

# Tendencje i wybrane problemy stosowania automatyzacji i robotyzacji w budownictwie

Dr inż. Józef Adamowski, inż. Jakub Lewandowski, Politechnika Wroclawska

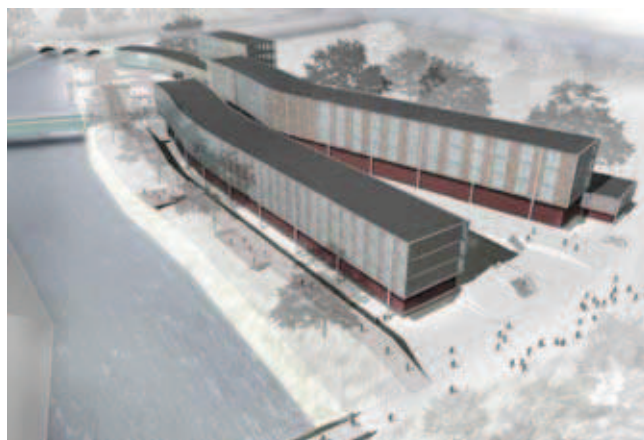
## 1. Wprowadzenie

Mówiąc o automatyzacji w budownictwie należy pamiętać o tym, jak szeroki zakres zagadnień ona obejmuje – począwszy od procesów wytwarzania materiałów budowlanych, a na kompleksowych systemach wznoszenia budowli skończywszy. Zgodnie z definicją<sup>1</sup> automatyzacja to stosowanie urządzeń do zbierania i przetwarzania informacji, przejmujących pewne działania poznawcze, intelektualne i decyzyjne człowieka, wykonywane dotychczas przez niego. Połączenie automatyzacji z mechanizacją daje efekt robotyzacji, natomiast maszyny powstałe w ten sposób nazywa się robotami bądź manipulatorami<sup>2</sup>. W obieg wchodzi także termin automatyzacja, który oznacza ukierunkowanie automatyzacji nie tylko na zwiększenie wydajności, ale przede wszystkim na zdolność do pracy bezobstugowej – „autonomicznej”.

Niniejsze opracowanie ma na celu przedstawienie zarysu osiągnięć automatyzacji w branży budowlanej, skupiając się szczególnie na kompleksowych systemach wznoszenia konstrukcji. Autorzy zachęcają do zapoznania się także ze zgromadzonymi pozycjami literaturowymi. Poruszają one szczegółowo wiele problemów, stanowiąc uzupełnienie pełnego obrazu automatyzacji w Polsce i na świecie.

## 2. Rozwój automatyzacji w Polsce

Niewątpliwie światowym liderem w dziedzinie automatyzacji w budownictwie jest Japonia. Na podstawie [1] oraz [10] można stwierdzić, że przyczyną takiego stanu rzeczy stały się czynniki demograficzne oraz polityka gospodarcza, które spowodowały niedobór wykwalifikowanych pracowników budowlanych, a w konsekwencji poszukiwanie rozwiązań mających zastąpić człowieka na placu budowy. Automatyzacja ma wiele zalet, takich jak: wysoka jakość wykonania, lepsze warunki pracy, zmniejszenie negatywnych oddziaływań na środowisko, zmniejszenie czasu re-



**Rys. 1.** Być może to właśnie Kajima, będąca głównym wykonawcą Geocentrum Politechniki Wrocławskiej, stanie się prekursorem automatyzacji w budownictwie polskim

