

DEBATA NA TEMAT STANU I POTRZEB ROZWOJOWYCH KOLEI W POLSCE Infrastruktura kolejowa w kontekście transformacji cyfrowej

Wprowadzenie

Po przejściu naszego społeczeństwa z ery industrialnej do ery informacji, której filarami jest komputeryzacja i cyfryzacja, informacja stała się globalnym czynnikiem stymulującym dalszy rozwój. Już dziś jest ona dla nas jednym z podstawowych zasobów obok ziemi, kapitału i pracy. W tym kontekście można stwierdzić, że cyfrowe technologie wkrótce będą nam na stałe towarzyszyć we wszystkich nowych przedsięwzięciach budowlanych i w gospodarowaniu istniejącymi obiektami infrastruktury naszych miast i krajów.

Zapewne pamiętamy lekcje historii na temat pierwszej rewolucji przemysłowej i maszyn parowych z końca XVIII wieku. Dziś już wiemy, że kolejne jej etapy trwały za każdym razem krócej. Aż doczekaliśmy się czasu, w którym możemy obserwować, jak na naszych oczach wszystko przyspieszyło. Od kilku lat obserwujemy jak cyfrowe technologie przekształcają usługi, a nawet całe przedsiębiorstwa, zastępując ręczne procesy cyfrowymi. Pozwala to na wprowadzenie większego stopnia ich automatyzacji i robotyzacji, a w konsekwencji wyższej wydajności, samodzielności i niezawodności.

Cyfrowa fotografia i muzyka, elektroniczna bankowość i urzędy, internetowe sklepy i kina, taksówki i dostawa posiłków, lekarskie teleporady i elektroniczne recepty, zdalne nauczanie i wirtualne spotkania lub konferencje. Kto z nas tego nie doświadczył podczas pandemii? Dla niektórych było to nawet dość traumatyczne doświadczenie. Jeśli moglibyśmy do tego zobaczyć jak bardzo dzięki cyfryzacji zmieniły się niewidoczne dla nas procesy wytwórcze, które kryją się wewnątrz nowoczesnych hal produkcyjnych, albo co znajduje się pod maską najnowszych samochodów lub pod obudową zwykłych pralek, to pewnie musielibyśmy przyznać rację ideologom, którzy tę cyfrową transformację nazywają wręcz cyfrową rewolucją.

Strategia Przemysł 4.0

W transformacji cyfrowej nie chodzi już tylko o dawno postulowaną rezygnację z papieru na rzecz cyfrowych dokumentów. Na wielu z nas wymusiła to dopiero pandemia, choć przecież już od wielu lat dostępne były rozwiązania i narzędzia, które dawały takie możliwości. Te przemiany zdają się być czymś więcej niż tylko kwestią cyfrowego podpisu i elektronicznych dokumentów. Niemiecki inżynier i ekonomista Klaus Martin Schwab, założyciel i prezes Światowego Forum Ekonomicznego, rozszerzył znaczenie transformacji cyfrowej i dodał do niej nowe aspekty ekonomiczne, społeczne i polityczne. W swojej książce *The Fourth Industrial Revolution*¹, rozwinął założenia projektu strategii rządu Niemiec, który miał za zadanie promować komputeryzację procesów wytwórczych. Strategia ta zaprezentowana była po raz pierwszy w 2011 r. na targach w Hanowerze. W ten sposób pojawił się bardzo modny obecnie zwrot *Przemysł 4.0* (z niem. *Industrie 4.0*), którego zasadniczym elementem jest właśnie transformacja cyfrowa. Nawiązano w nim do trzech umownych etapów rozwoju przemysłu, których symbolami były kolejno: maszyna parowa (pierwsza rewolucja przemysłowa z mechanizacją produkcji), żarówka (druga – związana z elektryfikacją) i komputer (trzecia – zawierająca elementy automatyzacji).

