

BIM – zapis informacji o przedsięwzięciu budowlanym (projektowanie 5D)

Mgr inż. Michał Drzazga, Politechnika Wroclawska

1. Wprowadzenie

Sektor budownictwa jest jedną z najbardziej nieefektywnych gałęzi gospodarki [1]. Powodem takiego stanu rzeczy jest fakt, że od co najmniej 20 lat 30% inwestycji kończy się niedotrzymaniem terminów bądź przekroczeniem kosztów uwzględnionych w kosztorysie. Główny problem, na który napotyka efektywność w branży budowlanej, to nieprawidłowe zorganizowanie procesu realizacji inwestycji budowlanych. Obecne podejście obarczone jest dużym ryzykiem niepowodzenia spowodowanym współpracą niezależnych jednostek projektowych oraz wykonawczych. Autonomiczne punkty widzenia poszczególnych uczestników procesu inwestycyjnego zaburzają przejrzystość całego przedsięwzięcia, nie precyzując jednostek odpowiedzialnych, co niekiedy znajduje swój finał na sali sądowej. Jak wskazują badania CMAA Owners survey 2005, CMAA Industry Report 2007 [2] około 30% realizowanych inwestycji obarczonych było przekroczeniem harmonogramów bądź kosztorysów. Kolejnym wynikiem badań jest fakt, iż szacunkowo około 1/3 materiałów zamawianych na potrzeby budowy została zmarnowana, a 10% całkowitych kosztów inwestycji objęły błędy w zamówieniach. Celem uniknięcia ponoszenia ww. kosztów należy połączyć etapy realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Takie scalenie etapu projektowania z etapem realizacji nazywa się Zintegrowanym Procesem Realizacji Inwestycji (Integrated Project Delivery). IPD egzekwuje od uczestników całego procesu budowlanego wykorzystanie wiedzy i doświadczenia celem osiągnięcia wspólnego celu, jakim jest optymalizacja przedsięwzięcia oraz maksymalna eliminacja strat, co czyni proces budowlany wydajnym na każdym etapie: projektowym, przygotowawczym i wykonawczym. Zintegrowany Proces Realizacji Inwestycji opiera się na wspólnej umowie, która łączy uczestników procesu inwestycyjnego determinując odpowiedzialność zbiorową, udział w kosztach i zyskach (w zależności od powodzenia całego przedsięwzięcia), a także umożliwia podejmowanie decyzji przez projektanta i wykonawcę na każdym etapie realizacji inwestycji [1]. Na podstawie badań rynku amerykańskiego wykazano, że proces budowlany oparty o IPD skutkował 10% redukcją całkowitych kosztów inwestycji, na które złożyły się aspekty administracyjne oraz prawne. Zintegrowany Proces

Realizacji Inwestycji w połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem inżynierskim może zainicjować rewolucję w budownictwie.

2. Building Information Modeling (BIM)

BIM stanowi podstawę Zintegrowanego Procesu Realizacji Inwestycji. Amerykański National BIM Standard [3] opisuje go jako „wspólny zasób wiedzy i informacji o obiekcie tworzący solidną podstawę dla decyzji podczas jego cyklu życia, a więc od najwcześniejszych stadiów projektowania i budowy do rozbiórki”. BIM scala wszystkie branże w budownictwie (Architectural, Engineering and Construction – AEC) i tym samym staje się systemem wielobranżowym, co pozwala unikać kolizji. Akronim BIM (Building Information Modeling) staje się coraz bardziej popularny w Polsce wśród projektantów architektury, instalacji, czy konstrukcji. Niemniej jednak większość osób błędnie postrzega BIM jako trójwymiarowy model budynku. Wciąż wiele firm twierdzi, że wykorzystuje BIM w procesie projektowym, tworząc jedynie model przestrzenny. BIM opiera się na trójwymiarowym modelu cyfrowym opisanym charakterystykami fizycznymi i funkcjonalnymi, który zawiera kompletny zbiór informacji o inwestycji. Technologia BIM wykracza daleko poza funkcjonalność systemu CAD 2D (Computer Aided Design 2D), którego rozwój w latach osiemdziesiątych oznaczał przełom w zakresie projektowania m.in. w inżynierii mechanicznej, elektrycznej i budowlanej. BIM umożliwia tworzenie n-wymiarowych modeli, które opisane charakterystykami dotyczącymi planowania, projektowania, wykonania i eksploataowania dadzą kompletny, spójny obraz inwestycji w całym procesie aż do rozbiórki. Oprogramowanie wykorzystujące technologię BIM wspomaga architektów, instalatorów i konstruktorów (AEC) w idei Zintegrowanego Procesu Realizacji Inwestycji. U podstawy IPD leży integracja wszystkich uczestników procesu budowlanego. Dzięki technologii BIM już na wstępnym etapie projektu uczestnik procesu budowlanego w oparciu o swoją wiedzę i doświadczenie może decydować o konkretnych rozwiązaniach stanowiących o opłacalności i efektywności procesu. BIM opisuje się również jako wirtualne wybudowanie obiektu przed jego realizacją. Taka funkcjonalność daje szereg możliwości optymalizacji czynników takich jak koszty czy harmonogramy, które mogą

