

KIERUNKI ROZWOJU AUTOMATYZACJI W BUDOWNICTWIE (CZ. II)

Construction robotics and automations development directions (part II)

Eugeniusz BUDNY, Mirosław CHŁOSTA

Streszczenie: Automatyizacja i robotyzacja budownictwa jest szybko rozwijającą się dziedziną przemysłu, jakkolwiek niedocenianą w wystarczającym stopniu w Polsce. W pierwszej części artykułu przedstawiono podstawowe informacje z tego zakresu. W części drugiej omówiono przykłady rozwiązań zaproponowanych na świecie, stanowiących przełom w tej dziedzinie.

Słowa kluczowe: budownictwo, robotyka, automatyzacja

Abstract: Automations and robotics in construction (ARC) are quickly developing brand of the world industry, however it is not being sufficiently appreciated in Poland. The basic information on ARC was presented in the introduction of the paper. The mile stones on the robotics in construction and examples of the organizational and technical solutions in different fields of construction are presented.

Key words: construction, robotics, automation

Wprowadzenie

W poprzedniej części artykułu omówiono ogólne zagadnienia automatyzacji i robotyzacji w budownictwie. Ta część przedstawia konkretne rozwiązania w poszczególnych rodzajach prac budowlanych, z naciskiem na rozwiązania sprzętowe.

Charakterystyka robotów do poszczególnych rodzajów prac budowlanych

Specyfika poszczególnych rodzajów prac budowlanych powoduje, że rozwiązania konstrukcyjne robotów, podobnie jak maszyn sterowanych przez operatorów – bardzo różnią się między sobą. Poniżej omówiono podstawowe cechy konstrukcyjne robotów i zautomatyzowanego sprzętu budowlanego.

Automatyzacja w pracach ziemnych i fundamentowych

Ogólna charakterystyka automatyzacji prac ziemnych

Prace ziemne, z uwagi na dużą objętość urobku i znaczący udział w globalnej produkcji budowlanej, zasługują na szczególną uwagę. Prowadzone prace dotyczą przede wszystkim koparek jednoznaczyniowych, ładowarek, spycharek oraz równiarek. Są to tzw. maszyny podstawowe.

W pracach nad automatyzacją maszyn do prac ziemnych można wyróżnić trzy kierunki:

- adaptację układów sterowniczych maszyn do wykonywania określonych rodzajów prac w sposób zautomatyzowany,
- zastosowanie zdalnego sterowania maszyn,
- roboty autonomiczne.

Adaptacyjne układy sterowania maszyn (a) są najstarszym sposobem automatyzacji pracy maszyn budowlanych. Przykładami są:

- układ sterowania położeniem lemiesza spycharki, ułatwiający otrzymywanie płaskich powierzchni,
- układ sterowania osprzętem wiertniczym, zamocowanym na koparce uniwersalnej lub wiertnicy,
- układ sterowania osprzętem koparki w celu wykonywania wykopów wąskoprzestrzennych pod ściany szczelinowe.

Zdalne sterowanie maszyn do prac ziemnych (b) jest najczęściej stosowanym i oferowanym na rynku rozwiązaniem. Stosuje się je w przypadkach wykonywania robót w strefie zagrożenia życia lub w warunkach ograniczonej widoczności. W pierwszym przypadku operator znajduje się poza strefą zagrożenia. W drugim – operator znajduje się w maszynie lub poza nią tak, aby zmaksymalizować widoczność osprzętu roboczego w polu pracy. Przebieg cyklu roboczego monitorowany jest przez kamery wideo lub inne systemy wizualizacji. Oczywista jest konieczność wyposażenia maszyny w odpowiednie do poziomu automatyzacji czujniki, rejestrujące stan maszyny i otoczenia, jak również w elementy wykonawcze. Coraz częściej stosuje się rozwiązania znane z rzeczywistości wirtualnej (virtual reality technologies – VR). Operator sterując pracą maszyny oraz ładunkiem urobku na środki transportu nadal jest elementem zamykającym pętlę sprzężenia zwrotnego układu sterowania, jakkolwiek nie ma bezpośredniej styczności z maszyną i jej otoczeniem. Obecnie sterowanie odbywa się na drodze radiowego przekazywania sygnału. Sterowania przewodowego używa się w ściśle określonych warunkach, gdy skuteczność sygnału jest mała, np. w przypadku zakłóceń radiowych w pobliżu silnych nadajników.