Strategia *Przemysł 4.0* w swoich założeniach, to powiązanie automatyzacji, przetwarzania olbrzymiej ilości danych (*Big Data*) oraz inteligentnych technik wytwórczych. Do tego jeszcze dochodzą systemy cyber-fizyczne (*Cyber-Physical System*, CPS), Internet Rzeczy (*Internet of Things*, IoT) i przetwarzanie chmurowe (*Cloud Computing*). Ideą jest wizja nowoczesnej fabryki, która ma pozwalać na prowadzenie niemal całego procesu produkcyjnego z minimalnym udziałem ludzi. Nowe systemy

¹ K. M. Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, Penguin Books, 2017

zarządzania produkcją wykorzystujące wymienione wyżej elementy składowe umożliwią utworzenie swoistej „inteligentnej” fabryki, która będzie dostarczała produkty wedle indywidualnego zapotrzebowania. Będą to już produkty szyte na miarę ich użytkowników (*tailored products*).

Transformacja cyfrowa ma jak widać wyjątkowo szeroki kontekst i na pewno dotyczyć też będzie infrastruktury kolejowej, która należy dziś do dyscypliny inżynieria lądowa i transport. Producenci oprogramowania stosują w tym obszarze skrót AEC (*Architecture, Engineering, Construction*). Wskazuje on na trzy powiązane ze sobą branże, między którymi rozkładają się również problemy infrastruktury kolejowej. Jedną z najnowszych i najbardziej obiecujących osiągnięć tych branż jest metodyka BIM (*Building Information Modeling*). Jest ona bardzo mocno związana z cyfryzacją.

W tym podejściu, zanim jeszcze zostanie wbita pierwsza łopata w terenie, najpierw powstaje dokładny, wirtualny model kolejowej budowli inżynierskiej. Może on być wykorzystany na wszystkich etapach cyklu życia obiektu – do jego planowania, projektowania i budowy przez utrzymanie, remonty aż do wyburzenia. Model ten może służyć zamawiającym, projektantom, diagnostom i zarządom do wizualizacji, symulacji i różnych analiz tego wszystkiego, co ma być później zbudowane i użytkowane. W ten sposób można wyprzedzająco zidentyfikować potencjalne problemy projektowe, konstrukcyjne lub operacyjne. Informatyczny model BIM może być wykorzystany również do tworzenia tzw. cyfrowych bliźniaków (*digital twin*).

Modelowanie w inżynierii i tworzenie rozmaitych modeli umożliwiających przedstawienie i analizowanie rzeczywistości jest już pewnie tak stare jak sam zawód inżyniera. Ale aż tak daleko nie trzeba sięgać. Ponad pół wieku temu ludzie po raz pierwszy wylądowali na Księżycu. To właśnie przy okazji programu Apollo pojawiło się pojęcie cyfrowego bliźniaka. Wysłana wówczas w kosmos rakieta miała swój odpowiednik w postaci pewnego modelu. Inżynierowie NASA wykorzystali go w 1970 roku do rozwiązywania problemów technicznych i ratowania załogi Apollo 13. Oczywiście w drugiej połowie ubiegłego wieku modele informatyczne w żaden sposób nie mogły przypominać współcześnie stosowanych modeli w wirtualnej rzeczywistości. Ale w pewnym sensie były już uniwersalnymi obiektami formalnymi, których definicja wynikała z zasad przyjętych w programowaniu obiektowym.

