

Metodyka BIM – czym jest i komu służy

Janusz POLIŃSKI¹

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę modelowania informacji o budynku BIM (ang. *Building Information Modeling*). Zastosowanie tej technologii prowadzi do zwiększenia efektywności i jakości procesu inwestycyjnego oraz obniżenia kosztów eksploatacji. Opisano historię projektowania z wykorzystaniem rozwijającej się technologii cyfrowej informacji o obiekcie. Przedstawiono formy obiektów, podstawowe modele stosowane w BIM, jak również ich wykorzystanie w zamówieniach publicznych. Opisano mapę drogową wdrażania BIM w Polsce oraz stan prawny w tym zakresie. Podano przykłady zastosowania BIM w budownictwie kolejowym w Polsce, Europie i Chinach. Budowa odcinka linii kolei dużych prędkości Pekin – Zhangjiakou zobrazowała pełne możliwości wykorzystania BIM w projekcie kolejowego obiektu liniowego. Pomimo korzyści wynikających z tej technologii, występuje wiele czynników sprawiających, że jej wdrażanie w Polsce może okazać się trudne i długotrwałe.

Słowa kluczowe: projektowanie, modelowanie informacji o budynku (BIM), inwestycje infrastrukturalne

1. Wstęp

BIM (ang.: *Building Information Modeling*) jest metodyką prowadzenia inwestycji budowlanych, opartą na możliwie największym wykorzystaniu informacji. Akronim BIM oznacza również *Building Information Model*, czyli „cyfrowy bliźniak” obiektu budowlanego.

Celem artykułu jest przybliżenie czytelnikowi podstawowych informacji na temat stosowania BIM w procesie projektowania, budowy i utrzymania obiektów infrastrukturalnych. Na podstawie dostępnej literatury krajowej i zagranicznej opisano stan wykorzystania tej technologii w realizacji kolejowych inwestycji infrastrukturalnych w Polsce, Europie i Chinach.

Modelowanie informacji o budynkach oraz budowlach coraz częściej jest podstawą procesu realizacji inwestycji. Zasób wiedzy oraz informacji o obiekcie infrastrukturalnym staje się podstawą wielu decyzji podczas cyklu jego życia, rozumianego jako okres od pierwszych założeń do projektowania, następnie realizacji projektu – budowy, bieżącego utrzymania, a nawet rozbiórki i utylizacji obiektu. Zastosowanie koncepcji BIM umożliwia scalenie wszystkich branż, dotyczących obiektów, dzięki czemu już na etapie projektowania unika się np. wielorakich kolizji.

Projektowanie z wykorzystaniem BIM opiera się na wielowymiarowym modelu cyfrowym obiektu, opisanych szeregiem charakterystyk fizycznych, funkcjonalnych i wizu-

alnych oraz zależności występujących między nimi, stanowiącym zbiór kompletnych informacji o inwestycji. Z tego powodu, jest to ściśle związane z branżą budowlaną. Oprogramowanie oparte na zastosowaniu BIM, jest narzędziem wspomagającym zespoły architektów, konstruktorów, a także instalatorów, umożliwiającym integrację ich pracy. Korzystając z wiedzy oraz ich doświadczenia, uczestnicy procesu budowlanego mogą podejmować decyzje dotyczące rozwiązań rzutujących na opłacalność i efektywność procesu projektowego i budowlanego. Dzięki symulacji realizacji budowy obiektu infrastrukturalnego, powstaje możliwość określania obszarów związanych z ryzykiem opóźnienia prac, generowaniem dodatkowych kosztów, czy zagrożeniami bezpiecznej pracy robotników na budowie. Jest to efektem stworzenia wirtualnego obiektu przed rozpoczęciem realizacji inwestycji.

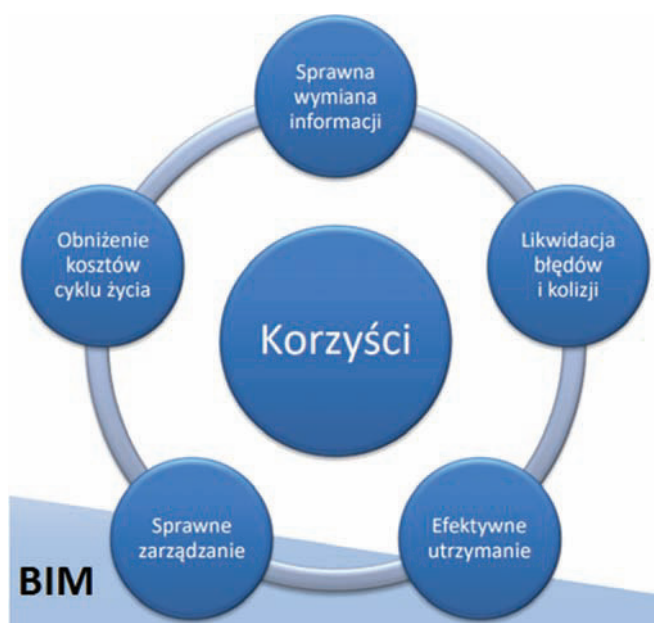
Wykorzystując metodę BIM (...) już na wstępnym etapie projektu uczestnik procesu budowlanego w oparciu o swoją wiedzę i doświadczenie może decydować o konkretnych rozwiązaniach stanowiących o opłacalności i efektywności procesu (...) [4]. Jedną z wielu zalet wynikających ze stosowania BIM jest fakt, że wprowadzenie jakichkolwiek zmian w modelu, powoduje automatyczną zmianę dokumentacji.

Projektowanie wykorzystujące tę metodę może być oparte na podejściu obiektowym, parametrycznym lub algorytmicznym. Wszystkie branże są łączone w tzw. modele koordynacyjne, w których następuje przestrzenne

¹ Dr inż.; emerytowany pracownik Instytutu Kolejnictwa; e-mail: jpolin53@vp.pl.

powiązanie poszczególnych projektów branżowych oraz wykrywanie kolizji między nimi. Dzięki temu jest możliwe wykonanie obliczeń statycznych, przeprowadzenie analiz energetycznych i środowiskowych, a na ich podstawie dokonanie przedmiaru robót, przygotowanie zestawień do kosztorysowania i planowania. Z modelem, utworzonym przy wykorzystaniu BIM, może być powiązany zarówno harmonogram prac (w tym np. technologia wznoszenia obiektu), jak i kosztorys.

Pomimo niewątpliwych korzyści (rys. 1), wynikających ze stosowania technologii BIM, występuje wiele czynników sprawiających, że jej wdrażanie może okazać się bardzo trudne. W skrupulatnej analizie zawartej w opracowaniu [3], wskazano kilka istotnych zagrożeń płynących z technologii BIM. Zaliczono do nich:



Rys. 1. Korzyści ze stosowania modelowania BIM w budownictwie [19]

1. Bariery finansowe, wynikające z konieczności zakupów specjalistycznego oprogramowania i szkoleń członków zespołów projektowo-badawczych.
2. Bariery technologiczne, spowodowane zależnością od tzw. zamkniętych aplikacji, niepełnym znormalizowaniem procesów i danych BIM. W tym przypadku należy zacytować wyeksponowany zapis w opracowaniu [3]: (...) *brak norm krajowych powoduje, że poszczególni uczestnicy projektu tworzą własne standardy, których stosowanie wykracza poza ich możliwości czasowe, a dodatkowo ich użycie na późniejszych etapach staje się niemożliwe ze względu na różnice w strukturach danych (...)*.
3. Bariery prawne oraz cyberbezpieczeństwo: architektura, energetyka lub konstruowanie staje się coraz bardziej cyfrowe, lecz nie do końca rozwiązano niektóre prawne aspekty (...) *poufności informacji zawartych we wspólnych środowiskach danych. Najpowszechniejsze problemy obejmują: prawa własności intelektualnej,*

ochronę związaną z własnością chmury oraz obowiązki w zakresie zarządzania informacjami (...).

4. Wymagania zamawiającego, który w wielu przypadkach nie dostrzega korzyści płynących ze stosowania BIM – np. w Wielkiej Brytanii dotyczy to obecnie 72% przypadków [10] lub z powodu powierzchownej wiedzy nie wiąże oczekiwań z potrzebą zainwestowania odpowiednich nakładów w ten proces.
5. Bariery kulturowe, na które składają się przede wszystkim (...) *zakorzenione nawyki i opór wobec zmian, tj. „czynnik ludzki” (...)* [3].

2. Historia projektowania z wykorzystaniem koncepcji BIM

Historia rozwoju projektowania z wykorzystaniem koncepcji BIM jest obszernie opisana w wielu publikacjach, np. [20–22]. Początki obecnej wersji tej technologii sięgają 1957 roku, w którym opracowano pierwszy komercyjny program CAM (*Computer Aided Machining*), wykorzystywany do obróbki numerycznej danych parametrycznych. Poprzedzał on oprogramowanie CAD, które z interfejsem graficznym opracowano w 1963 roku. Systemy oprogramowania CAD pierwszej generacji były aplikacjami do projektowania 2D, przeznaczonymi głównie do automatyzacji powtarzalnych zadań kreślarskich.

