

# Wdrażanie automatyzacji i robotyzacji w budownictwie w celu poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy

Automation and robotisation as the way to improve occupational health and safety in construction

dr hab. inż. Sławomir Biruk (ORCID: 0000-0003-4392-8426), dr hab. inż. Piotr Jaśkowski, (ORCID: 0000-0003-1661-3373), Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.4886

**Streszczenie:** Obowiązkiem pracodawców jest zapewnienie odpowiednich warunków bezpieczeństwa i higieny pracy. W praktyce oznacza to zorganizowanie pracy i stanowisk roboczych w sposób zabezpieczający pracowników przed zagrożeniami wypadkowymi oraz redukcją uciążliwości pracy, w tym nadmiernym oddziaływaniem czynników szkodliwych dla zdrowia. Środki ochrony indywidualnej, często ograniczające swobodę ruchów i komfort pracy, powinny być stosowane dopiero wówczas, gdy nie istnieją rozwiązania organizacyjne i techniczne oraz metody pracy ograniczające wpływ zagrożeń na zdrowie i bezpieczeństwo pracowników. Ze względu na wysokie koszty pracy ludzkiej oraz problem z dostępem do wykwalifikowanej kadry roboczej przedsiębiorcy budowlani są zainteresowani wdrażaniem technologii zmechanizowanych, zapewniających większą wydajność pracy, poprawę jakości i redukcję kosztów. Coraz częściej, również na polskich budowach, są stosowane urządzenia zautomatyzowane i roboty. Praktyka potwierdza ich pozytywny wpływ na poprawę bezpieczeństwa pracy, jednak interakcja człowiek – robot może być źródłem nowych zagrożeń w środowisku pracy. W artykule zaprezentowano przykłady wdrożeń technologii zautomatyzowanych i robotyzacji w budownictwie, analizując ich wpływ na warunki BHP.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo i higiena pracy w budownictwie, warunki pracy, zagrożenia wypadkowe, automatyzacja, robotyzacja.

**Abstract:** Employers are obliged to assure safe and healthy working environment. In practice, this means arranging workplace and organizing activities in a way that eliminates hazards (minimizes exposure to harmful factors) and reduces the effort. Personal protective equipment used in construction frequently restricts the workers' movements and negatively affects comfort at work. It should be used only if no other organizational and technical solutions can be applied. Rising labor cost and scarcity of skilled construction workforce make construction entrepreneurs search for technical solutions to reduce manual work, improve productivity, quality, and costs efficiency. Automated equipment and robots are more and more frequently used worldwide, also in Polish construction sites. There is evidence on improved work safety is automatized/robotized construction sites, but human-robot interaction is a potential source of new risks in the work environment. The paper presents examples of the implementation of automated technologies and robotization in the construction industry, analyzing their impact on the occupational health and safety.

**Keywords:** health and safety in construction, working conditions, accident hazards, automation, robotization.

## 1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo pracy można określić jako stan polegający na wykonywaniu pracy w warunkach niezagrażających zdrowiu i życiu pracowników [1]. W zarządzaniu bezpieczeństwem zakłada się, że warunki pracy oraz bezpieczne zachowanie w pracy nie powstają samoistnie, lecz muszą zostać ukształtowane według z góry przyjętego programu, zakładającego podejmowanie działań zmierzających do poprawy i dalszego ulepszania warunków pracy, wyposażenia i postępowania zatrudnionych.

Higiena pracy jest definiowana jako kształtowanie warunków i środowiska pracy w sposób zapewniający zachowanie zdrowia [2]. Warunki i środowisko pracy są źródłem obciążeń pracą (fizycznego, psychicznego oraz oddziaływania materialnego środowiska), których wypadkowa opisuje jej uciążliwość [3].

Zgodnie z Kodeksem pracy (art. 207) pracodawca jest obowiązany chronić zdrowie i życie pracowników przez zapewnienie bezpiecznych i higienicznych warunków pracy przy odpowiednim wykorzystaniu osiągnięć nauki i techniki.