Maszyny ze zdalnym sterowaniem stosowane są w robotach podziemnych, budowie tuneli, w miejscach

zanieczyszczeń chemicznych i radioaktywnych. Kierunek (c) obejmuje opracowanie robotów autonomicznych. Jest to trudne technicznie zadanie, związane z koniecznością uwzględnienia wielu czynników związanych z procesem urabiania gruntu i transportu urobku. Są to najczęściej czynniki o charakterze losowym, np.:

- zmienne siły wzajemnego oddziaływania gruntu i narzędzi roboczych,
- niejednorodność gruntu, związana z miejscowym występowaniem gleb zwięzłych,
- zmienną wysokość terenu, będącego miejscem prac ziemnych,
- występowanie zakopanych lub przysypanych obiektów – rurociągi, przewody elektryczne,
- położenie maszyny w stosunku do krawędzi klina odłamu gruntu, łączące się z zagrożeniem jej wywrócenia,
- pojawianie się ludzi i innych obiektów w polu pracy maszyny, stanowiące zagrożenie dla realizacji procesu.

W tych warunkach dąży się do zmniejszenia wydatku energii oraz czasu realizacji prac, np. przez zminimalizowanie trajektorii narzędzia roboczego w procesie odspajania.

Wszystkie powyższe czynniki należy uwzględnić przy projektowaniu robota autonomicznego. Z uwagi na liczne trudności, na obecnym etapie rozwoju zakres automatyzacji maszyn do prac ziemnych w rozwiązaniach praktycznych ogranicza się najczęściej do zdalnego sterowania maszyn i częściowej automatyzacji procesu sterowania. Niemniej zalety oferowane przez robota do prac ziemnych są tak zachęcające, iż prowadzone są w tym kierunku liczne prace badawcze. Najczęściej polegają one na wyposażeniu istniejących maszyn w robotyczny układ sterowania (robot control system), który realizuje ruchy narzędzi roboczych wg założonych algorytmów.

Do zalet tych należy:

- zwiększona wydajność maszyn,
- poprawa jakości wykonania prac, polegająca na większej dokładności wymiarowej wykopów bądź niwelowanych powierzchni,
- zmniejszone ryzyko błędów wykonawstwa z uwagi na zbędne repery (kołki),
- możliwość realizacji bardziej złożonych kształtów wykopów bądź ukształtowania powierzchni, jak np. pola golfowe,
- możliwość zatrudnienia mniej wykwalifikowanych operatorów do bardziej złożonych zadań,
- zmniejszenie możliwości pomyłki operatora, wynikającej z mylnej interpretacji dokumentacji technicznej wykonywanej pracy,

Z uwagi na obszerność tematu, w artykule nie przedstawiono szczegółowych wyników prac badawczych w zakresie autonomicznych robotów do prac ziemnych (praca odsyła zainteresowanych do literatury). Należy nadmienić, że w kilku ośrodkach w Polsce prowadzone są również prace teoretyczne i doświadczalne w zakresie automatyzacji maszyn do robót ziemnych. Wymienić tu należy Wojskową Akademię Techniczną, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie,

Politechnikę Warszawską [1] oraz Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN.

W dalszej części omawianej tematyki przedstawiono przykłady rozwiązań automatyzacji maszyn do prac ziemnych.

