

BIM DLA PROJEKTÓW INFRASTRUKTURALNYCH I LINIOWYCH – STAN ROZWOJU TECHNOLOGII

Jacek Magiera

dr inż., Instytut Technologii Informatycznych w Inżynierii Lądowej, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, email:jacek@15.pk.edu.pl

Streszczenie. Praca poświęcona jest przeglądowi technologii BIM dla projektów infrastrukturalnych i liniowych (zwaną także w skrócie jako *infraBIM*), a także jej powiązaniu z innymi nowoczesnymi technologiami z obszaru cyfrowego budownictwa jak *City Information Modeling (CIM)*, bazami geoinformacyjnymi GIS lub LIDAR, czy innymi zaawansowanymi technologiami informatycznymi budownictwa. Na przykładzie technologii konsorcjum *OpenBIM*, dla której publikowane są specyfikacje modeli danych i interfejsów ich wymiany, dyskutowane są fundamentalne koncepcje zastosowania technologii BIM dla infrastruktury, w tym rola semantycznych modeli danych i ich potencjał w tworzeniu innowacyjnych i dysruptywnych produktów i usług. Przegląd obecnych standardów oraz kierunki prac rozwojowych międzynarodowych i narodowych organizacji pozwolą przybliżyć bieżący stan rozwoju technologii BIM i spodziewane jej rozszerzenia i aplikacje w obszarze projektów liniowych i obiektów inżynierskich.

Słowa kluczowe: BIM dla infrastruktury, semantyczne modele danych, IFC, budownictwo cyfrowe

1. Wprowadzenie – kontekst historyczny i podstawy technologii BIM

Technologia BIM, która jest obecnie na rynku budowlanym – i to nie tylko polskim – postrzegana jako jeden z najbardziej gorących tematów, przedmiot rozmów, publikacji naukowych i popularyzatorskich, spotkań konferencyjnych i eksperckich, tak naprawdę na rynku jest obecna komercyjnie od około 30 lat (moment ten zwykle jest wiązany z pojawieniem się w 1984 roku programu *Radar CH* [1], przemianowanego później na obecnie znany produkt pod nazwą *ArchiCAD*), a swoimi korzeniami sięga jeszcze okresu 10-15 lat wcześniejszego, czyli mniej więcej połowy lat 70-tych XX wieku i teoretycznych prac m.in. Ch. Eastmana i jego bazodanowego *Building Description System* czy języka *GLIDE*, Herberta Simona, Nicholasa Negroponte czy Iana McHarga (systemy GIS), żeby wymienić kilka tylko zasłużonych nazwisk [1,2].

W latach 80-tych XX w. powstały już dość licznie programy studialne lub komercyjne, które przełamywały tradycyjną cechę programów CAD, czyli redukcję projektowanych obiektów budowlanych do czysto graficznej reprezentacji 2D/3D. Wśród tej generacji eksperymentalnych systemów BIM wymienić można rozwijane m. in. w Wielkiej Brytanii, Francji, Finlandii, Belgii, Stanach Zjednoczonych programy takie jak np. *Cedar*, *GDS*, *RUCAPS*, *Sonata*, *Reflex*, *Cheops*, *Archtrion*, *Brics*,

Master Architect, czy *Building Design Advisor*. Lista ta oczywiście nie wyczerpuje całej gamy oprogramowania, które wtedy tworzono, ma raczej uzmysłowić, ile różnych systemów powstało w wyniku prób przełamania „CAD-owskiego” podejścia do projektowania. Z drugiej strony warto pamiętać, że wiele dzisiejszych produktów BIM wyrasta z wcześniejszych systemów CAD (produkty m.in. firm Bentley, Digital Project, Vectorworks, Autodesk, itp.). Osoby zainteresowane prześledzeniem rozwoju oprogramowania CAD/BIM mogą znaleźć bardzo syntetyczną historię jego powstania i rozwoju na stronie internetowej [3].

Mimo tej prawie trzydziestoletniej historii rozwoju technologii BIM, przełom w jej stosowaniu nastąpił znacznie później. Czas potrzebny do jej „wydoroslenia” z eksperymentalnej i niszowej metodyki projektowania do technologii praktycznie przydatnej i praktycznie stosowanej w realnych projektach zajął co najmniej pierwszą dekadę tego okresu. Drugą dekadę znaczy powolny jeszcze przyrost liczby użytkowników, ale i coraz poważniejsze zastosowania. Wpływ na ten stan rzeczy miało wiele czynników, począwszy od niedoskonałości wczesnych wersji oprogramowania, poprzez konieczność poniesienia kosztów inwestycji w sprzęt, oprogramowanie i szkolenia dla kadr, brak standardów i norm. No i czynnik bodaj najbardziej problematyczny – innowacyjność posunięta do „wywrotowości” nowego procesu projektowania i realizacji inwestycji (ang. disruptive process), budzącego znaczne opory mentalne i wymagające przebudowy nie tylko zasobów sprzętowych czy posiadanego oprogramowania, ale praktycznie całej praktyki działania firmy projektowej czy wykonawczej. Z danych np. firmy Graphisoft, pioniera rynku oprogramowania BIM wynika, że dopiero ok. roku 2007-2010, czyli 10-12 lat temu, firma zarejestrowała znaczący przyrost liczby sprzedanych licencji swojego sztandarowego produktu do projektowania BIM [1]. Znamienne jest, że mniej więcej w tym czasie zaczęły się też pojawiać pierwsze normy i standardy BIM, takie jak w miarę dojrzała wersja standardu IFC (IFC 2x3) [4], amerykański standard NBIMS v. 1.0 (2006) [5], brytyjska norma BS 1192:2007 (2007) [6], pierwsze wersje standardu LOD (2008) [7] i inne. Ich pojawienie się oznaczało, że BIM staje się technologią praktycznie stosowaną przez coraz szersze grono użytkowników. Warty jest zauważyć także fakt, że normy te i standardy były bardziej wynikiem *praktyki* stosowania BIM niż *odgórnym* działaniem rządów, komitetów normalizacji czy producentów oprogramowania. Tak było ze standardem IFC rozwijanym niezależnie przez organizację buildingSMART, tak było ze standardami LOD, BCF, czy COBie. Nawet oficjalna norma BS 1192:2007 ma korzenie „społeczne”, ostatnia część tytułu tej normy, czyli termin „*Code of practice*” odnosi się do faktu opisywanego przez Richardsa [8], że norma ta powstała w wyniku zebrania przez British Standards Institution doświadczeń kilkudziesięciu firm brytyjskich. Można przyjąć zatem za uzasadniony pogląd, że okres boom-u BIM ostatniej dekady¹ jest mocno powiązany z pojawieniem się standardów i norm BIM. Pokazuje to, jak bardzo ważną kwestią jest standaryzacja BIM, także na krajowym rynku budowlanym.

¹ wg danych firm analitycznych boom będzie trwał, np. raport firmy Zion Market Research szacuje, że rynek oprogramowania i usług BIM między 2016 a 2022 rokiem wzrośnie prawie 3-krotnie, z 3.52 mld USD do 10,36 mld USD [<https://globenewswire.com/news-release/2018/04/10/1467774/0/en/Global-BIM-Market-Software-Share-Size-to-Grow-US-10-36-Billion-by-2022.html> – dostęp luty 2019]

2. Semantyczne modele danych

Nim przejdziemy do próby syntetycznego przedstawienia stanu obecnego rozwoju technologii BIM w obszarze projektów infrastrukturalnych, warto jeszcze poczynić kilka odniesień do istotnych pojęć i definicji dotyczących tej technologii, potrzebnych do lepszego zrozumienia zarówno stanu obecnego technologii BIM, jak i sensu podejmowanych prac nad nowymi standardami.

