved, along with their knowledge and experience in terms of sanitary, HVAC, power and automatics installations at each stage of a project's development. Such a cooperation system makes it possible to achieve consensus among the persons involved in the carrying out of a project, and, as a result, obtain a perfect quality of designed and developed projects.

The methodology and the principles of the so-called Integrated Energy Design are becoming a standard in the modern design of buildings, defined as:

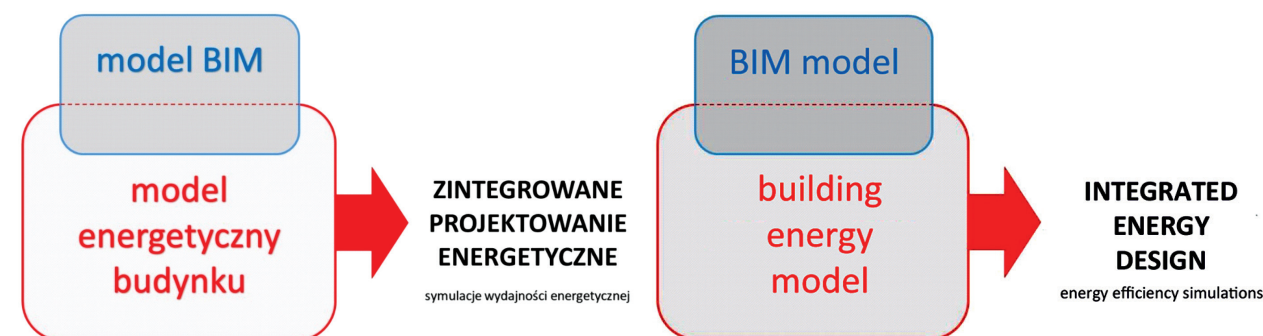
Process of organisation of design works with the shift of the balance point to the early stages of the designing process, in order to reach better efficiency and to minimise the costs

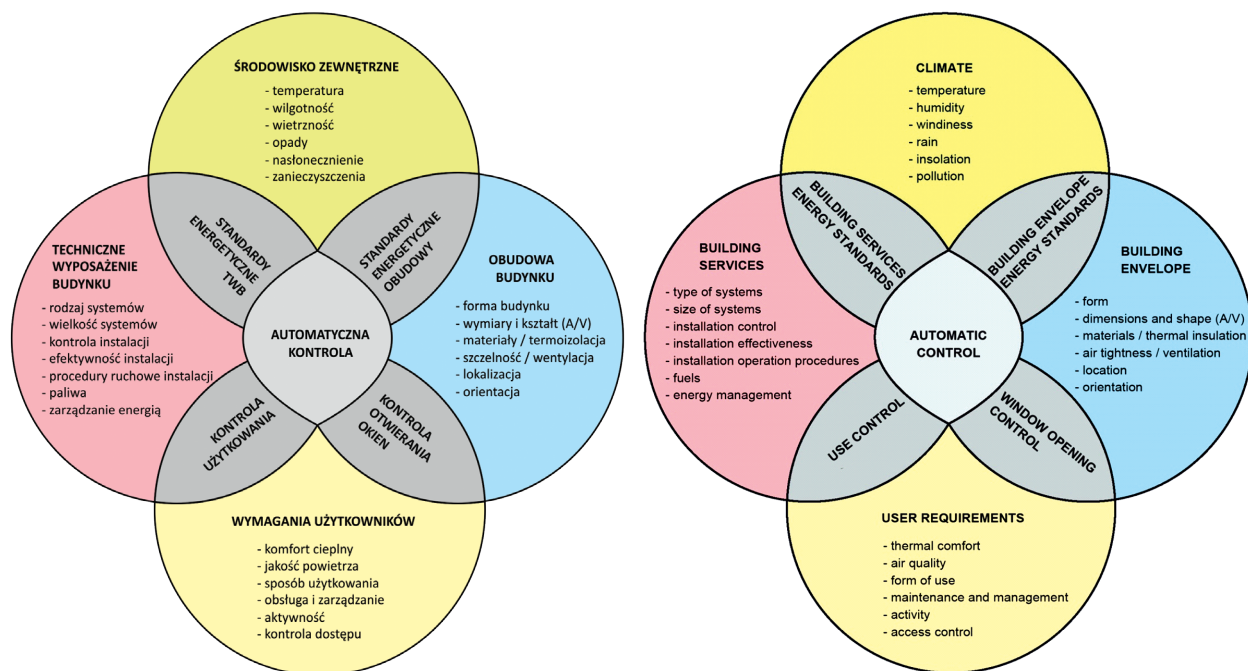
Prioritising energy-efficient integrated architectural, construction and installation solutions, Close cooperation between the investor / customer and the future user on one hand and the architect, consultants, experts and discipline-specific designers on the other hand since the very beginning of the designing process to the implementation stage.