Przykłady zastosowania automatyzacji i robotyki w maszynach budowlanych

Maszyzny do prac ziemnych ze zdalnym sterowaniem

Wielu producentów sprzętu budowlanego oferuje maszyny ze zdalnym sterowaniem. Są one sterowane skrzynką sterowniczą lub pulpitem. Sygnał przekazywany jest przewodowo (coraz rzadziej) lub radiowo. Przykład takiego pulpitu, oferowanego przez firmę Radioster, przedstawiono na rys. 1 [4].

Koparka podsiębierna EL 200B firmy Caterpillar już pod koniec lat 90. XX w. mogła być wyposażona w system zdalnego sterowania radiowego, które odbywa się za pomocą pulpitu podobnego do wspomnianego powyżej. Cylindry układu roboczego koparki oraz napęd jazdy są sterowane za pomocą dźwigni na pulpicie. Dwie kamery wideo (zamontowane na zewnątrz koparki)



Rys. 1. Pulpit zdalnego sterowania maszyną roboczą [4]
Fig.1. Control panel for construction machines [6]



Rys. 2. Koparka do szybów Kayaba System Machinery Co., Ltd. [5]
Fig. 2. Shaft excavator Kayaba System Machinery Co., Ltd. [5]

przesyłają obraz miejsca pracy. Trzecia kamera (w kabinie) informuje o wskazaniach przyrządów pomiarowych [2]. Obecnie jest to rozwiązanie archaiczne, bowiem na ten moment wykorzystuje się rozwiązania znane z rzeczywistości wirtualnej (VR). Innym przykładem maszyn zdalnie sterowanych jest koparka do szybów firmy Kayaba System Machinery Co, Ltd., przedstawiona na rys. 2.

Obok zdalnie sterowanych, pojedynczych maszyn, opracowano również koncepcje systemu zdalnego sterowania całych zestawów maszyn, wykonujących prace ziemne. Idea tego typu rozwiązań powstała również pod koniec XX w. Obecnie znajduje praktyczną realizację w kilku obszarach – przede wszystkim w zakładach górnictwa odkrywkowego, które ze względu na ustaloną strukturę organizacyjną nadają się do tego najlepiej.

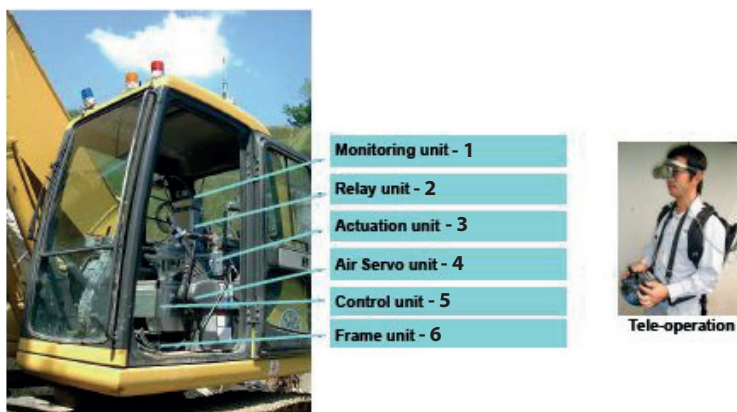
W skład tych systemów mogą wchodzić także maszyny do innych rodzajów prac budowlanych. Można

wymienić trzy następujące przykłady systemów zdalnego sterowania zestawów maszyn:

- zdalne sterowanie maszyn do prac ziemnych firmy Fujita (rys. 3, [6]),
- automatyczne sterowanie wywrotkami samochodowymi Komatsu Ltd. [3],
- zdalne zarządzanie sprzętem budowlanym z wykorzystaniem GPS – system Komtrax Komatsu Ltd. (rys. 4 [3]).

