

## TECHNOLOGIA BIM+AR W ZARZĄDZANIU INFRASTRUKTURĄ KOLEJOWĄ<sup>1</sup>

---

### Marek Salamak

dr inż. hab., Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5,  
44-100 Gliwice, tel.: 32 237 2189, e-mail: marek.salamak@polsl.pl

### Marcin Januszka

dr inż., Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100  
Gliwice, tel.: 32 237 2189, e-mail: marcin.januszka@polsl.pl

---

### Tomasz Płaszczyk

mgr inż., Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100  
Gliwice, tel.: 32 237 2189, e-mail: tomasz.płaszczyk@polsl.pl

---

**Streszczenie.** *Artykuł omawia dwie nowe technologie: Building Information Modelling (BIM) oraz poszerzoną rzeczywistość, ang. Augmented Reality (AR), które w najbliższych latach mają szansę stać się podstawą rewolucji procesów projektowania, budowy i zarządzania obiektami infrastruktury, również kolejowej. W artykule przybliżono specyfikę modeli BIM na tle ewolucji technik komputerowego wspomaganie projektowania CAD (ComputerAidedDesigning). Wskazano na uwarunkowania i trudności związane z wdrażaniem technologii BIM w projektach infrastrukturalnych. Omówiono również podstawowe techniki AR i jej potencjalne możliwości wykorzystania w zarządzaniu infrastrukturą kolejową. Pokazano również najważniejsze założenia systemu do wspomaganie inspektora mostowego przy wykorzystaniu narzędzi BIM+AR.*

**Słowa kluczowe:** BIM, rzeczywistość poszerzona, zarządzanie infrastrukturą

### 1. Wprowadzenie

W lutym 2014 roku ogłoszona została europejska Dyrektywa 2014/24/EU w sprawie zamówień publicznych. Jej wdrożenie diametralnie zmieni cały europejski rynek w obszarze inwestycji infrastrukturalnych. Chodzi między innymi o stosowanie elektronicznych narzędzi modelowania danych budowlanych. Narzędziami tymi są coraz częściej stosowane w projektowaniu, technologie BIM, czyli Building Information Modelling. Niestety w Polsce są one bardzo mało znane, a w przypadku infrastruktury kolejowej, właściwie zupełnie nie używane. Choć dyrektywa ta nie zmusza krajów członkowskich do obligatoryjnego stosowania tych narzędzi, to niewątpliwie zmiany w procesie projektowania i realizacji tego rodzaju inwestycji, które przecież stanowią największy udział rynku zamówień publicznych w budownictwie, spowodują niemal rewolucyjne procesy, do których wiele polskich przedsiębiorców, ale i jednostek administracji, zupełnie nie jest przygotowanych.

---

<sup>1</sup> Wkład autorów w publikację: Salamak M. 34%, Januszka M. 33%, Płaszczyk T. 33%

Zgodnie z intencją Ustawodawcy, 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 do 20%, co w skali całej Unii Europejskiej nie może pozostawać bez znaczenia. Niektóre państwa zachodnie, jak Wielka Brytania, Holandia i kraje skandynawskie wprowadziły obowiązek stosowania BIM we wszystkich zamówieniach publicznych od 2016 roku.

## 2. Ewolucja systemów CAD

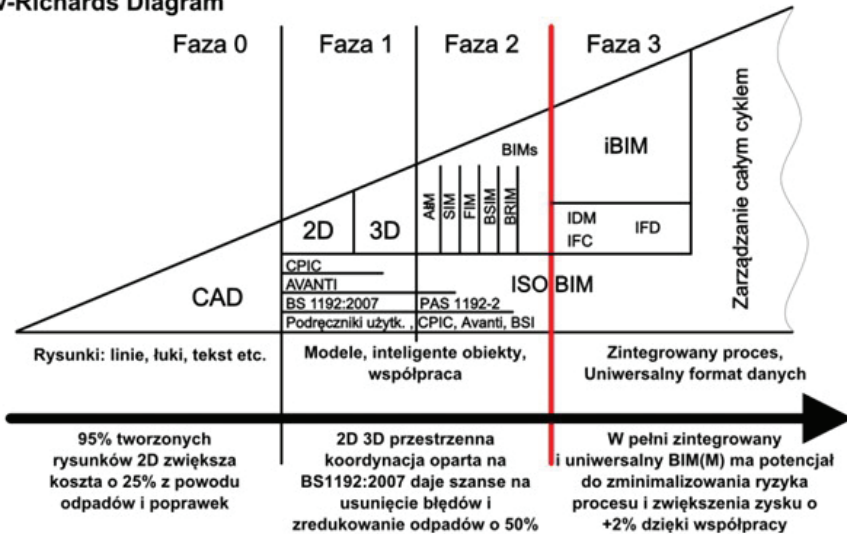
Zanim spróbujemy zgłębić co kryje się pod hasłem BIM, które stało się ostatnio tak bardzo popularne w naszym inżynierskim środowisku, to przypomnijmy sobie w skrócie jak przebiegała ewolucja systemów CAD (ComputerAidedDesigning), czyli komputerowego wspomagania projektowania.

