

SZYMON GLINKA

mgr inż., Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, email: glinka@student.agh.edu.pl

MICHAŁ STRACH

dr hab. inż., prof. AGH, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, email: strach@agh.edu.pl

Zastosowanie technologii BIM (Building Information Modeling) w geodezyjnej obsłudze budowy tras kolejowych^{1,2}

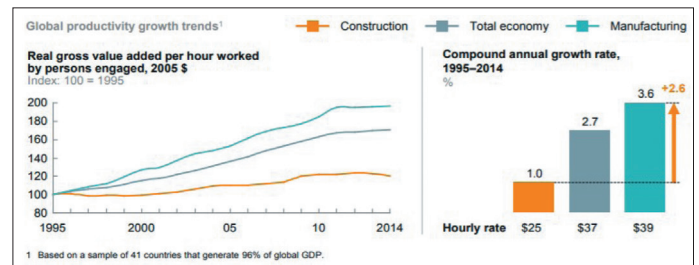
Streszczenie: W związku z postępującym procesem cyfryzacji budownictwa, w szczególności budownictwa infrastrukturalnego, należy oczekiwać zwiększenia zapotrzebowania na usługi geodezyjne świadczone z wykorzystaniem adekwatnych technologii. W tym kontekście została przedstawiona technologia BIM – Building Information Modeling/Management rozumiana jako Modelowanie/Zarządzanie Informacją o Budowli. Technologia BIM oraz jej część RIM (R-Railway) jest wciąż rozwijana, a efektem końcowym mają być wytyczne, przepisy i standardy, które umożliwią nadzór i zarządzanie infrastrukturą kolejową według przyjętych powszechnie norm. Zgodnie z założeniami technologia BIM (RIM) ma wspierać nadzór nad inwestycją, począwszy od etapu projektowania, poprzez budowę, utrzymanie aż do jej rozbiórki. Artykuł zawiera podstawowe informacje o technologii BIM oraz zasadach jej stosowania w budownictwie. Opisuje także specyfikę inwestycji kolejowych oraz możliwości zastosowania nowoczesnych, geodezyjnych i diagnostycznych technik pomiarowych w kolejnictwie. Autorzy zawarli propozycje adaptacji technik pomiaru i opracowania danych na potrzeby projektowania i utrzymania infrastruktury kolejowej w technologii BIM.

Słowa kluczowe: BIM (Building Information Modeling), RIM (Railway Information Modeling), trasa kolejowa, linia kolejowa, infrastruktura kolejowa, geodezyjna obsługa inwestycji.

Wprowadzenie do technologii BIM

Globalny rozwój branży technologicznej oraz informatycznej pozwala na tworzenie nowszych i bardziej zaawansowanych rozwiązań w różnych dziedzinach życia. Jako przykład można wskazać ewolucję w tworzeniu dokumentacji technicznej. Przed laty była to dokumentacja dwuwymiarowa, powstająca na desce kreślarskiej z wykorzystaniem różnych przyborów kreślarskich, m.in.: grafionu, grafosu czy rapido-grafu. Na przełomie lat 60. i 70. ubiegłego wieku powstawały opracowania realizowane w środowisku CAD. Dalszy rozwój oprogramowania komputerowego pozwolił na projektowanie z użyciem trójwymiarowego modelu cyfrowego. Korzystanie z najnowocześniejszych technologii pozwala na optymalizację pracy projektanta oraz prowadzenie różnego rodzaju analiz umożliwiających przykładowo wykrycie kolizji pomiędzy projektami branżowymi. Aktualnie możliwe jest także stosowanie narzędzi wspierających proces inwestycyjny, jak Rozszerzona Rzeczywistość (*Augmented Reality* –

AR) czy Bezzałogowe Statki Latające (BSP). Takie podejście zdecydowanie ułatwia pracę, skraca czas tworzenia projektu oraz jego późniejszej realizacji. W tradycyjnej dokumentacji papierowej dowolne zmiany projektu wiązały się z koniecznością zeszkobania za pomocą żyłki błędnie narysowanej linii albo tworzenia części lub pełnej dokumentacji na nowo. Obecnie modyfikacja dowolnego elementu w projekcie wiąże się często z wyborem zaledwie pojedynczych opcji czy funkcji w oprogramowaniu. Dzięki programowaniu obiektowemu i parametryzacji, czyli definiowaniu między innymi relacji pomiędzy komponentami, zmiana jednej właściwości i jej wpływ na sąsiednie obiekty odbywa się w sposób automatyczny. Wprowadzanie nowych technologii w branży budowlanej jest potrzebne. Analizując wykresy zmian wydajności dla różnych sektorów, można dojść do wniosku, że przemysł budowlany od kilkudziesięciu lat jest na tym samym poziomie (pomarańczowy kolor wykresów na rys. 1). Dlatego też rozpoczęto prace nad nową technologią mogącą zmienić ten stagnacyjny trend, a jest nią BIM.



Rys. 1. Zmiana wydajności w budownictwie w latach 1995–2014

Źródło: [1]

Rozwinięciem akronimu BIM jest *Building Information Modeling/Management*, czyli Modelowanie lub Zarządzanie Informacją o Budynku. Dobór odpowiedniego rozwinięcia zależy od etapu w cyklu życia budowli, w którym BIM jest wykorzystywany. *Building Information Modeling* jest przede wszystkim używany na etapie projektowania oraz wznoszenia budowli, natomiast *Building Information Management* na etapie eksploatacji, ponieważ wtedy wykorzystuje się model wraz z metadanymi do zarządzania budowlą. W literaturze spotykany jest również podział na „big BIM” dla modelowania oraz „little BIM” dla zarządzania informacją o budowli [2]. Cała metodologia BIM-u pochodzi od PLM (*Product Lifecycle Management*) stosowanego w branży produkcyjnej do zarządzania cyklem życia produktu. Celem tych działań są jak największe zyski na różnych płaszczy-

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2020. Procentowy udział wkładu autorów w publikację: Sz. Glinka 55%, M. Strach 45%.