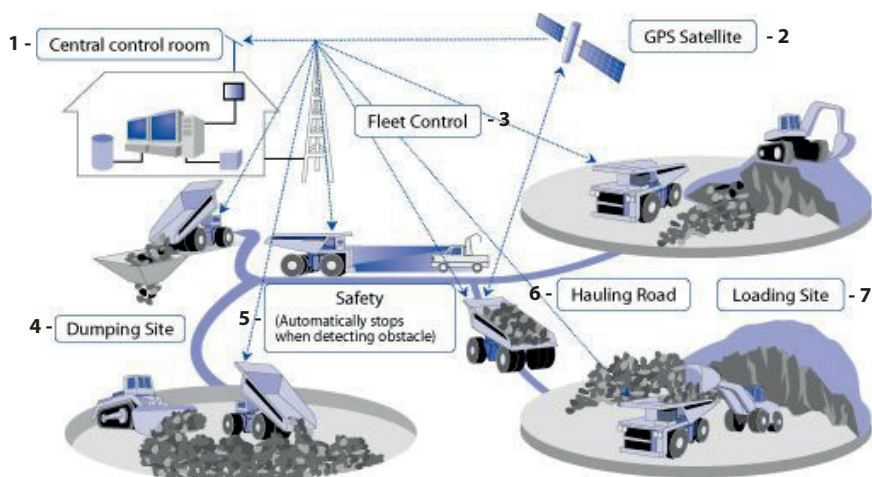
Automatyzacja prac ziemnych w kesonach

Kesony stosowane są w pracach podwodnych i fundamentowych przy występowaniu kurzawki. Z uwagi na zagrożenie dla obsługi, związane z pracą w pomieszczeniu o wysokim ciśnieniu i chorobą kesonową, występującą przy zbyt szybkim przechodzeniu z do przestrzeni o ciśnieniu atmosferycznym, wyeliminowanie bezpośredniej obsługi w kesonie dzięki automatyzacji



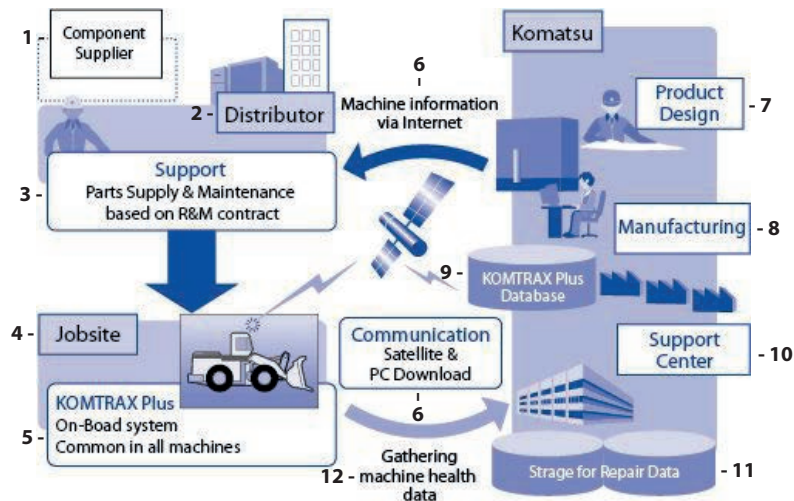
1 – monitoring unit – zespół monitorujący (otoczenie), 2 – relay unit – zespół przekaźników, 3 – actuation unit – zespół wykonawczy, 4 – air servo unit – wspomaganie pneumatyczne, 5 – control unit – układ sterowanie, 6 – frame unit – zespół ramy kabiny

Rys. 3. System zdalnego sterowania radiowego firmy Fujita Co. [6]
Fig. 3. Radio control system Fujita Co. [6]



1 – central control room – centrala sterowania i nadzoru, 2 – GPS satellite – satelita GPS, 3 – fleet control – nadzór nad flotą maszyn, 4 – dumping site – strefa wyladunku, 5 – safety (automatically stops when detecting obstacles) – bezpieczeństwo (automatyczne wstrzymanie pracy w przypadku wystąpienia przeszkód), 6 – hauling road – trasa transportu urobku, 7 – loading site – strefa urabiania i załadunku

