

# BIM i cyfryzacja na drodze do robotyzacji budownictwa po kryzysie pandemii

MAREK SALAMAK\*  
Politechnika Śląska

**Streszczenie:** Referat przedstawia postępujący coraz szybciej proces cyfryzacji branży budowlanej, który jest początkiem do dalszej automatyzacji i robotyzacji tego sektora gospodarki. W stopniu podobnym do przemian, jakie obecnie mają miejsce w innych gałęziach przemysłu. Szczególnie wytwórczego i nowych technologii. Kryzys pandemii sprawił, że procesy te znacznie przyspieszyły. Omówione zostały szanse i zagrożenia, jakie towarzyszą transformacji cyfrowej i strategii nazywanej Przemysł 4.0. Dotyczą one głównie cyfrowo zintegrowanych procesów produkcyjnych. Początkiem wprowadzenia ich do branży budowlanej jest wdrożenie metodyki BIM i wprowadzenie informacyjnych modeli obiektów budowlanych. Procesy budowlane i obiekty zostaną opisane cyfrowym zapisem, co otworzy nowe możliwości w przetwarzaniu i udostępnianiu informacji budowlanej. Pokazane zostały obszary budownictwa, które najbardziej zmienią się w wyniku cyfryzacji i dalszej robotyzacji.

**Słowa kluczowe:** BIM, cyfryzacja, automatyzacja, robotyzacja, budownictwo

## 1. Wprowadzenie

Od kilku lat obserwujemy stopniowy proces cyfryzacji kolejnych obszarów naszego życia. Powszechne stało się korzystanie z bankowości elektronicznej czy internetowych sklepów. Coraz więcej osób zmuszonych jest do rejestracji swojego cyfrowego podpisu. Bez niego nie uda się załatwić w e-administracji. Nie będzie możliwe wysłanie żadnego e-pisma, nie złożymy żadnego e-wniosku, nie wystawimy żadnej e-faktury, nie otrzymamy e-recepty, nie wystartujemy w e-przetargu, a wkrótce pewnie nie dostaniemy e-pozwolenia na budowę. Pandemia właściwie tylko przyspieszyła te procesy. Do tego trendu zaliczyć można na pewno metodykę BIM (Building Information Management).

Żeby lepiej zrozumieć i ogarnąć nieco szersze spektrum związanych z tym zagadnień, które przecież sięgają daleko dalej niż inżynieria lądowa, należałoby popatrzeć na cyfryzację jak na pewien proces, który nazywany jest cyfrową transformacją. Jest to zwrot obecnie wyjątkowo często używany przez polityków, dziennikarzy, urzędników, biznesmenów, naukowców i inżynierów. Niemal wszystko, co w jakiś sposób związane jest z technologiami IT (Information Technology), przypisywane jest dziś do pewnej świadomej strategii, którą nazywa się cyfrową transformacją, a przez niektórych – nawet cyfrową rewolucją. I to rewolucją, która dotknie również budownictwa.

---

\*Autor do korespondencji: marek.salamak@polsl.pl

## 2. Transformacja cyfrowa po kryzysie pandemii

Pojęcie transformacji służy do opisywania różnych procesów, wśród których są również procesy naturalne. Są one często wpisane w cały nasz Wszechświat i w nasze istnienie. Towarzyszą nie tylko przemianom, jakie wynikają z równoważności masy i energii albo z powtarzających się cykli życia wszelkich organizmów. Mogą nimi być również transformacje systemów społecznych, ekonomicznych, technologicznych, a nawet naszego wnętrza psychicznego i duchowego. Wielu procesów transformacji nie jesteśmy w stanie zatrzymać. Odbywają się one poza naszą kontrolą i co najwyżej możemy się do nich jedynie dopasować. Nie potrafimy przecież zmienić kierunku obrotu naszej planety ani zatrzymać stopniowego wypalania się naszej gwiazdy. Możemy jednak nauczyć się jak je wykorzystać i jak dostosować się do wynikających z nich przemian.

Wielu z nas, transformacja cyfrowa może kojarzyć się z literaturą Science-Fiction. I trudno się temu dziwić. Istnieje tam bowiem pewien trend skupiający się na zagadnieniach socjologiczno-politycznych, od których blisko jest już do tego, co obserwujemy podczas transformacji cyfrowej. Otóż chodzi o utwory o charakterze dystopii, które zwykle przedstawiają złożone procesy transformacji społecznej. Takie transformacje zawsze związane są z pewnym ryzykiem. Nie potrafimy przewidzieć wszystkich skutków inicjowanych przemian. Każdy wynalazek, każde nowe narzędzie i technologia mogą być przez nas użyte na różne sposoby. Mogą być dla nas pomocne, ale mogą też służyć zniewoleniu lub wyniszczeniu.

