

Powiązanie wymagań technicznych dotyczących drogowych obiektów inżynierskich z technologią BIM

01-2021.03.02

Wzorce i standardy
rekomendowane przez
Ministra właściwego ds. transportu

BIM-M-01

BIM-M-01

Powiązanie wymagań technicznych dotyczących drogowych obiektów inżynierskich z technologią BIM

Wersja: **01**

Obowiązuje od: **2021.03.02**

Rekomendował: **Minister Infrastruktury w dniu 2 marca 2021 r. (DDP-4.0600.12.2021)**

Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu:

- 1) nie stanowią przepisów techniczno-budowlanych w rozumieniu ustawy – Prawo budowlane,
- 2) zgodnie z ustawą o drogach publicznych przeznaczone są do dobrowolnego stosowania,
- 3) nie zwalniają osób wykonujących samodzielne funkcje techniczne w budownictwie z odpowiedzialności zawodowej.

Opracował Zespół w składzie:

Janusz Rymśa – koordynator, Marek Salamak

Jednostka odpowiedzialna:

Ministerstwo Infrastruktury, Departament Dróg Publicznych
ul. Chałubińskiego 4/6, 00-968 Warszawa

© Skarb Państwa – Minister Infrastruktury

Zdjęcie na okładce © IBDiM

Opracowanie sfinansowano ze środków Funduszu Spójności w ramach działania 2.1 Programu Operacyjnego Pomoc Techniczna 2014-2020



Fundusze Europejskie
Pomoc Techniczna



**Rzeczpospolita
Polska**

Unia Europejska
Fundusz Spójności



Spis treści

1. Przedmiot i zakres stosowania

2. Wykaz opracowań powołanych

- 2.1. Akty prawne
- 2.2. Normy
- 2.3. Pozostałe opracowania

3. Definicje i objaśnienia skrótów

- 3.1. Definicje
- 3.2. Skróty

4. Omówienie metodyki BIM

- 4.1. Wprowadzenie
- 4.2. Ogólne omówienie metodyki BIM
- 4.3. Korzyści z użycia metodologii BIM
 - 4.3.1. Etap planowania i projektowania
 - 4.3.2. Etap prac budowlanych
 - 4.3.3. Etap użytkowania i utrzymania
 - 4.3.4. Korzyści pośrednie – innowacje, procesy, ludzie
- 4.4. Specyfika drogowych obiektów inżynierskich w kontekście BIM
- 4.5. BIM dla infrastruktury w innych krajach

5. BIM w cyklu życia drogowych obiektów inżynierskich

- 5.1. Cykle życia obiektów mostowych
- 5.2. Planowanie i projektowanie
- 5.3. Realizacja i prowadzenie budowy
- 5.4. Zarządzanie i utrzymanie obiektów

6. Elementy wdrożenia BIM w mostownictwie

- 6.1. Wprowadzenie
- 6.2. Zasadnicze elementy wdrożenia technologii BIM w mostownictwie
 - 6.2.1. Wprowadzenie
 - 6.2.2. Powołanie grupy roboczej ds. wdrażania BIM
 - 6.2.3. Budowanie bazy wiedzy w instytucjach odpowiedzialnych za infrastrukturę
 - 6.2.4. Oczekiwane cele wynikające z wdrożenia metodologii BIM
 - 6.2.5. Propozycja najważniejszych działań
- 6.3. Edukacja i szkolenia z metodologii BIM
- 6.4. Przygotowanie i realizacja projektów pilotażowych BIM
 - 6.4.1. Rola projektów pilotażowych
 - 6.4.2. Pierwszy projekt pilotażowy BIM w GDDKiA – obwodnica Zatoru w ciągu drogi krajowej nr 28
- 6.5. Opracowanie przepisów związanych z BIM
 - 6.5.1. Wprowadzenie
 - 6.5.2. Procedowanie decyzji procesu budowlanego z cyfrową dokumentacją
 - 6.5.3. Standaryzacja związana z BIM
 - 6.5.4. Klasyfikacja budowlana zgodna z BIM
 - 6.5.5. Zapisy kontraktowe i procedury związane z procesem BIM
- 6.6. Zagadnienia związane z prawami autorskimi
- 6.7. Powiązanie z systemami GIS
- 6.8. Cyfryzacja rynku zamówień publicznych

7. Hierarchiczna struktura danych BIM w opisie obiektu inżynierskiego

- 7.1. Wprowadzenie
- 7.2. Istniejące standardy opisu obiektu inżynierskiego
- 7.3. Propozycja hierarchicznej struktury danych
- 7.4. Biblioteka detali mostowych w formie parametrycznych modeli BIM
- 7.5. Wymagania dotyczące modelu obiektu inżynierskiego

- 7.5.1. Wprowadzenie
- 7.5.2. Proces modelowania i odpowiedzialność za model
- 7.5.3. Zawartość modelu i dane projektu
- 7.5.4. Poziom szczegółowości LOD
- 7.6. Standaryzacja nazewnictwa plików

8. Podsumowanie

- 8.1. Powiązanie nowych PTB i WR-M z technologią BIM
- 8.2. Wniosek końcowy

1. Przedmiot i zakres stosowania

(1) Przedmiotem opracowania jest opis powiązania szeroko rozumianych wymagań technicznych dotyczących drogowych obiektów inżynierskich z technologią BIM, która w przyszłości będzie powszechnie wykorzystywana do wspomagania projektowania, wykonawstwa i utrzymania drogowych obiektów inżynierskich.

(2) Celem opracowania jest przedstawienie zasadniczych elementów wdrożenia BIM w polskim mostownictwie, które związane są i wprost wypływają z założeń dotyczących samej technologii BIM. W wielu elementach dokument ten jest spójny z BIM-D-01.

(3) Zakres opracowania obejmuje:

- a) podstawowe pojęcia i definicje związane z BIM,
- b) ogólne wprowadzenie do technologii BIM,
- c) wykorzystanie metodologii i modeli BIM w cyklu życia drogowych obiektów mostowych,
- d) elementy wdrożenia BIM w polskim mostownictwie,
- e) propozycja hierarchicznej struktury danych BIM do opisu obiektu inżynierskiego,
- f) przykłady wykorzystania technologii BIM w mostownictwie,
- g) wybrane przykłady detali mostowych w formie parametrycznych modeli BIM.

2. Wykaz opracowań powołanych

2.1. Akty prawne

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie zamówień publicznych, uchylająca dyrektywę 2004/18/WE (Dz. Urz. UE L 94 z 28 marca 2014 r., s. 65-242, z późn. zm.).
- [2] Ustawa z dnia 22 czerwca 2016 r. o zmianie ustawy – Prawo zamówień publicznych oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. poz. 1020).
- [3] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U. z 2020 r. poz. 1333, z późn. zm.).
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 lutego 2005 r. w sprawie sposobu numeracji i ewidencji dróg publicznych, obiektów mostowych, tuneli, przepustów i promów oraz rejestru numerów nadanych drogom, obiektom mostowym i tunelom (Dz. U. poz. 582).
- [5] Uchwała Rządu Republiki Czeskiej z 25 września 2017 r. Nr 682 o koncepcji wdrożenia modelowania informacji o budynku (BIM) w Czechach.
- [6] Rozporządzenie dotyczące modelowania informacji o budownictwie (BIM) dla obiektów infrastruktury. Standard danych, Ministerstwo Transportu Republiki Czeskiej, listopad 2018.

2.2. Normy

- [7] ISO 19136-1:2020 Geographic information. Geography Markup Language (GML). Part 1: Fundamentals.
- [8] ISO 19136-2:2015 Geographic information. Geography Markup Language (GML). Part 2: Extended schemas and encoding rules.
- [9] PN-EN ISO 29481-1:2017-11 Modele informacji o budynku. Podręcznik dostarczania danych. Część 1: Metodologia i format.
- [10] PN-EN ISO 29481-2:2016-12 Modele informacji o budynku. Podręcznik dostarczania danych. Część 2: Schemat współdziałania.
- [11] PN-EN ISO 16739-1:2020-07 Klasy Industry Foundation (IFC) do udostępniania danych w branży budowlanej i zarządzaniu obiektami. Część 1: Schemat danych.
- [12] PN-EN ISO 12006-2:2020-08 Budownictwo. Organizacja informacji o obiekcie budowlanym. Część 2: Schemat klasyfikacji.
- [13] PN-EN ISO 12006-3:2016-12 Budownictwo. Organizacja informacji o obiekcie budowlanym. Część 3: Schemat danych obiektowo-zorientowanych.
- [14] ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modeling. Part 1: Concepts and principles.
- [15] ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modeling. Part 2: Delivery phase of the assets.
- [16] ISO 19650-3:2020 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modeling. Part 3: Operational phase of the assets.
- [17] ISO 19650-5:2020 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modeling. Part 5: Security-minded approach to information management.
- [18] ISO 22263:2008 Organization of information about construction works. Framework for management of project information.

- [19] ISO/TS 12911:2012 Framework for building information modelling (BIM) guidance.
- [20] BS 1192-4:2014 Collaborative production of information. Fulfilling employer's information exchange requirements using COBie. Code of practice.
- [21] BS 8536-1:2015 Briefing for design and construction. Code of practice for facilities management (Buildings infrastructure).
- [22] BS 8536-2:2016 Briefing for design and construction. Code of practice for asset management (Linear and geographical infrastructure).
- [23] BS 8541-1:2012 Library objects for architecture, engineering and construction. Identification and classification. Code of practice.
- [24] BS 8541-2:2011 Library objects for architecture, engineering and construction. Recommended 2d symbols of building elements for use in building information modelling.
- [25] BS 8541-3:2012 Library objects for architecture, engineering and construction. Shape and measurement. Code of practice.
- [26] BS 8541-4:2012 Library objects for architecture, engineering and construction. Attributes for specification and assessment. Code of practice.
- [27] PAS 1192-3:2014 Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling (BIM).
- [28] PAS 1192-5:2015 Specification for security-minded building information modelling, digital built environments and smart asset management.
- [29] PAS 1192-6:2018 Specification for collaborative sharing and use of structured Health and Safety information using BIM.
- [30] PN-ISO 55000:2017-09 Zarządzanie aktywami. Informacje ogólne, zasady i terminologia.

2.3. Pozostałe opracowania

- [31] Business Process Model and Notation (BPMN), 2011.
- [32] Digital Built Britain. Level 3 Building Information Modelling - Strategic Plan, HM Government (UK), February 2015.
- [33] Ekspertyza dla Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa dotycząca możliwości wdrożenia metodyki BIM w Polsce, KPMG Advisory, 2016.
- [34] FHWA-HIF-16-003 Report. Bridge Data File Protocols for Interoperability and Life Cycle Management, Washington, DC., 2013.
- [35] FHWA-HIF-16-010 Report. Bridge Information Modeling (BrIM) Using Open Parametric Objects, Washington, DC., 2015.
- [36] FHWA-HIF-16-011 Report. Bridge Information Modeling Standardization, Federal Highway Administration, Washington, DC., 2016.
- [37] Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector, EU BIM Task Group co-funded by the European Commission, 2017.
- [38] Instrukcje przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich, GDDKiA, Warszawa 2011.
- [39] Integrated Project Delivery – A Guide, American Institute of Architects, 2007.
- [40] Katalog Detali Mostowych GDDKiA, Transprojekt-Warszawa, Warszawa 2002.
- [41] Koncepcje zavádění metody BIM v České republice, Ministerstvo průmyslu a obchodu, wrzesień 2017.
- [42] National BIM Guide for Owners, National Institute of Building Sciences, USA, January 2017.
- [43] OmniClass, <https://www.csiresources.org/standards/omniclass>, Construction Specifications Institute, USA 2019.

- [44] Raport BIM w edukacji. Strategia i ramowy program wspólnych podstaw programowych Międzyuczelnianej ds. podstaw programowych BIM, Kraków 2017.
- [45] Uniclass 2015 classification tables. theNBS.com, National Building Specification, UK 2016.
- [46] Zasady stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich, wyd. 2, GDDKiA, Warszawa 2018.
- [47] Anger A., Lisowski B., Piwkowski W., Wierzowiecki W., Ogólne założenia procesu wdrażania BIM w realizacji zamówień publicznych na roboty budowlane w Polsce, GUNB, PZITB, SARP, Warszawa 2015.
- [48] Berliner Flughafen erst 2021 fertig? Frankfurter Allgemeine Zeitung. Wydanie z dnia 2017-11-24.
- [49] Bień J., Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych, Warszawa, WKŁ, 2010.
- [50] Boruc J., Common Data Environment (CDE) – poszukiwanie środowiska współpracy dla BIM, Materiały Budowlane, vol. 551, no. 7, pp. 68–70, 2018.
- [51] BuildingSMART, <https://www.buildingsmart.org/>
- [52] Changali S., Mohammad A., Nieuwland M., The construction productivity imperative. How to build megaprojects better, McKinsey Q., vol. July 2015, 2015.
- [53] Gołaszewska M., Salamak M., Challenges in takeoffs and cost estimating in the BIM technology, based on the example of a road bridge model, Technical Transactions Civil Engineering, Politechnika Krakowska, vol. 4/2017, pp. 71–79, 2017.
- [54] Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., GIS – Obszary zastosowań, PWN, Warszawa 2007
- [55] Jasiński M., Płaszczek T., Salamak M., Modelowanie geometrii wybranych elementów konstrukcji podpór obiektów mostowych w technologii BIM, Mosty 5/2016, s. 22–27, 2016.
- [56] Jasiński M., Płaszczek T., Tkocz T., Salamak M., Programowanie graficzne i technologia BIM przy parametryzacji obiektów mostowych, Mosty 1/2018, s. 24–30, 2018.
- [57] Jasiński M., Płaszczek T., Wójcik B., Żarski M., Korus K., Salamak M., Wybrane aspekty tworzenia modeli BIM obiektów mostowych, Mosty, 6/2018, s. 38–44, 2018.
- [58] Jasiński M., Płaszczek T., Wójcik B., Żarski M., Salamak M., Generowanie modeli analitycznych z użyciem programowania graficznego Dynamo, Mosty, 6/2018, s. 26–31, 2018.
- [59] Juszczyk M., Tomana A., Klasyfikacja budowlana w BIM, Builder, 1/2015, pp. 44–46, 2015.
- [60] Karolak M. i inni, Projekt pilotażowy zastosowania technologii BIM w GDDKiA przy projektowaniu i budowie obwodnicy Zatoru, Autostrady, 10/2018, s. 83–89, 2018.
- [61] Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P., BIM w praktyce. Standardy, wdrożenie, case study. Warszawa: PWN, 2017.
- [62] Kivimaki T., Heikkila R., Bridge Information Modelling (BrIM) and Model Utilization at Worksites in Finland. 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, June 2010.
- [63] Korus K., Salamak M., Generowanie modeli BIM i MES na podstawie katalogu typowych obiektów mostowych, Konferencja infraMOST 2019 V4 Visegrad Group, Wisła, maj 2019.
- [64] McKinsey&Company, Reinventing construction: a route to higher productivity. Executive Summary, McKinsey Global Institute, February 2017.
- [65] Mignard C., Gesquière G., Nicolle C., Interoperability between GIS and BIM: A semantic-based multi-representation approach, in KMIS 2011 - Proceedings of the International Conference on Knowledge Management and Information Sharing, pp. 359–362, 2011.
- [66] Płaszczek T., Salamak M., Standard IFC w obiektach mostowych, Mosty, 6/2018, pp. 32–36, 2018.
- [67] Sacks R. I inni, SeeBridge as next generation bridge inspection: Overview, Information Delivery Manual and Model View Definition, Autom. Constr., no. 90, pp. 134–145, 2018.

- [68] Salamak M. and Januszka M., BrIM bridge inspections in the context of Industry 4.0 trends, in IABMAS 2018, Maintenance, Safety, Risk, Management and Life-Cycle Performance of Bridges, 2018, pp. 2260–2267.
- [69] Salamak M., Śląska Szkoła Mostowa, Konferencja infraMOST 2019 V4 Visegrad Group, Wisła, maj 2019.
- [70] Salamak M. and Januszka M., Technologie BIM i poszerzonej rzeczywistości w inspekcji obiektów mostowych, Mosty, 5/2016, s. 28–35, 2016.
- [71] Salamak M., Januszka M., Płaszczuk T., Cyfrowe technologie w zarządzaniu mostami, Builder, vol. 1, pp. 94–98, 2019.
- [72] Salamak M., Kasznia D., Technologia BIM w projektach mostowych jako element rewolucji przemysłowej 4.0, Mosty, 6/2017, s. 34-40, 2017.
- [73] Saran S. et al., Utilities of Virtual 3D City Models Based on CityGML: Various Use Cases, Journal of Indian Society of Remote Sensing, no. 46(4), 2018.
- [74] Stolarski K., Własność intelektualna a BIM – prawo autorskie, Materiały Budowlane, 9/2018, pp. 96–97, 2018.
- [75] Teicholz P., Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies, AECbytes Viewp., no. Issue 4. April 14, 2004, 2004.
- [76] Tomana A., BIM – Innowacyjna technologia w budownictwie. Podstawy, standardy, narzędzia, Warszawa, Builder, 2016.
- [77] Żarski M., Salamak M. Analiza zintegrowana cyklu życia obiektu mostowego z uwzględnieniem analiz ekonomicznych i środowiskowych, VIII Ogólnopolska Konferencja Mostowców infraMOST, maj 2017 r.

3. Definicje i objaśnienia skrótów

3.1. Definicje

2D CAD – format dokumentacji projektowej i sposób projektowania, w którym oprogramowanie (CAD) dostarcza funkcjonalności określanej jako elektroniczna deska kreślarska. Całość powstałej dokumentacji i rysunków jest realizowana tylko dwuwymiarowo, gdyż nie są tworzone modele 3D. Rysunki najczęściej są przechowywane w oddzielnych plikach, a koordynacja odbywa się ręcznie. Wykonywanie obliczeń na bazie modelu oraz jego wizualizacja jest trudna lub wręcz niemożliwa.

3D CAD (model 3D) – format dokumentacji projektowej i sposób projektowania rozumiany jako zbiór trójwymiarowych, skoordynowanych przestrzennie plików projektowych bez załączonych informacji dodatkowych (np. służących do przedmiarów) lub z ograniczoną ilością i jakością takich informacji. Podczas projektowania 3D CAD stosowane są wszystkie możliwości w zakresie trzech (oraz dwóch) wymiarów geometrycznych. Rysunki 2D są tylko częściowo oddzielone/odseparowane od modelu. Dokumentacja z reguły nie jest generowana automatycznie lub ewentualnie w sposób półautomatyczny. Elementy projektowanego budynku, budowli lub obiektu inżynierskiego są rysowane w większości za pomocą narzędzi typowo rysunkowych (linie, okręgi i inne prymitywy – proste figury).

4D BIM (model 3D) – zawierający dodatkowe informacje związane z aspektem czasu i kolejności czynności dla każdego lub wybranych komponentów modelu związany z określonymi etapami życia obiektu (czas budowy, montażu, dostawy, przeglądu, remontu itd.). Model 4D na etapie projektowania i budowy jest wykorzystywany do tworzenia harmonogramów i symulacji procesu budowy. W programach dedykowanych tworzeniu symulacji 4D BIM możliwe jest łączenie ze sobą modeli zawierających dodatkowe informacje związane z realizacją lub modeli bez takich danych.

5D BIM (model 3D) – zawierający dodatkowe informacje pozwalające na przygotowanie zestawień materiałowych i przeprowadzenie analizy kosztów (budowy, remontów, przeglądów). Na etapie projektowania i budowy model 5D BIM jest wykorzystywany do tworzenia kosztorysów, zestawień materiałowych oraz przedmiarów.

6D BIM (model 3D) – zawierający dodatkowe informacje pozwalające przeprowadzić analizy wpływu obiektu na człowieka i środowisko. Dane zawarte w modelu 6D BIM są wykorzystywane np. przy analizie energetycznej i/lub środowiskowej obiektu, liczeniu śladu węglowego itp.

7D BIM (model 3D) – zawierający dane pozwalające efektywnie zarządzać eksploatacją obiektu. W wielu przypadkach zrzut informacji z modelu BIM tworzy wyłącznie bazę podstawowych informacji o wybudowanym obiekcie, która jest wzbogacana o informacje niezbędne do zarządzania na specjalistycznej platformie dedykowanej zarządzaniu aktywami.

Analiza LCA – wielokryterialna analiza cyklu życia obiektu. Może obejmować różne obszary, w których wyznacza się koszty obiektu: ekonomiczna (LCC), środowiskowa i/lub społeczna. Zintegrowana analiza LCA obejmuje wszystkie te obszary wspólnie.

Analiza LCC – analiza polegająca na wyznaczeniu całkowitych kosztów obiektu w całym cyklu jego życia, a więc z uwzględnieniem kosztów budowy, utrzymania i wyburzenia oraz utylizacji materiałów.

BIM Execution Plan (BEP) – plan wykonania BIM. Podstawowy dokument wykonawczy inwestycji. Powinien być przygotowany przez wykonawcę w odpowiedzi na wymagania informacyjne zamawiającego (EIR) i zawierać propozycję realizacji postulatów i wymagań w nich zawartych.

Building Information Model (BIM) – cyfrowy model obiektu budowlanego zawierający informacje (techniczne, geometryczne, kosztowe) potrzebne na etapie projektowania, realizacji oraz eksploatacji obiektu budowlanego (drogi, obiekty inżynierskie, architektura, konstrukcja, instalacje, wyposażenie). Jednym z głównych założeń BIM jest unikanie strat informacji o obiekcie budowlanym między kolejnymi etapami cyklu życia.

Building Information Modeling (BIM) – modelowanie informacji o obiekcie budowlanym. Tworzenie, edytowanie i korzystanie z cyfrowego modelu obiektu budowlanego, jak również

metodologia realizacji inwestycji budowlanej w oparciu o model cyfrowy. Najważniejszym elementem BIM jest efektywne zarządzanie oraz wymiana informacji o obiekcie budowlanym w całym cyklu życia tego obiektu (od koncepcji aż po rozbiórkę).

buildingSMART – międzynarodowa organizacja, której celem jest tworzenie, utrzymanie i rozwój sposobów wymiany informacji między aplikacjami używanymi w budownictwie. Wykorzystuje do tego standard IFC będący neutralną i otwartą formą tekstowego zapisu modeli BIM.

Capital Expenditures (CAPEX) – wydatki kapitałowe ponoszone przez zamawiającego związane z kosztem wybudowania obiektu. Zalicza się do nich koszty projektów, przygotowania inwestycji oraz samej budowy.

Common Data Environment (CDE) – wspólna platforma wymiany danych. Cyfrowa pamięć masowa do przechowywania i udostępniania wszystkich typowych informacji o budowli. Może zawierać wszystkie niezbędne informacje i dokumenty, które są tworzone i udostępniane nie tylko podczas procesu projektowania i budowy, ale także podczas kolejnych etapów cyklu życia konstrukcji.

Construction Operations Building Information Exchange (COBie) – międzynarodowy standard dotyczący informacji o zarządzanych aktywach, w tym przestrzeni i wyposażenia. Jest ściśle związany z technologią BIM w zakresie projektowania, budowy i zarządzania zabudowanymi zasobami. Najczęściej przedstawiany w postaci prostego arkusza kalkulacyjnego. Model danych COBie jest podzbiorem modelu danych IFC (Industry Foundation Classes).

Cykl życia obiektu – okres czasu obejmujący wszystkie fazy życia obiektu od momentu jego planowania, projektowania, budowy, przez okres użytkowania, ewentualnych modyfikacji czy przebudów aż do technicznej śmierci obiektu i wyburzenia. W kategoriach ekonomicznych oznaczany jest jako TOTEX, gdyż pokrywa on fazy CAPEX (koszty projektu i budowy) oraz OPEX (koszty operacyjne).

Dokumentacja projektowa – projekty budowlane lub ich części, dotyczące drogowych obiektów inżynierskich, będące przedmiotem decyzji o pozwoleniu na budowę, decyzji o zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej lub zgłoszenia wykonywania robót budowlanych.

Employer Information Requirement (EIR) – wymagania informacyjne zamawiającego. Definiują zakres i sposób zarządzania informacją o projekcie, która będzie wymagana przez zamawiającego od wszystkich uczestników projektu (zamawiający, projektant, wykonawca, zarządzający obiektem). W zależności od potrzeb EIR może obejmować zarówno wszystkie jak i wybrane etapy realizacji projektu (koncepcja, projektowanie, budowa, przekazanie oraz użytkowanie).

Geographic Information System (GIS) – system informacji geograficznej przeznaczony do pracy z danymi reprezentowanymi przez współrzędne przestrzenne lub geograficzne. Umożliwia gromadzenie, przechowywanie, sortowanie, edycję i analizę tych danych. Wynikiem mogą być mapy w formie cyfrowej i papierowej, trójwymiarowy model terytorium lub dynamiczna animacja określonego zjawiska. Często są one powiązane z aplikacjami do mapowania sieci.

Geography Markup Language (GML) – język opracowany przez Open Geospatial Consortium do transferu danych geograficznych. GML jest językiem formalnym służącym do opisu danych geograficznych zgodnie z zasadami opisanymi w normach [7] i [8]. Opiera się na XML (eXtensible Markup Language) i służy do modelowania, transferu i przechowywania informacji geograficznych.

Infrastructure Asset Management (IAM) – zarządzanie zasobami infrastruktury jako zintegrowany, interdyscyplinarny zestaw strategii utrzymania zasobów infrastruktury publicznej, takich jak stacje uzdatniania wody, linie kanalizacyjne, drogi, sieci użyteczności publicznej, mosty i koleje. Zasadniczo proces koncentruje się na późniejszych etapach cyklu życia obiektu, w szczególności na utrzymaniu, naprawach i wymianie. Zarządzanie aktywami w szczególności wykorzystuje narzędzia programowe do organizowania i wdrażania tych strategii, których podstawowym celem jest zachowanie i przedłużenie żywotności długoterminowych aktywów infrastrukturalnych.

Industry Foundation Classes (IFC) – otwarty format zapisu danych służący do przekazywania informacji między uczestnikami procesu budowy i eksploatacji (inwestor, projektant, wykonawca, zarządca) oparty na semantycznych strukturach danych. IFC w założeniu ma zapewnić bezstratne przekazywanie informacji o obiekcie inżynierskim między różnymi programami lub

systemami informatycznymi. Dobrze sprawdza się przy projektowaniu, realizacji obiektu lub zarządzaniu gotowym obiektem.

Inwestycje drogowe – inwestycje polegające na budowie, odbudowie, rozbudowie lub przebudowie dróg publicznych, w tym drogowych obiektów inżynierskich, lub tylko drogowych obiektów inżynierskich, usytuowanych w ciągach lub w poprzek dróg publicznych, a także dróg niebędących drogami publicznymi, które po przeprowadzeniu robót budowlanych zostały (zostaną) zaliczone do jednej z kategorii dróg publicznych.

Integrated Project Delivery (IPD) – zintegrowany proces inwestycyjny. Podejście opracowane przez American Institute of Architects, które integruje ludzi, systemy, struktury biznesowe i praktyki w proces, który wykorzystuje talenty i wiedzę wszystkich uczestników w celu optymalizacji wyników projektu inwestycyjnego, zwiększenia wartości dla zamawiającego, zmniejszenia odpadów i maksymalizacji wydajności na wszystkich etapach projektowania, produkcji i budowy.

Level of Graphical Detail (LOGD) – poziom szczegółowości danych graficznych. Klasyfikacja używana m.in. w brytyjskich normach, do opisywania minimalnego poziomu szczegółowości grafiki modelowanych obiektów 3D, na poszczególnych etapach procesu budowlanego.

Level of Development (LOD) – poziom zaawansowania modelu. Amerykańska klasyfikacja opisująca jak powinien wyglądać model, na kolejnych etapach procesu budowlanego. Określa ona poziom szczegółowości grafiki modelowanych obiektów oraz informacji dołączonej do nich w postaci atrybutów (metadane).

Level of Model Information (LOMI) – poziom szczegółowości informacji niegraficznej. Klasyfikacja używana m.in. w brytyjskich normach, do opisywania minimalnego poziomu informacji dołączonej do modelowanych obiektów 3D w postaci atrybutów (metadane), na poszczególnych etapach procesu budowlanego.

Model 3D BIM (model BIM) – format dokumentacji projektowej i metoda projektowania realizowane w taki sposób, że model stanowi podstawowe źródło informacji dla dokumentacji projektowej. W konsekwencji z modelu generowana jest dokumentacja projektowa w postaci rysunków (przekroje, rzuty, detale konstrukcyjne) oraz przedmiarów i harmonogramów. Jedną z wielu zalet stosowania technologii BIM jest fakt, że zmiany w modelu powodują automatyczną zmianę towarzyszącej dokumentacji. Projektowanie BIM może być oparte na podejściu zarówno obiektowym, parametrycznym jak i algorytmicznym. Wszystkie branże są łączone w modele koordynacyjne, gdzie następuje koordynacja przestrzenna oraz wykrywanie kolizji między branżowymi. Projektowanie BIM pozwala między innymi na: wykonanie obliczeń statycznych, przeprowadzenie analiz energetycznych i środowiskowych, generowanie na podstawie modelu przedmiaru oraz przygotowanie zestawień do kosztorysowania i planowania. Z modelem BIM może być powiązany harmonogram prac (w tym technologia wznoszenia) jak i kosztorys.

Numeryczny Model Terenu (NMT) – cyfrowa reprezentacja powierzchni terenu wraz z algorytmem interpolującym. NMT umożliwia określenie wysokości dowolnego punktu o znanych współrzędnych sytuacyjnych, odtworzenie kształtu powierzchni terenu, a także określenie wielkości pochodnych do kształtu (spadki, krzywizny, ekspozycje). Tworzony najczęściej na podstawie pomiarów fotogrametrycznych lub geodezyjnych.

Operating Expenditures (OPEX) – wydatki operacyjne ponoszone przez właściciela związane z kosztami utrzymania wybudowanych obiektów od momentu rozpoczęcia ich eksploatacji.

Paszportyzacja – proces gromadzenia (inventaryzacji) informacji o aktualnym stanie obiektu i tworzenia dla niego dokumentów ewidencyjnych.

Point Cloud (chmura punktów) – zbiór punktów reprezentujący geometrię fizycznego obiektu pozyskany metodą fotogrametrii lub skanowania laserowego.

Total Expenditures (TOTPEX) – suma kosztów kapitałowych i operacyjnych, czyli koszt życia obiektu.

3.2. Skróty

AR (augmented reality) – rozszerzona rzeczywistość.

BS (British Standard) – Brytyjska Norma.

CEN (Comité Européen de Normalisation) – Europejski Komitet Normalizacyjny.

ISO (International Organization for Standardization) – Międzynarodowa Organizacja Standaryzacyjna.

LCA (life-cycle analysis) – analiza cyklu życia.

PAS (publicly available specification) – prenormy wydawane przez British Standards Institution

PN – Polska Norma.

SIWZ – specyfikacja istotnych warunków zamówienia.

UAV (unnamed aerial vehicle) – bezzałogowy statek powietrzny, inaczej dron.

VR (virtual reality) – wirtualna rzeczywistość.

4. Omówienie metodyki BIM

4.1. Wprowadzenie

(1) Od kilku lat na świecie obserwuje się szybki rozwój innowacyjnych rozwiązań cyfrowych dla wielu branż gospodarki [72]. W krajach wysoko rozwiniętych (np. Wielka Brytania i kraje skandynawskie) trend ten zaczyna pojawiać się również w procesach projektowania, realizacji, zarządzania i inspekcji obiektów budowlanych, a zwłaszcza należących do infrastruktury. W wielu krajach świata, w tym także wśród naszych najbliższych sąsiadów (Niemcy, Czechy [5]), kończą się prace mające na celu przygotowanie budownictwa infrastrukturalnego do powszechnego wykorzystania technologii BIM. Polegają one przede wszystkim na tworzeniu (i to na poziomie rządowym [6]) odpowiednich przepisów oraz upowszechnianiu wiedzy na temat nowych cyfrowych narzędzi w środowisku inżynierskim i modyfikacji programów nauczania akademickiego [44]. W wielu przypadkach procesy te wspomagane są przez stowarzyszenia i fundacje promujące metodologię BIM, które publikują stosowne materiały szkoleniowe i podręczniki [61], [76].

(2) W obliczu postępującej digitalizacji światowej gospodarki, rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych (TIK) ma kluczowe znaczenie także dla konkurencyjności w Europie [37]. Poprawa dostępności, funkcjonowania i jakości TIK to jeden z jedenastu celów tematycznych Polityki Spójności Unii Europejskiej na lata 2014-2020. Jednym z narzędzi wprowadzonych dla osiągnięcia tego celu jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego w sprawie zamówień publicznych [1], która umożliwia państwom członkowskim UE wprowadzenie w procesie zamówień publicznych obowiązku stosowania elektronicznych narzędzi modelowania danych budowlanych (technologię BIM) w obszarze inwestycji infrastrukturalnych. W krajach bardziej rozwiniętych obowiązek stosowania BIM w zamówieniach publicznych albo już został wprowadzony (np. Wielka Brytania od 2016 roku) lub wkrótce będzie obowiązkowy (np. w Niemczech i Czechach od 2020 roku). Jest zatem pewne, że w nieodległym czasie BIM stanie się standardem również w Polsce. Ponadto zapis informujący o możliwości wykorzystania BIM w zamówieniach publicznych został już wpisany do nowelizacji ustawy – Prawo zamówień publicznych [2]. Polskie Ministerstwo Infrastruktury już w 2016 r. zamówiło ekspertyzę [33], której celem była ocena możliwości wdrożenia technologii BIM w polskim budownictwie. Jednocześnie najwięksi polscy zamawiający, tj. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad oraz PKP Polskie Linie Kolejowe S. A., w 2018 r. zaczęli przygotowania do pierwszych pilotażowych projektów [60] na swoje inwestycje, które mają być realizowane zgodnie z technologią BIM.

(3) Zgodnie z intencją ustawodawców w wielu krajach, zastosowanie BIM może przyczynić się między innymi do optymalizacji planowania i realizacji budowlanych inwestycji publicznych, poprzez zintegrowanie procesu projektowania i budowy oraz usprawnienie zarządzania gotowymi obiektami. Według szacunków, zastosowanie BIM będzie prowadzić do oszczędności na poziomie nawet 20% kosztów budowli w całym cyklu życia, co w skali całej Unii Europejskiej czy nawet Polski nie może pozostawać bez znaczenia.

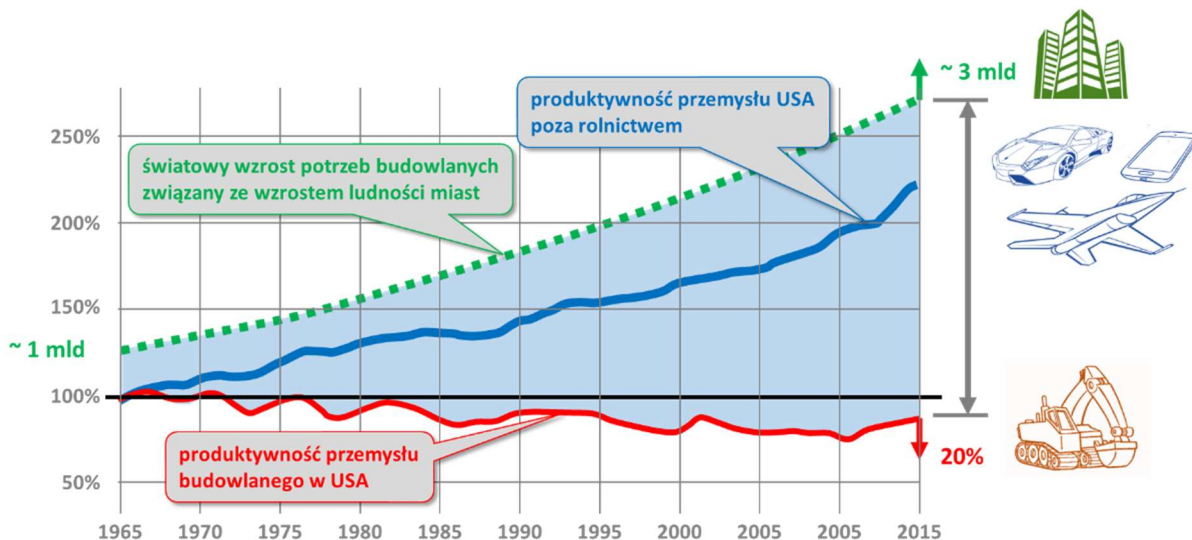
(4) Na całym świecie uruchamiane są coraz większe i coraz bardziej ambitne projekty inwestycyjne. Często ich budżety wykraczają poza możliwości pojedynczych krajów. Sukces tych projektów uzależniony będzie w głównej mierze od poprawy zarządzania nimi oraz wprowadzenia wielu technologicznych innowacji. Kluczową innowacją będzie tu właśnie BIM, który jest niezbędny do wprowadzenia pozostałych cyfrowych i cyber-fizycznych rozwiązań.

Trzy zasadnicze czynniki określają charakter tych projektów:

- a) wynikają z szybkiego wzrostu inwestycji infrastrukturalnych,
- b) wręcz chronicznie przekraczają założone terminy i koszty (por. problemy z budową nowego lotniska w Berlinie [48]) oraz
- c) mają zbyt niską produktywność, jak cała branża budowlana.

(5) Wedle szacunków, w ciągu piętnastu lat nastąpi podwojenie wydatków na tzw. mega projekty infrastrukturalne. Niestety, jak pokazują analizy, niemal 98% tych projektów kończy się w opóźnionym czasie (średnie opóźnienie dochodzi 20 miesięcy) i ze znacznym przekroczeniem zakładanego budżetu (wzrost nawet do 80% planowanej pierwotni kwoty). Przyczyn takiego stanu rzeczy jest pewnie wiele, ale jedną z najważniejszych jest niska produktywność branży budowlanej na całym świecie. Od połowy XX wieku w USA (rys. 4.1.1) widać wyraźny i ciągły

wzrost wydajności we wszystkich gałęziach przemysłu (poza rolnictwem), podczas gdy w budownictwie zanotowano nawet spadek [52]. Tymczasem krzywa wzrostu liczby mieszkańców miast wskazuje na wciąż powiększającą się różnicę między wzrostem potrzeb budowlanych (zwłaszcza w zakresie infrastruktury), a zmniejszającą się efektywnością branży budowlanej. Nieformalne zrzeszenie 90 największych miast na świecie, czyli klub C40, już dziś reprezentuje ponad 650 milionów mieszkańców metropolii i niemal 25% całej światowej gospodarki. Te potrzeby będą więc tylko wzrastać.

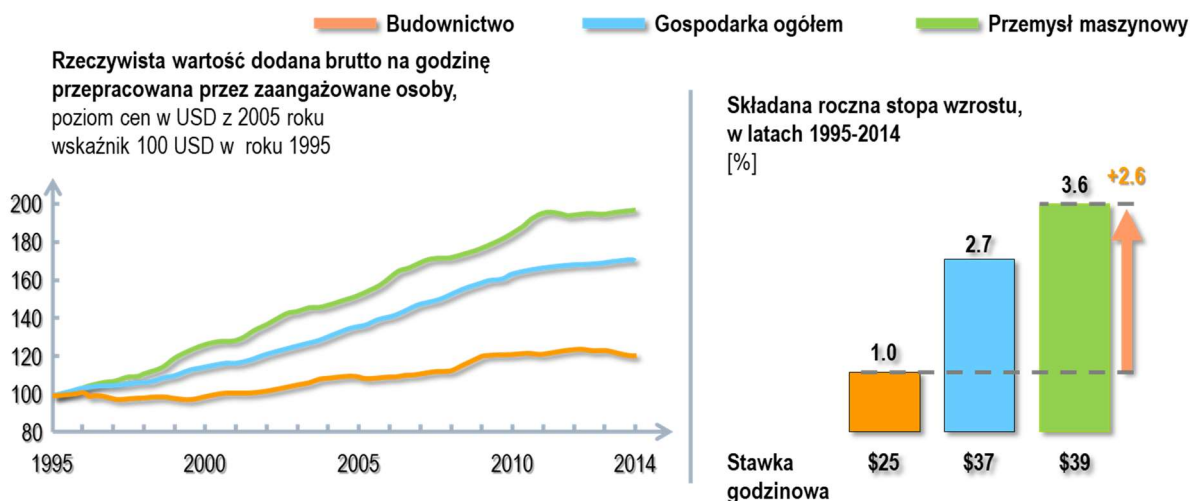


Rys. 4.1.1. Zmiany w produktywności budownictwa i innych gałęzi przemysłu w USA (na podstawie [52])

(6) Biorąc pod uwagę rzeczywistą wartość produkcji i usług związanych z budownictwem, która w skali gospodarki światowej wynosi około 10 bilionów USD rocznie [75], każde zwiększenie produktywności w tej branży powinno wygenerować znaczące korzyści. Szacuje się, że osiągnięcie przez przemysł budowlany wskaźników efektywności całej gospodarki, przyniosłoby roczny wzrost produkcji budowlanej o 1,6 biliona USD, co skutkowałoby wzrostem globalnego PKB o 2% [52]. W wielu krajach na świecie podstawowym stymulatorem w budownictwie są inwestycje publiczne, a zwłaszcza infrastrukturalne mega projekty. Szczególnie dotyczy to takich krajów jak Polska, gdzie rynek prywatnego inwestora nie jest jeszcze wystarczająco rozwinięty. Stąd, według wielu analityków, inwestycje te są wysoce nieefektywne. Wynika to głównie z powodu braku wystarczającej transparentności, ograniczonej i opóźnionej decyzyjności, złego zarządzania oraz obawy przed zmianami i wprowadzaniem innowacyjnych rozwiązań.

(7) Na rys. 4.1.2 pokazany jest opracowany w 2017 r. przez McKinsey Global Institute [64] wykres, który powstał na podstawie analizy danych z lat 1995-2014. Znajdują się na nim trzy krzywe pokazujące wzrost efektywności gospodarki światowej oraz dwóch wybranych gałęzi tej gospodarki tj. przemysłu maszynowego i budownictwa. Wyraźnie widoczna jest pogłębiająca się przez ostatnie dekady różnica między produktywnością branży budowlanej i reszty gospodarki. W skali świata można ją oceniać w bilionach dolarów, które mogłyby być zaoszczędzone na budowach będących realizacją coraz większej liczby mega projektów w infrastrukturze. Jest to możliwe przede wszystkim poprawę zarządzania informacją, która we współczesnym świecie staje się kluczową wartością. Jak widać, skala możliwych oszczędności jest tak duża, że wszyscy uczestnicy procesu inwestycyjnego mogą stać się beneficjentami metodologii BIM, której istotą jest przecież lepsze zarządzanie informacją o budowli.

Globalne trendy wzrostu wydajności (na próbie 41 krajów, które generują 96% globalnego PKB)

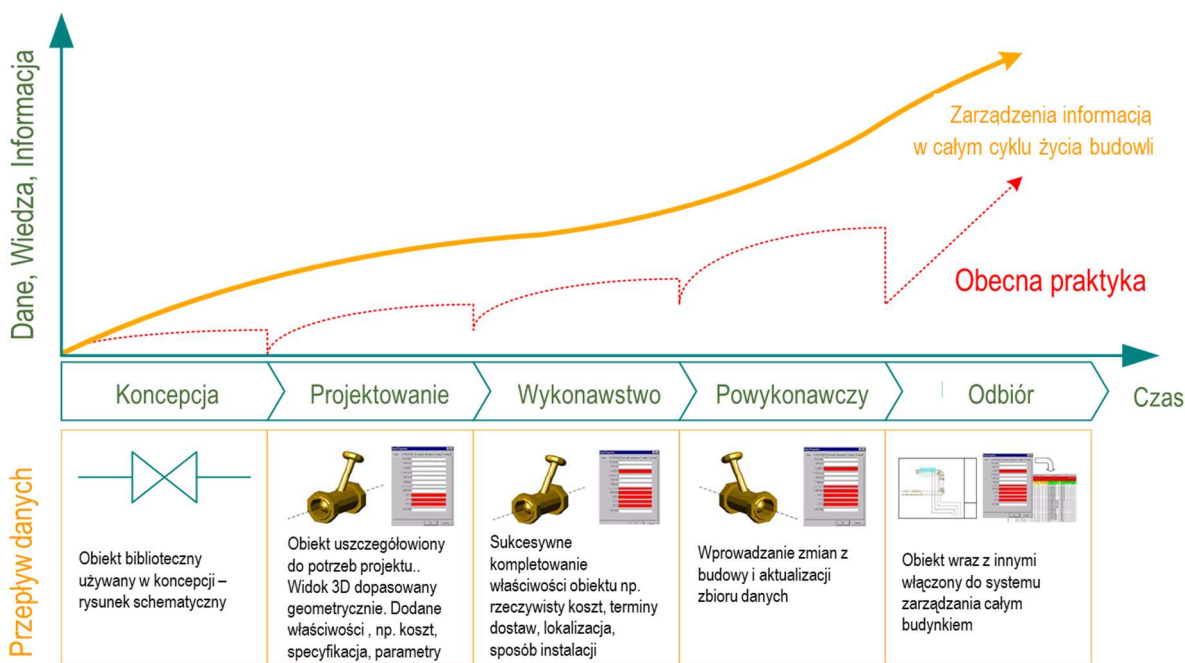


źródła: OECD; WIOD; GGCD-10; World Bank; BEA; BLS; krajowe agencje statystyczne Turcji, Malezji i Singapuru; Rosstat; McKinsey Global Institute analysis

Rys. 4.1.2. Wskaźnik produktywności branży budowlanej na tle innych gałęzi gospodarki (na podstawie [64])

(8) W tradycyjnym procesie inwestycyjnym wielokrotnie dochodzi do utraty wielu informacji, co musi pociągać za sobą określone koszty. Na rys. 4.1.3 pokazano konieczność pozyskiwania i utratę informacji na poszczególnych etapach życia obiektu budowlanego. Związane z tym koszty mogą dotyczyć [72]:

- odtworzenia koniecznej informacji na kolejnym etapie,
- złych decyzji wynikających z niepełnej lub błędnej informacji,
- kolizji projektowych, montażowych, logistycznych,
- opóźnień w realizacji,
- nadmiernej ilości odpadów lub zapasów,
- negatywnych skutków społecznych lub środowiskowych.