W latach siedemdziesiątych XX wieku rozpoczęła się transformacja z modelowania 2D do modelowania 3D. Pod koniec tamtej dekady pojawiła się jedna z pierwszych książek promujących CAD dla architektów. System CAD, będący systemem projektowania wspomaganego komputerowo, był następstwem rosnących wymagań w sektorze budownictwa, mechaniki oraz elektroniki. Nic więc dziwnego, że w początkowym okresie CAD był używany w firmach architektonicznych jako zamiennik rysowania ręcznego. Był on systematycznie doskonalony dzięki szybkiemu rozwojowi informatyki. Początkowo CAD 3D był używany głównie jako narzędzie do prezentacji, mające niewielki wpływ na proces projektowania. Z czasem, trzeci wymiar CAD ulepszono do tego stopnia, że każdy możliwy do wyobrażenia kształt można było modelować komputerowo, a budynki budować na podstawie sporządzonych tą metodą modeli 3D.

Akronim BIM wraz z pojęciem *Building Information Modeling* zaczął pojawiać się w opracowaniach dotyczących projektowania na początku XXI wieku. (...) *Obecnie wiele krajów rozpoczęło sukcesywny proces wdrażania 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 (...)* [4].

Interesującą informację dotyczącą BIM zamieszczono w opracowaniu [9], w którym poddano krytyce obowiązujący także w Polsce system wyboru kontrahentów według kryterium najniższej ceny (...) *Dotychczas w 92% kontraktów*

publicznych na roboty budowlane o wyborze oferty decydowała najniższa cena inwestycyjna, co oznacza, że wydaliśmy tylko w 2014 r. ponad 49 mld PLN publicznych środków bez troski o zużycie energii, emisję CO₂ i koszty eksploatacji na obiekty publiczne i przemysłowe. Budowle i obiekty przemysłowe nie posiadają dokumentacji, która dawałaby łatwo dostępną wiedzę dla służb publicznych w przypadku pożarów, katastrof czy ataku terrorystycznego (...). To wynik wciąż niedostatecznego stosowania metody BIM w procesie inwestycyjnym związanym z infrastrukturą w Polsce, świadczący o niezrozumieniu podstawowych działań wynikających z możliwości ich cyfryzacji i informatyzacji.

3. Modele metodyki BIM

Projektowanie z wykorzystaniem metodyki BIM to nie tylko trójwymiarowy model zawierający informację o charakterystykach geometrycznych i materiałowych przyszłej budowli. To także wielowymiarowy zapis informacji o przedsięwzięciu budowlanym od wstępnych koncepcji, aż po demontaż. Wymienione zasady dotyczą wszystkich rodzajów obiektów budowlanych, bez względu na ich przyszłe funkcje.

Format dokumentacji projektowej wraz ze sposobem projektowania, oznaczony jako 2D CAD, jest specyficzną „elektroniczną deską kreślarską”, na której jest tworzona dokumentacja i dwuwymiarowe rysunki. Powstałe w ten sposób rysunki elementów obiektu są przechowywane w oddzielnych plikach, których łączenie może odbywać się ręcznie, dlatego wykonywanie na ich podstawie obliczeń, a także tworzenie wizualizacji obiektu jest bardzo trudne i czasochłonne [18].

W odróżnieniu od tradycyjnego oprogramowania 2D CAD, które opiera się na zbiorze linii i powierzchni, trójwymiarowy model polega na projektowaniu obiektowym, gdzie każdemu elementowi można przyporządkować wiele cech, począwszy od charakterystyk geometrycznych i materiałowych, przez harmonogramowany czas wybudowania / wyburzenia, po ustalony koszt. Z tego względu, w terminologii związanej z metodyką BIM wprowadzono kolejne wymiary.

Model 3D (3D CAD) jest formatem dokumentacji projektowej, rozumianym jako zbiór trójwymiarowych, skoordynowanych przestrzennie plików projektowych bez załączonych informacji dodatkowych (np. służących do przedmiarów) lub z ograniczoną ilością i jakością takich informacji. Podczas takiego projektowania, są wykorzystywane wszystkie możliwości w zakresie trzech wymiarów geometrycznych, w odróżnieniu od rysunków w formacie 2D, które są częściowo oddzielone od modelu. Dokumentacja obiektu przeważnie nie jest generowana w sposób automatyczny. Elementy projektowanego obiektu są rysowane w większości za pomocą narzędzi typowo rysunkowych (linie, okręgi, łuki). Dodatkowa zawartość informacyjna, taka jak wizualizacje lub proste przedmiary, jest możliwa do zrealizowania, ale w ograniczonym zakresie [18].

W stosunku do metody BIM, główną wadą podejścia wykorzystującego rysowanie 3D jest brak bezpośredniego powiązania z projektowaniem konstrukcyjnym lub architektonicznym. Opracowana w ten sposób dokumentacja nie jest generowana automatycznie z modelu lub odbywa się jedynie w ograniczonym zakresie. Metoda nie daje możliwości korzystania z gotowych obiektów i opisujących je elementów zdeponowanych w bazie informacyjnej, w tym również materiałowej. (...) Brak podejścia obiektowego uniemożliwia wykorzystanie parametryzacji opartej na wzajemnych relacjach elementów obiektu budowlanego. W modelu 3D CAD dopuszczalny jest brak zgodności modelu z modelowanym obiektem w zakresie sposobu realizacji czy technologii (...) [18].

Model 3D BIM oznacza format dokumentacji projektowej i metodę projektowania realizowane w taki sposób, że model („cyfrowy bliźniak”) stanowi podstawowe źródło informacji dla dokumentacji projektowej. W efekcie model umożliwia generowanie graficznej dokumentacji projektowej w postaci różnych rzutów, przekrojów, a także detali konstrukcyjnych, jak również przedmiarów robót i ich harmonogramów. W terminologii dotyczącej metodyki BIM wprowadzono także dodatkowe „wymiar”, wykraczające poza model 3D.

Model 4D BIM. Nałożenie na model 3D czwartego wymiaru – czasu, prowadzi do przedstawienia realizacji obiektu w jego funkcji. W ten sposób, scalając harmonogram opracowywany na podstawie modelu 3D wraz geometrią obiektową, uzyskuje się nie tylko wizualizację wznoszenia obiektu na linii czasu, lecz również jest możliwa optymalizacja przyjętych technologii. Model 4D wspomaga wizualizację wirtualnej budowy, co umożliwia prawidłowe rozplanowanie zaplecza placu budowy oraz sprecyzowanie optymalnego harmonogramu dostaw. Dzięki przypisaniu do każdego modelu obiektu wielu informacji, można planować np. montaż, wykluczając kolizje lub obszary prac, które w późniejszych etapach mogą generować opóźnienia. Podczas analizy ścieżki krytycznej na podstawie cyfrowego zapisu inwestycji, uczestnicy procesu budowlanego, począwszy od inwestora przez projektanta, a skończywszy na kierowniku robót, mają możliwość ingerencji w projekt w celu optymalizacji kosztów i czasu [1, 4, 6]. Do zalet modelu [6] można zaliczyć:

- możliwość przeprowadzenia symulacji realizacji prac budowlanych, dzięki czemu jest możliwa weryfikacja projektowanych czynności pod względem generowania kolizji lub utrudnień na placu budowy,
- możliwość określenia newralgicznych miejsc budowy z punktu widzenia zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- udogodnienie dla osób zainteresowanych postępem prac budowlanych, pod warunkiem, że dokumentacja została umieszczona na ogólnodostępnym serwerze, a postęp robót na budowie jest na bieżąco aktualizowany,
- ułatwienie opracowania strategii realizacji inwestycji,
- umożliwienie bieżącego porównywania stanu faktycznego ze stanem określonym w harmonogramie; poszczególnym elementom budowli można nadawać

status: przed wybudowaniem, w trakcie budowy, wybudowane, oznaczając je kolorami, co znacznie ułatwia bieżące oceny działań inwestycyjnych.

Model 5D BIM dodatkowo usprawnia zarządzanie kosztami. Na etapie projektowania i budowy, model ten jest wykorzystywany do tworzenia kosztorysów, zestawień materiałowych oraz przedmiarów robót. Dzięki temu uzyskuje się kolejne korzyści [1, 6, 23]:

- zautomatyzowanie tworzenia kosztorysów (możliwa analiza większej liczby wariantów w celu ustalenia optymalnego pod względem kosztowym; uproszczona analiza kosztów i analiza budżetowa z przewidywanymi i rzeczywistymi wydatkami w czasie),
- rzetelniejsze wykonanie wycen budowy poszczególnych elementów ze względu na dokładniejsze przedmiarowanie,
- stworzenie kompleksowego planu wydatków związanych z realizacją przedsięwzięcia dzięki powiązaniu kosztów z harmonogramem i modelem 3D,
- wizualizacja kosztów w czasie rzeczywistym z powiadomieniem o ich zmianach.

Model 6D BIM zawiera dodatkowe informacje, umożliwiające przeprowadzenie analizy wpływu projektowanego obiektu na człowieka i środowisko. Gromadzenie informacji o obiekcie w tym modelu pomaga analizować zużycie energii w budynku i opracowywać szacunki zużycia energii w początkowym etapie projektowania. Zapewnione jest dokładne przewidywanie zapotrzebowania na energię w różnych etapach życia konstrukcji.