Integrated Energy Design of energy efficient buildings also stands for a relevant strategy of selecting architectural and construction solutions, as well as the Technical Furnishings of the Building. The guidelines of this strategy – the so-called Energy Efficiency Pyramid 'Trias Energetica' – contain information on the appropriate order and hierarchy of activities in the process of architectural and construction design and installation solutions, connected with economic and energy-related analyses.

The first step in this strategy is the reduction of the demand for energy by the application of relevant means (optimal shape and position of the building, appropriate functional layout and temperature zoning, very high thermal insulation and air tightness, supply and exhaust ventilation with heat recovery and ground-couple heat exchangers).

II. 4. Zintegrowane projektowanie energetyczne (oprac. aut.)/Integrated energy design (original work)





Il. 5. Cztery kluczowe moduły Zintegrowanego Projektowania Energetycznego (opracowanie własne na podstawie: Praca zbiorowa pod redakcją S. Mańkowskiego i E. Szczechowiaka, Strategiczny projekt badawczy NCBiR – SP/B/2/76638/10 „Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków”, Zadanie badawcze nr 2. Opracowanie końcowe – Tom I, część B, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa – Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska, 2013, s. 86)/The four key modules of Integrated Energy Design

boru rozwiązań architektoniczno-budowlanych i Technicznego Wyposażenia Budynku (TWB). Wytyczne dla tej strategii – tzw. Piramida efektywności energetycznej „Trias Energetica”^{12, 13}, to odpowiednia kolejność i hierarchia działań w procesie projektowania architektoniczno-budowlanego i rozwiązań instalacyjnych, powiązana z analizami energetycznymi i ekonomicznymi¹⁴

Pierwszy krok w tej strategii to zmniejszenie zapotrzebowania na energię, przez zastosowanie odpowiednich środków (optymalny kształt i orientacja budynku, odpowiedni układ funkcjonalny i strefowanie temperaturowe, bardzo wysoka termoizolacyjność i szczelność powietrzna, wentylacja nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła i wymiennikami grzewczymi).

Drugi krok to zastosowanie energii odnawialnej, co wiąże się z zastosowaniem technologii opartych na lokalnych źródłach energii odnawialnej, takich jak systemy kolektorów słonecznych, ogniwa fotowoltaiczne, gruntowe pompy ciepła, technologie wykorzystujące energię wiatrową, itp.

Jeśli analizy projektu wykazują, że nadal istnieje zapotrzebowanie na energię użytkową, to trzeci krok prowadzi do zastosowania najmniej zanieczyszczających środowisko paliw kopalnych w jak najefektywniejszy sposób.

Dzięki nowoczesnym, specjalistycznym oprogramowaniom, służącym do przeprowadzania symulacji energetycznych wirtualnego modelu budynku zbudowanego w programie BIM, możliwe jest określenie wpływu poszczególnych założeń na energochłonność już na etapie projektowania. Zintegrowane Projektowanie Energetyczne w praktyce oznacza więc proces projektowy, podczas którego różne alternatywne rozwiązania

The second step is the use of renewable energy, which is connected with the application of technologies based on local sources of renewable energy, such as systems of solar collectors, photovoltaic cells, ground source heat pumps, technologies making use of wind energy, etc.

If design analyses demonstrate that there is still some demand for usable energy, the third step leads to the use of fossil fuels that pollute the environment as little as possible, applying methods that will be the most effective.

Thanks to modern, specialist software used to perform energy simulations on the basis of a virtual building model constructed using BIM software, it is possible to determine the impact of each assumption on energy intensity already at the design stage. In practice, Integrated Energy Design means a design process during which different alternative design solutions are verified through energy consumption analyses.