Rys. 4. System zdalnego sterowania maszyn do prac ziemnych firmy Komatsu Ltd. [3]
Fig. 4. Remote control system for earth moving machines Komatsu Ltd. [3]

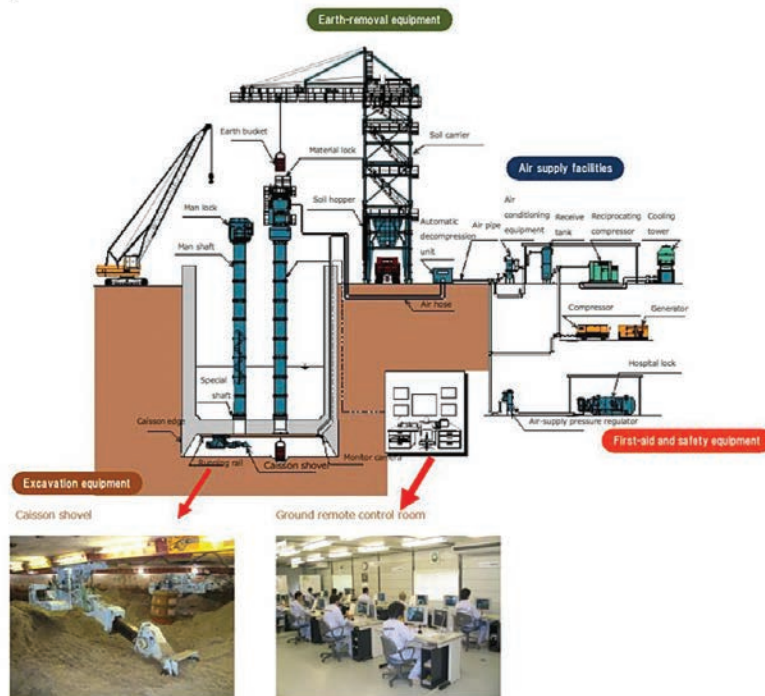


1 – component supplier – dostawca części, 2 – distributor – dystrybutor, 3 – support parts supply and maintance based on R&M contract – wsparcie (użytkownika maszyny), dostawa części i obsługa (maszyn) oparta na zasadach umownych, 4 – jobsite – miejsce pracy (maszyny), 5 – komtrax plus on-board system common in all machines – pokładowy system Komtrax Plus, wspólny dla wszystkich rodzajów maszyn (Komatsu), 6 – machine information via Internet – informacja o stanie maszyny przekazywana przez Internet, Communication Satellite & PC Download – satelita komunikacyjny i komputer PC, 7 – product design – konstruowanie maszyny, 8 – manufacturing – produkcja, 9 – Komtrax Plus Database – baza danych systemu Komtrax Plus, 10 – support center – centrum wsparcia, 11 – storage for repair data – baza danych o naprawie maszyn, 12 – gathering machine health data – zbieranie danych dot. stanu technicznego maszyn

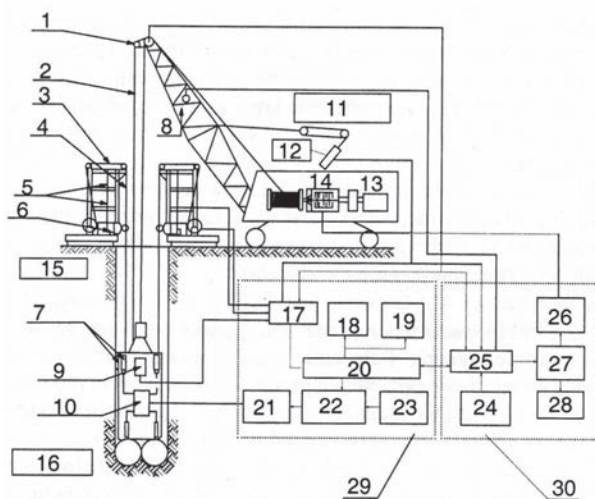
Rys. 5. Struktura systemu Komtrax zarządzania sprzętem o zasięgu globalnym – firma Komatsu Ltd. [3]
 Fig.5. The global range Komtrax management system – Komatsu Ltd. [3]