Technologia według tego modelu poszerza konwencjonalne podejście, które koncentruje się tylko na kosztach początkowych związanych z projektem. Takie podejście pomaga zorientować się w całkowitym koszcie składnika aktywów i sposobie wydawania pieniędzy na osiągnięcie zrównoważonego rozwoju i opłacalności. Dzięki temu uzyskuje się dodatkowe korzyści, takie jak [1, 6, 23]:

- mniejsze zużycie energii w dłuższej perspektywie,
- usprawnienie procesu przeprowadzania analizy energetycznej, która może być uaktualniana podczas zmian projektowych,
- możliwość przeprowadzenia symulacji z różnymi rozwiązaniami budowlanymi, dzięki którym projektant uzyskuje informacje, np. o mostkach cieplnych lub izolacyjności termicznej, a dzięki możliwości łączenia z najbliższą stacją meteorologiczną i jej raportów, na etapie koncepcji jest możliwe optymalne ustawienie obiektu względem stron świata, np. po analizie nasłonecznienia, przepływów wiatrów, wzajemnego oddziaływania sąsiednich budynków, ukształtowania i zagospodarowania terenu itp.,
- lepsze zarządzanie operacyjne budynkiem lub konstrukcją po przekazaniu obiektu do użytkowania.

Model 7D BIM dotyczy zarządzania obiektem, co jest możliwe dzięki zebraniu w jednym miejscu informacji

o budynku (m.in. specyfikacje techniczne, instrukcje konserwacji, zasady obsługi, informacji o gwarancji), które mogą być wykorzystywane w przyszłości. Model służy do śledzenia ważnych danych o zasobach, takich jak stan obiektu, instrukcje konserwacji / obsługi, informacje o gwarancji, specyfikacje techniczne itp., które mogą być wykorzystane w przyszłości. Zalety modelu [1, 6, 23] są następujące:

- zoptymalizowane zarządzanie aktywami i obiektami od etapu projektowania do rozbiórki,
- uproszczona i łatwa wymiana części oraz dokonywanie napraw w dowolnym momencie w całym okresie użytkowania budynku,
- usprawniony proces konserwacji dla wykonawców i podwykonawców,
- ułatwione zarządzanie powierzchnią użytkową dzięki dysponowaniu informacjami o pomieszczeniach wraz z ich planami i rozmieszczeniu wyposażenia, o historii wynajmu i rodzaju użytkowników,
- zarządzanie pracami remontowymi, modernizacyjnymi lub konserwacyjnymi przez stałe monitorowanie stanu obiektu i jego wyposażenia (np. potrzeba wymiany gaśnicy w konkretnym pomieszczeniu ze względu na termin przydatności),
- możliwość wykorzystania modelu w odniesieniu do budynków istniejących; w takim przypadku należy prze-modelować istniejącą dokumentację do aplikacji zgodnych z metodyką BIM.

Obecnie rozpowszechnia się wykorzystywanie **modelu 8D BIM**, będącego narzędziem symulacyjnym związanym z analizą czynników ryzyka (usprawnione zarządzanie bezpieczeństwem inwestycji). Model umożliwia [6]:

- analizę czynników ryzyka związanych ze wznoszeniem i eksploatacją obiektu,
- usprawnienie procesu projektowania elementów związanych z bezpieczeństwem eksploatacji obiektu, np. opracowanie optymalnej trasy drogi ewakuacyjnej.

Na podstawie przytoczonych informacji dotyczących modeli BIM, można stwierdzić [9], że ta technologia powinna być stosowana do:

- opracowania strategii projektu budowlanego, projektowania, budowy, zarządzania opartego na modelowaniu i symulacji komputerowej obiektu, jak również jego pełnego cyklu życia,
- zarządzania danymi graficznymi oraz przepływem informacji w środowisku informatycznym,
- utworzenia zespołów zadaniowych z poszczególnych wykonawców z udostępnieniem narzędzi do rozwiązywania skomplikowanych zadań i ich integracji w procesy realizacyjne,
- szybszego, efektywniejszego oraz tańszego wykonywania wielu operacji w całym cyklu życia projektu budowlanego.

W projektowaniu infrastruktury wykorzystującym metodykę BIM są wyróżniane modele informacyjne dwóch typów [1]:

- projektowy model informacyjny **PIM** (ang. *Project Information Model*) (...) cyfrowy model zawierający komplet informacji o projekcie w możliwie największym zakresie z uwzględnieniem wszystkich etapów realizacji projektu / od koncepcji, przez projektowanie i realizację, po odbiór i użytkowanie/. PIM nie należy rozumieć jako pojedynczego pliku zawierającego wszystkie informacje, lecz jako ekosystem modeli BIM i powiązanych z nim dokumentów czy baz danych. Czasami definicja PIM jest poszerzana i PIM jest określany jako baza informacji o obiekcie wraz z dedykowanym oprogramowaniem służącym do zarządzania tą informacją. Wtedy PIM to szereg współpracujących ze sobą programów, platform, systemów i baz danych, w których centralną rolę pełnią modele BIM (...),
- eksploatacyjny model informacyjny **AIM** (ang. *Asset Information Model*) – (...) cyfrowy model obiektu powstający w wyniku wzbogacania Modelu Informacyjnego Projektu o informacje umożliwiające zarządzanie utrzymaniem i eksploatacją wszystkich składników obiektu. Dane mogą być wprowadzane do bazy na etapie realizacji nowego procesu inwestycyjnego lub podczas inwentaryzacji obiektu istniejącego (...).

Pierwszy z nich – model PIM, reprezentuje zamierzenie projektowe i jest zwykle wytwarzany przez zespoły projektowe na etapie projektu budowlanego i w pewnej części projektu wykonawczego.

Model AIM jest zwykle tworzony na bazie modelu PIM według „Wymagań Informacyjnych Eksploatacji” (AIR) przez wykonawców lub podwykonawców w trakcie prac wykonawczych lub w fazie odbiorów i zawiera komponenty metodyki BIM reprezentujące faktycznie zainstalowane, czy zabudowane elementy budynku/budowli. Opracowanie modelu AIM jest dużo bardziej kosztowne niż modelu PIM. Warto go zamawiać wówczas, kiedy ta informacja może być praktycznie wykorzystana. Jest to o tyle istotne, że nie każda firma ma wdrożone systemy i narzędzia operacyjne, a także kompetentne kadry, potrafiące wykorzystać posiadane informacje cyfrowe.

4. Formaty obiektów w metodyce BIM

Obiekt w metodyce BIM jest szczegółową informacją, która wnikliwie go definiuje i opisuje parametrami geometrycznymi (rys. 2).



Rys. 2. Składniki obiektu powstałego w wyniku stosowania metodyki BIM [8]

Wizualizacja nadaje obiektowi rozpoznawalny wygląd. Wiele charakterystyk umożliwia jego pozycjonowanie, a także odwzorowanie zachowania identycznego jak w rzeczywistym obiekcie. Istnieją dwa podstawowe typy obiektów BIM [8]:

- produkty budowlane, które mają określone, stałe kształty geometryczne, np.: okna, drzwi, ogrzewacze wody, rury i temu podobne,
- produkty budowlane nie mające ustalonego kształtu lub wymiarów, np.: wykładziny, pokrycia dachowe, elewacje ścian, stropy.

W literaturze, dotyczącej wykorzystania metodyki BIM [8], obiekty budowlane dzieli się na:

- obiekty ogólne (generyczne), często nazywane obiektami biblioteki, które są używane w początkowej fazie projektowania, jako tzw. „symbole zastępcze”, tj. jako wizualna reprezentacja konkretnego obiektu, który zostanie wybrany w późniejszym etapie,
- obiekty specyficzne, często określane jako obiekty producenta, reprezentujące specyficzne produkty konkretnego producenta.

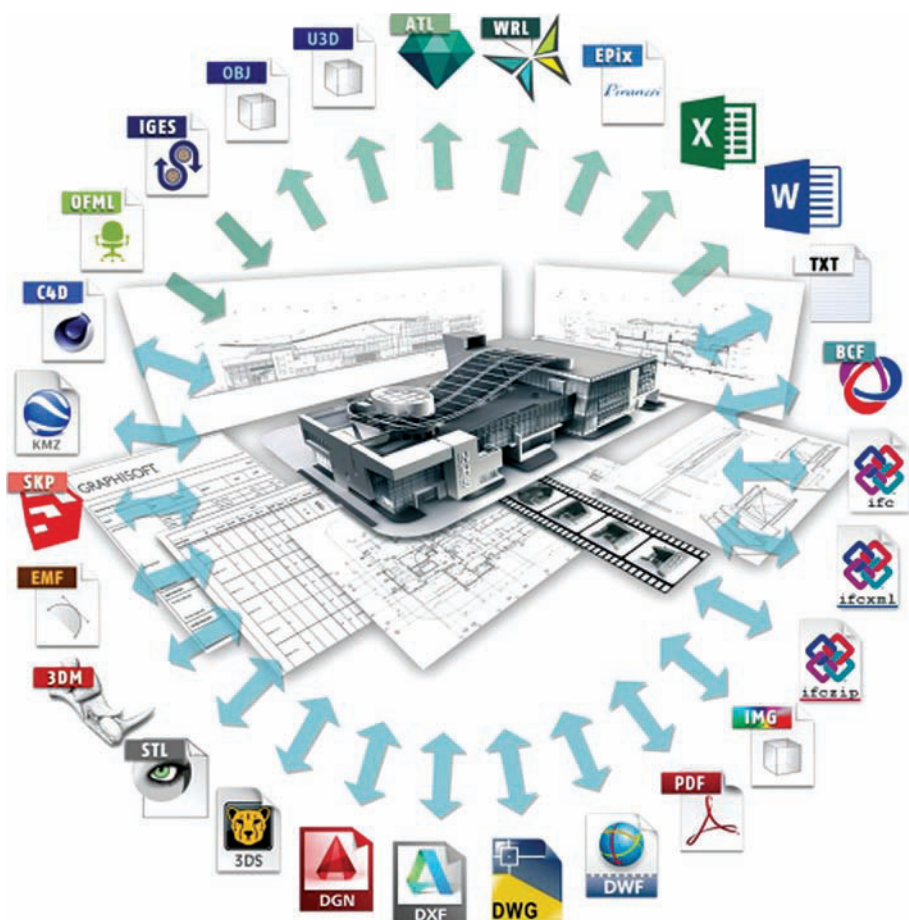
Obiekty BIM mogą być udostępniane do wykorzystania w oprogramowaniu. Wybór oprogramowania jest bardzo duży, istnieją programy dla różnych kategorii projektowania: architektura, konstrukcja, równowaga środowiskowa, zarządzanie obiektem (np.: Revit Architecture, Bentley AECOsim, Nemetscheck Vectorworks, Graphisoft ArchiCAD, Naviswork Manage, BIM Vision, StabiPlan). Mogą być także dostarczane w otwartych formatach wymiany danych, neutralnych w stosunku do platform, jak IFC (*Industry Foundation Classes*) będący światowym standardem opisu, współużytkowania oraz wymiany informacji w dziedzinie budowy i zarządzania obiektami budowlanymi.