3. Smart building – a fully parameterised virtual model of an energy efficient building

3.1. Building envelope

The virtual building models that are developed in the BIM standard should be parameterised in the scope that is necessary for them to be transformed into so-called energy models, which enables the performing of various types of energy simulations and analyses. They should, in particular, contain the following parameters describing the implemented construction solutions:

projektowe są weryfikowane przez analizy energetyczne zużycia energii.

3. smart building, czyli w pełni sparametryzowany wirtualny model budynku energooszczędny

3.1. Obudowa budynku (building envelope)

Wirtualny projekt budynku opracowany w standardzie BIM powinien być sparametryzowany w zakresie niezbędnym do przekształcenia go w tzw. model energetyczny, umożliwiający przeprowadzenie różnego typu symulacji i analiz energetycznych. W szczególności powinien on zawierać następujące parametry dotyczące zastosowanych rozwiązań budowlanych:

- dokładnie sparametryzowaną konstrukcję obudowy budynku (struktury warstwowe dla wszystkich przegród)
 - określone grubości poszczególnych warstw przegród
 - określone materiały budowlane wraz z przypisanymi do nich parametrami fizycznymi (obliczeniowy współczynnik przenikania ciepła, gęstość objętościowa, itp.)
- otwory z określonymi parametrami stolarki okiennej i drzwiowej
 - elementy przezroczyste są wprowadzone wraz z ich współczynnikiem U i zyskami z energii słonecznej
 - elementy nieprzezroczyste przedstawione są wraz z ich współczynnikiem U, wartościami Psi (współczynnik liniowego przenikania energii termicznej [W/mK] służącymi do obliczenia efektu mostków termicznych występujących przy połączeniu profilu i ściany wokół otworów) oraz liniowymi właściwościami infiltracji
- ważniejsze elementy wewnętrzne, stanowiące znaczącą masę kumulującą ciepło, zróżnicowane jako:
 - ciężkie (struktury betonowe), > 400 [kg/ 1 m²] pow. użytkowej
 - średnie (struktury murowane), 250-400 [kg/ 1 m²] pow. użytkowej
 - lekkie (struktury szkieletowe), < 250 [kg/ 1 m²] pow. użytkowej
- poziom infiltracji powietrza przez przegrody w godzinowym bilansie energetycznym oraz całkowitego przenikania powietrza (ACH) z następującym rozróżnieniem:
 - 0,6 [l/s,m²] jest wartością niską (dla budynku pasywnego)
 - 1,0 [l/s,m²] jest wartością średnią (budynek referencyjny)
 - 1,5 [l/s,m²] to wysoka infiltracja (jak dla budynku z went. mech.)
- właściwości materiału zaprojektowanego na zewnętrznej powierzchni struktur warstwowych, które decydują o właściwościach absorpcji wybranej struktury, czyli zdolności pochłaniania energii słonecznej przez daną przegrodę [%]

3.2. Środowisko zewnętrzne (climate)

W wirtualnym projekcie budynku wprowadza się konkretną lokalizację ze ściśle określonymi parametrami środowiska, klimatu i otoczenia:

- Lokalizacja, czyli długość i szerokość geograficzna, przyporządkowująca do określonej strefy klimatycznej
- dane pogodowe w uśrednionym cyklu rocznym
 - temperatura powietrza

– a precisely parameterised structure of the external elements of a building (layer structures for all partitions)

- specific thicknesses for each layer of a partition
- a selection of construction materials with their associated physical parameters (heat transfer coefficient for the purposes of calculations, density per cubic metre, etc.)
- openings with specified parameters regarding windows and doors
 - translucent elements are introduced along with their U coefficient and thermal gains from sunlight
 - opaque elements are presented along with their U coefficient, Psi values (linear thermal energy transfer coefficient [W/mK], which is used to calculate the effect of thermal bridges that occur at the connection between the window frame and the wall around the opening) as well as linear infiltration characteristics
- The more important external elements, which form a mass that accumulates heat, divided into:
 - heavy (concrete structures), > 400 [kg/ 1 m²] of useable area
 - medium (masonry structures), 250-400 [kg/1 m²] of useable area
 - light (post and beam structures), < 250 [kg/1 m²] of useable area
- the level of air infiltration through a partition over an hourly energy balance, as well as the total air change rate per hour (ACH), with the following division:
 - 0,6 [l/s,m²] is a low value (for a passive building)
 - 1,0 [l/s,m²] is a medium value (recommended building)
 - 1,5 [l/s,m²] is a high infiltration value (similar to a building fitted with mechanical ventilation)
- the properties of the designed material on the external surface of a layered structure, which affect the absorption characteristics of a given structure – the capacity to absorb solar energy by a given partition [%]