O takich zagrożeniach pisał Janusz A. Zajdel w swoich powieściach *Cylinder van Troffa* [1] czy *Limes inferior* [2]. Wiele podobnych wątków pojawiało się w tekstach Stanisława Lema, którego Kongres futurologiczny [3] zdaje się być pierwowzorem cyfrowego świata *Matrix* z filmu braci Wachowskich. Pamiętajmy, że w latach 60. XX wieku zdawało się nam, że to chemia ze swoimi środkami psychotropowymi pozwoli nam kreowanie alternatywnych światów. Dziś chyba bliższa temu jest cyberprzestrzeń powszechnego już dla nas Internetu. Stanisław Lem oczywiście nie był propagatorem użytkowania środków psychoaktywnych, ale na pewno tak można powiedzieć o autorze powieści *Nowy wspaniały świat* [6]. Angielski pisarz Aldous Huxley nie potrafił jeszcze w swoich wizjach opisać zrobotyzowanych fabryk sterowanych przez komputery. Książka pisana była przed wybuchem drugiej wojny światowej. Ale już wtedy dostrzegał zagrożenia płynące z wysokiego stopnia uprzemysłowienia. Przede wszystkim zwrócił uwagę na przemiany społeczne i tworzenie doskonałych konsumentów dla coraz bardziej masowo produkowanych dóbr. Dziś chyba jest niestety coraz więcej przykładów takich postaw. Nieco później, ale jeszcze przed Stanisławem Lemem, swoją ponurą wizję świata z wszystkowiedzącym Wielkim Bratem przedstawił brytyjski pisarz George Orwell w swojej powieści *Rok 1984* [7]. Zaczyna chyba do nas docierać, że największym zagrożeniem dla nas wcale nie są już tylko wszechobecne kamery przemysłowe monitorujące skrzyżowania, ulice czy dworce.

## 3. Zagrożenia cyfrowego świata

Choć wielu z nas może tego nie doświadczać, to niewątpliwie mamy już możliwość funkcjonowania w tzw. cyfrowym świecie. Ci, którzy już to robili, z pewnością zauważyli, że to, co się tam dzieje, niestety również zawiera odwieczną walkę dobra ze złem. Z pewnością widzimy ją dzisiaj w środkach masowego przekazu, które sukcesywnie przenoszą się właśnie do cyfrowego świata. Jest bowiem wielkim błędem kojarzenie słów „postęp” czy „postępowość” jedynie ze słusznym i pozytywnym kierunkiem transformacji społecznej czy technologicznej. A tym bardziej, stawianie po przeciwnej stronie takiego dyskursu rzekomych przeciwników postępu, których stygmatyzuje się etykietą wsteczności. Tymczasem

fanatyków nie brakuje po obu stronach tego sporu, a optymizm oświeceniowców i XIX wiecznych pozytywistów, zaczyna mieć już raczej charakter ślepej wiary w potęgę ludzkiego umysłu niż tylko racjonalnego rozumowania. Nawet stwierdzenia typu „ja wierzę w naukę”, które pojawiają przy okazji sporu wokół szczepień pandemicznego kryzysu pokazują, że obustronne argumenty w tej dyskusji artykułowane są raczej przez zwalczających się nawzajem fanatyków, a nie wynikają z naukowej metody poszukiwania prawdy i zgodności z faktami. W kontekście ciągłego i przenikającego wszystko zmagania się dobra ze złem, wciąż nie przestaje być aktualne wzrastanie człowieka i tworzenie przez niego wzajemnych relacji. Chodzi tu nie tylko o wzrastanie jego wiedzy i świadomości, ale również duchowości, która jest niezbędna w rozeznaniu tego, co jest dobre, a co złe.

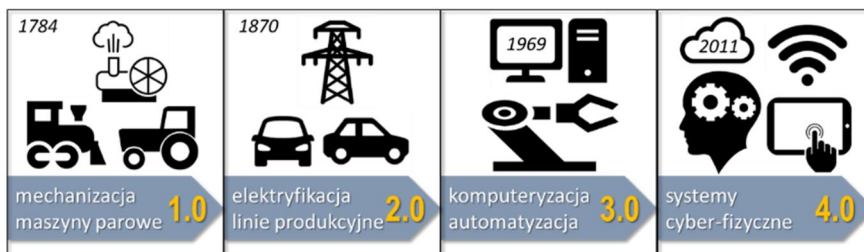
Przejawy zła czy nienawiści niestety trafiły też do cyfrowego świata. Kolejny etap ewolucji w zapisie i przekazywaniu informacji, jakim po wynalezieniu druku przez Gutenberga było numeryczne kodowanie zerojedynkowe, sprawił, że dostęp do wiedzy stał jeszcze bardziej powszechny. Wydawało się nam, że towarzyszyć temu mogą tylko dobre i pozytywne dla człowieka efekty. Jednak podobnie, jak w przypadku drukowanych książek, dostrzegamy, że Internet i cyfrowa wiedza zawierają niestety również olbrzymie zasoby głupoty i nienawiści. Może przedostają się tam one nawet z jeszcze większą łatwością niż do drukowanych tekstów. A do tego pojawiły się zupełnie nowe i groźne zjawiska, jak manipulowanie opinią publiczną przez wytwarzanie fałszywych wiadomości (fake news); cyfrowe wykluczenie osób, które nie posiadają kompetencji lub narzędzi dostępu do Internetu; kradzież nie tylko środków finansowych, ale wręcz tożsamości; czy też cyberterrorizm, który dzisiaj może zagrażać nawet naszemu zdrowiu i życiu.