W roku 1957 Patrick J. Hanratty, uważany za ojca technologii CAD/CAM, opracował pierwszy komercyjny program nazwany CAM (ComputerAidedMachining), który wykorzystywał protokół NC (Numerical Control) służący do sterowania maszynami. Pierwsza generacja systemów CAD służyła do tworzenia prostych szkiców 2D. W latach 70. zaczęto coraz częściej wprowadzać do tych produktów trzeci wymiar. W 1975 roku opracowano teoretyczne podstawy wykorzystania krzywych typu B-Spline do modelowania przestrzennych obiektów. Zaczęło się wdrażanie programów CAD w biurach projektowych branży budowlanej. Okres ten w naszym kraju zbiegł się z transformacją ekonomiczną i był wyjątkowo bolesny i trudny dla wielu projektantów, którzy nagle musieli przesiąść się z deski kreślarskiej do komputera, z mało wydajnym procesorem, niewielkim wówczas monitorem oraz nie zawsze legalnym programem, którego koszt był zupełnie nieosiągalny dla polskich inżynierów.

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 pozwalała również przyspieszyć prace projektowe, 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, jak choćby zbrojenia [6]. Ani wykorzystywany sprzęt, ani stosowane interfejsy programów CAD nie sprzyjały używaniu narzędzi 3D. Priorytetem była płaska papierowa dokumentacja z nieśmiertelnymi oryginalnymi pieczętkami i podpisami. Trzeci wymiar, jeśli był wykorzystywany, to najczęściej tylko do tworzenia wizualizacji i atrakcyjnych prezentacji. W wielu publikacjach bardzo często pojawia się widoczny na rys. 1 diagram pokazujący ewolucję systemów CAD w kierunku technologii BIM. Opisujący powyżej etap można umie-

ścić w rejonie fazy nr 1. Należy przy tej okazji zwrócić uwagę, że na świecie, nawet już na tym pierwszym etapie rozwoju, wdrażaniu elektronicznych technologii do projektowania towarzyszyła standaryzacja, która regulowała organizację i zapis elementów rysunku. W naszym kraju niestety odbyło się to zupełnie bez jakichkolwiek regulacji, czego skutki będziemy pewnie jeszcze odczuwać.

**Bew-Richards Diagram**



Rys. 1. Ewolucja systemów CAD i technologii BIM [10]

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 potrzebne do utworzenia płaskiej dokumentacji papierowej mogą być generowane prawie automatycznie. Została w ten sposób osiągnięta faza nr 2 na rys. 1.

### 3. Technologia BIM

W ogólnie dostępnej definicji BIM jest modelowaniem informacji o budynkach i budowlach. Modele tereprezentują cyfrowo odzwierciedlone fizyczne i funkcjonalne właściwości obiektu budowlanego. Oprócz tej dość ogólnej definicji, można

napotkać różne nieprecyzyjne opisy mówiące o narzędziu do usprawnienia procesu budowy lub do tworzenia i udostępniania informacji na potrzeby budowy, od etapu jej planowania i projektowania, przez okres eksploatacji gotowego obiektu, aż do jego wyburzenia. Z pewnością taka rozbudowana definicja też może być poprawna.

Najtrafniejszym zdaje się być traktowanie BIM jako technologii komputerowego modelowania obiektów budowlanych. Technologia, która pomaga w tworzeniu cyfrowego modelu budowli zawierającego dane dotyczące grafiki, 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.

Oprócz geometrii model może przechowywać szereg innych, nieraz bardzo zróżnicowanych typów danych, jak na przykład: dane materiałowe i kosztowe, informacje na temat czasu i technologii montażu, wyposażenie z instrukcjami obsługi i gwarancjami, stwierdzone uszkodzenia i historię modyfikacji. Może być również wykorzystywany do symulacji zmian różnych parametrów funkcjonalnych obiektu (ogrzewanie, wentylacja, oświetlenie, oznakowanie), czy nawet interaktywnego sterowania tymi parametrami (Smart Building). 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. 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.

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:

- opracowywać warianty i koncepcje,
- tworzyć wizualizacje i animacje poprzez rendering 3D,
- sprawdzać kolizje geometryczne i branżowe oraz poprawność projektu,
- generować rysunki warsztatowe w postaci płaskich rzutów i przekrojów,
- symulować proces budowy i eksploatacji,
- sprawdzać parametry funkcjonalne, dostępność i przejezdność,
- przygotowywać przedmiary, kosztorysy i harmonogramy,
- skutecznie zarządzać obiektem budowlanym i sterować nim,
- planować jego remonty i przebudowy z wyburzeniem włącznie.

W literaturze często wskazuje się na wielowymiarowość modeli BIM. Wynika ona z możliwości, jakie w sobie one kryją. Tylko niektóre z nich wymieniono powyżej. Najniższy poziom 3D związany jest z geometrią modelu. Trójwymiarowy model można tworzyć od podstaw w procesie projektowania, albo w przypadku istniejących obiektów – przez skanowanie laserowe i przetwarzanie chmury punktów. Może on być wykorzystany na przykład do wirtualnych spacerów po modelu, do oceny funkcjonalności przyszłej budowli, ale również na potrzeby marketingu. Konstruktorzy mogą użyć tego modelu do obliczeń i analiz statyczno-wytrzymałościowych oraz dynamicznych. W ograniczonym zakresie, obliczenia te realizować można wprost w aplikacji służącej tworzeniu modelu bazowego BIM, a bardziej zaawansowane analizy prowadzi się po eksporcie modelu do innych programów. Po zatwierdzeniu obliczeń i utworzeniu modelu 3D, na przykład układu prętów zbrojeniowych czy węzłów konstrukcji stalowych, przystępuje się do generowania płaskiej, klasycznej dokumentacji 2D, bez której pewnie jeszcze długo nasze środowisko budowlane nie będzie potrafiło się obejść. Jednak czas potrzebny na utworzenie tych rysunków można znacznie skrócić, eliminując jednocześnie błędy w wymiarowaniu i przedmiarach.