Praca na budowie jest szczególnie podatna na czynniki powodujące zagrożenia wypadkowe i zdrowotne. Z danych GUS wynika, że w 2022 roku poszkodowanych w wypadkach na budowie zostało 3703 osoby (4,08 osób na 1000 pracujących). W ich wyniku śmierć poniosło 41 pracowników. Ponadto były one przyczyną ogółem 174 592 dni niezdolności do pracy. Nieprawidłowe zachowanie się pracownika było przyczyną 61,1% wypadków przy pracy.

Oprócz dużej skali zagrożeń wypadkowych w budownictwie, mimo postępu technologicznego, występuje problem z zapewnieniem odpowiedniego poziomu jakości obiektów i usług budowlanych, niskiej wydajności oraz z dostępem

do wykwalifikowanych pracowników. Jednym z kierunków rozwoju budownictwa zapewniającym poprawę wydajności i bezpieczeństwa pracy oraz jakości robót, zmniejszenia zapotrzebowania na pracę żywą oraz redukcję kosztów jest uprzemysłowienie produkcji budowlanej poprzez wdrożenie technologii zautomatyzowanych i robotyzacji [4].

## 2. Fazy uprzemysłowienia budownictwa

Uprzemysłowienie stanowi jeden z elementów modernizacji produkcji budowlanej poprzez wdrażanie nowoczesnych technologii produkcji i realizacji procesów budowlanych [5]. Można wyróżnić cztery stopnie uprzemysłowienia: prefabrykacja, mechanizacja, automatyzacja i robotyzacja. Wymagają one znacznych inwestycji w środki produkcji (stałe lub tymczasowe zakłady produkcyjne, urządzenia produkcyjne itd.). Niektórzy badacze [6] wskazują także na piąty stopień uprzemysłowienia nazywany reprodukcją. Pojęcie to oznacza badania i rozwój innowacyjnych procesów zdolnych do uproszczenia produkcji.

Prefabrykacja polega na realizacji procesów produkcyjnych – dotychczas wykonywanych na placach budowy – w stałych lub tymczasowych zakładach wytwórczych [6]. Przedrostek „pre” oznacza przygotowanie w zakładzie elementów o różnym stopniu wykończenia, które są w dalszej kolejności montowane na placu budowy. Wykorzystywane są przy tym z reguły te same wyroby oraz podobne metody technologiczne jak w budownictwie tradycyjnym. Jednak procesy produkcyjne w zakładach prefabrykacji mogą też być w różnym stopniu zmechanizowane lub zautomatyzowane. Istnieje duży potencjał w zakresie automatyzacji produkcji także niestandardowych elementów prefabrykowanych [7].

Mechanizację definiuje się jako zastosowanie urządzeń mechanicznych do wykonywania zadań. Poziom mechanizacji określa się poprzez liczbę zastosowanych urządzeń lub liczbę czynności wykonywanych przez nie w danej operacji [8].

Automatyzacja jest definiowana jako zastąpienie pracy ludzkiej przez maszyny lub urządzenia automatycznie lub zdalnie sterowane. Procesy są wykonywane przy użyciu programowalnych maszyn. Właściwa praca automatów wymaga zatem zaprogramowania wykonywania przez nie czynności, przez co rozwój tej formy produkcji będzie determinowany dostępnością na rynku pracy w budownictwie wysoko wykwalifikowanej kadry z wiedzą z dziedziny technologii informatycznych. W odróżnieniu od automatów – zaprogramowanych do wykonywania tylko określonych czynności – roboty mają zdolność do samodzielnego wykonywania zróżnicowanych prac [6]. Rozwój zastosowań robotyki w budownictwie jest powiązany z rozwijającą się obecnie ideą komputerowo zintegrowanego budownictwa (ang. *Computer Integrated Construction*), w tym wdrażania technologii BIM (*Building Information Modelling*).

