

INNOWACJE w mechanizacji procesów technologicznych cz. 1

prof. PW, dr hab. inż. Roman Marcinkowski, dr inż. Anna Krawczyńska-Piechna
Politechnika Warszawska
dr inż. Sławomir Biruk
Politechnika Lubelska

Technologia, rozpatrywana przez pryzmat stosowanej w niej mechanizacji, wpływa na organizację robót, warunki pracy robotników, tempo budowy, jakość wykonania, bezpieczeństwo pracy, wizerunek wykonawcy i inne cechy budowy.

Nowoczesność przejawia się tu głównie w usprawnianiu procesów budowlanych poprzez zastosowanie nowoczesnego osprzętu i konstrukcji pomocniczych, doskonalonych maszyn, stosowaniu nowoczesnych systemów kontroli i diagnostyki, implementacji automatyzacji i robotyzacji [2]. Mechanizacja przebiega w dwóch odmiennych kierunkach. Powstają coraz większe wysokospecjalizowane maszyny i następuje rozwój drobnych maszyn oraz elektronarzędzi. Wydaje się, że mechanizacja drobnych, ale uciążliwych prac ma nie mniejszy wpływ na obniżenie pracochłonności w budownictwie, co zastosowanie ciężkich maszyn budowlanych. Spójrzmy na te stimulatory nowoczesności budownictwa przez pryzmat osiągnięć XXI wieku.

Monolityczne budownictwo betonowe

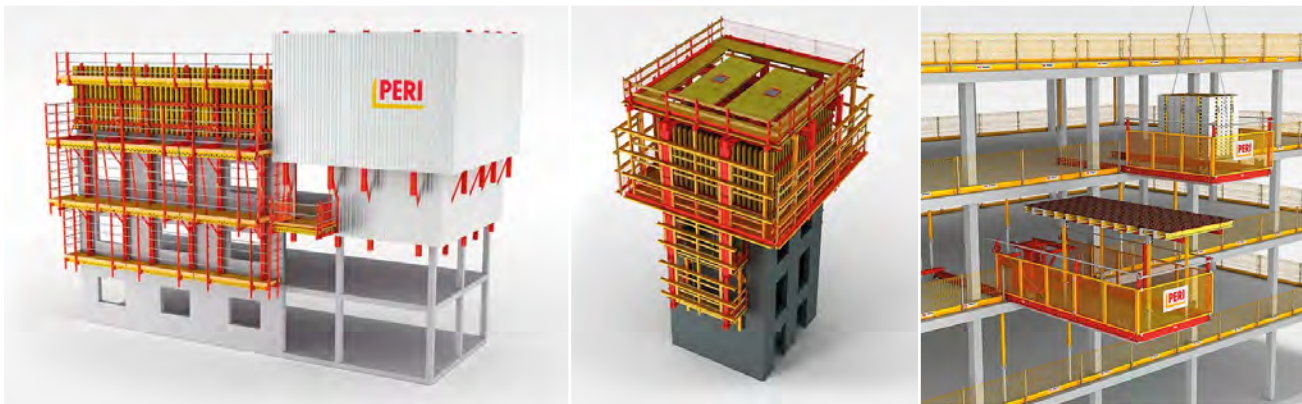
Powszechność konstrukcji z betonu w budownictwie implikowała poszukiwanie coraz lepszych rozwiązań technologicznych. W przeszłości zaznaczyły się tu dwa trendy: wznoszenia konstrukcji obiektów z prefabrykatów przygotowywanych w zakładach prefabrykacji oraz uprzemysłowienie budownictwa betonowego na budowie. Ostatnie lata wskazują na zdecydowaną przewagę betonowego budownictwa monolitycznego,

głównie za sprawą postępu technicznego w przygotowywaniu deskowań, konstrukcji zbrojeń, wytwarzaniu, transporcie i układaniu mieszanki betonowej.