3.2. Climate

A specific geographical location is introduced into the virtual design of a building, with precisely defined parameters of the environment, climate and surroundings:

- The location, in the form of latitude and longitude, which assigns the site to a specific climate zone
- weather data for an averaged yearly cycle
 - air temperature
 - relative humidity
 - insolation
 - speed and direction of dominant winds
 - precipitation
- soil type
- the immediate surroundings of the building
- the elevation of the location above sea level
- susceptibility to wind (the direction and strength of dominant winds)
- the degree of horizontal shading

- względna wilgotność
 - nasłonecznienie
 - prędkość i kierunek dominujących wiatrów
 - opady
- typ gleby
 - bezpośrednie otoczenie budynku
 - wysokość bezwzględna terenu
 - poziom narażenia na wiatr (kierunek i siła dominujących wiatrów)
 - stopień poziomego zacienienia

3.3. Techniczne wyposażenie budynku (*building services*)

Do potrzeb oszacowania energetycznego niezbędne jest określenie tych parametrów technicznego wyposażenia budynku, które mają istotny wpływ na wydajność energetyczną:

- typ instalacji w budynku
 - ogrzewanie – miejskie lub urządzenia lokalne (na paliwa odnawialne lub/i nieodnawialne)
 - chłodzenie – rodzaj i parametry urządzeń chłodzących
 - ciepła woda użytkowa – docelowa temperatura określona w °C
 - wentylacja – naturalna lub mechaniczna (bez lub z rekuperacją – odzyskiem ciepła)
- źródła energii oraz koszty energii – dane umożliwiające obliczenia zapotrzebowania głównych źródeł energii (odnawialne lub nieodnawialne), emisji CO₂ oraz kosztów rocznych na jednostkę powierzchni użytkowej

3.4. Wymagania użytkowników (*human factors*)

Analiza geometryczna modelu tworzona jest na podstawie tzw. stref, czyli powierzchni użytkowych wraz z wysokością mierzoną w świetle, wstawionych w każdym pomieszczeniu w budynku. Do celów oszacowania energetycznego, strefy te grupowane są w tzw. bloki termiczne. Bloki termiczne to grupa jednego lub kilku pomieszczeń w budynku o podobnym ułożeniu, profilu użytkownika oraz wymaganiach temperatury wewnętrznej (wymogi kontroli termostatycznej z harmonogramem dobowym). Strefy nie muszą być ze sobą połączone i ściśle do siebie przylegać, aby były połączone w jeden wspólny blok termiczny. Po skonfigurowaniu bloków termicznych, wirtualny model architektoniczny BIM zostaje zmieniony w Model Energetyczny Budynku BEM.

Przyjmuje się następujące zasady definiowania stref w budynku:

- dla wielokondygnacyjnych przestrzeni wewnętrznych (np. schodów, atriów) na każdej kondygnacji modelowane są osobne strefy
- ściany bryły budynku, które oddzielają ogrzewane pomieszczenia to tzw. ściany adiabatyczne, nie przepuszczające ciepła¹⁵
- określenie progu minimalnej powierzchni elementów pozwala odfiltrować małe elementy, nieistotne dla bilansu energetycznego i otrzymać bardziej przejrzystą listę elementów
- sparametryzowanie otworów wyszczególnia obrysy stref w wewnętrznych i zewnętrznych otworach (ościeżach) budynku wraz z właściwościami fizycznymi istotnymi dla symulacji energetycznej

3.3. Building services

In order to perform an energy assessment, we need to determine building services parameters that have a significant impact on energy efficiency:

- the type of building services installations in a building
 - heating – either municipal or based on local appliances (based on renewable and/or non-renewable fuel)
 - cooling – the type and parameters of cooling devices
 - domestic hot water – the target temperature expressed in oC
 - ventilation – natural or mechanical (with or without recuperation – heat reclaiming)
- energy sources and costs – data that makes it possible to perform calculations of the needs for main energy sources (renewable or non-renewable), CO₂ emissions, as well as yearly costs per unit of useable space.