Na pewno z uwagą należy przyglądać się pomysłom ekonomistów i polityków, które kryją się pod hasłami typu Wielki Reset [5]. Towarzyszą one od kilku lat Światowemu Forum Ekonomicznemu w Davos, a ich akcentowanie wzmogło się razem z rozwojem pandemii. Niebezpiecznym jest, że brzmią one dość podobnie do tego, co przedstawiał w swoich wizjach Aldous Huxley. W kontekście cyfryzacji nie chodzi już w nich tylko o dawno postulowaną rezygnację z papieru na rzecz cyfrowych dokumentów. Choć przecież już od wielu lat dostępne były rozwiązania i narzędzia, które dawały takie możliwości, to urzędników zmusiła do tego dopiero pandemia. Ta cyfrowa transformacja zdaje się być jednak czymś więcej niż tylko kwestią cyfrowego podpisu i elektronicznych dokumentów. Chodzi w niej bowiem również o cyfrową transformację mentalną, społeczną i cywilizacyjną.

#### 4. Cyfrowo zintegrowane procesy produkcyjne

Od kilku lat obserwujemy jak cyfrowe technologie przekształcają usługi, a nawet całe przedsiębiorstwa, zastępując ręcznie sterowane procesy, procesami cyfrowo zintegrowanymi z coraz bardziej uniwersalnymi systemami zarządzania produktami typu PIM (Product Information Management). 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 wielu było to nawet 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 tym, którzy tę cyfrową transformację nazywają wręcz cyfrową rewolucją.

Klaus Martin Schwab w swojej książce *The Fourth Industrial Revolution* [5] rozszerzył znaczenie transformacji cyfrowej i dodał do niej nowe aspekty ekonomiczne, społeczne i polityczne. Rozwinął on 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. Wówczas pojawił się bardzo modny obecnie zwrot Przemysł 4.0 (z niem. Industrie 4.0). Jego zasadniczym elementem jest właśnie transformacja cyfrowa. Nawiązano w nim do trzech umownych etapów rozwoju przemysłu (rys. 1), których symbolami były kolejno: maszyna parowa (pierwsza rewolucja przemysłowa z mechanizacją produkcji), żarówka (druga – związana z elektryfikacją) i komputer (trzecia – zawierająca elementy automatyzacji).



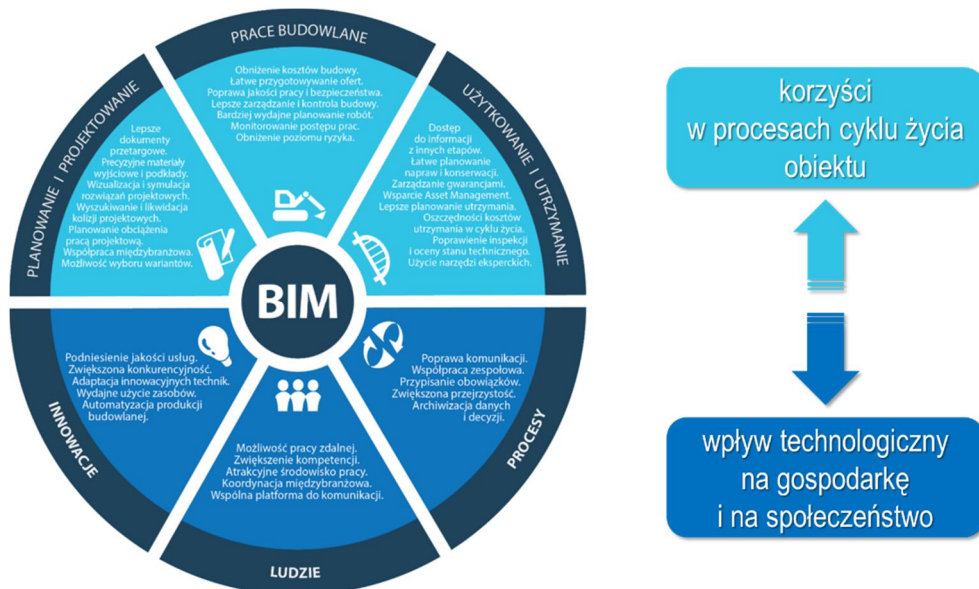
Rys. 1. Umowne etapy rozwoju przemysłu.

Niestety, jak każda rewolucja, tak i ta będzie miała swoje ofiary, które muszą przecieżyć towarzyszyć kolejnej transformacji. Już dziś jesteśmy świadkami znikania wielu zawodów. Mało kto dziś pamięta czym zajmował się bednarz, rymarz, zecer, intrologator albo zdun. Wkrótce tak może stać się z telemarketerem, którego zastąpi komputer potrafiący generować i analizować ludzką mowę. Tak będzie z pracownikami rolnymi i robotnikami, a nawet z barmanami, których zastąpią roboty. Stopniowo będzie tak się działo z ekspedientami w sklepach i obsługą w bankach po wprowadzeniu usług internetowych. Z kurierami i magazynierami, których zastąpią automaty i autonomiczne drony. A być może i z prawnikami, których nie będzie już tylu potrzebnych, gdy uruchomione zostaną internetowe e-sądy. Również inżynierowie i architekci będą musieli zastanowić się nad dalszym rozwojem swojej kariery i kompetencji. Rośnie przecież zapotrzebowanie na interdyscyplinarnych inżynierów i menadżerów, na programistów, analityków komputerowych, czy operatorów dronów.