Rys. 4.1.3. Uzyskiwanie i utrata informacji na poszczególnych etapach życia obiektu

(9) Z pewnością można stwierdzić, że budownictwo, to sektor o strategicznym znaczeniu dla gospodarki każdego kraju. Dotyczy to potencjału produkcji, zużycia zasobów, potrzeb budowy, tworzenia miejsc pracy i utrzymania przestrzeni publicznej. Jest to jednocześnie sektor gospodarki o najniższym poziomie cyfryzacji i jednocześnie o dużym poziomie stagnacji w zatrudnianiu wykwalifikowanej siły roboczej. W procesach budowlanych występują pewne systemowe niedoskonałości, które wynikają między innymi z niskiego stopnia współpracy między uczestnikami procesu, słabego zarządzania informacją oraz niewystarczających inwestycji w nowe technologie, badania i rozwój. Niedociągnięcia te powodują niską efektywność wykorzystania środków (często publicznych) oraz wyższe ryzyko finansowe z powodu nieprzewidzianych przekroczeń budżetu, opóźnień w dostawie, wpływów środowiskowych lub zmian w dokumentacji projektowej.

(10) Przy takich uwarunkowaniach, metodologia BIM staje się skutecznym narzędziem poprawy produktywności i realizacji zasad zrównoważonego rozwoju w całym cyklu życia konstrukcji. Zarówno w fazie projektowania, budowy, jak i podczas eksploatacji. Przykłady realizacji największych inwestycji infrastrukturalnych z użyciem BIM (np. CrossRail, Heathrow, obwodnica Sztokholmu, Thameslink London Bridge, Network Rail), w zestawieniu chociażby z tradycyjnie realizowaną budową berlińskiego lotniska [48], pokazało, jak duże znaczenie we współczesnym procesie inwestycyjnym ma skuteczne zarządzanie informacją.

4.2. Ogólne omówienie metodyki BIM

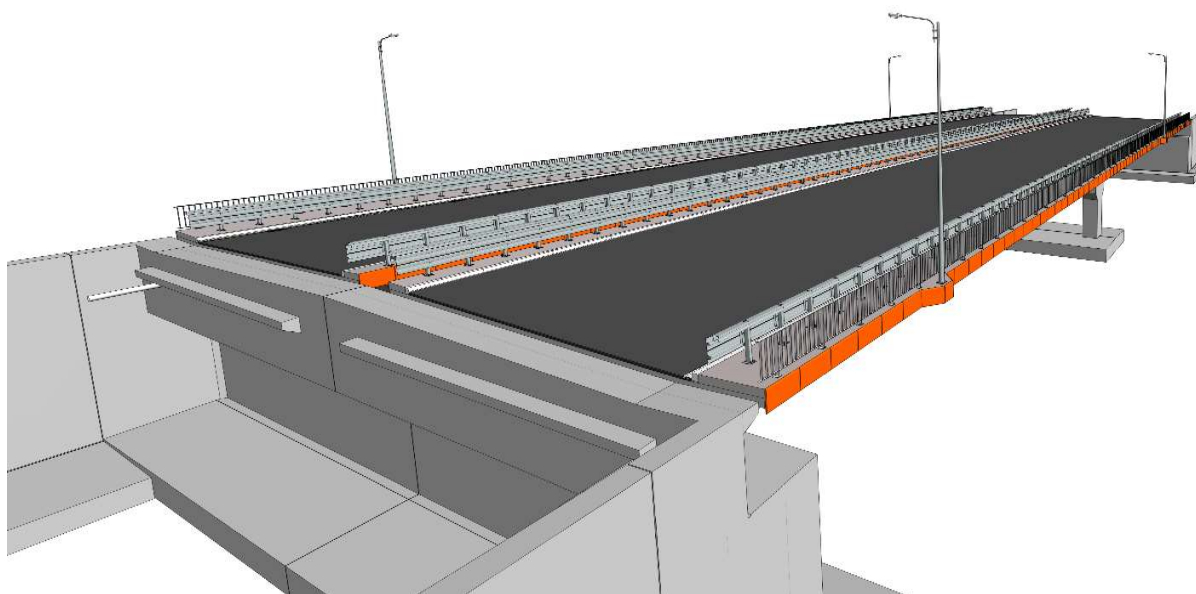
(1) W ogólnie dostępnej definicji, jaką zamieszcza Wikipedia, BIM jest modelowaniem informacji o budowlach. Modele te reprezentują cyfrowo odzwierciedlone fizyczne i funkcjonalne właściwości obiektu budowlanego. Oprócz tej dość ogólnej definicji, można napotkać różne inne mniej precyzyjne opisy mówiące o narzędziu do usprawnienia procesu budowy lub do tworzenia i udostępniania informacji o wznoszonym obiekcie, od etapu planowania do jego wyburzenia. Najtrafniejszym zdaje się być traktowanie BIM jako technologii komputerowego modelowania obiektów budowlanych. Technologii, która pomaga w tworzeniu cyfrowego modelu budowli zawierającego dane dotyczące geometrii, właściwości fizycznych i funkcjonalnych oraz parametryczne reguły i zależności między jego elementami. Ten sam model może być wykorzystywany na różnych etapach życia budowli: koncepcji, projektu budowlanego, wykonawczego i technologicznego, budowy, odbioru, okresu użytkowania z wielokrotnymi modernizacjami i adaptacjami, aż do wyburzenia.

(2) Oprócz geometrii model (rys. 4.2.1) może przechowywać szereg innych, nieraz bardzo zróżnicowanych typów danych, jak na przykład: dane materiałowe i kosztowe, informacje na temat czasu i technologii montażu, wyposażenie obiektu z instrukcjami obsługi i gwarancjami, stwierdzone uszkodzenia i historię napraw lub modyfikacji. Może być również wykorzystywany do symulacji zmian różnych parametrów funkcjonalnych obiektu (ogrzewanie, wentylacja, oświetlenie, oznakowanie), czy nawet interaktywnego sterowania tymi parametrami (Smart Structure). Przy samym tworzeniu trójwymiarowej geometrii modelu nie korzysta się już z prymitywów, jakie stosowane były w programach CAD (np. linia, okrąg, czy nawet bryły typu walec i prostopadłościan itp.), ale używa się parametrycznych i inteligentnych obiektów typu ściana, słup, okno, pręt, profil, cięgno itp. zapisanych w semantycznych strukturach danych. Obiektom tym nadaje się odpowiednie parametry i uzależnia od ogólnego układu osiowego lub geometrycznego całej budowli. Pozwala to na łatwiejszą edycję i automatyczne dopasowywanie się obiektów na przykład do zmienionego rozstawu podpór lub niwelety.

(3) Powszechnie sądzi się, że BIM jest rozwinięciem metod CAD. Tymczasem wykracza on daleko poza sam proces opracowania projektów. CAD pozwalał jedynie usprawnić proces przygotowania dokumentacji projektowej. Natomiast BIM może usprawniać cały proces realizacji inwestycji, a nie tylko jej projektowania. Można więc powiedzieć, że CAD jest tylko pewnego rodzaju podzbiorem BIM albo jego narzędziem. Należy zwrócić uwagę, że najważniejszym składnikiem nazwy BIM jest słowo informacja. Te rozbudowane i wielobranżowe modele mają wiele zastosowań i mogą być wykorzystywane na różne sposoby. Można między innymi:

- a) opracowywać koncepcje i warianty,
- b) tworzyć wizualizacje i animacje poprzez rendering 3D,
- c) sprawdzać kolizje geometryczne, branżowe, montażowe i logistyczne,
- d) generować rysunki warsztatowe w postaci płaskich rzutów i przekrojów,
- e) symulować proces budowy i eksploatacji,

- f) koordynować proces projektowania i budowy na wszystkich etapach,
- g) sprawdzać parametry funkcjonalne, dostępność i przejezdność,
- h) przygotowywać przedmiary, kosztorysy i harmonogramy,
- i) wykorzystywać w celach marketingowych, szczególnie w powiązaniu z technologiami VR i AR (wirtualna i rozszerzona rzeczywistość),
- j) skutecznie zarządzać obiektem budowlanym i sterować nim,
- k) planować jego remonty i przebudowy z wyburzeniem włącznie,
- l) zarządzać wynajmem czy użytkowaniem,
- m) wykorzystywać dane zawarte w modelu w sytuacjach kryzysowych (np. pożar),
- n) w powiązaniu z mapami cyfrowymi tworzyć CIM (City Information Model).



Rys. 4.2.1. Przykład modelu BIM drogowego mostu z betonu sprężonego

(4) Trzeba również mieć świadomość, że BIM jest tylko początkiem przemian jakie czekają całą branżę budowlaną w związku z rozwojem różnych cyfrowych technologii. Przemian, które w innych dziedzinach gospodarki już od pewnego czasu następują, a w przestrzeni społecznej, politycznej i medialnej występują pod nazwą Przemysł 4.0. Trudno dzisiaj przewidzieć jakie będą następstwa realizacji nowej strategii rozwoju przemysłu akurat w budownictwie. Wokół hasła BIM powstaje szereg innych technologii, metod i aplikacji, które w jakiś sposób powiązane są z modelami BIM lub dzisiejszym rozumieniem skrótu BIM. Nie jest to przecież żadna nazwa handlowa ani konkretny produkt. Jednak, żeby jakiegokolwiek przemiany związane z cyfryzacją budownictwa były możliwe i skuteczne, to przede wszystkim należy zacząć od powszechnego wdrożenia metodyki BIM do projektowania, prowadzenia budowy oraz utrzymania zbudowanych już obiektów. Bez trójwymiarowych modeli i bez ich powiązania z cyfrową informacją, nie nastąpią żadne zmiany. Wystarczy choćby popatrzeć na technikę poszerzonej rzeczywistości (ang. Augmented Reality, AR). Do niedawna kojarzona raczej z zabawą smartfonem i grami komputerowymi, powoli staje się coraz bardziej przydatnym narzędziem dla projektantów, wykonawców oraz zarządców infrastruktury [70], [71]. Nowoczesne techniki wizualizacji typu AR pozwalają przedstawiać świat wirtualny w sposób niezwykle intuicyjny. Na przykład w postaci trójwymiarowych obiektów, z możliwością oglądania ich z dowolnej perspektywy, o teksturach nieodróżnialnych od rzeczywistych tekstur realnych przedmiotów i to w dowolnej skali. Dodatkowo elementy wzbogacające rzeczywistość przy użyciu systemów AR mogą mieć różne formy, poza szczególnie intuicyjnymi trójwymiarowymi modelami także: napisów, schematów, zdjęć, filmów lub informacji dźwiękowych (rys. 4.2.2). Takie wykorzystanie tych narzędzi możliwe jest jednak tylko dzięki powiązaniu modeli BIM z rozwiązaniami jakie oferowane są przez producentów coraz lepszych popularnych urządzeń mobilnych typu smartfony i tablety, ale też zupełnie nowych interfejsów komunikacji człowiek z komputerami w postaci nowoczesnych gogli i kasków wyposażonych w narzędzia AR. Te urządzenia są jednym z wyznaczników obserwowanej przez nas obecnie rewolucji przemysłowej. Są to bowiem tzw. systemy cyberfizyczne, czyli mechanizmy kontrolowane lub monitorowane przez algorytmy komputerowe, które są ściśle zintegrowane z Internetem i jego użytkownikami. Do tej grupy zalicza się nawet

tablet i smartfon, ale mogą to również być inteligentne zegarki, kaski, okulary, albo soczewki kontaktowe. Grupa tych narzędzi nosi nazwę urządzeń ubieralnych (ang. wearable devices).



Rys. 4.2.2. Poszerzona rzeczywistość na przykładzie wnętrza dźwigara skrzynkowego mostu betonowego

(5) Jak widać, z pewnością BIM nie może być utożsamiany tylko z oprogramowaniem i narzędziami IT. Jeśli jednak już mówimy o oprogramowaniu BIM, to zawsze w powiązaniu z pewną filozofią działania, organizacją pracy albo z procesami. Procesami zarówno budowlanymi jak i wynikającymi z nowego podejścia do inwestycji oraz nowych narzędzi technologicznych. Wymienia się trzy kluczowe czynniki potrzebne do skutecznego wdrożenia w organizacji metodologii BIM [61]. Są to procesy, technologie i zwyczaje. Wdrażanie BIM nie dotyczy tylko prywatnych firm projektowych czy wykonawczych. To również, a może nawet przede wszystkim zamawiający, którymi często są instytucje publiczne szczebla centralnego lub lokalnego.

4.3. Korzyści z użycia metodologii BIM

(1) Korzyści z użycia metodologii BIM należy rozpatrywać przede wszystkim w dłuższym okresie niż czas trwania pojedynczych projektów inwestycyjnych. Zwłaszcza, że technologia BIM nie dotyczy przecież samego procesu projektowego czy nawet jego realizacji w terenie (budowy). Obejmuje ona cały cykl życia budowli, który w zależności od typu, wielkości i znaczenia obiektu może wynosić dziesiątki, a nawet ponad 100 lat. Szczególnie jeśli zajmujemy się w tym dokumencie inżynierskimi obiektami drogowymi (mostami), których przewidywany okres użytkowania może w wielu przypadkach wynosić 100 i więcej lat.

(2) Wdrożenie BIM wiąże się ze zmianami obecnych procesów inwestycyjnych, szczególnie w zakresie komunikacji oraz przesyłania i udostępniania danych. Drugim obszarem zmian jest wprowadzenie nowych technologii, które umożliwią tworzenie właściwych modeli BIM oraz wykorzystywanie i skuteczne wspieranie zmian w przepływie informacji w procesach jakie towarzyszą konstrukcji przez cały okres jej użytkowania. Trzecim ważnym obszarem jest udział BIM w zakresie zrównoważonego budownictwa i kompleksowej jakości obiektów mostowych. Poniżej wymienione zostały najważniejsze zalety korzystania z BIM, które dotyczą całego cyklu życia konstrukcji:

- a) oszczędności kosztów obliczane w całym cyklu życia obiektu,
- b) poprawa komunikacji między uczestnikami procesu budowlanego,
- c) lepsza kontrola i transparentność procesu budowlanego,
- d) poprawa jakości pracy i rezultatów procesu budowlanego,
- e) zapobieganie kolizjom (wykrywanie ich przed rozpoczęciem budowy),
- f) ograniczenie nieporozumień wynikających z użycia nieaktualnych wersji projektu,
- g) zwiększenie przejrzystości i dostępu do informacji w procesie decyzyjnym,
- h) integracja uczestników procesu budowlanego (zamawiający, projektant, wykonawca, nadzór),
- i) poprawa ochrony środowiska i lepsze wykorzystanie zasobów,
- j) łatwiejsze i szybsze tworzenie i porównywanie wariantów,
- k) usprawnienie zarządzania projektami i dostęp do aktualnych informacji w jednym miejscu,
- l) wsparcie systemów zarządzania infrastrukturą i informacją przestrzenną.

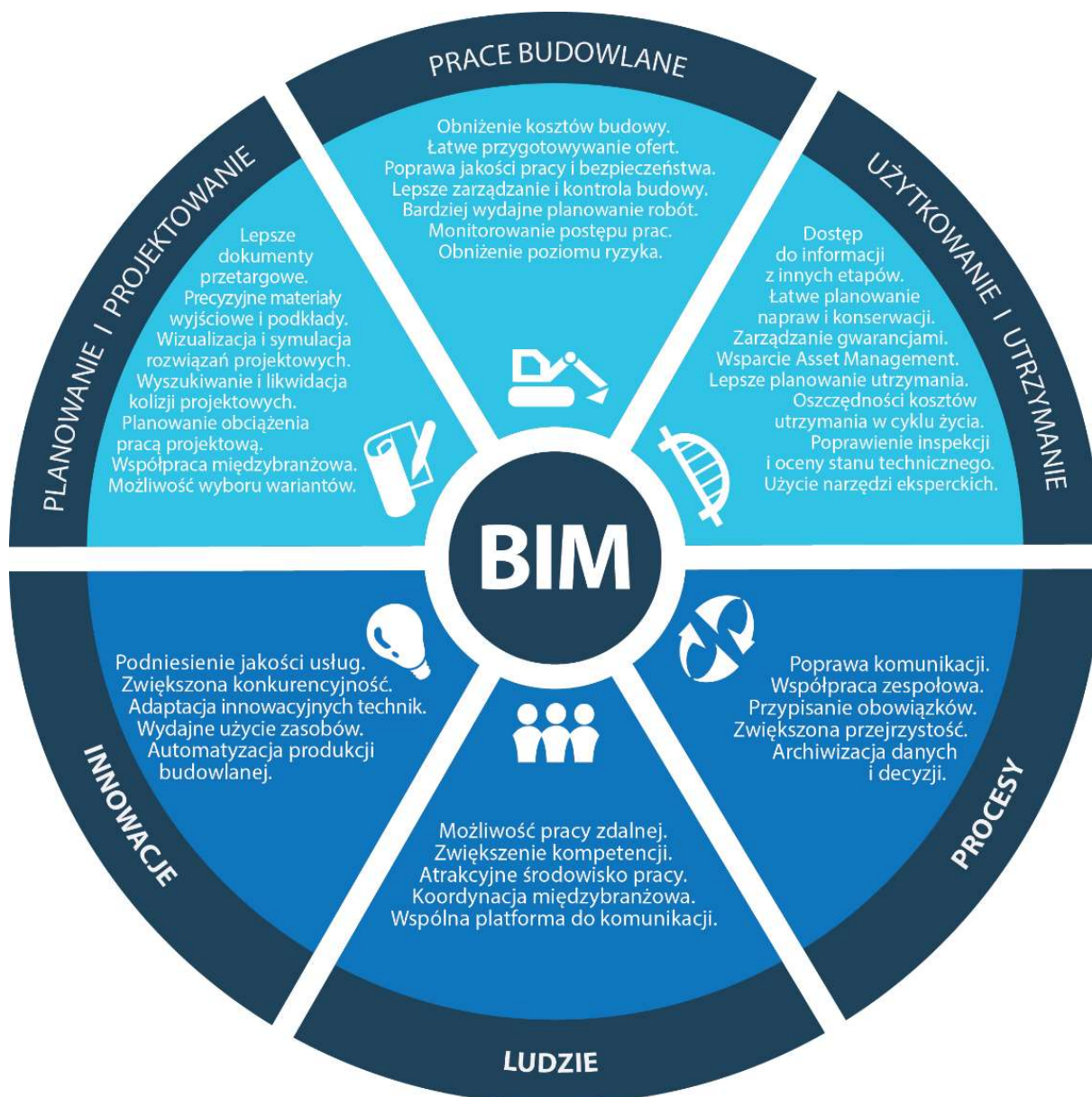
(3) Biorąc pod uwagę trzy zasadnicze etapy życia budowli:

- a) planowanie i projektowanie,
- b) prace budowlane,
- c) użytkowanie i utrzymanie,

w każdym z nich można znaleźć bezpośrednie korzyści wynikające ze stosowania metodologii BIM (rys. 4.3.1).

(4) Oprócz tego należy wziąć pod uwagę również korzyści pośrednie, które wynikają z wpływu jaki wywiera rozwój i wdrażania nowych cyfrowych technologii na gospodarkę i społeczeństwo. Można je umieścić pod hasłem zawierającym trzy powiązane ze sobą słowa klucze:

- a) innowacje,
- b) procesy,
- c) ludzie.



Rys. 4.3.1. Graficzne przedstawienie korzyści z wdrożenia BIM

4.3.1. Etap planowania i projektowania

(1) **Precyzyjne materiały wyjściowe i podkłady.** Model BIM z założenia jest tworzony jako podstawa do jego przetwarzania w kolejnym etapie pracy nad dokumentacją projektową. Punktem wyjścia są zawsze numeryczne modele terenu (NMT), które charakteryzują się lepszym odwzorowaniem terenu, na którym projektowana jest inwestycja niż papierowe czy skanowane

mapy. Dodatkowo, tak przygotowane materiały wyjściowe i podkłady projektowe, zawierają większą ilość lepiej przygotowanych danych. Sam model projektowanego obiektu na każdym etapie jest ciągle rozbudowywany, uzupełniany i udoskonalany. Dotyczy to przede wszystkim ilości i jakości informacji, które model zawiera. Dzięki temu, w każdym następnym etapie można wykorzystać zgromadzone wcześniej informacji i zmniejszyć nakłady projektowe.

(2) **Planowanie obciążenia pracą projektową.** Kierownicy projektów i pracownicy projektowych mają bezpośredni podgląd postępów prac nad modelem. Można w ten sposób lepiej planować i rozdzielać obciążenia pracą projektową.

(3) **Możliwość porównania i wyboru wariantów.** Narzędzia BIM umożliwiają nieraz bardzo złożoną obliczeniowo analizę i równoległe tworzenie wariantów planowanej inwestycji. Pozwala to na wybór optymalnego rozwiązania i porównywanie ze sobą wariantów. Ma to szczególne znaczenie w inwestycjach infrastrukturalnych, gdzie na etapie koncepcji wymaga się przedstawienie i analizę kilku wariantów.

(4) **Współpraca międzybranżowa przy projekcie.** Większość dostępnych rozwiązań IT w zakresie BIM pozwala na korzystanie z dostępu do wspólnej pamięci masowej (również w chmurze), co ułatwia współpracę przy jednym projekcie. Również międzybranżową. Techniki CAD dotychczas nie gwarantowały takich możliwości.

(5) **Wizualizacja i symulacja rozwiązań projektowych.** Model budowli zawiera informacje wyrażone w formie graficznej (dane geometryczne), co jest zasadniczo wizualizacją techniczną. Taka wizualizacja przynosi zatem uproszczenie orientacji projektowej i możliwość zaangażowania nietechnicznego społeczeństwa w proces projektowania, a w szczególności omawianie budowy.

(6) **Tworzenie lepszej dokumentacji przetargowej.** Model informacyjny służy również do tworzenia dokumentacji przetargowej, która staje się znacznie dokładniejsza. W momencie tworzenia dokumentacji przetargowej model stworzy fazę budowy, czyli wirtualną koncepcję harmonogramu budowy. Z uwagi na fakt, że poszczególne elementy modelu są powiązane z bazą danych cen, potencjalny oferent otrzyma pełny obraz naliczania kosztów i postępu budowy w czasie, zgodnie z oczekiwaniami inwestora

(7) **Wyszukiwanie i likwidacja kolizji projektowych.** Model informacyjny budowli pozwala na zastosowanie oprogramowania do wykrywania kolizji w projekcie. Tak więc następuje wcześniejsze wykrywanie kolizji, wad i braków przy niższych kosztach.

4.3.2. Etap prac budowlanych

(1) **Łatwiejsze przygotowywanie ofert i obniżenie ryzyka.** Wykorzystanie modelu BIM do potrzeb przygotowywania ofert zmniejsza nie tylko koszt przygotowania samej oferty, ale jednocześnie zmniejsza towarzyszące temu ryzyka błędów w przedmiarach. Już na etapie tworzenia oferty wykonawca może analizować i symulować kolejne etapy budowy w czasie dostosowując do tego odpowiednie zasoby i środki. Ewentualna zmiana lub optymalizacja technologii nie wymaga tak dużych nakładów projektowych, jak dzieje się to w podejściu tradycyjnym bez modeli BIM.

(2) **Obniżenie kosztów projektowania i budowy.** Model BIM jest właściwie pewną formą graficznej bazy danych, która zawiera nieraz bardzo szczegółowe informacje o budowanym obiekcie. Dzięki temu, można efektywnie wyszukiwać zabudowywane elementy, wyznaczać wielkości przedmiarowe i odczytywać współrzędne. Oszczędności polegają tu więc na zmniejszeniu liczby zapytań dotyczących dokumentacji projektowej i przetwarzaniu pozyskiwanych z niej informacji. Modele BIM mogą być wykorzystane do automatyzacji produkcji komponentów (prefabrykacja, zbrojenie, elementy montażowe konstrukcji stalowych). To samo dotyczy autonomicznych lub półautomatycznych maszyn do robót ziemnych, systemów i technologii geodezyjnych, systemów do składania zamówień czy monitorowania postępu robót. Bieżąca aktualizacja modelu BIM pozwala na łatwiejsze przygotowanie dokumentacji powykonawczej, która wiernie odzwierciedla rzeczywisty, zbudowany obiekt.

(3) **Lepsze zarządzanie i kontrola budowy.** Model BIM może być również wykorzystywany jako skuteczne narzędzie do zarządzania budową. Można dzięki niemu wizualizować harmonogram budowy, monitorować postęp prac i wykonywać różne analizy na dużej ilości danych, jakie

przechowywane są w modelu. W ten sposób zarówno zamawiający, jak i wykonawca są w stanie lepiej zarządzać kosztami i czasem.

(4) **Monitorowanie postępu prac budowlanych.** Model BIM umożliwia monitorowanie postępu prac na budowie oraz skuteczność realizacji założeń harmonogramu. Umożliwia to efektywne sterowanie logistyką dostaw, tymczasowej organizacji ruchu, planowanie kosztów budowy oraz obmiar wielkości zrealizowanych robót.

(5) **Poprawa jakości pracy i bezpieczeństwa.** Narzędzia BIM pozwalają na ocenę wielu parametrów jakościowych planowanych robót i to jeszcze przed wdrożeniem określonej technologii lub materiału. Może to być cena nierówności, skuteczności drenażu czy audyty bezpieczeństwa. Specjaliści od systemów BHP otrzymują nowe narzędzie BIM, które dzięki technikom wirtualnej (VR) lub poszerzone rzeczywistości (AR) pomaga im identyfikować zagrożenia, a nawet prowadzić szkolenia pracowników.

(6) **Bardziej wydajne planowanie robót.** Model BIM można wykorzystać do oceny skuteczności i efektywności wybranej technologii budowy. Modelowanie takich procesów w wirtualnej rzeczywistości (VR) pozwala na redukcję ryzyka (ang. building twice). Model BIM usprawnia tworzenie tymczasowej organizacji ruchu na przebudowywanej drodze lub zamknięć torowych, zmniejszając tym samym koszty zamawiającego.

4.3.3. Etap użytkowania i utrzymania

(1) **Oszczędności kosztów utrzymania w cyklu życia.** Zgodnie z definicją, model BIM reprezentuje obiekt fizyczny i funkcjonalny z wieloma jego cechami. Jest to zatem graficzna i otwarta baza danych zawierająca informacje o obiekcie, które dodawane są już od samego początku jego istnienia. Te informacje mają potem kluczowe znaczenie w zarządzaniu i utrzymaniu obiektu w całym jego cyklu życia, który w przypadku infrastruktury jest wielokrotnie dłuższy niż etap projektowania i budowy. Znajomość informacji wyjściowych pozwala na racjonalne działanie w przyszłości, a tym samym na uzyskanie oszczędności kosztów użytkowania i utrzymania.

(2) **Wspomaganie systemów Asset Management.** Model BIM może służyć jako źródło informacji z danymi dla dużych systemów zarządzania zasobami infrastruktury (ang. Infrastructure Asset Management), a w szczególności systemami gospodarki mostowej (ang. Bridge Management Systems).

(3) **Zarządzanie gwarancjami i instrukcjami.** Model BIM, jako graficzna baza wiedzy o budowlach, może przechowywać wszelkie informacje i dokumenty na temat zabudowanych w obiekcie urządzeń i elementów wyposażenia w postaci gwarancji oraz instrukcji. Cyfrowy model może być również wykorzystywany w postępowaniach związanych z wydawaniem decyzji administracyjnych w ramach prawa budowlanego, które przecież też poddane będą procesowi digitalizacji.

(4) **Dostęp do informacji z poprzednich etapów.** Dostęp do współdzielonego repozytorium danych na temat zbudowanego obiektu umożliwia śledzenie pełnej historii zmian w informacjach ze wszystkich faz projektu w jednym miejscu. Mogą to być na przykład wszelkie zmiany dokumentów (w tym dokumenty odrzucone, komentarze, procesy zatwierdzania), przejściowe etapy rozliczania projektu, zarchiwizowana komunikacja między uczestnikami projektu itd. Ułatwi to ewentualne rozstrzygnięcie sporów czy opracowywanie ekspertyz.

(5) **Łatwiejsze planowanie napraw i konserwacji.** Po zakończeniu budowy, zaktualizowany model BIM stanowi formę dokumentacji powykonawczej. Dzięki temu zapisane w nim dane mogą być wykorzystane do projektowania i prowadzenia robót remontowych, napraw i konserwacji.

(6) **Usprawnienie inspekcji i oceny stanu technicznego.** Model BIM może służyć do wspomaganie inspektorów wykonujących oceny stanu technicznego obiektów. Będzie przechowywać wyniki wykonanych inspekcji w cyfrowej postaci. Zinwentaryzowane uszkodzenia lub spostrzeżenia mogą być przechowywane razem z modelem w postaci cyfrowej. Sam model może pełnić funkcję tzw. cyfrowego bliźniaka (ang. digital twin), dzięki czemu będzie możliwe np. wyznaczanie aktualnej nośności obiektu mostowego.

(7) **Lepsze planowanie kosztów utrzymania.** Model BIM poszczególnych obiektów w powiązaniu z modelami obiektów sąsiadujących i powiązanych (np. drogi dojazdowe, droga

pod obiektem) mogą być wykorzystane do planowania robót utrzymaniowych (wymiana nawierzchni, izolacji, odnowa zabezpieczeń antykorozyjnych) lub wzmacniających konstrukcję.

4.3.4. Korzyści pośrednie – innowacje, procesy, ludzie

(1) **Innowacje.** Adaptacja innowacyjnych technologii cyfrowych, które są w jakiś sposób powiązane z metodologią BIM lub wręcz z niej wypływają, pozwoli na realizację kluczowych strategii rozwoju przemysłu opisywanych hasłem Przemysł 4.0. Strategia ta stała się mottem do rozwoju gospodarek wszystkich rozwiniętych krajów świata. W tym również Polski. W branży budowlanej już coraz częściej funkcjonuje odpowiednik tego hasła, czyli Budownictwo 4.0. Spośród wielu elementów tej strategii, kilka z nich może i zapewne wkrótce będzie zrealizowana w budownictwie infrastrukturalnym. Chodzi tutaj między innymi o:

- a) automatyzację produkcji budowlanej (np. autonomiczne maszyny do robót ziemnych),
- b) wydajne wydatkowanie zasobów (lepsze planowanie zapotrzebowania na materiały budowlane i ograniczenie odpadów),
- c) podniesienie jakości wyrobów i usług (zwiększenie udziału prefabrykacji, redukcja błędów i kolizji).

(2) **Procesy.** Jednak, aby w praktyce zacząć realizować koncepcje strategii Budownictwa 4.0 i sukcesywnie zwiększać konkurencyjność polskiej branży budowlanej, konieczne jest wdrożenie metodologii BIM. Tylko wtedy będzie możliwa cyfryzacja powiązanych z nią procesów i nowych narzędzi (roboty, pojazdy autonomiczne, zautomatyzowane wytwórnie prefabrykatów itp.). Zmiana podejścia do procesów budowlanych i ich sukcesywna cyfryzacja pozwoli na:

- a) zwiększenie ich przejrzystości,
- b) wprowadzenie realnej współpracy w zespołach,
- c) jednoznaczne przypisywanie obowiązków w ramach zespołu i procesu,
- d) poprawę komunikacji między uczestnikami procesu.
- e) archiwizację danych i podejmowanych w trakcie procesu decyzji.

(3) **Ludzie.** Ważną rolę w tych strategiach odgrywają również ludzie. Choć tak często mówi się o cyfryzacji i robotyzacji, to nie sposób pomijać w procesach budowlanych udział wykwalifikowanego personelu. Z pewnością jednak może dojść do zmiany wymagań i kompetencji w stosunku do kadry inżynierskiej. Nastąpi też poprawa kultury współpracy w relacjach uczestników budowy, które wciąż mają charakter raczej indywidualistyczny i roszczeniowy. Te działania już można obserwować na rynku pracy branży budowlanej. Zmienia się na przykład rola i sposób pracy geodetów. Dzięki technikom CAD i modelowaniu 3D, zupełnie zmienił się sposób projektowania. Poszukiwane są na rynku osoby do pełnienia funkcji BIM Managera lub Managera informacji. Coraz częściej wykorzystane są na budowie drony, co wymusza zatrudnianie dobrze wyszkolonych i certyfikowanych operatorów. Można więc powiedzieć, że w zakresie czynnika ludzkiego wdrożenie BIM spowoduje:

- a) zwiększenie i zmianę kompetencji kadry inżynierskiej,
- b) poprawę koordynacji międzybranżowej,
- c) ustanowienie wspólnej cyfrowej platformy do komunikacji (CDE),
- d) poprawę atrakcyjności środowiska pracy,
- e) możliwość oferowania pracy zdalnej.

4.4. Specyfika drogowych obiektów inżynierskich w kontekście BIM

(1) Technologia BIM jest znacznie lepiej znana i stosowana w budownictwie kubaturowym. Korzystają z niej między innymi architekci, konstruktorzy i instalatorzy. Z użyciem tej technologii powstają wielobranżowe modele budynków użyteczności publicznej, jak szpitale, lotniska, biurowce, hotele itp. Znacznie wolniej wdrożenie BIM odbywa się w projektach infrastrukturalnych (tzw. BIM liniowy) czyli w budowie dróg, linii kolejowych oraz przesyłowych instalacji napowietrznych lub podziemnych, mostów i tuneli, portów, nabrzeży oraz zapór wodnych. Przyczyn tego opóźnienia można szukać w wielu uwarunkowaniach związanych z planowaniem i realizacją zadań w infrastrukturze.

(2) Główną przyczyną jest fakt, że zdecydowana większość inwestycji infrastrukturalnych dotyczy sektora zamówień publicznych. Instytucje publiczne należą niestety do organizacji, które

są odporne na wdrażanie nowych technologii i wprowadzania zmian, poprawiających efektywność swego działania. Ważny jest też model realizacji inwestycji. Zdecydowanie łatwiej jest wdrażać BIM w kontraktach typu „zaprojektuj i zbuduj”, gdzie model obiektu stanowi wspólne narzędzie zarówno dla projektanta jak i wykonawcy. Podlega on ciągłym aktualizacjom w trakcie budowy i daje podstawę do rozliczeń z zamawiającym. W takich kontraktach model BIM musiałby stać się również przedmiotem zamówienia.

(3) Znaczenie ma również przekonanie instytucji rządowych, że taką technologię uda się wdrożyć bez działań odgórnych. Tymczasem technologia BIM wymaga ustalenia obowiązujących standardów i wymagań. Nie jest możliwe, aby rynek projektantów i wspomagających ich inżynierów IT mógł rozwiązać wszystkie problemy sam. Na przykład w Wielkiej Brytanii, standaryzacja elektronicznych rysunków CAD (nazewnictwo warstw, użycie kolorów itp.) została usystematyzowana odpowiednimi normami jeszcze w latach 90. Dzisiaj obserwujemy po prostu naturalny rozwój tych standardów w kierunku BIM. W naszym kraju, oprócz ograniczonych propozycji danych przez kilku niezależnych producentów oprogramowania, nie istnieje żadna standaryzacja w tym zakresie. Polski projektant mógł się zderzyć z tym po wejściu na nasz rynek zachodnich koncernów, które przy projektowaniu i budowie swoich obiektów (sieciowe stacje benzynowe, markety, fabryki), od samego początku narzucały swoje nazewnictwo warstw i organizację całego rysunku CAD.

(4) Do innych trudności opóźniających użycie technologii BIM w projektach infrastrukturalnych należy również wolniejszy rozwój narzędzi BIM w dziedzinie infrastruktury, niż ma to miejsce w projektach kubaturowych. Nie bez znaczenia są trudności związane z różnicami między cechami modeli budynków (projektowanych przez zespoły z wiodącą rolą architektów) i modeli obiektów infrastruktury transportowej, gdzie liderem zespołu jest zwykle inżynier drogowy. Różnice te zestawione zostały w tab. 4.4.1.

Tab. 4.4.1. Różnice w modelach BIM między obiektami kubaturowymi i infrastrukturalnymi (autor: J. Bochatkiewicz)

Rozpatrywany element modelu	BIM w budownictwie kubaturowym	BIM w budownictwie infrastrukturalnym
obiekt w modelu	zwarty i punktowy (do kilkuset metrów)	długi i liniowy (do kilku kilometrów)
teren w modelu	ograniczony do rejonu budynku i jego otoczenia	obejmuje drogę i pas drogowy na długości wielu kilometrów
poziomy obiektu	od kilku do kilkuset kondygnacji	kilka (urządzenia podziemne, powierzchniowe, napowietrzne)
odległości między obiektami	małe lub bardzo małe	duże lub bardzo duże
szczegółowość	bardzo wysoka	wysoka
właściciele obiektu	jeden	jeden lub kilku (zarządcy dróg, sieci)
obiekty dodatkowe	mało	dużo
kolizje z obiektami dodatkowymi	mało	dużo i bardzo dużo
elementy obce	brak (jeden właściciel)	kilka (właściciele sieci)
rozpoznanie uzbrojenia terenu	dobrze	często złe
warunki geodezyjne	jedna działka i uregulowana własność	wiele działek i problem ich własności

(5) Cechą charakterystyczną modeli w infrastrukturze jest ściśle powiązanie technologii BIM z systemami GIS (Geographic Information System). Wynika to z konieczności używania przez projektantów w szerokim zakresie map, a dzisiaj – numerycznych modeli terenu (NMT). Model terenu z istniejącą siecią drogową, urządzeniami podziemnymi, budowlami i właścicielami działek jest modelem bazowym. Służy on do projektowania dla wszystkich branż w nowym układzie drogowym lub torowym, a w szczególności do projektowania trasy i niwelety drogi lub torów, odwodnienia, zieleni, mostów i architektury oraz wszelkich instalacji.

(6) Ważną specyfiką struktur transportowych jest ich lokalizacja przestrzenna i potrzeba zarządzania modelami informacji również jako danymi geograficznymi GIS. W przypadku budownictwa infrastrukturalnego infrastrukturze mówi się głównie o powiązanych ze sobą obiektach liniowych, w przeciwieństwie do kubaturowych konstrukcji naziemnych, w których

występują obiekty punktowe (zlokalizowane głównie w skoncentrowanej przestrzeni o bardziej złożonym układzie wewnętrznym). Ta specyfika związana jest zarówno z narzędziami IT, które są wykorzystywane do przygotowania modeli BIM, jak i urządzeniami i maszynami, które są używane są podczas budowy (przyrządy geodezyjne i maszyny do robót drogowych). Do zarządzania tymi danymi wykorzystywane są systemy informacji geograficznej, które będą musiały mieć jasno określone powiązanie z modelem BIM budowanego obiektu.

(7) Trzeba również zauważyć, że dostępne obecnie narzędzia BIM wciąż mają problemy w zakresie niestandardowej geometrii mostów [55], [56], [57]. Chodzi między innymi o nakładanie się geometrii przęseł zarówno w planie jak i na wysokości w pionie, jako rezultat występowania krzywych przejściowych, spadków i przechyleń oraz poszerzeń czy pogrubień. Problem ten dotyczy szczególnie monolitycznych mostów betonowych. Nie są też rozwiązane problemy modelowania dźwigarów stalowych, które są zakrzywione w planie lub posiadają krzywizny w układzie pionowym. Najbardziej popularne programy CAD, które przecież nie należą do grupy produktów BIM, mogą sobie poradzić z takimi wyzwaniami, ale dzieje się to bez możliwości utrzymania właściwych relacji pomiędzy składowymi elementami w modelu i bez pełnej parametryzacji. Nie wspominając o przechowywaniu dodatkowych informacji i zarządzaniu nimi. Biorąc dodatkowo pod uwagę całą specyfikę budownictwa mostowego i odrębne nazewnictwo, proponuje się wprowadzenie określenia Bridge Information Modeling zamiast Building Information Modeling (lub Management) i stosownych do tego skrótów BrIM zamiast BIM. Takie podejście jest już zresztą zauważalne w wielu innych krajach i literaturze światowej [62], [68].

(8) Wynikająca z BIM umowna wielowymiarowość modeli również odnosić się może do obiektów mostowych. Złożony, wielobranżowy model na poziomie 3D pozwala na wykrywanie błędów i kolizji oraz na współpracę i uzgodnienia między zamawiającymi, projektantami i wykonawcami. Na poziomie 4D i 5D opracowuje się przedmiary, kosztorysy i harmonogramy wymagane w czasie realizacji inwestycji. Poziom 6D służy do aktualizacji modelu i dokumentacji powykonawczej wraz z informacjami o zastosowanych ostatecznie rozwiązaniach geometrycznych i materiałowych. Model na poziomie 6D i 7D może być wykorzystany w systemach gospodarki mostowej. Zawiera on już wszystkie informacje i dane o obiekcie, w tym jego lokalizację i geometrię, zastosowanych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych, zrealizowane harmonogramy robót, odbiory, posiadane atesty i gwarancje, wyniki próbnych obciążeń i testów oraz zalecenia dotyczące przeglądów. W kolejnym punkcie opisano bardziej szczegółowo możliwości wykorzystania metodologii BIM i wielowymiarowych modeli obiektów mostowych z uwzględnieniem ich cyklu życia.

4.5. BIM dla infrastruktury w innych krajach

(1) W innych krajach wdrażanie metodologii BIM w infrastrukturze odbywa się z różną intensywnością i skutecznością. Niewątpliwie można stwierdzić, że liderami są kraje powiązane bezpośrednio z gospodarką Wielkiej Brytanii lub będące z nią w bliskich relacjach. Chodzi tu więc głównie o kraje skandynawskie oraz zamorskie społeczności, jak Singapur i Hongkong. Oprócz tego, wyraźne postępy można zauważyć w takich krajach jak Niemcy, Holandia, Francja oraz Czechy. Nie bez znaczenia są prace nad wdrożeniem BIM w Rosji, która będąc obecnie w branży budowlanej wyjątkowo szybko rozwijającą się gospodarką, również może zacząć traktować pozyskaną wiedzę jako element strategii ekspansji w krajach ościennych. Takie podejście do BIM i wykorzystanie go do tworzenia eksportowych produktów i usług było już akcentowane w Wielkiej Brytanii, gdy trwała dyskusja nad wprowadzeniem w 2016 roku obowiązkowego stosowania BIM (ang. mandatory BIM) w brytyjskich zamówieniach publicznych. Między innymi dlatego, za lidera we wdrażaniu BIM uważa się właśnie Wielką Brytanię. Decyzja ta została poprzedzona wieloletnimi przygotowaniem całego środowiska inżynierskiego oraz pracami instytucji rządowych, które przygotowały podstawy wdrożenia i wszelkie potrzebne standardy w postaci rozporządzeń, norm i wytycznych. Choć pewnie nie wszystko zakończyło się pełnym sukcesem, to branża budowlana Wielkiej Brytanii jest dziś na zupełnie innym poziomie wdrożenia cyfrowych technologii w budownictwie, aniżeli analogiczne sektory gospodarcze krajów kontynentu europejskiego. Poza tym, najszybciej rozwijają się pod tym względem kraje skandynawskie, które szczególnie wyspecjalizowały się w projektach infrastrukturalnych. Na rys. 4.5.1, wedle subiektywnej oceny autora, zilustrowany został poziom implementacji metodologii BIM w wybranych krajach Europy. Jak wcześniej zauważono, w wielu tych państwach zakłada się wykorzystanie swojej przewagi technologicznej, która polegać ma na skutecznym wdrożeniu

metodologii BIM w branży budowlanej na potrzeby późniejszej ekspansji eksportowej usług budowlanych (projektowych, doradczych, wykonawczych, utrzymaniowych). Chodzi głównie o przejmowanie europejskich kontraktów na projektowanie, budowę i utrzymanie obiektów infrastruktury, które w przyszłości będą realizowane już z koniecznością stosowania cyfrowych narzędzi.



Rys. 4.5.1. Subiektywne przedstawienie poziomu implementacji BIM w wybranych krajach Europy

(2) BIM dla infrastruktury najszybciej rozwija się w tych krajach, które jednoznacznie czasowo określiły swoje wymagania w tym zakresie. Chodzi tu np. o Niemcy i Czechy. Zamierzają one wprowadzić obowiązkowy BIM w projektach infrastrukturalnych już w 2020 roku. O ile gospodarka niemiecka może być dla Polski wzorem do naśladowania i ciągłego dostosowywania, to czeska powinna być składową wspólnego i skoordynowanego rozwoju. Tak przynajmniej wynika ze specyfiki i historycznych zaszciości obu sąsiadujących krajów, ale też z procesów integracyjnych w ramach Grupy Wyszehradzkiej. Dlatego warto przyglądnąć się działaniom rządu Republiki Czeskiej [5], [6], [41] oraz czeskiego środowiska inżynierów przy wdrażaniu BIM w inwestycjach infrastrukturalnych. Przede wszystkim koncepcja wdrożenia BIM w publicznych inwestycjach opracowana została na podstawie specjalnej rezolucji rządu w sprawie znaczenia metody BIM dla praktyki budowlanej w Czechach [5]. Czeski rząd wyraził poparcie dla wdrożenia metody BIM biorąc pod uwagę jej wpływ na wzrost gospodarczy i konkurencyjność na europejskim rynku. Odpowiedzialnym za wdrożenie jest czeskie Ministerstwo Przemysłu i Handlu przy wsparciu innych ministerstw. W opracowaniu koncepcji wdrożenia BIM [41] uczestniczyło również Ministerstwo Transportu, Państwowy Fundusz Infrastruktury Transportowej oraz eksperci specjalnie powołanej Rady ds. BIM. Zasadniczym mottem działania czeskiej społeczności w tym zakresie było stwierdzenie, że wprowadzenie metody BIM pozwoli zaoszczędzić na kosztach budowy, przebudowy i eksploatacji obiektów infrastruktury.