prować do znacznego wzrostu efektywności na każdym etapie procesu budowlanego. Symulując realizację obiektu, inżynier jest w stanie określić obszary potencjalnego ryzyka związanego z opóźnieniami robót, kosztami dodatkowymi czy nawet zagrożeniami związanymi ze zdrowiem osób przebywających na placu budowy. Dzięki technologii BIM uczestnik procesu budowlanego ma możliwość decydowania o rozwiązaniach stosowanych w obiekcie, jak i kontrolowania kolizji i eliminowania ich na etapie projektowania. Taka funkcjonalność pozwala na znaczną redukcję kosztów wynikających z wszelkich kolizji, które w tradycyjnym procesie ujawniłyby się dopiero na etapie realizacji inwestycji.

Historia idei BIM sięga lat siedemdziesiątych. Do tego czasu architekci, instalatorzy, czy konstruktorzy sporządzali projekty w postaci rysunków wykonywanych ręcznie. System CAD, czyli system projektowania wspomagane komputerowo, to efekt rosnących wymagań w sektorze budownictwa, mechaniki oraz elektroniki. Został on opracowany w latach osiemdziesiątych dzięki znacznemu rozwojowi informatyki. Pierwsze przesłanki o możliwościach cyfrowego zapisu informacji o budynku datuje się na 1975 rok, wtedy to Chuck Eastman (Georgia Institute of Technology) nawiązał do koncepcji BIM formułując pojęcie „Building Product Model”. Eastman opisał to pojęcie jako zapewnienie bogatej, w pełni zintegrowanej informacji od koncepcji, przez projektowanie aż po realizację i wyburzenie. Pierwsze udokumentowane zastosowanie określenia „Building Modeling” w języku angielskim (w sensie dzisiejszego *Building Information Modeling*) ukazało się w tytule pracy Roberta Aisha w 1986 roku [4]. Autor w artykule przedstawia hasła, które dziś są kojarzone z BIM, tzn.: model 3D, automatyczne tworzenie dokumentacji rysunkowej, parametryczne komponenty, baza danych, harmonogramowanie prac budowlanych itp. Pierwsze udokumentowane zastosowanie terminu „model building information” ukazało się w roku 1992 w pracy [5]. Akronim BIM wraz z pojęciem „Building Information Modeling” został po raz pierwszy zastosowany przez Jerry`ego Laiserin w pracach z początku XXI wieku [6, 7]. Równoległe do rozwoju idei BIM rozwijano wiele platform programów wspomagających projektowanie. Laiserin w porozumieniu z największymi dostawcami oprogramowania (Autodesk, Bentley Systems i Graphisoft), stanowiącymi ponad 90% rynku amerykańskiego (w roku 2002) wprowadził pojęcie BIM jako usystematyzowanie najnowszych możliwości oprogramowania wspomagającego projektowanie w budownictwie. Stąd wielu autorów publikacji, czy książek podejmujących tematykę komputerowego wspomaganie projektowania w budownictwie określa Jerry`ego Laiserin ojcem BIM, zaznaczając jego znaczny udział we wdrożeniu i popularyzacji tego pojęcia.

