

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2017), 26 (2), 276–284  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2017), 26 (2)  
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2017), 26 (2), 276–284  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2017), 26 (2)  
<http://iks.pn.sggw.pl>  
DOI 10.22630/PNIKS.2017.26.2.27

**Andrzej WIĘCKOWSKI**

Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Department of Geomechanics, Civil Engineering and Geotechnics, AGH University of Science and Technology in Krakow

## **Prototypowy manipulator ja-wa do automatycznego betonowania ścian**

### **The prototype manipulator ja-wa for automatic construction of walls**

**Słowa kluczowe:** manipulatory, automatyzacja, budownictwo, systemy sterowania

**Key words:** manipulators, automation, building, control systems

## **Wprowadzenie**

Pośród wielu całkowicie zautomatyzowanych systemów, na przykład: AMURAD (AutoMatic Up-Rising Construction by ADvance Technique; Cousineau i Miura, 1998), SMART System (Shimuzu Corporation; Maeda, 1994), ABSC (Automated Building System Construction; Balaguer i Abderrahim, 2008), rozwijową koncepcją wznoszenia budynków jest CC (Contour Crafting; Khoshnevis, 2004; Balaguer i Abderrahim, 2008) z zastosowaniem automatycznej suwnicy bramowej przemieszczającej się po torach szynowych. Na suwnicy

są dysza układająco-formująca materiał oraz urządzenie do montażu zbrojenia i instalacji. Podczas ruchu dyszy najpierw są formowane krzywo- lub prostoliniowe zewnętrzne powłoki ścian, które jako deskowanie tracone zostają wypełnione materiałem w następnym cyklu przemieszczania dyszy.

Stosowane systemy automatycznego wznoszenia budynków wymagają stworzenia rodzaju mobilnych, automatycznych fabryk na budowie. Wykonawstwo robót w dużej przestrzeni wymaga stabilnych i ciężkich robotów-suwnic wraz z kompletem współpracujących urządzeń. W konsekwencji tego automatyczne zespoły osiągają masę nawet kilkuset ton i więcej. Są to rozwiązania również bardzo kapitałochłonne.

W artykule scharakteryzowano prototypowy system ja-wa, w którym

zastosowano niewielki automatyczny manipulator przemieszczający się po lekkim promie rusztowaniowym, znacząco usprawniający wykonawstwo ścian i uwalniający człowieka od pracy fizycznej.

## System ja-wa

Prototypowy system ja-wa, inaczej technologia jednostronnej aplikacji [materiałów] wędrującym automatem, w której przewidziano automatyzację części procesów realizowanych na budowie przy wznoszeniu ścian warstwowych (Więckowski, 2012; Więckowski, 2013; Skibniewski, Sobczyk i Więckowski, 2014). System ja-wa integruje między innymi informacje o rozwiązaniach konstrukcyjnych z projektu z programem opracowującym marszruty robota, który ma wykonać dane konstrukcje na terenie budowy.

W typowych rozwiązaniach ścian, na wykonanej w pierwszej kolejności warstwie konstrukcyjnej przegrody przenoszącej obciążenia, układa się warstwy izolacji, osłonową i inne. W systemie ja-wa kolejność wykonania przegrody jest odwrotna. Najpierw zostaje ustabilizowana okładzina elewacyjna lub warstwa termoizolacyjna (albo powłoka kurtynowa lub namiot pneumatyczny), której powierzchnia od strony wewnętrznej obiektu pełni w systemie ja-wa funkcje lekkich, jednostronnych deskowań. Następnie jest wykonywana konstrukcja przegrody. Materiał zostaje narzucany warstwami metodą „mokre na mokre”, co umożliwi dobre zmonolityzowanie całości. Aplikowanie materiału w odpowiednich odstępach czasu stabilizuje całość, gdyż obciążenia z warstw nakłada-

nych później przenoszone są na warstwy wykonane wcześniej, które zdążyły już nabrać większej wytrzymałości. Dzięki temu zjawisku możliwe jest budowanie masywnych przegród przy niewielkim obciążeniu powierzchni formującej.