IFC jest neutralnym formatem danych niezastrzeżonym prawnie, nie związanym z żadnym produktem, ani nie preferującym żadnego konkretnego dostawcy). Ma to istotne znaczenie, ponieważ projektanci w swojej pracy używają wielu platform, a każde przedsięwzięcie jest także w późniejszych etapach analizowane przez wykonawców, kontrolerów jakości i zarządzających obiektem. Projektanci korzystają także z różnych platform, co powoduje, że interoperacyjność odgrywa tutaj bardzo ważną rolę. Formaty wykorzystywane w metodyce BIM przedstawiono na rysunku 3.

5. Wykorzystanie metodyki BIM w zamówieniach publicznych

Ustawa „Prawo zamówień publicznych” [14] reguluje wiele procesów w przetargach takich, jak:

- określenie przedmiotu zamówienia w sposób umożliwiający obiektywny wybór wykonawcy,
- proces przebiegu procedury wyłonienia wykonawcy,



Rys. 3. Dżungla formatów metodyki BIM [8]

- podział na różne tryby wyłaniania wykonawcy w zależności od sytuacji lub specyfiki zadania, które wykonawca ma zrealizować [1].

Znowelizowana ustawa w art. 10e zawiera zapis: (...) W przypadku zamówień na roboty budowlane lub konkursów, zamawiający może wymagać użycia narzędzi elektronicznego modelowania danych budowlanych lub podobnych narzędzi. W takim przypadku zamawiający udostępnia środki dostępu do tych narzędzi zgodnie z art. 10d do czasu, gdy takie narzędzia staną się ogólnie dostępne (...). Wynika stąd, że prawo zamówień publicznych w żaden sposób nie ogranicza, ani nie normuje stosowania metodyki BIM podczas realizacji przedmiotu zamówienia.

Obecnie, jedyną zaimplementowaną w Polsce normą dotyczącą definicji procesów projektowania związanych z wykorzystaniem metodyki BIM jest norma PN-EN ISO 19650 [11] część 1: „Konceptje i zasady” i część 2: „Realizacja projektu”. Jest to norma w języku angielskim, definiująca wykorzystanie metodyki BIM na poziomie ogólnym, bez wskazywania konkretnych standardów technicznych. Stąd też zamawiający powinien dążyć do tego, aby wymagania informacyjne zamawiającego / wymagania wymiany informacji, były zgodne z ww. normą. Jak wskazano w opracowaniu [1] (...) nic nie stoi na przeszkodzie, aby w obszarach, których nie dotyczy ta norma lub konieczne jest uszczegółowienie jej

zapisów, stosować inne dostępne normy czy standardy, z zaleceniem, aby były one sprawdzone w praktyce (...). Należy jednak pamiętać, że (...) każde tworzenie własnych standardów przez zamawiającego zupełnie bez odniesienia do sprawdzonych na świecie norm, standardów czy rozwiązań jest bardzo ryzykowne ze względu na możliwe zakłócenia procesów informacyjnych realizowanych wg niesprawdzonych wcześniej metod. Należy również wziąć pod uwagę, że uczestnicy rynku (Projektanci, Wykonawcy) stosują często swoje standardy oparte na sprawdzonych w innych krajach normach czy innych dokumentach, więc żądanie zamawiającego, aby rynek zaczął stosować inny, niesprawdzony standard, musi mieć silne podstawy merytoryczne” [1].

Szczegółowe opracowanie na temat wdrażania metodyki BIM w projektowaniu [3] wskazuje, że niezależnie od działań, które mogą zostać podjęte na podstawie przepisów ustawy „Prawo zamówień publicznych”, system legislacyjny w Polsce, w szczególności w obszarze:

- cyfryzacji administracji,
 - procesu uzyskiwania pozwolenia na budowę,
 - prowadzenia i nadzoru procesu inwestycyjnego,
- nie jest jeszcze przygotowany na wdrożenia w projektowaniu metodyki BIM. (...) Aby w pełni przygotować cyfryzację budowlanych procesów zintegrowanych konieczne jest zapewnienie narzędzi, w tym rozwiązań prawnych, które pozwolą na jak najpełniejsze wykorzystanie potencjału

płynącego z cyfryzacji procesu budowlanego. W perspektywie długofalowej takie rozwiązania prawne powinny zostać wypracowane przez nowelizację przepisów, na poziomie ustawowym lub wykonawczym, odnoszące się do procesu tworzenia dokumentacji projektowej oraz uzyskiwania pozwolenia na budowę (...) [3].

Wskazuje się także na konieczność (...) wypracowania standardów (np. klasyfikacja budowlana, wzorce kontraktowe, wzorcowe dokumenty związane z prowadzeniem procesu inwestycyjnego w BIM) przy uwzględnieniu interesów wszystkich uczestników rynku, które nie będą utrudniać konkurencji (...) [3].

Opracowanie wskazuje także, że najważniejsze polskie działania ustawodawcze, dotyczące także budownictwa kolejowego, powinny w pierwszej kolejności koncentrować się na trzech elementach [3]:

- prawie zamówień publicznych (podział kryteriów oceny ofert zgodny z rosnącą wagą metodyki BIM w zamówieniach publicznych; rozważenie zobowiązania określonych kategorii zamawiających do stosowania BIM w przypadku inwestycji o szacunkowej wartości przekraczającej wyznaczony próg kwotowy; wypracowanie wzorcowych dokumentów oraz wzorców kontraktowych lub modelowych postanowień kontraktowych),
- przepisach wykonawczych (stworzenie klasyfikacji budowlanej, zgodnej z procesami cyfrowymi wynikającymi z przyjęcia metodyki BIM),
- przygotowaniu do zamówienia platformy IT mającej za cel motywację, wsparcie techniczne i edukację składających zamówienia publiczne w Polsce.

Kluczowym czynnikiem, niezbędnym dla skutecznego wykorzystania metody BIM, jest nasycenie bazy danych właściwymi, jednoznacznymi i aktualnymi informacjami, zapisanymi w taki sposób, aby mogły być odczytane i poprawnie zinterpretowane przez wszystkich uprawnionych uczestników procesu inwestycyjnego. Aby to zapewnić, każdy uczestnik procesu inwestycyjnego musi stosować określone standardy dotyczące oznaczania, zapisu, przechowywania i odczytu każdej informacji.

Jak wcześniej wspomniano, w procesie inwestycyjnym opartym na wykorzystaniu metodyki BIM, uczestnicy procesu mają do czynienia z dwoma przedmiotami zamówienia:

- obiektem budowlanym,
- „cyfrowym bliźniakiem” obiektu budowlanego.

O ile zamawiający bardzo precyzyjnie potrafi określić swoje wymagania dotyczące obiektu budowlanego, o tyle definiowanie wymagań dotyczących modelu jest czymś nowym na rynku i trudnym dla inwestora. Do niedawna, na polskim rynku brakowało ogólnie uznanych standardów metodyki BIM. Powodowało to, że zamawiający

samodzielnie musieli podejmować próby definiowania w dokumentacji zamówienia zakresu i standardów danych, jakich oczekiwano od modelu BIM.

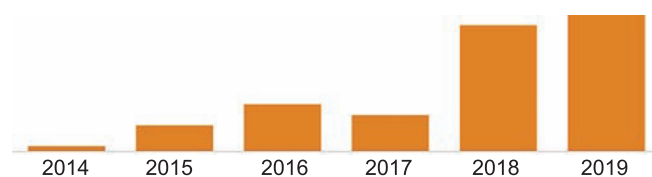
Brak standaryzacji ograniczał korzyści płynące z technologii BIM. Z tego względu inicjatywa wydania publikacji pt. „BIM Standard PL”, obejmowała opracowanie podręcznika i wzorów dokumentów modelowania. Nazewnictwo dokumentów opisowych powinno umożliwiać jednoznaczne powiązanie ich z odpowiednimi plikami modeli na platformie CDE². Te opracowania mają wesprzeć inwestorów w efektywnym i skutecznym przygotowaniu i realizacji inwestycji zgodnie z metodą BIM.