Współczesne możliwości w zakresie mocy obliczeniowych, struktur danych i efektywności algorytmów pozwoliły na utworzenie nowej koncepcji cyfrowego bliźniaka. Również dla infrastruktury i pojazdów kolejowych. Jest to cyfrowy (wirtualny) model urządzeń, procesów, a nawet osób. Do budowy cyfrowych bliźniaków wykorzystuje się algorytmy uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji, co pozwala zapewnić dynamiczną, cyfrową reprezentację jej fizycznych pierwowzorów. Nie byłoby to możliwe bez złożonych układów sensorycznych, które rejestrują wewnętrzne i zewnętrzne wpływy na fizyczny obiekt. W ten sposób ciągle poprawia się bazę wiedzy na temat danego obiektu, która może również pochodzić z wcześniejszych zastosowań danej maszyny czy oceny zachowań organizmów żywych. Cyfrowe bliźniaki najczęściej stosowane są obecnie do symulacji działania turbin lub silników, a coraz częściej również pojazdów i infrastruktury kolejowej. Wykorzystuje się tę technologię do tworzenia wirtualnych modeli w celu monitorowania i diagnozowania fizycznych zasobów, optymalizowania ich działania oraz prognozowania wydajności i trwałości.

Jednym z wyznaczników obserwowanej przez nas obecnie rewolucji przemysłowej są wymienione wcześniej systemy cyber-fizyczne (CPS). Są to mechanizmy kontrolowane lub monitorowane przez algorytmy komputerowe, które są ściśle zintegrowane z Internetem i jego użytkownikami. Komponenty fizyczne i programowe w tych systemach są ze sobą głęboko splecione i działają w różnych przestrzeniach czasowych i skalach. Przykłady takich systemów obejmują m.in. inteligentną sieć energetyczną, autonomiczne pojazdy, monitoring medyczny, systemy sterowania procesami, platformy robotyczne, automatyczną awionikę, a nawet monitoring stanu technicznego konstrukcji, znany pod skrótem SHM (*Structural Health Monitoring*). Takie systemy coraz częściej montowane są na najbardziej krytycznych kolejowych obiektach inżynierskich (mostach) i to nawet w naszym kraju.

Biorąc pod uwagę specyfikę kolejnictwa, większe znaczenie będą miały mobilne systemy CPS, posiadające zdolność zdalnej lub nawet autonomicznej pracy. Przykłady takich systemów obejmują

mobilną robotykę, ale również układy elektroniczne transportowane przez ludzi, pojazdy UAV lub drezyny. Wzrost popularności smartfonów znacznie zwiększył zainteresowanie i możliwości wykorzystania mobilnych systemów CPS. Są to oczywiście wszelkie urządzenia typu tablet i smartfon, ale również mogą to być inteligentne zegarki, kaski, okulary, soczewki kontaktowe. Grupa tych urządzeń nosi nazwę *wearable devices*, co sprawia spore trudności w tłumaczeniu na język polski. Można to tłumaczyć jako „ubieralne urządzenia” lub „urządzenia do noszenia”.

Branża budowlana już zaczęła się zmieniać zgodnie z tendencjami strategii *Przemysł 4.0*. Zaczyna nawet funkcjonować odpowiednik tego hasła w postaci *Budownictwa 4.0 (Construction 4.0)*. W wytwórniach konstrukcji stalowych stosowane są roboty do prac warsztatowych i automaty spawalnicze. W zakładach prefabrykacji używane są automatyczne giętarki prętów i roboty do montażu zbrojenia. Mamy już zdalnie sterowane maszyny do robót ziemnych, których operator może znajdować się wiele kilometrów od obsługiwanego urządzenia. Wkrótce wejdą do użytku maszyny autonomiczne, które już nie będą miały operatorów i nadzorowane będą przez komputery z wykorzystaniem dronów. W sprzedaży są roboty wyburzeniowe, roboty do murowania i brukowania. Trwają prace nad mobilnymi klatkami zbrojarskimi, które będzie można przewozić na kolejne budowy. Mamy już pierwsze drukowane mosty i mobilne drukarki betonu, a znane koncerny pracują nad egzoskieletami dla robotników na budowie, które jako mocowane na zewnątrz ciała powłoki, będą wzmacniać siły mięśni przy trudnych pracach budowlanych. Wszystko po to, żeby proces budowania trwał bez zbędnych przerw i bez względu na pogodę.