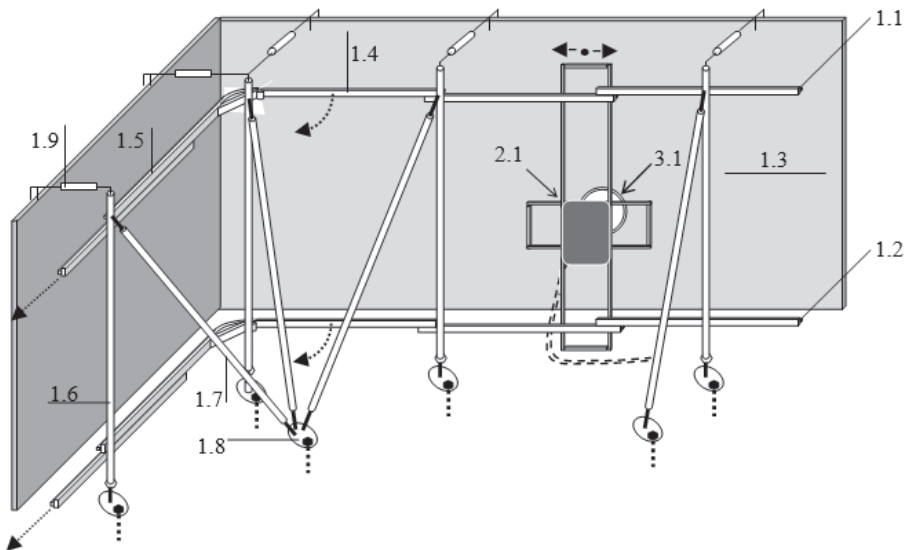
Spełnienie warunków dla zmonolityzowania warstw oraz uzyskania potrzebnej wytrzymałości przez ułożony materiał wymaga obliczeń i analiz, które na bieżąco wykonuje komputer manipulatora. Określane są dopuszczalne najwcześniejsze i najpóźniejsze chwile narzucania materiału w poszczególnych miejscach i czasy dla układania kolejnych warstw. Odpowiednio do tak ustalonych ograniczeń komputer steruje przemieszczaniem manipulatora i narzutnicy oraz przygotowaniem i transportem materiału, jak również kontroluje grubość układanych warstw oraz równość uzyskiwanej powierzchni przegrody.

## Mobilny robot ścienny

Głównymi urządzeniami mobilnego robota ściennego (MRŚ) do budowy ścian w technologii ja-wa są: systemowy prom, manipulator z zespołem aplikatora, agregat dozująco-mieszający z pompą i zasobnik materiału.

Systemowy prom (rys. 1) stanowi lekkie, mobilne rusztowanie, mocowane do podłoża, wyposażone w dwuszynowy tor jezdny, z szynami górnymi 1.1 i dolnymi 1.2. Po torach 1.1 i 1.2, równoległe do wykonywanych przegród 1.3, przemieszcza się manipulator 2.1 wraz z zespołem aplikatora 3.1.

Kompletny prom na czas transportu i magazynowania jest złożony w dwa płaskie segmenty. Segmenty te są prze-



RYSUNEK 1. Mobilny robot ścienny – schemat (opis w tekście)  
 FIGURE 1. The mobile robot wall – scheme (explanations in the text)

mieszczane w całości i ustawiane żurawikiem przywożąc je samochodem.