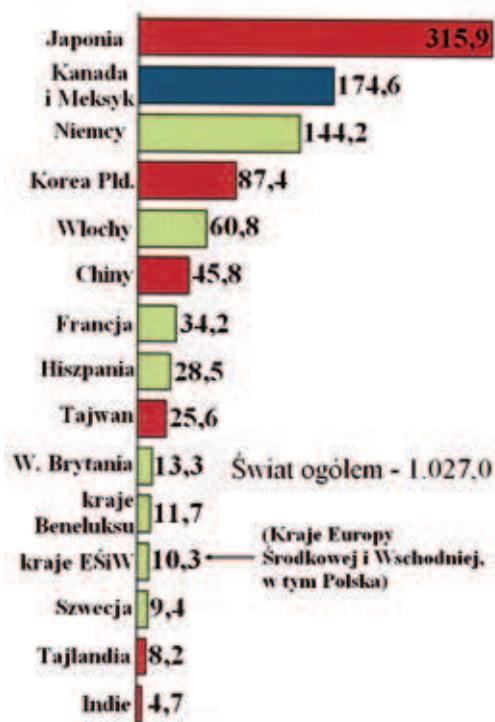
alizacji budowy, zmniejszenie zatrudnienia pracowników fizycznych, poprawa bezpieczeństwa pracy, zmniejszenie ilości odpadów oraz zwiększenie efektywności prac. Należy jednak pamiętać, że rozwój technologiczny wymaga niemałych nakładów finansowych. Stąd brak rodzimych firm i znacznego postępu w dziedzinie automatyzacji. Jednocześnie polscy inwestorzy wolą korzystać z tańszych rozwiązań i stosunkowo taniej siły roboczej. Nie dziwi więc też brak zainteresowania przedsiębiorstw zagranicznych działających w Polsce (np. Kajima), które nie wdrażają swych najbardziej zaawansowanych rozwiązań na naszym rynku. Brak zaangażowania w rozwój automatyzacji także ze strony rządu prowadzi do wniosku, że mimo niektórych optymistycznych prognoz (np. [4], 2004 r.), należy spodziewać się raczej stopniowego i powolnego wypierania tradycyjnych robót przez automatyzację. Mimo to, każdy inżynier budownictwa powinien mieć wiedzę na temat rozwiązań, które już są lub wkrótce staną się dostępne.

## 3. Polski wkład

Człowiekiem, który znacznie przyczynił się do rozwoju automatyzacji w budownictwie na całym świecie

<sup>1</sup> na podstawie www.pwn.pl

<sup>2</sup> brak jednoznacznie zdefiniowanych pojęć – interpretacja własna, przedstawienie zagadnienia manipulatorów – [12]



**Rys. 2.** Pod względem liczby zainstalowanych robotów przemysłowych w światowej czołówce brak jest Polski [23], stan w 2010 r. w tys. sztuk

jest Mirosław Skibniewski [2], absolwent Politechniki Warszawskiej. Zrobił on imponującą karierę naukową w Stanach Zjednoczonych. Współpracował z wieloma firmami, między innymi z japońskim koncernem inżynierjno-budowlanym Obayashi w ramach projektowania komputerowo wspomaganego systemu zarządzania eksploatacją parku maszynowego robotów do prac montażowych i wykończeniowych w budynkach wielokondygnacyjnych. W czasie studiów doktoranckich uzupełniał wiedzę m.in. na temat zastosowania automatyki, robotyki i informatyki w budownictwie, co wskazuje także nowy potencjalny kierunek kształcenia polskich inżynierów budowlanych.

Skibniewski jest autorem książki i wielu publikacji<sup>3</sup> oraz redaktorem naczelnym *Automation in Construction* – uznanego międzynarodowego czasopisma, poświęconego przede wszystkim zagadnieniom zastosowania teleinformatyki w budownictwie. Wiele anglojęzycznych artykułów, także innych zasłużonych w dziedzinie automatyzacji polskich autorów, takich jak: Budny, Sobczyk, Michałowski, Gutkowski, Chłosta, jest dostępnych w internecie<sup>4</sup>.

Spośród rodaków zajmujących się automatyzacją w budownictwie w Polsce warto wymienić także nazwiska: Witkowski, Szlagowski, Majewski, Madryas i wiele innych (np. figurujących w bibliografii). Zauważalna jest

<sup>3</sup> m.in. książki *Robotics in Civil Engineering* [3]

<sup>4</sup> darmowo na stronie International Association for Automation and Robotics in Construction [www.iaarc.org/publications/search.php](http://www.iaarc.org/publications/search.php) oraz [www.fire.nist.gov/bfrlpubs/index.html](http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/index.html)

jednak przewaga opracowań angielskojęzycznych. Fakt ten oraz szczegółowa tematyka zagadnień poruszanych choćby w *Automation in Construction* ukazują kontrast stopnia rozwoju automatyzacji także w sferze naukowej – Polski i gigantów takich jak USA.