Czwartym wymiarem (4D) jest czas, który interpretuje się tu naturalnie. Każdy dodany do modelu obiekt posiada dodatkową właściwość (oprócz wspomnianych wcześniej parametrów geometrycznych i materiałowych), którą jest czas montażu lub budowy. Dzięki temu model BIM może być wykorzystany do planowania i zarządzania budową. Kierownictwo budowy może zorganizować sobie logistykę dostaw i prac, zagospodarowanie placu budowy, ogrodzenia, wynajęcie i lokalizację pracy maszyn, dźwigów, organizację ruchu i BHP. Harmonogram czasowy może być zwizualizowany w postaci animacji i sekwencyjnych etapów związanych z kamieniami milowymi realizacji inwestycji. Można wyznaczyć ścieżkę krytyczną, zależności między procesami z pokazaniem relacji model-harmonogram.

Kolejne wymiary są już bardzo umowne. Z piątym (5D) związane są koszty. Są to narzędzia do tworzenia przedmiarów, które mogą być powiązane ze zmieniającym się modelem. Na tej podstawie generuje się kosztorysy. Wprowadzanie wariantowych rozwiązań do modelu pozwala na opracowywanie scenariuszy i montażu finansowego całej inwestycji. Można porównywać na bieżąco w czasie budowy koszty założone i rzeczywiste oraz podejmować decyzje odnośnie płatności przejściowych.

Kolejny wymiar, a właściwie dwa wymiary, dotyczą zarządzania gotowym już obiektem. Zarządzanie pierwotnie umieszczone było na poziomie 6D. Jednak w ostatnim czasie pojawiła się koncepcja wydzielenia jeszcze jednego wymiaru (7D), który pozwoliłby na wyłączenie z zarządzania kwestii związanych ze zrównoważonym rozwojem. Tak więc zagadnienia dotyczące właśnie zrównoważonego rozwoju (6D), czyli szacowania i optymalizacji zużycia energii oraz kosztów użytkowania i utylizacji. Natomiast zarządzanie obiektem (7D) obejmuje między innymi instrukcje i procedury użytkownika powiązane z elementami modelu, planowanie remontów, modernizacji oraz procedury inspekcji i działań utrzymaniowych.

Tutaj też wykorzystywany jest standard COBIE, czyli Construction Operations Building Information Exchange. Jest to format wymiany danych, które pomagają utrwalac i rejestrowac najwazniejsze informacje dotyczace zabudowywanych materialow i elementow wyposazenia budowli, a w tym: nazwy i adresy producentow oraz dostawcow, specyfikacje i karty techniczne produktow, gwarancje i listy czesci zamiennych oraz harmonogramy konserwacji. Posiadanie i wykorzystanie modelu BIM w fazie eksploatacji budowli wiaze sie z koniecznoscia jego ciaglej aktualizacji w trakcie budowy (model powykonawczy). Wówczas model ten będzie przygotowany do wprowadzania wszelkich modyfikacji i przerobek w trakcie użytkowania. I w tych właśnie obszarach mieszczą się nie do końca nawet jeszcze rozpoznane możliwości związane z zarządzaniem infrastrukturą kolejową.

#### 4. BIM w infrastrukturze

Technologia BIM jest znacznie lepiej znana i stosowana w budownictwie kubaturowym (tzw. BIM *pionowy*). Korzystają z niego między innymi architekci, konstruktorzy, instalatorzy. Powstają w tej technologii 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 i instalacji na powietrznych lub podziemnych, mostów i tuneli, portów, nabrzeży oraz zapór wodnych. Przyczyn tego opóźnienia można szukać wielu uwarunkowaniach związanych z planowaniem i realizacją zadań w infrastrukturze.

Pierwszą, fundamentalną sprawą 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 poprawę efektywności swego działania. Ważny jest też model realizacji inwestycji. Zdecydowanie łatwiej jest wdrażać BIM w kontraktach typu „zaprojektuj i zbuduj”, gdzie model obiektu stanowi narzędzie zarówno dla projektanta, jak i wykonawcy. Podlega on ciągłym aktualizacjom w trakcie budowy i stanowi podstawę do rozliczeń z zamawiającym. W takich kontraktach model BIM musi stać się również przedmiotem zamówienia.

Do innych trudności opóźniających użycie technologii BIM w projektach infrastrukturalnych należy między innymi wolniejszy rozwój narzędzi BIM w dziedzinie infrastruktury niż ma to miejsce w projektach kubaturowych oraz sposób myślenia instytucji rządowych, że technologię tę uda się wdrożyć bez działań odgórnych, mających na celu ustalenie obowiązujących standardów i wymagań. Tak jakby rynek projektantów i wspomagających ich inżynierów IT miał rozwiązać wszystkie problemy sam. Tymczasem, 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 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), narzucały wówczas między innymi nazewnictwo warstw i organizację całego rysunku CAD.