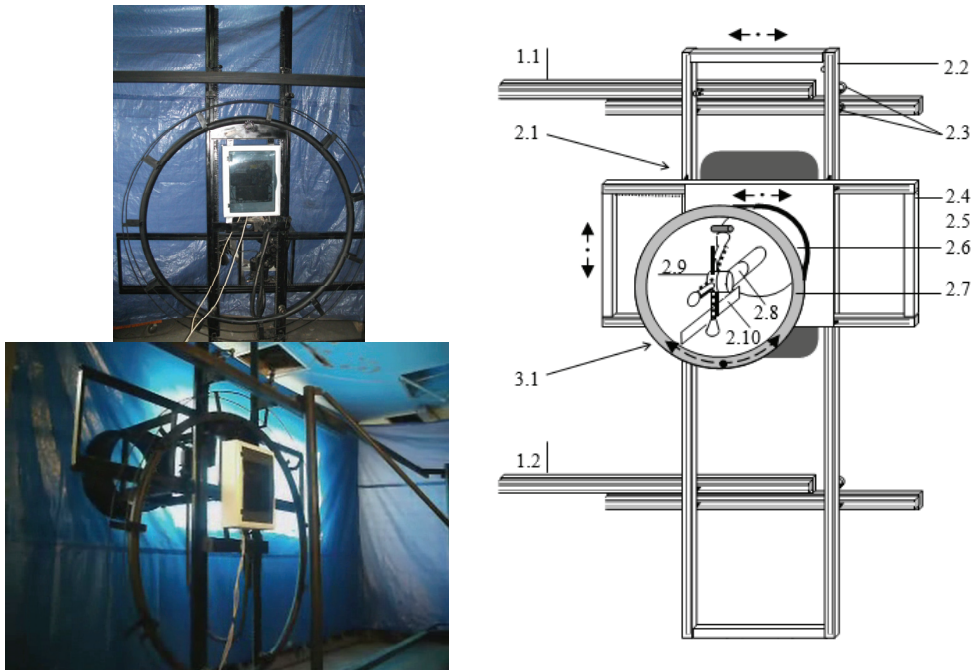
Każdy segment promu odpowiada dwom wznoszonym, sąsiednim ścianom. Na budowie każdy segment rozkłada się i łączy końcowe elementy ze sobą, tak aby powstał zamknięty obwód. Elementy torów 1.4 w narożnikach są rozwierane. Umożliwia to równoczesne otwarcie całej jednej części rusztowania i ustawienie torów równoległe do wykonywanej ściany. Szyny toru na odcinkach 1.5 są zdublowane i połączone obejmami, co umożliwia ich rozsuwanie/zsuwanie względem siebie i bezstopniową regulację długości, odpowiednio do wykonywanych przegród.

Płytki stopowe 1.8 zostają zakotwiczone do stabilnego podłoża śrubami w tulejach rozprężnych. Z płytkami stopowymi 1.8 są one połączone przegubowo, a na nich stabilizowane są słupki 1.6 i rozpory 1.7. Dokładne ustawienia szyn

toru 1.1 i 1.2 zapewniają śruby rektyfikacyjne na dole słupków 1.6 i rozpór 1.7 w połączeniach z płytkami stopowymi 1.8.

Prom służy równocześnie do początkowej stabilizacji jednostronnego deskowania traconego przy wykonywaniu ścian. Jednostronne deskowanie może stanowić na przykład zewnętrzna, docelowa warstwa izolacji termicznej przegrody 1.3. Takie jednostronne deskowanie tracone i świeżo na nim wykonywaną przegrodę 1.3, do chwilizwiązaniabetonu, w planowanym położeniu, są utrzymywane przez górne rozpory 1.9. Rozpory 1.9 są ustabilizowane na słupkach 1.6 systemowego promu.

Manipulator 2.1 z wbudowanymi komputerem i sterownikiem (rys. 2) wraz z zespołem aplikatora 3.1 przemieszcza się po torze promu (po szynach 1.1 i 1.2), wzdłuż wykonywanej przegrody na własnej ramie pionowej 2.2.