#### 4. Klasyfikacja

Należy podkreślić, że mimo zaawansowanych prac badawczych w niektórych krajach (najbardziej rozwiniętymi pod tym względem wydają się być właśnie Stany Zjednoczone), jedynym państwem, mogącym się poszczycić produkcją i już aktualnym zastosowaniem skomplikowanych systemów automatyzacyjnych pozostaje Japonia<sup>5</sup>. Doskonałym źródłem wiedzy na temat stanu obecnego w tym państwie jest raport „Automation of building construction and building products industry – state of art in Japan” ([10], 2007). Nieco starszą pozycją, przedstawiającą automatyzację w budownictwie w najszerszym zarysie jest amerykański „The civil engineering handbook. Second edition”. ([11], 2003, rozdział 6: Construction Automation). Publikacje [10] i [11] opisują największe osiągnięcia, jednak zawierają ponad 100 ich przykładów i wymieniają dziesiątki firm oraz placówek badawczych zajmujących się tą dziedziną budownictwa. Ze względu na ilość niemożliwe jest przedstawienie wszystkich zastosowań. Dlatego warto skupić się na poglądowym przedstawieniu gałęzi automatyzacji.



**Rys. 3.** TBM do drążenia tuneli metra w Warszawie. Fot.: inzynieria.com

Na podstawie [10] i [11] autorzy pozwolili sobie na zmodyfikowaną i uzupełnioną własną klasyfikację ogólną.

- Linie produkcyjne, zakłady prefabrykacji, wytwarzanie materiałów budowlanych (np. zakład prefabrykacji elementów betonowych [8]).
- Roboty przeznaczone do wykonywania konkretnych robót na placu budowy, np.:
  - Roboty do prac tunelowych (np. do podpinania przewodów);

<sup>5</sup> szczegółowe omówienie czynników sprzyjających robotyzacji oraz trudności w robotyzacji budownictwa – [21], str. 20, 34

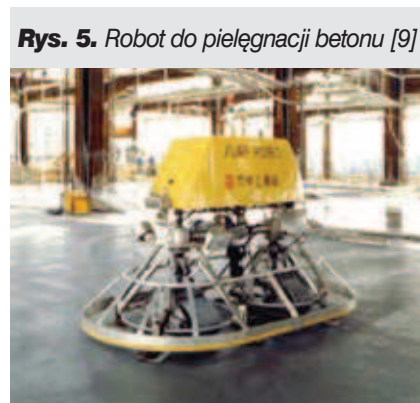
- Roboty do prac betonowych (np. wibrowanie, układanie, pielęgnacja);
- Roboty do spawania, zginania, cięcia i rozmieszczania stali, wiązania siatek stalowych;
- Roboty do prac wykończeniowych (np. malujące powierzchnie, układające kafelki, osadzające szyby);
- Roboty czyszczące (odkurzające podłogi, myjące okna);
- Roboty diagnostyczne i pomiarowe (np. monitorujące stan środowiska, przemieszczeń konstrukcji, wykrywające podziemne uzbrojenie terenu, zajmujące się pomiarem odległości);
- Roboty transportu poziomego i pionowego (od suwnic i podajników po mobilne ramiona robotów, żurawie);
- Roboty do prac ziemnych (np. bezwykopowe przeciskanie rur, maszyny wiertnicze (rys. 3, [24], [25], przewiertry sterowane teleoptycznie, przewiertry horyzontalne);
- Pozostałe, np. roboty usuwające azbest i wiele innych.
  - Mechanizmy służące do automatycznego przemieszczania deskowań (w Polsce firmy PERI, Doka).
  - Systemy komputerowe zintegrowane z pracami budowlanymi:
    - Komputerowe wspomaganie projektowania: systemy reprezentacji konstrukcji i aplikacje je wykorzystujące (AutoCAD, CATIA, BoCAD);
    - Automatyczne zarządzanie materiałami – identyfikacja (kody kreskowe, systemy wizyjne, rozpoznawanie komend głosowych), systemy transportu materiałów (automatycznie sterowane systemy transportu poziomego i pionowego, zdalnie sterowane pojazdy transportujące), systemy dozowania materiałów (np. przy produkcji betonu);
    - Sieć zapewniająca komunikację wszystkich jednostek automatycznych i ludzi, pozwalająca np. na automatyczne harmonogramowanie dostaw materiałów;
    - Wszelkie rozwijające się systemy komunikacji bezprzewodowej, GPS, GNSS, sztucznej inteligencji, rozpoznające fizyczne warunki terenu pracy robota, systemy unikania kolizji i planowania trasy oraz wiele innych.
    - Systemy komputerowe, sterujące powstałym obiektem i monitorujące jego stan, np. inteligentne budynki, zintegrowane systemy sterowania ruchem i stanem konstrukcji (np. Most w Puławach otwarty w 2008 roku).
    - Kompleksowe systemy wznoszenia konstrukcji (omówione dalej).