6. Mapa drogowa wdrażania metodyki BIM w Polsce

W ciągu ostatnich lat były podejmowane różne oceny branży budowlanej pod względem możliwości wdrożenia metodyki BIM w Polsce. Ogólne wnioski sprowadzają się do tego, że świadomość i przekonanie do stosowania metodyki BIM systematycznie rośnie.

6.1. Stan prawny związany z metodyką BIM w Polsce

Wskutek wdrożenia dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE [5] oraz 2014/25/UE z dnia 26 lutego 2014 roku w sprawie zamówień publicznych, do polskiego prawa zamówień publicznych wprowadzono nowe regulacje, które umożliwiają zamawiającym postawienie wymogu stosowania metodyki BIM. Proporcje liczby publicznych postępowań z wymogiem stosowania BIM w latach 2014–2019 pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Proporcje liczby publicznych postępowań z wymogiem stosowania metodyki BIM w latach 2014–2019 [2]

Należy zaznaczyć, że w świetle istniejących regulacji, zarówno na poziomie UE, jak i krajowym, możliwość stosowania narzędzi elektronicznego modelowania obiektu na podstawie danych budowlanych nie może być postrzegana jako ograniczenie swobody świadczenia usług. Z uwagi na obowiązującą w zamówieniach zasadę dostępności, a także innowacyjność rozwiązań, możliwość postawienia wymagań została również ograniczona w ten sposób, że to na instytucji zamawiającej spoczywa obowiązek zapewnienia dostępu

² Platforma CDE (ang. *Common Data Environment*) – system informatyczny (lub zestaw rozwiązań) wspierający zarządzanie projektem, stanowiący wspólne źródło informacji, umożliwiający gromadzenie, rozpowszechnianie, wymianę i zarządzanie dokumentacją projektową w formie cyfrowej.

do narzędzi, które umożliwiają zastosowanie metodyki BIM. Ta zasada będzie obowiązywała do momentu, kiedy takie narzędzia staną się powszechnie dostępne [2].

6.2. Mapa drogowa

W Polsce, zamawiający początkowo nie stawiali wymagań dotyczących wykorzystania metodyki BIM, pozwalając wykonawcom zdecydować, czy chcą korzystać z jej możliwości. Jednak, jeśli zdecydowali się używać narzędzi stosowanych w metodyce BIM, mogli liczyć na dodatkowe punkty przy ocenie ofert. Historię projektowania (projekty pilotażowe) z wykorzystaniem BIM w Polsce przedstawiono na rysunku 5.

Podczas realizacji projektu „Cyfryzacja procesu budowlanego w Polsce”, realizowanego przez Ministerstwo Rozwoju we współpracy z firmą consultingową PwC i wspieranego przez Komisję Europejską, opracowano „Mapę drogową dla wdrożenia metodyki BIM w zamówieniach publicznych”. Dokument zawiera plan czynności, które mają na celu doprowadzenie do wdrożenia stosowania BIM w postępowaniach o udzielenie zamówień publicznych w budownictwie. Będzie to punkt wyjścia do opracowania szczegółowej „Strategii wdrożenia BIM w Polsce”. Z uwagi na rekomendowane podejście PUSH-PULL (uwzględnianie działań oddolnych i odgórnych), dokument odnosi się nie tylko do sektora zamówień publicznych, ale również do działań podejmowanych i koniecznych do podjęcia w sektorze prywatnym.

Powszechna realizacja stosowania w projektowaniu metodyki BIM wymagała opracowania odpowiedniej strategii dla polskiego rynku. W opracowaniu [3] na ten temat stwierdzono, że na polskim rynku zaproponowano analogiczną do brytyjskiej metodę tworzenia jej elementów. Ta metoda jest opisana w dokumencie „Historia wdrożenia BIM w innych krajach członkowskich Unii Europejskiej”. W tym celu przyjęto następujące etapy [3]:

- zdefiniowanie warunków brzegowych, koniecznych do pełnego wdrożenia mapy drogowej, wynikających z obec-

nego stanu polskiego rynku i kierunków światowego rozwoju metodyki BIM w projektowaniu infrastruktury,

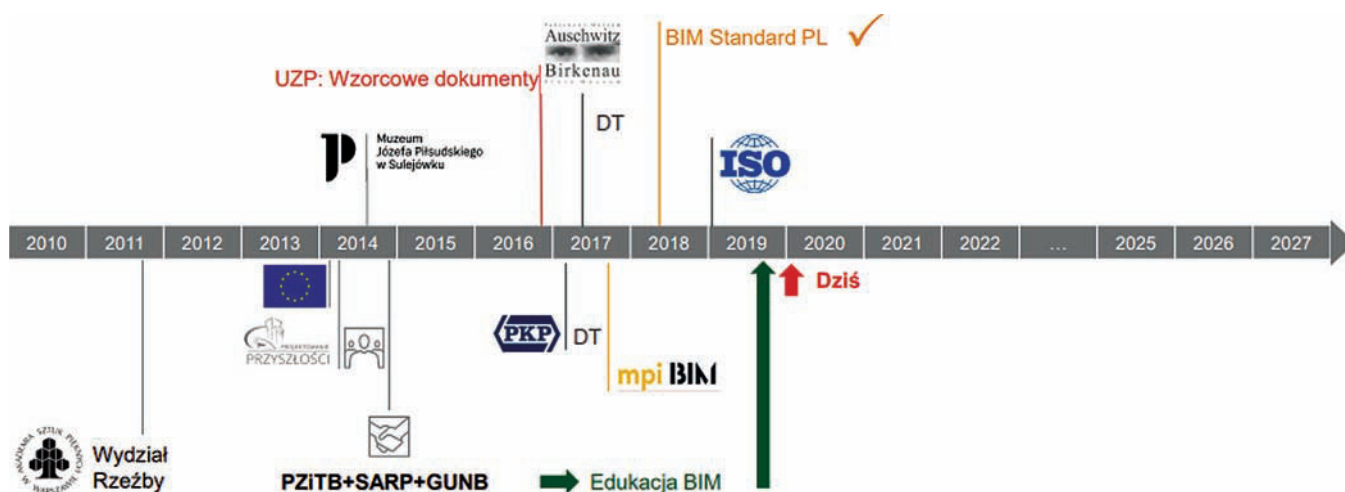
- zdefiniowanie części składowych całego środowiska procesu zintegrowanego w budownictwie,
- zestawienie zdefiniowanych części w spójny, klarowny i wizualny system, bazujący na pięciu wyjściowych typach zasobów sformułowanych w projekcie metodyki (ludzie, finanse, technologia, standardy oraz prawo),
- rozplanowanie wymienionych elementów na osi czasowej wraz z szacunkowym okresem ich realizacji w odniesieniu do działań organów administracji publicznej i innych podmiotów z rynku budowlanego w Polsce,
- włączenie najistotniejszych punktów do zestawienia warunków powodzenia całego projektu wdrożenia metodyki BIM zarówno w inwestycjach pilotażowych, jak i w dalszych projektach.

Mapa drogowa zawiera między innymi:

- analizę drogi wprowadzenia metodyki BIM w wybranych krajach,
- analizę istotnych dokumentów oraz inicjatyw strategicznych w Polsce,
- uwarunkowania prawne, związane z wykorzystaniem metodyki BIM w projektowaniu (stan istniejący),
- matrycę elementów strategii wdrożenia stosowania metodyki BIM w Polsce,
- oś czasu dla węzłów matrycy,
- kryteria sukcesu,

a także załącznik zatytułowany „Mapa drogowa dla wdrożenia metodyki BIM w zamówieniach publicznych”.

Wdrożenie metodyki BIM do zamówień publicznych ma unowocześnić branżę budowlaną, która obecnie jest postrzegana jako ta, która z nowoczesnych technologii korzysta w mniejszym stopniu niż inne gałęzie gospodarki. Opracowana mapa drogowa, jest pierwszą próbą uniwersalnego uregulowania możliwości korzystania w projektowaniu z metodyki BIM na poziomie ogólnokrajowym.



Rys. 5. Historia stosowania metodyki BIM w Polsce – projekty pilotażowe przed opracowaniem standardów [2]

7. Zastosowanie metodyki BIM w budownictwie kolejowym

Inwestycje kolejowe cechuje specyficzna charakterystyka. Budowa, modernizacja, a następnie eksploatacja różnych obiektów kolejowych, jest związana z integracją bardzo dużej ilości danych. Wiąże się z nimi precyzyjny proces planowania w szerokim kontekście najbliższego otoczenia, regionu, regionu, a nawet kraju. Wiele bieżących działań prowadzi się bez precyzyjnego i kompleksowego przygotowania inwestycji, nie mówiąc już o eksploatacji, zwłaszcza tej odległej. Brak wielu informacji związanych z terenem pod inwestycje, kolizje projektowe i stosunkowo luźna kontrola nad planem rzeczowo-finansowym, to przyczyny czyniące inwestycje kolejowe działaniami obciążonymi stosunkowo dużym ryzykiem. Niedotrzymywanie harmonogramów realizacji inwestycji lub przeciąganie prac budowlanych, staje się przyczyną wzrostu pierwotnie przewidywanych kosztów prac np. z tytułu rosnących cen materiałów lub zapewnienia odpowiednio kwalifikowanych pracowników w dłuższym okresie czasu. Do wysokich nakładów należą koszty eksploatacji infrastruktury kolejowej. Jak wskazano w opracowaniu [7] składają się na nie:

- trudności logistyczne, wynikające z pokonywania dużych odległości przez służby utrzymaniowe,
- niekompletne dokumentacje powykonawcze i trudności w dotarciu do ich aktualnych wersji,
- brak centralnej bazy danych na temat prowadzonych inwestycji.