Pierwszą kwestią, na którą warto zwrócić uwagę, to sam skrót BIM i jego rozwinięcie. Najczęściej jest on (przykładowo w pracy [9]) tłumaczony jako:

BIM = Building + Information + Modeling.

W skrócie tym litera „B” oznacza „Building”/”Budynek/Budowlę”, przez „I” = „Information”/”Informacja” rozumie się „informację o budynku/budowli”, natomiast „M” = „Modeling”/”Modelowanie”, rozumiane jest tu jako modelowanie 3D, czyli tworzenie wirtualnego budynku nie z prymitywów graficznych CAD takich jak linie, łuki itp., tylko trójwymiarowych komponentów reprezentujących typowe elementy budynku jak ściany, drzwi, schody. Jest to dość powszechne wyjaśnienie pochodzenia skrótu BIM, ale de facto nie uzasadnione historycznie i nie przenoszące zasadniczego znaczenia oryginalnego rozumienia tego skrótu – a przez to w sumie błędne. Nie tak rozumieli ten termin jego autorzy. To, co jest nieoprawne w przytoczonym objaśnieniu skrótu BIM, to separacja pojęć „Information” i „Modeling”. Otóż poprawne rozwinięcie skrótu BIM to:

BIM = Building + Information Modeling,

gdzie „Information Modeling” – czyli modelowanie informacji jest kluczowym elementem tej technologii. Tak rozumieli go pionierzy BIM-u, w tym kontekście termin ten był po raz pierwszy użyty w historycznej pracy van Nederveena i Tolmana w 1992 roku [10].

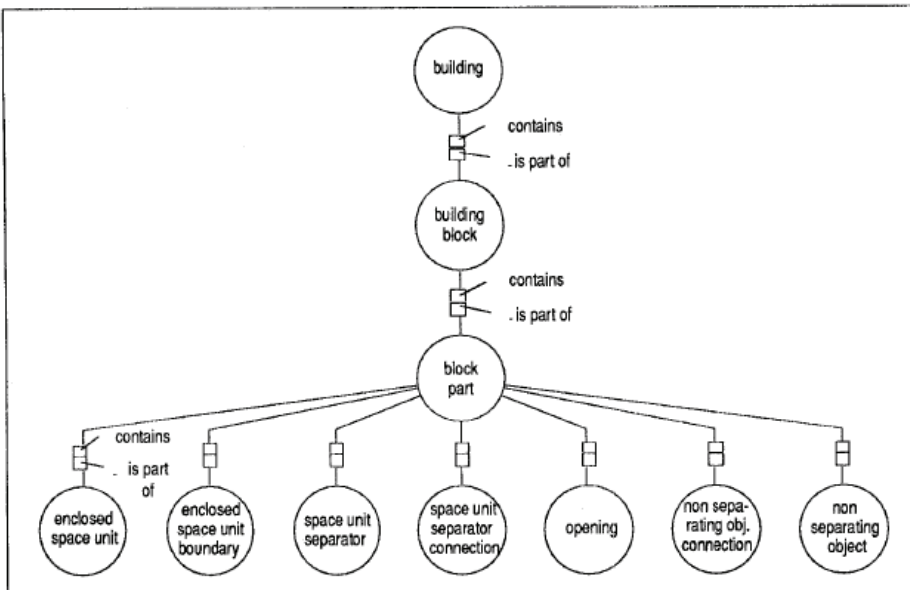
2.1. Modelowanie informacji

Co to jest „modelowanie informacji” (Information Modeling)? Otóż jest to technologia informatyczna wypracowana w obszarze inżynierii oprogramowania i relacyjnych baz danych, która pozwala na wirtualną reprezentację w bazach danych rzeczywistych systemów (w naszym przypadku będzie to budynek lub budowla), ich komponentów i relacji między nimi, praw, które nimi rządzą i ograniczeń, którym podlegają:

„An information model in software engineering is a representation of concepts and the relationships, constraints, rules, and operations to specify data semantics for a chosen domain of discourse. Typically it specifies relations between kinds of things, but may also include relations with individual things(...)” [11].

W powyższej definicji tej użyto angielskiego pojęcia „chosen domain”, czyli wybranej domeny, albo inaczej widoku, aspektu lub dyscypliny, z punktu widzenia której opisuje się zachowanie (model) systemu [10]. Z punktu widzenia architekta (domena architektoniczna) przykładowo ściany to komponenty dzielące przestrzeń i mające walory estetyczne, ważna jest ich faktura, kolor, przekrój.

Z punktu widzenia konstruktora ściany to elementy przenoszące obciążenia (albo nie przenoszące obciążeń, jeśli są to ściany działowe), nieważne przy tym, jaki mają kolor i czym są pomalowane/obłożone. Dla kosztorysanta ściany to materiał + technologia i koszt ich wykonania, nieważne czy przenoszą obciążenia, czy nie, jaki jest ich kolor i jaka jest faktura ich powierzchni (no chyba, że generuje to dodatkowy koszt!). Dla zarządcy nieruchomości ściany to coś, co tworzy pomieszczenie; pomieszczenia trzeba utrzymać, ale z drugiej strony są wynajmowane i generują zysk. Zatem ważne, jaka jest powierzchnia pomieszczeń do wynajmu, czy pomieszczenie jest aktualnie wynajęte czy nie, jaka jest kubatura do ogrzania czy chłodzenia, ile powierzchni będzie opodatkowanej. Tak więc opis komponentów budynku jest różny z punktu widzenia różnych interesariuszy i model danych powinien te wszystkie domeny i koncepty² (lub *encie*) uwzględniać. Oczywiście rozważany tu koncept ściany ma też cechy podstawowe, niezależne od domeny/widoku, jak i cechy stricte związane z konkretną domeną. Zatem model informacyjny obiektu integruje zarówno różne koncepty i właściwości wspólne, jak i ich widoki/domeny w hierarchię, pozwalającą opisać całość obiektu. Praca modelowania informacji polega zatem na dekompozycji obiektu do podstawowych encji, a następnie opisaniu ich właściwości podstawowych, jak i przynależnych do widoków w jednym z języków modelowania danych. W przypadku standardu IFC jest to zasadniczo język EXPRESS lub ifcXML [12].



Rys.1. Dekompozycja konceptu budynku wg oryginalnej pracy [10]

2 encje/koncepty to elementy, które są traktowane jako pewna odrębność; koncepty mogą być materialne – jak np. „ściana”, lub abstrakcyjne, jak przytoczone tu „pomieszczenie”

2.2. Semantyka danych

Innym kluczowym aspektem cytowanej definicji modelowania informacji jest fragment, w którym stwierdzono, że modelowanie informacji pozwala wyspecyfikować *relację* między *kategoriami rzeczy* („it specifies relations between kinds of things”). Jest to równoważne żądaniu, aby model danych pozwalał na określenie tego *czym one są* i to *w relacji* z innymi komponentami systemu. Postulat *samoświadomości* danych sprawia, że opracowane w zgodzie z nim oprogramowanie komputerowe w momencie pojawienia się czy użycia w obiekcie inteligentnych, „samoświadomych komponentów” będzie w stanie samo rozpoznać ich miejsce w modelu, rolę i relacje z innymi komponentami. Jest to krytyczny aspekt modelowania danych w ogóle i technologii BIM w szczególności.