RYSUNEK 2. Widok manipulatora MRŚ (od strony komputera) oraz schemat z aplikatorem i osłoną (opis w tekście)  
 FIGURE 2. A view of MRŚ manipulator (from the computer) and schema with the applicator and cover (explanations in the text)

Rama 2.2 ma podwójne rolki jezdne 2.3 (jedne nad drugimi), odpowiednio dla każdej ze zdublowanych szyn 1.1 i 1.2. Na ramie pionowej 2.2, w górę i w dół na ogół, w granicach wysokości kondygnacji porusza się rama pozioma 2.4. W poziomie, po ramie 2.4, w ograniczonym zakresie przemieszcza się płyta 2.5 wraz z zespołem aplikatora 3.1. Do płyty 2.2 jest zamocowana obrotowa osłona stożkowa 2.6 tworząca wraz z wykonywaną przegrodą zamkniętą komorę, zabezpieczającą przed pyleniem i stratami materiału. Osłona 2.6 ma pierścień czołowy 2.7, ewentualnie z wykładziną, do wyrównywania układanej warstwy i zagładzania powierzchni. Wewnątrz osłony 2.6, na płycie 2.5, na ruchomym

wysięgniku 2.8, znajdują się narzutnica materiału 2.9 oraz listwa czyszcząca osłonę 2.10.

Materiał tłoczony przewodem zasilającym w cylindrze narzutnicy jest rozprowadzany do wszystkich czterech giętkich kanałów materiałowych. Przy obrotach narzutnicy każdy kanał wraz ze sprężyną zostaje odgięty przez element stały. Po zwolnieniu z elementu sprężyna z dużą energią przemieszcza giętki kanał, który nagle zatrzymuje zderzak i przez otwór siłą bezwładności zostaje wykatapultowana porcja materiału w postaci chmury pędzących cząstek. Podobnie jak przy torkretowaniu, dynamicznie wystrzelwane, pędzące cząstki materiału kolejno wbijają się, wciskając i roz-

pierając te już ułożone głębiej, dokładnie wpasowują się w wolne przestrzenie i z łatwością wypierają płytko zalegające cząstki powietrza. Proces ten zapewnia dokładne i szczelne zagęszczenie układowanej warstwy.

### Ograniczenia czasowe przy pracy systemem ja-wa

Do wykonania ściany systemem ja-wa niezbędne są specjalistyczne mieszanki betonowe. Mają w nich zastosowanie cementy specjalne z dodatkami mikrozbrojenia oraz cementy o dużym udziale siarczanoglinianów wapnia, charakteryzujące się krótkim czasem rozpoczęcia wiązania cementu od nałożenia oraz szybkim narastaniem wytrzymałości.

Wstępne badania wytrzymałości na ściskanie ( $f_{ck}$ ) zgodnie z PN-EN 12390-1:2001 wykonano w Katedrze Geomechaniki Budownictwa i Geotechniki AGH na prasie walter+bai ag DB 3000 z modułem kontrolnym NS19, na próbkach sześciennych o wymiarach  $100 \times 100 \times 100$  mm, np. z mieszanki Concerte Mix (May, 2017), na cemencie CSA Rapid Set® (May, 2017; [www.bluey.com.au/wp-content/uploads/2012/03/BluCem-CSA-Cem-LR-R2.pdf](http://www.bluey.com.au/wp-content/uploads/2012/03/BluCem-CSA-Cem-LR-R2.pdf); [www.buzziunicemusa.com/docs/cement/csa\\_cement.aspx](http://www.buzziunicemusa.com/docs/cement/csa_cement.aspx)), o początku wiązania  $t_{pw} = 35$  min, przy  $w/c = 0,47$ , potwierdziły możliwość zastosowania takich materiałów w systemie ja-wa (tabela; Więckowski, Zimka, Hajto i Marcinkiewicz, 2016). Pomimo tego, że ceny

TABELA. Wytrzymałości na ściskanie ( $f_{ck}$ ) średnie dla trzech próbek betonu z mieszanki od chwili dodania wody do czasu badania ( $t_w - t_{pw}$ )  
TABLE. Strength compressive strength ( $f_{ck}$ ) averaged from three samples of the concrete mix in the period from adding water to the time of testing ( $t_w - t_{pw}$ )

$f_{ck}$ [MPa]	$t_w - t_{pw}$ [h]
16,4	1,0
24,9	1,5
27,3	2,0
31,5	4,0
37,9	24,0
56,2	178,0

Skład mieszanki: Concerte Mix na cemencie Rapid Set®; czas początku wiązania  $t_{pw} = 35$  min,  $w/c = 0,47$ .