Szczególnie istotny postęp obserwujemy w urządzeniach formujących konstrukcje betonowe. Producenci tych urządzeń, tzw. firmy deskowaniowe, prześcigają się z ofertami deskowań systemowych dostosowanych do różnych warunków realizacji robót. Powszechny już od wielu lat system samowznoszących się deskowań ACS (ang. *Automatic Climbing System*) do wykonywania ścian stał się inspiracją do opracowania systemu CPP (ang. *Climbing Protection Panel*), zastosowanego po raz pierwszy w Polsce przy budowie kompleksu Rondo 1 w Warszawie. Konstrukcje te (rys. 1.) służą do stworzenia klimatu produkcyjnego w wykonawstwie robót betonowych, uzyskiwania dużych wydajności (2–3 kondygnacje budynku trzonowego w czasie 10 dni), zapewnienia bezpiecznych warunków pracy robotnikom, ograniczenia wysiłku fizycznego robotników i operacji technologicznych. Doskonałe są też inne konstrukcje formujące elementy betonowe. Dostępne są na rynku deskowania stropowe (stolikowe – rys. 1., panelowe, dźwigarkowe), deskowania słupów, konstrukcji fundamentowych, ścian krzywoliniowych, specjalne konstrukcje do

wykonywania szybów dźwigowych, trzonów budynków itp. Wszystkie te rozwiązania są coraz doskonalsze pod względem funkcjonalnym, trwałości, ergonomii i bezpieczeństwa robót. Ich elementy cechują się uniwersalnością zastosowań w różnych systemach deskowaniowych.

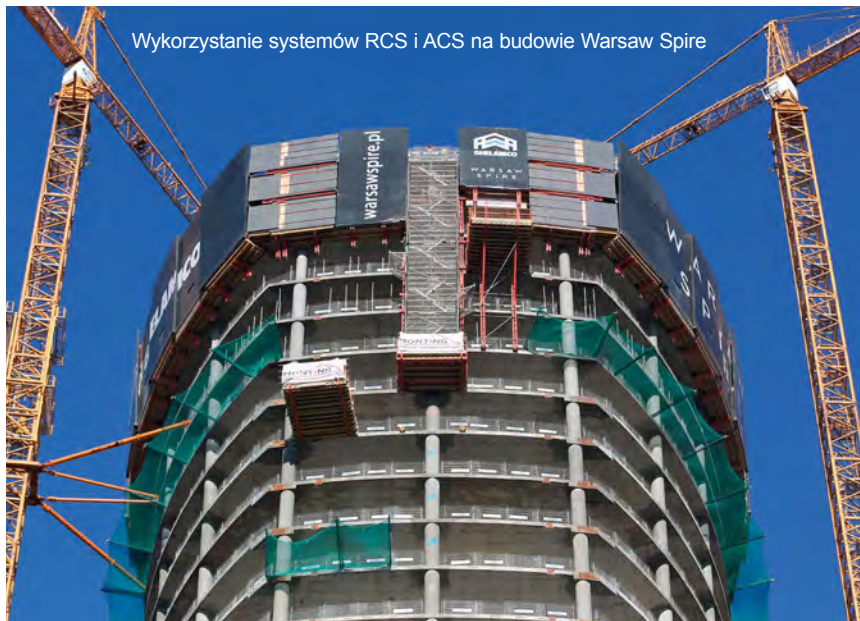
Szczególnie doskonalone są deskowania stropowe, których konstrukcja stanowi istotny czynnik efektywności wykonywania żelbetonowej konstrukcji budynków. Dostępne są w tym względzie innowacyjne systemy deskowań aluminiowych z poszyciem wykonanym z płyt GFK, sklejk, płyt z włókna szklanego, jak również z tworzyw sztucznych. Na przykład system deskowania stropowego firmy TITAN wykonany w całości z aluminium z combipanelami HV (panele z dźwigarkami) pozwala osiągnąć pracochłonność rzędu 0,1 r-g/m² powierzchni deskowania. Modułowość tego systemu pozwala zadeskować dowolne powierzchnie, na których występują słupy, narożniki ścian i/lub belki, bez użycia żurawia – przez jednego pracownika. System podpór z głowicami opadowymi pozwala uwalniać stopniowo elementy formujące, minimalizując tym samym liczbę elementów niezbędnych do prowadzenia robót na obiekcie. Lekkie podpory zorientowane są na zabudowę „od dołu”, bez konieczności prowadzenia prac na niezabezpieczonej powierzchni.