Przeprowadzona przez czeskie Ministerstwo Przemysłu i Handlu analiza poziomu zainteresowania i stanu wdrożenia BIM w wybranych krajach Unii Europejskiej (tab. 4.5.1), pokazała dość duże zróżnicowanie w podejściu do tego problemu, które uzależnione jest przede wszystkim od stopnia rozwoju rynku budowlanego danego kraju.

Tab. 4.5.1. Poziom zainteresowania i wdrożenia BIM w wybranych krajach Europy [41]

Kraj	Początki	Rodzaj inwestycji	Komentarz	Wsparcie finansowe
Czechy	2011	budynki	Obowiązkowo w zamówieniach publicznych od 2020 r. Rządowa koncepcja wdrożenia BIM razem z e-administracją.	brak danych
		infrastruktura		
Ministry of Public Works				
Dania	2007	budynki	Obowiązkowo w zamówieniach publicznych powyżej 2,7 mln EUR od 2011 r.	brak danych
		infrastruktura		
Byggeri Informationsteknologi Produktivitet Samarbejde, The Palaces and Properties Agency, The Danish University a Property Agency and Defence Construction Service				
Finlandia	2001	budynki	Koncentruje się na budynkach administracji publicznej i ich zarządzaniu. Obowiązkowe od 2007 r.	brak danych
	2015	infrastruktura	BIM jest częścią planu cyfryzacji transportu w latach 2016-2018. Wymagania nazwane InfraBIM	
Senaatti Properties, Finnish Transport Agency				
Francja	2015	budynki	Prace koncentrują się pokazywaniu dobrych praktyk, a od 2017 również na ocenie pilotażowych projektów.	20 mln EUR przez 3 lata
		infrastruktura		
Plan Transition Numerique dans le Batiment				
Hiszpania	2016	budynki	Opóźnienia w strategii rządowej z 2015. Obowiązkowo dla budynków od 2018 r., a dla infrastruktury od 2019 r.	brak danych
		infrastruktura		
Ministry of Public Works				
Holandia	2010	budynki	Obowiązkowo w zamówieniach publicznych powyżej 10 mln EUR od 2011 r.	brak danych
		infrastruktura		
Dutch Building Information Council (BIR) Central Government Real Estate Agency (Rgd Standard for Building Information Modelling)				
Niemcy	2015	budynki	Główny nacisk na infrastrukturę. W latach 2017–2020 realizowane mają być tylko projekty pilotażowe. Obowiązkowo we wszystkich zamówieniach publicznych od 2020 r.	30 mln EUR na projekty pilotażowe
		infrastruktura		
Platform Digitales Bauen				
Norwegia	2007	budynki	Obowiązkowo w zamówieniach publicznych od 2010 r.	brak danych
		infrastruktura		
Statstbygg, Norwegian Public Roads a National Rail Administration				
Wielka Brytania	2011	budynki	Inicjatywy podejmowanie na szczeblu rządowym. BIM Level 2 jest obowiązkowy od 2016 r. Lata 2017-2020 przeznaczone są na pilotażowe projekty w ramach programu Digital Build Britain. Trwają prace nad BIM Level 3.	brak danych
		infrastruktura		
BIM Task Group, RIBA (Royal Institute of British Architects)				

5. BIM w cyklu życia drogowych obiektów inżynierskich

5.1. Cykle życia obiektów mostowych

(1) Cykl życia obiektu mostowego, to przedział czasu zaczynający się w momencie powstania koncepcji przejścia przez przeszkodę, a dalej obejmujący jego zaprojektowanie, budowę oraz użytkowanie aż do momentu likwidacji (rys. 5.1.1). Obejmuje on cztery zasadnicze fazy [77]:

- a) przygotowawczą (koncepcja, projektowanie),
- b) inwestycyjną (wykonawstwo),
- c) operacyjną (użytkowanie, naprawy, rehabilitacja),
- d) likwidacyjną (wyburzenie i utylizacja).



Rys. 5.1.1. Cykl życia obiektu mostowego [77]

(2) Analiza cyklu życia obiektów mostowych (jak i większości obiektów infrastrukturalnych) pokazuje, że charakteryzują się one pewnymi cechami, do których zaliczyć należy wysokie koszty wstępne, długi czas użytkowania, kosztowność i cykliczność napraw oraz strategiczny charakter budowli. Wciąż niestety, przy minimalizacji kosztów tych inwestycji stosuje się podejście krótkoterminowe, które obejmuje jedynie wydatki związane z budową obiektu. Jednak jak pokazują liczne publikacje i analizy, w przypadku obiektów infrastruktury wydatki te nie uwzględniają późniejszych, wieloletnich i kumulujących się kosztów wynikających z utrzymania i odnawiania zasobów. Biorąc pod uwagę długie okresy użytkowania (w przypadku mostów nawet stuletnie) oraz konieczność ciągłego zapewnienia bezpieczeństwa użytkowników, koszty późniejsze mogą przewyższać wydatki przeznaczone na budowę. Zwłaszcza przy bezkrytycznym obniżaniu kosztów realizacji, polegającym głównie na stosowaniu tańszych materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych. Skutkuje to zwiększonymi wydatkami na utrzymanie i remonty, co często nie jest już analizowane. Dlatego w wielu najbardziej rozwiniętych krajach świata obserwuje się zmianę podejścia do inwestycji w infrastrukturę polegającą na określaniu

opłacalności wariantu inwestycji uwzględniając nie tylko koszty budowy, ale również utrzymania i rozbiórki.

(3) W obecnych metodach przetwarzania i archiwizacji danych związanych z fazą przygotowawczą i wykonawczą, ich żywotność zwykle kończy się na przekazaniu papierowej wersji powykonawczej dokumentacji zbudowanej konstrukcji. Tymczasem dane, o które na każdym etapie uzupełniany jest model BIM, są przeznaczone do dalszego wykorzystania. Również w fazie operacyjnej, a przydatne będą nawet przy wyburzaniu i likwidacji obiektu. Dzięki temu, właściciele i zarządcy mogą intensywnie korzystać z tych danych na potrzeby utrzymania swoich obiektów, oceny i monitorowania ich stanu technicznego, planowania robót utrzymaniowych i naprawczych oraz podejmowania decyzji o modernizacji lub wymianie obiektu. Przy konsekwentnym i prawidłowym stosowaniu metodologii BIM zarządca bardzo szybko może pozyskać potrzebne mu pełne i precyzyjne informacje na temat obiektu lub grupy obiektów. Mogą one zostać wykorzystane nie tylko do optymalizacji działań utrzymaniowych, ale także do planowania kampanii inspekcyjnych i prac remontowych. Jakość tych danych i korzyści z nich będą jeszcze większe, jeśli modele BIM będą na bieżąco uzupełniane np. o wyniki z inspekcji oraz rejestrację zdarzeń i napraw, jak również aktualizowane po zrealizowanych przebudowach i wzmocnieniach.

(4) Przeprowadzona wcześniej analiza LCC (patrz: opracowanie z realizacji pierwszego etapu całego przedmiotu zamówienia zatytułowane Analiza rozwiązań projektowych zawartych w dokumentacjach projektowych dotyczących drogowych obiektów inżynierskich oraz propozycje optymalizacji tych rozwiązań przez zmianę wymagań technicznych) pokazała, że udział kosztów operacyjnych OPEX w całkowitym koszcie obiektu w przypadku mostów, wiaduktów, estakad i kładek wynosi średnio 32%. Stanowią więc one już teraz znaczny udział, a biorąc pod uwagę upływ czasu, będą tylko rosnąć. Jedną z możliwości ich obniżenia jest wdrożenie narzędzi typu asset management (w przypadku obiektów mostowych chodzi o systemy gospodarki mostowej) w powiązaniu z metodologią BIM.

5.2. Planowanie i projektowanie

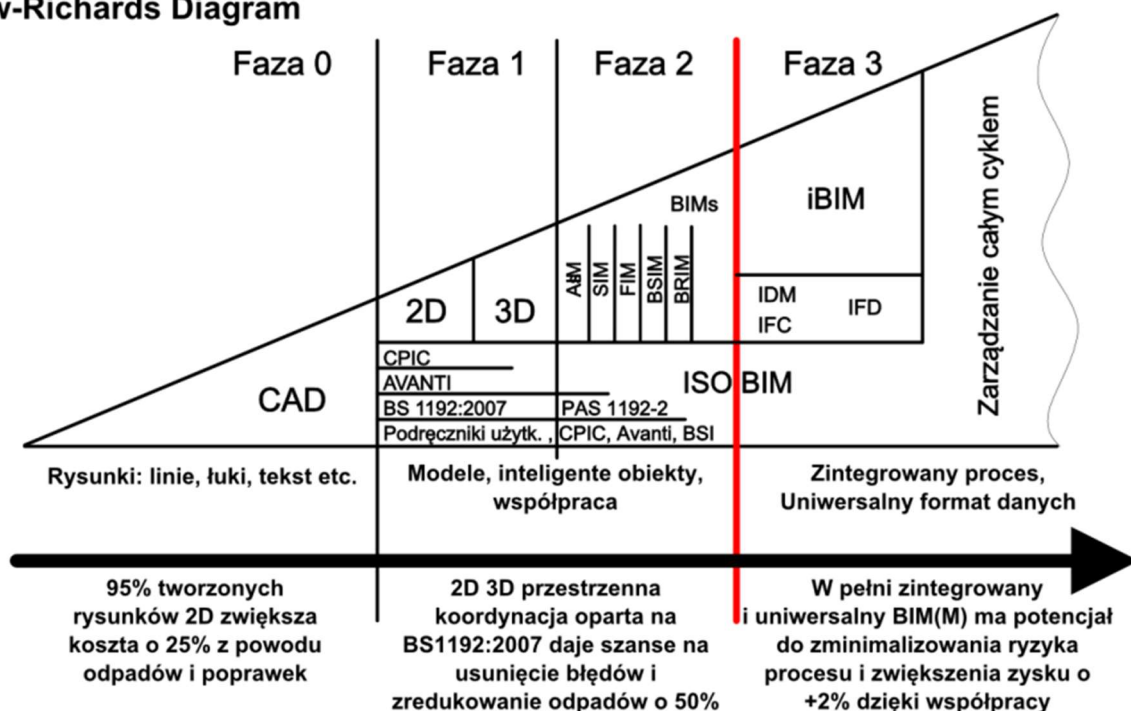
(1) Naturalnym i pierwszym pojawiającym się skojarzeniem ze skrótem BIM jest sytuowanie tej metodyki w zakresie grupy narzędzi wykorzystywanych przez projektantów. Dla wielu jest to niestety wciąż tylko rozwinięcie techniki CAD do przestrzeni 3D, co w tym przypadku jest bardzo dużym uproszczeniem, a nawet przejawem braku wiedzy na temat nowych cyfrowych technologii w budownictwie i nowoczesnego podejścia do procesów inwestycyjnych. Wynika to między innymi z faktu, że kilkadziesiąt lat temu nastąpiło zupełne, i do dziś trwające oddzielenie się poszczególnych uczestników procesu budowlanego. W średniowieczu, to mistrzowie budowlani odpowiadali za całe przedsięwzięcia będąc jednocześnie projektantem architektury i konstrukcji, ale również wykonawcą zasadniczych prac budowlanych. Zamawiający oczekiwał od takiego mistrza kompleksowego rozwiązania problemu. W okresie oświecenia utrwalił się do dziś obowiązujący podział obowiązków, w którym projektant (architekt) działa już niezależnie od tzw. generalnego wykonawcy. Niestety podział ten zaczął tworzyć coraz większe bariery pomiędzy projektantami, wykonawcami a zamawiającymi. Zaczęli oni różnie rozumieć pierwotny cel inwestycji jakim jest zbudowanie jak najlepszej budowli. Z pewnością nie ma już możliwości powrotu do średniowiecznych metod, ale rozwój technologii BIM, a w zwłaszcza związana z BIM idea zintegrowanego procesu inwestycyjnego (ang. Integrated Project Delivery IPD) [39] jest pewną szansą na poprawę tych relacji i sprawne prowadzenie inwestycji. Niewątpliwie jednak narzędzia i metodyka BIM, to jest efekt ewolucji systemów CAD (ang. Computer Aided Designing), czyli komputerowego wspomaganie projektowania.

(2) Pierwsze komercyjne programy CAD powstały na przełomie lat 50. i 60. dwudziestego wieku. Służyły one jedynie do rysowania prostych szkiców 2D. Aplikacje te tworzone były na bieżące potrzeby przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego, a miały za zadanie jedynie uprościć powtarzające się czynności wykonywane przez kreślarzy. W latach 70. zaczęto coraz częściej wprowadzać do tych produktów trzeci wymiar i opracowano teoretyczne podstawy wykorzystania krzywych typu B-Spline do modelowania przestrzennych obiektów. Jeśli chodzi o sprzęt komputerowy, to należy zaznaczyć, że do czasu eksplozji komputerów typu PC, oprogramowanie CAD pracowało jedynie na kosztownych i wymagających systemach komputerowych typu Unix, co sprawiało, że nie było szans na szersze rozpowszechnienie tej technologii. W latach 80. razem z wprowadzeniem na rynek komputerów PC do programów CAD

dodano funkcje modelowania bryłowego oraz unowocześniono interfejs użytkownika. Zaczęło się wówczas powszechne wdrażanie programów CAD w biurach projektowych również branży budowlanej. Bardzo długo programy CAD wykorzystywane były przez konstruktorów i architektów właściwie tylko jako rodzaj elektronicznej deski kreślarskiej. Choć wielokrotnie droższa, to niewątpliwie zajmowała znacznie mniej miejsca w biurze, a do tego poprawiała jakość przygotowywanej dokumentacji. Po skutecznym wdrożeniu, programy CAD doprowadziły również do przyspieszenia prac projektowych, choć na efekty tego trzeba było nieraz długo czekać. Wciąż jednak były to rysunki 2D, w których jedynie szukano sposobów na prezentację niegraficznych właściwości rysowanych elementów budowlanych. Ani wykorzystywany sprzęt, ani stosowane interfejsy programów CAD nie sprzyjały używaniu narzędzi 3D. Priorytetem było uzyskanie płaskiej, monochromatycznej i wciąż papierowej dokumentacji. Trzeci wymiar, jeśli był wykorzystywany, to najczęściej tylko do tworzenia wizualizacji i atrakcyjnych prezentacji lub animacji.

(3) W wielu publikacjach bardzo często pojawia się widoczny na rys. 5.2.1 diagram pokazujący ewolucję systemów CAD w kierunku technologii BIM. Opisany powyżej etap można umieścić w rejonie fazy nr 1. Należy przy tej okazji zwrócić uwagę, że w licznych krajach – nawet już na tym pierwszym etapie rozwoju – wdrażaniu elektronicznych technologii do projektowania towarzyszyła standaryzacja, która regulowała organizację i zapis elementów rysunku CAD. Dziś została w naturalny sposób rozwinięta do potrzeb BIM. Niestety, w naszym kraju nie było w tym zakresie dotychczas jakichkolwiek regulacji.

Bew-Richards Diagram



Rys. 5.2.1. Poziomy dojrzałości BIM i ewolucja systemów CAD w kierunku BIM

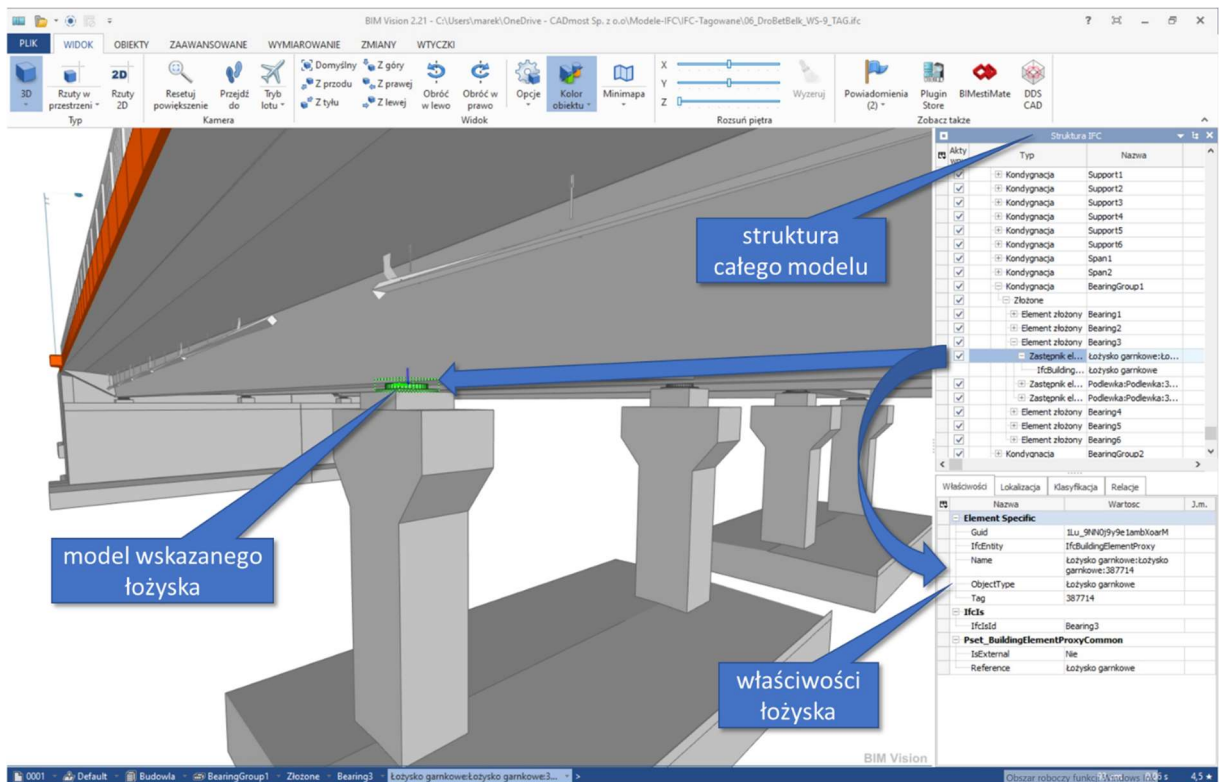
(4) Sytuacja zaczęła się zmieniać, gdy 3D zaczęto wykorzystywać do projektowania coraz bardziej złożonych i wyszukanych form budowli. Podobnie jak w przemyśle maszynowym, okazało się, że narzędzia 2D są już niewystarczające. Szczególnie widoczne to było po pojawieniu się projektowania parametrycznego, które pozwalało na modelowanie bardziej skomplikowanych kształtów, zapamiętywanie historii tworzenia modelu i powtarzalności pewnych sekwencji oraz łatwą edycję przez zmianę dowolnego, zdefiniowanego wcześniej parametru. Od czasu pierwszych, prymitywnych programów 3D korzystanie z trzeciego wymiaru zostało na tyle poprawione, że stosunkowo łatwo można już odwzorować niemal dowolną bryłę budowli, a rzuty i przekroje, które potrzebne są do utworzenia płaskiej dokumentacji papierowej, mogą być generowane prawie automatycznie. Została w ten sposób osiągnięta faza nr 2 na rys. 5.2.1. Osiągnięcie fazy nr 3 jest zadaniem, jakie wyznaczyły sobie niektóre kraje Europy Zachodniej. Niestety w naszym kraju wciąż znajdujemy się pomiędzy fazą nr 1 a 2, w dalszym ciągu nie posiadając jakiegokolwiek standaryzacji w tym zakresie.

(5) Tab. 5.2.1 zawiera krótkie i syntetycznie przedstawione różnice w podejściu do projektowania przy stosowaniu technik CAD oraz metodyki BIM. Zasadniczą nowością i zaletą metodologii BIM w stosunku CAD jest obiektowe podejście do wspomagania procesu projektowego. Dzięki takiemu właśnie podejściu, obiekty wykorzystywane do tworzenia modelu BIM mają do siebie przypisane właściwości, które pozwalają na ich jednoznaczną interpretację. Tworząc np. żelbetowy słup, określamy jego parametry m.in. w postaci kształtu i wymiarów przekroju poprzecznego, wysokości oraz właściwości betonu, z którego będzie wykonany (klasa, faktura itp.). Słup ten musi być powiązany hierarchicznie z innymi elementami nadrzędnymi (np. fundament, dźwigar przęsła) i może zawierać powiązanie z elementami podrzędnymi. Takim elementem może być np. zbrojenie, które po zamodelowaniu, nie może już istnieć samodzielnie i niezależnie od słupa, do którego zostało przypisane. Podejście obiektowe pozwala również na przypisywanie do samych obiektów pewnych metod, które następnie pozwalają na ich modyfikację. I tak np. w przypadku żelbetowego słupa można go przesunąć, wydłużyć, albo nawet zmienić kształt. Jednocześnie, istniejące zbrojenie powinno zostać automatycznie dopasowane do nowej geometrii. Oczywiście zakres dopuszczalnej edycji i reakcja elementów podrzędnych zależy od możliwości narzędzia, w którym model jest tworzony.

Tab. 5.2.1. Porównanie techniki CAD i metodyki BIM

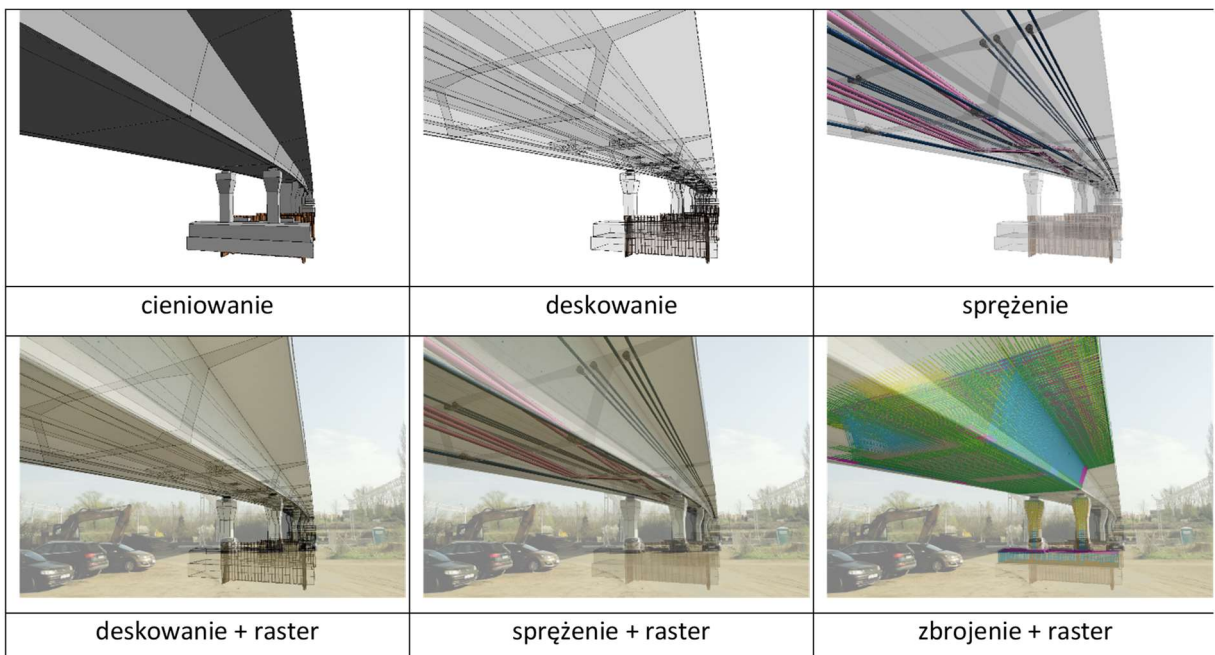
CAD	BIM
Rysunki widoku każdego elementu tworzone są oddzielnie i nie ma między nimi bezpośredniego powiązania. Zmiany w jednym widoku projektant musi ręcznie aktualizować w innych. Edycja i wprowadzanie zmian jest więc długotrwałe i trudne.	Widoki i przekroje generowane są bezpośrednio ze zbudowanego modelu 3D. Utrzymuje się zależność między powstałymi w ten sposób rysunkami (widokami), a zmiany samego modelu aktualizują wygenerowane widoki.
Rysunek składa się z prymitywów rysunkowych typu linie, krzywe, okręgi, teksty, kształty, powierzchnie itd., które mogą być dowolnie interpretowane przez projektanta, a ich przeznaczenie jest tylko umowne.	Model budowli składa się inteligentnych obiektów 3D (rodzin), które już w momencie ich tworzenia mają określoną interpretację i przeznaczenie związane z modelowanym elementem. Może to być belka, słup, fundament, balustrada itp.
Prymitywy rysunkowe otrzymują od projektanta umowne cechy i przeznaczenie. Mogą też być inaczej zinterpretowane przez innych członków zespołu lub uczestników procesu budowlanego (zamawiającego, wykonawcę).	Inteligentne obiekty 3D posiadają właściwości, które są charakterystyczne dla danego, modelowanego elementu. Mogą podlegać edycji wpływając jednocześnie na ich wygląd i relacje z innymi obiektami.
Prymitywy w postaci tekstów lub etykiet są głównymi nośnikami informacji niegraficzne i często nie są powiązane z obiektami graficznymi.	Obiekty w modelu przechowują ze sobą dużą liczbę niegraficznych danych, które mogą być wykorzystywane do generowania opisów, zestawień i analiz.
Informacje związane z procesem budowy można uwzględnić tylko odnotowując zdarzenia w dzienniku budowy, czy w podobnych dokumentach tekstowych, oraz tworząc rysunki do dokumentacji powykonawczej.	Model może odzwierciedlać rzeczywisty obiekt i może być w trakcie budowy na bieżąco modyfikowany, rejestrując jednocześnie historię zmian.
Rysunki są przekazywane od jednej branży do drugiej. Projektanci pracują niezależnie od siebie i nie ma możliwości śledzenia wprowadzanych zmian na bieżąco.	Model BIM jest dostępny dla wszystkich branż od samego początku. Projektanci wspólnie go budują i uzupełniają. Jest możliwość śledzenia zmian i wyszukiwanie kolizji.

(6) Na rys. 5.2.2 pokazany jest fragment modelu wiaduktu z rys. 4.2.1, na którym zaznaczony został jeden z jego elementów, którym jest łożysko na filarze. Obiektowe podejście pozwala na wyświetlenie i modyfikację właściwości wskazanego obiektu. Modyfikacje mogą dotyczyć zarówno danych niegraficznych (etykiety, moment wbudowania, komentarze, rodzaj materiału itp.) jak i parametrów wpływających na geometrię elementu i powiązanie z innymi elementami (kształt, wymiary, lokalizacja itp.).



Rys. 5.2.2. Podgląd struktury modelu BIM z właściwościami wskazanego elementu w postaci łożyska

(7) Wszystkie działania projektanta odbywają się przy określonym sposobie wizualizacji całego modelu. Model można bowiem przedstawiać na różne sposoby i tryby wizualizacji, zmieniając kierunki rzutowania, tworząc przekroje, i selektywnie wyświetlając potrzebne w danym momencie elementy. Widok modelu można również powiązać ze zdjęciem rzeczywistego otoczenia, w którym obiekt będzie lub jest budowany, otrzymując tym samym hybrydowy obraz poszerzonej rzeczywistości AR (rys. 5.2.3).



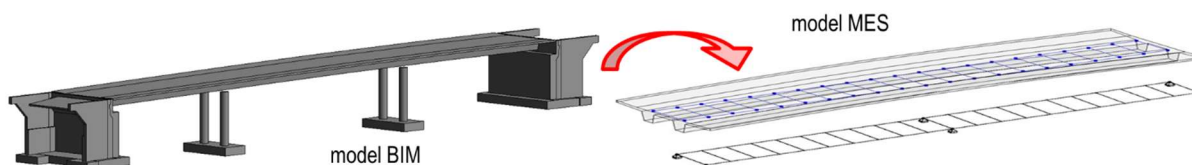
Rys. 5.2.3. Przykład modelu bryłowego wiaduktu betonowego – widok z zewnątrz

(8) W procesie projektowania metodologia BIM daje określone korzyści i może wpływać na jakość i koszty pracy projektantów. Szczególnie jest to zauważalne w wskazanych poniższych obszarach:

- a) praca na precyzyjnych materiałach wyjściowych i podkładach,
- b) prowadzenie różnorodnych analiz i obliczeń,
- c) możliwość porównania i wyboru wariantów,
- d) współpraca międzybranżowa przy projektowaniu,
- e) wyszukiwanie i likwidacja kolizji projektowych,
- f) wizualizacja i symulacja rozwiązań projektowych,
- g) tworzenie lepszej dokumentacji przetargowej,
- h) planowanie obciążenia pracą projektową.

(9) **Praca na precyzyjnych materiałach wyjściowych i podkładach.** Model BIM z założenia wykorzystywany jest jako podstawa do jego przetwarzania w kolejnym etapie pracy nad dokumentacją projektową. Punktem wyjścia są zawsze numeryczne modele terenu (NMT). Charakteryzują się one znacznie lepszym odwzorowaniem terenu, na którym inwestycja jest projektowana, aniżeli papierowe czy nawet skanowane mapy. Tak przygotowane materiały wyjściowe i wszelkie podkłady projektowe, zawierają też większą ilość lepiej przygotowanych danych. Ponieważ model planowanego obiektu jest w procesie projektowania ciągle rozbudowywany, uzupełniany i udoskonalany, to w każdym następnym etapie projektowym można wykorzystywać zgromadzone wcześniej informacje i zmniejszyć w ten sposób obciążenie zespołu. Dotyczy to przede wszystkim ilości i jakości informacji, które zawiera model.

(10) **Prowadzenie różnorodnych analiz i obliczeń.** Modele BIM razem z dedykowanymi narzędziami umożliwiają prowadzenie różnych, złożonych obliczeniowo i nieraz nietypowych analiz. Nie ograniczają się one tylko do powszechnie prowadzonych obliczeń z wykorzystaniem MES, które na razie wykonuje się niezależnymi narzędziami i buduje do tego osobne modele [58]. Obserwuje się coraz większą integrację obu narzędzi, co pozwoli na ściśle powiązanie modelu MES z jego realizacją w środowisku BIM (rys. 5.2.4). Dostęp do wielu danych i właściwości modelu BIM pozwala wprowadzać do użycia w jednym, spójnym środowisku wiele innych typów analizy. Może to być ocena zapotrzebowania energetycznego, tła akustycznego, oświetlenia, klimatu wewnętrznego, śladu węglowego itd.



Rys. 5.2.4. Powiązanie modeli mostów na poziomie BIM i MES

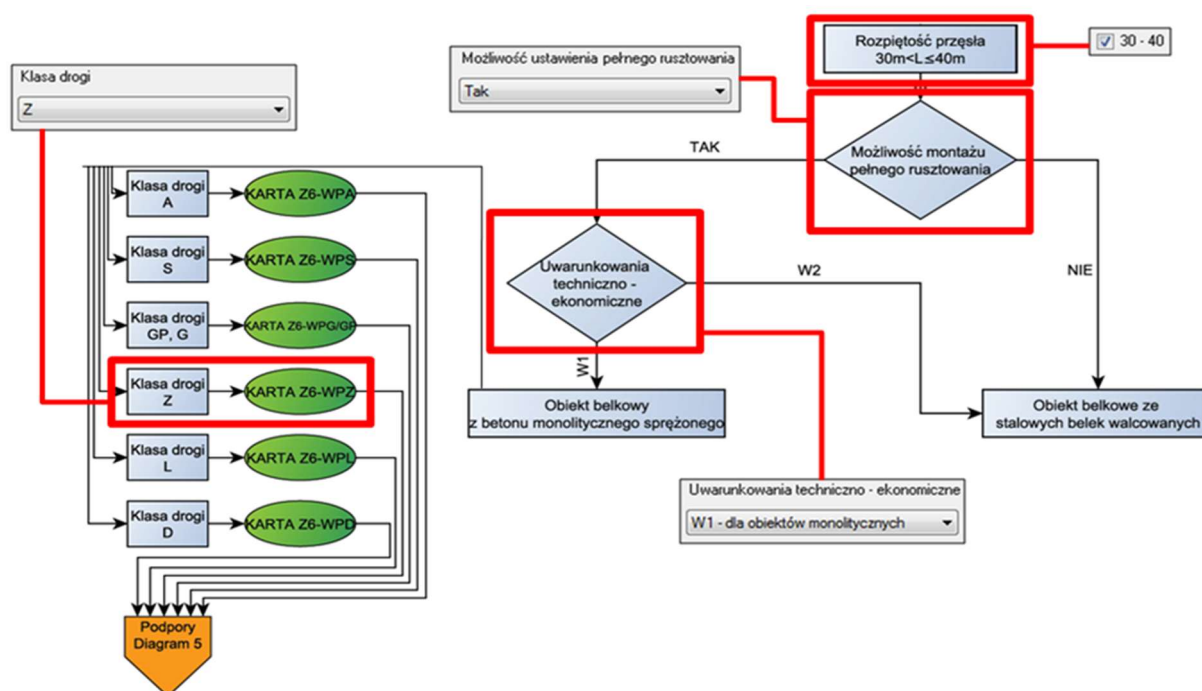
(11) **Możliwość porównania i wyboru wariantów.** Środowisko BIM jest gotowe do równoległego tworzenia wariantów planowanej inwestycji. Pozwala to na wybór optymalnego rozwiązania i porównywanie ze sobą opcji projektowych. Ma to szczególne znaczenie w inwestycjach infrastrukturalnych, gdzie na etapie koncepcji wymaga się przedstawienia i analizę kilku wariantów.

(12) **Współpraca międzybranżowa przy projektowaniu.** Większość dostępnych rozwiązań IT w zakresie BIM pozwala na korzystanie z dostępu do wspólnej pamięci masowej (również w chmurze), co ułatwia współpracę projektantów w realizowanym zadaniu. Ta współpraca dotyczy nie tylko dużych monotematycznych zespołów, które wykorzystują do projektowania to samo narzędzie określonego producenta. Taka wspólna praca nad jednym, centralnym modelem możliwa jest też pomiędzy różnymi branżami. Techniki CAD dotychczas nie gwarantowały takich możliwości.

(13) **Wyszukiwanie i likwidacja kolizji projektowych.** Model BIM obiektu pozwala na użycie algorytmów do wykrywania kolizji projektowych. Mogą to być kolizje geometryczne w ramach jednej branży, ale też braki w koordynacji międzybranżowej. Wcześniejsze wykrywanie tego typu kolizji ma decydujący wpływ na koszty i czas prac projektowych, ale przede wszystkim obniża ryzyko wystąpienia kolizji na etapie budowy, gdy poziom ryzyka i negatywne konsekwencje z tym związane są już znacznie większe.

(14) **Wizualizacja i symulacja rozwiązań projektowych.** Model informacyjny obiektu ze swej natury przechowuje informacje o projektowanym obiekcie w formie graficznej. Na bieżąco może więc realizować jego wizualizację. Taka wizualizacja przynosi zatem uproszczenie orientacji projektowej dla potrzeb samych projektantów, jak i daje możliwość zaangażowania nietechnicznego społeczeństwa w proces projektowania.

(15) **Tworzenie lepszej dokumentacji przetargowej.** Model BIM może być również wykorzystany do utworzenia dokumentacji przetargowej. A to jest szczególnie przydatne w przypadku projektów infrastrukturalnych niemal w całości realizowanych w ramach zamówień publicznych. Taka dokumentacja może być bardziej precyzyjna i lepiej opisywać przedmiot zamówienia. Z kolei oferent, korzystając z modelu i dodatkowych narzędzi, może przygotować wirtualną koncepcję harmonogramu realizacji inwestycji pokazując poszczególne fazy budowy i ewentualne zmiany w organizacji ruchu. Model BIM pozwala również na automatyczne generowanie przedmiarów, które powiązane są z aktualizowanym modelem i harmonogramem. A dodatkowo, z uwagi na fakt, że poszczególne elementy modelu mogą być powiązane z bazą danych cen, potencjalny oferent będzie w stanie szybko uzyskać pełny obraz naliczania kosztów i postępów robót w czasie, zgodnie z oczekiwaniami zamawiającego. Takemu podejściu sprzyjają również ostatnie decyzje i działania Ministerstwa Infrastruktury. Jednym z nich było opracowanie WR-M-21-1 „Katalog typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów. Część 1: Kształtowanie konstrukcji”. Dopiero zawarta w nim parametryzacja typowych rozwiązań [56] pozwala na właściwe użycie współczesnych narzędzi cyfrowych do automatycznego generowania modeli BIM i MES [58] obiektów mostowych (rys. 5.2.5) – właśnie na potrzeby szybkiego tworzenia dokumentacji przetargowych [63].



Rys. 5.2.5. Automatyczne generowanie modeli BIM i MES [63] na podstawie WR-M-21-1.

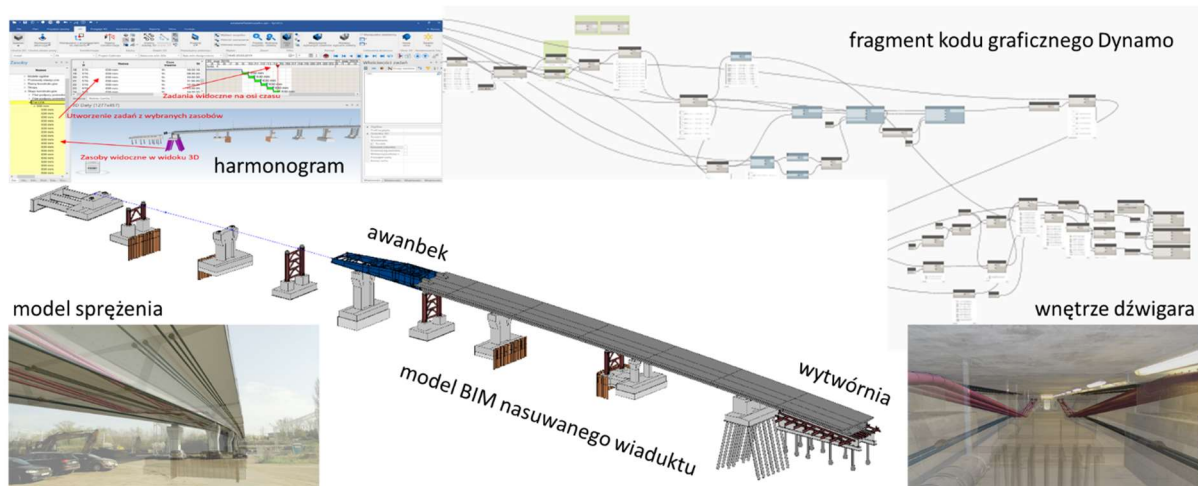
(16) **Planowanie obciążenia pracą projektową.** Kierownicy projektów i pracowni projektowych mają bezpośredni podgląd postępów prac nad modelem. Można w ten sposób lepiej planować i rozdzielać obciążenia pracą projektową w swoich zespołach.

5.3. Realizacja i prowadzenie budowy

(1) Proces budowlany, zwłaszcza w kluczowej fazie realizacji prac budowlanych, należy do jednych z najbardziej złożonych procesów w przemyśle i przedsiębiorstwach gospodarczych. Wynika to z dużej skali, stopnia skomplikowania i zróżnicowania obiektów budowlanych. W stosunku do innych produktów, jakie opuszczają coraz bardziej zautomatyzowane fabryki różnice dotyczą skali przedsięwzięć, rozmiarów gabarytowych, różnorodności materiałów, czasu

przygotowania i wytworzenia, technologii montażu, zaangażowaniu surowców i środków, czy wpływu na otoczenie i społeczeństwo. Specyfiką jest też konieczność udziału wielu interesariuszy i uczestników procesu. W procesie budowlanym zawsze będzie występował co najmniej zamawiający, projektant, wykonawca i nadzór. Ale w przypadku inwestycji infrastrukturalnych, każdy z nich może mieć swoich reprezentantów oraz nieraz liczne zespoły z podwykonawcami i dostawcami. Odpowiadają oni za poszczególne zadania całego procesu i jednocześnie wzajemnie są od siebie uzależnieni. Swoje postanowienia i decyzje artykułują w postaci licznych dokumentów budowy, na które składają się m.in. projekty technologiczne, rysunki zamienne, specyfikacje, aprobaty, certyfikaty, dokumenty z odbiorów, polecenia, uzgodnienia, czy programy zapewnienia jakości i bezpieczeństwa na budowie. Dotychczas obieg tej dokumentacji pomiędzy uczestnikami procesu budowlanego odbywał się za pośrednictwem klasycznej poczty papierowej lub coraz częściej poczty elektronicznej. Jednak w obu przypadkach trudno jest zapewnić wszystkim łatwy dostęp do archiwizowanych dokumentów i śledzić ich aktualność.

(2) Korzyść jaką daje w tym przypadku metodologia BIM, to koncentracja wszystkich danych projektu w jednym wspólnym środowisku danych (CDE) [50] i z jednym modelem BIM. Dostęp do tych danych mają wszyscy interesariusze i uczestnicy procesu. BIM daje też realną okazję do skutecznego włączenia kosztorysantów w proces przygotowania i prowadzenia budowy. I to od samego początku. Dokładność analiz finansowych i harmonogramów zależy oczywiście od fazy realizacji projektu. Ale sukcesywne udostępnianie informacji w CDE i aktualizacja modelu BIM wraz z postępem robót, pozwoli na stopniowe doskonalenie zarządzania budową oraz na przejrzystą archiwizację całego procesu. Aby w pełni wykorzystać potencjał przechowywanych w modelu BIM informacji, mogą być potrzebne dodatkowe narzędzia w postaci wtyczek do programów używanych przez projektantów lub specjalistyczne aplikacje, które wykorzystują dane przechowywane w otwartym formacie IFC. Najważniejszym jest zbudowanie pełnej listy pozycji kosztorysowych (przedmiaru), która opisywać będzie cały projekt w sposób elektroniczny i w ścisłym powiązaniu z modelem BIM. Każda pozycja musi być wyraźnie zidentyfikowana i jej wartość musi wynikać z geometrii oraz właściwości przypisanych do poszczególnych elementów modelu BIM.