Metodyka BIM w cyfryzacji infrastruktury kolejowej

Skrót BIM w ostatnich latach stał się jednym z najczęściej używanych zwrotów branży budowlanej na całym świecie. Dla jednych jest Świętym Graalem, który ma cudownie poprawić coraz gorsze wskaźniki produktywności tego sektora, gdyż nie wytrzymuje on już konkurencji z produkcją przemysłową. Dla innych jest pewną mrzonką i zwykłą ekstrawagancją, w której jacyś maniacy gier komputerowych chcieliby wprowadzić do tradycyjnych projektów budowlanych linii kolejowych lub dworców swoje trójwymiarowe modele i animacje.

Większość z nas słyszała zapewne o rozwinięciu BIM jako *Building Information Modeling* lub *Management*, czyli o modelowaniu lub zarządzaniu informacją o budowlu. Ale na przykład funkcjonuje też rozwinięcie skrótu jako *Better Information Management*, czyli po prostu: lepsze zarządzanie informacją. Zostało ono sprytnie wykorzystane przez brytyjskie organizacje odpowiedzialne za infrastrukturę drogową, które w stosowanych u siebie systemach zarządzania również zaczynają adaptować elementy metodyki BIM. Wielu inżynierów w dalszym ciągu utożsamia BIM tylko z rozwinięciem technik CAD do trzeciego wymiaru i atrakcyjnymi wizualizacjami architektów, które faktycznie mają ograniczoną przydatność przy opisywaniu prętów zbrojeniowych i spoin, nadzorowaniu brygad robotników na budowie lub w diagnostyce użytkowanej infrastruktury kolejowej. Tymczasem doświadczenia krajów, które mają najwyższy poziom implementacji BIM pokazują, że ta metodyka jest pierwszym i koniecznym krokiem w kierunku cyfryzacji, a w dalszych etapach również automatyzacji i robotyzacji naszej branży. Tego rozwoju nie da się już zatrzymać.

Wyraźnie widoczna jest pogłębiająca się przez ostatnie dekady różnica między efektywnością branży budowlanej a efektywnością reszty gospodarki. W skali świata można ją oceniać w bilionach dolarów, które mogłyby być zaoszczędzone na budowach będących realizacją coraz większej liczby megaprojektów w infrastrukturze. Jest to możliwe przede wszystkim przez poprawę zarządzania informacją, która we współczesnym świecie staje się kluczową wartością. Skala możliwych oszczędności jest tak duża, że wszyscy uczestnicy procesu inwestycyjnego mogą stać się beneficjentami metodyki BIM, której istotą jest przecież lepsze zarządzanie informacją o budowlu.

W tradycyjnym procesie inwestycyjnym wielokrotnie dochodzi bowiem do utraty wielu informacji, co musi pociągać za sobą określone koszty. Na poszczególnych etapach życia obiektu inżynierskiego

mamy powtarzającą się konieczność pozyskiwania i wielokrotne straty informacji. Związane z tym koszty mogą dotyczyć:

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

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

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

Cyfryzacja branż AEC przez wdrożenie metodyki BIM jest jedynie pierwszym (ale koniecznym) krokiem do automatyzacji i robotyzacji procesów inwestycyjnych w branży kolejowej, bez czego nie uda się poprawić wyników ekonomicznych. BIM zmienia tradycyjne procesy projektowania, budowy i zarządzania infrastrukturą. Nie jest już dziś zupełnie nową i nieznaną metodyką, a wiele firm i organizacji stosuje ją z powodzeniem. Dzięki integracji tej technologii z nowymi narzędziami ekspertowymi, uczeniem maszynowym i logiką rozmytą coraz bliżej jesteśmy opracowywania nowych inteligentnych sposobów projektowania, budowy i utrzymania naszych kolejowych obiektów infrastruktury. Inwestycje i przedsięwzięcia infrastrukturalne, dziś często jeszcze funkcjonujące w postaci ręcznie sterowanych i izolowanych procesów, powoli ewoluują w kierunku procesów coraz bardziej zintegrowanych i zautomatyzowanych. Liczne przykłady takich innowacji z przemysłu trafiają również do naszej branży, która wspólnie ze środowiskami akademickimi zaczyna odważnie korzystać z takich technologii jak przetwarzanie chmurowe, Internet Rzeczy, cyfrowe bliźniaki, druk 3D, wirtualizacja i robotyka.