Na rysunku 1 przedstawiono na wykresie zainteresowanie tematyką BIM na przestrzeni ostatnich 10 lat. Dane do wykresu zaczerpnięto z *Google Trend*. Wyświetlone



Rys. 1. Wykres zainteresowania technologią BIM w ujęciu czasowym (2004–2015)

wartości odpowiadają łącznej liczbie wyszukiwań hasła w odniesieniu do łącznej liczby wyszukiwań w Google w tym samym czasie. Liczby reprezentują poszczególne zainteresowania w wyszukiwaniu względem najwyższego punktu na wykresie (jeśli np. maksymalnie 10% wyszukiwań dla danego regionu i zakresu czasowego w przeglądarce Google to „BIM”, uznajemy, że jest to 100). Nie jest to bezwzględna liczba operacji wyszukiwania. Z wykresu obserwujemy ogromny względny (odniesiony do wszystkich wyszukiwań) wzrost zainteresowania tematyką BIM na przestrzeni 10 lat.

Obecnie wiele krajów rozpoczęło sukcesywny proces wdrażania technologii BIM. Już w roku 2006 Finlandia i Norwegia zapoczątkowały prace nad zaleceniami i zasadami wykorzystania BIM, zgodnie z którymi wszelkie decyzje administracyjne wydawane są m.in. w oparciu o model wielowymiarowy. Szacuje się, że w roku 2016 wszystkie obiekty w Wielkiej Brytanii, realizowane z funduszy publicznych, będą musiały mieć dokumentację projektową w technologii BIM. Tutaj ogromną rolę odgrywają nie tylko koszty, lecz również sprawność energetyczna inwestycji. Według badań CMAA Owners survey 2005, CMAA Industry Report 2007 [2] szacuje się, że 38% emisji dwutlenku węgla ma swoje źródło w użytkowaniu budynków. Brytyjskie prognozy szacują spadek emisji dwutlenku węgla generowany przez nowe inwestycje o 50% (w porównaniu do tych samych inwestycji, bez zastosowania technologii BIM) do roku 2025.

3. Rozszerzenie o czwarty i piąty wymiar

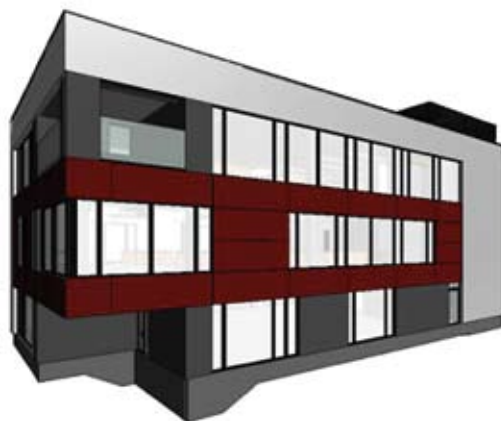
Tradycyjna metoda kontroli poszczególnych faz cyklu życia inwestycji opiera się na dwuwymiarowych rysunkach (2D). Podczas etapu projektowania rysunki dwuwymiarowe stanowią podstawę opracowywania harmonogramów oraz przedmiarów do wyceny robót budowlanych. Uczestnicy procesu budowlanego posługujący się dokumentacją 2D narażeni są często na różnice w interpretacji, a co za tym idzie błędne sporządzenie m.in. zamówień. Wykonywanie trójwymiarowego modelu obiektu umożliwia wizualizację na wysokim poziomie, ograniczenie błędnych interpretacji oraz redukcję powielania