Concrete mixture: Concerte Mix with cement Rapid Set®; initially binding time  $t_{pw} = 35$  min,  $w/c = 0.47$ .

Źródło: May (2017); Bluey CSA dane produktu, pobrane z lokalizacji: [www.bluey.com.au/wp-content/uploads/2012/03/BluCem-CSA-Cem-LR-R2.pdf](http://www.bluey.com.au/wp-content/uploads/2012/03/BluCem-CSA-Cem-LR-R2.pdf).

Source: May (2017), Bluey CSA product information, retrieved from: [www.bluey.com.au/wp-content/uploads/2012/03/BluCem-CSA-Cem-LR-R2.pdf](http://www.bluey.com.au/wp-content/uploads/2012/03/BluCem-CSA-Cem-LR-R2.pdf).

cementów CSA względem cen cementów portlandzkich są prawie trzykrotnie wyższe to zgodnie z analizą cena wykonania  $1 \text{ m}^2$  ściany w systemie ja-wa jest znacznie niższa niż ściany z Porotherm 44 Dryfix (Więckowski, 2012).

W programie dalszych badań nad systemem ja-wa przewidziano opracowanie specjalistycznych kompozytów o przedłużonym czasie wiązania cementu oraz przy ograniczonym udziale cementów CSA.

## Chwile najwcześniejsze narzucenia mieszanki

Dla zmonolityzowania warstw oraz wykorzystania rosnącej wytrzymałości ułożonego materiału występują ograniczenia dla chwil najwcześniejszych rozpoczęć wykonywania warstw i rozpoczęć narzucania mieszanki w dowolnym punkcie warstwy.

W celu zapewnienia realizacji tylko jednej  $i$ -tej warstwy materiału,  $i = 1, 2, \dots, n$ , przy wykonywaniu pierwszej,  $i = 1$ , chwila  $t_i^{WR}$  (najwcześniejszego rozpoczęcia narzucania) zostaje utożsamiona z 0 osi liczbowej lub na przykład z godziną  $7^{00}$  (początkiem zmiany roboczej).

Wówczas chwila  $t_i^{WR}$  najwcześniejszego rozpoczęcia narzucania materiału w każdej kolejnej warstwie  $i > 1$ , tj. w warstwie  $i = 2, \dots, n$ , nie może nastąpić przed chwilą  $t_{i-1}^{WZ}$  najwcześniejszego zakończenia wykonywania warstwy bezpośrednio poprzedzającej  $i - 1$  (wraz z  $\tau_{i-1}^P$  czasem trwania powrotu manipulatora do miejsca startowego).

Natomiast chwila najwcześniejszego zakończenia narzucania materiału w dowolną warstwę  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , występuje zaś po czasie trwania robót  $\tau_i^r$ , przy najwcześniejszym ich rozpoczęciu  $t_i^{WR}$ , w danej warstwie  $i$ .

Chwila  $t_i^{WR}$  najwcześniejszego rozpoczęcia narzucania materiału  $i$ -tej warstwy wynosi więc:

$$t_i^{WR} \geq \begin{cases} 0 \text{ lub np. } 7^{00}, & i = 1 \\ t_{i-1}^{WZ}, & i = 2, \dots, n \end{cases}$$

gdzie:  $t_i^{WZ} = t_i^{WR} + \tau_i^r + \tau_i^P$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Podczas wykonywania warstw  $i$ ,  $i = 3, \dots, n$ , dodatkowo uwzględnia się, aby ich realizacja następowała nie wcześniej niż dopiero po osiągnięciu wytrzymałości  $R_{\min}$  przez już ułożony materiał w analizowanym punkcie  $**A$ , w warstwie  $i - 2$ , który znajduje się pod punktem  $A$ , w układanej warstwie  $i$  (rys. 3). Wytrzymałość  $R_{\min}$  w punkcie  $**A$  występuje po czasie  $\tau^{R\min}$ , licząc od  $t_{i-2,**A}^0$ , czyli chwili zarobienia materiału ułożonego w tym punkcie  $**A$ . Zatem dla spełnienia warunku przeniesienia wymaganych obciążeń przez warstwy zrealizowane wcześniej chwila  $t_{i,A}^{WR}$  najwcześniejszego rozpoczęcia narzucania materiału w punkcie  $A$ , w warstwie  $i$  (który znajduje się nad punktem  $**A$  w warstwie  $i - 2$ ) powinna spełniać relację:

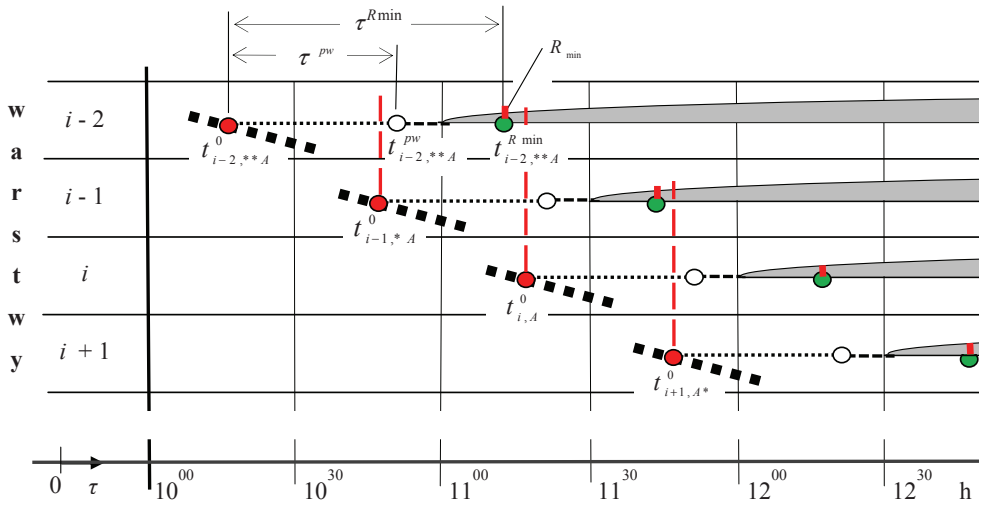
$$t_{i,A}^{WR} \geq t_{i-2,**A}^0 + \tau^{R\min}, \quad i = 3, \dots, n$$

## Chwile najpóźniejsze narzucania mieszanki

Dla chwil najpóźniejszych zakończeń narzucania materiału również występują ograniczenia wynikające z konieczności zmonolityzowania warstw i spełnienia warunku niezbędnej wytrzymałości przez warstwy ułożone wcześniej.

Podobnie jak przy realizowaniu tylko jednej warstwy (z niedopuszczalnością równoczesnego wykonawstwa przez manipulator więcej niż jednej warstwy) przy wykonywaniu warstwy  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n - 1$ , tj. warstw od pierwszej do przedostatniej, chwila  $t_{i+1}^{WR}$  najwcześniejszego rozpoczęcia wykonywania warstwy następczej  $i + 1$  nie może nastąpić wcześniej niż chwila  $t_i^{PZ}$  najpóźniej-





RYSUNEK 3. Chwile  $t_{i-2,**A}^0$  dodawania wody do mieszanek układanych w punktach  $**A, *A, A, A^*$  znajdujących się nad sobą, w kolejnych warstwach  $i-2, i-1, i, i+1$  oraz narastanie wytrzymałości młodego betonu wraz z upływem czasu

FIGURE 3. Moments  $t_{i-2,**A}^0$  adding water to the concrete mix, arranged in points  $**A, *A, A, A^*$  located above each other, arranged in the order of the layers  $i-2, i-1, i, i+1$  and increase the strength of young concrete with time

szego zakończenia narzucania materiału w realizowanej warstwie  $i$ .

Zagadnienie rozwiązuje się przy założeniu, że chwila  $t_i^{PZ}$  najpóźniejszego zakończenia narzucania mieszanki w warstwie ostatniej,  $i = n$ , odpowiada chwili  $t_i^{WZ}$  najwcześniejszego zakończenia wykonywania warstwy  $n$ .