## 5. BIM i procesy cyfryzacji budownictwa

W tych rozważaniach zdawać się może, że bardzo daleko odeszliśmy od problemów, z jakimi ma do czynienia nasz sektor budownictwa. Jednak ją też będzie przecieżyć cyfrowa transformacja. Chodzi właściwie nawet o trzy powiązane ze sobą branże, które w stosowanym przez producentów oprogramowania skrócie oznaczane są jako AEC (Architecture, Engineering, Construction). Jedną z najnowszych i najbardziej obiecujących dziś osiągnięć tych branż jest metodyka BIM (Building Information Modeling) [7]. Jest ona bardzo mocno związana z cyfryzacją. W tym podejściu, zanim jeszcze zostanie wbita pierwsza łopata w terenie, najpierw powstaje dokładny, wirtualny model budowli. 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 architektom, inżynierom i konstruktorom 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.

Cyfryzacja branż AEC przez wdrożenie metodyki BIM jest jedynie pierwszym (ale koniecznym) krokiem do automatyzacji i robotyzacji procesów budowlanych. BIM zmienia tradycyjne procesy projektowania i budowy. 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 budowlanych obiektów. Inwestycje i przedsięwzięcia budowlane, dziś często jeszcze funkcjonujące w postaci ręcznie sterowanych i izolowanych procesów, powoli ewoluują w kierunku procesów coraz bardziej zintegrowanych i zautomatyzowanych (rys. 2).



Rys. 2. BIM w cyklu życia budowli i jego wpływ na branżę budowlaną.

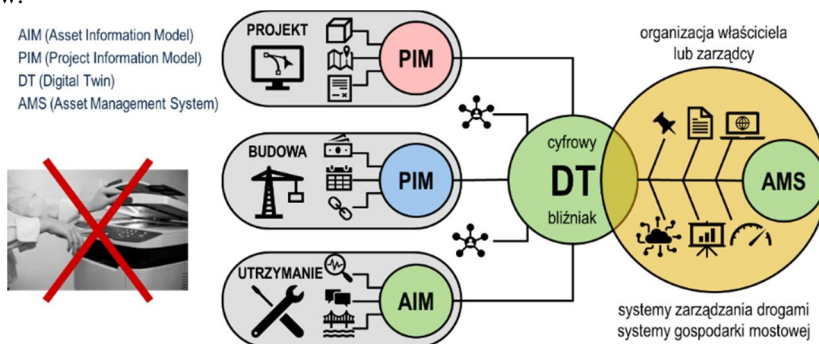
Nie chciałbym jednak, aby zwolennicy pielęgnowania tradycji zawodu inżyniera budowlanego znaleźli w ten sposób argument do dyskredytacji ekspertów BIM. Argumentu do traktowania ich jak komputerowych maniaków żyjących w świecie cyfrowych bliźniaków (digital twins), który to świat jest zupełnie oderwany od rzeczywistości placu budowy. Niestety opisane wyżej i trwające już procesy transformacji cyfrowej sprawiają, że te cyfrowe bliźniaki są znacznie bliżej nas niż przypuszczamy.



Rys. 3. Tradycyjny proces gromadzenia, dostępu i przetwarzania dokumentacji z inwestycji.

Wynika to z tego, że wcale nie chodzi w nich o atrakcyjne trójwymiarowe modele, wizualizacje nowych wieżowców, mostów czy animacje projektowanych autostrad. Rzecz rozbija się o znany nam proces gromadzenia, dostępu i przetwarzania informacji podczas realizacji wszelkich budowlanych inwestycji. A robimy to już dzisiaj przy okazji każdego nowo projektowanego mostu, budowanego tunelu, czy utrzymywanej autostrady. Tyle, że robimy to w tradycyjny sposób. Zapychamy tylko archiwa dokumentami, które są tak trudne w dostępie, że zwykle zagląda się do nich dopiero wtedy, gdy dojdzie do jakiejś awarii (rys. 3).

I w tym kontekście trzeba to bardzo wyraźnie podkreślić, że wcale nie chodzi o skanowanie do formatu PDF pokazanych na rys. 3 papierowych dokumentów (rysunzków, opisów, specyfikacji itd.). W tym nowym podejściu, jakie oferuje BIM, mamy do czynienia z tzw. modelami informacyjnymi (rys. 4). Są one ciągle zasilane nowymi informacjami w kolejnych etapach życia budowli. Ale informacje te są już w postaci cyfrowej. W ten sposób potem będą mogły być łatwo przetwarzane i udostępniane. Będą też współtworzyć cyfrowe bliźniaki fizycznych obiektów.



Rys. 4. BIM jako proces gromadzenia, dostępu i przetwarzania informacji w postaci cyfrowej.