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 drogowiec. Różnice te zestawione zostały w tab. 1.

Tab. 1. Różnice w modelach BIM między obiektami kubaturowymi i infrastrukturalnymi {3}

<i>Rozpatrywany element modelu</i>	<i>BIM pionowy (budownictwo kubaturowe)</i>	<i>BIM liniowy (budownictwo infrastrukturalne)</i>
obiekt w modelu	zwarty i punktowy (do kilkuset metrów)	długi i liniowy (do kilku kilometrów)
teren w modelu	wąski (w rejonie budynku i jego otoczenia)	rozległy (droga i pas drogowy)
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 innymi obiektami	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

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 – cyfrowych modeli terenu. Model terenu z istniejącą siecią drogową, urządzeniami podziemnymi, budowlami i właścicielami działek jest modelem bazowym. Służy on do projektowania wszystkich branż w nowym układzie drogowym, czy torowym, a w szczególności do projektowania trasy i niwelety drogi lub torów, odwodnienia, zieleni, mostów i architektury oraz wszelkich instalacji. Złożony, wielobranżowy model na poziomie 3D pozwala na wykrywanie błędów i kolizji oraz na współpracę i uzgodnienia między projektantami, wykonawcami i właścicielami sieci. 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 do zarządzania infrastrukturą. Zawiera on już wszystkie

informacje o lokalizacji i geometrii drogi, dane dotyczące sieci uzbrojenia terenu, zastosowanych urządzeń, a nawet harmonogramy i procedury przeglądów.

## 5. Modelowanie kolejowych obiektów mostowych w standardzie BIM

Projektowanie mostów jest iteracyjnym procesem, w którym zmiany podstawowych parametrów mostu uzależnione są od szeregu danych pozyskiwanych od innych projektantów (drogowcy, geotechnicy, materiałowcy), z innych dyscyplin (geotechnika, hydrologia, ekologia, bezpieczeństwo i organizacja ruchu) oraz źródeł i narzędzi wspomagających projektowanie (obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, przedmiary, analizy technologiczne). Proces ten w dalszym ciągu znajduje się gdzieś pomiędzy fazą nr 1 i 2 etapów ewolucji programów CAD (Rys. 1).

Najważniejszym efektem pracy projektantów mostów są płaskie rysunki niwelety, rzuty, widoki, i przekroje, rysunki deskowaniowe, zbrojeniowe i warsztatowe, zestawienia materiałów, przedmiary i kosztorysy, specyfikacje i opis technologii. Model 3D mostu powstaje jedynie na potrzeby obliczeń statyczno-wytrzymałościowych i to tylko wtedy, gdy jego geometria tego wymaga. W wielu przypadkach, ze zrozumiałych względów, stosuje się liczne uproszczenia lub nawet płaskie modele obliczeniowe. Wyjątkowo model 3D używany jest do wizualizacji lub analizy stanów montażowych. Większość tych rysunków i dokumentów tworzona jest niezależnie, często przy użyciu różnych narzędzi i aplikacji, które nie zawsze są ze sobą kompatybilne. Odnosząc się do najbardziej zaawansowanej technologii BIM z fazy nr 3 (Rys. 1), można powiedzieć, że są one robione wręcz w sposób „ręczny”, jedynie przy użyciu elektronicznych desek kreślarskich, jakimi są programy CAD wykorzystywane w wersji 2D.

Nie używając najczęściej jakiegokolwiek standaryzacji nazw warstw, projektant zaczyna dziś od uwzględnienia danych wejściowych w postaci profilu terenu, niwelety i trasy z projektu drogowego. Znając wymagania funkcjonalne mostu, proponuje przekrój poprzeczny i przy różnych wariantach przejścia przez przeszkodę, przyjmuje dane materiałowe, wytrzymałościowe oraz system konstrukcyjny. W bardziej ambitnych projektach są jeszcze czas i środki na poprawę estetyki i optymalizację. Zatwierdzony w obliczeniach i analizach przekrój poprzeczny, służy do wygenerowania płaskich rzutów, przekrojów i detali. Jeśli miałby powstać model 3D, to jest on jedynie efektem rozciągnięcia przekroju poprzecznego wzdłuż linii niwelety. Bardzo rzadko model taki wykorzystywany jest wprost do dalszych prac nad układem zbrojenia lub rysunków warsztatowych.

Należy jednak pamiętać, że wdrożenie technologii BIM do projektowania mostów nie jest wcale tak łatwe, jak stało się to w przypadku budownictwa kubaturowego. Oprócz wymienionych wcześniej trudności związanych z tym, że są to też obiekty infrastruktury, można zauważyć jeszcze:

- brak znajomości nowych technologii wśród projektantów i wykonawców,
- brak wymagań ze strony zamawiających,



- wysokie koszty i niechęć do wdrożenia nowych technologii,
- nierozwiązane kwestie prawne dotyczące praw i właściwości modelu BIM,
- ograniczone możliwości programów BIM przy modelowaniu nietypowej geometrii mostów.

Brak znajomości nowych technologii wśród projektantów nie wynika z ich niechęci do poszukiwania nowinek technicznych i usprawnienia swojej pracy. W środowisku projektantów i wykonawców panuje bowiem przekonanie, że aktualne techniki CAD są w zupełności wystarczające. I trudno się z tym nie zgodzić, jeśli weźmie się pod uwagę wszystkie następne trudności.