## 5. Przykłady zastosowań

Na rysunkach 4–6 przedstawiono przykłady japońskich rozwiązań automatyzacyjnych. Oczywiście nie można powiedzieć, że Polska nie rozwija się w ogóle pod względem automatyzacji. Zatrudnienie w budownictwie znajdują coraz bardziej skomplikowane technologicznie urządzenia. Na rysunkach 7–10 przedstawiono maszyny, które w znacznym stopniu ograniczyły zaangażowanie fizyczne pracowników w prace budowlane i już są stosowane w Polsce.



**Rys. 4.**  
Automatyczne zawieszanie [10]



**Rys. 5.** Robot do pielęgnacji betonu [9]



**Rys. 6.**  
Mobilne ramie robota [10]

Dla pełnego obrazu automatyzacji w budownictwie rodzimym należy dodać, że polskie jednostki naukowe także zajmują się zagadnieniami automatyzacji. Dowodem tego są przykładowe opracowania dotyczące



**Rys. 7.**  
Palownica PG-20.  
Więcej o palownicach – [5]

**Rys. 8.** Zdalnie sterowane ramiona pomp do betonu. Zdjęcie z autostradowej obwodnicy Wrocławia



**Rys. 9.**  
Zdalnie sterowany i samowznoszący żuraw. Zdjęcie z budowy nowego stadionu we Wrocławiu. Więcej o rozwoju żurawi – [6]



**Rys. 10.**  
Samowznoszące  
deskowania PERI.  
Zdjęcie z budowy  
Sky Tower  
we Wrocławiu

wykorzystania technologii GNSS<sup>6</sup> do monitorowania przemieszczeń obiektów [13]. Również nie brak pomysłowości, jeśli chodzi o robotykę. Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów stworzył mobilnego robota (rys. 11), który jest częścią zaawansowanego technologicznie systemu przeznaczanego do diagnozowania korozyjnego i erozyjnego zużycia kotłów (więcej w [21]). Diagnostyczne roboty mobilne były jednym z wielu tematów poruszanych na corocznych sympozjach na temat kompleksowego zarządzania jakością w budownictwie. Miejmy nadzieję, że zainteresowanie automatyzacją będzie rosnąć, ponieważ szkoda, żeby zagraniczne rozwiązania zostały wprowadzone na rynek, podczas gdy Polska posiada potencjał do rozwoju.



**Rys. 11.**  
Robot SPIDER

## 6. Kompleksowe systemy wznoszenia konstrukcji

Podczas gdy na całym świecie kraje prześcigają się w stosowaniu coraz bardziej zaawansowanych robotów, Japonia poszła o krok do przodu i stworzyła kompleksowe systemy wznoszenia konstrukcji. Podstawową przyczyną ich powstania jest fakt, że automatyzacja pojedynczych procesów (np. spawania) na placu budowy nie przynosi wymiernych korzyści ekonomicznych. W 1991 roku Japończykom udało się stworzyć pierwsze na pełną skalę zastosowania automatyzacyjne w dziedzinie wznoszenia budynków.