pracy. Na etapie projektowym, trójwymiarowy model służy do koordynacji międzybranżowej (umożliwia wyszukiwanie kolizji). Stworzenie wirtualnego obiektu umożliwia minimalizację ryzyka, eliminując trudności, które w przypadku tradycyjnego systemu CAD 2D wystąpiłyby na placu budowy. Do takich niedogodności można zaliczyć m.in. wspomniane kolizje, niemożność montażu poszczególnych elementów, błędne rozmieszczenie dostaw na placu budowy itp. BIM to nie tylko trójwymiarowy model zawierający informację o charakterystykach geometrycznych i materiałowych. Technologia BIM to wielowymiarowy zapis informacji o przedsięwzięciu budowlanym od wstępnych koncepcji po demontaż. W odróżnieniu od tradycyjnego oprogramowania CAD 2D, który opiera się na zbiorze linii i powierzchni, trójwymiarowy model polega na projektowaniu obiektowym, gdzie każdemu elementowi (obiektowi) może być przyporządkowany szereg cech, począwszy od charakterystyk geometrycznych i materiałowych, przez harmonogramowany czas wybudowania/wyburzenia po ustalony koszt. Nałożenie na model 3D tak zwanego czwartego wymiaru prowadzi do przedstawienia realizacji w funkcji czasu. W ten sposób scalając harmonogram opracowywany na podstawie modelu 3D wraz geometrią obiektową uzyskujemy nie tylko wizualizację wznoszenia obiektu na linii czasu, lecz również możliwym staje się optymalizacja przyjętych technologii. Podążając za założeniami Zintegrowanego Procesu Realizacji Inwestycji jesteśmy w stanie już na wstępnym etapie projektowania w dyskusji między projektantami a jednostką realizacyjną optymalizować przyjęte założenia. Ponadto przypisując informację do każdego obiektu modelu możemy planować montaż, wykluczając kolizje czy obszary robót, które na późniejszych etapach mogą stanowić o opóźnieniach. Analizując ścieżkę krytyczną w oparciu o cyfrowy zapis inwestycji uczestnicy procesu budowlanego, począwszy od inwestora przez projektanta, a skończywszy na kierowniku robót mają możliwość ingerencji w projekt celem optymalizacji kosztów i czasu. Model 4D wspomaga wizualizację wirtualnej budowy, co umożliwia prawidłowe rozplanowanie zaplecza placu budowy oraz harmonogramu dostaw. Model trójwymiarowy scalony z harmonogramem czyni cały cykl realizacji transparentnym dla każdego uczestnika procesu budowlanego. Kolejnym krokiem w tworzeniu zintegrowanego modelu cyfrowego opisującego inwestycję jest nadanie piątego wymiaru, czyli kosztów. Model 5D charakteryzuje się kompletem informacji na temat kosztów inwestycji, które zostały ustalone na podstawie cech obiektów (geometryczne i materiałowe) oraz np. cenników elementów scalonych (uwzględniających średnie koszty materiałów budowlanych, sprzętu i robocizny). Przedmiar robót generowany jest bezpośrednio z modelu 3D, pozostaje jedynie nałożyć ceny jednostkowe, aby uzyskać uproszczony zestaw kosztów realizacji obiektu. Tego typu kalkulacja jest niebywale istotna z punktu widzenia inwestora, bowiem umożliwia

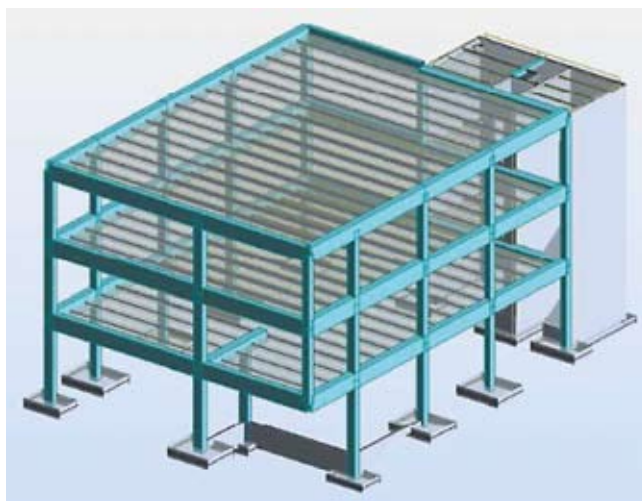
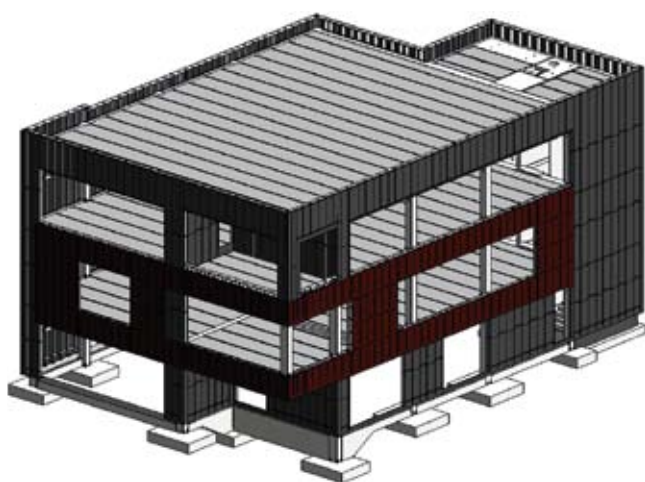
dosyć precyzyjne określenie kosztów budowy bez konieczności korzystania z zaawansowanego oprogramowania kosztorysowego [8]. Celem sporządzenia szczegółowej kalkulacji kosztów, z modelu 3D uzyskuje się przedmiar, natomiast precyzję kosztorysu zapewnia odpowiednie oprogramowanie wyposażone w KNR-y i cenniki. Analiza scenariuszy „co jeśli” (ang. *what-if scenario*) umożliwia inwestorowi kontrolę kosztów w praktycznie każdej sytuacji, czyniąc proces inwestycyjny efektywniejszym, bezpieczniejszym i bardziej przejrzystym. Ponadto model 5D daje możliwość sprecyzowania przepływu finansów w przypadku każdego analizowanego scenariusza. Dane [9] wskazują, że dzięki wykorzystaniu technologii BIM sporządzenie przedmiaru zajmuje około 1/8 czasu niezbędnego w przypadku tradycyjnego podejścia (w oparciu o rysunki 2D). Ponadto podaje się, że przedmiar wykonany automatycznie z modelu 3D praktycznie był bezbłędny. Dla porównania Dejer w [9] podaje, że taki sam przedmiar sporządzony metodą tradycyjną obarczony byłby błędem rzędu 10–30% (w zależności od sumienności osoby przedmiarującej). Ciągły rozwój technologii BIM doprowadził do precyzowania kolejnych wymiarów cyklu życia obiektu. Kula-sekara i in. opisują w [10] szósty i siódmy wymiar jako definiowanie zrównoważonego poziomu energii oraz zarządzanie obiektem.