W przypadku modelu informacyjnego budynku przykładowo omawiany komponent typu ściana – po połączeniu z innymi ścianami i utworzeniu w rzucie piętra wielokąta zamkniętego³, oraz po połączeniu z sufitem, dachem czy stropem – tworzy zamkniętą przestrzeń zwaną pomieszczeniem. Pomieszczenie jest takim samym konceptem w przypadku budynku, jak wszystkie inne, przecież po to się wznosi budynki, żeby w nich były pomieszczenia – mimo, że formalnie jest *puszką*, brakiem czegokolwiek między ścianami, podłogą, dachem lub sufitem. Ta *puszka* nie jest jednak *nicością*, ma swoje dobrze znane każdemu człowiekowi konotacje i odniesienia, ma swoje właściwości, jak: pole powierzchni, kubaturę, właściwości termiczne, w przeliczeniu na metr kwadratowy generuje koszty utrzymania albo zyski z najmu. Fakt ten jest *dedukowany* przez system BIM z samego faktu użycia komponentów „niosących samoświadomość”, że mogą tworzyć w pewnych warunkach pomieszczenia. Także i w CAD-zie nie jesteśmy w stanie „narysować” pomieszczenia, jeśli nie ograniczymy pustej przestrzeni na ekranie jakimiś liniami czy krzywymi. Ale tu się kończy analogia – w przypadku projektowania CAD to, że na rysunku utworzono pomieszczenie wynika z możliwości zdekodowania tego faktu przez człowieka. System nie jest w stanie wydedukować tego faktu z danych, bo te same obiekty (np. linia, łuk) mają przeróżne „znaczenia”: mogą być zarówno granicami ścian, jak i krawędzią ulicy, osią odniesienia, pomocniczą linią wymiarową czy częścią tabeli. I tylko człowiek – z kontekstu, z formy, z kodów narzuconych przez normy, konwencji rysunkowej – jest w stanie poprawnie „zdekodować” symbole kresek czy innych elementów graficznych tworzących przestrzeń czy pomieszczenie (rys. 2). Oprogramowanie CAD nie wykona tego zadania automatycznie. Co gorsza, jeśli chcemy poznać właściwości pomieszczenia – jego pole powierzchni lub objętość – to musimy użyć niezależnego narzędzia „pomiarowego”, zbudować zwykle zamknięty wielokąt będący obwiednią tych linii, które tworzą pomieszczenie i wtedy dopiero zbadać jego pole powierzchni (np. jako właściwość odczytywaną w programie CAD dla tej dodatkowej figury⁴).

3 w niektórych systemach nawet niekoniecznie, wystarczy że tworzą wnękę

4 z kubaturą jeszcze gorzej, nawet w przypadku CAD 3D – pomieszczenie jest tam pustką, przestrzenią nie wypełnioną niczym, nie jest obiektem, którego objętość można poznać przez odczytanie z bazy danych rysunku/modelu



Rys. 2. Niesemantyczna konotacja przestrzeni, „kreska = świat” – animacja „La Linea Balum Balum” włoskiego rysownika Osvaldo Cavandoli {13}

W pracy [14] aspekty semantycznego modelowania danych i innych standardów OpenBIM jak słowniki danych (IFD/bSDD), definicje widoków modelu MVD⁵ czy podręczników wymiany informacji IDM są dyskutowane nieco szerzej.

2.3. Pseudo-infraBIM

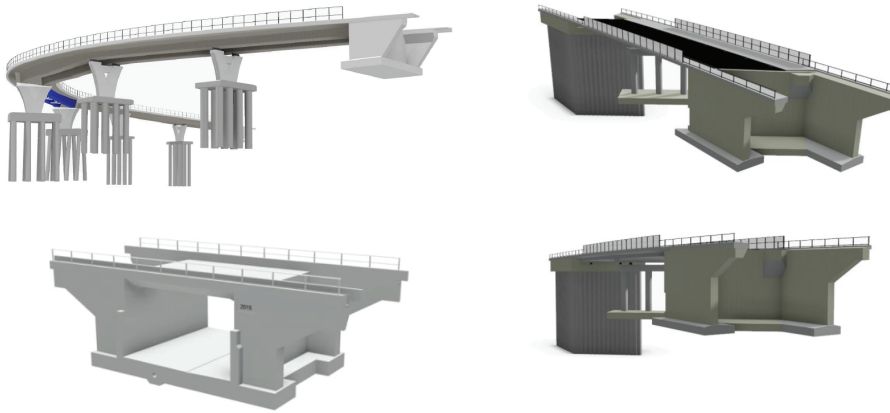
Na zakończenie tego rozdziału, w którym dyskutowane były kluczowe aspekty BIM oraz ogromny potencjał wynikający z modelowania danych i ich semantyki, podkreślimy stanowczo: to, co jest siłą technologii BIM, może być też jej słabością. Modele informacyjne mają istotne ograniczenia: nie są *uniwersalne*. Poprawne opisanie modelu informacyjnego budynku pozwala poprawnie modelować cechy i zachowania budynku i jego komponentów. Jednak próba użycia modelu informacyjnego budynku do modelowania obiektów o innej semantyce – np. drogi, mostu czy tunelu – skończy się błędnym modelem, nawet jeśli graficznie reprezentacja tych obiektów będzie satysfakcjonująca. Z takim pseudo-infraBIM-em mamy obecnie bardzo często do czynienia. Spowodowane jest to przede wszystkim brakiem stosownych standardów, co zmusza projektantów do takich „nadużyć”.

Co to jest pseudo-infraBIM? Jest to mówiąc w skrócie modelowanie obiektów infrastrukturalnych za pomocą technologii BIM kubaturowego. Przykładowo, w pracy [15] Langwich prezentuje efektowne podejście do modelowania konstrukcji mostowej w Revicie – rys. 3. Wizualizacje modelu olśniewają, ale poza geometrią, którą się rzeczywiście tworzy komfortowo w parametrycznym modelerze⁶ 3D programu Revit, reszta BIM-owej semantyki jest bezużyteczna, bo nie może poprawnie oddawać prawdziwego zachowania konstrukcji.

5 uwaga: terminu „widok modelu” nie należy rozumieć tutaj w sensie graficznej prezentacji modelu w programie CAD/BIM (widok elewacji, widok rzutu itp.), tylko w sensie technologii modelowania danych, czyli „patrzenia” na model z punktu widzenia konkretnej domeny czy aspektu modelu