² Artykuł powstał na podstawie pracy dyplomowej magisterskiej pt.: *Geodezyjna obsługa budowy trasy komunikacyjnej w technologii BIM ze wspomaganie oprogramowania Bentley Systems* autorstwa mgr inż. Szymona Glinki pisanej pod opieką dr. hab. inż. Michała Stracha, prof. AGH.

znach, rozpoczynając od tych ekonomicznych, a na środowiskowych kończąc [3].

BIM jest technologią bardzo złożoną, na którą składa się wiele elementów, m.in.:

- Regulacje prawne: standardy, akty prawne, które definiują, w jaki sposób prace BIM powinny być wykonywane, normują one sprawy pomiędzy uczestnikami procesu. Na ich podstawie tworzone są szczegółowe wytyczne dla każdego projektu.
- Projektowanie: wykonywane przy współpracy architektów, konstruktorów, projektantów branżowych za pomocą odpowiedniego oprogramowania, umożliwiającego współpracę. Tworzony jest model cyfrowy 3D.
- Symulacje: są to wszelkiego rodzaju analizy, które pozwalają na jak najwydajniejszą oraz jak najbezpieczniejszą pracę. Analizuje się harmonogram budowy oraz dostaw (miejsca magazynowania), ale również obejmują analizy związane z wpływem na środowisko oraz estymację kosztów utrzymania.
- Zarządzanie informacją: komunikacja pomiędzy członkami procesu w celu wykrywania błędów, ewentualnych kolizji.
- Inwentaryzacja: bazy danych, zasoby.
- Zarządzanie obiektem: informacje o komponentach, gwarancje, wynajem, sprzedaż, administracja.
- Specyfikacje: sprawdzanie zgodności ze standardami.
- Zarządzanie budową: organizacja placu budowy, logistyka z tym związana, sprawdzanie opóźnień/przyspieszeń w stosunku do harmonogramu.
- Serwis: utrzymanie budowli, wszelkie naprawy, wymiany.

Powyższe elementy nawiązują do cyklu życia budowli, którego etapami są: planowanie, projektowanie, analiza, budowa, utrzymanie, remont oraz rozbiórka.

Innym ważnym elementem w kontekście BIM-u jest wymiana informacji. Powinna ona odbywać się w sposób bezstratny i w pełni zrozumiały. W dzisiejszych czasach przepływ informacji jest jednym z największych problemów społecznych. Pojawia się wiele niezweryfikowanych, niepełnych lub nieprawdziwych wiadomości (*fake news*), które są podawane do informacji publicznej. Takie przypadki nie mogą mieć miejsca w procesie BIM. Oczywiście każdej firmie zaangażowanej w proces budowy powinno zależeć na podawaniu prawdziwych wiadomości, jednak informacje nierzetelne mogą powstać przez zaniedbanie na którymś z etapów. Z tego powodu powstały formaty wymiany danych i protokoły uszczegóławiające sposób wymiany informacji. Najpopularniejszym ze znanych standardów jest IFC (*Industry Foundation Classes*), wydany przez instytucję buildingSMART. Dzięki temu rozwiązaniu możliwe jest wykorzystanie otwartego standardu wymiany danych, zamiast plików natywnych poszczególnych twórców oprogramowania branżowego. Dzięki otwartemu standardowi współpraca wielobranżowa jest zdecydowanie prostsza i efektywniejsza. Nie występuje także zmonopolizowanie rynku oprogramowania przez jednego producenta.

Wśród innych terminów związanych z wymianą informacji można wymienić: IDM (*Information Delivery Manual*), CDE (*Common Data Environment*) – Wspólne Środowisko Danych, MVD (*Model View Definition*) – Definicja Wyświetlania Modelu, BCF (*BIM Collaboration Format*), a także EIR (*Employer's Information Requirements*) oraz BEP (*BIM Execution Plan*) [3], które zostaną opisane poniżej.

IDM to dokument, który powinien być tworzony dla każdej inwestycji prowadzonej w technologii BIM. Zawiera on reguły dotyczące sposobu wymiany informacji dla danego projektu.

CDE jest to – w uproszczeniu – serwer z bazami danych oraz aplikacjami. Wspólne Środowisko Danych służy do zarządzania projektem, modelami, standardami, a także do koordynacji prac, wydzielenia zadań, zgłaszania oraz odpowiedzi na RFI (*Request For Information*), kontroli i nadzoru. Tak więc jest to narzędzie pozwalające na kompleksową obsługę prac oraz modelu właściwie na każdym etapie cyklu życia budowli. Przykładowymi platformami realizującymi CDE może być oprogramowanie Bentley ProjectWise/AssetWise czy też Trimble Connect.

Zazwyczaj podczas wykonywania projektu nie jest potrzebny wgląd do wszystkich informacji związanych z modelem. Najczęściej potrzebne są informacje odnoszące się do wybranej części czy też etapu prac. Z tego powodu organizacja buildingSMART opracowała standard MVD, służący do filtrowania modelu w formacie IFC. Dzięki temu możliwe jest wyświetlanie i eksportowanie do pliku wybranych elementów. Dodatkowo, wspomniana organizacja opracowała protokół BCF, który można definiować jako wirtualne notatki w modelu, co może usprawniać pracę nad modelem.

Ważną kwestią w kontekście wymiany informacji jest również EIR, czyli Wymagania Zamawiającego, który powinien w sposób jasny zdefiniować swoje oczekiwania wobec wszystkich powyżej opisanych terminów. Odpowiedzią na EIR jest BEP, czyli Plan Wykonania BIM-u, tworzony zazwyczaj już na etapie przetargu i uszczegóławiany po wyłonieniu zwycięzcy.