Uprzemysłowienie produkcji budowlanej przynosi efekt w postaci redukcji poziomu zatrudnienia, skrócenia czasu

realizacji robót budowlanych, zwiększenia jakości i obniżenia całkowitych kosztów budowy, w tym kosztów pośrednich związanych z przygotowaniem zaplecza socjalnego na placu budowy [8, 9]. Poza tym szczególnie automatyzacja i robotyzacja mogą poprawić warunki i bezpieczeństwo pracy oraz umożliwić wykonywanie prac, których ludziom jest trudno wykonać [10]. Praca automatów i robotów może być często wykonywana bez użycia tymczasowych urządzeń (pomosty robocze, rusztowania) oraz sprzętu ochronnego i zabezpieczającego pracowników, stosowanego tradycyjnie. Wdrożenie uprzemysłowionych metod produkcji może ograniczyć prace realizowane na placu budowy do mniej złożonych operacji transportu i montażu.

## 3. Przykłady zautomatyzowanych technologii i zastosowań robotów w budownictwie

Pierwsze roboty budowlane zostały opracowane i zastosowane w Japonii w celu poprawy jakości prefabrykowanych elementów domów modułowych. Dopiero później roboty budowlane zaczęły pojawiać się na placach budowy, zastępując człowieka w realizacji robót budowlanych o dużej uciążliwości pracy i obciążonych dużym ryzykiem wypadków. Trendem rozwojowym jest projektowanie robotów uniwersalnych, które można stosować do wykonywania różnych prac. Obecnie także wzrasta poziom zastosowań autonomicznych pojazdów (np. dronów) do inspekcji, monitorowania, konserwacji obiektów budowlanych. Przez wielu autorów do kategorii robotów są zaliczane również egzozskielety. Są to mechaniczne urządzenia zakładane przez pracownika, które zwiększają jego możliwości w zakresie przenoszenia obciążeń przy pracy.

Głównym celem wdrażania robotów w zakładach prefabrykacji była poprawa jakości produkowanych elementów. Stosowane tu rozwiązania czerpały inspirację z wykorzystania robotów w innych sektorach przemysłu, głównie samochodowego. Roboty są wykorzystywane do produkcji pojedynczych prefabrykatów betonowych (płyty ścienne i stropowe, belki), jak i stalowych (np. kratownice), drewnianych elementów konstrukcyjnych – o różnym stopniu wykończenia. Elementy te również za pomocą robotów w pełni zautomatyzowanych wytwórniami są łączone w moduły budowlane o różnych funkcjach, np. pomieszczenia mieszkalne, kubaturowe moduły łazienkowe i kuchenne [11]. Wielkość modułów jest dostosowana do możliwości transportu samochodowego. W trakcie wytwarzania modułów są prowadzone roboty fundamentowe na placu budowy. Montaż domu o powierzchni 120 m<sup>2</sup> oferowanego przez firmę Daiwa House Industry trwa od 4,5 do 6,0 godzin.

Pierwszy rodzaj robotów na placach budowy stosowano do wykonywania pojedynczych prac w powtarzalny sposób. Typowym ich rodzajem są manipulatory stosowane również w przemyśle samochodowym. Tego typu ramiona są zwykle montowane na ruchomych platformach i są wykorzystywane

do wykonywania prostych zadań, np. malowanie ścian, murowanie, czy natryskiwanie mieszanki betonowej lub zapraw ognioodpornych [12]. Autonomiczny sprzęt może wykonywać powtarzalne i uciążliwe zadania, związane z koniecznością podnoszenia i przenoszenia wyrobów o znacznej masie, dzięki czemu jest ograniczony szkodliwy wpływ obciążeń na układ mięśniowo-szkieletowy. Eliminuje on często potrzebę przebywania pracowników w niewygodnych pozycjach ciała, przez to redukując obciążenia pracą statyczną. Roboty mogą zastąpić pracowników przy wykonywaniu różnych uciążliwych fizycznie robót, np. przy wierceniu otworów i montażu kotew w stropach (np. półautonomiczny robot Jaibot firmy Hilti), montażu płyt gipsowo-kartonowych na ścianach i sufitach wraz rozłożeniem zaprawy czy nawet bezpyłowym szlifowaniem złączy (np. robot Canvas), ograniczając możliwość negatywnego wpływu zapylenia na drogi oddechowe. Ryzyko wypadków związanych ze zmęczeniem i urazów spowodowanych powtarzającymi się ruchami jest zmniejszone dzięki wyeliminowaniu konieczności wykonywania monotypowych ruchów przy pracy.