Zatem chwila najpóźniejszego zakończenia narzucania mieszanki w  $i$ -tej warstwie, powinna spełniać poniższe warunki:

$$t_i^{PZ} \leq t_{i+1}^{PR}, \quad i=1, \dots, n-1$$

$$t_i^{PZ} = t_i^{WZ}, \quad i = n$$

W celu uzyskania monolitycznego połączenia warstw narzucanie kolejnej warstwy  $i$  wykonuje się jeszcze przed chwilą początku wiązania materiału w warstwie poprzedniej  $i-1$  (na którą

materiał jest nakładany). Dlatego narzucanie mieszanki w warstwie  $i, i = 2, \dots, n$ , w punkcie  $A$ , musi zostać ukończone, najpóźniej przed chwilą  $t_{i-1,*A}^{pw}$  – początku wiązania materiału w punkcie  $*A$ , w warstwie  $i-1$  (znajdującym się pod punktem  $A$ ). Chwila  $t_{i-1,*A}^{pw}$  następuje po czasie  $\tau^{pw}$ , licząc od chwili  $t_{i-1,*A}^0$ , czyli zarobienia materiału ułożonego w punkcie  $*A$ .

Chwila  $t_{i,A}^{PZ}$  najpóźniejszego zakończenia układania materiału w punkcie  $A$ , w warstwie  $i$  (który znajduje się nad punktem  $*A$  w warstwie ułożonej, poprzedniej  $i-1$ ) powinna spełniać relację:

$$t_{i,A}^{PZ} \leq t_{i-1,*A}^{pw}, \quad i = 2, \dots, n$$

$$\text{gdzie: } t_{i,*A}^{pw} = t_{i,*A}^0 + \tau^{pw}, \quad i = 1, \dots, n.$$

Powyżej wskazano wyłącznie ograniczenia brzegowe, które muszą zostać spełnione przy prawidłowym betonowaniu. Natomiast nie został przedstawiony model obliczeniowy ja-wa dla komputera sterującego pracą całego zespołu.

Model obliczeniowy ja-wa w pewnych fragmentach obejmuje podobne analizy związane z postępowaniem robót do przedstawionych w artykule Wanglera i innych (2016). Równocześnie występuje problem nabierania wytrzymałości w czasie przez młody beton oraz zagwarantowania niezbędnych przerw do chwili obciążenia kolejnymi warstwami wcześniej ułożonego materiału. Nieco zbliżone zagadnienie przeanalizowane zostało w artykule Perrota, Rangearda i Pierre'ego (2016).

## Podsumowanie

System ja-wa cechuje małe zaangażowanie środków technicznych, tj. mała masa oraz mała kapitałochłonność urządzeń.

Koncepcja „wędrującego” robota po mobilnym promie zapewnia precyzyjną realizację czynności w dużej przestrzeni bez konieczności stosowania długich wysięgników i masywnych konstrukcji stabilizujących.

Odwrotna kolejność realizacji prac umożliwia wykonanie przegrody przy mniejszych nakładach robocizny, materiałów i pracy sprzętu, bowiem kompletna ściana zostaje zrealizowana w jednym ciągu technologicznym. Jest to korzystniejsze od rozwiązań standardowych, w których najpierw wykonuje się warstwę konstrukcyjną, zaś w odrębnym cyklu warstwy izolacji termicznej

i warstwę osłonową, do czego trzeba użyć drugiego rusztowania zewnętrznego. W systemie ja-wa nie występuje również konieczność wykonywania pracochłonnych deskowań.

Ma miejsce korzystne uwolnienie człowieka od prac fizycznych i kierowania urządzeniem, przy ograniczeniu działań operatora do wczytania programu.

Kontrolowanie na bieżąco przez komputer chwil zarobienia każdej porcji suchych składników wodą i miejsc ich ułożenia, jak też rosnącej wraz z upływem czasu wytrzymałości młodego betonu (do przenoszenia zwiększających się obciążeń, od kolejno nakładanych warstw w odstępach czasu) umożliwia automatyczne planowanie i sterowanie postępowaniem robót.