Podsumowując, BIM jest złożoną technologią, procesem, metodologią, której opis w tej części artykułu został uproszczony. Z tego powodu autorzy odsyłają do coraz liczniejszej literatury obejmującej tę tematykę.

Rola geodezji w technologii BIM

Geodeta powinien pełnić istotną rolę zarówno w technologii BIM, jak i w całym procesie budowlanym. Niestety, zdarza się, że jest on pomijany i niedoceniany, pomimo szerokiej oferty usług koniecznych do zrealizowania na wszystkich etapach cyklu życia budowli. W tabeli 1 została opisana rola geodety na każdym etapie prac dotyczących technologii BIM.

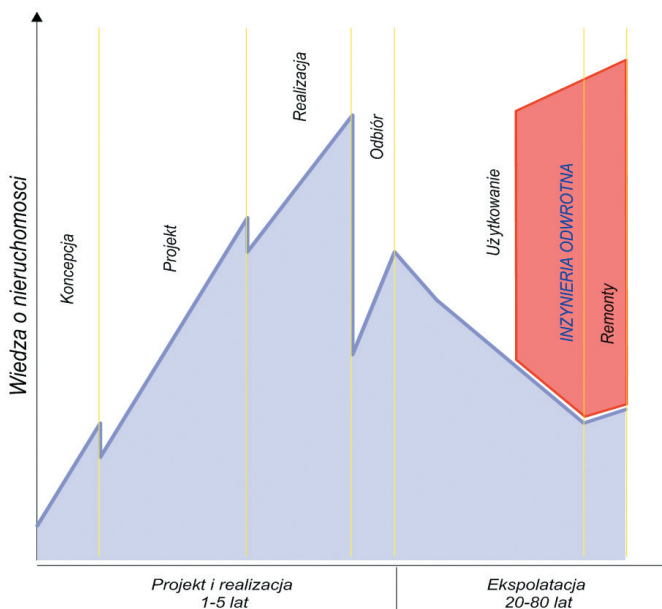
Oprócz tego geodeta posiada kompetencje do tworzenia modeli 3D dla obiektów istniejących. Proces ten nazwany jest „inżynierią odwrotną”. W pracach wykorzystywane są najczęściej następujące narzędzia pomiarowe: skaning laserowy, fotogrametria cyfrowa oraz GPR (*Ground Penetrating*

Tabela 1

Zadania geodety na różnych etapach procesu BIM [4]	
Etap	Opis
0 – Strategia	Opracowanie propozycji doboru technologii koniecznej do pozyskania danych przestrzennych niezbędnych w realizacji prac projektowych. Doradztwo w zakresie rodzaju i źródeł pozyskania i opracowania danych przestrzennych.
1 – Przygotowanie	Dostarczenie danych niezbędnych do utworzenia projektu. Jakość danych powinna zapewnić dokładną lokalizację miejsca przewidzianego na inwestycję.
2 – Koncepcja	Gotowość do wyjaśnienia i doprecyzowania informacji o relacjach przestrzennych między obiektami.
3 – Definiowanie	Współpraca przy tworzeniu modeli, komponentów. Sprawdzenie, czy projekt zawiera odpowiedni format dla zadań geodezyjnych.
4 – Projektowanie	Kontrola i potwierdzenie zgodności danych w projekcie i możliwości jego wyniesienia w teren. Możliwe są kolejne zapytania o relacje przestrzenne obiektów w celu sprecyzowania istotnych informacji.
5 – Realizacja budowy	Zarządzanie czynnościami: tyczenie, doradztwo, nadzór w celu zapewnienia odpowiedniego odniesienia przestrzennego. Dostarczanie bieżących informacji na temat etapów realizacji (inventaryzacja poszczególnych etapów) w celu minimalizacji błędów.
6 – Zakończenie budowy	Końcowy pomiar inventaryzacyjny, stabilizacja na terenie inwestycji punktów: odniesienia, kontrolowanych i kontrolnych do ewentualnych pomiarów związanych z analizą przemieszczeń budowli i terenu.
7 – Eksploatacja	Przekazanie danych przestrzennych służbom administracyjnym.

Źródło: [4]

Radar). Dzięki połączeniu powyższych technik możliwe jest uzyskanie informacji na temat całego obiektu, łącznie z tym, co zawarte jest wewnątrz na przykład ścian czy fundamentów. W celu zobrazowania problemu na poniższym rysunku 2 zamieszczono wykres wiedzy o nieruchomości wraz z upływem czasu.



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie wiedzy na temat budynku wraz z upływem czasu – cykl życia budynku

Źródło: [3]

Railway Information Modeling/Management

Obecny ogólny stan infrastruktury kolejowej w Polsce należy do najlepszych, choć sukcesywnie ulega poprawie. Faktem obrazującym sytuację może być średnia wartość prędkości pociągu towarowego, która wynosi 25 km/h. Oznacza to, że pociąg przewożący węgiel ze Śląska nad

Morze Bałtyckie jedzie około jednej doby. Dlatego też wydaje się, że odpowiednie zarządzanie infrastrukturą kolejową powinno być jednym z priorytetowych zadań odpowiedniego ministerstwa oraz podległej mu Spółki PKP PLK SA. Dodatkowo należy wziąć pod uwagę fakt, że Polska jest ważnym obszarem europejskiego oraz transkontynentalnego szlaku przewozowego relacji wschód-zachód. W tej części artykułu, zostanie zaproponowana koncepcja systemu, który mógłby wspomóc zarządzanie informacją o infrastrukturze kolejowej w odniesieniu do metodologii BIM.