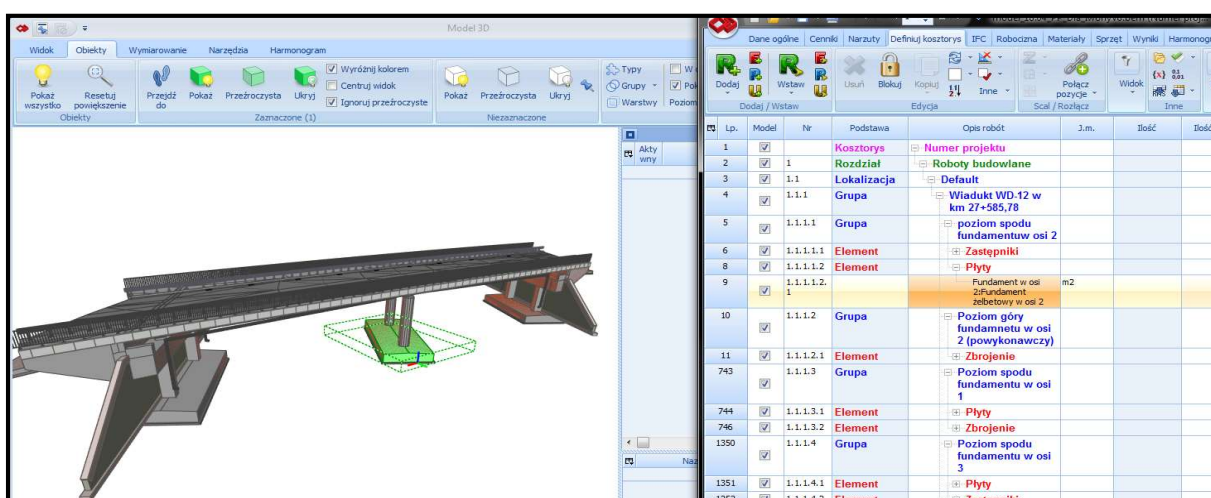


Rys. 5.3.1. Parametryzacja wiaduktu nasuwanego podłużnie z przedmiarem i harmonogramem [69]

(3) W przypadku mostów duże znaczenie będzie miało uwzględnienie technologii wykonania. Wiele pozycji kosztorysowych wynikać bowiem będzie nie tylko z docelowego modelu przygotowanego przez projektanta. W przypadku współczesnych metod budowy mostów, jak nasuwanie podłużne, betonowanie nawisowe, montaż wspornikowy, czy „przęsło po przęśle” budowane są przecież różne tymczasowe konstrukcje, jak podpory montażowe, maszty, odciąg, kotwienia itp. Wykorzystywane są również specjalistyczne urządzenia technologiczne (awanbek, wózki rusztowaniowe, dźwigary deskowaniowe, prasy i podnośniki hydrauliczne itp.). Zatem, aby model był skuteczny przy tworzeniu powiązanych z nim kosztorysów i harmonogramów, musi uwzględniać fazy budowy i potrzebne w nich elementy technologiczne. I do tego z możliwością ich czasowego wykorzystania oraz przenoszenia. Na rys. 5.3.1 pokazany jest przykład parametryzacji wiaduktu drogowego, który wykonany został w technologii nasuwania

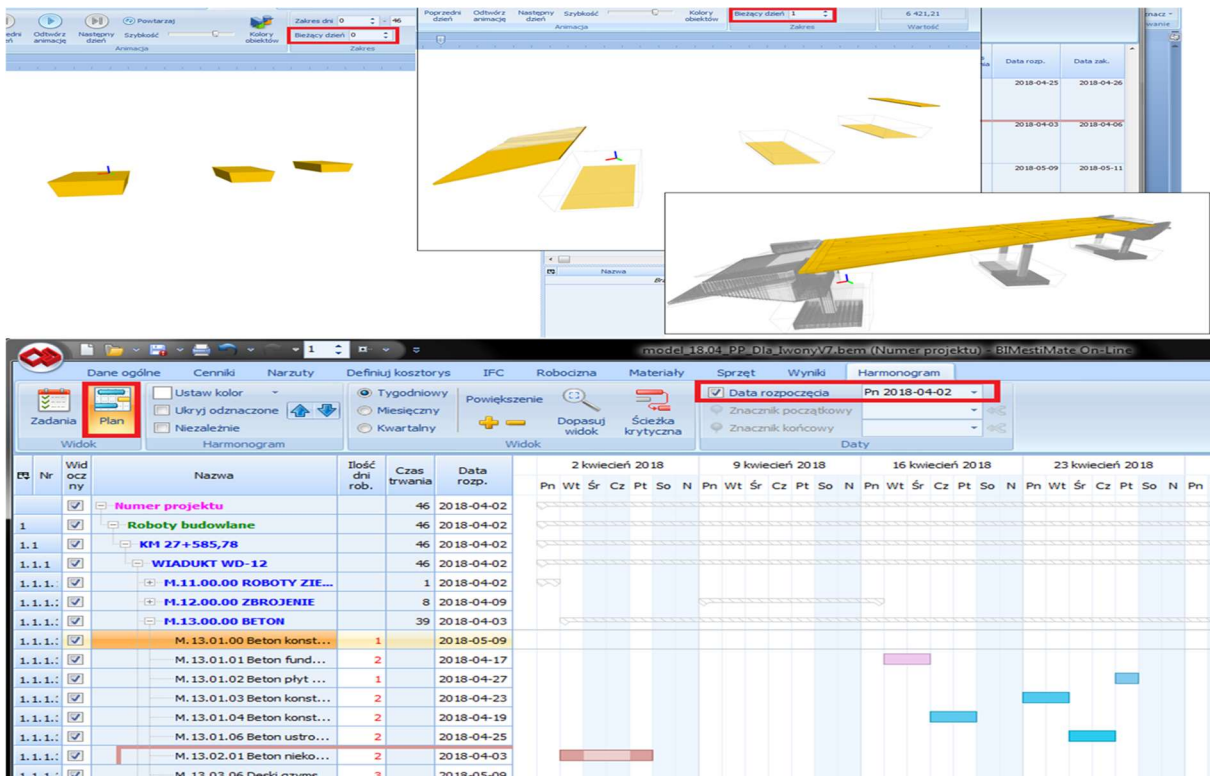
podłużnego. W modelu BIM uwzględniono wszystkie potrzebne elementy technologiczne, jak wytwórnia, awanbek, podpory montażowe, łożyska ślizgowe, urządzenia do wysuwania. Zasyulowano również iteracyjny proces betonowania i wysuwania kolejnych segmentów wiaduktu. Na tej podstawie wygenerowany został przedmiar i kosztorys powiązany ze zmieniającym się w czasie budowy modelem. Zadanie zrealizowano zostało w ramach prac dyplomowych studentów Politechniki Śląskiej (Sandra Bienia i Dawid Brzezowski) i zaprezentowane na Konferencji Mostowców infraMOST [69].

(4) Połączenie narzędzi do kosztorysowania z modelami BIM pozwoli zwiększyć ich precyzję, a przede wszystkim umożliwi automatyczne wykrywanie i przesyłanie zmian w przedmiarach do innych uczestników procesu. Dotyczy to zarówno użycia poszczególnych materiałów i elementów, jak i wykrycia elementów dodanych lub usuniętych z modelu. Wszelkie sprawdzenia niespójności danych będzie w ten sposób znacznie bardziej skuteczne, a zarządzanie zmianami bardziej przejrzyste i dostępne dla innych (rys. 5.3.2). Tworząc znormalizowaną i w miarę możliwości, prostą metodologię kosztorysowania z użyciem zestandaryzowanych modeli BIM, można znacznie podnieść jakość wycen i skrócić czas ich przygotowania. W skali globalnej może to przynieść branży budowlanej znaczne oszczędności finansowe wynikające z większej wydajności pracy, przyspieszenia procesu i ograniczeniu wpływ ludzkich błędów [53].



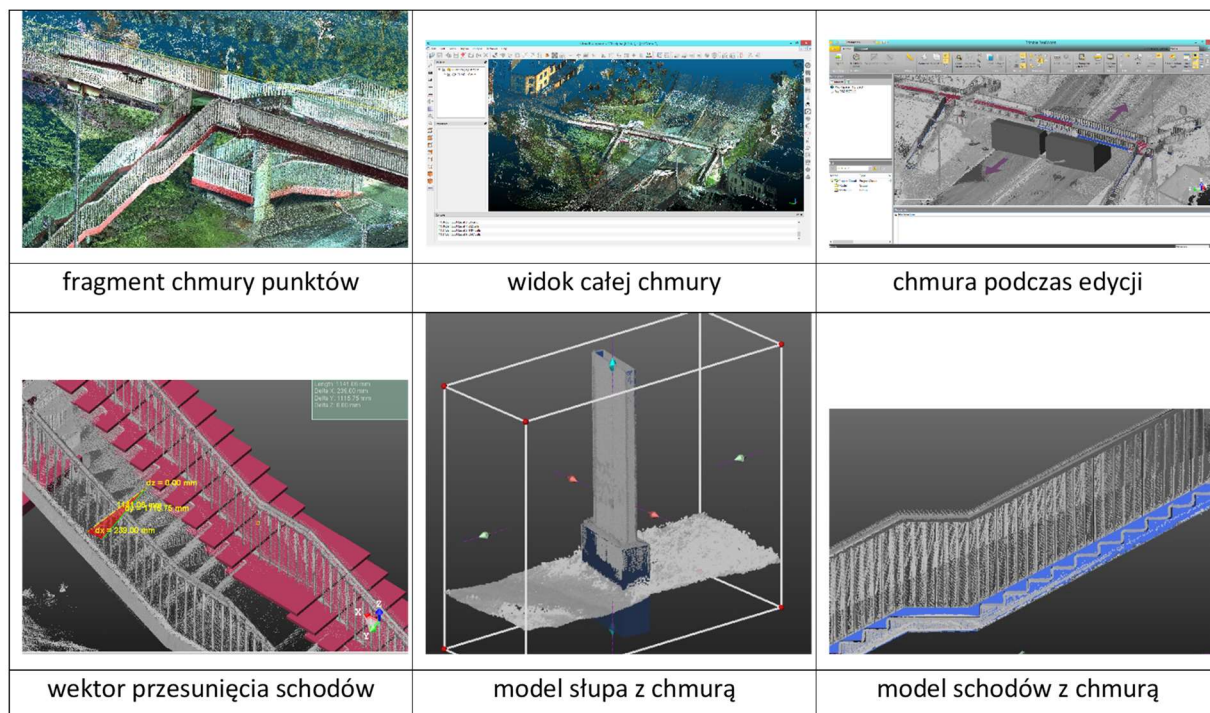
Rys. 5.3.2. Powiązanie przedmiaru z modelem BIM wiaduktu nad autostradą

(5) Wykorzystanie metodologii BIM do planowania i śledzenia postępów robót budowlanych oznaczane jest symboliczny sposób jako BIM 4D. Jest to wzajemne połączenie poszczególnych elementów modelu z harmonogramem budowy. Najczęściej tworzą go specjalistyczne narzędzia, które mogą być wtyczką do narzędzi BIM lub wykorzystywać dostęp do modelu zapisanego w otwartym formacie IFC (rys. 5.3.3). Takie połączenie umożliwia włączenie do modelu wymiaru czasu oraz modelowanie operacji, robót montażowych i zmian na placu budowy. Model uwzględniający już czas może być wizualizowany na dynamicznym wykresach Gantta, ale również w animacji pozwalającej zweryfikować kompletność i poprawność planowanego procesu. Sprawdzić można wizualnie skuteczność i wykonalność poszczególnych fragmentów konstrukcji, możliwości transportu, organizację ruchu, zagrożenia bezpieczeństwa, stosowanie zabezpieczeń, ryzyko pojawienia się kolizji technologicznych lub opóźnień w budowie. Szczegółowość prezentacji i analizy poszczególnych faz budowy zależy od wybranego elementu modelu i poziomu jego szczegółowości. Model ten powinien odzwierciedlać najważniejsze działania, uwzględniające rzeczywiste wymagania technologiczne konstrukcji. Powinien też zawierać opcje wizualizacji harmonogramu, który również musi być dynamicznie dostosowany do potrzeb kierownictwa budowy.



Rys. 5.3.3. Powiązanie harmonogramu z modelem BIM 4D wiaduku

(6) Dzięki prawidłowemu powiązaniu poszczególnych pozycji w harmonogramie z ich reprezentacją w modelu BIM można łatwo śledzić różnice w założonym i rzeczywistym postępie budowy. Ta funkcja wykorzystuje możliwości niektórych narzędzi do tworzenia planów bazowych, które są umieszczane również w modelu. Model jest wyświetlany w postaci dwóch wirtualnych obrazów, które można porównywać ze sobą wraz z postępem robót budowlanych. W ten sposób można prezentować postępy i ewentualne opóźnienia oraz przewidywać ostateczny czas realizacji projektu. Można go również wykorzystać do identyfikacji procesu (działania), które spowodowało określone opóźnienie, aby odpowiednio wcześniej zareagować.



Rys. 5.3.4. Przykład chmury punktów uzyskanej ze skaningu laserowego mostu dla pieszych

(7) Do śledzenia postępów robót oraz do rejestrowania i archiwizacji robót zanikających można wykorzystać inne technologie i narzędzia, które są coraz bardziej powiązane z metodologią i modelami BIM. Chodzi tutaj przede wszystkim o skanowanie laserowe i fotogrametrię cyfrową z ewentualnym użyciem pojazdów typu UAV (ang. Unmanned Aerial Vehicles), czyli dronów. Monitorowanie placu budowy jest obecnie jednym z najszybciej rozwijających się rynków wykorzystania dronów. W ten sposób wykonywać można pomiary kubatury hałd i nasypów, głębokości wykopów (określać ich względne wysokości), obmiar zabudowanych elementów, postępów prac, zgodności geometrycznej z projektem (z modelem BIM). Na rys. 5.3.4 pokazany został przykład weryfikacji planowanej geometrii mostu dla pieszych z położeniem rzeczywistej konstrukcji, która została przedstawiona w postaci chmury punktów uzyskanej ze skaningu laserowego.

5.4. Zarządzanie i utrzymanie obiektów

(1) Oszczędności i korzyści na etapie zarządzania i utrzymania obiektów mostowych (faza operacyjna cyklu życia mostu) były jednym z głównych powodów, które zwróciły uwagę właścicieli i zarządców infrastruktury na metodologię BIM. Możliwość wykorzystania modeli BIM również w systemach typu asset management sprawiły, że zagadnienie to zaczęto omawiać w szerszym kontekście niż tylko wspomaganie projektowania czy prowadzenia budowy. W wielu opracowaniach podkreśla się, że to właśnie właściciele i zarządcy będą największymi beneficjentami powszechnego wdrożenia metodologii BIM w infrastrukturze [37], [42], [52], [75]. Przemawiają za tym następujące zalety korzystania z informacji przechowywanych wraz z modelem BIM:

- a) model BIM jako graficzna baza wiedzy o obiekcie,
- b) przejrzysty proces zarządzania obiektem,
- c) powiązanie metodologii BIM i Asset Management,
- d) realizacja postulatów idei zrównoważonego rozwoju,
- e) wykorzystanie modeli BIM w planowaniu prac remontowych,
- f) bardziej wiarygodne analizy cyklu życia,
- g) poprawa jakości i skuteczności inspekcji stanu technicznego.

(2) **Model BIM jako graficzna baza wiedzy o obiekcie.** Model BIM może być swoistą graficzną bazą wiedzy o rzeczywistym obiekcie, który reprezentuje. Może stanowić repozytorium przechowujące informacje ewidencyjne, przyjęte założenia i modele stosowane przez projektanta, wszelkie zapisy i wprowadzone zmiany do projektu w okresie prowadzenia budowy, dokumenty odbiorowe, gwarancje, instrukcje. W fazie operacyjnej może być uzupełniany o wyniki inspekcji, rejestrację zdarzeń losowych i stwierdzonych uszkodzeń, ewidencję prowadzonych prac utrzymaniowych, aktualizacje związane z przebudową lub wzmocnieniem. A przy większym poziomie szczegółowości modelu, dane te mogą dotyczyć nawet poszczególnych elementów konstrukcji i wyposażenia mostu (wybranej podpory, łożyska, dźwigara, pomostu, balustrady, chodnika itd.). Informacje te mogą mieć charakter tekstowy, ale dzięki obiektowemu podejściu do narzędzi BIM, mogą być również multimedialne (zdjęcia, szkice, notatki głosowe, video, tablice z wynikami pomiarów itp.).

(3) **Przejrzysty proces zarządzania obiektem.** Proces zarządzania obiektem mostowym może być bardziej przejrzysty. Model BIM umożliwi szybki i wygodny dostęp do przechowywanych informacji z kontrolowanym poziomem dostępu zależnym od pełnionej funkcji i relacji w stosunku do zarządcy. Przy konsekwentnym aktualizowaniu modelu informacje zawsze będą aktualne i prawdziwe. Możliwe jest udostępnianie wiedzy również podmiotom zewnętrznym, które wykonują inspekcje na zasadzie outsourcingu. Rozwój szybkiego Internetu bezprzewodowego umożliwi korzystanie z modelu BIM również w terenie.

(4) **Powiązanie metodologii BIM i Asset Management.** Dane przechowywane w modelach BIM mogą być z powodzeniem wykorzystane w systemach typu Asset Management (systemach gospodarki mostowej – SGM). Ich użycie usprawni planowanie robót utrzymaniowych i remontowych. Podejmowane decyzje utrzymaniowe będą mogły być bardziej optymalne z uwagi na koszty działań utrzymaniowych. Decydenci i interesariusze będą mogli być na bieżąco informowani o podejmowanych działaniach, ich skutkach oraz kosztach. Prezentacja tych danych będzie dla nich czytelna i łatwa do dalszego przetwarzania.

(5) **Realizacja postulatów idei zrównoważonego rozwoju.** Modele BIM mogą być wykorzystywane do analiz i symulacji efektywności energetycznej budynków. W przypadku

obiektów mostowych, które z reguły nie zużywają bezpośrednio energii, analizy takie dotyczyć mogą optymalnego wykorzystania zasobów i środków na potrzeby utrzymania, remontów czy optymalizacji zmian w organizacji ruchu. W ten sposób można minimalizować negatywne wpływy na środowisko i niepotrzebne koszty społeczne. Tym samym realizować postulaty idei zrównoważonego rozwoju.

(6) **Wykorzystanie modeli BIM w planowaniu prac remontowych.** W przypadku podejmowanych działań remontowych lub modernizacyjnych (wzmocnienie, poszerzenie, zwiększenie skrajni), projektant może wykorzystać istniejący już model obiektu bez potrzeby wykonywania szczegółowej inwentaryzacji. Jednocześnie po przeprowadzonych pracach aktualizacja modelu pozwoli na jego dalsze skuteczne użytkowania.

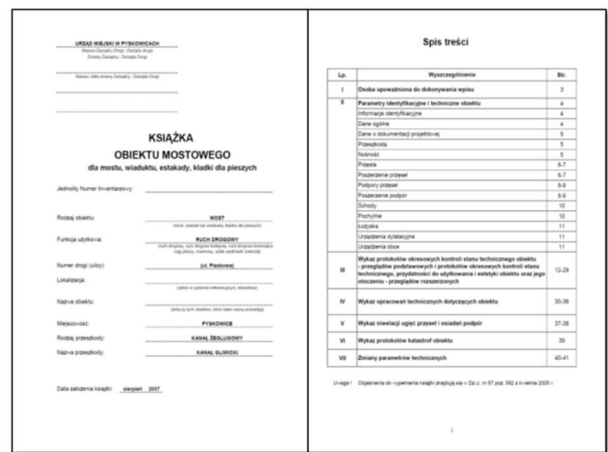
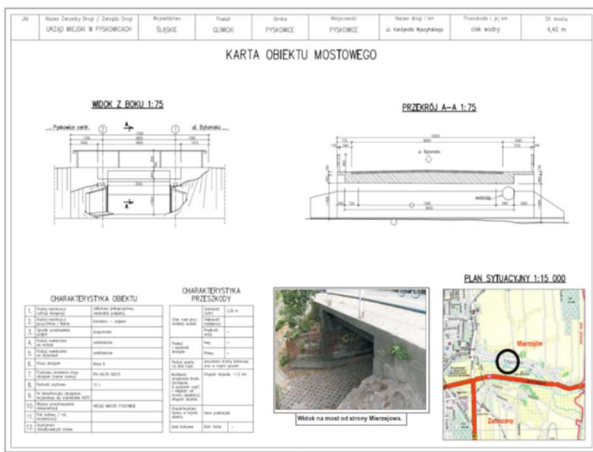
(7) **Bardziej wiarygodne analizy cyklu życia.** Wnioski płynące z analizy zgromadzonych w modelach BIM danych wraz z narzędziami analitycznymi systemów decyzyjnych z grupy Asset Management [30] pozwolą na optymalizację zarządzania cyklem życia każdego obiektu mostowego. I to nie tylko tego, którego analizowane dane akurat dotyczą. Również wszystkich obiektów nowo projektowanych i budowanych w przyszłości. Trzeba jednak mieć świadomość tego, że początkowo wyższe koszty projektowania i budowy mogą przełożyć się na znacznie niższe koszty operacyjne obiektu. Ocena tego możliwa jest jednak tylko z użyciem metodologii LCA oraz zagregowanych w modelach BIM i systemach SGM danych.

(8) **Poprawa jakości i skuteczności inspekcji stanu technicznego.** Aktualnie wśród grupy inżynierów, którzy posiadają uprawnienia do wykonywania inspekcji obiektów infrastruktury, w dalszym ciągu popularne są przestarzałe, tradycyjne metody realizacji przeglądów, które nie przystają do obecnego poziomu rozwoju technologicznego. Wpływa to negatywnie na proces inspekcji. Sam proces staje się nieefektywny, a w przypadku złożonych obiektów zajmuje zbyt wiele czasu. Przy presji kryterium „najniższej ceny”, dążenie do skrócenia czasu inspekcji objawia się przede wszystkim obniżeniem jakości prowadzonej oceny stanu technicznego konstrukcji. W konsekwencji może to doprowadzić do wyciągania fałszywych wniosków na temat rzeczywistego stanu technicznego mostów oraz dużych zaniedbań, których skutkiem może być obniżenie trwałości obiektu, a nawet awarie i katastrofy. Przykładem takich zaniedbań jest katastrofa mostu Morandiego w Genui [47]. Dlatego wdrożenie metodologii BIM w obszarze diagnostyki (inspekcji) obiektów mostowych w fazie operacyjnej pozwoli na poprawę ich jakości i wiarygodności.

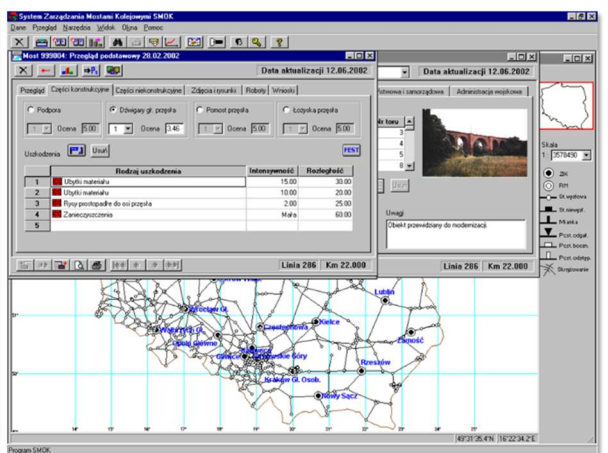
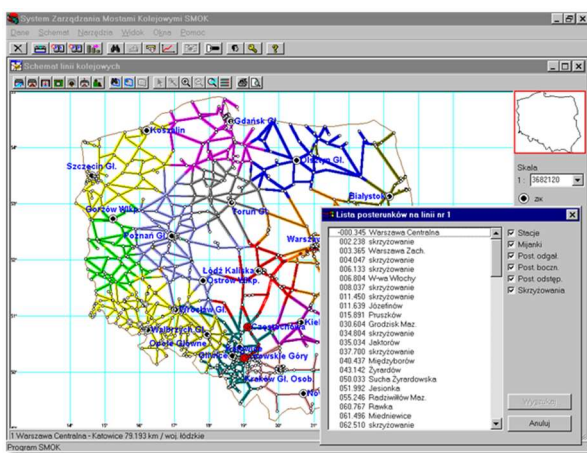
(9) Współcześnie najbardziej zaawansowane systemy gospodarki mostowej (SGM) należą do jednych z najbardziej złożonych w zarządzaniu zasobami. Jednak każdy taki system powinien zawierać co najmniej następujące elementy:

- a) ewidencję mostów w postaci bazy danych,
- b) ocenę stanu technicznego przez systematyczne inspekcje,
- c) modele degradacji i planowania kosztów utrzymania,
- d) modele poprawy stanu obiektu i funkcje aktualizacji modelu,
- e) narzędzia decyzyjne z algorytmami optymalizacji i analizą cyklu życia.

(10) Ewidencja mostów w postaci bazy danych stanowi środek ciężkości każdego systemu SGM. Nie jest to jednak statyczna baza zawierająca rekordy opisujące posiadane zasoby na wzór spisu inwentarza, do którego mógłby wystarczyć nawet zwykły arkusz kalkulacyjny, papierowe karty katalogowe lub książki obiektów, których przykłady pokazano na rys. 5.4.1. Ewidencja powinna być raczej bazą wiedzy o zarządzanych mostach, która sukcesywnie pozyskiwana i uzupełniana jest w wyniku regularnych inspekcji i działań utrzymaniowych. Rekordy z kolejnymi obiektami powinny być przechowywane w rozbudowanych bazach relacyjnych i/lub obiektowych, które pozwalają na identyfikację i lokalizację mostu w przestrzeni i na sieci dróg (rys. 5.4.2). Integralność danych przechowywanych w SGM bezpośrednio związana jest więc z jakością i dokładnością ewidencji. Chodzi tu o sposób rejestracji i wizualizacji danych dotyczących stanu technicznego obiektów, które pozyskane są w trakcie inspekcji. Bez tej odpowiednio zagregowanej wiedzy, ewidencja nie będzie w żaden sposób użyteczna dla całego SGM.



Rys. 5.4.1. Ewidencja mostów w postaci papierowej karty i książki obiektu mostowego zgodna z rozporządzeniem [4]



Rys. 5.4.2. Przykład ewidencji mostów w postaci obiektowej bazy relacyjnej z systemem referencyjnym [47]

(11) Ewidencja powinna zawierać takie podstawowe informacje o obiekcie jak identyfikator mostu, jego lokalizację, historię budowy, funkcję i walory użytkowe, rodzaj konstrukcji i składowe elementy, zastosowane materiały i wyposażenie, podstawowe wymiary itd. Punktem wyjścia jest oczywiście dokumentacja projektowa, wyniki inspekcji i opis działań utrzymaniowych. Tak przygotowana i rozwijana baza wiedzy pozwala, aby decydenci byli jak najlepiej poinformowani o obiektach mostowych, którymi zarządzają. Aby mieli łatwy dostęp do wszelkich danych potrzebnych do podjęcia decyzji utrzymaniowych i remontowych.

(12) Większość stosowanych na świecie metod inspekcji używa przy raportowaniu papierowych list kontrolnych. Takim przykładem jest pokazany na rys. 5.4.3 wzór raportu z przeglądu podstawowego, który wykonywany jest zgodnie z Instrukcją [38]. Ich interpretacja jest bardzo pracochłonna. Istnieje też duże ryzyko związane z subiektywną oceną [46] i podatnością na błędy. Dlatego, aby zrealizować pełne korzyści z inspekcji mostów istnieje potrzeba zautomatyzowania procesu zarządzania danymi. Odpowiedzią tutaj może być integracja SGM z modelami klasy BIM. To środowisko ma przecież trójwymiarową reprezentację ocenianego obiektu. Poza tym, umożliwia integrację danych rejestrowanych podczas inspekcji z uwzględnieniem stwierdzenia samej obecności uszkodzenia. Możliwe jest też określenie rodzaju tego uszkodzenia, jego intensywności, a co najważniejsze – lokalizacji uszkodzenia bezpośrednio na modelu 3D. I do tego, z jednoczesną możliwością oceny zmiany jego stanu i efektów podjętych wcześniej decyzji utrzymaniowych. W każdym kraju istnieją różne rodzaje przeglądów o różnym stopniu szczegółowości. Dlatego model opisujący uszkodzenie również może mieć parametr wskazujący na poziom szczegółowości. Można do tego wykorzystać tzw. Level of Development (LOD) oraz Level of Information (LOI), które towarzyszą modelowaniu BIM i są precyzyjnie opisane w odpowiednich standardach.

Dane identyfikacyjne obiektu					
1. Numer ewidencyjny (JNE):	5. JAD:				
2. Nr drogi:	6. Najbliższa miejscowość:				
3. Kategoria:	7. Rodzaj i natura przeszkody:				
4. Materiał konstrukcji dźwigarów:	8. Długość obiektu:				
STAN TECHNICZNY OBIEKTU			EKSPERTYZA		
Lp.	Element	Kod rodzaju uszkodzenia	Ocena stanu	Tryb wykonania**	Tryb wykonania
1.	Nawypry i skarpki				
2.	Dotyczy w oblicze skrzydeł				
3.	Nawierzchnia jezdni				
4.	Nawierzchnia chodników, krawężniki				
5.	Balustrady, bariery ochronne, osłony				
6.	Belki podłogowe, żyrnowy				
7.	Urządzenia odwadniająco				
8.	Ławki pomostu				
9.	Konstrukcja pomostu				
10.	Konstrukcja dźwigarów głównych				
11.	Ławki				
12.	Urządzenia dyfuzyjne				
13.	Przezoła				
14.	Stopy				
15.	Korytka, przetrzały podkostowa				
16.	Przetruby				
17.	Konstrukcje oporowe, skrzydełka				
18.	Urządzenia ochrony środowiska				
19.	Zalotowania asfaltu				
20.	Ciepła				
21.	Urządzenia oboję				
Stan pomostu:		Ocena stanu obiektu			
Temperatura:		OCENA CAŁEGO OBIEKTU:			
Uszkodzenia a zagrażające bezpieczeństwu ruchu publicznego (opis uszkodzeń):					
Uszkodzenia a zagrażające katastrofom budowlanym (opis uszkodzeń):					
PRZYDATNOŚĆ OBIEKTU DO UŻYTKOWANIA***					
Parametr	Ograniczenie**	Ocena			
1. Bezpieczeństwo ruchu publicznego					
2. Aktywność obiektu					
3. Dopuszczalna prędkość ruchu pojazdów					
4. Szerokość skrajni na obiekcie					
5. Wysokość skrajni na obiekcie					
6. Skrajnia / instalacja pod obiektem					
ESTETYKA OBIEKTU I JEGO OTOCZENIA (opis)***:					
WYKONANIE ZALECEŃ Z POPRZEDNIEGO PRZEGLĄDU:					

WNOSKOWANE ZALECENIA				
Rodzaj zalecenia	Potrzeba wykonania**	Tryb wykonania		
1. Zamknięcie obiektu dla ruchu				
2. Ograniczenie prędkości do [km/h]				
3. Ograniczenie prędkości ruchu do [km/h]				
4. Ograniczenie skrajni pionowej na obiekcie do [cm]				
5. Ograniczenie skrajni pionowej na obiekcie do [cm]				
6. Ograniczenie skrajni pionowej pod obiektami do [cm]				
7. Ograniczenie skrajni pionowej pod obiektami do [cm]				
8. Oznakowanie obiektu				
9. Przeprowadzenie przeglądu rozszerzonego poza planem przeglądu				
10. Przeprowadzenie przeglądu szczegółowego poza planem przeglądu				
11. Wykonanie prac porządkowych				
12. Użytkowanie obiektu na dotychczasowych warunkach**:				
WYKONAWCA PRZEGLĄDU				
Tytuł, imię i nazwisko	Nr uprawnień budowlanych	Podpis	Data przeprowadzenia przeglądu:	
1.				
2.				
DECYZJA / WNIOSEK KIEROWNIKA REJONU DRÓG:				
Data:				
..... pisowni i podpis				
Protokół okresowej kontroli uzgodnili:				
Stanowisko	Tytuł, imię i nazwisko	Data	Podpis	Uwagi
Oddziałowy Inspektor Mostowy				
Naczelnik Wydziału Mostów				
DECYZJA DYREKTORA ODDZIAŁU GDDKiA (wypełnić tylko gdy jest wniosek Kierownika Rejonu Dróg):				
Data:				
..... pisowni i podpis				
Przeegląd podstawowy spełnia wymagania okresowych kontroli, określone w art. 62 ust. 1 pkt 1 i ust. 1a ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. z 2003 r. nr 207, poz. 2016 oraz z 2004 r. nr 6, poz. 41, nr 92, poz. 881, nr 93, poz. 888 i nr 96, poz. 959). Przeegląd rozszerzony spełnia wymagania okresowych kontroli, określone w art. 62 ust. 1 pkt 2 i ust. 1a ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. z 2003 r. nr 207, poz. 2016 oraz z 2004 r. nr 6, poz. 41, nr 92, poz. 881, nr 93, poz. 888 i nr 96, poz. 959).				
Załączniki do protokołu przeglądu rozszerzonego:				
1. Dokumentacja fotograficzna obiektu				
2. Dokumentacja fotograficzna uszkodzeń				
3. Protokół kontroli instalacji elektrycznej*				
4. Protokół kontroli instalacji odgromowej*				
5. Protokół kontroli instalacji wentylacyjnej*				
6. Protokoły kontroli urządzeń obcych: oświetleniowych / gazowych / telekomunikacyjnych / energetycznych / wodociągowych / ciepłowniczych / innych*				
* – nieprzebiegła strażnic, ** – wpisac „tak” lub „nie”, *** – wypełniać w czasie wykonywania przeglądu rozszerzonego				

Rys. 5.4.3. Wzór formularza raportu z przeglądu podstawowego obiektu mostowego zgodna z Instrukcją [38]

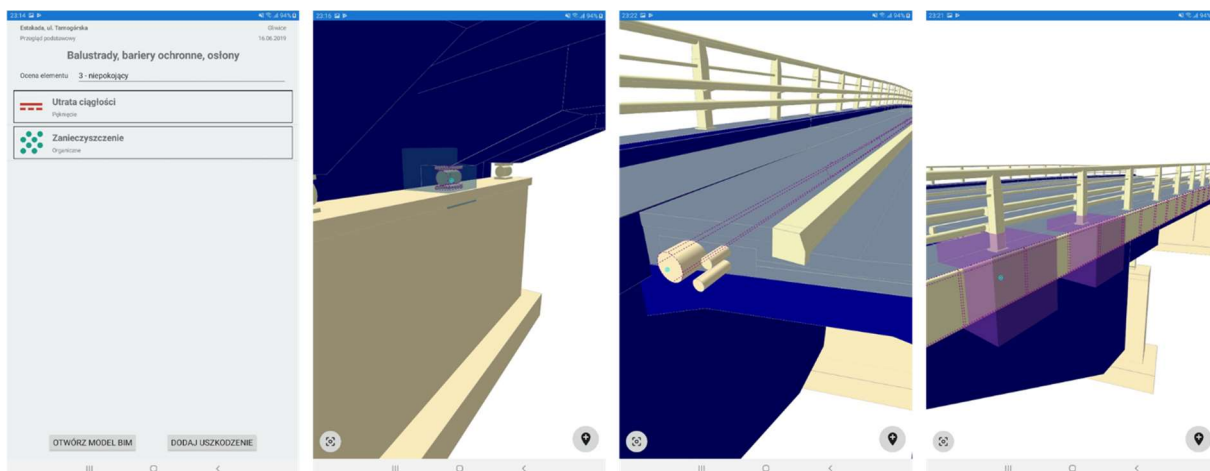
(13) Wprowadzenie metodologii i modeli BIM, w powiązaniu z powszechnie już dostępnymi urządzeniami mobilnymi typu smartfony i tablety, pozwoli osiągnąć pewne zasadnicze poziomy funkcjonalności i innowacyjności [68] tego ważnego dla bezpieczeństwa infrastruktury procesu oceny stanu technicznego. Chodzi o jego cyfryzację i kompleksowość.

(14) Cyfryzacja procesu. Cyfryzacji ulegnie niemal cały proces diagnozowania obiektów mostowych, dzięki czemu nastąpi skrócenie czasu realizacji pojedynczej inspekcji oraz zwiększenie dokładności i jakości wykonywanych kontroli. Pośrednio wpłynie to też na poprawę bezpieczeństwa i stanu technicznego infrastruktury oraz obniżenie kosztów jej utrzymania. Cyfryzacji podlegać musi również proces zarządzania danymi i wspierania optymalnych decyzji, co ma prowadzić do znacznej optymalizacji wyrażającej się m.in. w oszczędnościach i redukcji ryzyka.

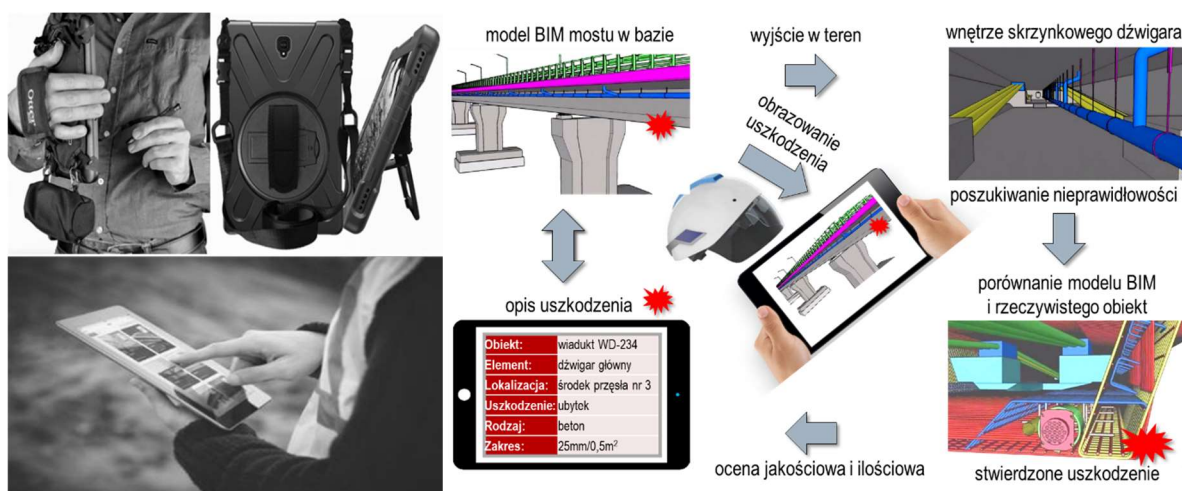
(15) Kompleksowość narzędzi. Kompleksowość będzie polegała na zastosowaniu w ramach jednego urządzenia mobilnego narzędzia służącego do wspomaganie pracy osób wykonujących inspekcje obiektów infrastruktury. Wśród licznych korzyści wynikających z zastosowania kompleksowych narzędzi wymienić można m.in.: unikanie błędów podczas inspekcji, usystematyzowanie opisu jakościowego i ilościowego danego obiektu, zwiększenie obiektywności kontroli. Zwiększy się również ilość i jakość danych gromadzonych w trakcie inspekcji danych.

(16) Przejście na cyfrowe rozwiązania i wykorzystanie metodologii BIM w zarządzaniu i utrzymaniu obiektów mostowych nie może jednak zablokować działania aktualnie stosowanych metod. Dlatego w podstawowej wersji nowych narzędzi powinna być możliwość przeprowadzenia standardowego, wizualnego przeglądu mostu i wygenerowanie klasycznego raportu z inspekcji, który będzie dostosowany do krajowych wymagań. Ilość i forma danych agregowanych w trakcie inspekcji nowymi narzędziami musi być jednak rozszerzona w stosunku do dotychczasowych wymagań i tradycyjnego sposobu raportowania. Dzięki temu narzędzia takie będą gotowe do integracji z nowymi systemami SGM, które będą już zawierały bardziej złożone opisy konstrukcji mostów i modele uszkodzeń. Również z możliwością prezentacji interaktywnych modeli BIM (rys. 5.4.4). Modele BIM, dzięki przechowywaniu z grafiką 3D informacjom, mogą być na urządzeniach mobilnych i stacjonarnych selektywnie wyświetlane i przeglądane. Można do tego wykorzystać proste przyrządy typu smartfon czy tablet,

ewentualnie dodatkowo wyposażone w rysiki lub manipulatory (rys. 5.4.5). Można również użyć znacznie bardziej zaawansowane urządzenia przeznaczone do pracy z poszerzoną rzeczywistością [68]. Są to gogle lub hełmy AR widoczne również na rys. 5.4.5. Interaktywność tych modeli polega na możliwości zaznaczenia na nim stwierdzonego uszkodzenia lub zapoznania się z pełną historią dotyczącą uszkodzonego elementu. Może to być realizowane w sposób opisowy lub multimedialny (np. zdjęcia, szkic, video, notatka głosowa). W ten sposób można wyświetlać wszystkie defekty, które zostały zarejestrowane w modelu podczas wcześniejszych inspekcji. Dzięki temu inspektor będąc na obiekcie może bezpośrednio porównywać aktualny stan techniczny z poprzednimi ocenami i wynikami kontroli.



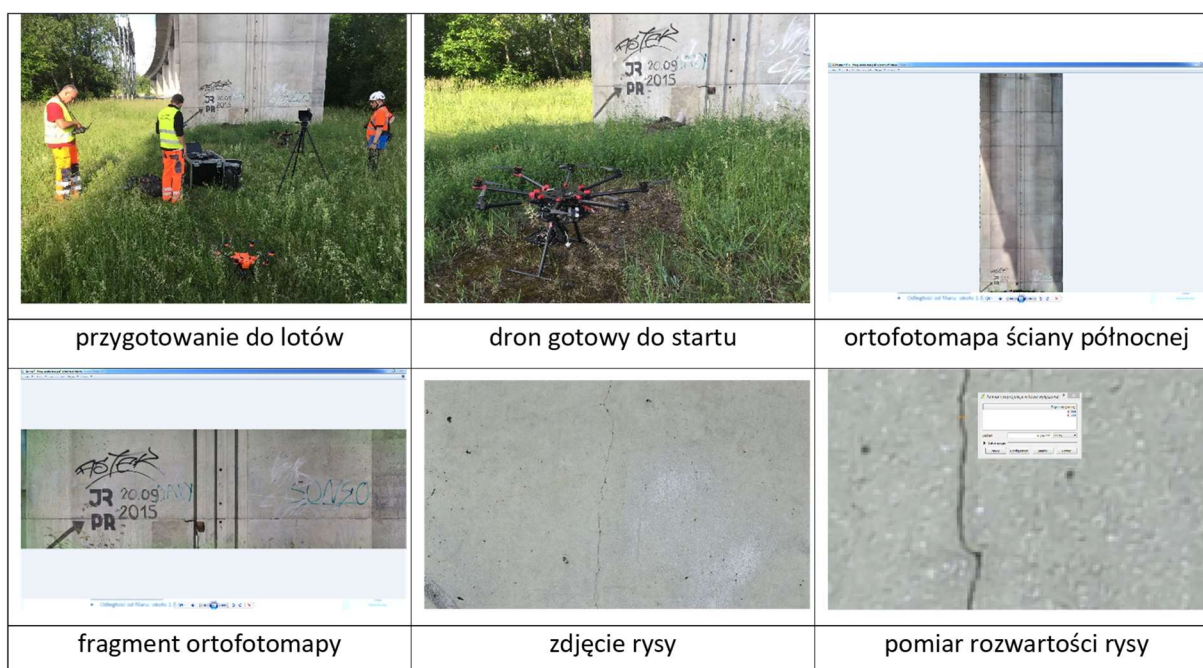
Rys. 5.4.4. Aplikacja na urządzenia mobilne – wizualizacja modelu BIM na smartfonie



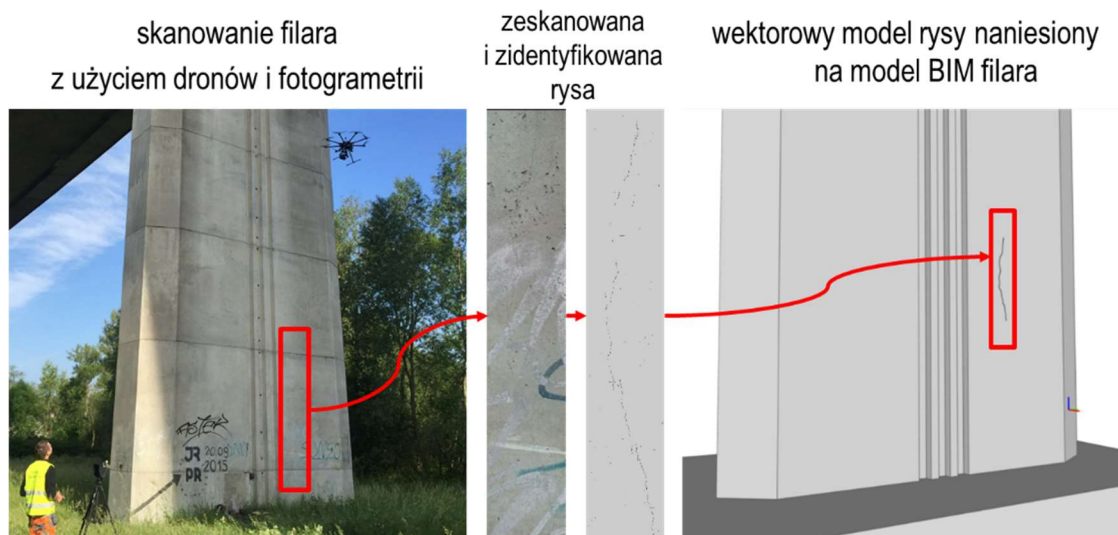
Rys. 5.4.5. Rejestracja stwierdzonego w terenie uszkodzenia w modelu BIM konstrukcji mostu

(17) Proces inspekcji, z użyciem narzędzia potrafiącego wyświetlać interaktywne modele BIM, może przebiegać według następującego scenariusza [70]. Inspektor wyposażony w zaproponowane urządzenia mobilne z technologią AR (rys. 5.4.6) udaje się na most w terenie. Tam, wykonując oględziny konstrukcji, poszukuje ewentualnych nieprawidłowości, porównując na bieżąco wyświetlony na urządzeniu model BIM z rzeczywistym obiektem. Po stwierdzeniu uszkodzenia, dokonuje oceny jakościowej i ilościowej, a następnie archiwizuje powiązane z uszkodzeniem dane wprost w modelu BIM. Na tej podstawie automatycznie tworzony jest multimedialny raport z inspekcji, który razem ze stwierdzonymi uszkodzeniami trafia do bazy administratora obiektu. Od tego momentu opis uszkodzenia przechowywany jest w modelu BIM i może być razem z nim obrazowany również w trakcie kolejnych inspekcji. Oczywiście zawsze istnieje możliwość wygenerowania klasycznego, papierowego raportu. Nawet w obowiązującej obecnie formie [38], jak to pokazano na rys. 5.4.3. Ilość zgromadzonych danych i tak przewyższa potrzeby tego typu formularza.

(18) Opisane powyżej narzędzia i metodologia BIM bardzo dobrze wpisują się w możliwości jakie daje dynamicznie rozwijający się rynek dronów i pojazdów autonomicznych. Zwłaszcza jeśli zostaną one wyposażone w przyrządy pomiarowe z zakresu fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego. Na rys. 5.4.6 został pokazany przykład procesu identyfikacji uszkodzeń na moście granicznym w Cieszynie [69]. Wysoki na 30 m filar mostu został zeskanowany przy użyciu narzędzi do fotogrametrii. Uzyskana w ten sposób chmura punktów posłużyła do utworzenia trójwymiarowego modelu bryłowego podpory. Natomiast występująca rysa została zidentyfikowana przy użyciu algorytmów rozpoznawania obrazów z elementami sztucznej inteligencji oraz zmierzona jej długość i rozwartość. Na koniec, wektorowy model rysy ze wszystkimi powiązanimi danymi został przypisany do modelu BIM filara (rys. 5.4.7). Jest to zupełnie nowy sposób dokumentowania wizualnej inspekcji mostów. Ważne jest też tutaj użycie otwartego formatu zapisu danych IFC, który właśnie ze względu na swoją otwartość i niezależność, ma szansę stać się podstawowym nośnikiem danych dotyczących modeli BIM w instytucjach publicznych. Niezależnie od użycia automatycznych algorytmów do detekcji uszkodzeń, dzięki pozyskanym w inspekcji cyfrowym obrazom i wygenerowanej chmurze punktów, w przyszłości możliwe będzie przeprowadzenie inspekcji korzystając z narzędzi wirtualnej rzeczywistości VR. Takie rozwiązania są również testowane na świecie i w naszym kraju [67], [69].