7.1. Wykorzystanie metodyki BIM na kolejach polskich

Polska kolej zainteresowała się koncepcją BIM pod koniec 2017 roku, kiedy Spółka PKP S.A. przystąpiła do realizacji wspólnych projektów pilotażowych pod patronatem Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa (rys. 6). W pierwszym spotkaniu roboczym uczestniczyli przedstawiciele Polskich Sieci Elektroenergetycznych, Spółki PKP Polskie Linie Kolejowe, przedstawiciele Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, Ministerstwa Spraw Zagranicznych i Głównego Inspektora Nadzoru Budowlanego.

Jednostki sektora publicznego, GDDKiA i PKP PLK S.A., rozpoczęły działania w celu uruchomienia projektów pilotażowych i konsultacji branżowych. Spółka PKP PLK S.A. rozpoczęła konsultacje z branżą na temat zastosowania BIM w pracach związanych z krajową infrastrukturą kolejową. W pilotażowym programie pod auspicjami PKP PLK S.A. opracowano projekt rozbiórki i budowy wiaduktu kolejowego w 33,994 km na linii kolejowej nr 140 Katowice Ligota – Nędza (realizacja 05.2018 – 06.2020) [29]. Wdrożenie metodyki BIM w dużym przedsiębiorstwie jakim jest PKP PLK S.A. powinno przebiegać krok po kroku. Przedsiębiorstwo przystąpiło do projektu pilotażowego i stworzenia odpowiednich procedur dla niedużej inwestycji.

Efektom projektów pilotażowych było zarysowanie potrzeb i opracowanie standardów do prowadzenia

zamówień dla inwestycji opartych na BIM. W wyniku działań, w 2020 roku powstał „Projekt zasad przygotowania i realizacji inwestycji kubaturowych w Polsce zgodny z normą PN-EN ISO 19650 i krajowym prawem budowlanym – BIM Standard PL”. Pierwsze wnioski wskazały, że podstawą dobrego projektowania z uwzględnieniem metodyki BIM jest dobra inwentaryzacja istniejącego stanu. W projektowaniu obiektów kolejowych inwentaryzacja jest najsłabszym punktem procesu przygotowania działań projektowych, co jest to przyczyną popełnianych błędów, konieczności wydłużenia terminu realizacji lub poszukiwania dodatkowego źródła pieniędzy na wykonywanie robót, których nie można było przewidzieć [27].

Projektowanie wszelkiego typu kolejowych obiektów inżynierskich jest związane ze szczegółową inwentaryzacją terenu, jego warstw podziemnych – inwentaryzacją stanu istniejącego, a następnie bardzo precyzyjnego zapisu położenia wykonywanych elementów. W technologii BIM wykorzystuje się bardzo precyzyjne metody i narzędzia do opracowania dokumentacji inwentaryzacyjnej, a następnie bada się stan prowadzonych robót. Z tego względu, podczas tradycyjnie wykonywanych pomiarów tachometrycznych lub odwiertów, wykonuje się pomiary skanerami naziemnymi, fotogrametriami na dronach, pomiary artefaktów i warstw podziemnych za pomocą georadarów, tomografii elektrooporowej lub magnetometrii. (...) *Trójwymiarowe dane są następnie integrowane bezpośrednio w dedykowanym oprogramowaniu do projektowania klasy BIM (...), a (...) pomiary wykonane przez kompetentnego geodetę pozwalają na bardzo precyzyjną geolokalizację tworzonych modeli BIM w środowisku wirtualnym (...)* [7].

W projektowaniu kolejowych obiektów liniowych, każdy element infrastruktury kolejowej, taki jak fragment nasypu, tor, przepust, podkład kolejowy, może być opisany dużą liczbą parametrów geometrycznych oraz parametrów niegeometrycznych, takich jak materiał, data wykonania, zgodność z normą itd. Od tych danych zależy późniejsze modelowanie. Ze względu na brak uznanego w Polsce standardu technicznego, szczególnie w zakresie infrastruktury liniowej, zamówienie projektu BIM nie stanowi precyzyjnej informacji dla potencjalnego wykonawcy. W konsekwencji braku szczegółowych wymagań, zamawiający w najlepszym przypadku otrzymuje kosztowny model z parametrami, które nigdy nie będą wykorzystane lub model, którego wartość informacyjna jest zawężona do wizualizacji kształtu geometrycznego poszczególnych elementów, z dokładnością arbitralnie przyjętą przez modelującego [7].

Pełne korzystanie z metodyki BIM na polskiej kolei, choćby nawet poparte zaangażowaniem wszystkich największych wykonawców inwestycji i biur projektowych, nie będzie możliwe bez odpowiednio silnego, czynnego udziału PKP Polskich Linii Kolejowych. Dotyczy to także zmian w przepisach, stworzenia katalogu standardów i wymagań, utrzymania centralnej bazy danych oraz ram techniczno-organizacyjnych dla wdrożenia BIM na szeroką skalę [15]. Polska należy do drugiej grupy krajów, które dopiero

planują wprowadzenie norm i obowiązku stosowania BIM w projektowaniu i utrzymaniu infrastruktury kolejowej.

7.2. Wykorzystanie metody BIM przez koleje europejskie

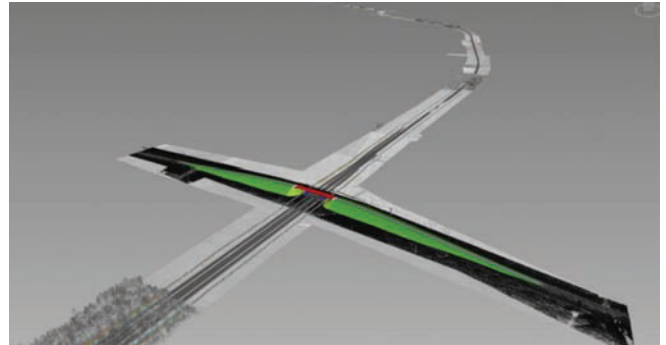
W Europie liderem korzystania z metodyki BIM jest Wielka Brytania i kraje skandynawskie. Rozpatrując problematykę stosowania metodyki BIM w Europie, warto przybliżyć to zagadnienie w odniesieniu do kolei niemieckich, które najszybciej realizują proces cyfryzacji tej gałęzi transportu. Wprowadzenie tego rozwiązania w projektowaniu i budowie infrastruktury kolejowej, a później w jej utrzymaniu przeszło trzy fazy wdrażania [30]:

- faza inicjacji 2015–2017, której celem było zbadanie:
 - najlepszych warunków do wdrożenia metodyki BIM w dużych projektach infrastrukturalnych,
 - ram prawnych i technicznych,
 - standaryzacji,
 - strategii do przyjęcia dla funkcjonowania BIM,
 - czterech projektów pilotażowych, z których głównym była budowa tunelu kolejowego „Deutsche Bahn Netz AG” w Rastatt;
- faza pilotażowa 2017–2020, która polegała na:
 - wnikliwym zebraniu doświadczeń z praktycznego wykorzystania BIM podczas planowania i budowy obiektów pilotażowych,
 - opracowaniu dalszych projektów pilotażowych (oczekuje się 20 kolejnych) i stałym monitorowaniu już rozpoczętych,
 - opracowaniu wytycznych, list kontrolnych i próbek do wdrożenia metodyki BIM w przyszłych projektach,
 - wyjaśnieniu aspektów prawnych i regulacyjnych,
 - tworzeniu baz danych ułatwiających pracę z wykorzystaniem metodyki BIM;
- faza pełnego wdrożenia od 2021 roku: od 2021 r. stosowanie BIM będzie obowiązkowe podczas planowania i realizacji dużych projektów w obszarach transportu i infrastruktury publicznej.

Interesujące podejście zastosowano w projekcie budowy linii Rail Baltica (rys. 6), której budowa na terenie krajów nadbałtyckich ma być zakończona w 2026 roku. Ministerstwo Gospodarki i Komunikacji Estonii, Ministerstwo Transportu Łotwy i Ministerstwo Transportu i Komunikacji Litwy zatwierdziły wytyczne projektowe dla Rail Baltica, wspólny standard zastosowania BIM, obowiązujący dla projektowania, budowy i eksploatacji infrastruktury. Dla różnych zespołów projektowych w trzech państwach, opracowano specjalny podręcznik do wytycznych projektowych [31].