Po pierwsze, BIM nie jest wymagany przez zamawiających, którzy dzisiaj nie uświadamiają sobie korzyści z posiadania takich modeli. Należałoby więc zacząć od wskazania właścicielom i zarządom infrastruktury, ale i decydującym na szczeblach rządowych, potencjalnych zalet i oszczędności płynących z wykorzystania modeli BIM i to nie tylko na poziomie od 3D do 5D, ale przede wszystkim na poziomach 6D i 7D, gdy zaprojektowane i zbudowane tysiące obiektów mostowych zaczynają generować koszty utrzymania i remontów.

Po drugie, BIM jest wciąż bardzo drogą technologią. Wydaje się, że koszty wdrożenia BIM są dzisiaj wyższe niż ponoszone kiedyś wydatki na technikę CAD, której wdrożenie w dużym uproszczeniu polegało na wymianie i zakupie droższych mebli (deski kreślarskie na biurka z komputerami). Dzisiaj nie jest to już tylko kwestia zakupu znacznie droższego oprogramowania i mocniejszych stanowisk komputerowych. To też koszty szkolenia, integracji i audytów. Nowe technologie potrzebują czasu na wdrożenie w firmach i są często wykorzystywane niechętnie. Znane i zakorzenione przyzwyczajenia w pracy są trudne do zmiany, a zdobywanie nowych kompetencji przychodzi z dużym oporem. Takie zachowania również można zrozumieć. Niestety obserwujemy dramatyczny spadek cen na usługi projektowe, a zwłaszcza w projektach infrastrukturalnych. Jest to jednak osobny problem wymagający szerszej dyskusji. Być może właśnie przy okazji wdrażania nowych technik projektowania.

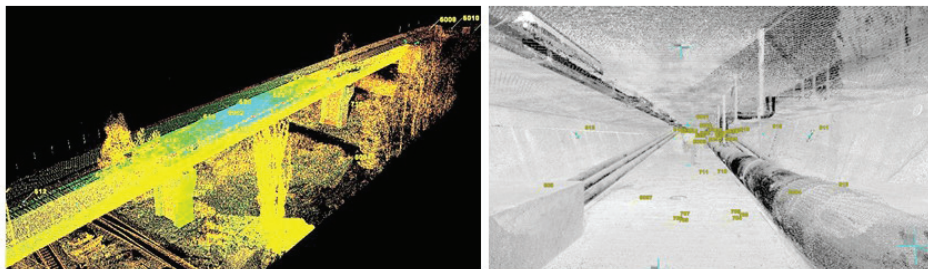
Nie bez znaczenia są bardzo trudne kwestie prawne. Biorąc pod uwagę fakt, że model BIM w znaczny sposób poprawia współpracę wszystkich branż i uczestników procesu budowlanego, oznacza to, że obowiązki i korzyści z tego płynące muszą być prawnie uregulowane w zupełnie nowy sposób. Kwestia własności modelu i związane z tym ryzyko prawne, muszą być odpowiednio zarządzane, aby było możliwe łagodne przyjęcie technologii BIM przez wszystkie strony. Przemysł budowlany jest dużym stopniu regulowany obecnie przez umowy, które zostały opracowane jeszcze nawet przed wprowadzeniem techniki CAD. Dlatego istnieje potrzeba opracowania nowych umów, które obejmować będą zmieniony sposób wymiany informacji projektowych wykorzystujący elektroniczny model.

Na koniec trzeba zauważyć, że sama technologia BIM wciąż ma problemy, zwłaszcza w zakresie niestandardowych geometrii mostów. Chodzi między innymi o nakładanie się geometrii zarówno w planie, jak i w pionie, krzywe przejściowe, spadki i przechylenia oraz poszerzenia i pogrubienia. Problem ten dotyczy zwłaszcza monolitycznych mostów betonowych. Najbardziej popularne programy CAD,

które nie należą do grupy produktów BIM (AutoCAD i Microstation) mogą sobie poradzić z takimi wyzwaniami, ale dzieje się to bez możliwości utrzymania właściwych relacji pomiędzy obiektami w modelu i bez pełnej parametryzacji.

W ramach działań zespołu mostowego Politechniki Śląskiej utworzony został model BIM (a raczej w tym przypadku BrIM, czyli Bridge Information Model) pewnego wiaduktu nad torami kolejowymi, który w przyszłości wykorzystywany będzie jako poligon doświadczalny przy badaniach nad użyciem modeli BrIM w zarządzaniu infrastrukturą transportową. W przekroju poprzecznym jest to betonowa skrzynka z zewnętrznym sprzężeniem. Wszystko to sprawia, że obiekt ten, z uwagi na swoją geometrię, rozmiar i złożoność, może być potraktowany jako reprezentatywny dla klasy średnich, a nawet dużych drogowych obiektów mostowych, których inspekcje są czasochłonne, a sam obiekt bardzo odpowiedzialny i ważny.

Model BrIM wiaduktu opracowany został według dwóch procedur: na podstawie dokumentacji projektowej – scenariusz tworzenia modelu przez projektanta nowego mostu i na podstawie inwentaryzacji istniejącego mostu – scenariusz tworzenia modelu z chmury punktów (Rys. 2). Skanowanie wykonane zostało przez AGH w Krakowie. Oba modele są ze sobą obecnie porównywane i do dalszych badań zostaną scalone. Pierwszy z nich zawiera szereg detali i informacji, które nie są dostępne dla skanerów. Wszystko przypisane zostało do odpowiednich warstw tematycznych i oznaczone określonymi kolorami. W ten sposób użytkownik modelu będzie miał możliwość selektywnego wyboru wyświetlanych obiektów.