Rys. 5.4.6. Pozyskiwanie i analiza chmury punktów z fotogrametrii na filarze wysokiego mostu



Rys. 5.4.7. Proces identyfikacji i lokalizacji uszkodzenia na modelu BIM

6. Elementy wdrożenia BIM w mostownictwie

6.1. Wprowadzenie

(1) Projektowanie, budowa i zarządzanie infrastrukturą transportową jest istotną częścią branży budowlanej, która ma również znaczący wpływ na całą gospodarkę. Jednak w porównaniu z innymi sektorami gospodarki (jak choćby z przemysłem) ma wciąż wiele opóźnień i niewykorzystanych możliwości rozwoju. W szczególności dotyczy to obszarów cyfryzacji, automatyzacji i robotyzacji. Stan ten może wynikać z dużego uzależnienia infrastruktury transportowej od lokalnych warunków ukształtowania terenu, wpływów klimatycznych, środowiskowych, operacyjnych jak i samego rodzaju transportu (drogowy, kolejowy, wodny, lotniczy). Takie trudne do przewidzenia wpływy i niepewności nie występują w przypadku planowania produkcji w wyizolowanych od czynników środowiskowych wytwórni produktów i maszyn czy przetwórni żywności. Choć w wielu przypadkach ciężka praca ludzka na budowie została w dużej mierze zastąpiona przez coraz bardziej złożone i sprawne maszyny budowlane (koparki, równiarki, dźwigi, itp.), to wciąż, w porównaniu ze współczesną produkcją przemysłową, brakuje im elementów zaawansowanej automatyzacji, robotyzacji i autonomiczności. Wyściem z tej sytuacji jest zupełnie nowa perspektywa budowy infrastruktury transportowej, która w przyszłości będzie musiała być nastawiona na pojazdy autonomiczne. Musi ona zatem oferować znane i praktycznie sprawdzone w innych dziedzinach gospodarki, metody cyfryzacji procesów. W tym przypadku, procesów budowy i zarządzania infrastrukturą. Podstawą takiego podejścia jest właśnie metodologia BIM. Dobrymi przykładami udanych zmian budownictwa w kierunku jego cyfryzacji jest coraz bardziej powszechna automatyzacja i robotyzacja produkcji konstrukcji stalowych, a także zastosowanie nowych technologii pomiarowych i obliczeniowych w geodezji czy w sterowaniu maszynami do robót ziemnych.

(2) Wdrożenie metody BIM ma podobne znaczenie dla branży budowlanej, jak inicjatywa Przemysł 4.0 dla innych dziedzin przemysłu. Należy zwrócić uwagę, że coraz częściej w publikacjach pojawia się odpowiadające tej inicjatywie hasło Budownictwo 4.0 (ang. Construction 4.0), w którym BIM może być po prostu rozumiany jako „cyfryzacja”. Budownictwo 4.0 było jednym z przewodnich motywów między innymi Europejskiego Kongresu Gospodarczego w Katowicach w 2019 r. Zauważalnych jest wiele podobieństw do rewolucji przemysłowej, która miała miejsce w sektorze produkcyjnym w latach 1980-1990, a która pozwoliła w znaczny stopniu zwiększyć wydajność i jakość. Metodologia BIM, łącząc ze sobą komputerowe modelowanie mostu w wirtualnej przestrzeni 3D z wieloma informacjami o jego konstrukcji i wyposażeniu, pozwala usprawnić koordynację i współpracę uczestników procesu budowlanego oraz podejmowanie decyzji utrzymaniowych. Dla instytucji zamawiających z sektora publicznego oznacza to, że zarówno budowa nowych obiektów jak i zarządzanie nimi, powinny być bardziej wydajne, a związane z tym ryzyko przekroczenia planowanego budżetu lub czasu realizacji powinno być niższe. A wszystko przy większej przejrzystości wykorzystania środków publicznych.

(3) Jednym z pozytywnych skutków, jakie daje wdrożenie technologii BIM jest fakt, że prowadzą one do zmian w myśleniu i postawach poszczególnych uczestników projektu. A w skali międzynarodowej, można zauważyć, że BIM staje się powoli globalnym językiem branży budowlanej. Dzisiaj nie ma już wątpliwości, że metodologia BIM będzie wkrótce powszechnym sposobem realizacji budowlanych inwestycji publicznych na całym świecie. Dlatego, aby utrzymać konkurencyjność polskiego przemysłu budowlanego, należy przygotować się na te nieuniknione przemiany. Wraz z dyrektywą [1] Unia Europejska uznała przydatność narzędzi BIM dla sektora publicznego. Zdaniem decydentów metoda ta pomaga bowiem zwiększyć efektywność wydatków i sprzyja innowacjom. Trzeba jednak mieć świadomość, że zgodnie z ekspertyzą wykonaną w 2016 r. na zlecenie polskiego Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa [33], „obecne regulacje w Polsce nie uniemożliwiają wdrożenia metodyki BIM, jednak system prawny i praktyka stosowania prawa powodują, że w zamówieniach publicznych nie da się uzyskać wszystkich możliwych korzyści, które metodyka ta oferuje.”

(4) W tym kontekście należy stwierdzić, że podejmowane od pewnego czasu w Polsce działania mające na celu propagowanie i wdrażanie metodologii BIM mają zdecydowanie charakter oddolny. Są to przede wszystkim różnego rodzaju lokalne inicjatywy polegające na tworzeniu stowarzyszeń i fundacji promujących metodologię BIM. Towarzyszą temu stosowne szkolenia i wydarzenia w postaci konferencji i warsztatów. Ich zakres, coraz częściej obejmuje nie tylko

narzędzia BIM, które mają raczej komercyjny charakter, ale i samą metodologię BIM. Elementy technologii BIM są też wprowadzane do programów studiów stacjonarnych lub podyplomowych wybranych uczelni. Ponadto, trwają próby uruchomienia pierwszych pilotażowych projektów w infrastrukturze. Wciąż jednak brakuje zdecydowanych działań instytucji rządowych, które dałyby szansę na przyspieszenie przemian i nadrobienie zaległości w stosunku do innych krajów, szczególnie w zakresie standaryzacji.

(5) Na podstawie dotychczasowych posunięć i szerzenia wiedzy na temat BIM widać, że bliżej jest nam na razie do strategii wdrażania tzw. podręcznikowego niż mandatowego [61]. W tej pierwszej, na różnych szczeblach administracji publikuje się podręczniki, przewodniki, wymagania, zalecenia itp. (jak np. różnorodne BIM Manuals w USA). Są one potem dołączane jako składowa dokumentacji przetargowej, regulując procesy BIM już po zawarciu kontraktu. Podejście mandatowe (jak np. w Wielkiej Brytanii) wymaga całościowej wizji strategicznego wdrożenia przez rząd metodologii BIM w systemie zamówień publicznych. Funkcjonują wówczas jednolite zasady prowadzenia procesów BIM i są one obowiązkowe. Do tego potrzebna jest jednak odpowiednia legislacja i standaryzacja. Zagraniczne przykłady strategii podręcznikowej, to m.in. USA i w początkowej fazie kraje skandynawskie, a zwłaszcza Finlandia. Natomiast podejście mandatowe funkcjonuje już w krajach skandynawskich (Dania, Finlandia, Norwegia). Jednak najbardziej dojrzała wersja została zrealizowana w Wielkiej Brytanii, dlatego korzystając z brytyjskich doświadczeń, analogiczne rozwiązania planuje przyjąć kilka innych rządów, m.in. Austrii, Czech, Niemiec, Francji, czy Rosji. Należy przy tym zaznaczyć, że w przypadku tak dużego kraju jak USA, strategia podręcznikowa nie do końca się sprawdziła. Powstało bowiem wiele niespójnych dokumentów i standardów [34], [35], [36], [43], co spowodowało pewien chaos, zwłaszcza w porównaniu z sytuacją jaka obecnie jest w Wielkiej Brytanii. Planując strategię wdrożenia BIM w Polsce najlepiej byłoby oprzeć się na rozwiązaniach, które pozwolą wypracować jednolite, spójne z europejskimi, standardy. A takimi zdecydowanie są regulacje wynikające z brytyjskich doświadczeń. Więcej na temat doświadczeń zagranicznych można przeczytać w podrozdziałach 4.1 i 4.5.

(6) Doświadczenia zagraniczne pokazały, że do skutecznego uruchomienia procesu wdrażania metodologii BIM w zamówieniach publicznych potrzebne jest jednak nałożenie obowiązku stosowania BIM od określonej daty (z uwzględnieniem kilkuletniego okresu przygotowań), czyli podejście mandatowe. Taka decyzja będzie wyraźną zachętą skierowaną do wszystkich instytucji i podmiotów, które chcą zacząć stosować innowacyjne rozwiązania w budownictwie i mają coś do zaoferowania dla tej branży. Byłby to najlepszy impuls uruchamiający cały proces przygotowawczy do cyfryzacji branży budowlanej. Przed podaniem dat należy przygotować szczegółowy plan, określić odpowiedzialne za to instytucje oraz przewidzieć stosowne środki i instrumenty finansowe. Uwzględnić przy tym należy różnice w poszczególnych rodzajach budownictwa (kubaturowe i liniowe, mieszkaniowe i infrastrukturalne itd.). Obowiązkowość stosowania BIM może być uzależniona np. od planowanej wartości inwestycji. Można zaproponować pewne progi, które byłyby w czasie elastycznie zmieniane i dostosowane do rodzaju zamówienia (na dokumentację projektową, na roboty budowlane, na usługi utrzymaniowe itp.).

6.2. Zasadnicze elementy wdrożenia technologii BIM w mostownictwie

6.2.1. Wprowadzenie

(1) Przy wdrażaniu technologii BIM w polskim mostownictwie przede wszystkim należy wykorzystać doświadczenia innych krajów, które mają już w tym zakresie większe doświadczenie. Chodzi tu jednak nie tylko o wykorzystanie modeli BIM na etapie projektowania czy budowy obiektów mostowych. Z punktu widzenia właścicieli tych obiektów najważniejszy bowiem będzie długotrwały etap utrzymania, czyli faza operacyjna całego cyklu życia mostu. Dlatego przy tworzeniu jakichkolwiek programów implementacji technologii BIM w polskim mostownictwie należy opracować strategię ich wdrażania z uwzględnieniem zarówno strony formalnej, jak i praktycznej. Jej elementami powinna być m.in. ocena stanu istniejącego w zakresie realizacji inwestycji mostowych, propozycje działań krótko i długofalowych, propozycje działań edukacyjnych i certyfikacji oraz przede wszystkim określenie celów, jakie ustawodawca chciałby osiągnąć dzięki metodologii BIM. Cele te powinny dotyczyć

poszczególnych uczestników procesu inwestycyjnego, czyli zamawiających, projektantów, wykonawców, dostawców i konsultantów.

(2) Wdrożenie jakiegokolwiek metodologii, a zwłaszcza narzędzi cyfrowych, do których zalicza się BIM, nie może naruszać interesów publicznych ani bezpieczeństwa, tu transportu. Należy zatem zadbać o spójność legislacyjną tworzonych dokumentów oraz o przejrzystość i możliwość kontroli wydatkowanych środków. Proces wdrażania BIM odbywał się będzie na pewno przy użytkowaniu całej krajowej sieci drogowej, więc nie może zmieniać jej istotnych dla funkcjonowania parametrów, niezawodności, trwałości, bezpieczeństwa i ochrony danych. Jedyną możliwością zapewnienia tego jest opracowanie narodowej koncepcji cyfryzacji rynku infrastruktury i to nie tylko w obszarze obiektów inżynierskich, czy nawet sieci dr, ale wszystkich rodzajów infrastruktury, a zwłaszcza infrastruktury krytycznej (np. portów, lotnisk, sieci elektroenergetycznych i gazowych itp.).

6.2.2. Powołanie grupy roboczej ds. wdrażania BIM

(1) Jednym z podstawowych kroków na tej drodze powinno być powołanie na poziomie całego kraju roboczej grupy ekspertów, w skład której wejdą przedstawiciele kilku ministerstw, największych instytucjonalnych inwestorów i zarządców infrastruktury, środowiska akademickiego oraz stowarzyszeń zawodowych. Równolegle z tą ogólną koncepcją wdrażania BIM, w Polsce należy również pracować nad programami sektorowymi. Jednym z nich, z uwagi na swoją specyfikę i poziom komplikacji, powinien być sektor związany właśnie z budownictwem mostowym.

(2) W krajach europejskich, które mają najdłuższy staż i największe doświadczenie w zakresie stosowania metodologii BIM, proces wdrażania już nawet na początkowych etapach był stymulowany i regulowane przez wytypowane do tego instytucje rządowe. Szczególnie widoczne to jest w przypadku Wielkiej Brytanii i krajów skandynawskich. Dużą rolę odegrała powołana przez rząd brytyjski grupa ekspertów, którą nazwano BIM Task Group. Przygotowała ona strategię wprowadzenia do 2016 roku wdrożenia BIM na drugim poziomie (BIM Level 2), a następnie brała udział w tworzeniu nowej rządowej strategii nazwanej Digital Built Britain [31], która ma zapewnić osiągnięci poziomu trzeciego (BIM Level 3). W międzyczasie zaczęto też podejmować wysiłki mające na celu wymianę doświadczeń pomiędzy poszczególnymi krajami w obszarze całej Unii Europejskiej. Przykładem była jednorazowa inicjatywa V4 BIM Task Group, która miała za zadanie integrować procesy wdrożeniowe między krajami Grupy Wyszehradzkiej. Niestety, wraz z ustaniem finansowania grupa przestała działać. Natomiast w 2017 r., podobna, ale już ogólnoeuropejska grupa ekspercka EU BIM Task Group, przy wsparciu Komisji Europejskiej opracowała podręcznik dotyczący wprowadzenia modelowania informacji o obiektach budowlanych w całym europejskim sektorze zamówień publicznych [37]. Ta grupa ma za zadanie stymulować i koordynować wdrażanie BIM na podstawie informacji zebranych z każdego kraju członkowskiego.

6.2.3. Budowanie bazy wiedzy w instytucjach odpowiedzialnych za infrastrukturę

(1) Ważnym krokiem na początkowych etapach wdrażania BIM jest budowanie bazy wiedzy i podnoszenie poziomu świadomości na temat metodologii BIM i płynących z nich korzyści w instytucjach odpowiedzialnych za infrastrukturę. Szczególnie brakuje wiedzy o tym jak można wykorzystywać informację o zasobach w postaci elektronicznej na kolejnych etapach cyklu życia mostów. Oczywiście brakuje wciąż podstawowych standardów, wytycznych i procedur w tym zakresie. Konieczne jest jednak nie tylko zdefiniowanie podstawowych wymagań i regulacji, ale także położenie większego nacisku na szkolenia i edukację wszystkich potencjalnych uczestników procesów objętych BIM. Szczególnie zarządców, którzy mogą najlepiej wykorzystać przechowywane z modelami BIM dane. Dostrzegalna w Polsce aktywność i kompetencje w zakresie stosowania metodologii BIM dotyczy przede wszystkim firm projektowych, które w swoich portfelach zamówień mają międzynarodowe projekty. Znacznie gorzej jest wśród polskich firm budowlanych (wykonawcy) i pracowników administracji (zamawiający).

(2) Niestety, w relacjach pomiędzy wykonawcą i zamawiającym, gdzie pojawia się potrzeba tworzenia i uzgadniania kosztorysów oraz harmonogramów, wciąż stosowane są tradycyjne metody wyceny i obmiaru robót. Zakorzenione w minionym systemie planowanej gospodarki

socjalistycznej, nie mogą być wystarczająco sprawnym narzędziem dla współczesnych firm budowlanych. Jest to widoczne szczególnie w projektach infrastrukturalnych, w których już bardzo rzadko stosowane są przestarzałe Katalogi Nakładów Rzeczowych. Wykorzystanie modeli BIM 5D będzie miało bardzo duży wpływ na usprawnienie metod tworzenia i analizy kosztów. Zmiana podejścia z pewnością będzie długim i bardzo wymagającym procesem. Szczególnie dla instytucjonalnych zamawiających, którzy muszą się do tego przygotować również od strony formalnej. Proces ten powinien być oczywiście jak najbardziej ewolucyjny, ale też z odpowiednim tempem, które pozwoli na porównanie i weryfikację przyjmowanych podczas wycen założeń i metodologii. Jednym z zadań jakie staną przed grupą ekspertów i decydentów odpowiedzialnych za infrastrukturę powinna być dyskusja nad formą i szczegółowością nowej znormalizowanej metodologii kosztorysowania z wykorzystaniem modeli BIM.

6.2.4. Oczekiwane cele wynikające z wdrożenia metodologii BIM

(1) Kolejnym krokiem początkowego etapu wdrażania BIM powinno być również wstępne określenie celów, jakie mają być efektem samego wdrożenia tej metodologii w zakresie obiektów inżynierskich. Trzeba pamiętać, że cele te i oczekiwania nie muszą dotyczyć tylko zamawiających, ale też i innych uczestników procesów inwestycyjnych. Inne oczekiwania wobec BIM będą mieli projektanci, a jeszcze inne wykonawcy czy dostawcy.

(2) Przy okazji przygotowania pierwszego w Polsce projektu pilotażowego z zastosowaniem technologii BIM, jakim jest budowa obwodnicy Zatoru w ciągu drogi krajowej nr 28 [60], eksperci fundacji EccBIM przygotowali dla zamawiającego, którym była GDDKiA, listę możliwych celów związanych z wdrożeniem BIM. Lista ta podzielona została na trzy części

- a) doraźne cele projektu pilotażowego,
- b) kolejne cele przy realizacji następnych projektów pilotażowych,
- c) perspektywiczne cele możliwe do osiągnięcia po zrealizowaniu projektów pilotażowych.

(3) W tab. 6.2.4.1 zostały zebrane i odpowiednio uszeregowane wszystkie cele, jakie brane były w tym projekcie pod uwagę. Przypisane są one do pewnych obszarów, w których zastosowanie BIM powinno dać określone rezultaty dla planowania, budowy i utrzymania infrastruktury.

Tab. 6.2.4.1. Obszary i cele wdrożenia BIM w projektach infrastrukturalnych opracowane dla GDDKiA przez EccBIM [60] (1 z 2)

Lp.	Cel	Możliwe efekty
Standaryzacja i jakość		
1	Standaryzacja oznaczeń dokumentacji.	Zwiększenie czytelności dokumentacji. Poprawa dostępu do dokumentacji. Zmniejszenie liczby pomyłek wynikających ze złej interpretacji.
2	Podniesienie jakości projektu poprzez zmniejszenie liczby produkowanych dokumentów (rysunki, specyfikacje, opisy).	Zmniejszenie liczby poprawek w końcowych etapach realizacji. Redukcja liczby poleceń zmian. Zgodność dokumentacji z aktualnym stanem rzeczywistym. Zmniejszenie ilości odpadów.
3	Łatwiejszy dostęp do wyników badań odbiorczych i jakościowych.	Lepsza kontrola wyników badań odbiorczych i jakościowych. Łatwy dostęp do informacji we wszystkich etapach cyklu życia. Poprawa jakości, bezpieczeństwa i trwałości obiektów.
Zwiększenie efektywności		
4	Eliminacja korespondencji papierowej i uporządkowanie korespondencji elektronicznej.	Sprawniejsze procesy przepływu informacji. Lepszy dostęp do informacji. Poprawa decyzyjności.

Tab. 6.2.4.1. Obszary i cele wdrożenia BIM w projektach infrastrukturalnych opracowane dla GDDKiA przez konuBIM [60] (2 z 2)

Lp.	Cel	Możliwe efekty
5	Wykorzystanie modeli 3D do przygotowania przedmiarów i kosztorysów.	Lepsza kontrola kosztów. Dane do analizy dla przyszłych projektów. Skuteczne narzędzie w przypadku robót dodatkowych. Możliwość wykrycia błędów skutkujących zawyżeniem wycen.
6	Wykorzystanie modeli 3D do układania harmonogramów.	Kontrola i wizualizacja harmonogramu. Skuteczne przewidywanie zagrożeń zewnętrznych.
7	Skrócenie czasu procedowania na kolejnych etapach procesu inwestycyjnego.	Większa przejrzystość procesu uzgadniania. Lepsza detekcja powodów zatrzymania procesu. Skuteczniejsza i szybsza dystrybucja informacji.
8	Wykorzystanie modelu 3D do analizy kolizji.	Redukcja liczby poprawek na późniejszych etapach realizacji. Redukcja liczby poleceń zmian.
9	Wykorzystanie modelu 3D do komunikacji z zamawiającym.	Lepsze zrozumienie celów i ograniczeń. Poprawa komunikacji między uczestnikami projektu.
10	Redukcja liczby kolizji z infrastrukturą podziemną na etapie przejścia terenu.	Redukcja liczby poprawek na późniejszych etapach realizacji. Redukcja liczby poleceń zmian. Redukcja liczby roszczeń.
11	Dostęp do danych o nieruchomościach przy pomocy ogólnodostępnych portali GIS.	Szybszy dostęp do danych do szacowania kosztów związanych z wykupem gruntów i nieruchomości. Lepsza analiza zagrożeń w przypadku protestów.
12	Redukcja dokumentacji papierowej i ciągły dostęp do wszelkich dokumentów w wersji elektronicznej.	Oszczędność papieru i materiałów drukarskich. Oszczędność powierzchni magazynowej na archiwum. Efektywniejszy dostęp do informacji. Przyspieszenie procesów przekazywania informacji.
13	Wykorzystanie modeli BIM do prowadzenia narad technicznych.	Lepsze zrozumienie całości zadania. Redukcja kolizji decyzyjnych. Przyspieszenie podejmowania decyzji.
14	Obmiary geodezyjne zintegrowane z modelem BIM	Lepszy dostęp do informacji geodezyjnej. Łatwiejsza wykrywanie błędów pomiaru.
Kontrola i analiza kosztów		
15	Wykorzystanie modeli 3D w celu poprawy transparentności oceny ofert.	Odrzucenie ofert niewiarygodnych kosztowo. Analiza podziału kosztów. Weryfikacja założeń podczas realizacji.
16	Możliwość analizy zmian dotyczących geologii podczas realizacji projektu.	Wiarygodna informacja o geologii pojawiająca się na bieżąco. Weryfikacja roszczeń związanych z wykryciem różnic między założeniami, a rzeczywistą sytuacją w zakresie geologii.
Lepsze zarządzanie obiektem		
17	Optymalizacja rozwiązań projektowych ze względu na analizę kosztów CAPEX.	Optymalizacja rozwiązań ze względu na kryterium ceny i czasu. Analiza wariantowa proponowanych rozwiązań projektowych. Wnioski dotyczące optymalizacji przyszłych projektów.
18	Wykorzystanie modelu 3D jako interfejsu bazy do zarządzania mostami.	Wiarygodna i zgodna z rzeczywistością informacja o obiekcie. Zastosowanie modelu 3D jako źródła informacji w zarządzaniu, modernizacji i przebudowie.
Mniej utrudnień dla otoczenia		
19	Wykorzystanie modeli 3D oraz platformy GIS oceny wpływu prac na otoczenie.	Dobranie optymalnych rozwiązań ze względu na kryterium ceny OPEX i CAPEX. Analiza wariantowa proponowanych rozwiązań projektowych.

6.2.5. Propozycja najważniejszych działań

(1) Celem niniejszego opracowania nie było przygotowanie szczegółowego harmonogramu i wytycznych do wdrożenia BIM w obszarze projektów infrastrukturalnych w kraju. Jednak śledząc postępy, jakie w tym względzie poczynili nasi sąsiedzi [5], zdecydowano się zaproponować pewne najważniejsze działania, które decydenci w Polsce powinny zainicjować i zacząć skutecznie realizować. Uwzględniono przy tym ogólne założenia procesu wdrażania BIM [47] opracowane jeszcze w 2015 r. oraz wnioski z ekspertyzy z 2016 r. dotyczącej możliwości wdrożenia BIM w Polsce [33]. Proces wdrożenia należy rozpocząć od powołania roboczej grupy ekspertów ds. BIM. Dalsze działania powinny obejmować następujące przedsięwzięcia:

- a) przygotowanie koncepcji wdrożenia BIM w Polsce, którą powinien zatwierdzić polski Rząd,
- b) utworzenie stałego krajowego komitetu ds. BIM,
- c) przygotowanie, realizacja i ocena projektów pilotażowych,
- d) ocena potrzeby zmian legislacyjnych dostosowujących polskie prawo do stosowania BIM,
- e) opracowanie, wdrożenie i rozwój standardów, w tym polskiej terminologii BIM,
- f) decyzje dotyczące stosowania otwartych formatów zapisu modeli BIM w infrastrukturze,
- g) analiza i uregulowanie kwestii praw autorskich związanych z modelami BIM,
- h) określenie wymagań dotyczących poziomów szczegółowości modeli BIM (LOD),
- i) utworzenie klasyfikacji robót budowlanych i bazy wymaganych właściwości wyrobów budowlanych,
- j) powiązanie modeli BIM z systemami GIS oraz innymi obiektami infrastruktury,
- k) propozycja zasad paszportyzacji obiektów infrastruktury,
- l) utworzenie szablonów dokumentacji przetargowej z uwzględnieniem BIM,
- m) cyfryzacja decyzji administracyjnych w infrastrukturze przy możliwości wykorzystania BIM,
- n) cyfryzacja rynku zamówień publicznych,
- o) określenie ram kwalifikacji i certyfikacji poziomu znajomości BIM (personalnie i instytucjonalnie),
- p) wprowadzenie edukacji BIM do podstawy programowej na uczelniach,
- q) wsparcie szkoleń z metodologii BIM wśród praktykujących inżynierów i pracowników administracji,
- r) wsparcie finansowe indywidualnych projektantów w pozyskiwaniu narzędzi BIM np. przez struktury samorządu zawodowego.

(2) Spośród tych wszystkich działań wybrano kilka kluczowych zagadnień i opisano je bardziej szczegółowo w kolejnych punktach. Zaliczono do nich: edukację i szkolenia, projekty pilotażowe, przepisy, prawa autorskie, powiązanie z GIS i innymi obiektami infrastruktury oraz cyfryzację rynku zamówień publicznych.

6.3. Edukacja i szkolenia z metodologii BIM

(1) Edukacja i szkolenia w zakresie współczesnej wiedzy budowlanej muszą zacząć wykorzystywać możliwości i próbować mierzyć się z wyzwaniami jakie stawia upowszechnienie BIM. Chociaż coraz więcej uczelni akademickich prowadzących studia w dyscyplinie inżynierii lądowej zaczęła oferować kursy zawierające tematykę BIM, to niewiele z tych programów uwzględnia strategię mającą na celu pełną integrację BIM z programem nauczania zawodu inżyniera budowlanego. Rola BIM jako metody i narzędzia w edukacji, działalności budowlanej i administracji nie jest jeszcze w pełni ustalona. Wiele z oferowanych kursów koncentruje się raczej na aspektach wykorzystania konkretnych narzędzi BIM do modelowania. Mniej jest na razie propozycji demonstrujących zalety użycia procesów BIM we wszystkich aspektach zarządzania projektem, budową lub gotowym obiektem. Przygotowanie wartościowych programów nauczania BIM wymaga współpracy z przemysłem. Tylko tak można pokazać, w jaki sposób BIM wpływa na najlepsze praktyki i kluczowe kompetencje w wielu zastosowaniach, nie zmieniając przy tym podstawowych zasad projektowania i budowy np. konstrukcji mostów. Wiedza z budownictwa mostowego i BIM powinny się wzajemnie przenikać w toku studiów. Studenci powinni uczyć się o projektowaniu i budowie mostów z użyciem narzędzi BIM, a metodologii BIM poprzez rozwiązywanie problemów inżynierskich na różnych etapach życia mostu.

(2) Nauczanie BIM w polskich uczelniach rozpoczęło się w 2013 roku i było efektem entuzjazmu kilku młodszych pracowników uczelni technicznych (głównie z Krakowa i Warszawy), którzy zetknęli się z tą metodyką mając do czynienia z kontraktami w Wielkiej Brytanii lub w krajach skandynawskich. Pierwszą uczelnią w Polsce, które wprowadziła do swojego programu nauczania przedmiot związany z BIM była Politechnika Krakowska. Oprócz samego przedmiotu, nazwanego początkowo Podstawy BIM, wprowadzono tam również możliwość wyboru na drugim stopniu kształcenia specjalności BIM.

(3) W 2017 roku przedstawiciele kilku polskich uczelni technicznych opracowali raport dotyczący możliwości i założeń uzupełnienia programów nauczania o elementy metodyki BIM [44]. Został on zaakceptowany przez dziekanów wydziałów budownictwa wszystkich uczelni i jest nadzieja, że będzie stanowił w przyszłości punkt wyjścia do tworzenia podstaw edukacji BIM w Polsce. Ogólnie zaproponowana tam strategia edukacyjna ma następujące elementy:

- a) wprowadzenie obowiązkowego przedmiotu Podstawy BIM, semestr 4 lub semestry późniejsze w wymiarze minimum 15 godzin wykładów,
- b) rozważenie jak najwcześniejszego wprowadzenia nauczania programów narzędziowych z grupy BIM, nawet już na pierwszych semestrach, równoległe do zajęć z związanych z CAD,
- c) rozważenie wprowadzenia wskaźnika „stopnia nasycenia” klasycznych kursów treściami BIM. Wskaźnik ten byłby określeniem minimalnej liczby godzin z treściami BIM do całkowitej liczby godzin w wybranych przedmiotach obowiązkowych w grupach tematycznych następujących przedmiotów:
 - przedmioty informatyczne,
 - przedmioty konstrukcyjne,
 - przedmioty zarządzania,
 - przedmioty instalacyjne / fizyka budowli,
- d) wprowadzenie przedmiotów wybieralnych z treściami BIM na poszczególnych specjalizacjach,
- e) oferowanie tematów dyplomów inżynierskich z zastosowaniem metodyki BIM,
- f) opracowanie efektów kształcenia z BIM dla wybranych przedmiotów,
- g) opracowanie i wprowadzenie przedmiotu typu budowlana gra strategiczna.

(4) Ostatni element miałby za zadanie pokazać zalety metodyki BIM, na przykład przy szybkim tworzeniu modelu procesu inwestycyjnego i to z dodatkową możliwością rozwijania kompetencji „miękkich” (praca w zespole, kreatywność), proekologicznych (ang. green / sustainable construction) i „szczipłych” (ang. lean construction).

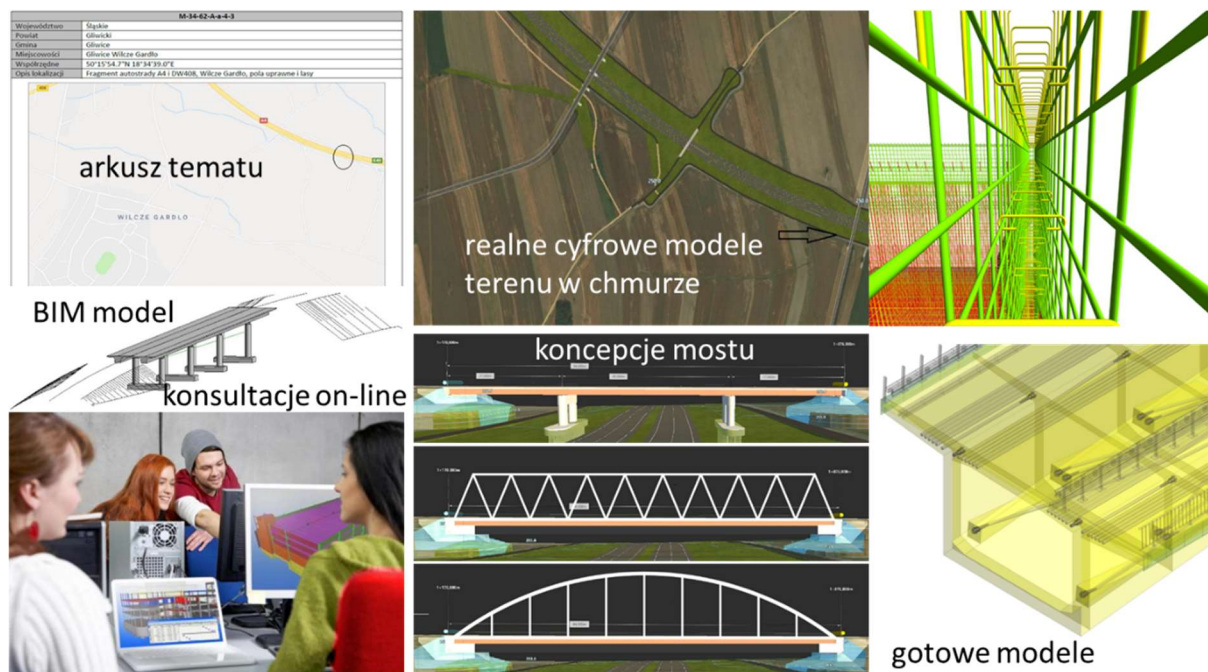
(5) Zatem wszyscy studenci powinni mieć na co najmniej jeden przedmiot nazwany jako Podstawy BIM, który musiałby zajmować co najmniej 15 godzin wykładów. Opcjonalnie można do tego dodać 15 godzin laboratorium komputerowego z praktyczną nauką określonych narzędzi BIM. Sam przedmiot powinien spełniać poniższe założenia.

- a) wprowadzenie do BIM: poziomy BIM, zagadnienia poziomu szczegółowości modelu (LOD), poziomu informacji w modelu (LOI), zintegrowanej realizacji przedsięwzięcia (IPD), OpenBIM, klas IFC itp.,
- b) prezentacja dostępnych narzędzi BIM,
- c) przedstawienie istotnych zagadnień BIM: np. koordynacji międzybranżowej, zarządzania przepływem informacji, poszerzonych i ułatwionych możliwości różnorodnych analiz, itp. (inne dla różnych specjalności),
- d) podsumowanie dotychczasowej ścieżki edukacyjnej BIM oraz wskazanie kolejnych etapów.

(6) Podstawowym efektem kształcenia przyjętym dla tego kursu jest zapoznanie z podstawowymi definicjami i wszechstronnym potencjałem technologii BIM dla różnorodnych aspektów kształcenia inżynierów budownictwa czy architektury, a nie uzyskanie konkretnych efektów w postaci kompetencji użytkownika BIM.

(7) Jedną z pierwszych propozycji takiego zintegrowanego kursu, gdzie przenikają się zagadnienia inżynierskie i metodologia BIM, jest utworzona na Politechnice Śląskiej specjalność Mosty z technologią BIM. Została ona utworzona w 2019 r. i dotyczy studiów drugiego stopnia. Studenci pracują w 3-4 osobowych zespołach nad jednym projektem, co pozwala również kształtować ich miękkie umiejętności. Tworzone przez nich projekty zaczynają się od pozyskania realnych cyfrowych modeli terenu, które pobierane są ogólnodostępnych portali GIS. Modele przechowywane są na dyskach chmurowych, które wraz z innymi narzędziami do komunikacji

elektronicznej symulują środowisko CDE. Oprócz tego, to rozwiązanie pozwala im na zdalną pracę i podział zadań. Wykorzystują do tego różne narzędzia pochodzące od różnych dostawców, którzy są w stanie zapewnić akademickie licencje. W ten sposób mogą sprawdzić w praktyce interoperacyjność oprogramowania BIM. Jednym z ostatnich etapów pracy nad projektem, już po modelowaniu MES i wymiarowaniu elementów konstrukcyjnych, jest wygenerowanie modelu BIM w formacie IFC i utworzenie na tej podstawie przedmiaru, kosztorysu i harmonogramu. Cały ten proces projektowania prowadzący nauczyciele konsultują elektronicznie, co wymagało wcześniejszego podniesienia swoich kompetencji (rys. 6.3.1).



Rys. 6.3.1. Przykład realizacji zajęć praktycznych Mosty z technologią BIM na Politechnice Śląskiej

6.4. Przygotowanie i realizacja projektów pilotażowych BIM

6.4.1. Rola projektów pilotażowych

(1) Doświadczenie krajów, w których BIM w obszarze administracji publicznej jest już od jakiegoś czasu wdrażany i stosowany pokazało, jakie korzyści daje realizacja projektów pilotażowych. Jest to najlepszy poligon doświadczalny, który służy wszystkim stronom biorącym udział w inwestycjach publicznych w infrastrukturę drogową. Dobrze przygotowany, konsekwentnie realizowany, a potem wielostronnie oceniony projekt pilotażowy może służyć podniesieniu kompetencji i świadomości personelu, doskonaleniu procedur i dokumentów, doprecyzowaniu celów wdrożenia oraz edukowania i przygotowania rynku na stopniowe zmiany. Wyciągnięte za każdym razem wnioski powinny być wykorzystane do przygotowania kolejnych projektów pilotażowych, w których można sterować kierunkami doskonalenia procesu wdrażania albo zmieniać i rozszerzać obszary stosowania metodologii B.

(2) Takie projekty pilotażowe mogą być wykorzystane do stopniowego tworzenia nowych standardów BIM oraz dostosowania i doskonalenia dokumentacji przetargowej i kontraktowej. Podstawą udanego stosowania BIM w całym cyklu życia obiektu mostowego jest konsekwentne wdrożenie i wykorzystanie wspólnego środowiska danych (CDE), które będzie dostępne dla wszystkich uczestników projektu. CDE stanowi bowiem centralne narzędzie komunikacji i dostępu do informacji. Trzeba jednak zaznaczyć, że projekt w tym przypadku nie oznacza etapu życia obiektu w fazie jego planowania, szczegółowego projektowania, a nawet budowy. Po zakończeniu inwestycji i przekazaniu zbudowanego w ramach pilotażu obiektu do użytkowania należy przygotować się na kontynuację prac wdrożeniowych również w fazie utrzymania. Model BIM powinien być aktualizowany i uzupełniany o wszelkie niegraficzne informacje, które wykorzystywane będą przez administrację. Musi on być dostępny dla personelu i stać się podstawową bazą wiedzy (również graficzną) o użytkowanym obiekcie.

Najlepiej, jeśli stanie się on elementem systemu gospodarki mostowej i przedmiotem procedur asset management.

(3) Projekty pilotażowe były zawsze jednym z pierwszych kluczowych działań praktycznych przy wdrażaniu metodologii BIM w krajach, które podjęły już to wyzwanie. Zdobyta w nich cenna praktyczna wiedza stanowi najlepsze uzupełnienie i doskonalenie procedur i standardów. Pozwala tworzyć wzorce dokumentacji, które mogą być sprawdzone jeszcze przed ich rozpowszechnieniem. Pierwsze projekty pilotażowe powinny mieć na celu wskazanie obszarów i działań służących zmianie procesów i procedur. Powinny też definiować rolę i odpowiedzialność poszczególnych pracowników instytucji wobec tożsamyh procesów i procedur, które funkcjonują u innych podmiotów zaangażowanych w realizację projektu. Projekty pilotażowe nie mogą być nadmiernie rozbudowane, ale też nazbyt ograniczone. Nie jest możliwe objęcie projektem pilotażowym od razu wszystkich obszarów, w których ma być wprowadzona metodologia BIM. Ani też zaangażowanie w ten proces wszystkich pracowników instytucji. Mogłoby to obniżyć skuteczność jej funkcjonowania. Z drugiej strony, na pewno projektem pilotażowym nie będzie zamówienie modelu 3D u projektanta. Dlatego każde takie nowe przedsięwzięcie musi mieć indywidualnie określone cele BIM, które w trakcie realizacji projektu zostaną praktycznie zweryfikowane. Jednym z pierwszych elementów podlegających walidacji powinna być praca z modelem 3D, powiązanie go z informacjami niegraficznymi oraz korzystanie ze wspólnego środowiska danych (CDE). Elementy te powinny być wprowadzane stopniowo i na coraz wyższym poziomie, który będzie zależał od efektów uczenia się oraz stopnia przyswajania wiedzy i osiągniętej biegłości w stosowaniu nowych narzędzi.

(4) Ważne jest, aby wykorzystać projekty pilotażowe do przygotowywania przykładowych, wzorcowych dokumentów przetargowych i kontraktowych oraz szablonów i ogólnej struktury dokumentacji projektowej. W kolejnych projektach będą one weryfikowane, doprecyzowane i doskonalone. Przy planowaniu projektów pilotażowych trzeba pamiętać, że istotą wdrożenia BIM jest utworzenie nowej, prostszej formy współpracy między wszystkimi partnerami zaangażowanymi w inwestycje infrastrukturalne tak, aby usprawnić sposoby i zasady przesyłania, udostępniania i zatwierdzania dokumentów oraz przechowywania i dostępności informacji o zbudowanym obiekcie.

6.4.2. Pierwszy projekt pilotażowy BIM w GDDKiA – obwodnica Zatoru w ciągu drogi krajowej nr 28

(1) W efekcie prowadzonych przez Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa konsultacji dotyczących możliwości zastosowania BIM w Polsce [33], rozpoczęto przygotowania do ogłoszenia programu projektów pilotażowych BIM w infrastrukturze. Do udziału zaproszone zostały jednostki pełniące rolę największych publicznych zamawiających, czyli zarządcy sieci polskich dróg, kolei i przesyłu energii. Swoją rolę w tym zakresie pełniła również Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Do pilotażu wytypowana została budowa obwodnicy miasta Zator w ciągu drogi krajowej nr 28. Miało to być pierwsze zadanie zrealizowane z wykorzystaniem metodologii BIM [60]. W skład zespołu wdrożeniowego weszli pracownicy centrali i krakowskiego oddziału GDDKiA oraz wyłoniony w specjalnym postępowaniu konsultant. Dzięki zasobom informacji jakimi dysponował konsultant było możliwe połączenie wiedzy teoretycznej i praktycznej z zakresu BIM oraz transfer dobrych pomysłów i doświadczeń, jakie personel konsultanta pozyskał przy realizacji zagranicznych projektów drogowych w tej metodologii.

(2) Przedmiotem pilotażu było wykonanie projektu i budowa obwodnicy o długości ok. 2,1 km (rys. 6.4.2.1). Zadanie obejmuje budowę trasy głównej o przekroju jednojezdniowym, pięciu obiektów inżynierskich, przebudowę sąsiadującej drogi wojewódzkiej oraz budowę dróg dojazdowych. W zakresie ochrony środowiska wykonane będą m.in. ekrany akustyczne, zieleń drogowa, zbiornik, stawy kompensacyjne, płotki naprowadzające dla płazów oraz kanalizacja drogowa i urządzenia oczyszczające. Dodatkowo wykonana zostanie infrastruktura dla pieszych i rowerzystów oraz przebudowa sieci uzbrojenia terenu kolidującej z inwestycją.



Rys. 6.4.2.1. Obwodnica Zatoru w ciągu drogi krajowej nr 28

(3) Zadanie pod względem technicznym nie należy do skomplikowanych, ale zawiera wszelkie elementy standardowej inwestycji infrastrukturalnej. Z tego względu zostało wybrane jako pilotażowe do zastosowania metodologii BIM w GDDKiA.

(4) W strategii pilotażu założone zostały następujące zadania szczegółowe:

- a) wybór konsultanta,
- b) przygotowanie merytoryczne – szkolenie personelu zamawiającego,
- c) przygotowanie strategiczne:
 - określenie celów dla pilotażu,
 - przyjęcie modelu realizacji,
 - określenie ról i odpowiedzialności dla zespołu zarządzającego projektem,
- d) przygotowanie postępowania na wybór wykonawcy:
 - przeprowadzenie dialogu technicznego,
 - przygotowanie dokumentacji przetargowej z uwzględnieniem informacji z dialogu,
- e) wybór wykonawcy i nadzoru,
- f) realizacja,
- g) opracowanie raportu końcowego z przeprowadzonego projektu pilotażowego.

(5) Zdefiniowane przez GDDKiA zadanie świadczenia usług przez konsultantów podzielone zostało na cztery etapy:

- a) etap 1 obejmował szkolenie uczestników projektu. Jego celem było uporządkowanie wiedzy i nomenklatury związanej z BIM, zaznajomienie z założeniami procesu wdrożenia, zdefiniowanie najważniejszych dokumentów oraz wytypowanie uczestników wraz z określeniem ich odpowiedzialności w zakresie BIM. W ramach szkolenia konsultant przeprowadził również analizę standardów i najlepszych praktyk zagranicznych. Chodziło o to, żeby w tym pierwszym projekcie pilotażowym zastosować opcje procesu BIM, które najlepiej sprawdzają się w praktyce,
- b) etap 2 był wsparciem merytorycznym dla zamawiającego przy ustalaniu wymagań, celów projektu, określeniu modelu realizacji inwestycji oraz przypisaniu ról i odpowiedzialności wytypowanym członkom zespołu realizującego inwestycję.
- c) etap 3 dotyczył przygotowania i przeprowadzenia dialogu technicznego z potencjalnymi wykonawcami. Jego zasadniczym celem było uzyskanie informacji z rynku na temat możliwości implementacji technologii BIM oraz weryfikacja założonych w etapie 2 wymagań i celów. W trakcie spotkań z wykonawcami słyhać było opinie, według których rynek firm świadczących usługi nadzoru nie jest gotowy na BIM. Z tego względu, dla uniknięcia ryzyka związanego z brakiem kompetencji w nadzorze, konsultanci EccBIM wspólnie z GDDKiA podjęli decyzję o przeprowadzeniu dodatkowego dialogu technicznego z inżynierami kontraktu,
- d) etap 4, to zapewnienie dla zamawiającego wsparcia merytorycznego w przygotowaniu dokumentacji przetargowej oraz przeprowadzeniu postępowania na wybór generalnego wykonawcy i nadzoru. Przyjęto założenie, że do obowiązujących w GDDKiA materiałów wzorcowych SIWZ dodane zostaną zapisy wynikające z zastosowania metodologii BIM. Nowe dokumenty kontraktowe stanowiły załączniki do obowiązujących dotychczas. Przygotowane zostały również nowe kryteria wyboru najlepszej oferty, które uwzględniają fakt użycia BIM.