Metodykę BIM na Łotwie zastosowano w najnowszym projekcie, który obejmuje odcinek linii kolejowej od rzeki Misy (na południe od Rygi) do granicy z Litwą. Według wstępnego projektu, prace obejmują infrastrukturę kolejową o długości 45 km, w tym 4 mosty kolejowe, 16 wiadukto-
w drogowych, a także 54 przepusty i przejścia dla zwierząt.

Zakres zamówienia obejmuje projekt główny, wykonawczy projekt techniczny i badania terenowe, kosztorysy, a także nadzór autorski podczas całego etapu budowy [33].



Rys. 6. Model BIM, obejmujący chmurę punktów istniejącej sytuacji, nasyp i linie kolejową oraz konstrukcję wiaduktu dla projektu Rail Baltica [31]

Technologię BIM wykorzystano do opracowania i wdrażania obszernej dokumentacji i szablonów, dzięki czemu projekt będzie oparty na możliwie największej liczbie danych. Podejście oparte na „otwartych danych” jest stosowane w celu zapewnienia skutecznego transferu informacji między różnymi zainteresowanymi stronami i grupami projektantów. Wszystkie informacje są przechowywane w centralnej bazie danych, która będzie używana przez cały okres eksploatacji obiektu. Informacje są tworzone i organizowane w ten sam sposób, aby były zrozumiałe dla różnych dyscyplin i firm projektowych uczestniczących w tym projekcie kolejowym. Wymienione aspekty sprawiają, że ten projekt przebiega bardzo sprawnie, oszczędzając zarówno czas, jak i pieniądze [34].

W ostatnich latach, według opinii przodujących kolei europejskich, które stosują metodykę BIM do obiektów infrastruktury kolejowej od projektowania do utrzymania [7], najważniejszymi benefitami jej zastosowania są:

- podwyższenie jakości oraz tempa projektowania m.in. przez eliminowanie prostych błędów projektowych oraz możliwość generowania dokumentacji wprost z modelu,
- zwiększenie efektywności procesu budowy, m.in. przez weryfikację dokumentacji, zwiększoną kontrolę logistyki placu budowy lub harmonogramowanie w oparciu na elementach budowli w środowisku wirtualnym,
- wsparcie procesów decyzyjnych wykorzystujące m.in. wielozakresowe analizy modeli informacyjnych,
- kontrola ryzyka związanego z inwestycją przez integrację i wizualizację krytycznych miejsc w środowisku wirtualnym,
- zwiększona kontrola kosztów cyklu życia obiektu, oparta na precyzyjnym planowaniu w ramach cyfrowej bazy danych.

W opracowaniu [13] wykazano znaczące zyski związane z zastosowaniem metodyki BIM w projektowaniu obiektów infrastruktury:

- zmniejszenie do 40% nieplanowanych zmian w budżecie inwestycji,
- bardziej precyzyjne (o 3%) kosztorysowanie,
- szybsze o 80% kosztorysowanie w porównaniu z metodami tradycyjnymi,
- oszczędności (do 10%) kosztów inwestycji uzyskanych w etapie realizacji,
- redukcja o 7% czasu przeznaczonego na budowę.

Realizacja i zarządzanie liniowymi projektami infrastrukturalnymi jest obciążone wyższymi kosztami w porównaniu do obiektów kubaturowych. Wynika to m.in. ze skali inwestycji, ich sieciowego charakteru, integracji dużej liczby danych itp. W odniesieniu do takich obiektów, skala modeli powstałych przy wykorzystaniu metodyki BIM jest ograniczona. Wynika to m.in. z poprawnego wyświetlania kilkudziesięciokilometrowych modeli, krzywizny Ziemi i układu współrzędnych obejmujących sieć połączeń kolejowych [7]. Z tego względu bez standardów i ogólnych zarządzeń, np. dotyczących centralnych baz danych, nie będzie możliwe wdrożenie metodyki BIM jako uniwersalnej technologii modeli cyfrowych infrastruktury na jednolitych zasadach [15].

7.3. Pełne wykorzystanie metodyki BIM przez koleje chińskie

Wobec planowanej rozbudowy kdp i linii konwencjonalnych w Chinach, wiele trudności występujących podczas tradycyjnego projektowania inwestycji kolejowych, było dostatecznym powodem zabiegania o nowoczesne narzędzia efektywnego zarządzania informacjami dotyczącymi kompletnego cyklu życia inwestycji. Jako punkt odniesienia do opracowania pełnego cyklu życia z zastosowaniem metodyki BIM posłużył zrealizowany w 2019 roku projekt linii kolei dużych prędkości (350 km/h) pomiędzy Pekinem i Zhangjiakou (rys. 7).



Rys. 7. Wizualizacja fragmentu linii Pekin-Zhangjiakou kdp wykorzystanego jako punkt odniesienia dla pełnego cyklu życia BIM w chińskim przemyśle kolejowym; Bentley Systems [26]

Przykładem efektywności zastosowania BIM w projektowaniu, była budowa szybkiej kolei z Wuhan do Xi'an w Chinach. Zdaniem kierownictwa kolei chińskich,

w projektach infrastruktury kolejowej, wykorzystanie metodyki BIM może skutecznie pomóc projektowemu zespołowi określić, a następnie wykorzystywać najlepsze opcje różnych rozwiązań elementów infrastruktury, aby uniknąć wszelkich problemów podczas realizacji projektu i jego eksploatacji w przyszłości.

Najważniejszym wyzwaniem projektowym połączenia było wybranie optymalnej trasy dla linii kolejowej o długości 8,3 km, która miała przebiegać przez trudny teren – góry, rzeki i jeziora (rys. 8). Projektanci chcieli uniknąć niepotrzebnych wyzwań konstrukcyjnych i wybierali optymalny przebieg trasy z minimalną liczbą mostów i tuneli, które należałoby zbudować. Gdyby pracowano nad każdym obiektem i odcinkiem trasy jako osobnym projektem, proces projektowy trwałby wiele miesięcy. W pierwszym kroku wykorzystano specjalne oprogramowanie do zarządzania danymi. Używając wielu serwerów do uruchamiania tego programu na prywatnej chmurze danych, zorganizowano pracę zespołu tak, że na bieżąco udostępniano modele projektowe, dokumentację i śledzone wersje [24].



Rys. 8. Teren projektowanej linii kolejowej [24]

Do wytypowania dokładnej trasy przebiegu linii, zespół zgromadził dane z mapowania, zdjęcia terenu i dane geologiczne a następnie, wykorzystując technologię wirtualnej rzeczywistości, optymalną trasę naniesiono na mapę.

Dzięki modelowi całej trasy, projektanci mogli opracować innowacyjny, znacznie szybszy sposób projektowania tuneli i mostów. Utworzono bazę danych zawierającą wiele parametrów wymaganych dla projektów tunelowych. Korzystając z tej bazy oraz z biblioteki opcji modeli tuneli, stworzono podstawową strukturę do projektowanych obiektów. Za pomocą specjalnego narzędzia obliczeniowego do projektowania z wykorzystaniem BIM i oprogramowania, zbudowano program do zautomatyzowania procesu projektowania mostów. Połączenie i wykorzystanie tych innowacyjnych technologii umożliwiło zespołowi projektantów zaprojektowanie tuneli oraz mostów w znacznie krótszym czasie w stosunku do projektowania metodami tradycyjnymi.

Kolejnym usprawnieniem procesu projektowania było wydrukowanie części stacji i innych elementów projektu na drukarkach 3D. Dzięki temu wszelkie konsultacje z zamawiającym stały się prostsze. Jednocześnie przewyżczono dotychczasowe trudności wynikające z konsultowania

projektów dwuwymiarowych lub trójwymiarowych materiałów wideo. Zastosowana technologia odegrała dużą rolę w projektowaniu stacji Wudangshan, dając zespołowi możliwość szczegółowego odwzorowania tego, jak będzie ona wyglądała w rzeczywistości. Projektanci oszacowali, że wykorzystanie modeli wirtualnych i druku 3D, zmniejszyło o 10% częstotliwość dokonywania poprawek. W celu zmniejszenia ryzyka przeróbek projektowych, projektanci wykorzystali specjalne oprogramowanie BIM 360, dzięki któremu skoordynowano projektowanie stacji. Oprogramowanie ujawniło 116 punktów kolizji, które zlikwidowano oszczędzając około 0,5 mln USD.

Interdyscyplinarny zespół projektantów, który do wykonania projektu wykorzystywał oparte na modelach procesy i narzędzia IT, zrealizował projekt odcinka linii kolejowej wraz z 6 tunelami, 10 mostami i stacją Wudangshan w ciągu 6 tygodni. Był to jeden z pierwszych projektów kolejowych w Chinach, który całkowicie wykorzystywał wszystkie procesy wynikające z technologii BIM.