Na podstawie [11], kompleksowy (nazewnictwo własne autorów) system wznoszenia konstrukcji można

<sup>6</sup> więcej o rewolucji w systemie pozycjonowania satelitarnego można znaleźć w [17]

zdefiniować jako system posiadający 4 podstawowe elementy:

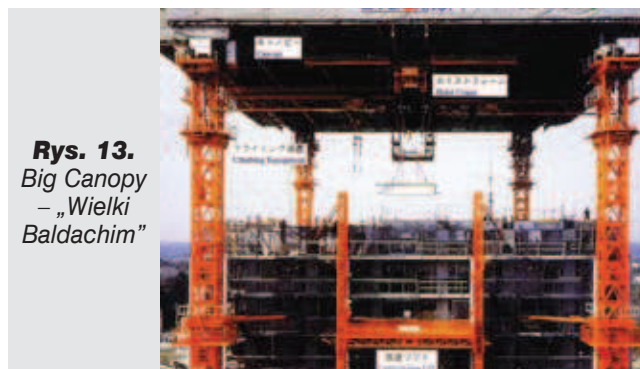
- Przekrycie odporne na każde warunki atmosferyczne.
- Zautomatyzowany system transportu pionowo-poziomego.
- Zautomatyzowany system przekazywania materiałów.
- Centralny sterujący system informatyczny.

Wymienić można następujące systemy japońskie:

- SMART system(Shimizu Co.),
- Shuttle Rise(Kajima Co.),
- ABCS(Obayashi Co.),
- Big Canopy(Obayashi Co.),
- Push-Up(Takenaka Co.),
- T-Up(Taisei Co.),
- MCCS(Maeda Co.),
- AKWTSUKI 21(Fujita Co.),
- Amurad(Kajima Co.).



**Rys. 12.**  
Shimizu Smart  
system



**Rys. 13.**  
Big Canopy  
– „Wielki  
Baldachim”



**Rys. 14.**  
Jeden  
z dźwigów  
systemu BC  
z ramieniem  
obrotowym

Przedstawiony na rysunku 12 system SMART do wznoszenia stalowego szkieletu konstrukcji został dość dokładnie opisany w [11].

Firma Obayashi, oprócz ABCS<sup>7</sup> (Automated Building Construction System for steel structure buildings – system do wznoszenia budynków o szkielecie stalowym), stworzyła pierwszy na świecie zautomatyzowany system wznoszenia konstrukcji żelbetowych – Big Canopy.

Podstawą działania BC są 4 wieże wznoszące się na narożach budynku, po których „wspina się” dach. Do dachu zamontowane są suwnice, po których przemieszczają się 3 dźwigi. Środkowy dźwиг przejmując ładunek od windy i przekazuje go prawemu lub lewemu dźwigowi, odpowiadającemu za transport horyzontalny. Elementy są znakowane kodami kreskowymi, dzięki czemu nie jest potrzebny udział ludzi. System zarządzania materiałami, za pomocą zaawansowanych algorytmów steruje dystrybucją ładunków, co prowadzi do 1,5-krotnych oszczędności czasowych. Specjalnie zawieszona kontrolująca moment obrotowy ładunku zapewniają stabilność podczas ich przekazywania.

Dzięki podobieństwom systemów ABCS i BC możliwe jest wznoszenie konstrukcji mieszanych (stalowo-żelbetowych). Dach konstrukcji jest montowany zaraz po powstaniu fundamentów i płyty dennej. Następnie pomiędzy nim a płytą powstają kolejne kondygnacje. Montaż jednej kondygnacji trwa 1–7 dni (wg [4]). Po zakończeniu prac dach może stać się stałym elementem konstrukcji bądź zostać zdemontowany. Bardziej szczegółowy opis systemu znajduje się w [1].

## 7. Podsumowanie

W artykule zostały przedstawione kierunki rozwoju i przykłady najnowszych osiągnięć w dziedzinie automatyzacji na całym świecie. Wiele projektów pozostaje nadal w fazie koncepcyjnej i badawczej. Mimo widocznego kontrastu pomiędzy stanem automatyzacji w Japonii i innych krajach, należy mieć świadomość, że także w Polsce powstają coraz bardziej złożone systemy automatyzacyjne. Miejmy nadzieję, że coraz większe zainteresowanie tą dziedziną budownictwa przyczyni się do powstania odpowiednich kierunków kształcenia na wyższych uczelniach oraz zapewnienia rynkowi wykwalifikowanej polskiej kadry.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Bock T., Trends in automation of building construction in Japan (Trends der Hochbauautomatisierung in Japan), Betonwerk Fertigteil-Technik, nr 1/2002  
 [2] Burzyńska D., Droga do Maryland, Builder, 02.2007  
 [3] Skibniewski M. J., Robotics in civil engineering, New York 1988  
 [4] Jazukiewicz Z., Czekając na robota, Przegląd Techniczny, nr 2/2004  
 [5] Szlagowski J., Dąbrowski D., Dobrowolski H., Automatyzacja pracy maszyn roboczych, Materiały Budowlane, nr 8/99