Niebezpieczne zadania wymagające pracy w wykopach lub na podwyższonych platformach można powierzyć autonomicznym urządzeniom. Maszyny te mogą wykonywać pracę, pozwalając na ulokowanie pracowników w bezpiecznej odległości, minimalizując narażenie pracowników na potencjalnie zagrażające życiu i zdrowiu sytuacje.

Automatyzacja pojedynczych procesów budowlanych wymaga mniejszych nakładów finansowych. Te same urządzenia, automaty i roboty mogą być stosowane na różnych placach budów [13, 14]. Projektowane i wdrażane roboty różnią się sposobami sterowania i metodami programowania. Wyróżnić można zarówno proste manipulatory (roboty) ze sterowaniem zdalnym, urządzenia wykonujące zaprogramowane przez operatora ruchy i czynności, roboty posiadające zdolność do rozpoznawania elementów w przestrzeni dzięki zastosowaniu systemów wizyjnych oraz roboty inteligentne przystosowane do pracy w nieznanym środowisku.

Roboty inteligentne mają wbudowane algorytmy sztucznej inteligencji, własne proprioceptory, algorytmy rozpoznawania otoczenia pozwalające na stworzenie trójwymiarowej mapy środowiska. Reagują na polecenia człowieka, wykorzystują globalne pozycjonowanie GPS oraz często modele cyfrowe BIM konstrukcji. Na przykład robot Hadrian do murowania lokalizuje miejsce ustawienia cegieł na podstawie projektu w wersji cyfrowej. Robot aplikuje masę klejową i wykonuje mur o dowolnej geometrii. Unikalne oprogramowanie optymalizuje zużycie cegieł. Autonomiczny robot TyBOT samodzielnie lokalizuje, pozycjonuje i wykonuje ponad 1200 wiązań prętów zbrojeniowych na godzinę. T-iROBO Rebar automatycznie rozróżnia przekrój prętów stalowych i miejsca ich łączenia za pomocą dwóch rodzajów czujników laserowych. Ze względu na niewielką masę (poniżej 20 kg) może być przenoszony przez jednego pracownika. Robot stworzony przez start-up Okibo do prac tynkarskich i malowania

wykorzystuje skanowanie 3D otoczenia i nie wymaga wcześniejszego jego programowania. Roboty malarskie poruszające się po wcześniej zawieszonych linach eliminują konieczność montażu rusztowań i pracy ludzi na wysokości. Stosowany już na polskich budowach robot zdalnie sterowany BROKK do prac wyburzeniowych ogranicza narażenie pracowników na negatywny wpływ wibracji oraz uderzenia odłamkami demontowanej konstrukcji.

Praca robotów może jednak stwarzać nowe zagrożenia wynikające z błędów oprogramowania, wejścia pracowników na obszar pracy robota, złapania i przyciągnięcia przez ruchome części urządzenia, awarii części mechanicznej lub źródła zasilania [15].

Praca poszczególnych robotów, wykonujących różne prace, może być również zsynchronizowana automatycznie w kontrolowanym środowisku placu budowy w sposób przypominający zautomatyzowaną linię produkcyjną. Na przykład system Shimizu Smart Site obejmuje autonomiczny poziomy żuraw teleskopowy Exter z wysuwającym wysięgnikiem, robot spawalniczy Robo-Welder, robot wielofunkcyjny Robo-Buddy, który służy do montażu płyt stropów podwieszonych oraz podłogowych, oraz cztery rodzaje robotów transportowych. Każdy typ robota wykorzystuje sztuczną inteligencję do poruszania się po miejscu pracy, zachowując świadomość własnego położenia (za pomocą czujników laserowych i odniesienia do informacji BIM)), rozpoznaje zakres prac do wykonania i wykonuje je na podstawie instrukcji wysyłanych ze zintegrowanego systemu sterowania obsługiwane go za pomocą tabletu. Firma Guangdong Bozhilin Robot Co. Ltd. wdrożyła system produkcyjny obejmujący 12 typów robotów, m.in. do: zagęszczania mieszanki betonowej przy betonowaniu płyt i zacierania ich powierzchni, murowania, tynkowania, malowania powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych, tapetowania, czyszczenia elewacji oraz układania płytek glazurowanych na ścianach i podłogach.