4. Przykładowy projekt zapisu informacji o przedsięwzięciu budowlanym

W niniejszej pracy przedstawiono projekt [11] stanowiący przykładowe wykorzystanie technologii BIM na etapie projektowania obiektów kubaturowych. Projekt ten stanowi wielobranżowy zapis w modelu 3D. Autor niniejszej pracy jest m.in. projektantem konstrukcji obiektu oraz osobą odpowiedzialną za koordynację międzybranżową, scalenie programu Autodesk Revit (w którym został wykonany model 3D obiektu) z programem MS-Project (w którym sporządzono harmonogram robót), Autodesk Navisworks oraz ZuziaBIM (w którym



Rys. 2. Model architektury 3D w ramach projektu [11]



Rys. 3. Model geometryczny i analityczny konstrukcji w ramach projektu [11]

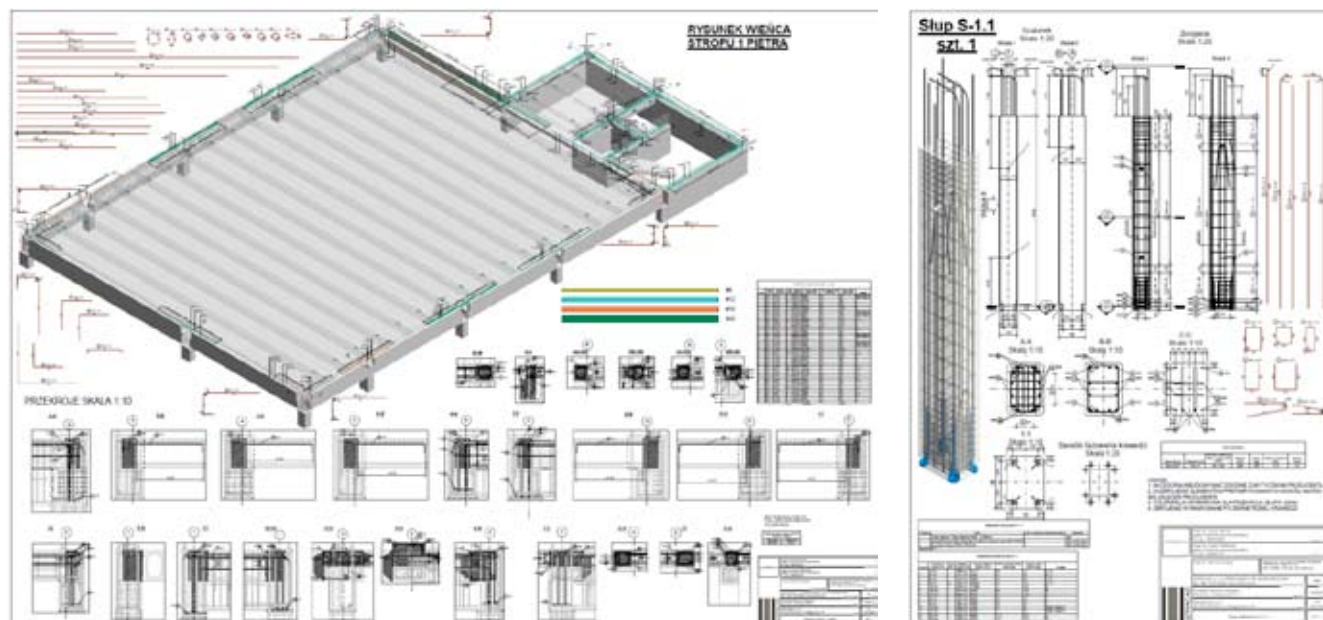
sporządzono kosztorys).