Rys. 2. Chmura punktów po inwentaryzacji wiaduktu nad torami kolejowymi

## 6. BrIM w systemach gospodarki mostowej

Jednym z najważniejszych elementów tak zwanych Systemów Gospodarki Mostowej (SGM) [2] są wyniki inspekcji mostu. Stanowią one podstawowe źródło informacji o stanie technicznym obiektu i zaistniałych uszkodzeniach. W większości krajów świata są one obligatoryjne i wykonuje się je na podstawie systematycznej strategii kontroli kondycji infrastruktury transportowej. Ich głównym celem jest wykrycie i identyfikacja defektów, które pojawiają się w czasie użytkowania obiektu. Podstawową formą inspekcji jest kompleksowa ocena wizualna uzupełniona pomiarami i badaniami konstrukcji. Szczegółowo opisują to instrukcje wykonywa-

nia przeglądów w każdym kraju. Dokumenty te określają również zakres i wygląd raportów z inspekcji, który obecnie najczęściej tworzony jest w postaci papierowego dokumentu. Korzystanie przy tym z klasycznych laptopów, tabletów, czy smartfonów nie jest ani wygodne, ani bezpieczne dla inspektora, a zainstalowanie na nich nawet elektronicznych formularzy inspekcji nie zapewnia kompleksowego wsparcia.

O ścisłym powiązaniu systemów SGM z szybko rozwijającymi się technologiami informatycznymi pisał między innymi J. Bień [2]. Na świecie ukazało się ostatnio sporo publikacji w tym zakresie, ale głównie w krajach poza Europą [4]. Jest w nich mowa o wykorzystaniu sztucznej inteligencji, rzeczywistości wirtualnej i poszerzonej, systemów monitoringu, algorytmów decyzyjnych, itp. Jednak obserwując aktualne kierunki rozwoju i podejmowane decyzje polityczne, coraz bardziej prawdopodobnym staje się fakt, że najbliższe dekady związane będą z gwałtownym rozwojem technologii BIM w infrastrukturze. Ponieważ efektywność wykorzystania tej techniki w SGM będzie zależała od wirtualnego modelu mostu będącego przedmiotem inspekcji, to konieczne będzie zastosowanie zaawansowanych metod modelowania informacji o moście. Model BrIM mostu będzie najważniejszym elementem bazy wiedzy SGM. Aktualny stan praktycznego wykorzystania modeli BIM jest ograniczony raczej tylko do fazy projektowania (BIM 3D i 4D), a incydentalnie w procesie budowy (BIM 4D i 5D). Wykorzystanie modeli BIM do zarządzania i utrzymania (BIM 6D i 7D) występuje jedynie w projektach pilotażowych i wciąż wymaga badań. Zwłaszcza dotyczy to elementów infrastruktury transportowej jakimi są drogowe i kolejowe obiekty mostowe. Dlatego konieczne będzie opracowanie procedur do tworzenia modeli mostów. Modele, które ukierunkowane będą do wykorzystania w inspekcjach i w SGM. W przypadku istniejących obiektów, nie posiadających jeszcze takich modeli, potrzebne będzie opracowanie innych procedur do inwentaryzacji mostów z użyciem skanowania laserowego oraz tworzenia modeli BrIM na podstawie uzyskanej w ten sposób chmury punktów.

## 7. Rzeczywistość wirtualna i poszerzona

W ostatnich latach podejmowane są próby wspomaganie wybranych etapów procesu obsługi różnych obiektów poprzez zastosowanie technik tzw. poszerzonej rzeczywistości (ang. *Augmented Reality*, AR). Techniki AR, jako przykład technik komputerowych stosowanych do wspomaganie człowieka w trakcie realizowania przez niego różnych czynności, są niezwykle obiecujące. Pozwalają one łączyć komputerowo generowany świat (wirtualny) ze światem rzeczywistym (w którym znajduje się użytkownik), w taki sposób, aby stanowiły one jedno zszyntezowane środowisko [1]. W przeciwieństwie do bardziej popularnej wirtualnej rzeczywistości (ang. *Virtual Reality*, VR), w której użytkownik jest całkowicie zanurzony w środowisku wirtualnym, rzeczywistość poszerzona daje swobodę działania w środowisku rzeczywistym przy możliwości wzbogacania percepcji człowieka za pomocą wirtualnych obiektów (Rys. 3). Nowoczesne techniki wizualizacji jak AR, po-

zwalają przedstawiać świat wirtualny w sposób niezwykle intuicyjny, np. w postaci trójwymiarowych obiektów, z możliwością oglądania ich z dowolnej perspektywy, o teksturach nieodróżnialnych od rzeczywistych tekstur realnych przedmiotów i w dowolnej skali. Dodatkowo elementy wzbogacające rzeczywistość przy użyciu systemów AR mogą mieć różne formy, poza trójwymiarowymi modelami także: napisów, schematów, zdjęć, filmów lub informacji dźwiękowych [5,6,7].