## Literatura

- Balaguer, C. i Abderrahim, M. (2008). *Trends in Robotics and Automation in Construction*. Madrid: University Carlos III of Madrid.
- Cousineau, L. i Miura, N. (1998). *Construction robots: the search for new building technology in Japan*. American Society of Civil Engineers, ASCE Publications.
- Khoshnevis, B. (2004): *Houses of the Future Construction by Contour Crafting Building Houses for Everyone*. University of Southern California Urban Initiative. Pobrane z lokalizacji: [http://craft.usc.edu/CC/images/houses\\_future.pdf](http://craft.usc.edu/CC/images/houses_future.pdf); [www.contourcrafting.org](http://www.contourcrafting.org).
- Maeda, J. (1994). Development and Application of the SMART System. W: D.A. Chamberlain (red.) *Automation and Robotics in Construction*. Tom XI (s. 457-464). Elsevier Science B.V.
- May, D. (2017). *Pumpversuche mit CONCRETE MIX bei der Fa. MAI*.
- Perrot, A., Rangeard D. i Pierre, A. (2016). Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Springer Link*, 49(4), 1213-1220.



- PN-EN 12390-1:2001. *Badania betonu. Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form.*
- Skibniewski, M., Sobczyk, A. i Więckowski, A. (2014). Torkret, a ja-wa system oraz nakłady jednostkowe. *XXVII Konferencja Naukowa „Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych”*, Zakopane.
- Wangler, T., Lloret, E., Reiter, L., Hack, N., Gramazio, F., Kohler, M., ... Flatt, R. (2016). Digital Concrete: Opportunities and Challenges. *RILEM Technical Letters*, 1, 67-75.
- Więckowski, A. (2012). The ja-wa integrated automatic wall concreting system. *The 29<sup>th</sup> International Symposium of Automation and Robotics in Construction, Eindhoven, Netherlands* (s. 627-632).
- Więckowski, A. (2013). *Urządzenie do wykonywania przegród budowlanych metodą jednostronnej aplikacji materiału*. Patenty 66639 i 66640 UP RP, Warszawa.
- Więckowski, A., Zimka, R., Hajto, D. i Marcinkiewicz, K. (2016). Cementy i wpływ wskaźnika w/c na właściwości betonu z szybkowiązającym CSA. *XXXIV Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu i Geoinżynierii, Wisła.*

## Streszczenie

**Prototypowy manipulator ja-wa do automatycznego betonowania ścian.** W kontekście technologii automatycznego wznoszenia budynków przeanalizowano prototypowy system ja-wa, który integruje zagadnienia komputerowego sterowania pracą manipulatora z badaniem dopuszczalnego postępu robót (odpowiednio do wyników bieżących analiz narastania w czasie wytrzymałości młodego betonu, ułożonego w war-

stwach wykonanych wcześniej). Narzucanie mieszanki (w kontrolowanych odstępach czasu) wraz z wykończeniem powierzchni przegrody jest wykonywane przez manipulator-automat przemieszczający się po torze systemowego promu. W artykule wykazano racjonalność oraz małą kapitałochłonność badanego rozwiązania.

## Summary

**The prototype manipulator ja-wa for automatic construction of walls.** In the context of automatic construction of buildings analyzed prototype ja-wa system, which integrates aspects of computer controlling the manipulator of the testing of allowable construction progress (according to the results of the analysis rise the endurance of the young concrete, laid in layers made earlier). Imposing of concrete mix (controlled intervals) with finish a surface septum is performed by a computer-controlled manipulator-machine, which moves the track system ferry. Rationality and low capital intensity of analyzed solutions were indicated in the article.

### Author's address:

Andrzej Więckowski  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii  
Katedra Geomechaniki, Budownictwa  
i Geotechniki  
al. A. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków, Poland  
e-mail: awiecko@agh.edu.pl