Obecnie zarządca sieci kolejowej ma do dyspozycji różnego rodzaju bazy danych zawierające informacje na temat szlaków. Jednak są to głównie systemy oparte na GIS (Systemach Informacji Przestrzennej). Za przykład takiego rozwiązania może posłużyć SILK (System Informacji dla Linii Kolejowych) wdrażany od 2010 roku. Jest on zintegrowany z POS (Prowadzenie Opisu Sieci – baza danych o obiektach i parametrach sieci kolejowej [5]), który składa się z kilku modułów:

- LRS (Liniowy System Referencyjny) – model sieci linii kolejowych,
- Dokumentacja – wykorzystywany do cyfrowej archiwizacji dokumentów,
- Nieruchomość – zawiera informację na temat działek (kilometrów, uproszczona geometria, opis),
- MILK (Mapa Interaktywna Linii Kolejowych) – geoportal kolejowy z podstawowymi informacjami na temat poszczególnych szlaków,
- Inne: Umowy, Prawa Dostępu.

Powyższy system może być jednym z kroków w przejściu od dokumentacji papierowej do modelu infrastruktury kolejowej w technologii BIM, co dla rozróżnienia i uszczegółowienia można nazwać RIM (Railway Information Modeling). Z informacji, jakie można znaleźć w opracowaniu [6], SILK zawiera często dokumentację w formie graficznej. Bywa, że są to zeskanowane plany schematyczne w słabej jakości i niejednokrotnie część dokumentacji jest nieaktualna. Dlatego też autorzy zgadzają się ze stwierdzeniem ze wspomnianego opracowania, że wdrażanie systemów takich jak SILK jest zjawiskiem zasługującym na uznanie, jednak bywa, że są to czynności spóźnione i nie do końca efektywne. Obecny stan techniki pozwala na bardziej produktywnie rozwiązania. Między innymi z tego powodu w 2016 roku w PKP SA zostały podjęte pierwsze próby realizacji projektów pilotażowych z wykorzystaniem technologii BIM. Wykonano dwa dialogi techniczne – jeden dotyczący wsparcia merytorycznego w procesie wdrożenia BIM-u oraz drugi dotyczący opracowania dokumentacji projektowej. Niestety, autorzy nie dotarli do informacji, czy dialogi te miały pozytywny wydźwięk, ale można zakładać, że tak, ponieważ w 2019 roku ogłoszono przetarg na opracowanie dokumentacji z wykorzystaniem technologii BIM. Pełen tytuł zaproponowanego zadania to: „Rozbiórka i budowa wiaduktu kolejowego w km 33,994 na linii kolejowej nr 140 Katowice Ligota–Nędza”. Metoda

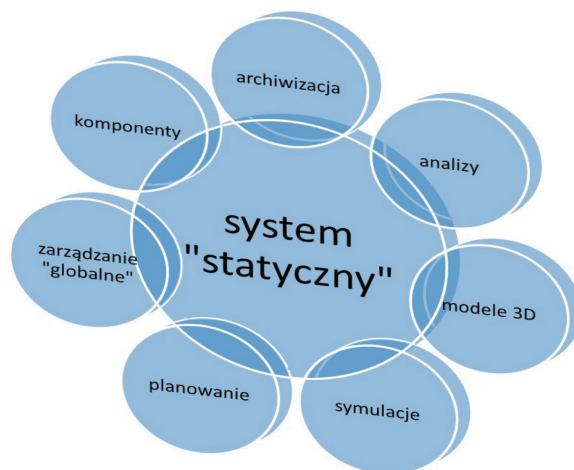
przewodzenia pilotażu to DBB (*Design-Bid-Build*), tak więc osobno wyłoniono wykonawcę projektu (Miastoprojekt Wrocław) oraz jego realizatora [7].

Trójwymiarowy model szlaków kolejowych wraz z infrastrukturą towarzyszącą i niezbędnymi informacjami (atributami) byłby lepszą alternatywą do propozycji SILK i jemu podobnych systemów. Oczywiście proces zbierania informacji o geometrii przestrzennej torów, ich stanie technicznym oraz położeniu elementów sieci uzbrojenia terenu jest kosztowny i nie da się go zrealizować w krótkim czasie. Dlatego też należałoby się zastanowić, jak rozwiązać ten problem i jakie technologie pomiarowe zastosować. Do wykonania tego zadania należałoby zintegrować kilka narzędzi pomiarowych. Prawidłowo zdefiniowany model BIM składa się z elementów widocznych, ale także tych przesłoniętych czy też znajdujących się wewnątrz wraz z metadanymi, na przykład informacją na temat stanu technicznego. Warto planować pomiary inwentaryzacyjne za pomocą zintegrowanej platformy wyposażonej w mobilny skaner laserowy, GPR, narzędzia fotogrametryczne i inne niezbędne czujniki. Wykorzystanie mobilnego skaningu laserowego do pomiaru skrajni zostało opisane w [8]. Natomiast przykładowe wykorzystanie GPR (*Ground Penetrating Radar*) w ocenie i identyfikacji budowy nasypu opisano w [9] oraz [10], gdzie zostało zaprezentowane rozwiązanie SafeRail-System. W ten sposób możliwe byłoby stworzenie pełnego modelu 3D.