prac jest bardzo pożądane. Wylimitowanie obecności ludzi w kesonie również podnosi efektywność ekonomiczną wykonywanych prac. Istnieje wiele systemów realizujących to zadanie. Ich wspólną cechą jest wylimitowanie bezpośredniej obsługi w kesonie i zdalne

sterowanie urządzeń z pomieszczenia znajdującego się na poziomie gruntu. Przykładem jest bezzalogowy system prac w kesonie (zdalny system sterowania z poziomu gruntu) – firmy Shiraiishi Corporation (rys. 6) [7].



Rys. 6. System wykonywania robót w kesonie firmy Shiraiishi Corporation [7]
 Fig. 6. Caisson fabricating system Shiraiishi Corporation [7]



Rys. 7. Automatyczny system wykonania wykopów pod ściany szczelinowe firmy Konoike:

1 – czujnik kąta obrotu, 2 – linka do pomiaru głębokości wykopu, 3 – konstrukcja wsporcza do urządzeń pomiarowych, 4 – linka odzworowująca, 5 – pochylomierz konstrukcji wsporczej, 6 – czujnik z rozgałęźnikowym układem pomiarowym, 7 – nastawny prowadnik, 8 – pochylomierz wysięgnika, 9 – pochylomierz, 10 – zespół hydrauliczny, 11 – maszyna wiodąca (żuraw), 12 – czujnik do pomiaru obciążenia, 13 – silnik, 14 – hamulec, 15 – przyrządy pomiarowe, 16 – koparka, 17 – jednostka wejście/wyjście, 18 – lampka elektronapromieniowa, 19 – monitor TV, 20 – komputer osobisty, 21 – moduł sterujący, 22 – pomiar nierówności ścian wykopu, 23 – panel sterujący, 24 – moduł nastawczy, 25 – komputer, 26 – moduł sterujący, 27 – zespół sterujący, 28 – monitor, 29 – układ pozycjonowania koparki, 30 – układ kontroli obciążeń na koparce [2]

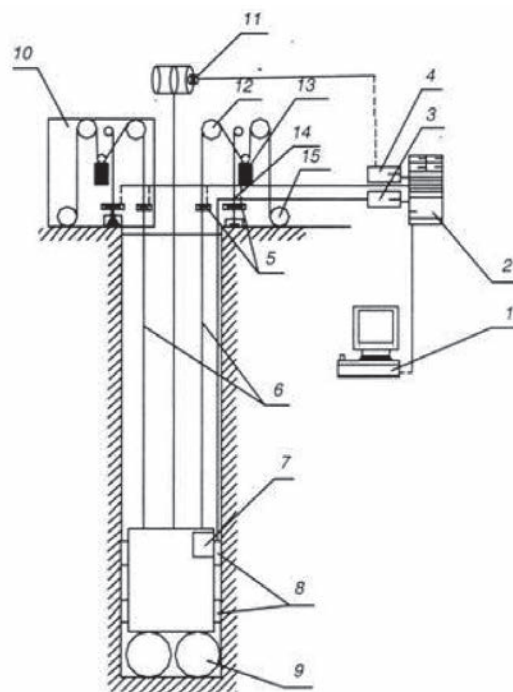
Fig. 7. Automated diaphragm wall excavation system

1 – rotary encoder, 2 – excavation depth measure wire, 3 – measure device basement, 4 – encode wire, 5 – tower inclinometer, 6 – sensor with multiway measure system, 7 – adjustable guidance, 8 – boom inclinometer, 9 – inclinometer, 10 – hydraulic unit, 11 – base machine (crane), 12 – load measure device, 13 – engine, 14 – brake, 15 – measure devices, 16 – excavator, 17 – data in/out device, 18 – cathode ray tube, 19 – CCTV display, 20 – PC computer, 21 – control unit, 22 – excavation wall measure unit, 23 – control panel, 24 – set-up unit, 25 – computer, 26 – control unit, 27 – control system, 28 – display, 29 – excavator placement unit, 30 – excavator load measure unit [2]