Istnieją też roboty współpracujące z człowiekiem (Coboty – *Collaborative Robots*), które wykonują szczególnie uciążliwe prace ręczne. Zespoły człowiek-robot pozwalają uzyskać większą wydajność pracy, zastosowanie robotyzacji w tym przypadku może jednak stwarzać zagrożenia bezpieczeństwa ze względu na współdzielenie przestrzeni roboczych [16]. Zawsze istnieje niebezpieczeństwo kolizji w obszarze roboczym, awarii części mechanicznej, zahaczenia i przyciągnięcia przez ruchome części urządzenia [15].

Roboty mogą integrować się z różnymi urządzeniami, takimi jak kamery wideo, zamontowane także w inteligentnych kaskach, czujniki, radary lub sprzęt komunikacyjny, aby przysyłać dane w czasie rzeczywistym z powrotem do użytkowników, aby zapewnić pracownikom informacje zwrotne i ostrzeżenia. Na przykład bezprzewodowe wyłączniki awaryjne mogą pomóc pracownikom w natychmiastowym zatrzymaniu maszyn, zmniejszając ryzyko obrażeń i wypadków śmiertelnych. Bezprzewodowy wyłącznik awaryjny to urządzenie do noszenia, które można przymocować do paska lub



ubrania i stosować jako środek ochrony indywidualnej. W sytuacji awaryjnej pracownicy mogą uruchomić bezprzewodowy e-stop, aby natychmiast zatrzymać pobliskie maszyny lub urządzenia. Dzięki temu systemy autonomiczne stosowane wraz z dodatkowymi urządzeniami mogą mieć istotną rolę w ograniczaniu urazów, szkód i przestojów na placach budowy na skutek wypadków.

Kategoria pojazdów naziemnych, powietrznych lub morskich obejmuje urządzenia, które mogą być pilotowane zdalnie lub które są autonomiczne. Pojazdy powietrzne są wykorzystywane do różnych zadań, w tym uzyskiwania dostępu do ekstremalnych i niebezpiecznych środowisk, eliminując w ten sposób konieczność przebywania pracowników na obszarach o wysokim ryzyku wypadków, wykonywania prac pomiarowych, monitorowania postępu robót czy placu budowy np. pod względem stanu bezpieczeństwa [17]. Autonomiczne pojazdy naziemne stosuje się do wykonywania wykopów (szczególnie w górnictwie na terenie otwartych kopalni), wyburzeń oraz transportu z automatycznym ładunkiem materiałów. Zdalnie sterowane maszyny umożliwiają pracę ze stanowisk zlokalizowanych tam, gdzie jest to najbezpieczniejsze. Zdalnie sterowana koparka lub spycharka może być sterowana przez operatora nie z kabiny, lecz z miejsca z najlepszą widocznością, chroniąc zarówno jego, jak i inne osoby na placu budowy. Może to zmniejszyć ryzyko obrażeń spowodowanych np. obsunięciem skarpy wykopu lub innymi zagrożeniami.

Zdalnie sterowane lub autonomiczne roboty mogą wchodzić do budynków, skanować je laserami i tworzyć cyfrowe modele 3D (np. robot firmy Doxel AI). Może to wyeliminować potrzebę wchodzenia pracowników do potencjalnie niebezpiecznej przestrzeni (np. w budynkach po awariach lub katastrofach budowlanych) przed sprawdzeniem jej bezpieczeństwa i oceną stanu bezpieczeństwa konstrukcji.