Poniżej, w punktach, zaproponowano przykładowe możliwości zastosowania systemu opartego na technologii RIM:

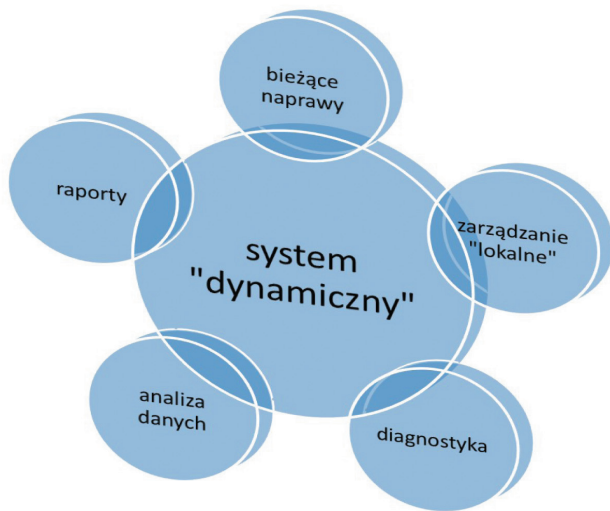
- Posiadając standardy oraz modele 3D, RIM przejmuje wszystkie zastosowania BIM, tak więc: zarządzanie budowlą, udział w cyklu życia infrastruktury, efektywny plac budowy, możliwość analiz, symulacji.
- RIM można porównać do CIM (*City Information Model*). Zakłada stworzenie modelu całej infrastruktury kolejowej, czyli kompletnej bazy danych wraz z metadanymi, dzięki czemu możliwe byłoby różnorodne analizy, np. planowania trasy dla taboru o ponadgabarytowych wymiarach.
- Wraz z modelem możliwe byłoby przechowywanie wszelkiej dokumentacji. W tym celu możliwa byłaby integracja RIM z systemem SILK
- Dzięki zintegrowanym urządzeniom pomiarowym, możliwe byłoby zamieszczanie w czasie rzeczywistym wyników pomiaru parametrów diagnostycznych, co znowu byłoby widoczne dla osób zarządzających danym odcinkiem linii kolejowej, dzięki czemu decyzje o ewentualnych ograniczeniach prędkości, zamknięciu toru czy też naprawach bieżących mogłyby być podejmowane niezwłocznie. Dodatkowo dostęp do bieżących informacji o stanie linii kolejowych na terenie całego kraju umożliwiłby podejmowanie decyzji o bieżących pracach utrzymaniowych, remontach czy też modernizacji linii. Takie rozwiązanie pozwoliłoby przenieść dotychczasową, analogową dokumentację w dużo bardziej wydajną i efektywną postać cyfrową.

System (RIM) powinien składać się z dwóch osobnych podsystemów. Pierwszy z nich powinien przechowywać dane „statyczne”, czyli takie, które nie podlegają dynamicznym zmianom (rys. 3). Byłyby to cyfrowe modele 3D wraz z danymi archiwalnymi oraz dokumentacją. Dane te byłyby wykorzystywane do planowania modernizacji infrastruktury czy też budowy nowych linii kolejowych. Statyczny podsystem powinien również zawierać bibliotekę komponentów używanych w Polsce oraz być obsługiwany przez portal internetowy o różnym stopniu dostępu dla użytkownika. Modele 3D mogłyby być przechowywane w otwartym standardzie wymiany danych, jak na przykład IFC (w tej chwili rozwijany jest IFC Rail). Posiadanie bazy danych tego typu pozwala na zdecydowanie lepszą wydajność i obniża koszty inwestycji. W fazie przetargu, gdy istnieje model 3D obecnej infrastruktury czy też terenu, składane oferty na wykonanie prac są niższe niż w przypadku braku takich opracowań. Wynika to z mniejszego ryzyka po stronie wykonawcy. Odwołać się tu można do projektu linii kolejowej Kopenhaga-Ringsted, gdzie oszacowano, że wykorzystanie modelu 3D na etapie przetargowym pozwoliło na uzyskanie ofert cenowych o prawie 10% niższych, niż przewidywano [11].



Rys. 3. Podsystem „stacyjny” i jego zadania w RIM

Drugi podsystem byłby odpowiedzialny za zbieranie danych w czasie rzeczywistym z różnego rodzaju źródeł. Byłyby to informacje diagnostyczne (wyniki pomiarów diagnostycznych) wraz z całą dokumentacją dotyczącą rozjazdów, stanu technicznego poszczególnych urządzeń. W razie wykrycia nieprawidłowości system powiadamiałby odpowiednią komórkę Zakładu Linii Kolejowych w celu weryfikacji i naprawy ewentualnej usterki. Dokumentacja uszkodzeń mogłaby być tworzona w formie fotograficznej wraz z opisem. Natomiast dane z pomiarów byłyby zapisywane w bazie danych, która mogłaby służyć również w podsystemie „stacyjnym” jako przeglądarka stanu technicznego poszczególnych torów, na przykład poprzez wyświetlanie wartości wadliwości lub wskaźnika wadliwości pięcioparametrowej dla danych odcinków. Rozwiązania dla systemu „dynamicznego” można by zaczerpnąć z amerykańskiego systemu TrackIT. Schematyczne przedstawienie podsystemu „dynamicznego” zostało zamieszczone na rysunku 4.



Rys. 4. Podsystem „dynamiczny” i jego zadania w RIM

Kombinacja Systemu Informacji Geograficznej GIS z technologią BIM może stanowić dobrze uzupełniający się produkt pozwalający na wspomaganie zarządzania w obiektach infrastrukturalnych. Tak jak już wspomniano, funkcjonujący na bazie GIS system SILK może być zaadaptowany do RIM.

Nowoczesne technologie

Rozwój nowoczesnych technologii pozwala na ich zastosowanie do rozwiązania różnych zagadnień, które do tej pory były problematyczne. Rozszerzona Rzeczywistość (*Augmented Reality – AR*), Bezzałogowe Statki Latające (BSP) czy nowoczesne kolejowe narzędzia pomiarowe mogłyby być doskonałym wsparciem dla opisywanego systemu opartego na RIM. Poniżej zostaną opisane przykładowe propozycje użycia wymienionych technologii. Zastosowania te należałoby oczywiście poddać odpowiednim testom weryfikującym ich użyteczność na potrzeby kolejowe.