Branża budowlana na całym świecie wykazuje duże opóźnienie, jeśli chodzi o wdrażanie nowych, cyfrowych technologii, automatyzacji czy robotyzacji. Jednak cyfrowa transformacja będzie musiała spowodować przemiany również w budownictwie. Przecież w Internecie Rzeczy do sieci będą przyłączane nie tylko pralki i lodówki, ale również urządzenia i maszyny pracujące na budowie. Dlatego wiele światowych koncernów 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. Żeby jednak to wszystko osiągnąć, 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 budownictwie.

## 6. Procesy automatyzacji i robotyzacji budownictwa

Automatyzacja i robotyzacja były głównymi czynnikami, które pozwoliły tak mocno i skutecznie poprawiać efektywność branży przemysłowej. W budownictwie procesy te zachodziły niestety z dużym opóźnieniem, co może wynikać z pewnej specyfiki tej branży. Zasadnicza różnica polega na tym, że w odróżnieniu od produkcji przemysłowej wytwarzanie produktu końcowego, którym jest budowla, zwykle odbywa się w naturalnym terenie, na wolnym powietrzu i często wykorzystuje się do tego lokalne i naturalne materiały. Zazwyczaj produkty te mają duże lub bardzo duże wymiary i są unikatowe w swojej formie. Trudno tu więc o powtarzalność. A jeśli nawet ona wystąpi, to zawsze będą różnice w otoczeniu budowli i jej posadowieniu. Wymaga to więc każdorazowo indywidualnego podejścia, unikatowego

projektu i specyficznego planowania robót. Natomiast prowadzenie tych robót obarczone jest zwykle dużym ryzykiem i niepewnością, która wymusza elastyczne podejście do zaplanowanych wcześniej zadań, nawet z elementami improwizacji. Takie sytuacje właściwie nie zdarzają się na współczesnych liniach produkcyjnych. Dlatego możliwe jest tam szerokie wprowadzanie automatyzacji i robotyzacji.

Oczywiście różne maszyny i systemy mechaniczne wykorzystywane są w budownictwie już od stuleci. Być może nawet, to właśnie potrzeby budownictwa wymuszały rozwój niektórych urządzeń mechanicznych, które stopniowo ewoluowały od prostej dźwigni do współczesnych podnośników i koparek. Wszystko służyło zwiększeniu wydajności produkcji i poprawie bezpieczeństwa pracy. Podobnie korzystały z tego rozwoju inne branże, takie jak rolnictwo, górnictwo czy leśnictwo. Ten etap rozwoju należałoby nazwać mechanizacją, która dzisiaj okazuje się być niewystarczająca, aby nadążyć za postępem w branży przemysłowej. Jest to efekt przemian ostatnich kilku dziesięcioleci, który wiąże się ze spadkiem względnego kosztu sprzętu do robocizny, redukcją zasobów ludzkich w rozwiniętych gospodarkach, poprawą bezpieczeństwa pracy oraz globalizacją rynków.

Buujemy dziś coraz więcej i realizujemy coraz większe inwestycje. Przemysł budowlany stał się znacznie bardziej materiałochłonny i kapitałochłonny. Do realizacji tak ambitnych projektów potrzebne są wielkoskalowe urządzenia i maszyny budowlane. Coraz większe i bardziej zautomatyzowane żurawie i koparki, wytwórnie betonu i prefabrykatów czy tarcze drążące i jednocześnie zabudowujące tunele. Ten kierunek mechanizacji budownictwa zapewne będzie kontynuowany, ale będzie stopniowo się zmieniać na skutek wprowadzania sterowanych komputerowo maszyn budowlanych i stosowania koncepcji szczupłego i zwinnego wytwarzania (lean manufacturing) [9].

Jednym z wyznaczników obserwowanej przez nas obecnie rewolucji przemysłowej (oprócz robotów) są systemy cyber-fizyczne (CPS, Cyber-Physical Systems). 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).

Biorąc pod uwagę specyfikę budownictwa i to, że obszarem działania jest najczęściej niezagospodarowany teren, większe znaczenie w naszej branży 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 lub zwierzęta (choćby obroże i lokalizatory monitorujące aktywność). Wzrost popularności smartfonów znacznie zwiększył zainteresowanie i możliwości wykorzystania mobilnych systemów CPS. Są to np. popularne urządzenia typu tablet i smartfon, ale również mogą to być inteligentne zegarki, bransoletki, 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”. Są też bardziej kreatywne i zabawne sformułowania, jak „elektroodzież” czy „sprytonosze” [8].

Lepszym od smartfonów i tabletek przykładem takich urządzeń są narzędzia wykorzystujące techniki wirtualnej, mieszanej i poszerzonej rzeczywistości, które oznacza się skrótami VR/AR/MR (Virtual/Augmented/Mixed Reality). Pozwalają one na wizualizację informacji cybernetycznych na tle obrazów fizycznych i manipulacji cybernetycznymi informacjami poprzez interakcje z obiektami świata rzeczywistego. Mogą uzupełniać i jednocześnie wykorzystywać modele BIM. W przypadku lepiej znanej wirtualnej rzeczywistości VR

użytkownik jest całkowicie zanurzony w środowisku wirtualnym. Natomiast rzeczywistość poszerzona AR albo też mieszana MR dają swobodę działania w środowisku rzeczywistym przy możliwości wzbogacania percepcji człowieka za pomocą wirtualnych obiektów lub doznań (np. dźwięk, dotyk). Techniki te są niezwykle obiecujące i trudno dziś przewidzieć wszystkie ich przyszłe zastosowania. Na rys. 5 pokazano przykłady kilku takich urządzeń podczas testów w czasie inspekcji mostu w Gliwicach.