Podstawę projektu konstrukcji stanowił model architektoniczny (rys. 2) wykonany w programie Autodesk Revit. Na etapie projektu budowlanego sporządzona koncepcja architektoniczna została zweryfikowana pod względem funkcjonalnym, technologicznym, konstrukcyjnym oraz instalacyjnym. W oparciu o model architektoniczny sporządzono szczegółowy projekt budowlany w zakresie konstrukcji przy użyciu programów Autodesk Revit oraz Autodesk Robot Structural Analysis Professional (rys. 3). Równocześnie z modelem geometrycznym powstawał model analityczny, który można było bezpośrednio eksportować do programu obliczeniowego, sukcesywnie poszukując najoptymalniejszego schematu statycznego.

Model 3D już na wstępnym etapie projektowania zapewniał transparentność przedsięwzięcia dla każdego

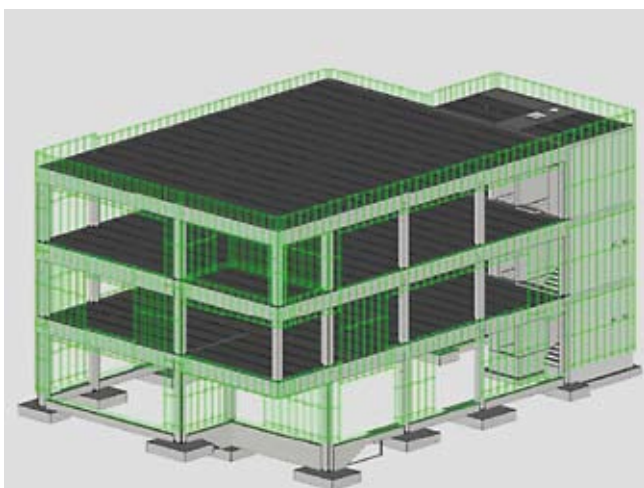
uczestnika procesu budowlanego. Stała współpraca projektantów wraz z firmą wykonawczą wzbogacona o liczne uwagi inwestora zapowiadała znaczną poprawę efektywności procesu inwestycyjnego.

Z modelu trójwymiarowego wygenerowano dokumentację wykonawczą konstrukcji (rys. 4) o jakości której świadczyła bezbłądność (element uzyskany wprost z wirtualnego modelu budynku) oraz przejrzystość (widok 3D prefabrykatu bądź innej części konstrukcji). Podczas rozmów z pracownikami firm wykonawczych, głównym zarzutem wobec tradycyjnej dokumentacji był fakt, iż projektanci zazwyczaj wykonują przekroje w miejscach oczywistych, unikając tworzenia dodatkowych przekrojów w miejscach problemowych. Technologia BIM umożliwia nie tylko generowanie precyzyjnej i transparentnej dokumentacji wykonawczej w postaci rysunków, lecz



Rys. 4. Przykładowy rysunek wykonawczy zbrojenia wieńca stropu 1 piętra (z lewej) i słupa prefabrykowanego (z prawej) [11]

również odczyt informacji z modelu na budowie. Dla celów projektu [11] model 3D eksportowano do bezpłatnego oprogramowania Autodesk Design Review, obsługującego format.dwfx, który przetwarza cyfrowy zapis, redukując rozmiar pliku („zapisuje” jedynie geometrię, bez zależności parametrycznych). W efekcie uzyskuje się model obiektu oparty na cechach geometrycznych, materiałowych, kosztowych, a także tych dotyczących harmonogramu (faz realizacji). Taki plik można dowolnie przeglądać z poziomu budowy, np. przy użyciu tabletu bądź ekranu w biurze budowy. Plik.dwfx składa się z modelu 3D obiektu oraz dokumentacji (również dostępnej z poziomu Autodesk Design Review). Tym samym kierownik budowy posiada narzędzie do kontroli jakości i koordynacji wykonywania robót w postaci wirtualnego modelu zawierającego wszelkie niezbędne informacje dotyczące geometrii, materiału i harmonogramu.