Rys. 3. Poszerzona rzeczywistość w kontinuum świat rzeczywisty-świat wirtualny

Coraz bardziej powszechne zainteresowanie technikami AR wiąże się z korzyściami jakie one ze sobą noszą – przede wszystkim możliwością dodania do tego, co odbieramy własnymi zmysłami, informacji płynących z baz danych i/lub wiedzy. Zamiast całkowicie zastąpić świat otaczający człowieka sztucznym – wirtualnym – światem (jak ma to miejsce w przypadku VR), AR umożliwia wzbogacenie tego świata poprzez dodanie potrzebnych informacji i wiedzy, które mogą zwiększyć pewność działania człowieka [1]. Informacje te mogą być dostarczane użytkownikowi systemu dokładnie w miejscu i w chwili wystąpienia zapotrzebowania na taką informację (ang. Just-in-Place/Just-in-Time) [6],[7].

Obecnie badania nad rozwojem komputerowego wspomaganie zarządzania obiektami mostowymi z zastosowaniem metod i technik AR w połączeniu w modelami BrIM prowadzone są w nielicznych ośrodkach na świecie (głównie poza Europą np. w Kanadzie, Stanach Zjednoczonych, Tajwanie, Australii) i wyłącznie w ograniczonym zakresie. Częściej podobne systemy opracowywane są dla innych obiektów budowlanych, np. budynków.

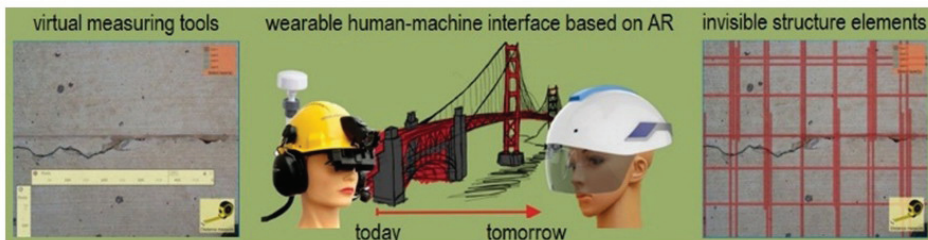
W trakcie inspekcji istnieje potrzeba zbierania wielu danych na temat aktualnego stanu obiektu (mostu). Inspektor używa różnych narzędzi do pozyskania danych. W związku z tym, także przy wspomaganie inspekcji poprzez użycie systemu AR, pojawia się problem urządzeń w jakie musi być wyposażony inspektor, a przede wszystkim, jak je wygodnie przetransportować i użyć. W [4] autorzy proponują ubieralny komputer użytkownika zintegrowany z systemem lokalizacji i wyświetlaczem AR. Rozwiązanie to jednak nie przewiduje integracji dodatkowych elementów wyposażenia inspektora, tj. urządzenia pomiarowe i czujniki. Proponowane rozwiązania nie uwzględniają też kwestii bezpieczeństwa użytkownika (potrzeby używania kasku przez inspektora).

W związku z brakiem skutecznych rozwiązań autorzy w niniejszym artykule prezentują nowatorskie rozwiązanie inteligentnego systemu bazującego na techni-

kach AR, do wspomagania inspekcji mostów. System składa się z kilku głównych modułów związanych z trzema fazami inspekcji obiektów mostowych:

1. Faza przygotowania inspekcji, w ramach której użytkownik za pomocą symulatora planuje kolejne kroki inspekcji oraz zapoznaje się z obiektem.
2. Faza przeprowadzenia inspekcji, w ramach której inspektor przy użyciu interfejsu AR zintegrowanego z systemem wspomagania podejmowania decyzji oraz akwizycji danych pozyskuje i gromadzi aktualne dane o stanie obiektu i/lub przegląda informacje o historii obiektu.
3. Faza przygotowania raportu z inspekcji, w ramach której użytkownik wspomagany za pomocą systemu przygotowuje raport o stanie obiektu.

Niezwykle istotną cechą proponowanego systemu bazującego na AR jest jego integracja z BrIM i SGM. Integracja ta pozwala na aktualizację danych o stanie obiektu i intuicyjny dostęp do danych o jego strukturze i historii na etapach od przygotowania inspekcji, poprzez jej przeprowadzanie, aż po opracowanie nowego raportu. W trakcie prowadzenia inspekcji na obiekcie mostowym system pozwala na wizualizację wybranych – szczególnie tych ukrytych lub niewidocznych dla inspektora – elementów strukturalnych mostu (np. zbrojenie, sprzężenie, łożyska, itp.) oraz pozostałych elementów wyposażenia i urządzeń obcych (np. odwodnienie, instalacje elektryczne, teleinformatyczne) i wiedzy związanej z nimi (Rys. 4). Dane te pochodzą z systemu SGM i modelu BrIM obiektu.



Rys. 4. Przykłady zastosowania systemu AR podczas inspekcji mostu

W trakcie pracy inspektor ma do dyspozycji system wspomagania podejmowania decyzji. Podczas inspekcji użytkownik powinien wprowadzać niezbędne dane do systemu doradczego, który następnie podpowiada inżynierowi dalsze kroki postępowania i umożliwia klasyfikację zaobserwowanych uszkodzeń (np. zarysowania, pęknięcia, ubytki betonu). W ten sposób inspektor powinien być w stanie określić klasy uszkodzeń, które są następnie przypisywane do wirtualnego modelu BrIM w lokalizacji zgodnej z lokalizacją uszkodzenia na rzeczywistym obiekcie.