Rys. 5. Urządzenia mieszanej rzeczywistości i aplikacje podczas inspekcji mostu.

W ogólności procesy automatyzacji i robotyzacji budownictwa możemy podzielić na następujące obszary, które omówione zostały w kolejnych punktach:

- automatyzacja i robotyzacja na placu budowy,
- automatyzacja poza placem budowy,
- techniki druku 3D.

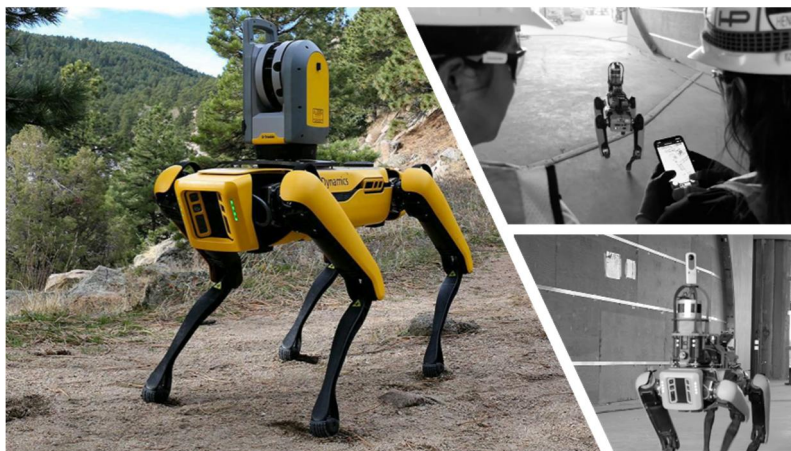
## 6. Automatyzacja i robotyzacja na placu budowy

Automatyzacja i robotyzacja na placu budowy polega obecnie głównie na zaawansowanych formach mechanizacji, w których automatyzuje się w sposób przemysłowy ważniejsze operacje w procesie budowlanym. Obniża się tym samym koszty tych operacji. Głównie poprzez usunięcie z pętli sterowania operatora (czynnik ludzki) lub przez zwiększenie wydajności operacyjnej, wprowadzając autonomiczne lub półautonomiczne systemy sterowania maszyną. Charakter prac budowlanych sprawia, że większość maszyn, które zostały dla nich zaprojektowane są systemami mobilnymi.

Niektóre z nich, takie jak roboty do robót ziemnych i wykańczania nawierzchni, wymagają mobilności będącej funkcją wykonywanego procesu roboczego. Inne, takie jak manipulatory ścienne, wymagają pewnego zakresu mobilności, który tylko zwiększa ich przestrzeń roboczą. Klasyfikacja robotów w budownictwie uzależniona jest przede wszystkim od miejsca ich zastosowania. Przykładem uniwersalnych robotów, które świadomie promuje się jako urządzenia przeznaczone również dla budownictwa, są produkty amerykańskiej firmy Boston Dynamics. Z pewnością naturalnym skojarzeniem w przypadku słowa „robot” jest najczęściej



humanoidalna maszyna, czego przykładem jest robot ATLAS. Jednak to właśnie czworonożny SPOT ma obecnie najwięcej aplikacji w budownictwie i zdaje się być pierwszym tak zaawansowanym i adaptowalnym robotem na placu budowy (rys. 6).



Rys. 6. Robot SPOT w różnych sytuacjach na budowie (źródło: [www.spar3d.com](http://www.spar3d.com)).

Mobilnością charakteryzują się również rozwiązania służące automatyzacji robót ziemnych. Nie są to już specjalnie projektowane roboty, a raczej zmodyfikowane klasyczne maszyny budowlane, które zostały wyposażone w dodatkowe systemy sterowania i posiadają pewien stopień autonomiczności. Prace ziemne na budowie stanowią zwykle sporą część kosztów całej inwestycji. Ich dobre oszacowanie i zaplanowanie bezpośrednio wpływają na koszt i czas trwania całego projektu.

Dokładne określenie objętości robót ziemnych jest niezbędne do właściwego zapotrzebowania na sprzęt typu koparki, spycharki i ładowarki. Dlatego BIM w powiązaniu z technikami GIS (Geographical Information System) są najbardziej skutecznymi narzędziami, które wykorzystują cyfrowe modele terenu. Posiadając taki trójwymiarowy model z zaprojektowanym zakresem robót ziemnych, można go użyć do sterowania maszynami i poprawić w ten sposób ich wydajność. Eliminuje się tradycyjne pomiary geodezyjne, a operator maszyny może wyświetlić model na swoim ekranie i kontrolować poprawność pracy swojej maszyny.