Rys. 5. Klatka z filmu prezentującego postęp robót zgodnie z harmonogramem [11]

Ponadto, na każdym etapie projektowania, dzięki automatycznym narzędziom oprogramowania eliminowano wszelkie kolizje i miejsca kłopotliwe wykonawczo. Już na etapie projektu budowlanego model 3D rozbudowano o czwarty i piąty wymiar. Z poziomu oprogramowania Autodesk Revit zdefiniowano fazy realizacji, które stanowiły podstawę harmonogramu sporządzonego w oprogramowaniu MS-Project. Celem wizualizacji wykonania budynku scalano model 3D z harmonogramami przy użyciu programu Autodesk Navisworks.

Jeden z efektów tej procedury stanowi film w formacie avi przedstawiający realizację obiektu na linii czasu (rys. 5). Na różnych etapach procesu wykonywano kalkulacje kosztów, przybliżoną (opartą o przedmiar z modelu 3D oraz cenników elementów scalonych) oraz precyzyjną (na podstawie przedmiaru z modelu 3D).

5. Podsumowanie

Założeniem Zintegrowanego Procesu Realizacji Inwestycji jest wykorzystanie wiedzy i doświadczenia wszystkich uczestników procesu budowlanego. Tym samym dąży się do osiągnięcia wspólnego celu, jakim jest optymalizacja przedsięwzięcia oraz maksymalna eliminacja strat, co czyni proces budowlany wydajnym na każdym etapie. IPD w połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem inżynierskim (BIM) może zainicjować rewolucję w budownictwie. Model trójwymiarowy (3D) scalony z harmonogramem (4D) oraz cennikiem (5D) czyni cały cykl realizacji transparentnym dla każdego uczestnika procesu budowlanego, eliminując straty, błędy w interpretacji, czy kolizje. Przedstawiony projekt stanowi przykład wykorzystania technologii BIM w procesie budowlanym.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Miecznikowski P., Zintegrowany Proces Realizacji Inwestycji, Materiały Budowlane, 2013, nr 4, str. 82–83
- [2] Club Managers Association of America, CMAA Owners Survey 2005 – CMAA Industry Report 2007, strona internetowa: www.cmaa.org/surveys.aspx
- [3] Strona internetowa: <http://www.nationalbimstandard.org/>
- [4] Aish R., „Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD”, CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings, 7–9 July, 1986
- [5] Van Nederveen G.A., Tolman F.P., Modelling multiple views on buildings. Automation in Construction, 1992, nr 3, str. 215–224
- [6] Laiserin J., Comparing Pommies and Naranjas. The Laiserin Letter. 2002, Issue 15, December 16
- [7] Laiserin J., The BIM Page. The laiserin Lester, 2003
- [8] Tomana A., Integracja projektowania i kosztorysowania na platformie BIM. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2011, nr 2, str. 401–406
- [9] Dejer M., OpenBIM w praktyce – siedziba Wydziału Rzeźby ASP w Warszawie. Materiały Budowlane. 2014, nr 2, str. 60–61
- [10] Kulasekara G., Jayasena H.S., Ranadewa K.A.T.O., Comparative Effectiveness of Quantity Surveying in a Building Information Modelling Implementation. The Second World Construction Symposium 2013: Socio-Economic Sustainability in Construction. Colombo, 2013, str. 101–107
- [11] Biuro projektowe UltraCAD., Projekt budowlany i wykonawczy konstrukcji. Budowa budynku biurowego we Wrocławiu, Wrocław 2013

Za publikację w miesięczniku „Przegląd Budowlany”

uzyskuje się 5 punktów

zgodnie z komunikatem MNiSW
z dnia 23.12.2015 roku, wykaz B, pozycja 1381.

Serdecznie zapraszamy autorów do publikowania w Przeglądzie Budowlanym.