3.4. Human factors

A geometric analysis of the model is performed on the basis of so-called zones, which are useable spaces along with their floor to ceiling height, which are placed into each room of a building. In order to perform an energy assessment, these zones are grouped into so-called thermal blocks. Thermal blocks are a group of one or more rooms in a building that have a similar layout, occupancy profile and interior temperature requirements (thermostatic control requirements along with a 24 hour schedule). The zones do not need to be connected with each other and adjacent to one another in order to be connected into a single thermal block. After the configuration of thermal blocks, the BIM virtual architectural model is transformed into a Building Energy Model – BEM.

We employ the following principles of defining zones within a building:

- for multi-storey internal spaces (e.g. stairwells and atria), a separate zone is modelled on each storey
- the walls of the form of a building that separate heated rooms are so-called adiabatic walls, which do not transmit heat.
- determining a minimum surface threshold for elements makes it possible to filter out small elements which are insignificant to the energy balance and obtain a clearer list of elements.
- the parameterisation of openings lists the outlines of zones in internal and external openings (jambes) of a building along with physical properties that are significant in terms of the energy simulation.
- thermal block occupancy profiles – each thermal block is assigned a separate occupancy profile. Every occupancy profile is linked to a 24 hour schedule containing the following information, listed by the hour, for a full year (for a combined total of 8760 hours).
 - form of use – residential or non-residential and the associated required range of internal temperature

– profile użytkownika bloków termicznych – każdemu blokowi termicznemu jest przypisany osobny profil użytkownika. Każdy profil użytkownika powiązany jest z dziennym harmonogramem zawierającym następujące dane, według godziny, na pełny rok (łącznie 8760 godzin):

- sposób użytkowania – pomieszczenia mieszkalne lub niemieszkalne i związany z tym wymagany zakres temperatury wewnętrznej
- temperatura wewnętrzna – dozwolony zakres temperatury wewnątrz (maksimum i minimum) w ciągu dnia.
- wewnętrzny zysk ciepła – czynniki, które powodują emisję energetyczną (wewnętrzny odzysk ciepła) w ciągu dnia, na m² powierzchni użytkowej [W/m²]
- liczba użytkowników
- oświetlenie – rodzaj oświetlenia (wartość mocy dla wybranego typu oświetlenia)
- osprzęt – wartość opisująca liczbę urządzeń (np.: telewizory, komputery, AGD)
- zysk ciepła od ludzi – ilość ciepła wytwarzania przez ciała osób przebywających w budynku (W/na osobę)
- zapotrzebowanie na ciepłą wodę – ilość ciepłej wody potrzebnej dla jednej osoby, odpowiednio do powiązanej funkcji budynku (l/dzień, na osobę)
- obciążenie wilgotnościowe – ilość pary wodnej, która przenika do powietrza wewnętrznego w wyniku eksploatacji budynku (l/dzień)

4. Podsumowanie

Szczegółowe analizy zużycia energii w budynku pozwalają określić tzw. bilans energetyczny budynku, a więc proporcje pomiędzy stratami a zyskami energetycznymi.

Zyski ciepła w budynku oznaczają energię dostarczaną do układu. Energia ta może pochodzić z zysków wewnętrznych, słonecznych lub ciepła dostarczonego centralnym ogrzewaniem. Zyski wewnętrzne pochodzą więc od oświetlenia słonecznego, od użytkujących budynek ludzi oraz od różnych procesów które odbywają się w budynku.

Straty ciepła w budynku powodują znaczny wzrost energii użytkowej, potrzebnej dla ich zrównoważenia. Straty energii następują głównie przez przegrody zewnętrzne oraz przez wentylację. Znaczący wpływ na ich poziom ma więc termizacja całej obudowy zewnętrznej budynku, mostki termiczne i szczelność powietrzna przegród.