6 inaczej silniku graficznym

Revit® in der Brückenbauplanung

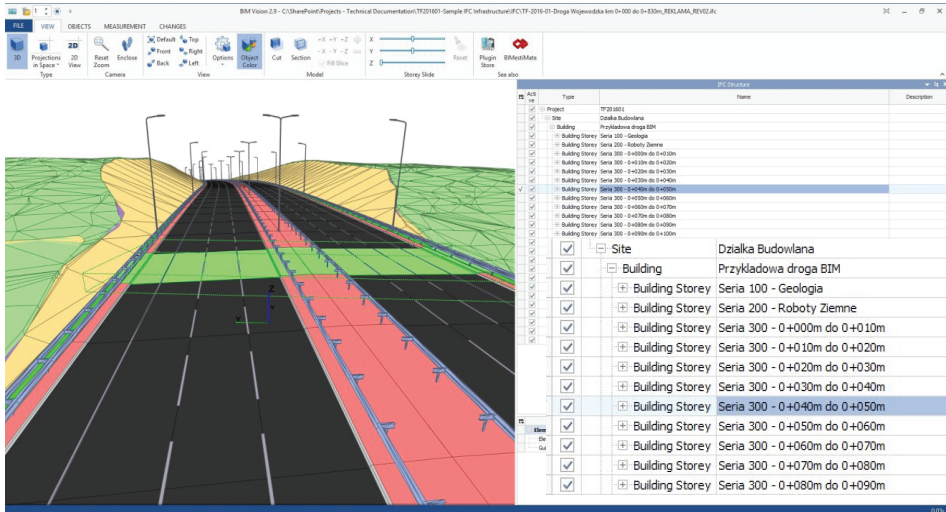


Rys. 3. Most jako „budynek” w programie Revit {15}

W programie Revit są dostępne „semantyczne komponenty” takie jak: belki, stropy, ściany, stopy fundamentowe, słupy – i cała masa innych. Ich semantyczne modele poprawnie opisują ich zachowanie konstrukcyjne np. w zakresie typowych zastosowań. Słupy są w modelu analitycznym zredukowane do jednowymiarowych prętów, stropy do płyt, ściany do tarcz. Dla budynku jest to poprawna reprezentacja, w przypadku mostów praktycznie wszystko jest inne. Pylony trudno uznać za słupy czy ramę, biorąc pod uwagę skomplikowany mechanicznie układ konstrukcyjny, w którym występują smukłe elementy o zmiennym przekroju i często są to elementy o krzywoliniowej w przestrzeni 3D osi, występują też ciężna – element nieznan w Revicie. Trudno przesła traktować jako stropy albo belki, a tak się najczęściej robi, podobnie z filarami, które przy swojej masywności nijak się mają do konstrukcji prętowych, którymi są reprezentowane. Wymagają raczej modelowania jako obiekty 3D modelowane przestrzennymi elementami skończonymi, a nie jako zredukowane do jednowymiarowych prętów. Łożysk w Revicie w ogóle nie ma, cała więc kinematyka mostu nie jest możliwa do zamodelowania, nawet jeśli projektant przygotowuje komponent geometrycznie odpowiadający łożysku.

Inny przykład pochodzi z pracy [16]. W tym przypadku projektowana była droga. Wobec braku podstawowego dla projektów liniowych parametru kilometrażu, czyli współrzędnej 1D odmierzanej wzdłuż poziomego rzutu osi korytarza drogowego, jest ona w tym projekcie dzielona na segmenty, które w modelu są tożsame z ... piętrami! (wyróżniony szary pas w poprzek drogi jest kolejnym jej „piętrzem”, odpowiednie „piętro” jest także podświetlone w przeglądarce po prawej stronie rysunku – rys. 4). Kilometraż, który normalnie jest zmienną ciągłą w projekcie, został tu zredukowany do dyskretnych wartości numeru piętra. Pomijając pewien komizm wywołany przez takie podejście („dziś zbroimy przepust

dla zwierząt na 117-y m piętrze!!!”), można się spodziewać, że podejście to stwarza trudność w samym projekcie. Wymiana danych z innymi modelami takiego projektu, np. mostowym czy sieci, to już może być duże wyzwanie, zwłaszcza, jeśli występujące w nich obiekty mają odniesienie typu kubaturowego, dla których kategorią podziału wertykalnego są właśnie piętra.



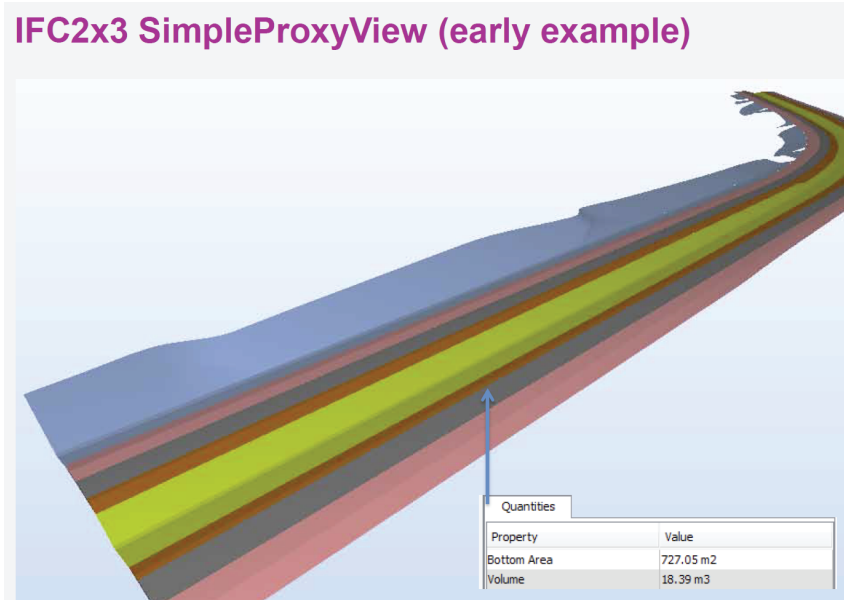
Rys. 4. Droga, która ma... piętra [16]⁷

W praktyce jest bardzo dużo podejść podobnych do przedstawionych tu przykładowo dwóch. Jest to na pewno konsekwencją braku standardów infraBIM i zgodą na pewne kompromisy. Pragnę podkreślić, że przytoczone tu przykłady projektów infrastrukturalnych nie miały na celu krytyki ich autorów, bo ich kreatywność raczej budzi szacunek. Z tego, że w zasadzie utworzone modele 3D nie są modelami BIM, bo nie niosą w sobie modelu informacyjnego mostu czy drogi z całą ich semantyką nie wynika, że praca nad ich tworzeniem w wersji modelu informacyjnego budynku była niecelowa. Tam, gdzie w procesach BIM czy innych procesach projektowych potrzebna jest dobra geometria 3D, albo gdzie generowane są z takich modeli różne zestawienia powierzchni, objętości, materiałów itp., ich przydatność może być duża. Mogą to być przykładowo takie procesy jak detekcja kolizji, przedmiary czy obmiary, obliczenia ilości robót ziemnych przy nasypach czy wykopach. Jeśli się jest świadomym ich ograniczeń i akceptuje je, można je z powodzeniem wykorzystywać w praktycznych celach w projektach.

Bardziej zaawansowanym podejściem do pseudo-infraBIM-u może być wykorzystanie możliwości obecnej technologii IFC, zwłaszcza zdefiniowanie dla modelowanego obiektu własnych zbiorów parametrów, tzw. *Pset* i obiektów typu *proxy* z klasy *IfcBuildingElementProxy*. Klasa ta definiuje podobne komponenty jak

⁷ w pełnym powiększeniu rysunek można zobaczyć pod adresem <https://bimblog.pl/wp-content/uploads/2016/06/image001.jpg>

klasa `IfcBuildingElement`, jednak bez semantyki. Przykład takiego postępowania pokazuje Liebich w [17].



Rys. 5. Właściwości obiektu drogowego (pole powierzchni, objętość) zapisane jako właściwości elementów typu proxy standardu IFC [17]

3. BIM dla infrastruktury

Wielu producentów oprogramowania deklaruje produkty BIM dla infrastruktury, niektóre firmy oferują po kilka-kilkanaście produktów. Jednak często się okazuje, że mimo deklaracji zgodności z filozofią i metodyką BIM, produkty te mają wbudowane różne niespodziane ograniczenia, które są sygnałem, że wewnętrzny model danych w tych programach nie do końca jest zgodny z zasadami semantycznego modelowania danych BIM. Przyczyny tego mogą być różne, jedną z prostszych jest fakt, że produkty te są dość często rozwinięciami wcześniejszych produktów klasy CAD 3D, z rozszerzeniami (narzędzia i struktury danych) stosownymi dla potrzeb projektów infrastrukturalnych, ale bez pełnej semantyki danych. Nie oznacza to oczywiście, że nie da się skutecznie projektować w obszarze infrastruktury z wykorzystaniem tych produktów, jednak wymiana danych/modeli z innymi programami dostępnymi na rynku może być niemożliwa. Produkty te nie będą tu omawiane, nie jest bowiem celem tej pracy pokazywanie lub porównywanie możliwości komercyjnego oprogramowania CAD/BIM dla projektów infrastrukturalnych⁸. Podstawowym odniesieniem w niniejszej publikacji jest stan i kierunki

⁸ osoby zainteresowane tym problemem znajdą setki stron i artykułów poświęconych porównaniom oprogramowania; warto je czytać, można się sporo dowiedzieć o różnych ograniczeniach, o których nie ma żadnego wspomnienia w materiałach marketingowych dystrybutorów i producentów oprogramowania

rozwoju technologii infraBIM wypracowane przez organizację buildingSMART International (bSI). Ponieważ standardy te są otwarte, można poddać je analizie i łatwiej poznać możliwości i perspektywy technologii BIM dla infrastruktury. Innym powodem skupienia się na standardach OpenBIM jest rynek projektów infrastrukturalnych. Zważywszy, że jest to praktycznie całkowicie rynek z segmentu zamówień publicznych, to przez wzgląd na wymóg niepreferowania konkretnych rozwiązań, znajomość stanu rozwoju i możliwości stosowania standardów OpenBIM jest aspektem szczególnie ważnym.