Augmented Reality to technologia wykorzystywana obecnie głównie w branży produkcyjnej. Jednak coraz częściej, szczególnie w krajach rozwiniętych, Rozszerzona Rzeczywistość jest używana również na placach budowy. Wśród możliwych korzyści stosowania tego rodzaju rozwiązania jest wizualizacja za pomocą urządzenia mobilnego czy też



Rys. 5. Wizualizacja projektu londyńskiego dworca kolejowego Old Oak Common za pomocą AR – Rozszerzonej Rzeczywistości (www.railway-technology.com)

okularów obiektu w terenie, tak jakby istniał on w rzeczywistości. Dzięki temu możliwy jest wybór optymalnego wariantu inwestycji. Wspomagane również mogą być prace montażowe. Osoba je wykonująca, wyposażona w odpowiednie gogle AR, może mieć bieżący podgląd instrukcji wykonawczych oraz usytuowania przestrzennego w celu poprawnej weryfikacji i instalacji danego komponentu. To samo dotyczy montażu często skomplikowanych urządzeń kolejowych, które muszą być zamontowane z należytą starannością. Kolejne zastosowanie to inspekcja już wybudowanego obiektu. Okulary AR pozwalają na wykonanie fotografii. Następnie, dzięki łączności za pomocą odpowiednich modułów, dokumentacja fotograficzna może być przesyłana w czasie rzeczywistym na serwery, gdzie możliwa jest bieżąca analiza danych. Oprócz tego inspektor może mieć przed sobą system wspomagania podejmowania decyzji, który może pełnić funkcję doradczą i być pomocny w interpretacji danego problemu [12]. Powyższe przypadki użycia AR są już spotykane na całym świecie. Poniżej autorzy proponują dodatkowe zastosowania.

Zdarza się, że realizacja prac na rozległej przestrzeni wiąże się z trudnością szybkiego zidentyfikowania właściwego miejsca pomiaru. Bywają także prace, w których na różnych obszarach należy wykonać pomiary z różną dokładnością. Dotyczy to szczególnie pomiarów prowadzonych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych. W takich przypadkach wsparciem byłaby technologia AR, dzięki której można by szybko i bezbłędnie zlokalizować określony obszar. Obecnie w lotach sportowych „dronami” stosowane są okulary do FPV (*First Person View*). Pozwalają one na podgląd w czasie rzeczywistym na obraz z kamery umieszczonej na dronie. Pilot będący za sterami maszyny ma podgląd z perspektywy statku powietrznego. Dodając do tego AR, możliwe jest wyświetlanie interesujących informacji, co może być również przydatne podczas prowadzenia inspekcji, także tych kolejowych. Oczywiście, aby to było możliwe, należy mieć odpowiednią bazę danych, najlepiej w postaci modeli 3D.

Kolejnym zastosowaniem AR, tym razem wprost dla geodety, mogłoby być wspomaganie w odszukaniu i identyfikacji geodezyjnych osnów pomiarowych. Mając do dyspozycji bazę danych zawierającą informacje o osnowie (m.in.: modele 3D, dokumentację fotograficzną, współrzędne), możliwa byłaby zdecydowanie szybsza identyfikacja jej punktów zastabilizowanych w terenie. Na obszarze kolejowym wyszukiwanie punktów KOS (Kolejowa Osnowa Specjalna) czy też KOG (Kolejowa Osnowa Geodezyjna), a także planowanie pomiaru z zastosowaniem rozszerzonej rzeczywistości byłoby bardzo przydatne. Kolejnym z proponowanych zastosowań AR na potrzeby geodezji jest ewidencja gruntów i budynków. W tym przypadku dostęp do odpowiednich danych pozwoliłby na wizualizację punktów granicznych czy też granic. Taka możliwość byłaby wsparciem podczas wszelkich prac inwestycyjnych na obszarach kolejowych. Technologia AR wciąż jest rozwijana i w przyszłości należy spodziewać się kolejnych udogodnień w jej stosowaniu.