Bez przeprowadzenia takich analiz na możliwie wczesnym etapie projektowania, kiedy możliwe są korekty rozwiązań, bardzo trudno jest osiągnąć standard budynków niskoenergetycznych. Kiedy zacznie obowiązywać polska definicja budynków o nieomal zerowym zużyciu energii programy wspomagające projektowanie w standardzie BIM będą nieuchronnie stawały się coraz powszechniejszym, a z czasem obowiązującym, standardem, ponieważ bez wątpliwości są przyszłością inżynierii budowlanej. Na świecie już dzisiaj jest to rozwiązanie stosowane na szeroką skalę i z każdym dniem coraz bardziej popularne z uwagi na korzyści, jakie daje wszystkim uczestnikom procesu inwestycyjnego. Już teraz w wielu krajach duże publiczne inwestycje mają zapisane w specyfikacji zamówienia obowiązek wykonania projektu w standardzie BIM oraz

- internal temperature – the allowed range of temperature inside the room throughout the day (maximum and minimum)
- internal heat gain – factors that cause an energy emission (internal heat reclaiming) throughout the day, per m² of useable surface area [W/m²]
- number of users
- lighting – the type of lighting (the value of the power of lighting for the selected lighting type)
- appliances – a value describing the number of appliances (e.g.: television sets, computers, household appliances)
- thermal gains from occupants – the amount of heat generated by the bodies of persons residing in the building (W/person)
- domestic hot water needs – the amount of domestic hot water required per person, appropriately to the associated function of the building (litres per day per person)
- humidity load – the amount of water vapour that enters the air inside the building due to the operation of the building (l/day)

4. Conclusion

Detailed analyses of energy consumption within a building make it possible to determine the so-called energy balance of a building, and thus the proportions between energy losses and gains.

The thermal gains within a building signify the energy that enters the system. This energy can come from outside gains, solar gains or through heat provided by central heating. Internal heating is thus provided by sunlight, a building's occupants and the various processes that take place inside it. The thermal losses within a building lead to a significant increase of consumed energy that is required to mitigate them. Energy losses occur mainly through external partitions and ventilation. The thermal insulation of a building's envelope, thermal bridges and the air tightness of partitions significantly affect these losses.

Without performing these types of analyses during the early stage of design, when it is possible to introduce amendments, makes it very difficult to achieve a low energy building standard. When the Polish definition of near-zero energy buildings will come into effect, design support software employing the BIM standard will inevitably become more common and, over time, will become the standard, because it is, without a doubt, the future of civil engineering. This is a solution that is already being used on a wide scale around the world and is becoming even more popular every day due to the benefits that it provides to all participants of the development process. Even now, large public projects feature contract requirements regarding the delivery of a design developed using BIM and of a model in the IFC format. In Poland we are currently at the beginning of our journey, which is why the first companies to decide to work using this standard will be a step ahead of the competition.

dostarczenia modelu w formacie IFC. W Polsce znajdujemy się dopiero na początku tej drogi, dlatego firmy, które pierwsze zdecydują się na pracę, opartą na jej wykorzystaniu, będą o krok przed konkurencją.