Konieczność wdrożenia BIM w infrastrukturze kolejowej

Po kilku latach dyskusji i wielostronnych konsultacji ze środowiskiem branży budownictwa infrastrukturalnego na temat potrzeby wprowadzenia do projektowania, budowy i utrzymania technologii BIM, coraz częściej uświadamiamy sobie, że przemian związanych z cyfryzacją nie da się już zatrzymać. Są one konieczne, aby poprawić wciąż pogarszające się wskaźniki produktywności względem innych gałęzi gospodarki, w których już nastąpiła i pogłębia się cyfryzacja. Takie opóźnienie wynika głównie ze zbyt małego poziomu automatyzacji i robotyzacji prac budowlanych oraz nieefektywnego zarządzania informacją. Trwająca na naszych oczach czwarta rewolucja przemysłowa niewątpliwie dotknie również branżę kolejową, ale musi się zacząć właśnie od wdrożenia cyfrowej technologii BIM. I nie chodzi tu tylko o tworzenie atrakcyjnie wyglądających trójwymiarowych modeli

naszych kolejowych budowli, ale o gromadzenie i zarządzanie informacją o tych obiektach. W coraz bardziej złożonym świecie XXI w. to właśnie informacja i dostęp do niej stają się kluczowe. Przy czym ta informacja, aby była możliwa do wykorzystania, powinna być aktualna, kompletna, czytelna, dostępna oraz łatwa do modyfikacji i dobrze chroniona.

W ostatnim dziesięcioleciu nastąpiła duża zmiana w zakresie narzędzi do gromadzenia, analizy i reprezentacji danych, dzięki którym zarządca infrastruktury może usprawnić procesy decyzyjne dotyczące rozwoju i utrzymania swoich zasobów. We wszystkich cyklach życia obiektów infrastruktury (projekt, budowa, utrzymanie, modernizacja itd.) ich cyfrowe modele BIM w powiązaniu z metodyką zarządzania zasobami (Asset Management) mogą pomóc optymalizować i podnosić jakość działań utrzymaniowych. Jest to możliwe przez umieszczenie w centrum procesu decyzyjnego dotychczas trudno dostępnych informacji o właściwościach zasobów i ich składowych. Łatwo dostępne są dane np. o lokalizacji obiektu, użytych materiałach, geometrii, dokumentacji projektowej, specyfikacjach itd. Ale również informacje o aktualnym stanie technicznym wraz z określeniem poziomu degradacji, nośności i prędkości szlakowej.

W tym sensie rozwój procesów związanych z BIM osiągnął już wystarczający poziom dojrzałości i możliwe jest spełnienie wymagania dyrektywy europejskiej, która wprowadza możliwość używania w inwestycjach sektora publicznego tzw. elektronicznych narzędzi modelowania danych o budowlach. Jednak w odniesieniu do obiektów liniowych pełne zastosowanie tych procesów BIM na odpowiednim poziomie dojrzałości nadal stwarza liczne trudności. Wynikają one przede wszystkim z opóźnień przy tworzeniu stosownych standardów, które w budownictwie kubaturowym na świecie już funkcjonują. Brakuje wciąż narzędzi dostosowanych do specyfiki liniowego budownictwa infrastrukturalnego, a zwłaszcza złożonej geometrii obiektów inżynierskich (mostowych).