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP) lub *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) to technologia już dziś bardzo często spotykana w różnych branżach. Jak sama nazwa wskazuje, pozwala one na wzbicie się w powietrze maszyny bez pilota na pokładzie. Osoba sterująca znajduje się na powierzchni ziemi i w zależności od posiadanych uprawnień (na przykład VLOS – w zasięgu wzroku lub BVLOS – poza zasięgiem wzroku) oraz sprzętu może wykonać oblot na krótszej lub dłuższej odległości. Do BSP można podpiąć właściwie każdy sensor. Może to być: aparat fotograficzny, kamera termowizyjna, skaner laserowy. Dzięki temu wykorzystanie tego typu statków powietrznych daje szerokie spektrum zastosowań. UAV może być używany do monitoringu postępu prac inwestycyjnych, analiz związanych ze zgodnością z projektem. Dodatkowo widok z góry pozwala na wydajniejsze zarządzanie placem budowy oraz zwiększa bezpieczeństwo. Wśród zastosowań ściśle geodezyjnych można wyróżnić zbieranie danych przestrzennych za pomocą skaningu laserowego lub fotogrametrii (w zależności od zainstalowanego sensora). Autorzy rozważają wykorzystanie BSP do pomiaru parametrów geometrycznych toru, wydaje się to ciekawą alternatywą dla innych metod pozyskiwania tego typu danych. Inną propozycją wykorzystania BSP jest prowadzenie inspekcji. Nawiązując do instrukcji technicznej Id-8 (Instrukcja diagnostyki nawierzchni kolejowej), wydanej w 2005 roku przez PKP PLK SA, część czynności diagnostycznych prowadzona jest poprzez fizyczne obchody torów. Proces ten, w zależności od klasy toru, prowadzony jest z różną częstotliwością. Na przykład dla toru głównego i szlakowego linii magistralnych oraz pierwszorzędných obchód prowadzi się minimalnie dwa razy w tygodniu. Inną czynnością, która wymaga fizycznej obecności, są codzienne oględziny rozjazdów dla torów głównych i szlakowych. Kolejnych przykładów można wymieniać wiele (art. 6 Id-8), dlatego autorzy rozważają możliwość automatyzacji tego procesu i wynikających z tego oszczędności. Rozwiązaniem może być zastosowanie BSP. Obecnie są już możliwe rozwiązania pozwalające na utrzymanie w powietrzu drona przez ponad godzinę, dzięki czemu pokonany dystans może wynosić nawet kilkadziesiąt (a w niedalekiej przyszłości kilkaset) kilometrów. Dron wyposażony w odpowiedni sensor, na przykład kamerę, mógłby wykonywać zdjęcia lub film danego odcinka trasy, a następnie osoba dokonująca czynności diagnostycznych mogłaby dokonać kontroli określonych miejsc czy przekrojów. Oczywiście w przyszłości możliwe byłoby automatyczne wykrywanie nieprawidłowości przy pomocy analizy wizualnej wykonywanej na przykład używając sztucznych sieci neuronowych. Pomysł ten wiąże się z pewnymi ograniczeniami. Osoby dokonujące oględzin są w stanie wykonać prewencyjne czynności naprawcze oraz konserwacyjne. O ile możliwe byłoby naniesienie smaru na wybrany element rozjazdu, o tyle dokręcenie śruby z wykorzystaniem drona jest czynnością trudną (niemożliwą) do zrealizowania. Obecnie wydaje się, że dron może zastąpić tylko wizualną diagnostykę szlaków kolejowych, a do konserwacji potrzebne są jednostki fizyczne. W tym zakresie należy jed-

nak obserwować dalszy rozwój technologii w celu ewentualnego wdrożenia możliwych zmian.

Ostatnią z analizowanych technologii są nowoczesne kolejowe urządzenia i pojazdy pomiarowe. Można tu wyróżnić przede wszystkim drezyny i wagony pomiarowe oraz zintegrowane toromierze elektroniczne. Światowym liderem w dziedzinie wagonów oraz drezyn pomiarowych (pomiarów pośrednie) jest austriacka firma Plasser & Theurer. Taki pojazd kolejowy nie różni się budową od standardowych wagonów czy też drezyn. Główna różnica wynika z zainstalowania różnorodnych sensorów wzajemnie ze sobą współpracujących. Dostarczają one dane do centrum obsługi, które następnie są analizowane na wykresach w sposób automatyczny. Pośrednie metody pomiaru charakteryzują się zbieraniem dużej liczby danych w krótkim odstępie czasu. Prędkość, jaką mogą osiągać takie pojazdy kolejowe, to nawet 250 km/h. Jest to rozwiązanie dla kolei dużych prędkości. Obecnie na terenie zarządzanym przez PKP PLK SA funkcjonują drezyny EM-120. Pojazd ten umożliwia rejestrację danych przy prędkości 120 km/h z krokiem pomiarowym 0,25 m. Sensory, które są na wyposażeniu maszyny, pozwalają na pomiar wszystkich obligatoryjnych parametrów geometrycznych oraz parametrów dodatkowych. Pomiar parametrów poziomych jest wykonywany za pomocą ślizgów przyległych do toków szynowych, zamontowanych pomiędzy kołami każdego z wózków. Natomiast parametry pionowe mierzone są z wykorzystaniem kół pomiarowych umieszczonych na jednej z osi każdego wózka. Trzy wózki pomiarowe tworzą szkielet całej drezyny. Ewentualne ruchy elementów mierzonych są wyznaczane za pomocą żyroskopów oraz przetworników przemieszczeń liniowych, które redukują niepożądane przemieszczenia. Dane pomiarowe są na bieżąco rejestrowane i analizowane przez pokładowy system komputerowy. Lokalizacja ewentualnych usterek odbywa się za pomocą ciągłych pomiarów satelitarnych. Dodatkowo drezyna może być wyposażona w system TGMS (*Track Geometry Measurement System*), czyli laserowo-optyczny system laserowy czy też szybkobieżne kamery do filmowania toków szynowych i oceny wizualnej. Innymi elementami spotykanymi obecnie w drezynach może być: system rozpoznawania wizualnego (na przykład słupków hektometrażowych), mobilne skanery laserowe, laserowy pomiar geometrii szyn pozwalający na ocenę stanu zużycia, systemy do analizy podsypki oraz podkładów. Wyznaczone parametry geometryczne pozwalają na ocenę stanu technicznego torów. W instrukcji Id-14 określono dwa wskaźniki: syntetyczny wskaźnik jakości toru J oraz wskaźnik pięcioparametrowy (wadliwość) [13]. Istnieje również rozbudowana wersja drezyny EM-120, która składa się z dodatkowego pojazdu (satelity – SAT). Wersja EM-SAT 120 pozwala na wyznaczenie jeszcze większej liczby parametrów. Mogą to być na przykład strzałki w łuku w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Innym przykładem drezyny pomiarowej, będącej obecnie w posiadaniu PKP PLK SA, jest DP-560.00, która została wykonana przez ZPS Stargard. Ma ona bardzo podobną specyfikację do opisanego produktu firmy Plasser & Theurer.



Rys. 6. Samobieżny pojazd do pomiarów geometrii toru oraz zużycia szyn – MotoTEC firmy GRAW Sp. z o.o. (www.graw.com)

Jedną z największych zalet pojazdów pomiarowych jest możliwość integracji danych z podbijarkami. Dzięki temu proces naprawczy (regulacja osi toru) jest zdecydowanie krótszy.