(6) W wyniku wspólnych prac EccBIM oraz kadry GDDKiA, wyznaczone zostały wstępnie cztery oczekiwane cele planowane do wdrożenia w ramach projektu pilotażowego. Zostały one zestawione i opisane w tab. 6.4.2.1.

Tab. 6.4.2.1. Zakładane przed dialogiem cele projektu pilotażowego [60]

Lp.	Cel	Opis celu
1	Standaryzacja dokumentacji i procesów	Ujednoczenie nazewnictwa plików i oznaczenia dokumentacji. Standaryzacja oznaczeń w dokumentacji (nazewnictwo kontenerów informacji, wersjonowania, rewizji, autoryzacji, kodów zgodności). Wprowadzenie standardów nazewnictwa plików uwzględniających ich przynależność i przeznaczenie.
2	Poprawa efektywności procesów komunikacyjnych	Uporządkowanie korespondencji mailowej, eliminacja korespondencji papierowej. Redukcja ilości dokumentacji papierowej. Wykorzystanie modeli BIM do prowadzenia narad technicznych i do komunikacji z zamawiającym.
3	Poprawa jakości projektu i procesu inwestycyjnego	Podwyższenie jakości projektu poprzez zmniejszenie ilości produkowanych dokumentów (rysunki 2D, specyfikacje, opisy). Skrócenie czasu przygotowania i/lub akceptacji określonych dokumentów na poszczególnych etapach procesu inwestycyjnego. Redukcja ilości kolizji z infrastrukturą podziemną na etapie przejścia terenu. Lepsza widoczność aktualnego stanu procesu i detekcja powodów jego zatrzymania. Skuteczniejsza dystrybucja informacji.
4	Poprawa efektywności ekonomicznej i środowiskowej	Wykorzystanie modelu 3D do redukcji liczby kolizji międzybranżowych. Integracja obmiarów geodezyjnych z modelem BIM. Możliwość analizy zmian podczas realizacji projektu za pomocą ogólnodostępnego portalu. Wykorzystanie modeli 3D przy układaniu harmonogramów w celu zwiększenia przejrzystości etapowania prac (BIM 4D). Wykorzystanie przedmiarów z modelu 3D w kosztorysowaniu (BIM 5D).

(7) W pierwszej kolejności zaplanowane zostało wykorzystanie wspólnej platformy CDE do koordynacji danych. Miała ona być udostępniona od samego początku inwestycji wszystkim stronom przez generalnego wykonawcę jako repozytorium dokumentów całego projektu pilotażowego. Dzięki temu możliwe będzie uporządkowanie korespondencji elektronicznej i eliminacja obiegu dokumentów papierowych.

(8) W procesie realizacji inwestycji zamierzano prowadzić narady techniczne z użyciem modelu 3D i odpowiednich narzędzi. Wszelkie dodatkowe dokumenty jak rysunki 2D (np. przekroje, rzuty itd.) miały być generowane z modelu tak, aby stanowił on spójne źródło informacji projektowej.

(9) Kompletny model 3D miał również służyć do przygotowania i weryfikacji przedmiaru niektórych rodzajów robót. Weryfikacja tych danych miała polegać między innymi na wykorzystaniu Numerycznego Modelu Terenu, który może być pozyskany dowolną metodą, ale musi być o podwyższonej, w stosunku do standardowych pomiarów rozdzielczości oraz mieć powiązanie z modelami BIM obiektów drogowych i mostowych. Ten spójny model miał być również powiązany z harmonogramem, co miało pozwolić na kontrolę etapów budowy oraz wprowadzanie jego aktualizacji na podstawie rzeczywistych czasów realizacji.

(10) Jedną z podstawowych wątpliwości zamawiającego przy podejmowaniu decyzji o pierwszej inwestycji z użyciem metodologii BIM było ryzyko negatywnego odbioru wymagań BIM przez potencjalnych wykonawców. Możliwe scenariusze reakcji rynku na nowe dokumenty przetargowe powiązane z BIM zakładały sytuacje, w których zapisy dotyczące BIM zostaną oprotestowane albo wykonawcy nie doszacują lub przeszacują oferty. Każda z tych opcji byłaby bardzo niekorzystna dla zamawiającego, skutkująca brakiem ofert, konfliktami, a w ostateczności wstrzymaniem realizacji inwestycji. Dla uniknięcia takiej sytuacji postanowiono zdefiniować wymagania BIM na poziomie, który jest osiągalny dla możliwie największej grupy potencjalnych wykonawców. Do tego jednak potrzebna jest wiedza, jakie są potencjalne możliwości i wiedza na temat BIM wśród podmiotów działających na polskim rynku budownictwa infrastrukturalnego. Tylko w ten sposób można znaleźć właściwy poziom odniesienia do implementacji BIM.

(11) W tym celu zdecydowano się skorzystać z przewidzianego w ustawie – Prawo zamówień publicznych [2] narzędzia jakim jest dialog techniczny. Został on poprzedzony spotkaniem informacyjnym skierowanym do zainteresowanych projektem pilotażowym przedstawicieli firm wykonawczych oraz pełniących nadzory. Spotkanie to miało charakter szkoleniowy, a jego celem było wskazanie, w jaki sposób należy się do dialogu przygotować. Na spotkaniu omówiona została metodologia badania kompetencji w zakresie BIM oraz sposób precyzyjnego określenia procesów obiegu informacji, które będą częścią procesu realizacji projektu pilotażowego. Przyjęto, że do opisu elementów scenariuszy inwestycyjnych wykorzystana będzie notacja Business Process Modelling Notation [31]. Omówiony został również model przepływu informacji w zakresie bezpośredniej i pośredniej komunikacji, szczegółów technicznych dotyczących technologii modelowania oraz schematów i procedur wymiany danych i wykorzystania ich w procesie projektowym i wykonawczym. W trakcie dialogu każdy z podmiotów odniósł się do celów i wymagań zaproponowanych w ramach projektu pilotażowego w zakresie BIM. W wyniku przeprowadzonych spotkań zamawiający pozyskał informacje, które pomogły w przyjęciu wymagań dotyczących BIM. Takie otwarte podejście do projektu pilotażowego gwarantowało, że osiągnięcie założonych celów nastąpi przy zachowaniu zasad równego traktowania i uczciwej konkurencji.

(12) Z uwagi na przyjętą pierwotnie formułę „projektu i buduj”, w pierwszym etapie umowy potencjalny wykonawca miał za zadanie wykonać projekt budowlany, uzyskać decyzję ZRID oraz opracować projekt wykonawczy. W drugim etapie, prowadzone miały być prace budowlane. Na całe zadanie przewidziano 36 miesięcy przy wyłączeniu z robót budowlanych okresu zimowego. Źródłem finansowania miały być środki pochodzące z Unii Europejskiej oraz budżetu państwa. Przetarg został ogłoszony, ale niestety złożone oferty przekraczały swoją wartością budżet jaki przewidział zamawiający i przetarg został unieważniony. Wynikało to nie z faktu, że po raz pierwszy zdecydowano się na użycie metodologii BIM w infrastrukturalnym projekcie, tylko z sytuacji rynkowej jaka panowała w tym czasie. Wiele innych przetargów z podobnych powodów musiało być odwołanych. Zamawiający zdecydował się na ponowne uruchomienie procedury przetargowej, ale zmienił przy tym formułę, w której przedmiotem zamówienia będzie tylko dokumentacja projektowa wykonana z użyciem BIM. W czasie tworzenia tego dokumentu, wyniki postępowania nie były jeszcze znane.

6.5. Opracowanie przepisów związanych z BIM

6.5.1. Wprowadzenie

(1) Ustawodawstwo dotyczące projektowania i eksploatacji drogowych obiektów inżynierskich (a w ogólności nawet całego budownictwa) nie musi literalnie wspominać o metodologii BIM. Powinno jedynie umożliwiać wykorzystanie cyfrowej formy dokumentacji (zarówno projektowej jak i związanej z budową i utrzymaniem) oraz elektronicznego sposobu przesyłania, zatwierdzania i archiwizacji dokumentów. Biorąc pod uwagę szybki rozwój szeroko rozumianych narzędzi IT oraz form komunikacji, sprzyjać im i bardziej perspektywnie zapewnić ich wdrożenie w inny sposób niż w formie ustaw lub rozporządzeń. Najlepszym rozwiązaniem będą dokumenty na poziomie rekomendacji, norm, wytyczne lub wymagań technicznych, które będą mogły na bieżąco dostosowywać się do nowych, innowacyjnych technologii i procesów ujednoczenia procedur i standardów międzynarodowych w tym zakresie.

(2) Proces wdrażania metodologii BIM musi być ewolucyjny. W początkowych fazach konieczne będzie utrzymanie przez jakiś czas obecnej formy papierowej dokumentacji 2D (czy elektronicznej, np. PDF). Natomiast powinno się jednocześnie zezwolić na opcjonalne stosowanie formy cyfrowej w postaci modeli BIM. Oczywiście po wcześniejszym jej zdefiniowaniu i standaryzacji. W początkowym okresie wdrażania BIM, projektant obiektów mostowych będzie mógł wybrać klasyczną dokumentację 2D lub metodę BIM. Podobnie jak kiedyś następowało przejście od tworzenia dokumentacji na deskach kreślarskich do technik CAD. Po wystarczającym opanowaniu i udoskonaleniu nowych narzędzi zaczną dominować metoda BIM, a udział klasycznej dokumentacji będzie stopniowo maleć. Dzisiaj przecież nie ma już inżynierów pracujących przy deskach kreślarskich, a początki wdrażania narzędzi CAD w latach 90. też były bardzo trudne.

6.5.2. Procedowanie decyzji procesu budowlanego z cyfrową dokumentacją

(1) W obecnych uwarunkowaniach prawnych [3] udokumentowanie stanu zbudowanego obiektu wymaga posiadania poświadczonej kopii dokumentacji projektowej, która służyła do uzyskania pozwolenia na budowę oraz dokumentacji powykonawczej z zaznaczonymi na rysunkach zmianami. W przypadku stosowania metodologii BIM, wprowadzone podczas budowy zmiany muszą być uwzględniane wprost w modelu. W przeciwnym razie nie będzie możliwe skuteczne korzystanie z niego na późniejszych etapach zarządzania i utrzymania. Poszczególne zmiany, pokazujące różnice między modelami BIM, zarówno w różnych fazach tworzenia dokumentacji projektowej, jak i budowy obiektu muszą być wyraźnie i jednoznacznie identyfikowalne. I to w sposób, w który wynikowy model BIM będzie reprezentował stan rzeczywiście zbudowanej konstrukcji.

(2) W naszym kraju nie zostały jeszcze w pełni określone zasady dotyczące elektronicznego przesyłania dokumentacji i w komunikacji z urzędami. Pozwolenie na budowę i wszystkie decyzje kolejnych etapów procesu inwestycyjnego procedowane są na podstawie dokumentacji papierowej. Tymczasem treść tej klasycznej dokumentacji 2D mogłaby w niektórych przypadkach zostać już zastąpiona znacznie bardziej czytelną i jednoznaczną dokumentacją w postaci modelu BIM. Dlatego należy rozważyć możliwość zmiany formy dokumentacji jaka wymagana jest do wydawania decyzji w procesie budowlanym. Działania te powinny być zharmonizowane ze stopniowym wprowadzaniem e-przetargów w zamówieniach publicznych, w których ofertowanie będzie wykorzystywać tylko narzędzia elektroniczne.

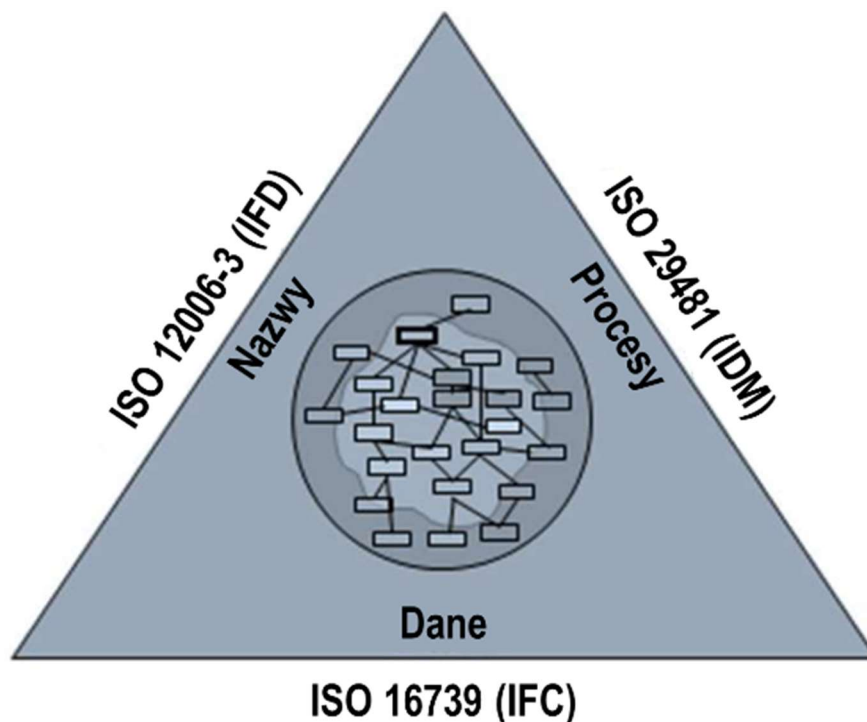
(3) Decyzja o zastosowaniu metodologii BIM w konkretnym projekcie (przedsięwzięciu inwestycyjnym) wymaga konsekwentnego użycia narzędzi BIM i cyfrowych form komunikacji przez wszystkie biorące w nim udział podmioty. Zamawiający, projektant, wykonawca, nadzór, producenci i dostawcy. Wszyscy muszą być przygotowani na tę nową formę realizacji inwestycji. Ale też konieczne jest zapewnienie odpowiedniej jakości przekazywanych między nimi danych. Muszą być ustanowione standardy przekazywania informacji i jasno określone wymagania dotyczące opisu właściwości użytkowych zastosowanych w modelu wyrobów budowlanych. Brak takiej standaryzacji sprawi, że jakość i wartość informacyjna tworzonego modelu BIM będzie się różnić w zależności od zastosowanego oprogramowania lub użytych komponentów. Należy zatem zapewnić interoperacyjność oprogramowania w oparciu o niezależne, stabilne i otwarte formaty danych. Obecnie takim formatem mógłby być IFC, który mimo swych niedoskonałości jest najczęściej stosowanym sposobem transferu modeli między programami służącymi do tworzenia i edycji modeli BIM. IFC to format, który jest ciągle rozwijany przez międzynarodową społeczność stowarzyszenia buildingSMART [51], został też opisany przez normę [11].

6.5.3. Standaryzacja związana z BIM

(1) Standaryzacja i system norm oraz wymagań technicznych jest podstawą funkcjonowania i rozwoju wszystkich sektorów gospodarki. Również budownictwo korzysta z wielu takich dokumentów. Niektóre z nich regulują wymagania ogólne lub dotyczą innych rodzajów przemysłu, które w jakiś sposób są powiązane z naszą branżą. Są też normatywy o znacznie węższym zastosowaniu, które odpowiadają specyfice np. budownictwa mostowego. Przykładem tego jest opracowywany, w ramach całej niniejszej pracy, zestaw rekomendowanych wymagań technicznych dotyczących drogowych obiektów inżynierskich. Wprowadzenie metodologii BIM również będzie wymagać odpowiedniej standaryzacji, która zapewni równy dostęp do rynku usług i dostaw oraz swobodę konkurencji. Opracowanie takich wymagań technicznych opierać się powinno na potrzebach rynkowych formułowanych przez przedstawicieli zainteresowanych stron. Musi się to odbywać w istniejących ramach prawnych tworzonych przez Ustawodawcę, które mają na celu przede wszystkim interes publiczny. Należy przy tym dążyć do stopniowej harmonizacji z rynkiem europejskim, a nawet globalnym. Najprostszym i najlepszym rozwiązaniem będzie w naszym przypadku przyjmowanie sprawdzonych europejskich, międzynarodowych standardów technicznych, co zapewni swobodny przepływ towarów i usług, a naszym przedsiębiorstwom i kadrze inżynierskiej umożliwi wejście na rynki zagraniczne. Ze względu na to, że zmiany w ustawach i rozporządzeniach są trudniejsze i bardziej czasochłonne, należy w nich umieszczać jedynie podstawowe zasady. Szczegółowe regulacje powinny znaleźć się w rekomendowanych wymaganiach technicznych i zaleceniach, które można szybciej opracować, a potem łatwiej aktualizować.

(2) Obecnie najbardziej intensywnie rozwijane międzynarodowe standardy w zakresie BIM są efektem połączenia prac w ramach stowarzyszenia buildingSMART [51] oraz organizacji ISO i CEN. Charakteryzują się one przede wszystkim otwartością na wszystkich producentów oprogramowania narzędziowego do tworzenia i edycji modeli BIM. Warunkiem jest implementacja tego standardu w danym programie przez utworzenie odpowiednich poleceń i algorytmów do wymiany danych (eksport, import), a następnie przeprowadzenie certyfikacji danej wersji oprogramowania. W ten sposób można zapewnić interoperacyjność programów i danych oraz zapewnić międzybranżową współpracę. Jest to jednocześnie jeden z najszerzej na świecie stosowanych standardów typu Open BIM, czyli otwartego i uniwersalnego podejścia do zespołowego projektowania, realizacji i utrzymania obiektów budowlanych. Takie podejście zapewnia też najlepszą zgodność z wymaganiami i regulacjami rynku zamówień publicznych. W przeciwieństwie do tzw. „zamkniętego BIM” (ang. Closed BIM lub Lonely BIM), w którym projektanci (również z innych branż) korzystają z narzędzi i formatów zapisu danych jednego producenta oprogramowania.

(3) Standaryzacja proponowana przez buildingSMART, jako otwarte podejście Open BIM obejmuje trzy zasadnicze obszary, które pokazywane są zwykle z użyciem trójkąta na rys. 6.5.3.1. Są to dane, procesy i terminologia (inaczej nazwy). Każdy z tych obszarów ma swoją dedykowaną normę i towarzyszący jej skrót (IFC, IDM, IFD), ale wszystkie trzy są ze sobą spójne i stanowią o kompletności tego podejścia. Poniżej zamieszczono nieco szersze omówienie tych obszarów wraz normami, ale w skrócie można powiedzieć, że IFC mówi, jak przechowywać dane, IDM precyzuje, które dane i kiedy przekazać, a IFD definiuje, co ma być przechowywane.



Rys. 6.5.3.1. Podstawy otwartego standardu OpenBIM według buildingSMART [51]

(4) **Dane (IFC).** Ten obszar reguluje norma [11], która choć jest już nawet oznaczana w Polsce jako PN-ISO, to nie została jeszcze przetłumaczona na język polski. Opisuje ona najbardziej rozpowszechniony na świecie standard zapisu cyfrowego modelu 3D z uwzględnieniem informacji o obiekcie budowlanym. Jest nim format IFC, czyli Industry Foundation Classes. IFC, to otwarty, międzynarodowy standard danych BIM, służący do wymiany informacji pomiędzy oprogramowaniem uczestników procesu budowlanego. Opis schematu danych wykonany został za pomocą języka STEP/EXPRESS, który pozwala opisywać obiektowe struktury danych, łącznie z odzwierciedleniem ich relacji. Jego składnia przypomina język Pascal. Schemat IFC uzupełniono również o język XML, którego składnia opiera się na znacznikach przypominających strukturę HTML wykorzystywaną do tworzenia dokumentów hipertekstowych (np. strony internetowe). Użycie tych obu sposobów opisu danych zapewnia możliwość przedstawienia danych

obiektywnych w postaci otwartego tekstu. Dzięki temu może być odczytywany i zapisywany przez każde oprogramowanie, które zostanie do tego przystosowane.

(5) **Procesy (IDM)**. Information Deliver Manual, czyli podręcznik w jaki sposób dostarczać dane znajduje się w dwuczęściowej normie [9], [10]. Normy te również mają odpowiedniki PN, ale bez tłumaczenia. IDM ma na celu przede wszystkim określenie i lokalizację danych, które chcemy przekazywać za pomocą plików IFC. Zwykle liczba uczestników procesu budowlanego oraz ilość wymienianych między nimi informacji jest zbyt duża, aby można ją było wprost zaimplementować w zapisie IFC. Każdy uczestnik potrzebuje tylko określonej i potrzebnej mu części wszystkich danych, a te zmieniają się wraz z kolejnymi etapami życia obiektu (projektowanie, budowa, utrzymanie). Do tego celu utworzono narzędzie umożliwiające opisywanie procesów budowlanych i związanej z nimi wymiany danych. Pozwala to na przedstawianie procesu budowlanego pomiędzy jego stronami z dokładnym opisem przekazywanych informacji w podobny sposób, jak w analizie procesów biznesowych. Mapa procesów w standardzie IDM prezentowana jest z użyciem notacji BPMN (Business Process Modelling Notation) [31]. Jest to graficzny język służący do opisu modelu procesu biznesowego, stosowany m.in. do optymalizacji procesów w przedsiębiorstwach.

(6) **Nazwy (IFD)**. Terminologia związana z IFC opisana jest w normie [13], która w podobny sposób jak powyższe normy została przeniesiona na grunt krajowy. IFD, czyli International Framework for Dictionary, jest pewnego rodzaju słownikiem nazw używanych w IFC. Wprowadza siatkę pojęciową (ontologię) stosowaną w przemyśle budowlanym, dzięki której możliwa jest lokalizacja językowa i prawna wykorzystywanych pojęć (nazwy materiałów, ich właściwości, jednostki itd.). Każdemu z pojęć przydziela się unikalny identyfikator GUID (ang. Global Unique Identifier), który pozwala uniknąć niejednoznaczności. IFD zostało wykorzystane do utworzenia technologii oznaczonej jako bsDD (ang. Building Smart Data Dictionary). Jest to biblioteka obiektów wraz z ich atrybutami, która dzięki specjalnym odniesieniom przyporządkowuje pobrane z bazy opisy do elementów występujących w modelu. Umożliwia w ten sposób precyzyjne identyfikowanie zawartych w modelu informacji.

(7) Oprócz tych trzech podstawowych standardów (IFC, IDM, IFD), które są sukcesywnie implementowane w kolejnych krajach Europy, funkcjonuje jeszcze szereg innych normatywów, jak prenormy, normy krajowe, albo międzynarodowe. Wybrane z nich przykłady zestawiono w tab. 6.5.3.1.

Tab. 6.5.3.1. Wybrane standardy i normatywy związane z metodologią BIM

Status i lokalizacja	Odnosnik	Regulowane obszary i tematyka
norma międzynarodowa	[19]	Ramowe wytyczne dotyczące modelowania BIM (ISO/TS 12911).
norma międzynarodowa	[9], [10], [11], [13]	Normy ISO 29481, 16739, 12006-3 stanowiące podstawę podejścia Open BIM do przechowywania, przetwarzania i udostępniania danych obiektowych, które opisują trzy obszary: danych (IFC), procesów (IDM) oraz terminologii (IFD).
norma międzynarodowa	[14], [15], [16], [17], [18]	Grupa czterech norm ISO 19650 oraz ISO 22263, które opisują zasady organizacji i digitalizacji informacji o budynkach z wykorzystaniem metodologii BIM.
norma krajowa (UK)	[20]	Brytyjska norma BS 1192-4 opisująca wymagania w zakresie wymiany informacji za pomocą formatu COBie. Do 2014 r. funkcjonowała jako prenorma.
norma krajowa (UK)	[21], [22]	Dwie części normy BS 8536 opisującej zarządzanie budynkami.
norma krajowa (UK)	[23], [24], [25], [26]	Kilkuczęściowa norma BS 8541 z klasyfikacją elementów bibliotek przeznaczonych dla architektów i konstruktorów.
prenorma krajowa (UK)	[27], [28], [29]	Grupa brytyjskich prenorm PAS 1192 specyfikująca zarządzanie informacjami w fazie użytkowania zasobów z wykorzystaniem metodologii BIM.

6.5.4. Klasyfikacja budowlana zgodna z BIM

(1) Oprócz omówionych wcześniej normatywów, istotne znaczenie mają również systemy klasyfikacji budowlanej [59]. Chodzi o klasyfikację stosowanych w budownictwie materiałów i rodzajów robót w sposób podobny do znanego w naszym kraju systemu Polskiej Klasyfikacji Wyrobów i Usług (PKWiU), albo używanego przy kosztorysowaniu Katalogi Nakładów Rzeczowych (KNR). Oprócz tego funkcjonują w Polsce również takie systemy, jak Polska

Klasyfikacja Obiektów Budowlanych (PKOB), Polska Klasyfikacja Działalności (PKD), Wspólny Słownik Zamówień inaczej Common Procurement Vocabulary (CPV) używany w zamówieniach publicznych. Niestety żaden z nich nie nadaje się do tego, by zaimplementować je do opisu narzędzi zgodnego z BIM, a nawet CAD. Tymczasem na świecie już od dawne funkcjonują klasyfikacje budowlane, które używane były najpierw w systemach CAD, a potem zostały rozwinięte i dostosowane do metodologii BIM. Do najbardziej znanych systemów należą amerykański OmniClass oraz brytyjski Uniclass.

(2) System OmniClass [43], to system klasyfikacji używany do porządkowania i wyszukiwania informacji w branży budowlanej, rozwijany przez Construction Specifications Institute z USA od lat początku 90 i jest dziś zgodny z najnowszymi międzynarodowymi standardami ISO w zakresie BIM. OmniClass zawiera 15 tabel, w których są również produkty i roboty mostowe (tab. 6.5.4.1). Każda tabela może być używana niezależnie do klasyfikowania określonego rodzaju informacji. Obejmują one pełny cykl życia obiektu od koncepcji po rozbiórkę. System jest powszechnie wykorzystywany przez zamawiających, projektantów, wykonawców oraz administrację do uzupełniania danych w modelach BIM, a nawet inspekcjach i ocenach stanu technicznego [34].

Tab. 6.5.4.1. Przykłady klasyfikacji produktów i robót mostowych według OmniClass (USA)

Projektowanie konstrukcji z długimi przęsłami		Łączenie konstrukcji śrubami	
33	Disciplines	32	Services
33-21	Design Disciplines	32-57	Implementation Services
33-21 31	Engineering	32-57 61	Constructing
33-21 31 14	Structure Engineering	32-57 61 21	Fastening
33-21 31 14 31	Long-span Structure Engineering	32-57 61 21 13	Screwing
Mostowe łożyska stałe		Prefabrykowane pale wbijane	
23	Products	23	Products
23-39	Utility and Transportation Products	23-13	Structural and Exterior Enclosure Products
23-39 13	Tunnels and Bridges	23-13 29	Foundations
23-39 13 13	Bridges	23-13 29 11	Foundation Piles
23-39 13 13 19	Bridge Bearings	23-13 29 11 13	Driven Piles
23-39 13 13 19 11	Fixed Bridge Bearings	23-13 29 11 13 15	Precast Concrete Driven Piles
Inspekcja jako element fazy użytkowania		Inspekcja jako element katalogu usług	
31	Phases	32	Services
31-80	Operations Phase	32-57	Implementation Services
31-80 20 21	Facility Inspection Phase	32-57 81	Assuring
		32-57 81 13	Inspecting

(3) Uniclass [45] jest spójną klasyfikacją wszystkich produktów w branży budowlanej opracowaną przez NBS (National Building Specification) w Wielkiej Brytanii. Zawiera tabele klasyfikujące elementy o dowolnej skali. Od drobnych produktów jak łożysko elastomerowe, aż po duże obiekty, jakim jest most. Uniclass jest zgodny z serią norm [14], [15], [16], [17]. Jest podzielony na zestaw dwunastu tabel, które kategoryzują informacje wykorzystywane do kalkulacji kosztów, dostaw, tworzenia specyfikacji, nazewnictwa warstw CAD itd. Układ tabel jest hierarchiczny i pozwala na łatwe wyszukanie potrzebnych informacji (tab. 6.5.4.2). NBS przygotowało również wygodną platformę dostępu do klasyfikacji, która oparta jest na rozwiązaniach chmurowych.

(4) Do skutecznego wdrożenia metodologii BIM w naszym kraju brakuje polskiego systemu klasyfikacji budowlanej, która mogłaby być użyta do kosztorysowania z użyciem modeli BIM [76]. Taki system powinien być zgodny z zapisami normy [12], co zapewni mu spójność z międzynarodowymi standardami. Pożądane byłoby również wykorzystanie dobrych, europejskich przykładów, ale oczywiście z uwzględnieniem specyfiki krajowych praktyk w kosztorysowaniu [59].

Tab. 6.5.4.2. Przykłady klasyfikacji produktów i robót mostowych według Uniclass (UK)

Mosty stałe		Skrzydło przyczółka mostowego	
En	Entities	Ss	Systems
En_80	Transport entities	Ss_20	Structural systems
En_80_94	Bridges	Ss_20_50	Bridge abutment and pier systems
En_80_94_30	Fixed bridges	Ss_20_50_10	Abutment systems
		Ss_20_50_10_95	Wing wall systems
Mostowe łożysko elastomerowe		Elastomerowa taśma dylatacyjna	
Pr	Products	Pr	Products
Pr_20	Structure and general products	Pr_35	Covering and finishing products
Pr_20_85	Support and restraint products	Pr_35_90	Trim products
Pr_20_85_10	Bridge bearings	Pr_35_90_09	Bridge expansion joints
Pr_20_85_10_27	Elastomeric bearings	Pr_35_90_09_27	Elastomeric expansion joint in metal runners
Montaż deskowania		Inspekcja mostu	
Ac	Activities	Ac	Activities
Ac_10	Preparation, construction and repair	Ac_80	Transport activities
Ac_10_40	Construction	Ac_80_94	Bridge function
Ac_10_40_30	Formwork installing	Ac_80_94_41	Bridge inspecting

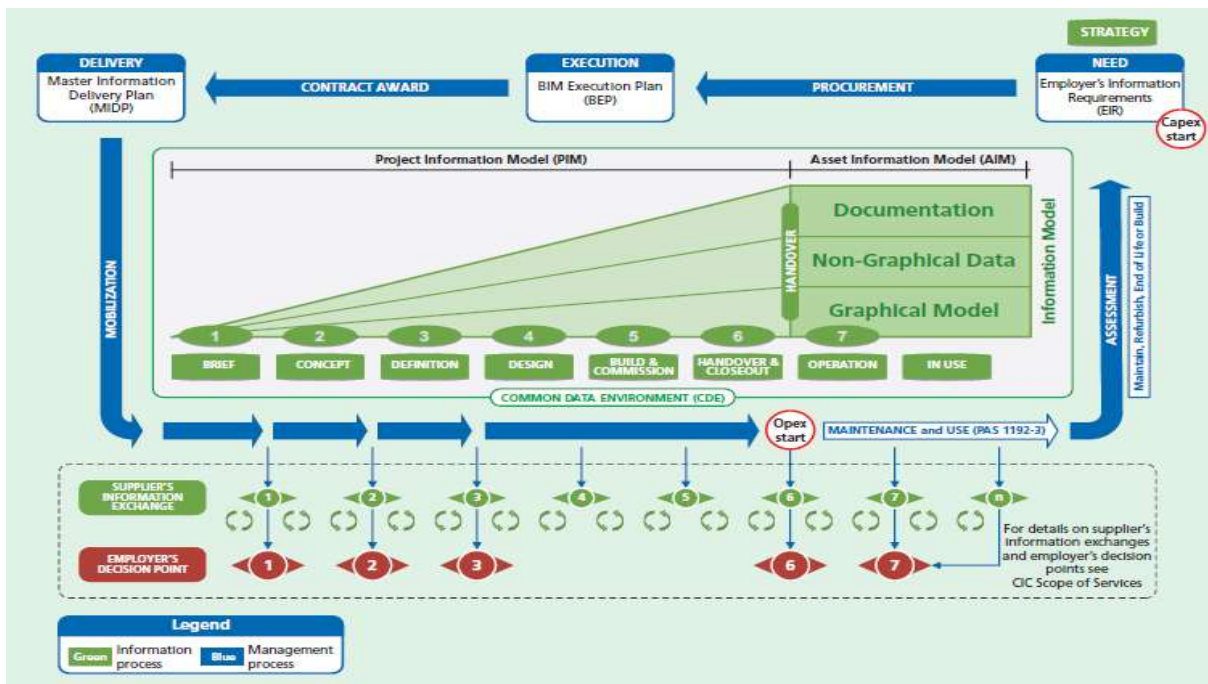
6.5.5. Zapisy kontraktowe i procedury związane z procesem BIM

(1) Przy realizacji kontraktów z użyciem metodologii BIM stosuje się szereg dodatkowych dokumentów i procedur w stosunku do klasycznych zapisów kontraktowych (wynikających z odpowiednich regulacji normowych). Każdy z nich ma swoje zdefiniowane angielskie nazwy i odpowiadające im skróty, które w środowisku ekspertów BIM zdążyły się już upowszechnić. Niestety nie zostały jeszcze przetłumaczone na polski język i tym samym nie posiadają polskich skrótów. Należą do nich przede wszystkim EIR, BEP, MIDP/TIDP, CDE. Przy okazji przygotowań do pierwszego w Polsce projektu pilotażowego w infrastrukturze, wybrany przez GDDKiA zespół konsultanta w postaci firmy EccBIM opracował słownik najważniejszych pojęć związanych z BIM. Został on wykorzystany na potrzeby niniejszej pracy, a jego fragmenty znajdują się w rozdziale 3.

(2) **EIR.** Proces efektywnego wykorzystania BIM w kontrakcie rozpoczyna się od zdefiniowania wymagań BIM w umowach zamawiającego z dostawcami usług w poszczególnych etapach życia obiektu (projektowanie, budowa i eksploatacja). W pierwszym kroku zamawiający musi zdefiniować zakres i sposób zarządzania informacją w planowanym projekcie (kontrakcie). Wymagania zamawiającego opisuje zwykle dokument nazywany SIWZ (Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia). Jego odpowiednikiem w normie [14] jest EIR (Exchange Information Requirement), a w nomenklaturze brytyjskiej ten skrót oznacza Employer Information Requirement, czyli Wymagania Informacyjne Zamawiającego. Uzupełnia on ogólne wymagania o te dotyczące procesów BIM, określając je już na etapie przetargu wobec wszystkich uczestników inwestycji (zamawiający, projektant, wykonawca). W zależności od potrzeb, EIR może obejmować zarówno wszystkie, jak i wybrane etapy realizacji projektu (koncepcja, projektowanie, budowa, użytkowanie). W krajowych warunkach EIR może zostać włączony jako dodatkowy element do SIWZ, z ewentualnymi dodatkowymi załącznikami. Umieszczenie EIR wśród innych elementów procesu inwestycyjnego z użyciem BIM pokazano na rys. 6.5.5.1.

(3) **BEP ofertowy.** Po określeniu wymagań rozpoczyna się etap przetargu (PROCUREMENT na rys. 6.5.5.1 Rys.), w którym zamawiający ocenia oferty i wybiera wykonawcę. Na tym etapie, krokiem związanym z procesami BIM jest dostarczenie przez potencjalnego wykonawcę razem z ofertą Planu Wykonania BIM, który w terminologii normy ISO 19650 nazywa się BEP (BIM Execution Plan). Podczas wylaniania wykonawcy, BEP ma charakter ofertowy. Chodzi o przedstawienie zamawiającemu planowanej przez oferenta strategii realizacji BIM zgodnie z wymaganiami jakie zamawiającego opisał w EIR. Dokument ten nie jest jeszcze wiążącym i ostatecznym planem, ale powinien jednak prezentować aktualne możliwości i rzeczywiste umiejętności wykonawcy. Zamawiający może wykorzystać te informacje do oceny kompetencji oferenta.

(4) **BEP kontraktowy.** Bezpośrednio po podpisaniu kontraktu (zwykle do kilku tygodni), wykonawca musi wspólnie z zamawiającym zaktualizować zapisy BEP. Ten nowy, kontraktowy BEP powinien już być odpowiedzią na wymagania zamawiającego określone w EIR oraz umowie. Ewentualne zmiany w BEP można potem wprowadzać już tylko pod warunkiem akceptacji obu stron. Powinien też być aktualizowany na początku każdego nowego etapu inwestycji (projekt budowlany, wykonawczy, budowa).



Rys. 6.5.5.1. Elementy procesu inwestycyjnego z użyciem BIM według rodziny norm BS 1192 [27]

(5) **MIDP/TIDP.** Drugim ważnym dokumentem, który powinien być przygotowany przez wykonawcę przed rozpoczęciem zasadniczych prac, jest Plan Dostarczania Informacji (DELIVERY na rys. 6.5.5.1). Składa się on z dwóch części: głównej i zadaniowej (branżowej), a oznaczany jest jako MIDP (Master Information Delivery Plan) oraz TIDP (Task Information Delivery Plan). MIDP określa kiedy, przez kogo i z użyciem jakich protokołów informacja będzie w projekcie przekazywana. Natomiast TIDP zawiera listę planowanych do przekazywania informacji z kolejnych zadań, z podaniem formatu, daty i odpowiedzialnego za przekazanie.

(6) **RACI.** Na tym etapie należy również określić role i odpowiedzialności podczas realizacji kontraktu. Służy do tego tabela RACI (Responsible Authorizing Contributing Informed). Zwykle jest to robione podczas pierwszego w kontrakcie spotkania koordynacyjnego. Dwie zasadnicze role pokazano w tab. 6.5.5.1. Menadżer Informacji, będąc po stronie zamawiającego, nie jest bezpośrednio związany z projektowaniem ani z modelowaniem. Odpowiada za wszelkie procesy informacyjne kontraktu, nie tylko związane z BIM. Do jego podstawowych obowiązków należy ustanowienie i utrzymanie środowiska wymiany danych CDE (Common Data Environment). Natomiast Koordynator BIM (zwykle po stronie wykonawcy) nie jest wyraźnie określony w przepisach normowych, gdyż te tworzone były z perspektywy zamawiającego. Obowiązki Koordynatora BIM są już bliższe procesowi projektowania, bo m.in. odpowiada on za wykrywanie kolizji oraz koordynację procesu modelowania.

(7) **CDE.** Podstawą sukcesu inwestycji budowlanej jest zaangażowanie wszystkich stron i dobra współpraca przy realizacji celów projektu. Współpraca nie tylko polega na regularnej wymianie informacji, ale także na zrozumieniu tego, co dzieje się z informacjami po ich przekazaniu. Informacje te muszą być czytelne zarówno dla ludzi, jak i dla wykorzystywanych w procesie urządzeń. Chodzi tutaj o strukturę, format zapisu i łatwość dostępu. W innym przypadku może to powodować opóźnienia spowodowane koniecznością ponownej obróbki danych. Może też stwarzać ryzyko popełnienia błędów wynikającego z błędnej interpretacji. Zgodnie z zapisami normy ISO 19650-2, aby umożliwić skuteczną współpracę i dostęp do generowanych informacji, powinny one być regularnie udostępniane wszystkim uczestnikom projektu we wspólnym środowisku danych zwanym CDE [50]. Platforma wymiany danych lub czasem platforma koordynacji umożliwia dostęp do dokumentacji projektowej (łącznie z modelem BIM) wszystkim uprawnionym uczestnikom procesu. Usprawnienia komunikację pomiędzy nimi. Zaawansowane platformy CDE umożliwiają zautomatyzowany obieg informacji i dokumentów poprzez dedykowane narzędzia do komentowania, akceptacji z uwzględnieniem ról, obowiązków i odpowiedzialności. Platformy CDE zapewniają zarządzanie dokumentami i procesami przy zachowaniu bezpieczeństwa przechowywanych danych.

Tab. 6.5.5.1. Wybrane role związane z BIM w kontrakcie

Menadżer Informacji po stronie zamawiającego
Ustanowienie i utrzymanie CDE wraz z jego bezpieczeństwem. Zdefiniowanie struktury informacyjnej i standardów dla modelu informacyjnego. Uzgodnienie formatów wyjściowych i sprawdzanie zgodności. Nadanie obowiązków w zakresie dostarczania informacji. Określenie poziomu szczegółowości na każdym etapie projektu. Koordynowanie informacji poprzez głównego projektanta. Pomoc zespołom projektowym w tworzeniu procesów wymiany informacji.
Koordynator BIM po stronie wykonawcy
Opracowywanie i obsługa protokołów BIM oraz planów BEP. Zapewnienie przestrzegania protokołów. Zarządzanie zestawami danych. Koordynacja interesariuszy pod względem ich roli w procesie BIM. Zapewnienie dokładności modeli i danych przez procedury kontroli jakości. Wykrywanie i unikanie kolizji. Przygotowywanie programów koordynacyjnych BIM i raportów z postępów. Zapewnienie szkolenia i pomocy zespołowi projektowemu. Koordynacja modelowania i zarządzania danymi. Współpraca z zespołem projektowym i zamawiającym. Koordynacja przekazywania informacji na etapach projektu.

(8) Jak widać, zapisy kontraktowe dotyczące procedur i procesów związanych z BIM są jednymi z bardziej złożonych elementów przy wdrażaniu metodologii BIM. Trzeba zauważyć, że opisane wcześniej standardy i wymagania bardzo mało uwagi poświęcają samym sposobom albo narzędziom modelowania 3D. A paradoksalnie, ten właśnie aspekt jest najczęściej eksponowany i dyskutowany w środowisku inżynierskim. Zwłaszcza producentów oprogramowania BIM, którzy w ten sposób podkreślają atrakcyjność swoich produktów. Tymczasem z punktu widzenia zamawiającego, w początkowym etapie wdrażania metodologii BIM, ważniejsze jest uporządkowanie zapisów kontraktowych. Zamawiający musi przy tej okazji wypracować nowe wymagania i procedury, które w przyszłości pozwolą mu na skuteczne agregowanie i wykorzystanie dużych ilości informacji, jakie będą dostarczać projektanci i wykonawcy. Z tego punktu widzenia, początki użycia metodologii BIM powinny być ograniczone do następujących elementów:

- a) przygotowanie szablonów dokumentów typu EIR, BEP, MIDP,
- b) wprowadzenie do SIWZ zapisów EIR wraz z załącznikami,
- c) zobowiązanie oferentów i wykonawców do dostarczania BEP,
- d) wymaganie od wykonawców dostarczania modelu 3D z określoną strukturą, informacjami niegraficznymi, na zdefiniowanym poziomie szczegółowości (LOD), w otwartym formacie IFC,
- e) obowiązek korzystania z CDE przy przesyłaniu dokumentów i udostępnianiu informacji o projekcie.

(9) Wprowadzając takie wymagania, zamawiający będzie miał kontrolę nad całym procesem inwestycyjnym. Od samego początku projektowania i budowy konstrukcji, a przede wszystkim podczas jej przekazania. Będzie też miał pełne i aktualne informacje o odbieranym obiekcie, które później wykorzysta na etapie utrzymania.

6.6. Zagadnienia związane z prawami autorskimi

(1) Zagadnienia praw autorskich związanych z tworzonymi modelami BIM można podzielić na dwa podstawowe i ściśle ze sobą powiązane obszary: prawo autorskie i prawo własności utworzonych modeli. W odniesieniu do modeli BIM prawa autorskie i własność mogą dotyczyć zaproponowanego modelu mostu lub zastosowanych bibliotek modeli komponentów (rodzin) służących do utworzenia modelu głównego.

(2) Zgodnie z ustawą o prawie autorskim i prawach pokrewnych, praw osobistych do utworu (projektu budowlanego) nie można przenosić, a autor nie może się ich zrzec. Możliwe jest jednak

przyznanie prawa do korzystania z wytworzonego utworu. W ten sposób osoby zamawiające projekt mogą nabyć jedynie majątkowe prawa własności. Obejmują one prawo do korzystania z utworu w uzgodniony sposób i dla określonego w umowie dopuszczalnego celu. Pod względem praw autorskich do projektu mostu w postaci modelu BIM nie ma dużych różnic w porównaniu z klasyczną dokumentacją. Użycie technologii BIM sprawia, że mamy do czynienia z większym potencjałem twórczym, a na świecie toczy się dyskusja nad możliwością objęcia ochroną, jako utworów w rozumieniu prawa autorskiego, modeli 3D [74]. Model BIM i użyte w nim rodziny są w zasadzie bazami danych, które też mogą podlegać przepisom prawa autorskiego. Sprawy własnościowe modelu, korzystanie z rodzin i możliwość późniejszych modyfikacji modelu BIM można zawrzeć w stosownej umowie. Można też przygotować wzory umów stosowane w zamówieniach publicznych. Przy tworzeniu krajowych zapisów dotyczących prawa autorskiego związanego z wykorzystywaniem metodologii BIM należy dążyć do jak najszerzego wykorzystania przepisów międzynarodowych, co zapewni ich spójność i jednolitą interpretację.