Organizacja buildingSMART dość długo nie zajmowała się problemem modelu informacyjnego dla projektów infrastrukturalnych. Opublikowana w 2013 roku wersja IFC 4.0, po kilku latach przerwy od poprzedniego standardu 2x3, zasadniczo w dalszym ciągu nie odpowiadała na potrzeby opisu modelu informacyjnego obiektów infrastrukturalnych, choć pierwsze podwaliny zostały położone. W wersji 4.0 standardu dołożono takie klasy jak [18]: *IfcProjectedCRS*, *IfcMapConversion*, *IfcSite* (updated), *IfcSpatialZone*, *IfcGeographicElement*, *IfcCivilElement*, *IfcAdvancedBrep*, pozwalające na wprowadzanie geodezyjnych i lokalnych układów współrzędnych i reguł transformacji między nimi (*IfcProjectedCRS*, *IfcMapConversion*), rozróżnienia działki budowlanej od terenu jako takiego (*IfcSite*), opisu elementów „geograficznych” (znaków, słupów itp.), zaawansowanych powierzchni swobodnych typu *free-form* (*IfcAdvancedBrep*). Ponadto, wprowadzono nieco ostrożnie klasę *IfcCivilElement*, a raczej jej substytut, bo jest ona jedynie obiektem typu *stub*⁹, czyli definicją ogólnego interfejsu elementu, ale bez zdefiniowania szczegółowych klas i parametrów. Inne udoskonalenia formatu IFC 4.0 istotne z punktu widzenia opisu modelowania BIM w obszarze infrastruktury obejmują np. rozszerzenie opisu geometrii o krzywe NURBS, zwięzania lub rozszerzania przekrojów 2D obiektów tworzonych za pomocą operacji *Extrude* czy *Sweep*, udoskonalenia tessellacji powierzchni.

Od 2013 roku, zespół tzw. pokoju infrastruktury bSI (ang. *Infrastructure Room*) podjął prace nad pełniejszą standaryzacją IFC w obszarze infrastruktury. Zadanie jest skomplikowane, dołożenie bowiem semantyki komponentów z obszaru projektów infrastrukturalnych oznacza dołożenie nie tylko opisu ich atrybutów i parametrów, ale i nowych relacji, w które wchodzi z innymi komponentami, reguł, którym podlegają itp. Specyfika projektów infrastrukturalnych wymaga przemyślenia wielu aspektów nieistotnych lub mało istotnych dla budynków:

- bardzo silnego zespolenia projektu z modelem terenu,
- potrzeby pełnej trójwymiarowej reprezentacji terenu i to semantycznie modelowanego,
- pożądanego odniesienia do danych geologicznych,
- powszechnie stosowanej praktyki projektowej wyznaczania przebiegu projektowanego obiektu względem pewnej referencyjnej osi 3D będącej podstawowym obiektem odniesienia dla geometrii modelu (linie trasowania/niweleta),

⁹ kolokwialnie mówiąc „wydmuszką”

- potrzeby wykorzystywania koncepcji korytarza drogowego/kolejowego,
- stosowania w przestrzeni 3D jednowymiarowej współrzędnej projektu zwanej kilometrażem lub pikietażem,
- problemu potrzeby stosowania jednego geodezyjnego układu odniesienia w przypadku większych projektów,
- specyficznych wymagań zarządzania i utrzymania 10 obiektów infrastrukturalnych (*asset management*) [19].

W projektach infrastrukturalnych inne też będą tzw. przypadki wykorzystania BIM (ang. *BIM Uses*) [17]:

- zagospodarowanie terenu, planowanie przestrzenne, planowanie rozwiązań i układów komunikacyjnych,
- modelowanie ruchu i oddziaływanie projektowanych rozwiązań na system komunikacyjny,
- logistyka dużych placów budowy, logistyka sprzętu, dostaw materiałów,
- rejestrowanie i śledzenie problemów/zmian na obszarach o bardzo dużej powierzchni (*issue geotagging*),
- modele dla maszyn autonomicznych sterowanych modelami 3D,
- inne.

Wszystkie te okoliczności stwarzają odmienną od przypadku budynków sytuację, stąd stworzenie nowych standardów OpenBIM dla infrastruktury (IFC5) wymaga zaplanowanego i systematycznego podejścia.

Pierwszym krokiem, podjętym przez bSI Infrastructure Room jeszcze w ramach projektu P6 bSI w 2013 roku było zdefiniowanie klasy *IfcAlignmentKolejowymi*, dwoma kolejnymi zadaniami były: cytowany już projekt poświęcony zdefiniowaniu wymogów BIM dla zarządzania infrastrukturą – *Infra Asset Management* [19], oraz zbudowanie całościowej koncepcji architektury klas IFC dla *infraBIM-u*, będącej fundamentem dalszych prac. Bormann w 2015 roku opisał agendę *buildingSMART* dla projektów infrastrukturalnych [20]. Obejmuje ona opracowanie standardów IFC Road, IFC Railway, IFC Bridge. Plan pracy przewiduje najpierw:

- 1) analizę rozszerzeń standardu IFC dla projektów drogowych koreańskiego oddziału bSI,
- 2) analizę rozszerzeń standardu IFC dla projektów kolejowych chińskiego oddziału bSI,
- 3) analizę rozszerzeń standardu IFC dla projektów mostowych francuskiego oddziału bSI,

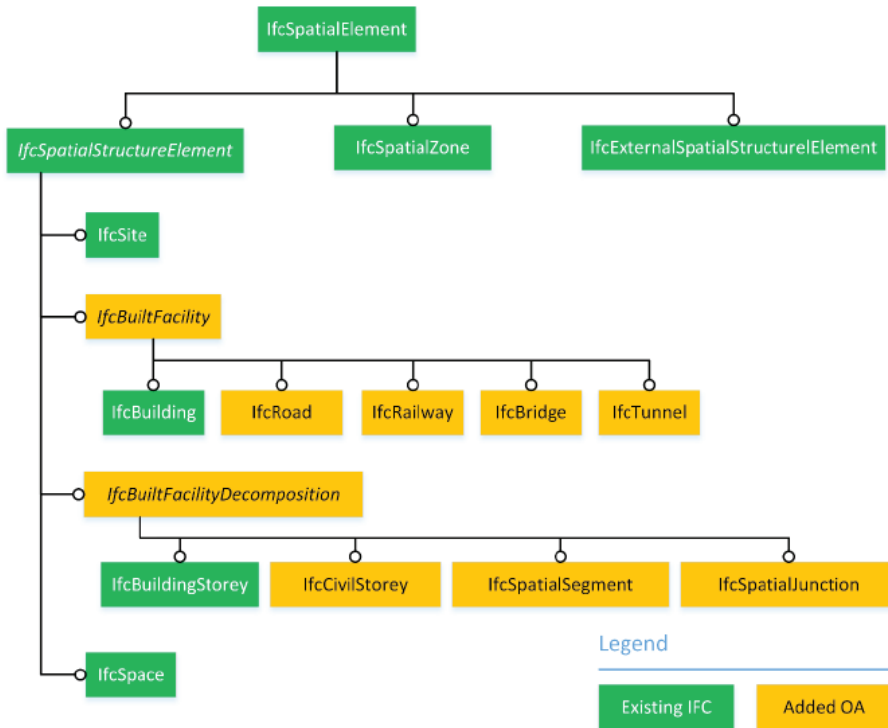
a w dalszej kolejności zdefiniowanie korpusu danych i właściwości wspólnych dla tych trzech typów projektów infrastrukturalnych. Wg opracowania [20] te wspólne struktury danych dotyczą:

- 1) geometrii terenu,
- 2) geometrii mas ziemnych/robót ziemnych (wykopy/nasypy),
- 3) modelowania geologii płytkich warstw podpowierzchniowych,

10 jak choćby trywialny zdawałoby się problem określenia przestrzennej części całego modelu, w którym znajduje się komponent; dla budynku naturalnym konceptem jest piętro lub skrzydło, raczej mało stosowne dla torowiska czy mostu

- 4) modelowania przechylek/pochyleń,
- 5) modelowania prześwitów/światel otworów,
- 6) modelowania hierarchii połączeń/scaleń obiektów liniowych.

Całościową wizję włączenia definicji elementów infrastrukturalnych w schemat IFC przedstawia rys. 6 [22]. Po opracowaniu IFC Road, IFC Railway, IFC Bridge, dalsza perspektywa prac obejmuje projekty IFC for Site/Landscape, IFC for Ports&Waterways [20]. Jeśli chodzi o IFC Tunnel, jest on obecnie przedmiotem prac raczej o charakterze naukowym¹¹, np. [21].



Rys. 6. Nowe, infrastrukturalne klasy dla IfcSpatialElement¹² [22]

Jak widać z powyższego schematu, klasy IfcRoad, IFC Railway, IFCBridge i IfcTunnel są traktowane na równi z IfcBuilding, a dekompozycja modelu będzie możliwa nie tylko przez piętra (IfcBuildingFacilityDecomposition), ale także przez piętra/poziomy obiektów inżynierskich: IfcCivilStorey, podziały na segmenty przestrzenne: IfcSpatialSegment, oraz skrzyżowania: IfcSpatialJunction. Poszerza to znacząco kategorie przyporządkowania komponentów modeli do segmentów całego obiektu i umożliwi naturalną z punktu widzenia wykonawstwa segmen-

¹¹ sytuacja nie jest do końca jasna, zadanie T2.4 w planie [22] listuje zadania dla IFC Tunnel, jednak strona Infrastructure Room nie informuje o podjęciu formalnych prac

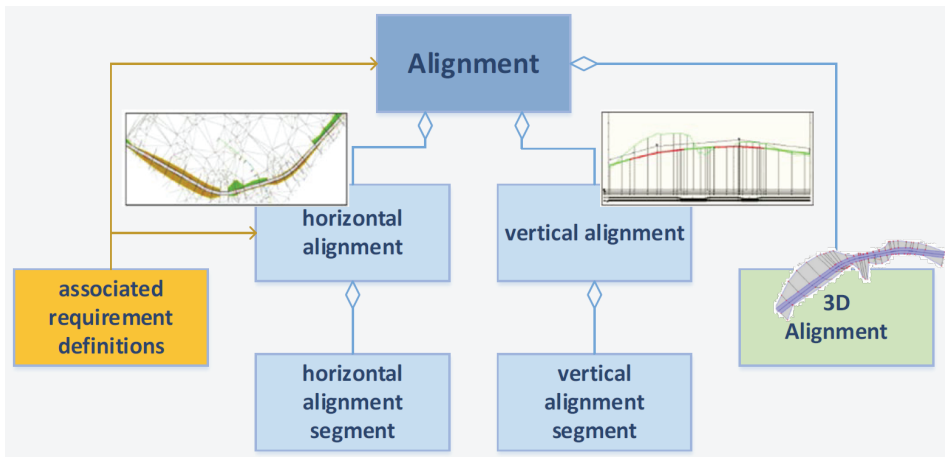
¹² pełniejszą dekompozycję obiektu budowlanego z uwzględnieniem klas obiektów infrastrukturalnych, pokazaną od klasy IfcRoot można pobrać z <https://goo.gl/7eqtFQ>

tację elementów modeli. Ma to kapitalne znaczenie dla modelowania 4D i 5D, logistyki placu budowy i późniejszego zarządzania infrastrukturą.

3.1. IFC Alignment

Projekt IFC Alignment był pierwszym poważnym krokiem BSI dla zestandaryzowania IFC dla infraBIM-u. Prace rozpoczęto w roku 2013, ukończono w 2015 roku. Standard ma status ukończonego i oficjalnego.

Generalne założenie dla projektu IFC Alignment¹³ opiera się na koncepcji wprowadzenia elementu typu krzywa przestrzenna, w gruncie rzeczy analogicznego do wykorzystywanych w projektach kubaturowych osi odniesienia (ang. *grids*), reprezentującego oś odniesienia drogi/mostu/torów kolejowych/innych obiektów tego typu, oraz powiązaniu geometrii komponentów infrastrukturalnych z jego jedną, dwoma lub trzema reprezentacjami. Te reprezentacje to: horyzontalna H (pozioma) - przez wydzielenie w płaszczyźnie poziomej rzutu elementu odniesienia na nią lub opis jego przebiegu tylko w tej płaszczyźnie (traktowanego jako linii trasowania), wertykalna V (pionową), przez konstrukcję na płaszczyźnie parametru wysokości wzdłuż linii trasowania (traktowanego jako niweleta) lub 3D, przez wyliczenie lub definicję krzywej przestrzennej. Wyliczenia obiektu odniesienia 3D jest możliwe na podstawie definicji H i V, wprowadzenia wprost definicji 3D odbywa się zwykle na podstawie pomiarów geodezyjnych. Jeśli chodzi o opis w konkretnym elemencie/segmente, to możliwe są kombinacje obiektów referencji: tylko H, tylko 3D, H+V, H+V+3D [24].



Rys. 7. Nowa klasa IFC Alignment [24]

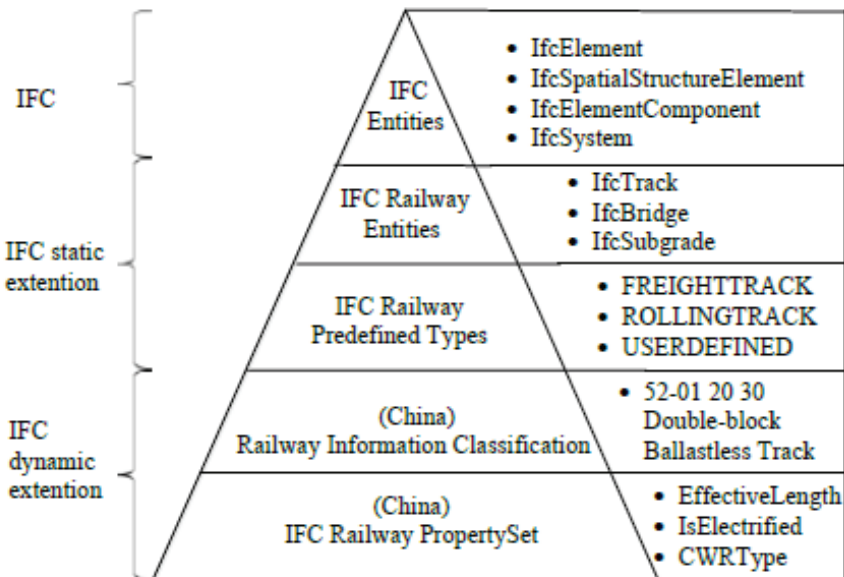
Jeśli chodzi o samą reprezentację obiektów odniesienia, to w rzucie płaskim (linia trasowania) możliwa jest reprezentacja segmentami liniowymi, łukami lub kłotoidami, w płaszczyźnie pionowej (niweleta) jako segmenty liniowe, łuki lub