Egzoszkielety zwiększają możliwości pracownika, ale nie mogą go całkowicie zastąpić i z tego powodu, podobnie jak inteligentne hełmy, nie mają cech typowych robotów. Wspomagają pracowników w podnoszeniu ładunków o dużej masie, wykonywaniu monotypowych ruchów, ułatwiają korzystanie z narzędzi szczególnie w niewygodnych pozycjach ciała. Powtarzalne i wymagające fizycznie zadania wykonywane przez pracowników budowlanych mogą prowadzić do poważnych przeciążeń, urazów i trwałej niepełnosprawności. Używanie egzoszkieleatów może zwiększyć jednak ryzyko złapania, zaciepienia i upadku, mogą one powodować pewien dyskomfort u pracownika (dodatkowa masa), awaria części mechanicznej może prowadzić do obrażeń pracownika, a bezpośredni kontakt narazić do zabrudzenia np. smarem.

Dynamicznie rozwijającą się technologią zautomatyzowaną jest wytwarzanie przyrostowego elementów budowlanych (prefabrykatów) lub całych obiektów, znane również jako druk 3D. Potencjalnie technologia ta może znaleźć również zastosowanie do napraw istniejących obiektów. Produkcja przyrostowa obecnie umożliwia drukowanie komponentów

na dużą skalę [11]. Kolejne warstwy elementów mogą być wykonywane z wyrobów powszechnie stosowanych w budownictwie tradycyjnym, takich jak: glina, gips, materiały drewnopodobne, stopy metali, tworzywa termoplastyczne czy kompozyty ceramiczne [14]. Ideę realizacji domów w technologii drukowania 3D zapoczątkował dr Behrokh Khoshnevis z Uniwersytetu Południowej Karoliny i opracowywaną technologię nazwał Contour Crafting. Pierwszy dom w technologii drukowania 3D został wykonany przez chińskie przedsiębiorstwo budowlane HuaShang Tengda.

#### 4. Bariery wdrożeń technologii zautomatyzowanych i robotyzacji w budownictwie

Mimo efektów, jakie można uzyskać wdrażając technologie zautomatyzowane i robotykę w budownictwie, istnieje wiele barier ograniczających rozwój tych nowoczesnych form uprzemysłowienia. Są to przede wszystkim wysokie koszty implementacji technologii i eksploatacji urządzeń, przekraczający możliwości inwestycyjne małych i średnich przedsiębiorstw, które dominują na rynku budowlanym. Technologie te wymagają zdobycia nowych umiejętności, są trudne w użyciu i niełatwe do zrozumienia dla zatrudnionej kadry posiadającej tradycyjne budowlane kwalifikacje zawodowe. Barię jest też niedostępność lokalna i trudności w pozyskaniu technologii [18, 19]. Z tego względu zainteresowane wdrożeniem automatyzacji i automatyzacji są szczególnie duże przedsiębiorstwa budowlane, zdolne do inwestowania w prace badawczo-rozwojowe. Przykładem tego w Polsce są prace testowe przeprowadzane przez firmę Budimex nad zastosowaniem mobilnego robota współpracującego przeznaczonego do prac transportowych, malowania, montażu deskowań oraz wiercenia otworów. Robot powstał jako efekt prac realizowanych w ramach unijnego projektu badawczego CONCERT [20].

Koszt wdrożenia i utrzymania technologii zautomatyzowanych i robotyzacji, postrzegany jako podstawowa bariera implementacji, powinien być jednak rozpatrywany w szerszym ujęciu [21]. Analizy ekonomiczne powinny uwzględniać również korzyści finansowe wynikające z redukcji kosztów robocizny, zwolnień lekarskich, leczenia, odszkodowań za utratę zdrowia lub życia pracowników. W warunkach deficytu siły roboczej istotna jest również redukcja kosztów pozyskiwania nowej kadry, ponoszenia kosztów delegacji pracowników zamiejscowych oraz kosztów robót poprawkowych wynikających z niewystarczających kwalifikacji nowo zatrudnianych oraz kadry z zagranicy.

Podniesienie kwalifikacji na potrzeby implementacji technologii zautomatyzowanych i robotyzacji jest możliwe w formie szkoleń wykorzystujących wirtualną rzeczywistość (*Virtual Reality*). Jest to bezpieczna i opłacalna metoda szkoleniowa, która pozwala pracownikom symulować realizację niebezpiecznych robót bez rzeczywistego narażenia na zagrożenia, jak w przypadku praktycznych metod szkoleniowych przeprowadzanych na stanowiskach roboczych [22].

## 5. Podsumowanie

W ciągu ostatniej dekady zaobserwowano znaczący wzrost liczby automatów i robotów stosowanych na placach budowy. Jednak tempo wdrażania nowoczesnych i bezpiecznych technologii w budownictwie, które mogą zapobiegać wypadkom czy chorobom układu szkieletowo-mięśniowego jest wolniejszy niż w przemyśle [23]. Prognozy wskazują, że do 2025 r. liczba nowych robotów zwiększy się o ponad 7000 oraz że 46% zadań budowlanych może zostać zautomatyzowanych [24]. Postęp technologiczny, przyspieszony przez pandemię COVID-19, zwiększył możliwość mechanizacji i automatyzacji wielu procesów, które dotychczas były realizowane w sposób ręczny. Będzie to miało znaczący wpływ na zatrudnienie w nadchodzących latach i spełnia również oczekiwania przedsiębiorstw budowlanych borykających się z niedoborem wykwalifikowanych pracowników na rynku pracy w budownictwie. Zmiany te będą również oddziaływać na wymagania dotyczące kwalifikacji siły roboczej. Eliminacja stanowisk pracy wymagających najniższych kwalifikacji (najgorzej opłacanych), zmiana wymagań kwalifikacyjnych (umiejętności informatyczne do programowania, obsługi i monitorowania pracy automatów), zapewnienie komfortowego środowiska pracy przyczyni się do zwiększenia konkurencyjności budownictwa na rynku pracy w pozyskiwaniu wykształconej kadry. Wzrośnie prestiż budownictwa, nie będzie ono już postrzegane jako nieatrakcyjne miejsce zatrudnienia dla rozwoju kariery zawodowej, w którym dominuje ciężka praca ręczna i duże obciążenia powodujące uszczerbek na zdrowiu.

Automatyzacja i robotyzacja mogą poprawić bezpieczeństwo pracy na budowach poprzez wyeliminowanie konieczności organizacji stanowisk roboczych w miejscach niebezpiecznych, przejęcie wykonywania niebezpiecznych zadań czy redukcję uciążliwości pracy. Istnieje jednak obawa, że nowe technologie mogą stwarzać inne, niewystępujące dotychczas zagrożenia, dlatego istotne jest stałe doskonalenie metod zarządzania ryzykiem zawodowym oraz identyfikacji i oceny nowych potencjalnych zagrożeń [15].

### Finansowanie

**Badania były sfinansowane ze środków z następujących grantów i funduszy: FN-06, FN-10, FD-20/IL-4/005, FD-20/IL-4/026.**

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Górska E., Tytyk E., Ergonomia w projektowaniu stanowisk pracy. Podstawy teoretyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1998
- [2] Koradecka D., Bezpieczeństwo pracy i ergonomia, tom 1, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa, 1997
- [3] Taczanowska T., Jaśkowski P., Ergonomia w budownictwie, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1998
- [4] Brosque C., Fischer M., Safety, quality, schedule, and cost impacts of ten construction robots, *Construction Robotics* 6/2022, str. 163–186, <https://doi.org/10.1007/s41693-022-00072-5>