8. Podsumowanie

Stosowanie metodyki BIM prowadzi do zwiększenia efektywności oraz jakości procesu inwestycyjnego oraz obniżenia kosztów eksploatacji dzięki zastosowaniu „cyfrowego bliźniaka”, mającego najczęściej formę modelu 3D, jako kompletnej bazy danych o obiekcie budowlanym. Metodyka BIM obejmuje wskazanie niezbędnego zakresu danych wykorzystywanych w całym cyklu życia obiektu oraz opisanie procesów i metod ich gromadzenia, przechowywania lub udostępniania, ze szczególnym uwzględnieniem standaryzacji informacji. Zgromadzone dane mogą być wykorzystywane w następujących fazach:

- faza pomysłu: poprawienie wykonalności, podniesienie jakości, promowanie integracji, ułatwianie współpracy,
- faza projektowania: korekta przy niskim poziomie wpływu błędów, wykrywanie w fazie badania „kolizji”, wizualizacja tego, co „budujemy”, poprawa wydajności, bezpieczeństwa, ochrony oraz energii,
- faza budowy: sprzyjanie utrzymaniu harmonogramu realizacji prac, uczynienie realizacji zadań „bardziej równoległymi”, a nie sekwencyjnymi, odkrywanie błędów przed budową, optymalizację wykorzystania materiałów,
- faza eksploatacji: usprawnienie procesów konserwacji, napraw i przeglądów.

Metodyka BIM jest nowoczesną cyfrową alternatywą procesów informacyjnych, które dotychczas były oparte na dokumentacji papierowej. Dzięki temu umożliwia efektywną współpracę wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego na etapie projektowania i realizacji inwestycji. Efektem stosowania BIM jest obniżenie kosztów budowy i eksploatacji obiektów budowlanych.

Polska kolej realizuje wiele inwestycji torowych oraz duży program inwestycji dworcowych. Dzięki systematycznemu

implementowaniu metodyki BIM do projektów kolejowych, można spodziewać się wymiernych zysków (czas i pieniądze). Do pełnego wykorzystania możliwości cyfrowego wspomaganie projektowania i eksploatacji, konieczna jest stosowna wiedza dotycząca głównie budowy bazy danych wspomagającej wszelkie decyzje związane z powstawaniem i życiem obiektu.

Wykorzystanie metodyki BIM jest związane z dużą wiedzą personelu uczestniczącego w procesie projektowania, a później utrzymania obiektu. Proces kształcenia w tym względzie jest długotrwały i wymaga systematycznych działań. (...) *Wraz z realizacją kolejnych projektów pilotażowych, rozwojem oprogramowania i formatów wymiany danych, nastąpi coraz szersza adaptacja tej metodyki w projektach infrastruktury liniowej* (...) [7]. Należy zaznaczyć, że informacje uzyskane w celu wykorzystania metodyki BIM będą także niezbędne przy tworzeniu koncepcji inteligentnego transportu.

Obecnie (...) *jesteśmy świadkami integracji wirtualnego projektowania i konstrukcji z zrównoważonymi praktykami projektowymi, interakcją człowiek – komputer, rzeczywistością rozszerzoną, przetwarzaniem w chmurze i projektowaniem generatywnym. Trendy te nieustannie i szybko wpływają na ewolucję BIM* (...) [21].

Z przedstawionych informacji wynika, że wykorzystanie metodyki BIM, począwszy od projektowania obiektu, przez utrzymanie i jego demontaż w przyszłości, jest procesem bardzo złożonym i kosztownym. Wymaga solidnego, wieloaspektowego przygotowania niezbędnych baz danych i personelu. Tego procesu nie da się przyspieszyć, ani ominąć niektórych jego ogniw. Nie wystarczy adaptacja gotowych rozwiązań zagranicznych, chociażby z uwagi na niuanse zawarte w polskim prawie budowlanym czy zasady późniejszej eksploatacji oparte np. na krajowych programach cyfryzacji procesów utrzymaniowych. Wykorzystanie metodyki BIM jest bardzo ważnym zagadnieniem dla polskiej kolei, która jak opisano w artykułach [16, 17] wymaga realizacji wielu inwestycji infrastrukturalnych.

Bibliografia

1. BIM Standard PL. Polski Związek Pracodawców Budownictwa. Warszawa, wrzesień 2020.
2. Cyfryzacja procesu budowlanego w Polsce. Mapa drogowa dla wdrożenia metodyki BIM w zamówieniach publicznych. Opracowanie PwC, UE i Ministerstwa Rozwoju. Lipiec 2020.
3. Cyfryzacja procesu budowlanego w Polsce. Rekomendacje i wnioski – konsultacje z Interesariuszami – Załączniki. Opracowanie PwC, UE i Ministerstwa Rozwoju, marzec 2020.
4. Drzazga M.: *BIM – zapis informacji o przedsięwzięciu budowlanym (projektowanie 5D)*. Przegląd Budowlany 9/2016.
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z dn. 26 lutego 2014 r. w sprawie zamówień

- publicznych, uchylająca dyrektywę 2004/18/WE, Dz.Urz. UE L 94 z 28.3.2014.
6. Kaczorek K., Janczura Sz.: *Korzyści z projektowania w BIM. Przewodnik Projektanta*. Edycja 2017.
 7. Łaguna P.: *Metodyka BIM dla infrastruktury Kolejowej*. <https://inzynierbudownictwa.pl/metodyka-bim-dla-infrastruktury-kolejowej/> [dostęp 16.10.2020].
 8. Modelowanie Informacji o Budynku (BIM). Główne obiekty BIM. Europejski Instytut Miedzi. Opracowanie dostępne na stronie Internetowej: <https://docplayer.pl/111358281-Modelowanie-informacji-o-budynku-bim.html> [dostęp 16.10.2020].
 9. Modelowanie informacyjne budowli (BIM). Stan rozwoju i perspektywy wdrażania w Polsce, http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2016/T1/t1_0889.pdf [dostęp 17.11.2020].
 10. National Building Specification, National BIM Report 2019. The definitive industry update, RIBA Enterprises Ltd, 2019.
 11. PN-EN ISO 19650 „Organizacja i digitalizacja informacji o budynkach i budowlach, w tym modelowanie informacji o budynku (BIM).
 12. Realizuj inwestycje zgodnie z metodyką BIM, <https://www.uzp.gov.pl/strona-glowna/slider-aktualnosci/realizuj-inwestycje-zgodnie-z-metodyka-bim/realizuj-inwestycje-zgodnie-z-metodyka-bim> [dostęp 09.12.2020].
 13. Salman A.: *Building Information Modeling (BIM); Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC industrii*, Leadersh. Manag. Eng. No. 3, 2011.
 14. Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 roku Prawo zamówień publicznych. Dz. U. 2004 nr 19 poz. 177 z późniejszymi zmianami (ostatnia wersja z 10.07.2020 roku).
 15. Wontorski P., Kochan A.: *Możliwości wdrożenia modelowania informacji o obiekcie (BIM) w projektowaniu urządzeń srk*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej Transport, Warszawa, 2017, z. 118.
 16. Wróbel I.: *Kierunki zmian polskiej infrastruktury transportowej, ze szczególnym uwzględnieniem transportu kolejowego. Część I*. Prace Instytutu Kolejnictwa, 2020, z. 163.
 17. Wróbel I.: *Kierunki zmian polskiej infrastruktury transportowej, ze szczególnym uwzględnieniem transportu kolejowego. Część II*. Prace Instytutu Kolejnictwa, 2020, z. 166.
 18. Załącznik nr 9.1 do Wymagań Informacyjnych Zamawiającego dla zadania pn. „Zaprojektowania i budowy obwodnicy Zatora w ciągu drogi krajowej nr 28”. Słownik BIM, <https://www.gddkia.gov.pl/pl/d/715896f78028d-0229f4b5870366a3c30> [dostęp 15.11.2020].

Strony internetowe

19. https://www.mpoia.pl/images/5informacje/2017-11-08-prezentacje-ministra-krynica/02_Polska-na-mapie-BIM_projekty_pilotazowe_Krynica_27.10.17.pdf [dostęp 17.11.2020].
20. <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim> [dostęp 20.10.2020].
21. <https://www.letsbuild.com/blog/a-history-of-bim> [dostęp 20.10.2020].
22. <https://8dbim.weebly.com/history-of-bim.html> [dostęp 20.10.2020].
23. <https://www.united-bim.com/what-are-bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained-definition-benefits/> [dostęp 15.11.2020].
24. https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/b%5c5%82yskawiczny-projekt-szybkiej-kolei_broszura.pdf [dostęp 16.10.2020].
25. <http://www.nationalbimstandard.org/> [dostęp 16.10.2020].
26. <https://www.railwayage.com/analytics/full-lifecycle-bim-beijing-zhangjiakou-hsr-bentley/> [dostęp 08.12.2020].
27. http://www.nbi.com.pl/assets/NBI-pdf/2020/6_93_2020/pdf/1-Arnold-Bresch.pdf [dostęp 12.12.2020].
28. <https://bimblog.pl/wp-content/files/mozliwosciwdrozenia-metodyki-BIM.pdf> [dostęp 12.12.2020].
29. <https://www.bimklaster.org.pl/nasze-projekty/projekt-pilotazowy-bim-w-pkp-plk-s-a/> [dostęp 12.12.2020].
30. <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-in-europe-germanys-public-plan-for-2015-2020-and-pilot-projects-for-roads-and-railways/> [dostęp 12.12.2020].
31. <https://www.railbaltica.org/digital-rail-baltica-is-on-its-way/> [dostęp 12.12.2020].
32. <https://www.bimplus.co.uk/news/aecom-develop-bim-strategy-baltic-railway-network-/> [dostęp 12.12.2020].
33. <https://www.idom.com/new/our-second-railway-project-in-latvia/> [dostęp 12.12.2020].
34. <https://www.digitalschool.ca/rail-baltica-and-bim-what-students-should-know/> [dostęp 12.12.2020].