(3) Utworzone modele BIM zwykle są ściśle powiązane z bibliotekami parametrycznych rodzin. Tymczasem rodziny mogą być wykonane przez innego twórcę niż autor modelu głównego. Tak będzie w przypadku modeli, które są zapisane w formacie natywnym określonego narzędzia BIM. Dalsze przetwarzanie takiego modelu wymagać będzie dostępu do zastosowanych bibliotek rodzin również w macierzystym formacie. Natomiast w przypadku korzystania z otwartego formatu IFC, cały model przechowywany jest razem z podrzędnymi bibliotekami oraz wszelkimi towarzyszącymi im danymi technicznymi.

6.7. Powiązanie z systemami GIS

(1) W ostatnich dekadach nastąpiło znaczne rozszerzenie obszarów zastosowań systemów informacji geograficznej GIS (Geographical Information System), zwanych również systemami informacji przestrzennej [54]. Jest to dziś dziedzina, która ma ogromne znaczenie zarówno dla administracji i gospodarki, jak i nauki. Systemy te umożliwiają gromadzenie, analizowanie i wizualizację graficznych i niegraficznych danych odniesionych do przestrzeni geograficznej. Można je wykorzystywać w powszechnej już dzisiaj nawigacji satelitarnej, gospodarki nieruchomościami, ocenie stref zagrożonych powodzią, tworzenie map akustycznych lub map różnych rodzajów skażenia, ustalanie widoczności terenu z danego punktu. Możliwości GIS pozwalają na stosowanie tej technologii w planowaniu przestrzennym, administracji, ochronie zdrowia, monitoringu zanieczyszczeń czy zarządzaniu kryzysowym. Rozwój tych systemów jest tak lawinowy, że trudno dziś znaleźć dziedziny życia, w których nie stosowano by systemów GIS.

(2) Każdy współczesny system GIS wymaga przede wszystkim zgromadzenia i zapisania danych przestrzennych i związanych z nimi atrybutów opisowych w pewnym uporządkowanym układzie [54]. Odwzorowanie ciągłej powierzchni rzeźby terenu przy jednoczesnym zachowaniu informacji o strukturze modelowanej rzeźby i relacjach topologicznych wymaga stosowania tak zwanego cyfrowego modelu terenu DTM (Digital Terrain Model). Zawiera on informacje o wysokości poszczególnych punktów powierzchni terenu ponad ustalonym poziomem odniesienia, na przykład poziomem morza. Stąd często zamiennie stosowana jest również nazwa DEM (Digital Elevation Model). Do niedawna większość systemów GIS wykorzystywała jedynie obiekty 2D i związane z nimi metadane, a wszystkie narzędzia i procedury analityczne łącznie z metodami ich wizualizacji miały możliwości ograniczone tylko do dwóch wymiarów w planie. Jednak systemy GIS ciągle się rozwijają i coraz więcej aplikacji wykorzystuje już modele 3D. Są to np. aplikacje do katastru modelowania środowiska miejskiego. Pozyskanie do systemów GIS szczegółowych danych o istniejących obiektach budowlanych w terenie jest bardzo trudne i kosztowne. Dlatego bardzo cennym byłoby powiązanie systemów GIS z tworzonymi modelami BIM nowoprojektowanych, budowanych lub inwentaryzowanych obiektów.

(3) Trzeba jednak pamiętać, że modele GIS są bardziej skoncentrowane na ogólnych informacjach przestrzennych (ewidencja, topografia, uzbrojenie terenu), podczas gdy modele BIM ściśle operują na informacjach o budowli i procesach związanych z budową. Główne różnice między modelami BIM i GIS, to sposób ich tworzenia i poziom szczegółowości. Model BIM jest zwykle modelem bardzo złożonym, który powinien w jak największym stopniu odpowiadać rzeczywistości. Natomiast w GIS pracuje się z dużo prostszymi geometrycznymi modelami, które wykorzystują dane z różnych, często zewnętrznych źródeł, a następnie umożliwiają ich analizę na modelu, którego rdzeniem są relacje przestrzenne i semantyczne obiektów. Niemniej jednak, oba te podejścia mają wspólne przestrzenie, które pojawiają się w przypadku modelowania

kompleksów budynków w miastach, a na pewno przy modelowaniu obiektów infrastruktury. Szczególnie w infrastrukturze dużo mówi się obecnie o interoperacyjności obu systemów, o wzajemnym udostępnianiu danych oraz o wspólnych narzędziach analitycznych [65]. Nie został jednak jeszcze wypracowany spójny mechanizm integracji modeli GIS i BIM, który byłby powszechnie stosowany. Dotychczasowe próby, to m.in. obustronne konwersje modeli, wykorzystanie dodatkowych, rozszerzających systemy GIS lub BIM aplikacji, czy unifikacja modeli BIM. Jednym ze standardów GIS, który zawiera już pewne dane na temat budynków, obiektów użyteczności publicznej i sieci transportowych jest CityGML [73]. W systemach GIS uważany jest za odpowiednik IFC. Jest to bowiem otwarty standard służący do magazynowania, prezentacji i wymiany wirtualnych modeli 3D miast i terenu.

6.8. Cyfryzacja rynku zamówień publicznych

(1) Państwo ma szansę odegrać bardzo pozytywną i stymulującą rolę w procesie stopniowej cyfryzacji branży budowlanej i implementacji w budownictwie założeń strategii rozwoju nazwanej Przemysł 4.0, której odpowiednikiem jest coraz częściej używane hasło Budownictwo 4.0. Drogą do tego może być np. stopniowa cyfryzacja rynku zamówień publicznych, która m.in. obejmuje:

- a) normalizację formatu danych na potrzeby zamówień publicznych,
- b) integrację systemów GIS z modelami BIM,
- c) cyfrową ewidencję gruntów,
- d) normalizację zapisów dotyczących zarządzania zasobami infrastruktury,
- e) cyfryzację procesów zatwierdzania projektów i decyzji procesów budowlanych.

(2) Spodziewane korzyści dla państwa z cyfryzacji, to zwiększenie wydajności pracy, przejrzystości, a przede wszystkim możliwość łatwego i kontrolowanego dostępu do wszelkich aktualnych danych na temat planowanych inwestycji oraz użytkowanych obiektów i zasobów. Takie działania są spójne z koncepcją e-administracji, dzięki którym administracja publiczna stanie się przyjazna, dostępna, wydajna, szybsza i tańsza. Wpisują się też one w rozwój rynku cyfrowego i technologii typu Smart City. Cyfryzacja w coraz szerszym zakresie będzie obejmować nie tylko szeroko rozumianą dziedzinę budownictwa, ale również sektor energetyczny czy transport. Ponadto jej efekty mogą być wykorzystywane w gospodarce odpadami, walce ze smogiem i hałasem lub w zarządzaniu kryzysowym. Jest to zatem jeden ze sposobów wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju do organizacji i zarządzania publicznymi zasobami.

7. Hierarchiczna struktura danych BIM w opisie obiektu inżynierskiego

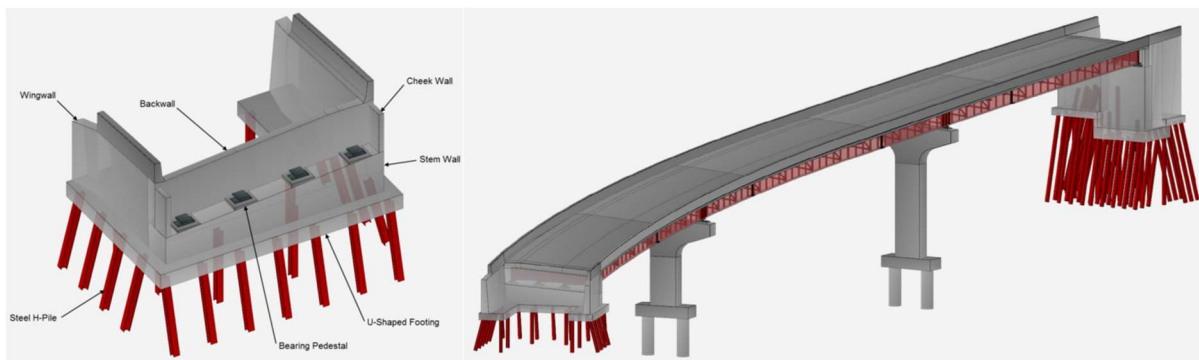
7.1. Wprowadzenie

(1) Utworzenie hierarchicznej struktury danych opisu obiektu mostowego ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia wdrożenia technologii BIM do projektów infrastrukturalnych. Obecny sposób opisu obiektu mostowego, który zawarty jest w rozporządzeniu [4] nie jest możliwy do wykorzystania przy tworzeniu i zarządzaniu modelami mostów w BIM. Należy na nowo opisać całą konstrukcję mostu wraz z elementami wyposażenia i ustalić wzajemne zależności między poszczególnymi obiektami oraz ustalić nazwy i zakresy parametrów opisujących poszczególne elementy. Przyjęte definicje i struktura danych mogłyby potem być wykorzystywane przy projektowaniu, prowadzeniu budowy i oczywiście w utrzymaniu i zarządzaniu mostowymi zasobami. W powiązaniu z klasyfikacją budowlaną produktów i usług nastąpi usprawnienie zamówień, logistyki dostaw i rozliczeń. Na tej podstawie można będzie tworzyć automatyczne zestawienia, przedmiary, kosztorysy czy specyfikacje. W procesie utrzymania będzie możliwe uporządkowanie i obiektywizacja oceny stanu technicznego mostów oraz racjonalizacja planowania prac utrzymaniowych i remontowych.

(2) Trzeba jednak pamiętać, że jest to zadanie bardzo pracochłonne, z drugiej strony jednak jest fundamentalne we wdrożeniu technologii BIM do projektów infrastrukturalnych i to na różnych etapach ich cyklu życia. W pewnym sensie odpowiada to bowiem standardowi nazewnictwa warstw na rysunkach tworzonych w technice CAD. Takie standardy funkcjonują już w wielu krajach od ponad 20 lat i obecnie zostały przekształcone na standardy BIM. Natomiast w Polsce do dziś nie mają one swoich odpowiedników. Dlatego przy tworzeniu standardów krajowych należy dążyć do jak najszerzego wykorzystania już istniejących i rozwijanych wzorców na świecie, a przede wszystkim zapewnić ich zgodność z międzynarodowymi propozycjami w tym zakresie. Dotyczy to hierarchicznej struktury danych o obiektach mostowych, bibliotek rozwiązań konstrukcyjnych i typowych detali mostowych, wymagań dotyczących modelu (np. poziom szczegółowości, format metadanych) oraz standaryzacji nazewnictwa plików dokumentacji projektowej i budowlanej.

7.2. Istniejące standardy opisu obiektu inżynierskiego

(1) Na świecie rozwijanych jest wiele standardów opisu składowych obiektu mostowego. Niektóre z nich mają charakter zamknięty (model tworzony w komercyjnej aplikacji zapisywany tylko w formacie natywnym) inne otwarty (model zapisywany w otwartych formatach typu Open BIM). Jeszcze do niedawna prowadzone w tym kierunku prace miały charakter lokalny, a największy poziom zaawansowania osiągnięto w Chinach i USA. Na uwagę zasługują zwłaszcza dokumenty amerykańskiej Federalnej Administracji Drogowej FHWA (Federal Highway Administration) [34], [35], [36]. Opracowany tam został specjalny, otwarty protokół danych openBrIM [35], który zawiera trójwymiarowe modele elementów składowych mostów z charakterystyczną dla nich terminologią i parametryzacją (rys. 7.2.1). Te osiągnięcia zostały dostrzeżone przez międzynarodową społeczność inżynierów mostowych oraz administrację odpowiedzialną za budowę i utrzymanie mostów. W 2017 r. w stowarzyszeniu buildingSMART [51] powołany został zespół ekspertów z całego świata, którego zadaniem było rozszerzenie standardowego formatu IFC tak, aby mógł także służyć do wymiany cyfrowych danych opisujących obiekty mostowe. W tym przedsięwzięciu bardzo mocno były zaangażowane również niemieckie instytucje, co wynikało z faktu ogłoszenia przez niemiecki rząd wprowadzenia mandatowego BIM do 2020 roku. Ten międzynarodowy projekt nazwany IFC-Bridge [66] został już zakończony i opublikowany. Powstał nowy standard IFC 4x2, który obejmuje mosty. Będzie on dalej rozszerzany, a w Polsce przewiduje się jego pełną implementację.



Rys. 7.2.1. Przykład modelowania parametrycznego mostu zgodnie z protokołem openBIM [35]

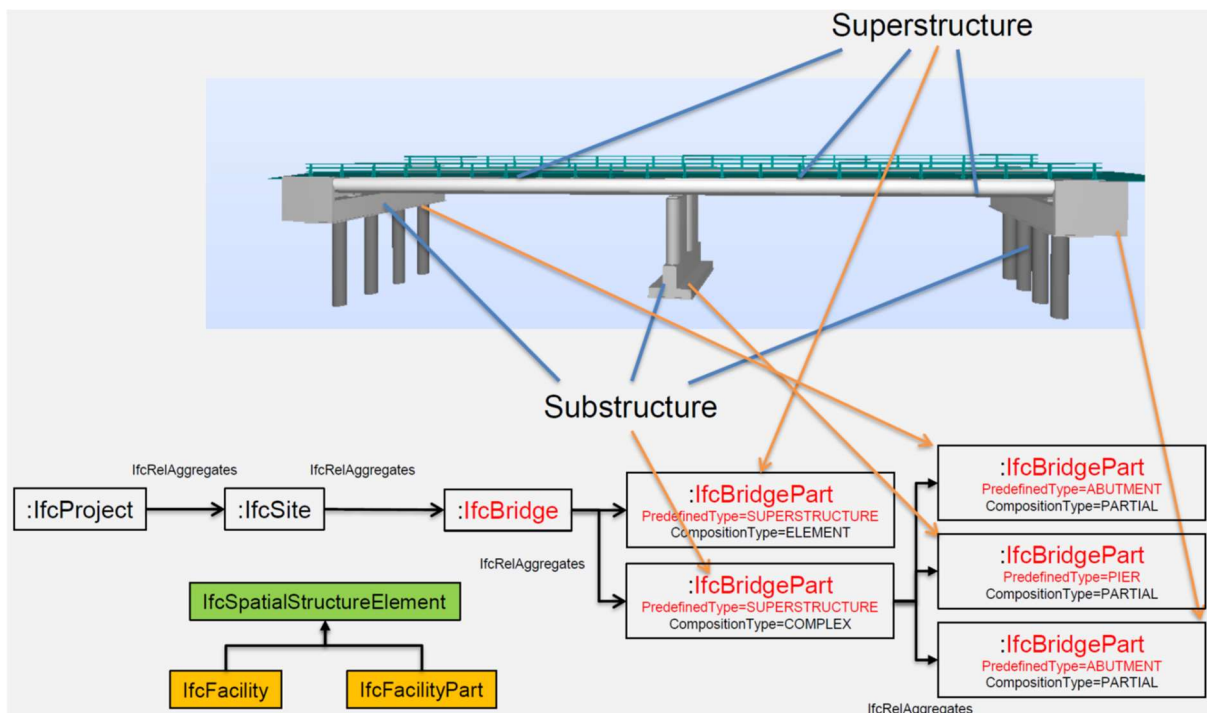
(2) W ogólności, obiekt mostowy można traktować jako zbiór pojedynczych elementów, takich jak np. przyczółki, filary, przęsła, pomost, dźwigary, stężenia, łożyska, bariery itd. Takie elementy jak przyczółki i filary składają się z mniejszych komponentów, jak pale, stopy, słupy, trzony, ciosy, skrzydła itd. Wszystkie te pojedyncze elementy można opisać za pomocą stosunkowo niewielkiej liczby parametrów i wzajemnych zależności. Każdą bryłę o określonej geometrii można przekształcić w wybrany komponent mostu, nadając mu pewien zestaw parametrów i danych potrzebnych do jego pełnego opisu. Prosty przykładem jest prostopadłościenna bryła betonu, w której trzy geometryczne zmienne (szerokość, długość i grubość) mogą być użyte do opisu gabarytów korpusu fundamentu lub trzonu podpory. W ten sposób wszystkie łąwy fundamentowe mostu, które będą miały podobny kształt, mogą korzystać z tej samej definicji fundamentu. Będą jedynie posiadać zmienne wartości szerokości, długości i grubości. Dodatkowo potrzebna będzie lokalizacja bryły w ogólnej strukturze brył mostu. Można to zrobić poprzez zdefiniowanie punktu odniesienia na fundamencie oraz jego położenia względem osi i niwelety mostu. Z komponentem można powiązać również inne dane niegeometryczne. Może to być np. rodzaj materiału, jego właściwości, typ lub data zabudowy. Wszystkie te parametry tworzą standardowe dane wymagane do zdefiniowania określonego komponentu, a razem z wieloma innymi komponentami, tworzą kompletny model mostu. Wynika z tego, że do zbudowania modelu nawet tak prostej konstrukcji, jaką jest jednoprzęsłowy most płytowy, muszą być przygotowane setki pojedynczych obiektów.

(3) Zbudowany w ten sposób model BIM staje się cyfrowym odpowiednikiem rzeczywistej konstrukcji. Jej tzw. cyfrowym bliźniakiem (digital twin). I to nie tylko w zakresie jej geometrii, ale w znacznie szerszym sensie, gdyż posiadać będzie również opisy niezwiązane z jej kształtem. Chodzi o obiektowo ukształtowane struktury danych niegeometrycznych, które mogą obejmować szereg dokumentów pomocniczych wykorzystywanych w zarządzaniu obiektem. Mogą to być dzienniki budowy, harmonogramy, dokumenty dotyczące bezpieczeństwa, decyzje organów budowlanych, wyniki inspekcji, rejestry uszkodzeń i zdarzeń itd. Wszystkie te dokumenty, które po ich włączeniu stają się częścią modelu BIM, są przechowywane we wspólnym środowisku danych CDE, które powinno być źródłem bieżącej wersji modelu z powiązаныmi dokumentami.

(4) Na szczególną uwagę zasługuje wspomniany wyżej, koordynowany przez buildingSMART, projekt IFC-Bridge, gdyż wkrótce jego rezultaty mogą stać się powszechnie stosowanym międzynarodowym standardem. Celem tego projektu było takie rozszerzenie modelu danych IFC, aby uwzględniał on obiekty mostowe z ich specyficzną semantyką i geometrią (rys. 7.2.2). Wykorzystano w nim wcześniej utworzone rozszerzenie IFC Alignment zaimplementowane w IFC wersji 4 oraz ogólne wytyczne modelowania elementów infrastruktury liniowej [66]. W pierwszym etapie tego projektu, który zakończył się w czerwcu 2019 r., przyjęto pewne ograniczenia wynikające ze stopniowego rozwoju standardu. W podstawowej wersji objęto nim najczęściej budowane typy obiektów, do których zaliczono: mosty płytowe, belkowe (belkowo-płytowe i skrzynkowe), ramowe (otwarte i zamknięte) oraz przepusty. Takie typy konstrukcji mostów, jak kratowe, łukowe, wspornikowe, podwieszane i wiszące, również mogą być modelowane, ale w wersji 4x2 nie będzie przeprowadzona ich walidacja. W odniesieniu do rozwiązań materiałowych uwzględniono mosty żelbetowe, z betonu sprężonego, stalowe i zespolone. IFC 4x2 w odniesieniu do mostów może być stosowany m.in. w następujących sytuacjach:

- a) modelowanie BIM 3D i wizualizacja,

- b) import głównych parametrów drogowych i kolejowych potrzebnych do modelowania mostu,
- c) koordynacja międzybranżowa i wykrywanie kolizji,
- d) etapowanie robót i modele BIM 4D,
- e) tworzenie przedmiarów i monitorowanie postępów,
- f) porównanie stanu projektowego z powykonawczym,
- g) przekazanie obiektu do użytkowania,
- h) powiązanie z modelem GIS w układzie globalnym.



Rys. 7.2.2. Przykład podział modelu mostu na podstawowe komponenty zgodnie z IFC 4 × 2 [51]

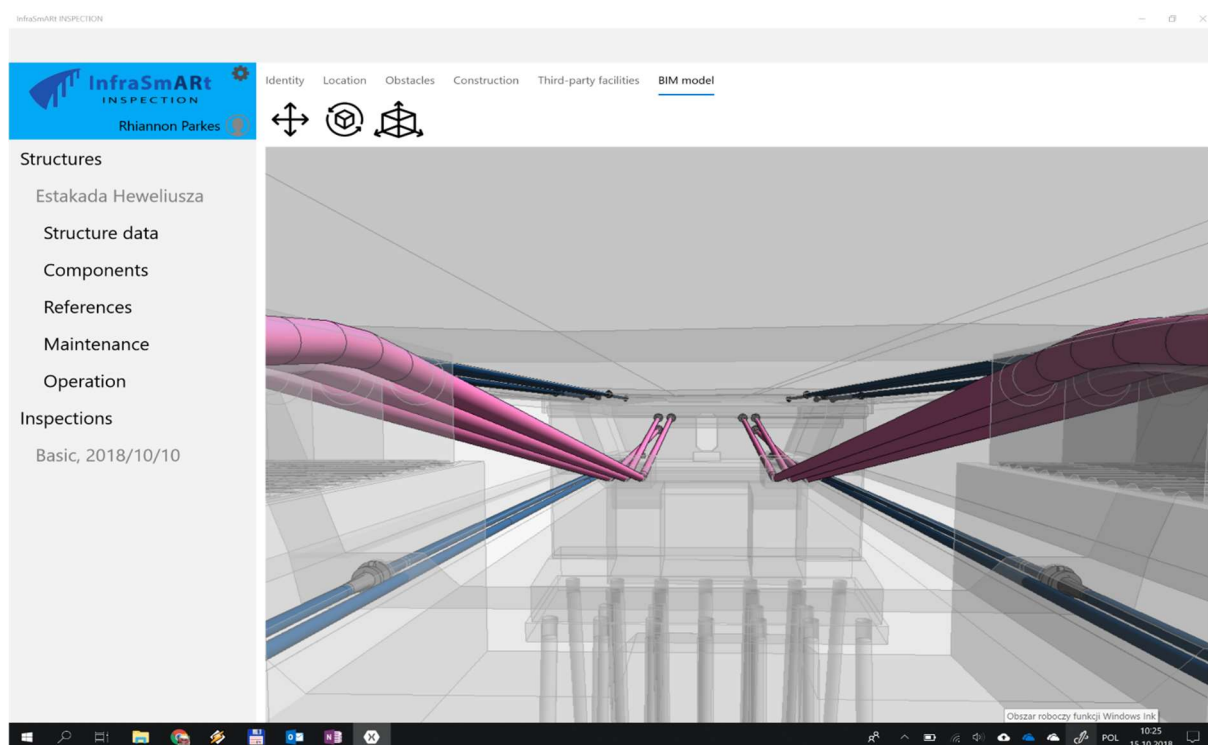
(5) Biorąc pod uwagę fakt, że format IFC 4 × 2 staje się globalnym standardem opisu konstrukcji mostów, nieracjonalne byłoby rozważanie wprowadzania innej od IFC normalizacji krajowej. IFC jest już przecież częścią systemu opisanego w normie [11], przyjętej również w Polsce. Wystarczyłoby więc przetłumaczenie tej normy w zakresie terminologii budowlanej na język polski, aby wszyscy uczestnicy procesu budowlanego w kraju używali tych samych terminów, których definicje są jednoznaczne.

7.3. Propozycja hierarchicznej struktury danych

(1) Próby opisu struktury i elementów składowych obiektów mostowych w naszym kraju podejmowane były jeszcze na początku lat 90., gdy tworzone były pierwsze programy komputerowe do wspomaganie systemów gospodarki mostowej. W tym czasie, do zarządzania mostami drogowymi w ramach Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych (dzisiaj GDDKiA) wprowadzono program SGM. Równolegle rozwijanych było kilka innych podobnych aplikacji [49], jak choćby SZOK lub SMOK (rys. 5.4.2). Wykorzystywane w tych narzędziach technologie informatyczne, a szczególnie bazodanowe i interfejsy graficzne, nie pozwalały na szczegółowy opis geometrii wszystkich komponentów mostu, a tym bardziej na ich wizualizację. Niestety brak zainteresowania ze strony ówczesnej administracji drogowej, która nastawiona była bardziej na nowe inwestycje niż na problemy utrzymania istniejących obiektów przyczynił się do zahamowania rozwoju tych narzędzi. A brak regularnych aktualizacji programów i dostosowywania ich do potrzeb i możliwości dynamicznie zmieniających się technologii IT spowodował, że pracownicy administracji nie byli w stanie z nich skutecznie korzystać. W efekcie, zaawansowane kiedyś narzędzie, jakim był 20 lat temu SGM, stało się tylko prostą bazą danych, którą wykorzystuje się dzisiaj jedynie do ewidencji obiektów mostowych. Do tego sposób i zakres opisu konstrukcji mostu jest w nich bardzo uproszczony. Odpowiada on

wymaganiom, jakie do dzisiaj obowiązują, a zostały określone w rozporządzeniu z 2005 roku [4]. Jest to tzw. Książka Obiektu Mostowego, której graficzną reprezentacją stanowi odpowiadająca jej Karta Obiektu Mostowego (rys. 5.4.1). Oba te dokumenty bardziej szczegółowo omówione zostały w podrozdziale 5.4.

(2) Niestety taki sposób opisu obiektu mostowego zupełnie nie nadaje się do zastosowania we współczesnych systemach informatycznych. Obiekt traktowany jest bowiem jako bardzo prosty model punktowy, który nie ma właściwie żadnej reprezentacji geometrycznej. Parametry opisu mają charakter niegraficzny i w żaden sposób nie są ze sobą powiązane hierarchicznie. Oczywiście pewne próby wprowadzenia takiej hierarchii nawet w Książce Obiektu Mostowego czy w programie SGM pojawiły się, ale bez zastosowania współczesnego podejścia obiektowego były skazane na porażkę. Wypełnianie pól opisowych książki albo wprowadzanie zdjęć i rysunków z rzutami mostu na kartę pozwala spełnić jedynie wymagania formalne, posiadania papierowej ewidencji i sprawdza się w przypadku niewielkiej liczby kilkunastu obiektów. Natomiast w żaden sposób nie usprawnia zarządzania nimi, a w skali województwa lub nawet dużego miasta posiadającego kilkadziesiąt obiektów, wręcz utrudnia działanie. Dodatkowo, przy takim rozwiązaniu nie ma możliwości powiązania ze sobą danych ewidencyjnych z wynikami cyklicznych inspekcji lub efektami przeprowadzonych prac utrzymaniowych czy remontowych. Tym samym, ograniczone są możliwości podejmowania właściwych i skutecznych decyzji dotyczących wydatkowania środków na utrzymanie i wymianę obiektów.



Rys. 7.3.1. Interfejs aplikacji do inspekcji mostów w części poświęconej opisowi struktury mostu

(3) Powyższe ograniczenia i brak dostosowania do współczesnych technologii informatycznych, a jednocześnie coraz częściej artykułowane potrzeby ze strony krajowej administracji drogowo-mostowej, sprawiły, że w 2018 r. uruchomiony został projekt badawczy, którego celem było powiązanie aktualnych systemów ewidencyjnych i utrzymaniowych z metodologią BIM [70]. Tytuł projektu finansowanego ze środków Unii Europejskiej i Regionalnego Programu Operacyjnego dla województwa śląskiego brzmi „Wykorzystanie technologii BIM oraz poszerzonej rzeczywistości AR w planowaniu i inspekcji obiektów infrastruktury technicznej z użyciem mobilnej aplikacji InfraSmARt-Inspection” (projekt WNP-RPSL.01.02.00-24-0667/16-001-01). Bezpośrednim celem projektu było opracowanie aplikacji na urządzenia mobilne (smartfon, tablet), która mogłaby wspomagać inspektora mostowego. Jednym z etapów realizacji tego zadania było opracowanie struktury danych opisujących konstrukcję mostową. Było to niezbędne do tego, aby później móc uzupełniać te dane o informacje pozyskiwane w trakcie oceny stanu technicznego i rejestrację stwierdzonych podczas inspekcji uszkodzeń. Przy tworzeniu tego unikalnego narzędzia

zdecydowano się na użycie standardu IFC z autorskimi rozszerzeniami, których brakowało w dostępnej wówczas wersji IFC. Te rozszerzenia, to przede wszystkim wprowadzenie brakującej terminologii mostowej oraz dostosowanie do krajowych wymagań rozporządzenia [4] oraz instrukcji [38], które nadal obowiązują i są powszechnie stosowane w GDDKiA i na niższych szczeblach administracji. Interfejs użytkownika tej aplikacji, w części poświęconej strukturze danych opisujących konstrukcję mostu pokazano na rys. 7.3.2.

AdminDistricts

Tabela danych typu "Gmina państwowa"

Nazwa pola	Typ pola	Opis
ID	stałoprzecinkowy, 32-bit	klucz własny
Name	tekstowy	Gmina
CommuneCode	tekstowy	Kod gminy
Province	wyliczeniowy	Województwo (dolnośląskie, kujawsko-pomorskie, lubelskie, lubuskie, łódzkie, małopolskie, mazowieckie, opolskie, podkarpackie, podlaskie, pomorskie, śląskie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie, wielkopolskie, zachodniopomorskie)
County	tekstowy	Powiat
CountyCode	tekstowy	Kod powiatu
Comment	tekstowy	Uwagi

Axles

Tabela danych typu "Oś pojazdu"

Nazwa pola	Typ pola	Opis
ID	stałoprzecinkowy, 32-bit	klucz własny
Name	tekstowy	Opis
Offset	zmiennoprzecinkowy	Odległość od pierwszej osi [m]
Pressure	zmiennoprzecinkowy	Maksymalny nacisk [kN]

BearingGroups

Tabela danych typu "Grupa łożysk"

Nazwa pola	Typ pola	Opis
ID	stałoprzecinkowy, 32-bit	klucz własny
Name	tekstowy	Nazwa lub numer
BuildDate	data/czas	Data budowy/montażu
Model	stałoprzecinkowy, 32-bit	Model geometryczny (klucz obcy, tabela Models)
Comment	tekstowy	Uwagi
SubStructure	stałoprzecinkowy, 32-bit	Konstrukcja nośna
Location	wyliczeniowy	Lokalizacja (na podporze przęśla, w przęśle, na podporze schodów, na podporze pochylni)
Component	stałoprzecinkowy, 32-bit	Podobiekt (klucz obcy, tabela AdminDistricts)
SideLevel	wyliczeniowy	Strona / poziom (lewa / góra, prawa / dół)
WidenerSide	wyliczeniowy	Strona poszerzenia (lewa, brak, prawa)

Bearings

Tabela danych typu "Łożysko"

Nazwa pola	Typ pola	Opis
ID	stałoprzecinkowy, 32-bit	klucz własny

Name	Typ pola	Opis
WorkScheme	wyliczeniowy	Schemat pracy (stałe, przesuwno 1-kier., przesuwno 2-kier., przesuwno wielokier.)
Construction	wyliczeniowy	Konstrukcja (elastomerowe, elastomerowe ilizgowe, przegubowe betonowe, przegubowe stalowe, stalowe, płaskie i linowo-styczne, stalowe, walcowe, garnkowe, czasowe (soczewkowe), wahadłowe, przekładkowe)
Material	stałoprzecinkowy, 32-bit	Material (klucz obcy, tabela Materials)

Bounds

Tabela danych typu "Skrajnia"

Nazwa pola	Typ pola	Opis
ID	stałoprzecinkowy, 32-bit	klucz własny
Name	tekstowy	Nazwa
Type	wyliczeniowy	Rodzaj (drogowa, kolejowa, tramwajowa, piesza, żeglowna)
Width	zmiennoprzecinkowy	Szerokość [m]
Height	zmiennoprzecinkowy	Wysokość [m]

BridgeRepairs

Tabela danych typu "Remont mostu"

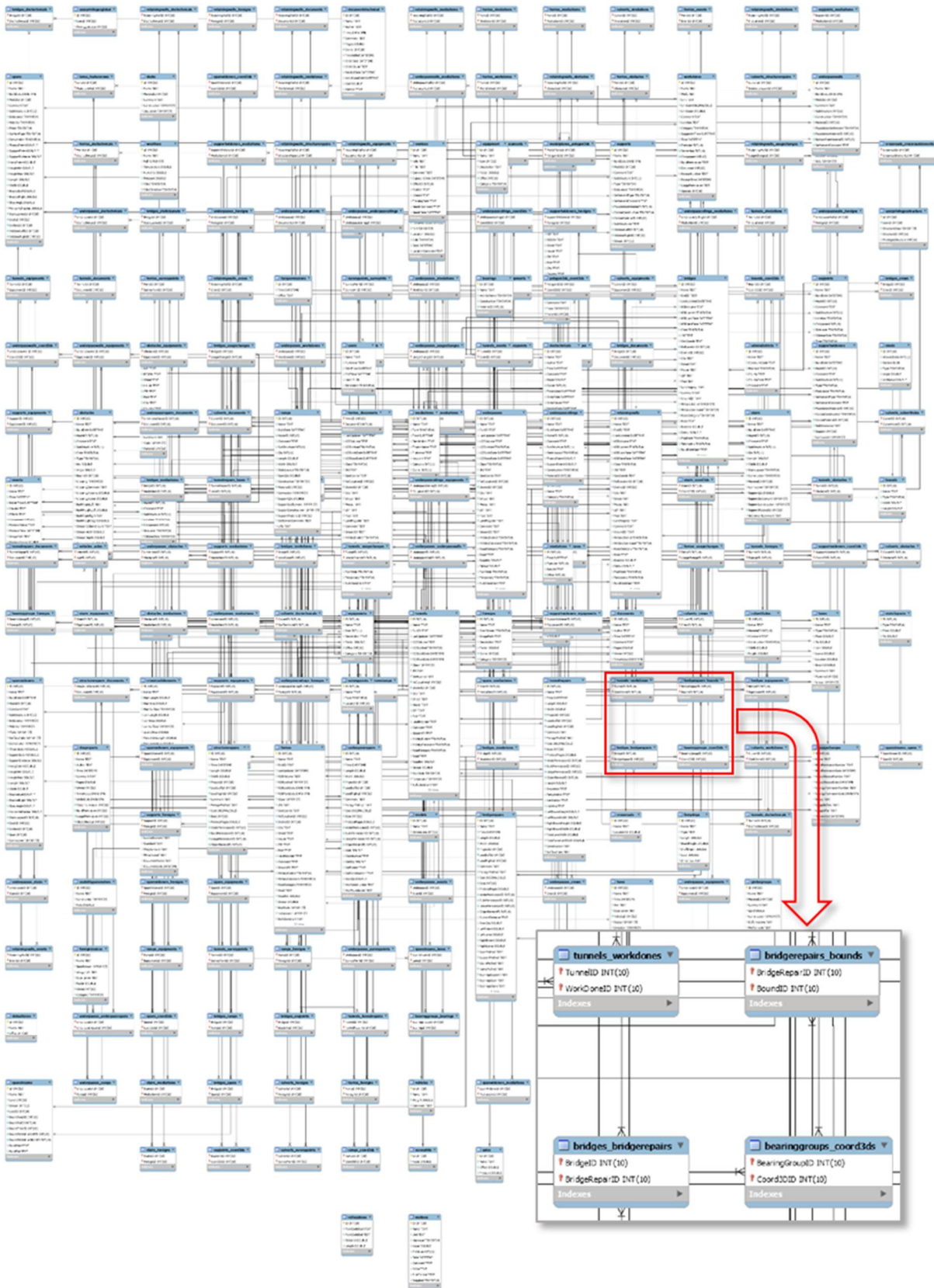
Nazwa pola	Typ pola	Opis
ID	stałoprzecinkowy, 32-bit	klucz własny
Name	tekstowy	Identyfikator
Time	data/czas	Data zakończenia
Length	zmiennoprzecinkowy	Długość [m]
Width	zmiennoprzecinkowy	Szerokość [m]
Project	stałoprzecinkowy, 32-bit	Dokumentacja projektowa przebudowy (klucz obcy, tabela DocProjects)
LoadLeft	stałoprzecinkowy, 32-bit	Nośność (pierwsza nitka) (klucz obcy, tabela Loads)
LoadRight	stałoprzecinkowy, 32-bit	Nośność (druga nitka) (klucz obcy, tabela Loads)
Comment	tekstowy	Uwagi
ForeignMethod	tekstowy	Zmiany w instalacjach urządzeń obcych
Cost	walutowy	Koszt
Base	stałoprzecinkowy, 32-bit	Podstawa (klucz obcy, tabela DocTechnicals)
ProtocolPages	zmiennoprzecinkowy	Liczba stron protokołu
WaterPermission	stałoprzecinkowy, 32-bit	Pozwolenie wodno-prawne (klucz obcy, tabela Documents)
BuildPermission	stałoprzecinkowy, 32-bit	Pozwolenie na budowę (klucz obcy, tabela Documents)
UsagePermission	stałoprzecinkowy, 32-bit	Pozwolenie na użytkowanie (klucz obcy, tabela Documents)
ObjectReceipt	stałoprzecinkowy, 32-bit	Protokół odbioru (klucz obcy, tabela Documents)
SupportDistance	tekstowy	Rozstaw podpór [m]
SpanQty	zmiennoprzecinkowy	Liczba przęseł [szt.]
LeftExtent	zmiennoprzecinkowy	Szerokość lewej jezdni [m]
LeftLanes	zmiennoprzecinkowy	Liczba pasów ruchu lewej jezdni [szt.]
RightExtent	zmiennoprzecinkowy	Szerokość prawej jezdni [m]
RightLanes	zmiennoprzecinkowy	Liczba pasów ruchu prawej jezdni [szt.]

Rys.7.3.2. Struktura danych w formie tabelarycznej (fragment)

(4) Ponieważ sposób przetwarzania danych zapisanych w formacie IFC nie jest zbyt efektywny, zdecydowano się opracować narzędzie pozwalające na pozyskanie z pliku IFC potrzebnych informacji BIM i umieszczenie ich w relacyjnej bazie danych. Szczegółowym celem działania tego narzędzia jest ekstrakcja danych z pliku w formacie IFC, a następnie wprowadzanie ich do bazy SQL, zgodnie z opracowanym wcześniej formatem. Na rys. 7.3.2 pokazano fragment struktury w opisie tabelarycznym. Całość zaproponowanej struktury danych opisujących most widoczny jest na rys. 7.3.3. Niestety, format i zakres tego opracowania nie pozwala na zaprezentowanie tej struktury w czytelny sposób, ale na tym przykładzie widać jak dużym i złożonym przedsięwzięciem jest szczegółowe opisanie wszystkich komponentów mostu i ich wzajemnych powiązań.

(5) Należy podkreślić, że omawiana tutaj propozycja jest gotowa do implementacji formatu IFC oraz zgodna z aktualnymi wymaganiami w zakresie utrzymania obiektów mostowych w Polsce. Choć powstawała jeszcze przed ogłoszeniem najnowszej wersji IFC 4 × 2, to jest przygotowana do wdrożenia, które może być przeprowadzone przez procedurę mapowania struktury danych aplikacji do formatu IFC. Natomiast dane w tym podejściu zostały przygotowane w taki sposób, aby możliwe było utworzenie wszystkich raportów wymaganych przez obowiązujące w naszym kraju akty prawne, zarówno w zakresie ewidencji, jak i utrzymania obiektów (Książka i Karta Obiektu Mostowego, raporty z przeglądów podstawowych, rozszerzonych i szczegółowych). Odpowiedni dokument w formacie PDF może być wygenerowany automatycznie na podstawie danych zgromadzonych w powiązanej z aplikacją bazie oraz informacji wprowadzanych na bieżąco przez inspektorów mostowych podczas przeglądu. Architektura bazy danych umożliwi

rozszerzenia istniejących modułów o kolejne dane, jak również uzupełnienie systemu o nowe moduły, które będą mogły korzystać z opracowanych struktur danych. Definicje wszystkich tabel relacyjnych wraz z opisami pól są odpowiednio udokumentowane i na bieżąco prezentowane w postaci dokumentu hipertekstowego HTML, którego fragment pokazano na rys. 7.3.4.



Rys. 7.3.3. Struktura danych w formie graficznej, która służy pokazaniu wielkości całego zadania

Table InfraSzkok.spans

Close relationships within ○ one • two degrees of separation:

Column	Type	Size	Nulls	Auto	Default	Children	Parents	Comments
ID	int unsigned	10		√		bridges_spans spans_coord3ds spans_equipments spans_foreigns spans_mediatems spanstreams_spans		ID
Name	text	65535	√		null			Nazwa lub numer
BuildDate	datetime	19	√					Data budowy/montażu
ModelID	int unsigned	10			0			
Comment	text	65535	√		null			Uwagi
SubStructure	int	10	√		null			Konstrukcja nośna
Endurance	tinyint	3	√		null			Stożność trwałości
Mobility	tinyint	3	√		null			Mobilność
Plane	tinyint	3	√		null			Ukształtowanie w planie
SurfaceType	tinyint	3	√		null			Rodzaj nawierzchni jezdni
Dehydration	tinyint	3	√		null			System odwodnienia
TheoryExtent	double	22	√		null			Rozpiętość teoretyczna [m]
SupportExtent	double	22	√		null			Rozpiętość w świetle podpór [m]
SupportDistance	double	22	√		null			Rozstaw podpór [m]
HangExtent	double	22	√		null			Rozpiętość przęsła zawieszonoego [m]
HeightMin	double	22	√		null			Minimalna wysokość konstrukcyjna [m]
HeightMax	double	22	√		null			Maksymalna wysokość konstrukcyjna [m]
Length	double	22	√		null			Długość całkowita [m]
Width	double	22	√		null			Szerokość całkowita [m]
BracketLeft	double	22	√		null			Długość lewego wspornika [m]
BracketRight	double	22	√		null			Długość prawego wspornika [m]
SkewAngle	double	22	√		null			Kąt ukosu [°]
HorizontalRadius	double	22	√		null			Promień łuku poziomego [m]
StaticLayoutID	int unsigned	10			0			
DeckID	int unsigned	10			0			
GirdersID	int unsigned	10			0			
WidenerLeftID	int unsigned	10			0			
WidenerRightID	int unsigned	10			0			

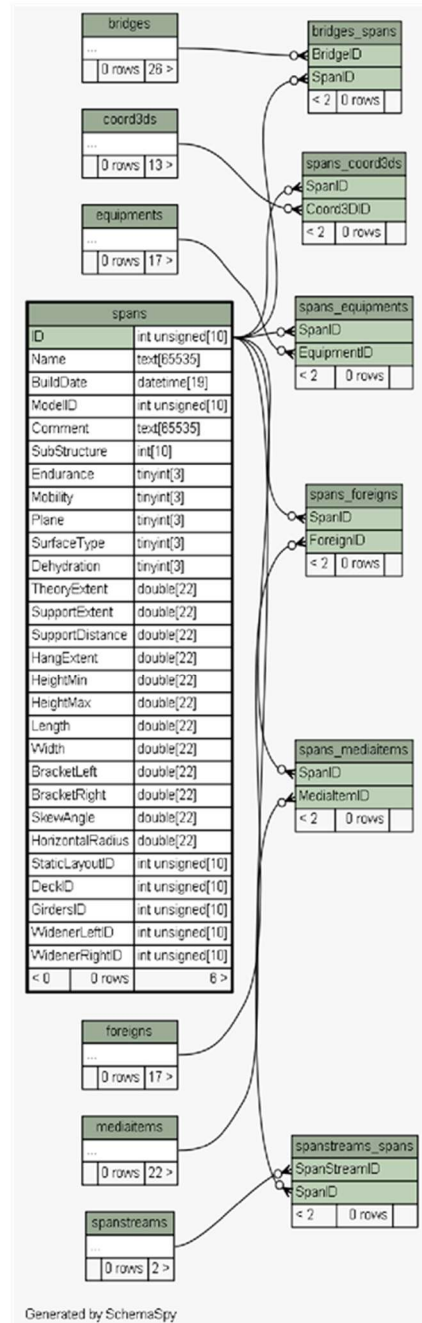
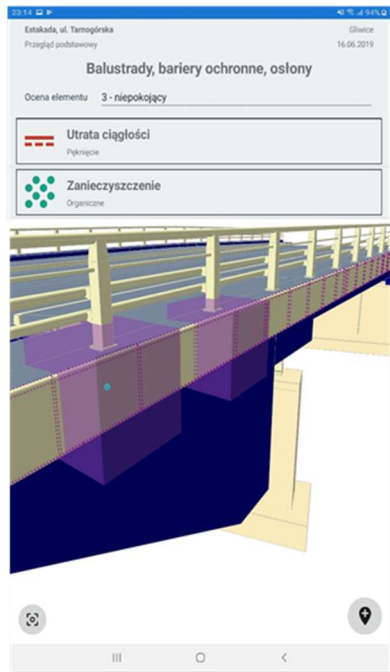
Indexes:

Column(s)	Type	Sort
ID	Primary key	Asc

Generated by
SchemaSpy

Legend:

- Primary key columns
- Columns with indexes
- Excluded column relationships
- < n > number of related tables



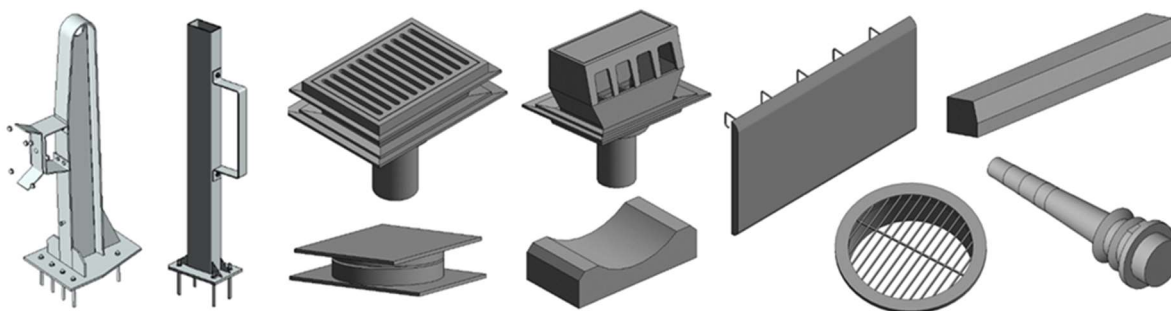
Rys. 7.3.4. Przykładowy fragment dokumentacji HTML bazy danych z wizualizacją relacji pomiędzy tabelami oraz aplikacji do inspekcji mostu, która wykorzystuje nową strukturę danych

7.4. Biblioteka detali mostowych w formie parametrycznych modeli BIM

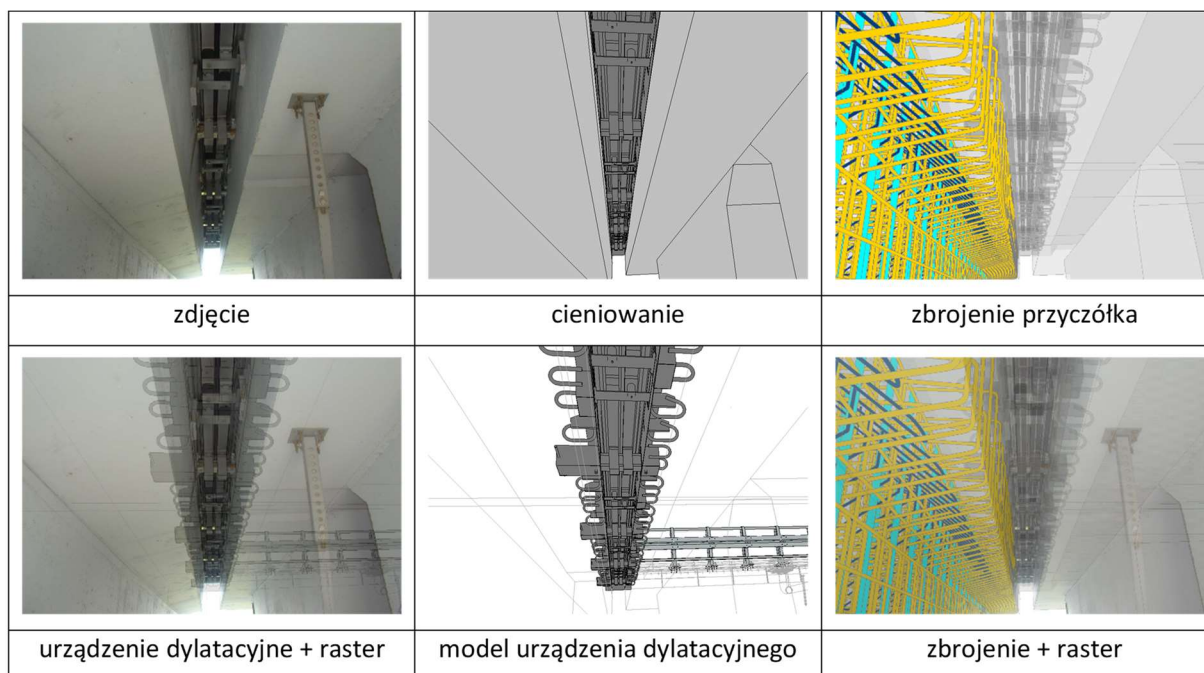
(1) Katalogi preferowanych albo rekomendowanych rozwiązań typowych, dotyczących całych obiektów mostowych lub tylko ich elementów są przygotowywane i publikowane w wielu krajach świata. Takie opracowania pozwalają zamawiającemu wprowadzić pewien poziom powtarzalności i standaryzacji oraz selekcjonować rozwiązania, w zależności od tego, czy potwierdziły one swoją skuteczność, trwałość i są uzasadnione ekonomicznie lub technicznie. Również w naszym kraju takie katalogi były w ostatnim czasie publikowane. Najnowszym opracowaniem jest WR-M-21-1 „Katalog typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów. Część 1: Kształtowanie konstrukcji” z 2018 roku, ale wcześniej, bo w 2002 roku, na zamówienie GDDKiA opracowany został katalog typowych detali mostowych [40]. O ile trudno jest narzucić projektantom gotowe rozwiązania całych obiektów, a zwłaszcza dopasować je do określonej przeszkody i lokalizacji, to opracowanie dobrych standardów i wskazanie przy tym

szczegółów i komponentów o sprawdzonych już rozwiązaniach jest bardzo cenne dla projektantów i wykonawców oraz i pożądane dla zamawiających.