PRZYPISY

- ¹ *Domy jednorodzinne – efektywność energetyczna a jakość powietrza*, [w:] Efektywność energetyczna w Polsce – przegląd 2013, Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2014, str.5
- ² *BIM Curriculum*, Graphisoft, 2013, [@:] <http://www.graphisoft.com/learning/training-materials/bim-curriculum/> [dostęp: 21.03.2016]
- ³ *BIM Curriculum*, Graphisoft, 2013, op.cit.
- ⁴ M. Sydor, *Wprowadzenie do CAD. Podstawy komputerowo wspomaganego projektowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009, str.47
- ⁵ A. Nordby, *Przewodnik MaTrID – Zintegrowane projektowanie*, European Commission Executive Agency for Competitiveness and Innovation, 2013, s. 3
- ⁶ O'Donnell J. , Maile T., Rose C., *Transforming BIM to BEM: Generation of Building Geometry for the NASA Ames Sustainability Base BIM*, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2013, str.8
- ⁷ *What is Energy-modeling and building simulation*, [@:] <http://energy-models.com/what-is-energy-modeling-building-simulation>, [dostęp: 21.03.2016]
- ⁸ Praca zbiorowa pod redakcją S. Mańkowskiego i E. Szczechowiaka, „Strategiczny projekt badawczy NCBiR – SP/B/2/76638/10 „Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków”, Zadanie badawcze nr 2. Opracowanie końcowe – Tom I, część B, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa – Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska, 2013, s. 86.
- ⁹ Norby A., *Integrated Energy Design – some principles of low energy building design*, Intelligent Energy Europe, 2009, [@:] <http://www.intendesign.com/>, [dostęp: 18.03.2016]
- ¹⁰ A. Norby, *Integrated Energy Design. The 9 steps to a low-energy building. Today's and the future design process of every building project*, Intelligent Energy Europe, 2009, [@:] <http://www.intendesign.com/>, [dostęp: 18.03.2016]
- ¹¹ A. Norby, *Przewodnik MaTrID – Zintegrowane projektowanie*, European Commission Executive Agency for Competitiveness and Innovation, 2013, str.2, [@:] http://www.zintegrowaneprojektowanie.pl/upload/File/Matrid_ID_process_guideline_PL_271113.pdf, [dostęp: 18.03.2016]
- ¹² *Trias Energetica* jest trzystopniową strategią, opracowaną w 1996 r. przez Delft University of Technology, której nadrzędnym celem jest zrealizowanie najbardziej zrównoważonego rozwiązania energetycznego z dostępnych możliwych rozwiązań, [@:] <http://www.triasenergetica.com/>, [dostęp: 18.03.2016]
- ¹³ Rozwinięciem koncepcji *Trias Energetica* jest pięciostopniowa strategia projektowania budynków niskoenergetycznych opracowana w ramach programu *NorthPass – Promocja budownictwa niskoenergetycznego na północnoeuropejskich rynkach budowlanych* [w:] *Efektywny kosztowo budynek energooszczędny*,

Definicje budynków niskoenergetycznych w krajach Północnoeuropejskich, Intelligent Energy Europe, 2012, str.18

¹⁴ *Efektywny kosztowo budynek energooszczędny, Definicje budynków niskoenergetycznych w krajach Północnoeuropejskich*, Intelligent Energy Europe, 2012, op.cit.

¹⁵ typowym przykładem przegrody adyabatycznej jest zdylatowana ściana ogniodoporna, oddzielająca budynki szeregowe lub inne sąsiadujące budynki

LITERATURA

- [1] *Domy jednorodzinne – efektywność energetyczna a jakość powietrza*, [w:] Efektywność energetyczna w Polsce – przegląd 2013, Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2014, str.5
- [2] *BIM Curriculum*, Graphisoft, 2013, [@:] <http://www.graphisoft.com/learning/training-materials/bim-curriculum/> [dostęp: 21.03.2016]
- [3] Sydor M.: *Wprowadzenie do CAD. Podstawy komputerowo wspomaganego projektowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009, str.47
- [4] Nordby A, *Przewodnik MaTrID – Zintegrowane projektowanie*, European Commission Executive Agency for Competitiveness and Innovation, 2013, str.3
- [5] O'Donnell J. , Maile T., Rose C., *Transforming BIM to BEM: Generation of Building Geometry for the NASA Ames Sustainability Base BIM*, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2013, str.8
- [6] *What is Energy-modeling and building simulation*, [@:] <http://energy-models.com/what-is-energy-modeling-building-simulation>, [dostęp: 21.03.2016]
- [7] Norby A., *Integrated Energy Design – some principles of low energy building design*, Intelligent Energy Europe, 2009, [@:] <http://www.intendesign.com/>, [dostęp: 18.03.2016]
- [8] Norby A., *Integrated Energy Design. The 9 steps to a low-energy building. Today's and the future design process of every building project*, Intelligent Energy Europe, 2009, [@:] <http://www.intendesign.com/>, [dostęp: 18.03.2016]
- [9] *Efektywny kosztowo budynek energooszczędny, Definicje budynków niskoenergetycznych w krajach Północnoeuropejskich*, Intelligent Energy Europe, 2012, op.cit.
- [10] Praca zbiorowa pod redakcją S. Mańkowskiego i E. Szczechowiaka, „Strategiczny projekt badawczy NCBiR – SP/B/2/76638/10 „Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków”, Zadanie badawcze nr 2. Opracowanie końcowe – Tom I, część B, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa – Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska