

mgr inż. Łukasz Majkowski<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-4575-8638

dr hab. inż. Jerzy Paślawski, prof. PP<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0002-5570-2363

# Flexible Formwork Flow 4.0 – usprawnienie modelu zarządzania deskowaniami na budowie w myśl zasad Przemysłu 4.0

*Flexible Formwork Flow 4.0 – improvement of formwork management on site in accordance with the principles of Industry 4.0*

DOI: 10.15199/33.2022.12.18

**Streszczenie.** W wyniku badań opisywana koncepcja 3F4 została uzupełniona o system geolokalizacji i monitoring dostępny w trybie rzeczywistym. Jednocześnie należy pamiętać, iż bieżące nakłady kosztów ulegają ciągłym zmianom i są na bieżąco aktualizowane w systemie 3F4. Dzięki wprowadzeniu metodologii Lean i/lub Agile uzyskujemy pewność, że budowa działa w sposób zapewniający stabilizację procesów budowlanych oraz możliwość dostosowania do zmian. Chociaż te dwie koncepcje wymagają podjęcia innych kroków w kierunku osiągnięcia różnych celów, jednak właściwe ich połączenie z uwzględnieniem metod klasycznych i idei Przemysłu 4.0 pozwala w efekcie osiągnąć efekt synergii – usprawnienie analizowanego procesu.

**Słowa kluczowe:** Construction 4.0; Industry 4.0; Lean Management; Flexibility; deskowania; rusztowania; badania nakładów roboczych; budowa; proces montażu; podwykonawcy; siła robocza; sprzęt budowlany; nowoczesne technologie; czujniki RFID.

**Abstract.** As a result of studies, the concept 3F4 has been supplemented by a new geolocation system and real-time monitoring. At the same time, it should be remembered that the current cost outlays are constantly changing and are constantly updated in the 3F4 system. Thanks to the introduction of Lean and/or Agile methodologies, we can be sure that the construction works in a way that ensures the stabilization of construction processes and the possibility of adapting to the following changes. Although these two concepts require taking other steps towards achieving different goals, the proper combination of them, taking into account classic methods and the idea of Industry 4.0, allows, as a result, to achieve a synergy effect – improvement the analyzed process.

**Keywords:** Construction 4.0; Industry 4.0; Lean Management; Flexibility; formwork; scaffolding; work-hourly research; construction; assembly process; subcontractors; workforce; construction equipment; modern technologies; RFID sensors.

W artykule pojawią się anglojęzyczne sformułowania, tj.: Industry 4.0, Construction 4.0, Lean, Workflow oraz Flexibility. O ile słowo *Flexibility* w dosłownym tłumaczeniu oznacza elastyczność i w tym samym kontekście będzie stosowane, o tyle *Lean*, jako szczupłość, uszczuplenie oraz *Workflow*, jako praca płynna są sformułowaniami, które dotychczas nie doczekały się w języku polskim pojęcia, które w pełni oddawałoby ich sens. Analogicznie jest w przypadku *industry*, jako przemysłu (w ujęciu globalnym), natomiast *construction* może oznaczać konstrukcję (danego elementu) lub budowę (w ujęciu globalnym). W obu przypadkach numer 4.0 będzie wskazywał na ich czwartą generację.

W artykule przedstawiono koncepcję modelu zarządzania deskowaniami na budowie w ujęciu hybrydowym, z dosłownym odniesieniem do metody tradycyjnej (harmonogram) przez *Lean* (przez identyfikację i ograniczenie zdefiniowanych marnotrawstw) po doprecyzowanie środowiska *Agile* (przez stałe dostosowywanie się do zmiennego otoczenia) oraz uwzględnienie idei Budownictwa 4.0 (zarząd-

zanie w czasie rzeczywistym). Analiza marnotrawstwa (w tym przypadku strat czasowych w montażu) wywodząca się z metody *Lean* będzie źródłem realnych danych, w których punktach generowane są straty czasowe i finansowe.

Artykuł zawiera również analizę możliwości usprawnienia modelu zarządzania deskowaniem na budowie w świetle własnych obserwacji i dotychczasowych opracowań podejmujących tematykę wyboru systemu deskowań. Celem analizy i poszczególnych rozpatrywanych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych jest zbadanie rzeczywistej prędkości w warunkach obecnie dostępnej ograniczonej siły roboczej (oraz braku jej odpowiednich kwalifikacji), jak również usprawnienia procesu montażu/demontażu deskowań. Dodatkowe zastosowanie systemu monitoringu wytrzymałości betonu oraz czujników RFID (+ monitoring) i czujników GPS (z wykorzystaniem technologii śledzenia pozycjonowania) niektórych kluczowych elementów deskowania na budowie i badanie ścieżki właściwego użytkownika oraz bieżące raportowanie tych danych kierownictwu budowy/kontraktu może pozwolić na skrócenie harmonogramu prac oraz wypracowanie dodatniego wyniku ekonomicznego kontraktu (analiza marnotrawstwa). Pozyskiwanie

<sup>1)</sup> PERI Polska Sp. z o.o. Oddział Poznań

<sup>2)</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

<sup>\*</sup>) Adres do korespondencji: lukasz.majkowski@doctorate.put.poznan.pl

w ten sposób bieżących danych (których obecnie nie ma) doprowadzi do znalezienia miejsc, w których występują realne straty czasu pracy.

## Przemysł 4.0

Pojęcie Przemysł 4.0 pojawiło się po raz pierwszy w Niemczech w 2011 r. w programie strategii wysokich technologii rządu Niemiec, który miał promować komputeryzację procesów wytwórczych w odpowiedzi na działania konkurencji z Azji. Przemysł 4.0 [1] może być zdefiniowany jako:

- nowy wiek technologiczny produkcji wykorzystujący systemy cyberfizyczne i Internet Rzeczy [2], danych oraz usług do łączenia technologii produkcyjnych z inteligentnymi procesami produkcji;
- zbiorowy termin dotyczący technologii i koncepcji organizacji łańcucha wartości (Hermann 2016);
- horyzontalna i wertykalna inteligentna sieć ludzi, maszyn, obiektów i systemów ICT w czasie rzeczywistym, w celu dynamicznego zarządzania złożonymi systemami (Schuh 2016).

Przemysł 4.0 zmienia rolę ludzi oraz technologii w przemyśle i w związku z tym zmienia oczekiwania klientów. Inteligentniejszy niż dotychczas stosowany sprzęt stanowi podstawę technologiczną Przemysłu 4.0. Analiza dużych zbiorów danych z zastosowaniem sztucznej inteligencji wprowadza Przemysł 4.0 do następnego poziomu wydajności. Plan przejścia z Przemysłu 3.0 na Przemysł 4.0 staje się koniecznością.

## Budownictwo 4.0 (Construction 4.0)

Pomimo wielu definicji i braku jasnych informacji wydaje się, że panuje zgoda co do uznania Budownictwa 4.0 za *zastosowanie Przemysłu 4.0 do sektora budowlanego*. Innymi słowy Budownictwo 4.0 jest wprowadzeniem cyfryzacji budowlanej (*construction digitalization*). Może być określone bardziej szczegółowo jako:

- innowacyjna technika zarządzania budową, bazująca na technologiach Przemysłu 4.0, które pozwalają na stworzenie inteligentnego placu budowy;
- proces wdrażania systemów cyberfizycznych w celu osiągnięcia optymalnej wydajności w budownictwie;
- połączenie technologii cyberfizycznych, które wspierają inteligentną budowę, modelowanie cyfrowe (Building Information Modeling, BIM); replika potencjalnych i rzeczywistych zasobów fizycznych, procesów, ludzi, miejsc, systemów i urządzeń, symulacji i wizualizacji.

Budownictwo 4.0 bazuje na czterech zasadach projektowania [1]:

- wzajemne połączenia i interoperacyjność;
- przejrzystość informacji (wirtualna rzeczywistość i rozszerzona rzeczywistość);
- decentralizacja decyzji (BIM, chmura);
- pomoc techniczna (drony, roboty, drukowanie 3D).

Budownictwo 4.0 i technologie, które go dotyczą, nie przyniosą sukcesu, jeśli nie zajmiemy się jednocześnie kwestiami dotyczącymi wydajności. Obejmują one np. wzmocnienie podstaw planowania procesów i znaczne zwiększenie zaangażowania zainteresowanych stron.

Podstawowe zasady Budownictwa 4.0 [1] odzwierciedlają zasady Przemysłu 4.0. Obejmują one: Integrację Horyzontalną i Wertykalną (*Horizontal & Vertical Integration*), Kompleksową Integrację Łańcuchów Dostaw (*End-to-end supply chain integration*), Możliwość Pracy w Czasie Rzeczywistym (*Real-time capability*), Wirtualizację (*Virtualization*), Modułowość (*Modularity*), Decentralizację (*Decentralization*), Interoperacyjność (*Interoperability* – współdziałanie), Inteligentne produkty, budowy i procesy (*Smart products, site, processes*), Integrację Systemów (*Systems integration*), Społeczną odpowiedzialność przedsiębiorstw (*Corporate social responsibility* – obowiązki pracowników, akcjonariuszy, kwestie związane z emisją dwutlenku węgla) oraz dostosowanie do wymagań klienta (*Customization*). Realizacja podstawowych zasad Budownictwa 4.0 jest wspierana przez wiele technologii, które są wdrażane w ramach Przemysłu 4.0. Zakres technologii ma jednak zróżnicowany termin „dojrzenia” w kontekście Budowy 4.0. Każda z technologii będzie miała jeden lub więcej przejawów w ramach inżynierii i budownictwa. Największa moc będzie wynikać z efektu „sieci”, przy czym wartość dodana zostanie utworzona przy każdym nowym wystąpieniu wdrożonej technologii, takiej jak: Internet Rzeczy (*IoT – Internet of Things*), Internet Serwisów, Internet Ludzi, Systemy Cyberfizyczne, Symulacje i Modelowanie, Rozszerzona Rzeczywistość (*AR – Augmented Reality*), Wirtualna Rzeczywistość (*VR – Virtual Reality*), Mieszana Rzeczywistość (*Mixed Reality*), Analizy Dużych Zbiorów Danych (*Big Data Analytics*), Chmury Obliczeniowe (*Cloud Computing*), Internet danych/Wspólne środowisko danych (*Internet of Data/Common Data Environment – CDE*), Łańcuch Bloków (*Blockchain*), Cyberbezpieczeństwo (*Cybersecurity*), Wartość Dodana (*Additive Construction*), Automatyzacja/Robotyzacja Konstrukcji (*Automation/Construction Robots*), Technologia Semantyczna (*Semantic Technology*).

Wraz z Czwartą Rewolucją Przemysłową i powstającymi ramami Przemysłu 4.0, budownictwo ma również możliwość przejścia na bardziej wydajną produkcję, modele biznesowe i łańcuchy wartości. Taka transformacja jest możliwa dzięki konwergencji istniejących i powstających technologii, które stanowią część Przemysłu 4.0. Najważniejsze korzyści wynikające bezpośrednio z wdrażania Budownictwa 4.0 to m.in. [2]:

- **zapewnienie innowacyjnego środowiska.** Ramy Budownictwa 4.0 mogą stanowić właściwy zestaw podmiotów, które pozwolą zakorzenić się w branży myślenia innowacyjnego. Dzięki integracji warstwy fizycznej i cyfrowej prawdopodobne jest, że ta innowacja doprowadzi do zintegrowanych rozwiązań, które znajdują się w centrum fragmentacji poziomej, pionowej i wzdłużnej, dominującej obecnie w branży;

- **poprawa zrównoważonego rozwoju.** Zintegrowane Budownictwo 4.0 pozwala przemysłowi w pełni przyjąć podejście bazujące na cyklu życia i zapewnić ostrożne wykorzystanie zasobów przy znacznym zmniejszeniu emisji i zużycia energii;

- **poprawa obrazu branży.** Budownictwo jest dobrze znane z trudnego środowiska pracy oraz niskiego poziomu automatyzacji i cyfryzacji. Technologie cyfrowe w Budownic-

twie 4.0 mogą poprawić wizerunek branży przez przekształcenie pracy, pracownika i miejsca pracy oraz uczynić ją bardziej atrakcyjną w przypadku rekrutacji i zatrzymywania bardzo zdolnych osób;

■ **oszczędność kosztów.** Wykorzystanie uprzemysłowionej konstrukcji wspieranej przez technologie cyfrowe, BIM i CDE może przyczynić się do zmniejszenia nieefektywności i marnotrawstwa. Robotyka i automatyzacja mogą spowodować zmniejszenie kosztów bezpośrednich. Dostęp w czasie rzeczywistym do warstwy fizycznej z dużą ilością danych usprawni podejmowanie decyzji i zapewni zespołom projektowym finansową zachętę do współpracy i innowacji;

■ **oszczędność czasu.** Nowoczesne metody budowy, takie jak prefabrykacja, produkcja dodatków i montaż na miejscu, poprawiają szybkość realizacji budowy. Dzięki dostępowi do danych połączonych w czasie rzeczywistym można uniknąć potencjalnych opóźnień, co pozwala zaoszczędzić czas;

■ **zwiększenie bezpieczeństwa.** Budownictwo 4.0 zwiększa bezpieczeństwo na miejscu budowy. Szkolenia bazujące na rzeczywistości rozszerzonej/rzeczywistości wirtualnej (AR/VR), łączność obiektów, rzeczy i ludzi oparta na technologii Internetu Rzeczy (IoT), przetwarzanie obrazu i wideo zwiększają bezpieczeństwo;

■ **bardziej przewidywalny czas i koszty.** Dzięki monitoringowi w czasie rzeczywistym, zautomatyzowanemu gromadzeniu danych w witrynie, narzędziom analitycznym, przetwarzaniu obrazu oraz sztucznej inteligencji można zwiększyć przewidywanie czasu i kosztów bieżących projektów. Dostępność dużej ilości danych historycznych i informacji może pomóc w wyznaczaniu poziomów odniesienia i przewidywania kosztów nowych projektów, umożliwiając tym samym integrację wzdłużną;

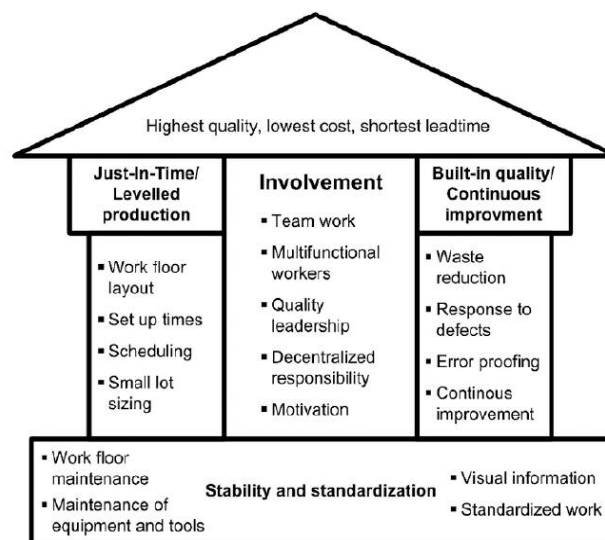
■ **poprawa jakości.** Integracja pozioma i pionowa wynikająca z przyjęcia ram Budownictwa 4.0 umożliwia monitorowanie i kontrolę procesów projektowania oraz produkcji, a tym samym poprawę jakości konstrukcji;

■ **poprawa współpracy i komunikacji.** Korzystanie z opartych na chmurze narzędzi do zarządzania projektami, Blockchain, centralnego magazynu informacji i dostępu do danych w czasie rzeczywistym zwiększa zaufanie między członkami zespołu projektowego i usprawnia komunikację, koordynację oraz współpracę;

■ **zorientowane na klienta i użytkownika końcowego.** Dzięki zmniejszeniu liczby żmudnych i często wykonywanych zadań zespół projektowy koncentruje się na tworzeniu wartości i skupieniu się na tym, co najważniejsze dla klienta.

## Wybór systemu deskowań z uwzględnieniem zasad Lean Construction w celu zwiększenia wydajności pracy na budowie

LEAN to filozofia zarządzania, której celem jest nieustanna eliminacja marnotrawstwa i maksymalizacja wartości dla klienta (rysunek 1). Kluczem do wdrożenia LEAN (w firmie lub na budowie) jest zdolność i motywacja pracowników



Rys. 1. Dom Lean Production w kontekście przeglądu literatury, pokazujący kulturę Lean w uprzemysłowionej produkcji fabrycznej

Fig. 1. The house of Lean Production in the context of the literature review, representing a Lean culture in industrialized factory production

do szukania, znajdowania i eliminowania marnotrawstwa. Japońskie określenie oznaczające „zabezpieczenie przed pomyłką” to każdy mechanizm w procesie produkcyjnym, który pomaga operatorowi zapobiec pomyłce. Jego celem jest eliminacja wad produkcyjnych przez zapobieganie, korygowanie i wychwytywanie ludzkich błędów.

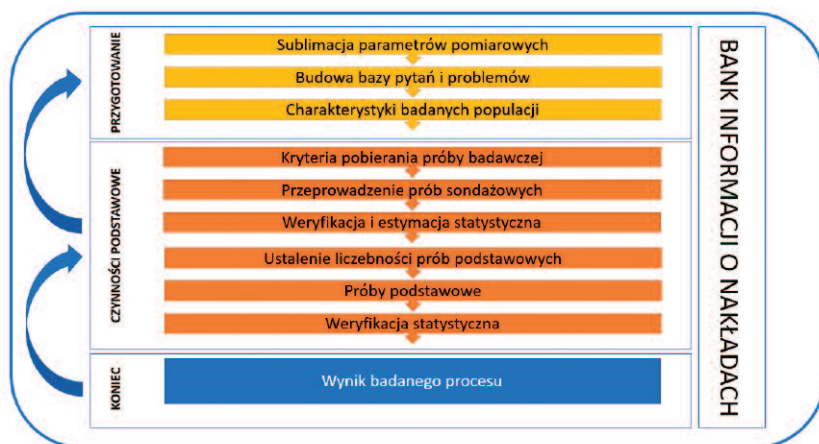
Dzięki wdrożeniu w procesie budowlanym metody LEAN można uzyskać m.in. [3]:

- przejrzystość w tym co robimy i co jest ważne;
- bardziej efektywne, szybsze i prostsze procesy;
- poprawę komunikacji;
- eliminację marnotrawstwa we wszystkich obszarach firmy;
- stworzenie kultury i procesów ciągłego doskonalenia;
- identyfikację problemów i zastosowanie rozwiązań w celu uniknięcia tych problemów w przyszłości;
- motywację ludzi – każdy może współtworzyć zasady LEAN, opracowywać pomysły i wdrażać je, brać udział w procesie rozwiązywania problemów itd.

W budownictwie zapotrzebowanie na informacje może się zmieniać codziennie i pochodzić z wielu źródeł. Zmienne lub spóźnione informacje mogą spowodować konieczność przeprowadzenia przeróbki wymagającej znacznych nakładów (robocizna, sprzęt i materiały). Przekazy, zlecenia zmian, wnioski o informacje, korespondencja w miejscu pracy oraz umowa o budowę i podwykonawstwo są źródłami informacji standardowymi dla budownictwa. Są one nieuniknione przy budowaniu obiektu typu „jedynej w swoim rodzaju” opisanego przez nieprecyzyjne dokumenty z zespołem projektowym, który jest zorganizowany wyłącznie dla tego projektu.

Liczba miejsc pracy i zapotrzebowanie na siłę roboczą różnią się w trakcie realizacji projektu/przedsięwzięcia budowlanego. Nie wszystkie potencjalne miejsca pracy są przez ca-





Rys. 2. Tryb prowadzonego badania – mapa procesu

Fig. 2. Mode of the conducted study – process map

ły czas obsługiwane przez personel, a liczba potrzebnych pracowników jest różna, w zależności od charakteru wykonywanej w tym czasie pracy. Każda z czynności jest realizowana przez unikatowy zespół roboczy o optymalnej wielkości. Ilość pracy jest również różna i zależy od harmonogramu, zmian, błędów projektowych, pogody, sekwencji, interferencji załogi itp. Z tych powodów przejrzyste zarządzanie ciągłym przebiegiem prac jest ważną częścią osiągnięcia sukcesu przedsięwzięcia.

Badania [3] sugerują, że zmienność w produkcji budowlanej na poziomie załogi jest nieunikniona, nawet w przypadku prawidłowo zaplanowanych przedsięwzięć. Kluczem do poprawnej realizacji procesów jest ograniczenie zmienności w wydajności pracy przez dopasowanie zmian w bieżących procesach do zadań związanych z zaplanowaną pracą. Zasada ta jest praktykowana na różne sposoby na wielu stanowiskach, dzieląc załogi na zespoły robocze, np. podczas układania mieszanki betonowej, część załogi stolarni może zostać przypisana do przedmiotowego miejsca, podczas gdy inni mogą zostać przypisani do wznoszenia nowych deskowań. W obliczu zmienności produkcji sposobem na zminimalizowanie zmienności wydajności pracy jest zróżnicowanie zasobów pracy na podstawie ilości pracy, jaką można wykonać. W przypadku złej pogody lub opóźnień w pracy przy innych elementach część brygad może zostać wysłana do domu lub do innej pracy. Jeżeli wystąpi problem opóźnień w wyniku spiętrzenia robót do wykonania, można wprowadzić harmonogram nadgodzin. Stabilizacja warunków produkcji jest zatem najważniejszym celem (przez zagwarantowanie odpowiedniej wydajności), który musi być bardziej widoczny w myśleniu szczytym (*Lean*, będąc jednocześnie efektem wprowadzenia *Lean Management*).

## Bieżące badania poligonowe w podejściu tradycyjnym

Przedmiotem badań poligonowych jest w głównej mierze technologia montażu i demontażu deskowań, schemat i jakość organizacji pracy zastosowana przez wykonawcę, warunki atmosferyczne występujące podczas montażu i demontażu konstrukcji [4]. Podporządkowane jest to pomia-

rom rzeczywistego czasu pracy i wielkości nakładów niezbędnych na wykonanie konkretnej konstrukcji deskowania. Zasadnicze cele prowadzonych badań to:

- opracowanie bazy danych nakładów czasu pracy z uwzględnieniem elementów deterministycznych i niedeterministycznych w zależności od występujących i zdefiniowanych warunków zewnętrznych;
- opracowanie „vademecum” dotyczącego planowania realizacji budowy z wykorzystaniem deskowań systemowych w zmiennych warunkach realizacji budowy;
- weryfikacja na drodze doświadczalnej metod projektowania technologiczno-organizacyjnego zastosowania wybranych systemów deskowań;

- opracowanie reguł heurystycznych wpływu warunków zewnętrznych na wartość czasu pracy brygad roboczych podczas robót ciesielskich.

Korzyści dla dostawcy deskowań (producenta):

- zwiększenie konkurencyjności rynkowej dzięki posiadaniu sprawdzonego programu udoskonalonego zarządzania deskowaniami i rusztowaniami na budowie;
- możliwość prowadzenia bieżącego monitoringu wykorzystywanych deskowań i rusztowań na budowach, co pozwoli na udoskonalenie procesu zakupowego i remontowego w poszczególnych oddziałach terenowych.

Korzyści dla użytkowników na budowach (firmy korzystające z deskowań i rusztowań – klienci dostawcy deskowań/producenta) to:

- kontrola i zmniejszenie kosztów dzierżawy oraz ograniczenie ewentualnych strat materiałowych;
- zwiększenie konkurencyjności w branży;
- realny wpływ wykonawcy na ograniczenie kosztów pośrednich i bezpośrednich przez optymalizację procesów związanych z właściwym (optymalnym) wykorzystaniem deskowań na budowie.

## Bieżące i kolejne badania poligonowe w podejściu Lean/Agile

Metody *Lean* i *Agile* w wielu przypadkach mogły być stosowane zamiennie ze względu na kilka podobieństw między nimi (często *Agile* łączy się niejako z *Lean*). Obie koncepcje mają duże znaczenie w przypadku przedsięwzięć, których wartością nadrzędną jest prowadzenie zrównoważonej działalności, wyróżniającej się na tle konkurencji dzięki stopniowemu doskonaleniu procesów. W obu metodach analizowane są dane pobierane za pomocą nowoczesnych technologii, a przede wszystkim wymagają efektywnej komunikacji między różnymi działami i zakładami. Pomimo tych zbieżności *Lean* i *Agile* są odmienne. Chcąc mieć pewność o ich pozytywnym wpływie na dane przedsięwzięcie, należy rozumieć cele każdej z metod i jak je skutecznie wdrożyć [5].

Celem nadrzędnym *Lean* jest eliminacja marnotrawstwa, co oznacza, że wszystkie procesy i składowe procesów, które nie wnoszą wartości dodanej, powinny zostać wyeli-

minowane. Aby to osiągnąć, budowy powinny zmniejszać koszty produkcji oraz ilość stałych zapasów i zwiększać wydajność pracy. W rezultacie pozwoli to zmaksymalizować rentowność bez zwiększania kosztów. Należy przy tym pamiętać, że zmiany wprowadzane w ramach strategii *Lean* nie mogą mieć negatywnego wpływu na jakość produktów. Z punktu widzenia źródeł *Lean* nawiązuje do badań Adamięckiego i Taylora (analiza procesów i ich systematyczne doskonalenie), które zaliczamy do naukowego zarządzania [6].

*Agile* doskonale sprawdzi się w przypadku produkcji zorientowanej na klienta (odbiorcę końcowego), gdzie utrzymywanie sprawności na bazie zwinności (*agility*) pozwoli na spełnienie oczekiwań odbiorcy końcowego. Jest to jednoznaczne z odejściem od tradycyjnego, zautomatyzowanego i systematycznego stylu prowadzenia działalności do podejścia bardziej elastycznego. Dostawcy mogą też wdrożyć modułowy proces projektowania produktu, w ramach którego wyroby wytwarzane są z wielu różnych elementów, co pozwala na szybkie i łatwe różnicowanie oferty. Chcąc zapewnić szybką realizację usług, dostawcy muszą szybko reagować na zmieniające się wahania popytu, co będzie oznaczało krótkookresowe „sprinty” i/lub odchylenia. W doskonaleniu procesów *Agile* zapewnia możliwość szybkiego dostosowania do zmian dzięki bazowaniu na elastycznych taktykach. Kluczowe założenia *Agile*, w porównaniu z tradycyjnym podejściem, wskazują na preferencje współpracy w ramach pracy zespołowej, które realizują zadania podzielone na krótkie elementy (sprint) przy założeniu ciągłego monitorowania bieżących efektów z udziałem klienta. Nawiązuje to do szkoły stosunków międzyludzkich, która opierała się na zaangażowaniu poszczególnych pracowników dzięki podejściu partycypacyjnemu.

Dzięki wprowadzeniu metodologii *Lean* i/lub *Agile* uzyskujemy pewność, że budowa działa w sposób zrównoważony. Chociaż te dwie koncepcje wymagają podjęcia innych kroków w kierunku osiągnięcia różnych celów, jednak wdrożenie obu przy przyjęciu odpowiednich parytetów pozwala w efekcie osiągnąć efekt synergii – usprawnienie analizowanego procesu.

Przeprowadzone dotychczas badania poligonowe nad technologią i organizacją zastosowania deskowań inwentaryzowanych prowadzą do następujących wniosków:

- projektowanie, planowanie i przebieg procesów budowlanych wymaga stałego doskonalenia z wykorzystaniem bieżącego monitoringu. Na podstawie wyników badań należy stworzyć koncepcję sprawnego funkcjonowania tych procesów, także na podstawie zarządzania w czasie rzeczywistym;
- rozkłady czasu pracy charakteryzują się asymetrią, przez co nie potwierdziła się hipoteza o możliwości zastosowania Centralnego Twierdzenia Granicznego w odniesieniu do rozkładów czasu pracy przy montażu/demontażu deskowań, a obserwowane procesy charakteryzują się dużą zmiennością;
- potwierdziła się hipoteza o znaczeniu i wpływie poziomu wykształcenia pracowników zaangażowanych do realizacji procesu montażu/demontażu deskowań na ograniczenie zmienności procesów;

- współczesne rozumienie problematyki sprawnego funkcjonowania w budownictwie wymaga zwiększenia nakładów na ciągły proces badań w tym kierunku, co powinno się przełożyć na osiągnięcie dobrego wyniku finansowego zarówno dostawcy deskowań, jak i wykonawcy robót budowlanych (strategia WIN-WIN);

- obecnie podczas projektowania rzadko uwzględnia się zakłócenia losowe występujące podczas realizacji procesów budowlanych. Z reguły zakłada się pozytywny scenariusz przebiegu procesów budowlanych. W wielu przypadkach przekłada się to na występowanie niepowodzeń realizacyjnych wykonawcy, a pośrednio i inwestora. Wyniki kolejnych badań (z wykorzystaniem geolokalizacji) powinny zmienić istniejący stan rzeczy co do jakości oczekiwanych wyników końcowych, ponieważ pozwalają na śledzenie procesów w czasie rzeczywistym, co prowadzi do zwiększenia wydajności oraz zmniejszenia/ograniczenia zmienności;

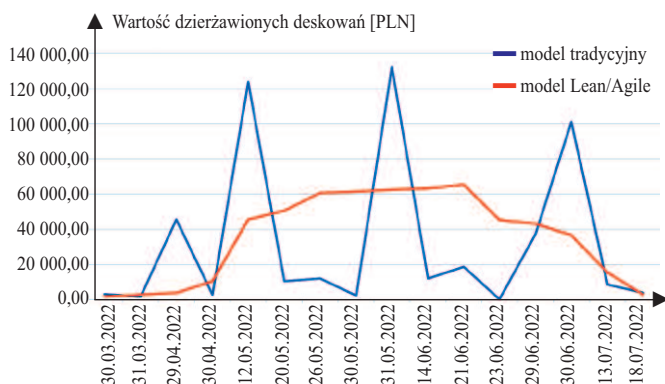
- procesy zarządzania – bardziej przewidywalny czas i koszty. Dzięki monitoringowi w czasie rzeczywistym, zautomatyzowanemu gromadzeniu danych w witrynie, narzędziom przetwarzania obrazu, sztucznej inteligencji można zwiększyć dokładność planowania (przewidywania) czasu i kosztów bieżących przedsięwzięć. Dostępność dużych ilości danych historycznych i informacji może pomóc w wyznaczaniu poziomów odniesienia w przypadku wczesnego okresu i przewidywania kosztów nowych przedsięwzięć, umożliwiając tym samym integrację wzdłużną między poszczególnymi procesami/podwykonawcami;

- wykrywanie, umiejscowienie i sprecyzowanie nadmiernej uciążliwości i zakłóceń w technologii i organizacji w trakcie budowy pozwala weryfikować istniejące rozwiązania oraz wdrażać nowe racjonalne metody i techniki budowy, bazując na szeroko rozumianych metodach optymalizacyjnych.

Jakość metod stosowanych w procesie podejmowania decyzji podczas planowania i realizacji budowy obiektu budowlanego jest rezultatem umiejętności poszukiwania optymalnych rozwiązań technologiczno-organizacyjnych. Należy przy tym zwrócić uwagę, że podczas badań konieczne staje się zebranie odpowiedzi na pytania, wynikające z zastosowania metody *Lean*:

- w jaki sposób dokonano wyboru rozwiązań konstrukcyjnych, technologicznych i organizacyjnych przyjętych przez projektanta i wykonawcę?
- jak przebiegały w czasie poszczególne działania, operacje i czynności?
- jak wykorzystywany jest czas roboczy i czym spowodowane są straty i przestoje (marnotrawstwa)?
- jakie nakłady poniosła firma i jakie osiągnięto efekty w poszczególnych procesach budowy?

Efekty zastosowania *Lean* i *Agile* podczas montażu/demontażu deskowań systemowych przedstawiono na rysunku 3. Wykres w kolorze niebieskim obrazuje wykorzystanie deskowań i innych niezbędnych elementów systemu (ciągłe dostawy i zwroty – nawet w przypadku powtarzalności). W podejściu tradycyjnym obserwujemy straty czasowe i potencjału elementów deskowań w związku z koniecznością organizacji



**Rys. 3. Efekty zastosowania Lean/Agile Management w porównaniu z podejściem tradycyjnym**

*Fig. 3. The effects of using Lean/Agile Management compared to the traditional approach*

dodatkowych transportów. Kolorem pomarańczowym zobrażono wykorzystanie materiału w potencjale zoptymalizowanym w podejściu hybrydowym (*Lean* i *Agile*) – uwzględniono bieżące marnotrawstwa (zgodnie z metodą *Lean*), ale również reagowano na bieżące turbulencje zgodnie z podejściem *Agile*. Na osi pionowej oznaczono potencjał deskowań w danym przedziale czasowym.

Przygotowanie badań poligonowych i ich programowanie nie może się obyć bez prawidłowej diagnozy, czyli rozpoznania stanu rzeczy i tendencji rozwojowych (na podstawie dostępnych danych i znajomości ogólnych prawidłowości). W badaniach poligonowych należy jednak zawsze pamiętać o tym, aby:

- nie zakłócać realizowanych procesów budowlano-montażowych;
- nie popełniać błędów;
- odróżniać tło badań i eliminować zmiany;
- gromadzić zasoby informacji;
- weryfikować wyniki badań.

## Podsumowanie i wnioski

Wykrywanie, umiejscowienie i sprecyzowanie źródeł problemów (marnotrawstwo, np. zbędne ruchy pracowników, oczekiwanie, nadmierne zapasy na budowie) oraz wpływ zmiennego otoczenia (np. problemy logistyczne, warunki pogodowe, absencja pracowników) i zakłóceń w technologii oraz organizacji w trakcie budowy pozwala weryfikować istniejące rozwiązania oraz wdrażać nowe racjonalne metody i techniki budowy na podstawie szeroko rozumianych metod optymalizacyjnych. Dlatego dotychczasowe obserwacje wykazały, że należy procesy usprawnić. Dzięki zastosowaniu metody hybrydowej 3F4 obejmującej zarówno zarządzanie tradycyjne, jak i *Agile/Lean* oraz Construction 4.0 [7] jesteśmy w stanie osiągnąć usprawnienia ułatwiające planowanie i realizację procesów na budowie. Wykorzystanie innowacyjnych systemów pozwala na ograniczenie zmienności i stabilizację wydajności brygad, co umożliwia stworzenie buforu czasu. Taki bufor pozwala na osiągnięcie sukcesu pomimo występujących zakłóceń.

W analizowanych wynikach badań uwzględniona jest stosunkowo duża liczba zmiennych, które nie mają istotnego

wpływu na ostateczną wartość pracochłonności danego elementu w ujęciu globalnym. Uwzględniając metodę *Lean* należy skupić się na marnotrawstwach kluczowych (do natychmiastowego wyeliminowania).

Pracochłonność to jedno, a stopień wykorzystania deskowań to drugi element oceny prawidłowości planowania i przebiegu procesów budowlanych. Dopiero realny czas ich użytkowania w analizowanych przypadkach (najlepiej w przypadku elementów powtarzalnych) pokazuje realny wskaźnik proporcji kosztu deskowań w porównaniu z budżetem danego obiektu.

W każdym kraju, regionie, a nawet firmie (dla danej brygady w określonych warunkach) docelowa wydajność będzie inna, o czym świadczą na bieżąco analizowane wskaźniki pracochłonności publikowane na potrzeby rynku niemieckiego. Tworząc odpowiedni model zarządzania, ważne jest, aby uwzględnić zmieniające się wskaźniki pracochłonności i przewidywane turbulencje otoczenia, mające na nie istotny wpływ [8].

W toku dalszych badań będą rozpatrywane (i porównywane) budowy umożliwiające małą, średnią i dużą rotację deskowań. Założono zsynchronizowane zaangażowanie metod tradycyjnych, *Lean* i *Agile* oraz *Industry 4.0* jako nowoczesnych metod zarządzania projektami/przedsięwzięciami [9]. W przypadku otoczenia bardziej stabilnego, np. roboty osłonięte przed działaniem otoczenia – parytet *Agile/Flexibility* może być mniejszy, natomiast metoda *Lean* byłaby w tym przypadku zastosowana w szerszym zakresie.

## Literatura

- [1] Prieto R. 2021. Construction – 4.0. National Academy of Construction Executive Insights. 2021; [https://www.researchgate.net/publication/348690890\\_Construction-40\\_dnia\\_30.07.2022](https://www.researchgate.net/publication/348690890_Construction-40_dnia_30.07.2022).
- [2] Hossain MA, Nadeem A. Towards Digitizing the Construction Industry: State of the Art of Construction 4.0; Proceedings of International Structural Engineering and Construction. 2019.
- [3] Stehn L, Höök M. Lean principles in industrialized housing production: The need for a cultural change. *Lean Construction Journal*. 2008; 2 – 7, pobrano z Internetu: [https://www.researchgate.net/figure/The-house-of-lean-production-in-the-context-of-the-literature-review-representing-a-lean\\_fig1\\_228433776](https://www.researchgate.net/figure/The-house-of-lean-production-in-the-context-of-the-literature-review-representing-a-lean_fig1_228433776).
- [4] Kristowski A, Majkowski Ł. Organizacja badań poligonowych budowy wybranych systemów deskowań – zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 276; Budownictwo i Inżynieria Środowiska. 2011; 58 (3/11/III): 241 – 248.
- [5] Thomas HR, Horman MJ, de Souza UEL, Zavrski I. Reducing variability to improve performance as a lean construction principle, *Journal of Construction Engineering and Management*. 2002; 128: 144 – 154.
- [6] Martinez E, Tommelein ID, Alvear A. Formwork system selection using choosing by advantages. In *Construction Research Congress*. San Juan, Puerto Rico. 2016: 1700 – 1709.
- [7] Forcael E, Ferrari I, Opazo-Vega A, Pulido-Arcas JA. *Construction 4.0: A Literature Review*, *Sustainability*. 2020; 12 (22): 19 – 22.
- [8] Thomas HR. Schedule Acceleration, Work Flow, and Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering Management*. 2000; 126: 261 – 267.
- [9] Hanna AS, Senouci AB. NEUROSLAB – neural network system for horizontal formwork selection. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 1995; 22 (4): 785 – 792.

*Przyjęto do druku: 10.10.2022 r.*