Automatyzacja wykonawstwa wykopów wąskoprzestrzennych pod ściany szczelinowe

Decydujące o jakości ściany szczelinowej są parametry dokładności geometrycznej wykonania wykopu. Wpływ na to mają m.in. właściwości zawiesziny stabilizującej grunt w trakcie kopania. Tak więc systemy automatycznego sterowania koparkami do wykopów wąskoprzestrzennych mają dwa podstawowe zadania – zapewnienie dokładności wymiarowej wykonania wykopu oraz kontrolę właściwości płuczki.

Na rynku występuje kilka zautomatyzowanych systemów zapewniających osiągnięcie tych celów. Są to m.in. produkty firm Konoike Construction Co Ltd. (rys. 7), Obayashi Co., Kajima Co., Taisei Co. (rys. 8).



Rys. 8. Schemat układu sterowania do dokładnego pozycjonowania koparki do wykopów pod ściany szczelinowe firmy Taisei Co.:

1 – monitor do wyświetlania danych, 2 – procesor danych, 3 – pochylomierz, 4 – przyrząd do pomiaru głębokości, 5 – przyrząd laserowy do pomiaru przemieszczeń, 6 – linka odzworowująca położenie koparki, 7 – pochylomierz, 8 – nastawne prowadniki, 9 – koparka, 10 – wysokiej dokładności zespół sterowania położenia koparki [2]

Fig. 8. Precise positioning control system for diaphragm Wall excavator – Taisei Co.:

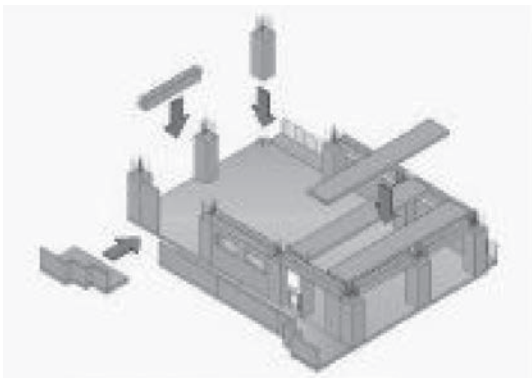
1 – data display, 2 – data processor, 3 – inclinometer, 4 – depth measure device, 5 – displacement measure laser device, 6 – excavator placement measure wire device, 7 – inclinometer, 8 – adjustable guidance, 9 – excavator, 10 – high accuracy excavator's control system

Zautomatyzowane Systemy Realizacji Budynków Wysokich (Design for Robotic ConstructionDfRC)

Czwarta generacja robotów budowlanych znalazła zastosowanie głównie w zautomatyzowanych systemach realizacji wysokich budynków (Automated Building Construction Systems – ABCS). Najnowocześniejsze roboty stosowane są tu do:

- automatycznego transportu poziomego i pionowego elementów nośnych i ścian osłonowych,
- pozycjonowania i zamocowania elementów nośnych i wykończeniowych w miejsce ich budowania,
- prac wykończeniowych.

Idea ABCS polega na zsynchronizowaniu i zintegrowaniu na terenie budowy wszystkich czynności zmierzających do wybudowania kompletnego budynku. Istotne jest, aby uwzględnić wpływ poprzednich etapów procesu wznoszenia budynku na końcowy rezultat. W większości przypadków jest to prefabrykacja i logistyka transportu i magazynowania. Roboty montażowe „on-situ” mogą nie poradzić sobie z niedokładnościami elementów prefabrykowanych. Również czas i moment dostawy istotnie wpływa na przebieg procesu wznoszenia budynku. Te



Rys. 9. Konceptcja i realizacja systemu „Big Canopy” [8]
Fig. 9. The „Big Canopy” concept and realization [8]

i wiele innych sytuacji może doprowadzić do utraty zalet wynikających z automatyzacji budowy.

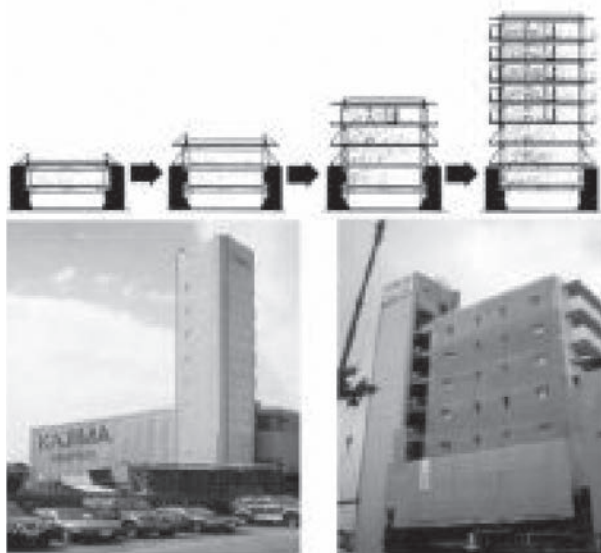
System „Big Canopy” firmy Obayashi jest przykładem odpowiedzi na związane z tym wyzwania. Jego cechą charakterystyczną jest dach tymczasowy, wspierający się na czterech słupach, rozpostarty nad wznoszoną strukturą. Przemieszcza się on górę w miarę postępów w budowie. System ten wykorzystuje elementy prefabrykowane i powstające na miejscu „in situ”. Transport pionowy i poziomy wykorzystuje automatyczne żurawie i podesty oraz roboty, pozwalające na przemieszczanie i orientację elementów konstrukcyjnych w trakcie montażu. System ten powstał w Japonii w połowie lat 80. XX w. i dalej jest rozwijany. Swoje zalety ujawnił w ciągu kilkudziesięciu lat stosowania.

Innym przykładem podejścia ABCS jest system AMURAD firmy Kajima. W przeciwieństwie do „Big Canopy” wznoszenie budynku rozpoczyna się od ostatniego poziomu. W kolejnych etapach jest on sukcesywnie

podnoszony. Dzięki temu montaż elementów poszczególnych pięter odbywa się zawsze na najniższym poziomie.

LITERATURA

- [1] Szlagowski J. 2010. „Automatyzacja pracy maszyn roboczych. Metodyka i zastosowania”. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- [2] Budny E. 2001. „Napęd i sterowanie układów hydraulicznych w maszynach roboczych”. Radom: Instytut Technologii Eksploatacji.
- [3] http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/product_supports/, dostęp 04.2016.
- [4] Hetronic. Karta katalogowa pulpitu GR, <http://www.hetronic.pl/products/6/pdf/GR.pdf>, dostęp 04.2016.
- [5] https://www.kyb-ksm.co.jp/english/products/construction_machinery/construction_machinery-0021.html, dostęp 04.2016.
- [6] <http://www.fujita.com/uploads/technologies/6/RoboQ>, dostęp 04.2016.
- [7] http://www.orsc.co.jp/english/tec/newm_v2/ncon02.html, dostęp 04.2016.
- [8] Bock T. et. al. 2012. “Advanced Construction and Building Technology for Society Proceedings of the CIBW119 CIC 2012 Workshop Laboratory of Building Realization and Robotics”. Technische Universität München (TUM).



Rys. 10. System AMURAD, koncepcja i realizacja [8]
Fig. 10. AMURAD system, concept and realization [8]

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Budny – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa

Dr inż. Mirosław Chłosta – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa, e-mail: m.chlosta@imbigs.pl