Rys. 1. Zautomatyzowane systemy deskowań i osłon firmy PERI [7]

Konstrukcje deskowań muszą być nieraz wynoszone na znaczne wysokości. Wykorzystuje się do tego innowacyjne podpory i rusztowania podporowe, których wysokość wynosi kilkadziesiąt metrów. Są to konstrukcje coraz doskonalsze pod względem montażowym. Na przykład konstrukcję TG 60 firmy Layher buduje się z trzech rodzajów elementów (ramy nośnej o masie 18 kg, stężenia oraz rygla), konstruując kolumny podporowe, rusztowania o zmiennej geometrii oraz wieże do wysokości 100 m. Dzięki połączeniom bezśrubowym i unifikacji uzyskuje się wysokie tempo montażu i demontażu tych konstrukcji.

Postęp jest widoczny również w technikach przygotowania zbrojeń elementów żelbetonowych, przygotowaniu i transporcie mieszanki betonowej oraz jej układaniu i zagęszczaniu. Mamy w tym względzie maszyny specjalistyczne, automaty na liniach przygotowania szkieletów zbrojeń, pompy do betonu o różnym zastosowaniu. Do wytwarzania mieszanki betonowej o wymaganych właściwościach wykorzystywane są całkowicie zautomatyzowane i w wielu przypadkach mobilne wytwórnie betonu. Transport zewnętrzny mieszanki betonowej odbywa się za pomocą specjalizowanych środków samochodowych, niekiedy wyposażonych w pompy do podawania mieszanki betonowej na konstrukcję. Wyzwaniem przy budowie wysokich budynków o konstrukcji żelbetonowej jest przygotowanie systemu do podawania mieszanki betonowej na poziom roboczy i jej układania w przygotowanych deskowaniach. Wykorzystuje się tu rozdzielacze pełzające montowane w szybach windowych oraz rozdzielacze przestawne – ustawiane na poziomie realizacji robót betonowych. Pracuje się też nad technologiami układania mieszanki betonowej, oferując różne rozwiązania do danych warunków (wibratory pogrążalne, listwy wibracyjne, wibratory przyczepne itd.). Z różnorodności ofert sprzętu budowlanego i maszyn do wykonywania procesów roboczych w monolitycznym budownictwie betonowym tworzy się



Piotr Dzięgielewski

Pełnomocnik Zarządu ds. Rozwoju, PERI Polska

Przyszowie: „Potrzeba jest matką wynalazków” wydaje się dobrze opisywać zmiany zachodzące w dziedzinie formowania skomplikowanych konstrukcji żelbetonowych, ze szczególnym naciskiem na budownictwo wysokie. Historia uczy, że poszukiwanie zwiększonej wydajności prowadzi prędzej lub później do przekazania pracy maszynom. Im większej wydajności oczekujemy, tym bardziej specjalistycznego sprzętu będziemy potrzebować. Takimi maszynami są właśnie systemy samoczynnego wspinania firmy PERI. Mają postać kilkupoziomowych pomostów, tymczasowo kotwionych do wznoszonej przez siebie konstrukcji budynku, i pełniących różnorakie funkcje. Niektóre systemy zintegrowane są z deskowaniami i formując elementy pionowe poszczególnych kondygnacji budynku, po czym wspinają się samoczynnie na kolejne poziomy. Inne chronią pracujących na wysokości ludzi przed upadkiem i ekspozycją na warunki atmosferyczne, jeszcze inne umożliwiają bezpieczną i wydajną komunikację personelu, wspomagają transport pionowy elementów deskowań lub rozładunek materiałów. Wszystkie systemy wyposażone są w napęd hydrauliczny w wersji stałej lub mobilnej, uwalniając tym samym potencjał pracy żurawia do zadań innych niż codzienna obsługa deskowań.