Do automatyzacji robót budowlanych mogą być wykorzystane również bezzałogowe statki powietrzne UAV (Unmanned Aerial Vehicle) nazywane również dronami. Najbardziej oczywistymi zastosowaniami UAV w budownictwie są pomiary, inwentaryzacji, inspekcje i monitorowanie postępów robót. Pozwalają na szybsze i dokładniejsze badanie większych obszarów niż przy zastosowaniu tradycyjnych metod geodezyjnych. Realizowane w ten sposób pomiary są już wystarczająco dokładne i łatwiejsze do powtórzenia. Można je nawet zaplanować i prowadzić bez udziału człowieka lub ze zdalnym sterowaniem drona.

Inne rozwiązania z zakresu automatyzacji i robotyzacji, które mogą być stosowane w miejscu budowy, to m.in.:

- roboty spawające konstrukcje stalowe również w zakresie spoin montażowych,
- roboty lub maszyny usprawniające układanie i montaż zbrojenia,
- automatyczne i mobilne podajniki i pompy betonu,
- roboty wyburzeniowe, murarskie i brukarskie,
- urządzenia wspomagające prace wykończeniowe na powierzchniach.
- układanie nawierzchni dróg asfaltowych i betonowych (rozściełacze i walce),
- układanie i rektyfikacja nawierzchni kolejowych,

- sterowane przekopy, przewiertki i przeciski pod ulicami i korpusami dróg,
- diagnostyka dróg kołowych i szynowych z mobilnymi platformami sensorycznymi,
- urządzenia do czyszczenia i naprawy nawierzchni dróg, oznakowania i kosiarki.

## 6. Automatyzacja poza placem budowy

Rozwój technik CAD i powiązanie ich z komputerowym wspomaganie wytwarzania CAM (Computer Aided Manufacturing) coraz częściej przenoszony jest już z branży przemysłowej do budowlanej. Podstawowym przykładem są oczywiście wytwórnie konstrukcji stalowych, czy zbrojenia, ale też produkcja betonu lub mas asfaltowych. Mobilne i łatwe w montażu wytwórnie betonu mogą być ustawione w bezpośrednim sąsiedztwie placu budowy. Pozwala to zaoszczędzić na transporcie mieszanki. Stosowany jest w nich zautomatyzowany proces wytwarzania, który może być dostosowany do aktualnych potrzeb i wymagań projektanta lub wykonawcy. Od wielu lat wykorzystuje się prefabrykację konstrukcji betonowych, która dzięki metodyce BIM staje się jeszcze bardziej atrakcyjna [10]. Są to jednak metody, które zostały opracowane jeszcze przed pojawieniem się cyfrowych narzędzi modelowania budowli. Teraz jednak mogą zostać znacznie bardziej dopracowane i docenione.



Rys. 7. Elementy technologii LGS z przykładami profili.

Przykładem automatyzacji, niepowiązanej wprost z placem budowy, jest technologia LGS (Light Gauge Steel), którą można potraktować jako współczesną formę prefabrykacji konstrukcji stalowych (rys. 7). Stosowane w dużych wytwórniach maszyny CNC (Computerized Numerical Control), znane i używane są od połowy XX wieku. To właśnie one zrewolucjonizowały przemysł maszynowy. W przypadku LGS mamy do czynienia z lekkimi stalowymi profilami zimnogiętymi, z których montuje się później na budowie szkieletowe konstrukcje budynków mieszkalnych, hal i magazynów, a także meble i wyposażenie.

## 7. Techniki druku 3D

Osobnym zagadnieniem związanym z automatyzacją i robotyzacją jest druk 3D, który współcześnie zaczyna być stosowany również w odniesieniu do materiałów i konstrukcji budowlanych. Druk 3D to sterowane komputerowo sekwencyjne nakładanie warstw materiałów, którego celem jest wytworzenie trójwymiarowych kształtów. Jest to szczególnie przydatne do tworzenia prototypów oraz do wytwarzania skomplikowanych geometrycznie

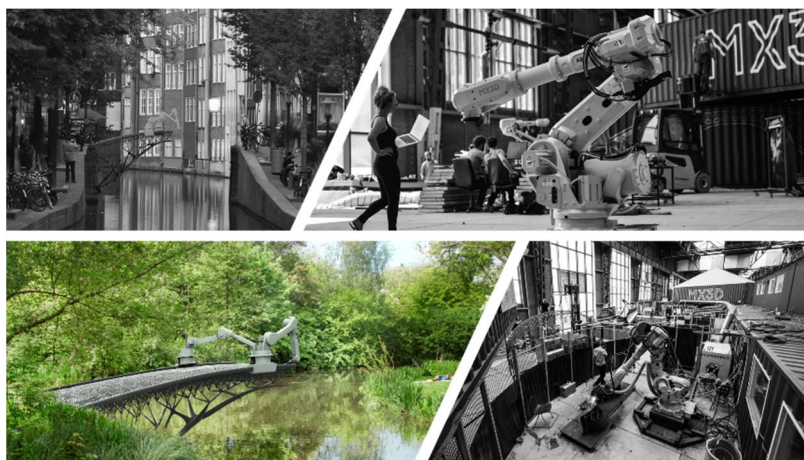
elementów i jednorazowych produktów, dla których nie opłaca się uruchamiać seryjnej produkcji. Pierwsze próby z drukiem 3D przeprowadzono jeszcze w latach 80., ale dopiero w XXI wieku stało się to stosunkowo proste i niedrogie.