Przemiany jednak już się zaczęły. Najwięksi inwestorzy tego sektora odpowiedzialni za infrastrukturę w wielu krajach, czyli odpowiednicy polskiej GDDKiA i PKP PLK SA, uruchomili swoje pierwsze projekty pilotażowe BIM. Wiodące firmy wykonawcze i projektowe rynku budowlanego tworzą porozumienia w sprawie wspólnych standardów. Przykładem jest BIM Standard PL, który rekomenduje już nawet Urząd Zamówień Publicznych². Z kolei twórcy oprogramowania intensywnie rozwijają możliwości swoich produktów o narzędzia dla infrastruktury. Kończą się też prace nad nowym wydaniem znormalizowanego formatu IFC, który będzie już zawierał liniowe obiekty infrastruktury, w tym również linie kolejowe i mosty.

Od kilku lat na świecie obserwuje się szybki rozwój innowacyjnych rozwiązań cyfrowych dla wielu branż gospodarki. W gospodarkach wysoko rozwiniętych (np. USA, Wielkiej Brytanii i krajach skandynawskich) trend ten zaczyna pojawiać się również w procesach projektowania, realizacji, zarządzania i inspekcji obiektów budowlanych należących do infrastruktury. W wielu krajach świata, w tym także wśród naszych najbliższych sąsiadów (Niemcy, Czechy) kończą się prace mające na celu przygotowanie budownictwa infrastrukturalnego do powszechnego wykorzystania technologii BIM. Polegają one przede wszystkim na tworzeniu (i to na poziomie rządowym) odpowiednich przepisów oraz upowszechnianiu wiedzy na temat nowych cyfrowych narzędzi w środowisku inżynierskim i modyfikacji programów nauczania akademickiego.

Podsumowanie

Branża budowlana na całym świecie wykazuje duże opóźnienie, jeśli chodzi o wdrażanie nowych, cyfrowych technologii, automatyzacji czy robotyzacji. Trzeba jednak pamiętać, że cyfrowa transformacja będzie musiała spowodować przemiany również w budownictwie. Przecież w Internecie Rzeczy do sieci będą przyłączane nie tylko pralki i lodówki, ale tak samo urządzenia i maszyny pracujące na budowie i wykorzystywane w transporcie kolejowym. Dlatego wiele światowych koncernów

² BIM Standard PL, <https://www.uzp.gov.pl/strona-glowna/slider-aktualnosci/realizuj-inwestycje-zgodnie-z-metodyka-bim/realizuj-inwestycje-zgodnie-z-metodyka-bim>

zainteresowało się właśnie branżą budowlaną, bo tu można jeszcze mocno poprawić wyniki ekonomiczne, budując więcej, szybciej i taniej. Również obniżając koszty utrzymania i wydłużając cykl życia poszczególnych obiektów.

Obserwować można bardzo duże zainteresowanie metodyką BIM i cyfrowymi technologiami w infrastrukturze. Choćby przez pryzmat wydawanych licznych podręczników i artykułów poświęconych nie tylko praktycznym zastosowaniom, ale również strategiom nauczania, także w Polsce, choć na znacznie mniejszą skalę. W wielu przypadkach procesy te wspomagane są przez stowarzyszenia i fundacje promujące metodykę BIM, które publikują stosowne materiały szkoleniowe i podręczniki³⁴.

Jednak żeby udało się skutecznie realizować wskazane tu podstawowe założenia transformacji cyfrowej w branży kolejowej, należy zacząć od powszechnego wdrożenia metodyki BIM. Bez powiązania wirtualnych modeli budowli z cyfrową informacją nie nastąpią żadne spektakularne zmiany i trudno będzie mówić o innowacji w infrastrukturze kolejowej. Ta stopniowa cyfryzacja procesów ma prowadzić do ich coraz większej automatyzacji i robotyzacji, wydłużenia cyklu życia i redukcji kosztów operacyjnych. A zaległości w stosunku do przemysłu wytwórczego są niestety ogromne.

³ Salamak M., BIM w cyklu życia mostów, PWN, Warszawa, 2020

⁴ Anger A., Łaguna P., Zamara B., BIM dla managerów, PWN, Warszawa, 2021