13 obecnie uznanego za IFC 4.1 lub 4x1, <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4x1/final/html/>

łuki paraboliczne. Mogą one być definiowane względem zmiennej parametrycznej odmierzanej wzdłuż długości segmentu, realizując postulat opisu za pomocą pikietażu. Układ współrzędnych reprezentacji H to albo klasyczny układ współrzędnych kartezjańskich, albo parametr długości wzdłuż linii trasowania. Odniesienie do układu georeferencyjnego jest możliwe za pomocą klas `IfcMapConversion` i `IfcGeometricRepresentationContext`, definiowanych dla danego projektu w klasie `IfcProject`, możliwe jest wtedy definiowanie współrzędnych względem układów geodezyjnych.

3.2. IFC Road, IFC Bridge, IFC Railway, {IFC Tunnel}

Obecnie trwają prace nad rozwojem technologii OpenBIM dla głównych typów projektów infrastrukturalnych. Ich stan w zasadzie nie jest upubliczniany. Wiadomo z planu pracy [22], że punktem startowym dla pracy zespołów rozwijających standardy są wcześniejsze prace krajowych oddziałów bSI w Chinach, Korei i Francji. W literaturze można znaleźć publikacje dotyczące tych propozycji. Przykładowo, chińską propozycję IFC Railway można znaleźć w [25]. Rysunek 8 przedstawia hierarchię klas IFC tej specyfikacji, gdzie najwyższy poziom reprezentuje obecny stan rozwoju technologii (IFC 4x1), a poziomy 2 i 3 są propozycją uniwersalnych rozszerzeń standardu IFC dla kolei, czyli zasadniczymi klasami definiującymi rozszerzenia (stąd poziomy te są nazwane przez autorów jako „rozszerzenia statyczne”). Poziomy 4 i 5, są określane jako będące elementem „rozszerzeń dynamicznych”. Są to rozszerzenia dla uwzględnienia norm krajowych i innych potrzeb – odpowiadają koncepcji *ParameterSets* i *Proxy* standardu IFC.



Rys. 8. Rozszerzenie IFC Railway chińskiego oddziału bSI [25]

Analogicznie, opis propozycji standardu mostowego IFC Bridge można znaleźć np. w pracy [26], a drogowego w [27]. Są to propozycje o różnym rodowodzie, propozycja standardu mostowego jest de facto starsza niż IFC 4x1, stąd potrzebny zakres prac nad ujednoczeniem tych koncepcji i wypracowaniem efektywnych standardów będzie różny. Trudno w tej chwili przewidzieć, kiedy standardy zostaną opublikowane. Jest dość pewne, że jeśli prace będą postępować w typowy dla BSI sposób, na standardy te przyjdzie nam jeszcze poczekać.

4. GeoBIM i systemy GIS

Technologia BIM nie jest jedyną technologią, której celem jest cyfryzacja opisu, wymiany i przetwarzania danych infrastrukturalnych. Znacznie wcześniej niż BIM rozwijały się systemy geoinformatyki i bazy danych GIS¹⁴, ważne nie tylko dla przemysłu, ale i administracji, wojskowości i nauki. Wypracowane w tym obszarze standardy i technologie zachodzą niejako kompetencyjnie na rozwijane w obszarze technologii BIM. Mowa jest tutaj o standardach konsorcjum OGC (Open Geospatial Consortium) takich jak: GML (Geography Modelling Language), CityGML (wersja dla opisu semantycznych struktur terenowych i scen miejskich; interesującą cechą CityGML jest używanie pojęcia LOD, podobnie jak w przypadku BIM), LandInfra (dla projektów infrastrukturalnych) oraz o standardzie organizacji Landxml.org o nazwie LandXML, zorientowanym także na opis danych terenowych i infrastrukturalnych, zwłaszcza dla geodezji i danych pomiarowych generowanych z urządzeń do skanowania 3D terenu. Jeśli weźmiemy pod uwagę, że po stronie systemów GIS są także ogromne repozytoria danych opisujących praktycznie całą Ziemię, a do ich gromadzenia zaprzęgnięto jedne z najbardziej imponujących narzędzi wyprodukowanych przez człowieka, jak pomiary satelitarne i technologię LIDAR, to perspektywa i wartość mariażu technologii z obszaru BIM i geoinformatyki jest oczywista. O ile klasyczny BIM kubaturowy – ze względu na skalę projektów, którą można traktować jako poziom mikro – nie ma aż takich potrzeb czerpania z zasobów i standardów GIS, o tyle infraBIM – którego skalę adekwatnie by było nazwać jako mezo – jest w naturalny sposób „klientem” baz danych systemów GIS. Skala makro – opisu całych miast/regionów/państw – pozostanie na razie domeną GIS.

Zbieżność celów i możliwości technologii CityGML/LandXML oraz BIM są oczywistym powodem, aby te technologie traktować obecnie jako komplementarne i wzajemnie niezbędne. Dla szybkiego postępu prac projektowych w obszarze infraBIM krytyczne jest pozyskanie wysokiej jakości danych GIS i najlepiej semantyczny interfejs wymiany informacji, który by pozwalał na łatwą i poprawną interakcję komponentów projektowych BIM i komponentów GIS, łatwą ich klasyfikację i zarządzanie nimi. Z kolei z perspektywy modelowania całych kompleksów miejskich i makroregionów, możliwość automatycznej aktualizacji baz danych

14 Geographical Information Systems

GIS modelami projektowymi BIM jest perspektywą niezwykle interesującą. Po obu stronach tego interfejsu BIM/GIS – czyli w obszarze GeoBIM – istnieją więc fundamentalnie ważne przesłanki dla udrożnienia interfejsów wymiany informacji i pełnej współpracy systemów. Niestety, ich modele stworzono w różnych językach modelowania danych, co nie ułatwia zadania pełnej interoperacyjności. Prace OGC oparto na języku UML, Landxml.org na XML, BIM na języku EXPRESS i XML. Prowadzone różne prace badawcze i studialne demonstrują, że obecnie nie jest możliwe dobre mapowanie danych między tymi systemami. Przykładowo w raporcie [28] próba wymiany danych między standardem BIM i CityGML dla trzech przykładowych budynków zakończyła się wynikiem trudnym do uznania za sukces. Takich publikacji jest wiele.

Pewną nadzieję na skuteczne połączenie tych dwóch „semantycznych widoków” na projekty kubaturowe i infrastrukturalne, tzn. z obszaru BIM i z obszaru GIS stwarza współpraca komitetów ISO/TC59 (BIM) i ISO/TC211 (GIS) [29]. Jest to ważna inicjatywa. Biorąc pod uwagę fakt, że Polska posiada jedno z lepszych w Europie repozytoriów chmur punktów LIDAR [30] o dokładności współrzędnej wysokościowej szacowanej na 10-15 cm [31], bezproblemowa wymiana danych BIM/GIS – czyli funkcjonalność technologii GeoBIM – jest kwestią niezwykle ważną.