Mnogość odmian systemów samoczynnego wspinania odpowiada zapotrzebowaniu rynku na zwiększenie wydajności produkcji budowlanej, przy zachowaniu najwyższego poziomu bezpieczeństwa, niezależnie od wysokości, schematu konstrukcyjnego, czy stopnia skomplikowania geometrii wznoszonego obiektu. Nowości w ofercie PERI rodzą się dzięki kompleksowemu spojrzeniu na proces budowlany i dogłębnej analizie potrzeb jego uczestników. Systemy wspinania znajdują uznanie użytkowników, o czym świadczy ponad pół tysiąca zrealizowanych projektów z ich użyciem.

Tablica 1. Systematyka technologii stosowanych w geotechnice

Grupa	Technologie	Grupa	Technologie
Posadowienie bezpośrednie	Geodreny + przeciążenie	Posadowienie pośrednie (wg sztywności)	Iniekcja rozpychająca CG (<i>Compaction Grouting</i>)
	Dynamiczne zagęszczanie IC, DC, DR		Iniekcja rozrywająca (<i>Soilfrac</i>)
	Dynamiczne ubijanie kolumny kamienno-żwirowe DR		Wgłębne mieszanie gruntu na sucho (d-DSM)
	Wibroflotacja, kolumny ps. – żwirowe KSS		Wgłębne mieszanie gruntu na mokro (w-DSM)
Posadowienie głębokie	Pale przemieszczeniowe (DP, VDP, Prefabrykaty)		Iniekcja strumieniowa <i>Soilcrete</i> (<i>Jet Grouting</i>)
	Pale CFA, Pale w orurowaniu, Mikropale		Kolumny CSC, kolumny betonowo-żwirowe
	Ściany szczelinowe, Baretę		



Rys. 2. Budowa części podziemnej obiektu metodą stropową: a) hydrofrez, b) chwytak, c) murki prowadzące dla baret, d) otwór technologiczny w stropie pośrednim [9]

swoistego rodzaju linie produkcyjne, zapewniające przemysłową efektywność wykonania konstrukcji żelbetowych.

Budowa podziemnych części budynków

Budowa podziemnych części budynków może być bardzo dużym wyzwaniem. Budujemy w różnych warunkach hydrogeologicznych, w wielu przypadkach – o dużej liczbie kondygnacji podziemnych, w obszarach istniejącej zabudowy, przy różnych rozwiązaniach przestrzennych i konstrukcyjnych. Osiągnięcia w technologiach geotechnicznych są ogromne. Dotyczą one różnego rodzaju budownictwa.

Specjaliści od geotechniki, pomijając aspekt obiektu budowlanego, systematyzują technologie wzmacniania gruntu i fundamentowania, tak jak to przedstawiono w tablicy 1. Technologie te prowadzą do zmiany warunków posadowienia obiektów, są dobrze określone pod względem wymiarowania konstrukcji, warunków technicznych wykonania i odbioru robót (w tym monitorowania jakości robót) oraz niezbędnej mechanizacji prac.

Różnorodność rozwiązań technologicznych i warunków ich zastosowań nie pozwala na scharakteryzowanie, w krótkim opracowaniu, innowacji i osiągnięć technicznych w tym obszarze. Nie wszystkie też technologie mają zastosowanie przy budowie budynków. Dlatego, odnosząc się do budowy podziemnych części budynków, podamy jedynie wybrane możliwości technologiczne, o dość uniwersalnym zastosowaniu. Trzeba też zdawać sobie sprawę z tego, że rozwój technologii w geotechnice jest ściśle związany z mechanizacją tych robót. W użyciu jest wiele specjalistycznych maszyn i urządzeń wyposażonych w systemy sterowania i monitorowania pracy oraz uzyskiwa-

nych parametrów wykonywanych procesów technologicznych.