W branży budowlanej drukowanie 3D można wykorzystywać do tworzenia elementów konstrukcyjnych lub do „drukowania” całych obiektów (rys. 8). Zainteresowanie drukiem 3D w budownictwie wzrosło wraz z upowszechnieniem się modelowania 3D przy projektowaniu, a zwłaszcza modeli BIM. Budowanie z użyciem techniki druku 3D może pozwolić na szybszą i bardziej precyzyjną realizację złożonych geometrycznie detali lub nawet całych obiektów przy jednoczesnym obniżeniu kosztów pracy i zmniejszeniu ilości odpadów. Pozwoli też na prowadzenie prac budowlanych w trudnych lub niebezpiecznych miejscach, gdzie nie można użyć siły roboczej lub dostarczyć tradycyjnych i gotowych materiałów budowlanych, np. na pustyni, w trudno dostępnych górach, obszarach arktycznych, pod wodą lub w kosmosie.



Rys. 8. Polska drukarka kartezjańska do betonu i wydrukowany obiekt (źródło: [www.rebuild3dcp.com](http://www.rebuild3dcp.com)).

Znaczne gabaryty obiektów budowlanych i duże zróżnicowanie stosowanych do ich budowy materiałów sprawiają, że nie jest łatwo wprost przenieść doświadczenia i rozwiązania z branży przemysłowej. Zasadnicze kierunki rozwoju obejmują techniki wytłaczania (beton, wosk, polimery), wiązania proszkowego (polimerowe, reaktywne, spiekanie) oraz spawania. Intensywne prace wielu środowisk naukowych na całym świecie oraz powstających przy tej okazji spółek typu startup sprawiły, że mamy już dzisiaj mobilne drukarki do betonu oraz pierwsze drukowane domy, a nawet mosty. Technika druku betonu ma już swój rozpoznawalnych skrót 3DCP (3D Concrete Printing).



Rys. 9. Budowa techniką spawania przyrostowego i robot typu MX3D (źródło: [www.mx3d.com](http://www.mx3d.com)).

Z kolei pierwszy drukowany most stalowy powstał niedawno w Amsterdamie. Wykonał go robot MX3D, który pracuje, wykorzystując technikę spawania przyrostowego. Na rys. 9 pokazano koncepcję pracy tego typu maszyn oraz ich działanie już w realnych warunkach warsztatu. Most przeznaczony jest tylko dla ruchu pieszego i ma nietypową geometrię oraz niewielką rozpiętość dziesięciu metrów. Do utworzenia jego modelu wykorzystano m.in. technikę projektowania generatywnego, która również należy do arsenału narzędzi BIM.

## 8. Podsumowanie

Branża budowlana już się zaczęła zmieniać zgodnie z tendencjami cyfrowej transformacji i strategii Przemysł 4.0. Zaczyna nawet funkcjonować odpowiednik tego hasła w postaci Budownictwa 4.0 (Construction 4.0). Automatyzacja i robotyzacja, oczywiście poprzedzona cyfryzacją procesów budowlanych, jest jedyną możliwością poprawienia wskaźników efektywności w budownictwie. W rezultacie powinno nastąpić skrócenie czasu budowy i obniżenie kosztów. Zautomatyzowany i zrobotyzowany proces budowy pozwoli bowiem na ciągłe prowadzenie budowy przez cały rok i bez zbędnych przerw na odpoczynek czy złą pogodę. Poprawią się też dzięki temu warunki pracy i bezpieczeństwa na budowie.

## Literatura

1. Zajdel J. A.: Cylinder van Troffa, Czytelnik, Warszawa, 1980.
2. Zajdel J. A.: Limes inferior, Iskry, Warszawa, 1982.
3. Lem S.: Kongres futurologiczny, Wydawnictwo Literackie, Warszawa, 1971
4. Schwab K. M.: The Fourth Industrial Revolution, Penguin Books, 2017.
5. Huxley A.: Brave New World, Chatto & Windus, London, 1932.
6. Orwell G.: Nineteen Eighty-Four, Secker and Warburg, 1949
7. Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P.: BIM w praktyce. Standardy, wdrożenie, case study, PWN, Warszawa, 2018.
8. Anger A., Łaguna P.: BIM dla menagerów, PWN, Warszawa, 2021.
9. Salamak M.: BIM w cyklu życia mostów, PWN, Warszawa, 2020.
10. Nicał A. i inni: BIM w prefabrykacji, PWN, Warszawa, 2022.

## BIM and digitization on the road to robotic construction after the pandemic crisis

**Abstract:** The paper presents the accelerating process of digitizing the construction industry, which is the beginning of further automation and robotization of this economic sector. To an extent, similar to the changes currently taking place in other sectors. Especially manufacturing and new technologies. The pandemic crisis has significantly accelerated these processes. The opportunities and threats accompanying the digital transformation and the strategy known as Industry 4.0 were discussed. They mainly concern digitally integrated production processes. The beginning of their introduction to the construction industry is the implementation of the BIM methodology and introducing informational models of buildings. Construction processes and objects will be described with digital records, which will open up new possibilities in processing and sharing construction information. It shows the areas of construction that will change the most as a result of digitization and further robotization.

**Key words:** BIM, digitization, automation, robotization, construction