Inspektor w podobny sposób przy użyciu systemu sensorycznego zintegrowanego z interfejsem AR dokonuje pomiaru wartości istotnych parametrów (np. pomiary z urządzeń do badań nieniszczących, odległość między dwoma istniejącymi elementami, powierzchnia ubytku, długość pęknięcia, itp.), a następnie zapisuje wyniki pomiarów w modelu BrIM. W ten sam sposób zapisywane są wszelkie inne adnotacje inspektora, głównie w postaci dokumentacji fotograficznej, szkiców, notatek oraz nagrań dźwiękowych (głosowych). Gromadzone dane powinny być za-



pisywane jako warstwy na modelu BrIM i zintegrowane z systemem SGM. Wszelkie dane zgromadzone przez inspektora mogą być wykorzystane w dowolnym momencie w przyszłości, szczególnie na etapie przygotowania raportu i planowania kolejnej inspekcji.

Ostatni istotny element systemu pozwala na wspomaganie przygotowania raportów po inspekcji, bazując na pozyskanych i zgromadzonych danych. Udział użytkownika na tym etapie powinien sprowadzać się w większości sytuacji wyłącznie do zaakceptowania poszczególnych fragmentów raportu oraz wniosków z systemu eksperckiego. Pozostałe czynności związane z przygotowaniem raportu powinny być wykonane automatycznie.

## 8. Podsumowanie

W najbliższych latach branżę budownictwa infrastrukturalnego czeka rewolucja związana z wprowadzeniem do projektowania, budowy i utrzymania, nowoczesnej i wymagającej technologii BIM. Zakres zmian w podejściu do projektowania oraz mentalności i przyzwyczajzeń wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego (zamawiający, projektanci, nadzór, wykonawcy) będzie znacznie większy niż przemiany związane z wprowadzenia w latach 90. techniki CAD. Tym razem o nieuchronności tego procesu świadczą decyzje polityczne na poziomie Unii Europejskiej, która ma nadzieję na osiągnięcie znacznych oszczędności i redukcji zużycia energii w całej branży budowlanej, a zwłaszcza w sektorze zamówień publicznych.

W artkule pokazano podstawowe założenia urządzenia korzystającego z technologii BIM+AR do wspomagania inspektora mostowego podczas oceny stanu technicznego elementu infrastruktury kolejowej, jakim może być most. Rozwiązanie proponowane przez autorów jest we wczesnym stadium badań. Opracowanie systemu wymaga rozwiązania licznych problemów interdyscyplinarnych, które do tej pory nie zostały podjęte nigdzie na świecie, albo są mało efektywne i wymagają udoskonalenia. Proponowany system pozwoli na poprawę jakości i redukcję kosztów zarządzania i utrzymania obiektów mostowych. Ponadto, integracja systemu z modelami BrIM i systemami SGM powinna przyczynić się do bardziej efektywnej interpretacji danych z oceny stanu obiektów mostowych oraz opracowania bardziej szczegółowych i dokładnych raportów.

System może być używany zarówno przez inspektorów (inżynierów mostowych), jak i przez przedstawicieli zarządców infrastruktury. Innowacyjny potencjał miałyby także zastosowanie systemu do wspomaganie zdalnej inspekcji i teleimersji do obiektów mostowych przy użyciu urządzeń bezzałogowych (ang. unmanned vehicles, UV), w tym autonomicznych robotów mobilnych.



## Literatura

- [1] Azuma. R.T., A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 4(1997):355-385.
- [2] Bień J., *Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych.*, WKŁ, Warszawa, 2010.
- [3] Bohatkiewicz J., Biernacki S., Drach M., Jamrozik K., *BIM w drogownictwie: perspektywy, możliwości i ograniczenia.*, II Międzynarodowa Konferencja i Targi BIM Projektowanie Przyszłości, Kraków, 4-5 marca 2015 (prezentacja).
- [4] Doppleb J., Steinke N., Meyer N., Kulik A., Petzold F., Thurow T., Bürgy C., *Wearable Computer for Building Surveying*. Proc. of ISWC'04, 2004.
- [5] Hammad A., Wang H., Mudu S.P., *Distributed augmented reality for visualizing collaborative construction tasks*. *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 23, 2009, pp. 418-427.
- [6] Januszka M., Moczulski W., *Acquisition and Knowledge Representation in the Product Development Process with the Use of Augmented Reality*, J. Stjepandic et al. (eds.), *Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment*, Springer-Verlag London 2013, pp. 315-326.
- [7] Moczulski W., Panfil W., Januszka M., Mikulski G., *Applications of augmented reality in machinery design, maintenance and diagnostics*, *Recent Advances in Mechatronics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, pp. 52-56.
- [8] Salamak M., *Wybrane problemy prezentacji graficznej prętów zbrojenio-owych w programach CAD na przykładzie aplikacji BestCAD.*, *Inżynieria i Budownictwo* 2/2001, s. 122-123.
- [9] Salamak M., Januszka M., *BIM models and augmented reality for concrete bridge inspections*. 11th Central European Congress on Concrete Engineering CCC2015, Hainburg, 2015, pp.25-28.
- [10] <http://www.cpic.org.uk/publications/drawing-is-dead/>