Powszechną technologią budowy części podziemnych budynków zlokalizowanych na obszarach zabudowanych jest zapewne metoda stropowa. Jak wiemy, polega ona na wykonywaniu kondygnacji podziemnych przy wykorzystaniu ścian szczelinowych i baret (lub pali) oraz otworów technologicznych, umożliwiających przenoszenie procesów technologicznych w coraz to niżej położone części budynku [8]. Do przeprowadzania procesów technologicznych wykorzystywany jest specjalistyczny sprzęt do wykonywania ścian szczelinowych, urabiania gruntu w ograniczonej ścianami i stropami przestrzeni oraz robót związanych z tworzeniem podziemnych konstrukcji żelbetowych (rys. 2 a–d). Technologia ma wiele zalet, a głównie: skrócenie czasu realizacji, obniżenie kosztów budowy, możliwość wykonywania w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących budowli (ok. 30 cm od lica istniejących obiektów), zabezpieczenie stateczności wykopu budowlanego i przeciwiwfiltracyjnej przegrody pionowej oraz możliwość wykonania konstrukcji posadowionej do głębokości 25–30 m.

Drugą technologią specjalistyczną mającą zastosowanie przy fundamentach budynków są różnego rodzaju iniekcje. W budownictwie znane są: iniekcja *soilfrac* (tzw. rozrywająca), powodująca rozrywanie struktury gruntu i penetrację zaczynu cementowego w gruncie (wywołując dodatkowe naprężenie w gruncie) oraz iniekcja strumieniowa *soilcrete*, wykorzystywana do wzmacniania i uszczelniania wszystkich rodzajów gruntów poprzez formowanie w gruncie brył cementogruntu (mieszanka rodzimego gruntu i zaczynu cementowego). Wysokie ciśnienia robocze stosowane w tej ostatniej technologii (200–600 atm.) służą nadaniu strumienio-

wi w wody lub zaczynu cementowego wysokiej energii, a nie bezpośrednio oddziaływaniu na otaczające żerdź wiertniczą podłoże gruntowe; to z kolei umożliwia prowadzenie robót bez wstrząsów i wibracji, wykonywanie brył cementogruntu o dowolnym kształcie, wzmacnianie podłoża, w którym występują przeszkody, jak np. fundamenty. Urządzenia technologiczne pozwalają na bardzo różnorodne zastosowania, na przykład na prowadzenie robót przy ograniczeniach wysokości i powierzchni (m.in. w piwnicach). Podczas wykonywania iniekcji kontrolowane są parametry robocze, takie jak: objętość pompowanego iniektu, ciśnienie iniekcji, prędkość pompowania iniektu, skład i stabilność zaczynu iniekcyjnego, a także inne parametry stosowanych urządzeń – maszyn.

Iniekcje są wykorzystywane w geotechnice w różnych celach. Mogą być stosowane przy korygowaniu położenia obiektów w gruncie, do wzmacniania gruntu, do wykonania zakotwień w gruncie itd. Dają się zastosować pod obiektami budowlanymi bez zagrożenia dla budynków sąsiednich, w praktycznie każdym warunkach gruntowych. ■

Artykuł opracowano na podstawie materiałów z konferencji KILiW PAN i KN PZITB Krynica 2017

Bibliografia części 2.

- [2] Adamowski J, Lewandowski J.: Tendencje i wybrane problemy stosowania automatyzacji i robotyzacji w budownictwie. Przegląd Budowlany 2012, nr 7-8.
- [7] materiały informacyjne firmy PERI: www.peri.com/en/products/civil-engineering-solutions/climbing-systems.
- [8] Szmilewski W., Ledzińska A., Godziba P.: Metody budowy części podziemnej budynków głębokich na podstawie realizacji inwestycji Wolf Marszałkowska i Wolf Bracka. Inżynier budownictwa 2010. Dostępny w: www.inzynierbudownictwa.pl.
- [9] materiały informacyjne dostępne w: www.geotekst.pl/artykuly/technologie/metoda-stropowa.

Abstract. Technological innovations in construction. Technology and mechanisation of works are two main areas of developments in construction. A series of articles presents the latest achievements in building technology that refer to mechanisation of works. The modernity manifests itself through innovative building machines and equipment, powerful temporary structures, intelligent diagnostic and control devices, automation and robotics involved into various construction works. The authors reviewed the most recent accomplishments of the construction industry that improve efficiency and quality of works, increase safety conditions, expand competitiveness between construction contractors and, thus, elevate building construction techniques.

Keywords: innovations, building works technology, mechanisation in construction