Pomiary bezpośrednie wymagają przyłożenia narzędzia pomiarowego do badanego obiektu. Można tu wyróżnić: wózki pomiarowe (toromierze elektroniczne), toromierze uniwersalne, wzorniki do pomiaru zużycia główki szyny, strzałkomierze, profilomierze, falistomierze, teodolity, niwelatory oraz inne, dopuszczone do stosowania na obszarach zarządzanych przez PKP PLK SA.

Jednym z najbardziej wydajnych narzędzi diagnostycznych są wózki pomiarowe. Stosowane w nich rozwiązania zostaną opisane na przykładzie oferty polskiej firmy GRAW oraz szwajcarskiej Amberg. Pojazdy te mogą mieć swój napęd lub też mogą być pchane przez osobę wykonującą pomiar.

Firma P.U.T GRAW Sp. z o.o. dysponuje szeregiem różnych rozwiązań, od zmotoryzowanych (MOTOTEC) do zwykłych toromierzy (na przykład TEC). GRAW TEC jest samorejestrującym toromierzem elektronicznym pozwalającym na pomiar: szerokości, przechyłki, nierówności poziomych oraz pionowych. Istnieje również model pozwalający na estymowanie w czasie pomiaru parametrów wtórnych – wichrowatość, gradient szerokości oraz położenie. Budowa opiera się na belce poprzecznej, która służy do pomiaru przechyłki oraz belki podłużnej, wraz z czujnikami do pomiaru toku szynowego. Istnieje także możliwość zamontowania przystawki Laser-TEC, pozwalającej na pomiar elementów skrajni budowli w odległości do 7 metrów od osi toru [14][15].

Szwajcarska firma Amberg ma w swojej ofercie jeszcze więcej rozwiązań. Sama budowa wózka pomiarowego jest podobna, jednak istnieje możliwość zamontowania dodatkowo skanera laserowego (różne typy – klasyczne lub wykonujące przekroje), tachimetru, dalmierza, tyczki wraz z odbiornikiem GPS/GNSS. Zastosowanie dwóch wózków pomiarowych, jednego wyposażonego w tachymetr i drugiego z reflektorem, pozwala na precyzyjny pomiar strzałek. Dodatkowo każde z urządzeń wyposażone jest w specjalistyczne oprogramowanie pozwalające na tworzenie wykresów, analiz, wykrywanie usterek, podgląd danych i ich archiwizację [16].

Podsumowanie

BIM jest technologią, której wdrożenie może być panaceum na problemy przemysłu budowlanego. Dlatego też potrzebne są w Polsce standardy, które mogłyby usystematyzować wykonawstwo prac w tej technologii (obecnie podejmowane są działania w tym zakresie) oraz projekty pilotażowe. Dodatkowo dalszy rozwój nowoczesnych rozwiązań i ich wykorzystanie w infrastrukturze kolejowej może prowadzić do podniesienia jakości usług budowlanych i utrzymania infrastruktury kolejowej. Takie podejście wpłynie na podniesienie średniej prędkości pociągów, zarówno towarowych, jak i pasażerskich. Opisane w pracy możliwości technologiczne należałoby zweryfikować w zastosowaniach praktycznych. Sukcesy we wdrażaniu projektów pilotażowych będą podstawą do realizacji kolejnych, większych inwestycji z zastosowaniem technologii BIM/RIM.

Literatura

1. Raport: Reinventing Construction: a Route to Higher Productivity, Institute Global McKinsey, 2017.
2. Jernigan F., *BIG BIM, little bim*, 4Site Press, 2007.
3. Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P., *BIM w praktyce*, Warszawa 2018.
4. Survey4BIM: *Raport: Survey for the Digital Plan of Works*, 2015.
5. Instrukcja o rozkładzie jazdy pociągów Ir-11, PKP SA, 2015.
6. Wontorski P., Kochan A., *Możliwości wdrożenia modelowania informacji o obiekcie (BIM) w projektowaniu urzędzeń śrk*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2017.
7. Pilotaż BIM PKP PLK SA, dostęp: 20 maja 2020: <https://www.bimblog.pl/2019/05/pilotaz-bim-pkp-plk-s-a/>.
8. Leszczewicz Z. i inni, *Wykorzystanie mobilnego skaningu laserowego do pomiarów skrajni linii kolejowej i kodyfikacji linii kolejowych*, „Zeszyty Naukowo-Techniczne” SITK, Oddział w Krakowie, 2013, nr 3 (102).
9. Shao W. i inni, *Automatic Classification of Ground-Penetrating Radar Signals for Railway-Ballast Assessment*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011.
10. Kampczyk A., *Integracja techniki GPS i metody georadarowej we współczesnych pomiarach inżynierskich*, „Technika Transportu Szynowego” 2010, nr 16,
11. Project Summary: Bandenmark, The New Line, Copenhagen-Ringsted Bentley the Year in the Infrastructure Conference, 2016.
12. Salamak M., Januszka M., Płaszczek T., *Technologia BIM+AR w zarządzaniu infrastrukturą kolejową*, „Zeszyty Naukowo-Techniczne” SITK, Oddział w Krakowie, 2016, nr 3 (110).
13. Nowakowski M. J., *Rozprawa doktorska: Komputerowe wspomaganie planowania napraw bieżących nawierzchni kolejowej*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2007.
14. Grabias Przemysław, *Geodezyjne i diagnostyczne techniki pomiaru geometrii torów kolejowych*, Zeszyty Naukowo-Techniczne” SITK, Oddział w Krakowie, 2017, nr 1 (112).
15. Produkty firmy GRAW do pomiaru toru, dostęp: 27 maja 2020: <http://www.graw.com/pomiary-toru.html>.
16. Produkty firmy Amberg do pomiaru toru, dostęp: 27 maja 2020: <https://www.ambergtechnologies.com/>.