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono fundamentalne koncepcje technologii BIM, ze szczególnym uwzględnieniem roli i wagi semantyki danych oraz stanu rozwoju tej technologii w obszarze projektów infrastrukturalnych. Studium zaawansowania standardów infraBIM dokonano na podstawie analizy dokonań organizacji buildingSMART International, podstawowego ciała tworzącego otwarte, interoperacyjne standardy BIM. W kontekście niedostatecznego jeszcze stanu rozwoju technologii infraBIM zwrócono uwagę na fakt występowania na rynku zjawiska tzw. pseudo-infraBIM-u, czyli modelowania obiektów inżynierskich i liniowych w technologii BIM-u kubaturowego. Wskazano na ograniczenia tego podejścia, ale i na przypadki zasadnego użycia. Pokazano kierunki prac rozwojowych standardów IFC dla infrastruktury, jak i krótkiego przeglądu podstawowych technologii geoinformatyki. Zwrócono uwagę na fundamentalne znaczenie interoperacyjności między domeną BIM i domeną systemów GIS oraz fakt posiadania przez krajowe zasoby geodezyjne jednej z bogatszych baz danych LIDAR, niezwykle przydatnej dla realizacji projektów infraBIM.

W konkluzji przeprowadzonej analizy wypada stwierdzić, że stan rozwoju fundamentów technologii infraBIM nie jest jeszcze wystarczająco zaawansowany, aby można było liczyć na szybką implementację tych osiągnięć w kodach oprogramowania BIM. Przez najbliższe lata branża infrastrukturalna będzie jeszcze z konieczności skazana albo na natywne formaty danych i własne technologie infraBIM producentów oprogramowania, albo na otwarty pseudo-infraBIM.

Bibliografia

- [1] Quirk V., A Brief History of BIM, <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim> [dostęp: luty 2019].
- [2] LAISERIN J., Wstęp do I-go wydania: BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, [autorzy:] Eastman Ch. [et al.], John Wiley & Sons, Inc., Wyd. 1, 2008.
- [3] <http://mbinfo.mbdesign.net/CAD1970.htm> [dostęp: luty 2019].
- [4] <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm> [dostęp: luty 2019].
- [5] <https://www.buildings.com/news/industry-news/articleid/3617/title/the-first-version-of-the-national-building-information-modeling-standard-nbims-is-released-for-review> [dostęp: luty 2019].
- [6] <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030335210> [dostęp: luty 2019].
- [7] Bedrick J., Organizing the Development of a Building Information Model, AECbytes, August 20, 2008, <http://www.aecpe.com/08-08-20%20MPS.pdf>, [dostęp: luty 2019].
- [8] Richards M., Building Information Management: A Standard Framework and Guide to BS 1192, BSI, 2010.
- [9] Mordue S., Swaddle P., Philip D., BIM for Dummies, John Wiley & Sons, Inc., Wyd. 1, 2016.
- [10] Van Nederveen G.A., Tolman F.P., Modeling multiple views on buildings, Automation in Construction, Vol. 1, Issue 3, 1992, pp. 215-224.
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Information_model [dostęp: luty 2019].
- [12] <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview> [dostęp: luty 2019].
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=wwHvGPQyEC0> [dostęp: luty 2019].
- [14] Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P., – BIM w praktyce. Standardy, wdrożenia, case study, PWN, 2018.
- [15] Langwisch O., BIM4Infrastructure -Die Revit Plattform,
a. http://web23.shm.wissner.com/sites/default/files/arbeitskreis/2/BIM-Vortrag_Langwisch-BIM4Infrastructure%20-%20Die%20Revit%20Plattfom.pdf [dostęp: luty 2019].
- [16] Inframod Consultants Inc. oraz MAD Engineers – IFC dla infrastruktury,
a. <http://www.bimblog.pl/2016/06/ifc-dla-infrastruktury/>.
- [17] Liebich T., IFC for infrastructure. Separation between BIM and GIS requirements. Use cases for BIM (VDC) in Infrastructure. Scope of IFC developments (today, tomorrow), <https://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=File.download&id=1601> [dostęp: luty 2019].
- [18] <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases/ifc4-release> [dostęp: luty 2019].

- [19] Jackson Ph., Infrastructure Asset Managers BIM Requirements, Technical Report No. TR 1010, buildingsSMART International Infrastructure Room, 2018 <https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2018/01/18-01-09-AM-TR1010.pdf> [dostęp: luty 2019]
- [20] <https://www.buildingsmart.org/standards/rooms-and-groups/infrastructure-room/> [dostęp: luty 2019]
- [21] Vilgertshofer S., Jubierre J. R., Borrmann A., IfcTunnel - A proposal for a multi-scale extension of the IFC data model for shield tunnels under consideration of downward compatibility aspects, Proc. Of 11th European Conference on Product and Process Modelling, CRC Press, 2017, https://publications.cms.bgu.tum.de/2016_Vilgertshofer_ECPPM.pdf [dostęp: luty 2019]
- [22] Bormann A., IFC Infra Overall Architecture – Project Plan, TUM, 2016 http://buildingsmart.org.au/wp-content/uploads/2016-01-29_InfraOverallArchitecture_ProjectPlan_AB.pdf [dostęp: luty 2019]
- [23] Bormann A., Amann J., Chipman T., Hyvärinen J., Liebich T., Muhič S., Mol L., Plume J., Scarponcini P., IFC Infra Overall Architecture Project Documentation and Guidelines,
- [24] Liebich T., Amann J., Borrmann A., Chipman T., Lebegue E., Marache M., Scarponcini P., IFC ALIGNMENT. Common resource for road and rail construction, bridges, tunnels... First IFC extension project to address infrastructure works, <http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/ifc/ifc5-extension-projects/ifc-alignment/ifcalignment-projectpresentation-cs-1> [dostęp: luty 2019]
- [25] Gao G., Liu Y-S., Wu J-X., Gu M., Yang X-K., Li H-L., IFC Railway: A Semantic and Geometric Modeling Approach for Railways based on IFC, Proc. ICCCBE 2016, pp. 1188-1195, 2016 http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seeit/icccb2016/Proceedings/Full_Papers/150-364.pdf [dostęp: luty 2019]
- [26] Lebegue, E., Fiës, B. and Gual, J., IFC-Bridge V3 Data Model - IFC 4, Edition R1, <http://iug.buildingsmart.org/resources/itm-and-iug-meetings-2013-munich/infra-room/ifc-bridge-ifc-for-roads> [dostęp: luty 2019]
- [27] Lee, S.H., Kim, B.G., IFC Extension for Road Structures and Digital Modeling. Procedia Engineering, Volume 14, 2011, Pages 1037-1042, ISSN 1877-7058, 2011 https://www.researchgate.net/publication/235610005_IFC_Extension_for_Road_Structures_and_Digital_Modeling [dostęp: luty 2019]
- [28] Ohori KA., Krijnen T., Diakité A., Ledoux H, Stoter J., GeoBIM project. Final report, TU Delft, 2018
- [29] Rooth Ø., GIS (Geospatial) / BIM interoperability workshop, 2017 https://committee.iso.org/files/live/users/fh/aj/aj/tc211contributor%40iso.org/files/GIS%20BIM%20workshop/Welcom%20and%20introduction_Oeivind%20Rooth.pdf [dostęp: luty 2019]

-
- [30] <http://www.isok.gov.pl/pl/system-zarzadzania-nmt-sznmt> [dostęp: luty 2019]
- [31] <http://www.codgik.gov.pl/index.php/zasob/numeryczne-dane-wysokosciowe.html> [dostęp: luty 2019]