- [6] Strumiński M., Żurawie nowej generacji, Materiały Budowlane, nr 8/99  
 [7] PERI, Nowoczesna technika deskowaniowa – pomosty samo wznoszące ACS, Materiały Budowlane, nr 8/99  
 [8] Weckenmann Anlagentechnik GmbH+Co.KG, Nowy robot szalunkowy sprawdza się na rynku, Zakłady Betonowe International, nr 3/2010  
 [9] Elattar S. M. S., Automation and robotics in construction: opportunities and challenges, Emirates Journal for Engineering Research, nr 2/2008  
 [10] Shinko Research co., Ltd., Automation of building construction and building products industry – state of art in Japan, 18.12.2007  
 [11] Chen W. F., Richard Liew J. Y., The Civil Engineering Handbook, Second Edition, CRC Press 2003  
 [12] Sobczyk A., Tendencje i wybrane problemy stosowania manipulatorów w budownictwie, Konferencja Naukowa Zarządzanie i Marketing w Budownictwie, 1997  
 [13] Wyczałka I., Plichta A., Nowoczesne techniki pomiarowe w nauce i technice, Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, nr 6/2009, Poznań  
 [14] Hamada K., Furuya N., Shiokawa T., Kurita K., Doyama A., Kaneko T., Kunitomo I., Miyakawa H., Development and Application of Automated Construction System for High-rise Reinforced Concrete Buildings. Part 2. Improvement of Automated Construction System and Effects on Three Projects, Report of Obayashi Corporation Technical Research Institute  
 [15] Gasel, van, F., The development of a concept for a Dutch construction system for high-rise buildings, 22nd ISARC 2005 – September 11–14, 2005, Ferrara (Italy)  
 [16] Harada T., Ikeda Y., Application of the automated building construction system using the conventional construction method together, 23rd ISARC 2006  
 [17] Majewski A., Automatyzacja w budownictwie, AGH, ITB, www.kgbig.agh.edu.pl  
 [18] Szlagowski J., Automatyzacja pracy maszyn roboczych. Metodyka i zastosowania, Warszawa 2010  
 [19] Witkowski P., Robotyzacja w budownictwie. Teraźniejszość i przyszłość – cz. I, Inżynier Budownictwa, 9.06.2010  
 [20] Witkowski P., Robotyzacja w budownictwie. Teraźniejszość i przyszłość – cz. II, Inżynier Budownictwa, 29.07.2010  
 [21] Witkowski P., System kompleksowego zarządzania jakością w budownictwie. Teleinformatyzacja i automatyzacja prac na placu budowy, Warszawa 2009  
 [22] Witkowski P., System kompleksowego zarządzania jakością w budownictwie. Bezdotykowe metody informacji i pomiarów obiektów budowlanych, Warszawa 2009, Wytyczne, poradniki nr 443/2009, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2009  
 [23] Ostrowski A., Perspektywy robotyzacji polskiego przemysłu, MM Magazyn Przemysłowy, nr 4/2011  
 [24] Zwierzchowska A., Żebrowska A., Omelański K., Zastosowanie niekonwencjonalnych urządzeń tarczowych o przekroju niekołowym, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 2/2010  
 [25] Dobosz D., Tunel do transportu wody z Żółtej Rzeki, Geoinżynieria Drogi Mosty Tunele, nr 3/2011  
 [26] Adamowski J., Lewandowski J., Automatyzacja i robotyzacja w budownictwie japońskim, Materiały Budowlane, nr 10/2011  
 [27] Madryas C. i inni., Mikrotunelowanie. DWE, Wrocław 2009

<sup>7</sup> Opis ABCS można znaleźć w [16] oraz [21] (lub [22])