(2) Wszystkie dotychczasowe katalogi typowych rozwiązań były tworzone i wydawane jedynie w formie klasycznych, papierowych opracowań. Korzystanie z takich publikacji przy powszechnym już dziś stosowaniu technik CAD jest uciążliwe, a same publikacje są niepraktyczne. Lepszym sposobem byłoby tworzenie takich katalogów w postaci plików zapisanych w ogólnie dostępnych formatach, które mogą być odczytane przez jak największą grupę programów CAD. Najlepiej, jeśli dostęp do takiego katalogu byłby możliwy przez Internet z dedykowaną przeglądarką i wyszukiwarką, która usprawni zarządzanie i dystrybucję dużej liczby plików w bibliotece. W technikach CAD sposób przedstawiania wszystkich detali i komponentów najczęściej obejmuje rysunki 2D, a czasem można spotkać się również z modelami trójwymiarowymi. Natomiast bardzo trudne (a często niemożliwe) jest zapisanie razem z takim modelem CAD właściwości danego komponentu lub jego parametryzacja. Takie możliwości mają dopiero modele BIM, w których stosuje się podejście obiektowe.



Rys. 7.4.1. Przykładowe modele 3D komponentów do modelowania mostów



Rys. 7.4.2. Przykład przestrzennego modelu elementu wyposażenia w postaci urządzenia dylatacyjnego

(3) Zalety stosowania metodologii BIM, szczególnie na etapie projektowania, ujawniają się najmocniej przy stosowaniu bibliotek (katalogów) sparametryzowanych modeli typowych komponentów, z których budowany jest model całego mostu. Każdy detal mostowy może być zapisany w bibliotece w postaci modelu 3D klasy BIM. Można do tego wykorzystać otwarte formaty, jak IFC lub formaty natywne. Tworzenie takich bibliotek od podstaw jest zadaniem bardzo pracochłonnym. Rozpocząć należy od zbudowania ich struktury i hierarchii. Na przykład produkty i elementy wyposażenia (łożyska, urządzenia dylatacyjne, krawężniki, bariery, balustrady) oraz elementy konstrukcyjne (fundamenty, filary, przyczołki, ciągnia, zakotwienia,

prefabrykowane dźwigary). Przykłady takich elementów i detali pokazano na rys. 7.4.1 i rys. 7.4.2. Należy przy tym wykorzystać omówioną wcześniej hierarchiczną strukturę danych opisu obiektu mostowego. Do zarządzania rozwijającą się i uzupełnianą w przyszłości biblioteką powinno zostać utworzone specjalnie dedykowane narzędzie, najlepiej w postaci internetowej aplikacji. Z czasem bowiem okaże się, że liczba obiektów będzie na tyle duża, że trudno będzie w niej wyszukiwać potrzebne informacje. Utrudnione również będzie dodawanie nowych obiektów, czy aktualizacja lub wprowadzanie poprawek.

7.5. Wymagania dotyczące modelu obiektu inżynierskiego

7.5.1. Wprowadzenie

(1) Ogólne wymagania dotyczące modelu obiektu inżynierskiego powinny być określone w wymaganiach technicznych, które w przyszłości będą kolejnym zestawem całego pakietu rekomendowanych wymagań dla BIM. Natomiast wymagania szczegółowe powinny być określane każdorazowo przez zamawiających w zapisach kontraktowych EIR. Można do tego wykorzystać wcześniej przygotowane szablony uwzględniające typ projektu. Określić należy takie elementy, jak odpowiedzialność za modelowanie, proces modelowania, minimalną zawartość modelu, dane obiektu, które należy rejestrować oraz poziom szczegółowości (LOD). Zasadniczo model BIM powinien obejmować wszystkie niezbędne elementy potrzebne do sporządzenia dokładnych rysunków konstrukcyjnych i opisów składających się na dokumentację projektową (np. rzuty, elewacje, przekroje, przedmiary, harmonogramy, specyfikacje).

7.5.2. Proces modelowania i odpowiedzialność za model

(1) Uczestnicy projektu powinni w pełni wdrażać u siebie najlepsze praktyki i możliwości przepływu danych określone przez producentów i dostawców oprogramowania. Chodzi głównie o wykorzystanie geometrii 3D do prezentowania właściwości fizycznych projektowanych elementów, użycie odpowiednich kategorii obiektów, dodanie wystarczających i właściwych informacji w postaci metadanych, przestrzeganie przyjętej konwencji nazewnictwa oraz konfigurowanie współużytkowanych zasobów. Model 3D powinien być źródłem do tworzenia innych reprezentacji graficznych projektowanego obiektu w postaci widoków, rzutów, przekrojów czy szczegółów. Cały proces modelowania i generowania z modelu dokumentacji projektowej należy opisać w BEP. Wymagania dotyczące procesu modelowania nie powinny być zbyt restrykcyjne. Należy ustalić w miarę ogólne i minimalne oczekiwania w stosunku do modelu, przy jasno zdefiniowanych obowiązkach uczestników projektu. Zasadniczo proces modelowania i towarzyszące temu obowiązki powinny obejmować:

- a) zastosowanie znormalizowanego systemu klasyfikacji,
- b) korzystanie z oprogramowania zgodnego z IFC (w ramach najnowszej dostępnej wersji),
- c) ustalenie formatów i wersji plików wymiany danych graficznych i niegraficznych poza IFC,
- d) przyjęcie spójnego i akceptowanego przez wszystkie strony standardu nazewnictwa plików,
- e) użycie jednolitego układu współrzędnych płaskich i układu wysokościowego,
- f) przyjęcie jednolitych jednostek do określania miar na kolejnych etapach realizacji projektu,
- g) określenie poziomów szczegółowości (LOD),
- h) zdefiniowanie punktów dostarczania danych (Data Drops),
- i) ustalenie szczegółowych wymagań dotyczących modelu i jego ewentualnego podziału,
- j) aktualizowanie modelu na każdym etapie projektu, aż do jego oddania.

(2) Członkowie zespołu projektowego powinni korzystać z oprogramowania, które przeznaczone jest do tworzenia dokumentacji budowlanej zgodnie z metodologią BIM. Natomiast inżynierowie na budowie powinni umieć wykorzystać utworzony przez projektantów model i dokumentację projektową, traktując je jako materiał wyjściowy do dalszej aktualizacji uzupełniania modelu. W efekcie, wspólnie z projektantami, powinien powstać model powykonawczy, który zawierał będzie wszystkie wprowadzone w czasie budowy zmiany oraz uszczegółowione elementy i dane. Model powykonawczy musi być na bieżąco uzupełniany o strumień korespondencji związanej

z procesem inwestycyjnym (np. zapytania, uzgodnienia, polecenia zmiany, decyzje, programy naprawcze, wyniki badań, operaty, raporty, notatki itd.). W ogólności chodzi o zapewnienie, że zamawiający otrzyma jak najbardziej kompletny model informacyjny zbudowanego mostu, który będzie służył personelowi zarządzającemu obiektami w procesie ich utrzymania.

(3) Obowiązki dotyczące modelowania powinny być jasno określone w BEP dla wszystkich członków zespołu. Każdy element modelu powinien być przypisany do jego autora i powinien mieć odpowiednio zdefiniowany LOD. Każdy autor jest zobowiązany do dostarczenia swoich fragmentów modelu na poziomie LOD określonym w BEP lub dodatkowym arkuszu LOD. Jest on również odpowiedzialny za dołączanie do swoich elementów wszelkich danych zgodnie z wymogami kontraktu i BEP.

7.5.3. Zawartość modelu i dane projektu

(1) Modele i wykorzystywane w nim elementy powinny być modelowane w skali 1:1 przy użyciu rzeczywistych wymiarów i przyjętych jednostek. Modele powinny umożliwiać realizację celów związanych z BIM, a określonych w EIR oraz zawierać wszystkie informacje niezbędną do spełnienia wymagań przedstawionych w BEP. Dodatkowo opracowane modele BIM obiektów inżynierskich powinny spełniać następujące wymagania ogólne i umożliwiać:

- a) generowanie modeli koordynacyjnych,
- b) prowadzenie efektywnej koordynacji międzybranżowej i wykrywanie kolizji,
- c) wizualizację zamierzeń projektowych i śledzenie wprowadzanych zmian,
- d) podgląd komponentów i zawartych w nich informacji,
- e) efektywną wymianę informacji na etapie projektowania i budowy,
- f) integrację i zgodność generowanej z dokumentacji projektowej z modelem BIM,
- g) modelowanie zgodne z wymaganym poziomem szczegółowości LOD.

(2) Podstawowym odniesieniem dla składowych modelu konstrukcji mostu powinna być zamodelowana w przestrzeni oś drogi. Wszystkie elementy drogi na obiekcie i elementy konstrukcyjne powinny być lokalizowane względem osi obiektu drogowego w jednostkach kilometrażu lub równoważnie za pomocą współrzędnych w geodezyjnym układzie współrzędnych prostokątnych na płaszczyźnie oraz w pionie względem niwelety lub równoważnie za pomocą współrzędnych w geodezyjnym układzie wysokościowym. Zaleca się, aby modele BIM były tworzone w sposób umożliwiający wykonanie wizualizacji części modelu odnoszących się do etapów wznoszenia obiektu z uwzględnieniem czasu ich trwania np. w odstępach jednodniowych. Poziomą szczegółowość powinny być jednak dostosowanych do przyjętej technologii budowy mostu. W przypadku metod uprzemysłowionych (np. nasuwanie podłużne czy betonowanie nawisowe) rozdzielczość czasowa powinna być zwiększona nawet do pojedynczych godzin. Ewentualny podział modelu na mniejsze fragmenty może wynikać z różnych kryteriów, do których zaliczyć można:

- a) etapy realizacji dużych mostów,
- b) zastosowaną technologię budowy,
- c) oddzielne części konstrukcji np. między dylatacjami długich obiektów lub osobne ustroje nośne pod każdą jezdnię,
- d) podziały branżowe (konstrukcja, wyposażenie),
- e) wielkość pliku.

(3) Zakres modelowania BIM powinien obejmować wszystkie obiekty geometryczne, które mają wpływ na projektowaną inwestycję. Nazwy stosowanych w modelowaniu komponentów powinny pozwolić na jednoznaczne określenie ich funkcji (np. łożysko, przyczółek, pał, balustrada). Należy je konsekwentnie stosowane w całym projekcie. Każdy element musi mieć taką samą nazwę w każdym fragmencie modelu i nie mogą występować powtórzenia typu: łożysko mostowe, łożysko stałe, łożysko elastomerowe). Tego typu określenia dodatkowe powinny wynikać z właściwości i parametrów danego komponentu (np. łożysko elastomerowe nieprzesuwne). Komponenty modelu powinny być uzupełnione informacjami, które będą pasowały do etapu realizacji i założonych celów.

(4) Modele BIM obiektów inżynierskich należy tak przygotować, aby umożliwić realizację projektu i celów BIM określonych w EIR. Powinny się składać z komponentów o wymaganych poziomach szczegółowości (LOD), a w szczególności powinny zawierać możliwe do wyizolowania elementy konstrukcji (podpór i ustroju nośnego) oraz wyposażenia mostu. W przypadku podpór mogą to być takie elementy jak: przyczółek, korpus, skrzydło, płyta

przejściowa, cios podłożyskowy, filar, oczep, ława lub stopa fundamentowa, pał, ścianka szczelna, keson itp. W przypadku ustroju nośnego będą to m.in. takie komponenty jak: dźwigar, środnik, pas, żebro, pomost, płyta, wspornik, stężenie, poprzecznicca, podłużnicca, dewiator, wiatrownica, bosaż, wanta, lina, wieszak, węzłowie, ściąg itp. Do dodatkowych urządzeń lub elementów wyposażenia można zaliczyć np. łożyska, wahacze i urządzenia dylatacyjne, balustrady, bariery, gzymsy, krawężniki, nawierzchnię, izolację, płyty chodnikowe, ekrany, wpusty, kolektory, sączki itp.).

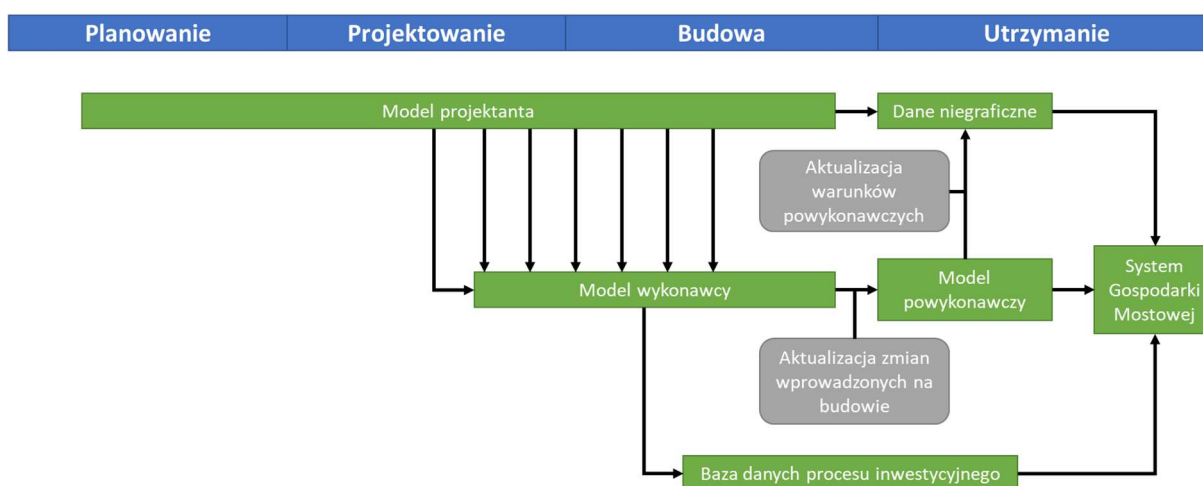
(5) Przy bardziej szczegółowym modelowaniu konieczne byłoby uwzględnienie m.in. takich komponentów jak: elementy systemu sprężenia (np. ciągną, osłonki, zakotwienia, łączniki, dewiatory itp.), elementy zbrojenia (np. pręty podłużne, poprzeczne, strzemiona, spirale, ramki, siatki, marki, kotwy talerzowe itp.), elementy szczegółów systemu odwodnienia (np. wpusty, kolektor, wieszaki, kompensatory, czyszczaki, studzienki, dreny itp.).

(6) Każdy graficznych komponent musi być uzupełniony o dane niegraficzne. Te dane powinny zawierać wszystkie definicje materiałów i atrybuty, które są niezbędne do przedmiaru, planowania dostaw, doboru technologii budowy i montażu oraz czynności konserwacyjne na etapie utrzymania. Wszystkim komponentom należy przypisać odpowiednią klasyfikację i kategorię. Minimalne wymagania dotyczące danych w modelu powinny być określone w BEP.

7.5.4. Poziom szczegółowości LOD

(1) Zamawiający powinien zdefiniować oczekiwane poziomy LOD dla modeli BIM, które umożliwią osiągnięcie założonych przez niego celów w projekcie i w organizacji przedsięwzięcia. Może to być jeden wspólny LOD dla całej zawartości modelu lub może być wymagane określenie LOD osobno dla każdego komponentu modelu w zależności od funkcji lub branży. Do każdego projektu powinna być opracowana stosowna tabela LOD, która szczegółowo określi wymagania zamawiającego na poszczególnych etapach powstawania projektu (konceptcja, projekt budowlany, wykonawczy i powykonawczy). W szczególności etapy te mogą obejmować (rys. 7.5.4.1):

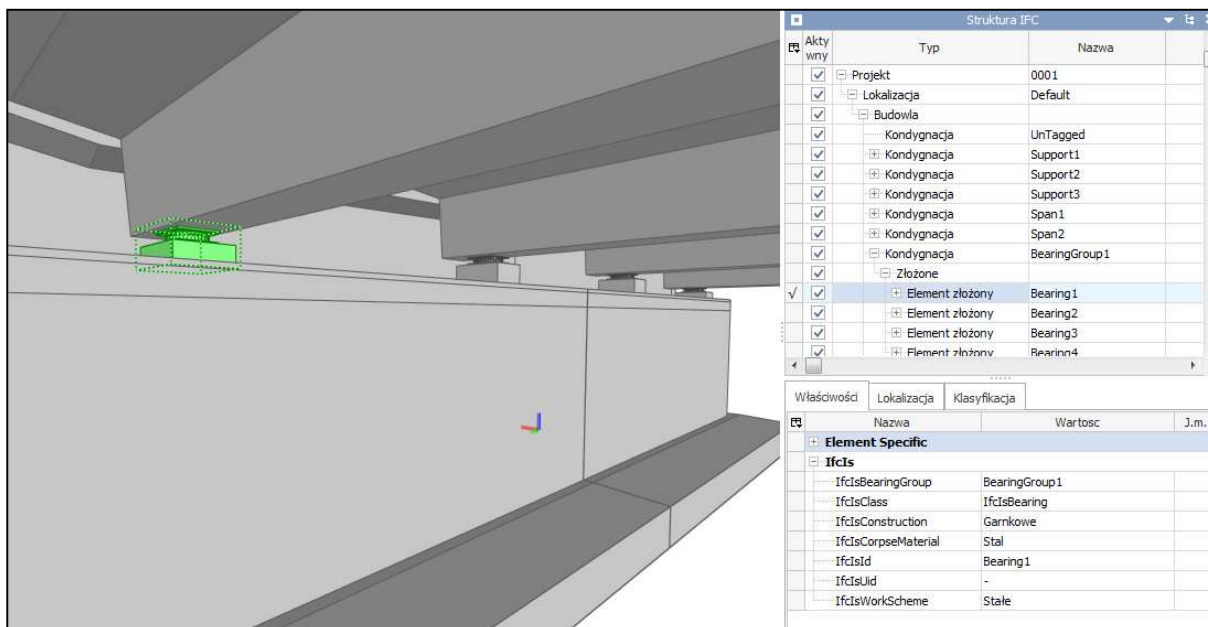
- a) definicja założeń projektowych,
- b) program funkcjonalno-użytkowy (PFU),
- c) projekt koncepcyjny,
- d) projekt budowlany,
- e) projekt wykonawczy,
- f) projekt warsztatowy / montażowy / technologiczny,
- g) projekt powykonawczy,
- h) dokumentacja związana z utrzymaniem (np. SGM).



Rys. 7.5.4.1. Przykład pokazujący proces zmian modelu w cyklu życia obiektu

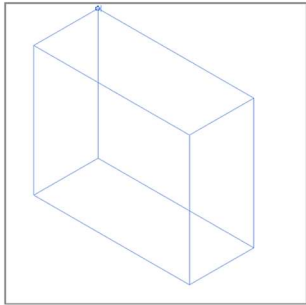
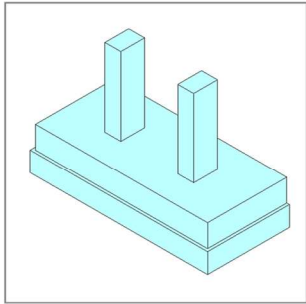
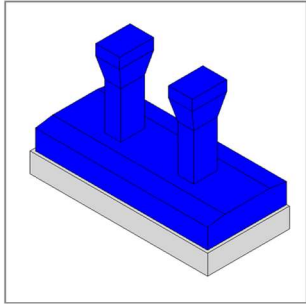
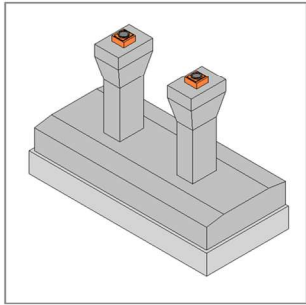
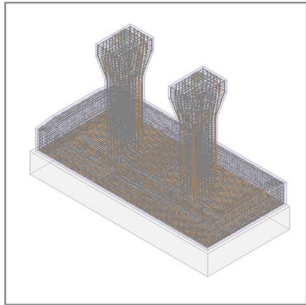
(2) Przykład informacji związanych z łożyskiem mostowym pokazano na rys. 7.5.4.2. Natomiast propozycja tabeli poziomów szczegółowości LOD w odniesieniu do obiektów inżynierskich znajduje się na rys. 7.5.4.3. Generalnie, informacje przechowywane w modelu BIM można podzielić na dwie części:

- a) dane geometryczne pokazujące wygląd elementu (odzworowanie kształtu i struktury komponentu),
- b) dane niegeometryczne opisujące właściwości i parametry poszczególnych komponentów oraz ewentualnie zawierające towarzyszące im dokumenty (np. w przypadku łożyska, typ, nośność, dopuszczalne przesuwy i obroty, gwarancje itd.).



Rys. 7.5.4.2. Przykład opisu łożyska mostowego w strukturze IFC

(3) Wszystkie informacje o obiekcie powinny być przechowywane w środowisku CDE, które jest wspólne dla jednego projektu, a nie dla wszystkich zamówień publicznych. Każda instytucja zamawiająca będzie musiała wybrać, w jakim CDE będzie realizować kontrakt i przyznać wszystkim uczestnikom projektu odpowiednie poziomy dostępu do modelu.

Poziom	Reprezentacja	Opis
LOD1 LOI1	<p>LOD: Kontur obiektu w 2D.</p> <p>LOI: Warstwa, kontur, przewidywana długość, szerokość i pole powierzchni.</p>	
LOD2 LOI2	<p>LOD: Model bryłowy 3D reprezentujący ogólny kształt i jego przybliżone wymiary.</p> <p>LOI: Warstwa, wymiary brył, objętość.</p>	
LOD3 LOI3	<p>LOD: Model 3D z reprezentacją głównych elementów konstrukcji o dokładnych wymiarach przydatnych do wstępnej koordynacji międzybranżowej. Ścisła lokalizacja i orientacja przestrzenna. Obiekty bryłowe mają określony typ, są przydatne do obliczeń i wizualizacji.</p> <p>LOI: Warstwa, nazwa kategorii i typu elementów, wymiary, pola powierzchni, objętości, materiały, klasyfikacja.</p>	
LOD4 LOI4	<p>LOD: Model 3D zawierający wszystkie elementy, włącznie z elementami interfejsowymi i związanymi z technologią montażu/wykonania. Model zawiera elementy niewidoczne (np. izolacji), zbrojenia schematyczne lub we fragmencie (poglądowo), otwory, w tym otwory montażowe/technologiczne.</p> <p>LOI: Jak LOI 3 plus dane specyficzne dla producentów/produktów, materiały, informacje np. o parametrach wytrzymałościowych, własnościach fizycznych, klasyfikacji.</p>	
LOD5 LOI5	<p>LOD: Pełny model wykonawczy/warsztatowy/montażowy, przydatny do wykonawstwa lub prefabrykacji. Pełne szczegóły, włącznie z elementami technologii montażu.</p> <p>LOI: Jak LOI4 plus dane o produktach, producentach, okresach żywotności, datach montażu, wymaganiach serwisowych.</p>	

Rys. 7.5.4.3. Propozycja poziomów szczegółowości (LOD) i informacji (LOI) w odniesieniu do konstrukcji mostów

7.6. Standaryzacja nazewnictwa plików

(1) Jednym z pierwszych kroków w drodze do cyfryzacji procesu budowlanego powinna być standaryzacja nazewnictwa plików i obiektów BIM. Utworzenie standardu nazewnictwa plików (części dokumentacji) będzie miało za zadanie uporządkowanie i ujednoczenie nazewnictwa części dokumentacji w projektach drogowo-mostowych. Nazwa pliku będzie (na ile to oczywiście możliwe) jednoznacznie kodować jego zawartość przez określenie przynależności do danego projektu, jego fazy, branży, uzgodnionej części/strefy/korytarza projektowego i innych cech (np. wersja, kod zdatności). Tak utworzona nazwa pliku pozwala stwierdzić, jaką plik ma zawartość bez otwierania go i analizy danych. Celem tego zabiegu jest m.in. uporządkowanie dokumentacji, ułatwienie wyszukiwania plików oraz informacji, redukcja czasu i błędów w wyszukiwaniu czy wykorzystaniu informacji z plików, zapewnienie użycia właściwej wersji pliku.

(2) Proponuje się, aby standard bazował na normie [20] z dodatkowym rozszerzeniem o specyfikę branży drogowo-mostowej. W szczególności standard ten będzie służył:

- a) uporządkowaniu i ujednoczeniu nazewnictwa dokumentacji w projektach drogowo-mostowych,
- b) efektywności zarządzania i wyszukiwania informacji,
- c) ułatwianiu komunikacji między stronami procesu budowlanego.

(3) Ponieważ dokumenty ewidencyjne będą dystrybuowane za pośrednictwem systemu folderów, organizacja folderów projektu powinna być zgodna z podziałem obowiązków zainteresowanych stron. Korzystne jest ustanowienie strategii uprawnień do plików w systemie folderów współdzielonych, w której tylko odpowiednie organizacje w projekcie mają uprawnienia do zapisu w przypisanych folderach, a reszta zespołu ma uprawnienia tylko do odczytu. Na najwyższym poziomie system folderów powinien być kontrolowany przez administratora projektu.

(4) Podobnie potrzebne są konwencje nazewnictwa plików, aby zapewnić spójność dokumentacji projektowej i uprościć zrozumienie zawartości pliku na wysokim poziomie. System nazewnictwa plików może identyfikować zestaw pól danych, które mają być zawarte w nazwie pliku. Typowy standard pliku ustala przejrzystą kolejność atrybutów nazw plików z zastrzeżonym separatorem, takim jak podkreślnik (_), w celu identyfikacji podziałów między polami.

(5) Projekt powinien spełniać wszelkie wymagania dotyczące platformy określone przez właściciela. Poniższe sekcje podano jako przykłady dla właścicieli, którzy nie mają wstępnie zdefiniowanych wymagań. Niezależnie od zastosowanych wymagań konwencje nazewnictwa powinny być spójne.

(6) **Nazewnictwo folderów.** Nazwy folderów powinny być numerowane lub alfabetyczne, aby kontrolować kolejność. Nazwy folderów powinny być wyraźnymi wskaźnikami tego, co zawiera folder (np. folder dla modeli może mieć nazwę 07_ Modele).

(7) **Nazewnictwo plików.** Nazwy plików powinny zawierać oznaczenie dyscypliny (takie jak np. „A” dla architektury). Niestandardowy schemat nazewnictwa powinien być wyraźnie udokumentowany w BEP.

(8) **Konwencje nazewnictwa komponentów.** Konwencje nazewnictwa stosowane w poniższych przypadkach powinny być udokumentowane w BEP: np. Systemy/Elementy/Obiekty/Komponenty/Parametry.

(9) **Pakiet przedłożenia.** Wszystkie pliki powinny być uporządkowane i przechowywane w odpowiednio nazwanym folderze jako część pakietu do przesłania. Taki pakiet powinien zawierać podstawowe elementy w postaci np. nazwy umowy i projektu. Powinien również zawierać wszelkie pliki pomocnicze, źródłowe, referencyjne i/lub powiązane, które będą potrzebne do zachowania integralności plików.

(10) **Udostępnianie plików.** Właściciel powinien wymagać od zespołu korzystania z systemu współdzielenia modelu. Jeśli właściciel nie wyznaczy systemu, wówczas Project BIM Manager powinien zapewnić system współdzielenia modeli zarówno do współdzielenia modeli indywidualnych jak i scalonych. System udostępniania modeli powinien uwzględniać:

- a) dostęp do członków zespołu, w tym dostęp w czasie rzeczywistym i synchronizację modeli,
- b) automatyczne wersjonowanie modeli,

- c) bezpieczeństwo danych,
- d) konserwację i archiwizację poprzednich wersji modeli,
- e) dostęp (oparty na uprawnieniach) dla każdego członka zespołu do przesyłania swoich modeli.

(11) **Wymagania dotyczące przekazywania danych.** Co najmniej wszystkie przesyłane dane powinny zawierać następujące informacje wydrukowane na nośniku lub uwzględnione jako metadane odpowiednie dla typu nośnika (np. CD/DVD miałyby wydrukowane etykiety). Natomiast pliki modeli powinny obejmować takie metadane jak:

- a) tytuł projektu,
- b) lokalizacja obiektu,
- c) numer umowy,
- d) projektant,
- e) klasyfikacje danych (np. wrażliwe, niejawne itp.),
- f) treść przekazu, w tym data utworzenia, data modyfikacji, wersja itp.,
- g) autor i/lub osoba odpowiedzialna,
- h) odbiorca.

(12) Wszystkie pliki projektu przekazywane do środowiska CDE muszą mieć nazwy zgodne z uzgodnionymi wcześniej standardami w ramach projektu. Po akceptacji przez zamawiającego nie powinno się już zmieniać przyjętego standardu.

8. Podsumowanie

8.1. Powiązanie nowych PTB i WR-M z technologią BIM

(1) Tworzone przez Ministerstwo Infrastruktury wymagania techniczne powinny być przygotowane na podstawie najnowszej i sprawdzonej wiedzy naukowej, technicznej i stosowanych praktyki. Powinny sprzyjać tworzeniu optymalnych i racjonalnych rozwiązań, zwłaszcza pod względem spójności przepisów, oszczędności publicznych środków, jakości, niezawodności, trwałości, ochrony zdrowia i środowiska. Wszystkie te wymagania pozwala spełnić metodologia BIM, która może być ważnym elementem przenikającym i spinającym powyższe standardy.

(2) W przypadku przepisów techniczno-budowlanych (PTB) ewentualne zapisy dotyczące technologii BIM powinny być ograniczone do minimum lub nawet pominięte. Nie wiemy w jakim kierunku cyfrowe techniki w budownictwie będą ewoluować. Coraz częściej pojawiają się skróty typu BrIM (Bridge Information Management) lub CIM (Civil/City Information Management). Dlatego jest wystarczające powtórzenie ogólnych zapisów o możliwości wykorzystania elektronicznych narzędzi modelowania informacji o obiekcie mostowym, które zawiera dyrektywa [1] oraz ustawa [2]. Ale zdaniem autora nie jest to konieczne. Znacznie więcej możliwości odniesienia się do technologii BIM występować będą w proponowanej grupie uszczegółowionych wymagań technicznych. Poniżej przedstawiono wybrane, potencjalne obszary powiązania tych wytycznych z technologią BIM.

(3) **WR-M-11 Wytyczne projektowania elementów powiązania drogowych obiektów inżynierskich z terenem i drogą.** W tym dziale zastosowanie BIM wymagać będzie zapewnienia interoperacyjności z technologią GIS oraz spójność technologii BIM w sferach działalności inżynierów drogowych i mostowych. Prace nad powiązaniem modeli BIM i GIS aktualnie trwają.

(4) **WR-M-12 Wytyczne obliczania świateł drogowych mostów i przepustów hydraulicznych.** Tutaj, podobnie jak w przypadku WR-M-11, istotne znaczenie ma interoperacyjność modeli BIM i GIS. Wynika to ze specyfiki analiz hydrologicznych, w których wykorzystuje się dzisiaj już dość powszechnie Numeryczne Modele Terenu. Za ich pomocą można określać m.in. potencjalne kierunki i akumulację przepływu wody, generować obraz sieci rzecznej, hierarchizować ciek, a także generować działy wodne i obszary zlewni.

(5) **WR-M-31 Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego stalowych elementów drogowych obiektów inżynierskich.** Trudno tutaj wprost znaleźć powiązanie z technologią BIM. Z pewnością jednak to zastosowanie może być uwzględnione w procesie projektowania całej konstrukcji, a na etapie utrzymania, umożliwi administracji szybki dostęp do informacji o powierzchniach, użytych zabezpieczeniach oraz ich gwarancji i okresów odnawiania.

(6) **WR-M-32 Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego betonowych elementów drogowych obiektów inżynierskich.** Analogicznie jak w przypadku WR-M-31 technologia BIM może być wykorzystana zarówno na etapie projektowania jak i utrzymania obiektu.

(7) **WR-M-41 Wytyczne projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych drogowych obiektów inżynierskich.** Technologia BIM ułatwia projektantom prowadzenie konsultacji ze specjalistami z zakresu ochrony przeciwpożarowej. Korzystając z wirtualnych modeli można dokładniej zasymulować scenariusze w przypadku potencjalnego zagrożenia. Stosowne narzędzie do analizy bezpieczeństwa pozwalają na symulowanie rozkładu temperatur podczas pożaru, planować metody odprowadzania dymu i opracować plany ewakuacyjne. Symulacje pozwalają zaprojektować m.in. przestrzeń i wyposażenie tunelu tak, aby skutecznie odprowadzić dym zapewniając możliwość ewakuacji oraz prowadzenia akcji ratowniczej.

(8) **WR-M-42 Wytyczne projektowania wentylacji drogowych tuneli.** Technologia BIM ułatwia projektantom prowadzenie konsultacji ze specjalistami z zakresu ochrony przeciwpożarowej. Korzystając z wirtualnych modeli można dokładniej zasymulować scenariusze w przypadku potencjalnego zagrożenia. Stosowne narzędzie do analizy bezpieczeństwa pozwalają na symulowanie rozkładu temperatur podczas pożaru, planować metody odprowadzania dymu i opracować plany ewakuacyjne. Symulacje pozwalają zaprojektować m.in. przestrzeń i wyposażenie tunelu tak, aby skutecznie odprowadzić dym zapewniając możliwość ewakuacji oraz prowadzenia akcji ratowniczej.

(9) **WR-M-51 Wytyczne projektowania elementów i urządzeń ochrony środowiska na drogowych obiektach inżynierskich.** Tutaj zastosowanie mogą znaleźć również biblioteki modeli BIM oraz symulacja skuteczności urządzeń ochrony środowiska. Zagadnienia związane z projektowaniem odwodnienia i towarzyszących instalacji są bardzo dobrze opracowane w narzędziach BIM i stanowią domenę tej cyfrowej technologii. Trwają też prace nad wykorzystaniem modeli BIM w zakresie ochrony przed hałasem z modelowaniem tła akustycznego w rejonie obiektów mostowych, co znowu wymaga powiązania z GIS. Przydatne mogą tu być również narzędzia do koordynacji i wykrywania kolizji międzybranżowych.

(10) **WR-M-71 Katalog typowych elementów i urządzeń wyposażenia drogowych obiektów inżynierskich.** Ten obszar może być szczególnie nasycony modelami i technologią BIM. Kolejne edycje katalogów wyposażenia mostów powinny być już tworzone w postaci parametrycznych modeli (rodzin) klasy BIM, a nie biblioteki bloków w technikach CAD. Książkowe opracowania (nawet w wersji PDF) powinny już mieć jedynie pomocnicze znaczenie, np. do prezentacji dostępnych zbiorów modeli i ich właściwości, które mogą mieć charakter niegraficzny.

(11) **WR-M-72 Wytyczne projektowania urządzeń obcych na oraz w drogowych obiektach inżynierskich.** Tutaj zastosowanie mogą znaleźć również biblioteki modeli BIM oraz parametryzacja metod projektowania elementów i urządzeń. Szczególnie przydatne mogą być narzędzia do koordynacji i wykrywania kolizji międzybranżowych.

(12) **WR-M-81 Wytyczne oceny stanu technicznego drogowych obiektów inżynierskich.** Wykorzystanie technologii BIM do oceny stanu technicznego na etapie utrzymania zostało szerzej omówione w podrozdziale 7.4. Chodzi m.in. o możliwość wyświetlania modeli BIM na mobilnych urządzeniach typu tablety lub smartfony podczas inspekcji, ich wykorzystanie jako repozytorium danych o stwierdzonych uszkodzeniach, czy też wsparcie systemów typu asset manager (gospodarowania mostami).

(13) W przyszłości, podczas dalszych prac nad nowymi wymaganiami technicznymi dla drogowych obiektów inżynierskich, należy rozważyć uzupełnienie ich listy również o odpowiednie wytyczne dotyczące stosowania technologii BIM na różnych etapach inwestycji mostowych i cyklu życia obiektów mostowych, jako rozwinięcie grupy wzorców i standardów (WiS) BIM-M. Takie podejście pozwoli na szybsze wprowadzanie nowej wiedzy do praktyki, aniżeli ma to miejsce w przypadku Polskich Norm czy dokumentów jeszcze wyższej rangi, jakimi są rozporządzenia. Powinny one być opracowane wspólnie z odpowiadającymi im wytycznymi dotyczącymi stosowania technologii BIM dla dróg i mostów, stanowiąc jedno opracowanie.

8.2. Wniosek końcowy

(1) Niniejsze opracowanie jest jednym z elementów drugiego etapu całego przedmiotu zamówienia polegającego na ocenie jakości technicznej projektów drogowych współfinansowanych z funduszy Unii Europejskiej wraz z rekomendacjami optymalizacji i szczegółowymi warunkami technicznymi projektowania, realizacji, eksploatacji i utrzymania drogowych obiektów inżynierskich. Miało ono na celu pokazanie możliwych powiązań przygotowywanych nowych wymagań technicznych dotyczących drogowych obiektów inżynierskich z technologią BIM.

(2) Technologia BIM będzie w przyszłości z pewnością powszechnie wykorzystywana w różnych fazach inwestycji budowlanych i we wszystkich fazach życia drogowych obiektów inżynierskich, począwszy od projektowania, przez wykonawstwo, utrzymanie aż do ich wyburzenia. Aby wykazać możliwości jak najpełniejszego powiązania z nowymi wytycznymi, opracowanie rozpoczęło od przedstawienia zasadniczych elementów wdrożenia BIM w polskim mostownictwie, które związane są i wprost wyływają z założeń dotyczących samej technologii BIM. W środowisku mostowców metodologia ta jest wciąż mało znana i rzadko w praktyce stosowana. Dlatego podstawą do jakichkolwiek prac wdrożeniowych musi być pewna kampania informacyjna oraz podstawowa edukacja na temat jej możliwości i specyfiki działania. Ponieważ należy ona do grupy najszybciej rozwijających się obecnie cyfrowych technologii w budownictwie, to wszelkie próby jej jednoznacznego opisanie lub propozycje adaptacji będą tracić na aktualności. Trudno też przewidzieć wszystkie jej potencjalne zastosowania w obecnie tworzonych wymaganiach technicznych. Wynika to przede wszystkim z początkowej fazy definiowania poziomu trzeciego dojrzałości BIM (BIM Level 3), w którym znaczenie będą miały zastosowania metodologii BIM do potrzeb utrzymania, analiz środowiskowych, czy cyklu życia

(BIM 6D i 7D). Te obszary nie zostały jeszcze wystarczająco opracowane i w większości są dopiero na etapie koncepcji lub prac badawczych.

(3) Jednak na niższych poziomach dojrzałości, technologia BIM może być, a nawet powinna już być wdrażana w Polsce. Szczególnie w infrastrukturze, w której mamy przecież do czynienia z niewielką liczbą największych krajowych zamawiających (głównie to GDDKiA i PKP PLK S.A.).

Powody, dla których należy ten proces uruchamiać jak najprędzej, to między innymi:

- a) stale rosnąca liczba inwestycji, które wymagają planowania i zarządzania nimi,
- b) potrzeba optymalizacji kosztów i czasu realizacji inwestycji budowlanych przez cyfryzację oraz wprowadzenie automatyzacji i robotyzacji do najbardziej newralgicznych procesów budowlanych,
- c) potrzeba obniżenia kosztów utrzymania i wymiany obiektów infrastruktury przez wydłużenie ich cyklu życia,
- d) konieczność ograniczenia negatywnego wpływu inwestycji na środowisko i kosztów społecznych,
- e) coraz większy stopień skomplikowania budowanych obiektów mostowych,
- f) niedostateczne zasoby wykwalifikowanej kadry inżynierów i pracowników na budowach.

(4) Funkcjonujące w branży budowlanej stereotypy, przyzwyczajenia i praktyki, często zakorzenione jeszcze w nakazowej gospodarce socjalistycznej mogą powodować, że zmiana podejścia do cyfryzacji budownictwa będzie długim i bardzo wymagającym procesem. Dlatego powinien on być ewolucyjny, ale za to z wystarczającą dynamiką, która pozwoli na praktyczną weryfikację podejmowanych działań wdrożeniowych. Mostownictwo jest liderem wśród innych sektorów budownictwa i zwykle najszybciej implementuje wszelkie nowoczesne technologie, które potem są adaptowane w pozostałych sektorach. Należy mieć nadzieję, że w przypadku cyfryzacji i wdrożenia technologii BIM również tak będzie. Działania te powinny więc zacząć się od przeprowadzenia analizy kosztów i korzyści oraz uruchomienia projektów pilotażowych. Po ich zakończeniu i ocenie można będzie przystąpić do opracowania dokumentów w postaci standardów, klasyfikacji, procedur i szablonów. W tym zakresie najlepszym rozwiązaniem będzie wykorzystanie doświadczeń zdobytych przez inne kraje i adaptacja ich sprawdzonych standardów. Autor sugeruje również, aby wdrażanie BIM dotyczyło całej infrastruktury transportowej (drogowej, kolejowej i mostowej) i z takim założeniem należy tworzyć wszystkie kolejne opracowania dotyczące stosowania technologii BIM w infrastrukturze. Natomiast Ministerstwo Infrastruktury powinno zająć się koordynacją działań wdrożeniowych.