- [5] Lessing J., *Industrialised House-Building – Conceptual orientation and strategic perspectives*, Doctoral Thesis, Division of Structural Engineering, Lund University, 2015
- [6] Richard R. B., *Industrialised building systems: reproduction before automation and robotics*, *Automation in Construction* 14, 2005, str. 442–451, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.09.009>
- [7] Reichenbach S., Kromoser B., *State of practice of automation in precast concrete production*, *Journal of Building Engineering* 43, 2021, 102527, <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102527>
- [8] Idoro G. I., Bamidele E. O., *Influence of channels of recruitment on performance of construction workers in Nigeria*, *Proceedings of the West Africa Built Environment Research (WABER) Conference*, Accra, Ghana, 2011
- [9] Tatsuya Wakisaka, Noriyuki Furuya, Yasuo Inoue, Takashi Shiokawa, *Auto construction system for high-rise reinforced concrete buildings*, *Automation in Construction* 9(3)2000, str. 229–250, [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(99\)00039-4](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(99)00039-4)
- [10] Gassel F. J. M. van, Maas G. J., *Mechanising, robotising and automating construction processes*, [w:] Balaguer C., Abderrahim M., editors, *Robotics and automation in construction*, In-Tech, Vienna, 2008
- [11] Manuel Davila Delgado, Lukumon Oyedele, Anuoluwapo Ajayi, Lukman Akanbi, Olugbenga Akinade, Muhammad Bilal, Hakeem Owolabi, *Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption*, *Journal of Building Engineering* 26, 2019, str. 100868, <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100868>
- [12] Pentti Vähä, Tapio Heikkilä, Pekka Kilpeläinen, Markku Järviluoma, Ernesto Gambao, *Extending automation of building construction – Survey on potential sensor technologies and robotic applications*, *Automation in Construction* 36, 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.002>
- [13] Biruk S., Bucóń R., *Automatyzacja w budownictwie*, *Przegląd Budowlany* 12/2004, str. 30–33
- [14] Marcinkowski R., Krawczyńska-Piechna A., Biruk S., *Robotyzacja i automatyzacja. Innowacje technologiczne w budownictwie. Część 4*, *Builder*, 7/2018, str. 66–69
- [15] Nnaji C., Gambatese J., Okpala I., *Protocol for Assessing Human-Robot Interaction Safety Risks*, CPWR-The Center for Construction Research and Training, The University of Alabama, Oregon State University, 2021
- [16] Adetayo Onososen, Inocent Musonda, *Ergonomics in construction robotics and human-robot teams in the AEC domain: a review*, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1101, 2022, str. 052003, doi:10.1088/1755-1315/1101/5/052003
- [17] Liangcheng Yu, Merit M. Huang, Suwen Jiang, Chen Wang, Mabao Wu, *Unmanned aircraft path planning for construction safety inspections*, *Automation in Construction* 154, 2023, str. 105005, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105005>
- [18] Mahbub R., *Readiness of a developing nation in implementing automation and robotics technologies in construction: a case study of Malaysia*, *Civil Engineering and Architecture*, tom 6, 7/2012 (serial no. 56), <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2012.07.008>
- [19] Kamaruddin S. S., Mohammad M. F., Mahbub R., *Barriers and impact of mechanisation and automation in construction to achieve better quality products*, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 222, 2016, str. 111–120, doi:10.1016/j.sbspro.2016.05.197
- [20] Rynek infrastruktury, <https://www.rynekinfrastruktury.pl/wiadomosci/inzynieria-i-innowacje/budimex-nasz-robot-pracuje-w-krakowie-88342.html>
- [21] Kapliński O., Werner W., Kosecki A., Biernacki J., Kuczmański F., *Current state and perspectives of research on construction management and mechanisation in Poland*, *Journal of Civil Engineering and Management*, VIII, 2002, 4, doi.org/10.3846/13923730.2002.10531282
- [22] Pooya Adami, Patrick B. Rodrigues, Peter J. Woods, Burcin Becerik-Gerber, Lucio Soibelman, Yasemin Copur-Gencturk, Gale Lucas, *Effectiveness of VR-based training on improving construction workers' knowledge, skills, and safety behavior in robotic teleoperation*, *Advanced Engineering Informatics* 50, 2021, str. 101431, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101431>
- [23] Juan Manuel Davila Delgado, Lukumon Oyedele, Anuoluwapo Ajayi, Lukman Akanbi, Olugbenga Akinade, Muhammad Bilal, Hakeem Owolabi, *Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption*, *Journal of Building Engineering* 26, 2019, str. 100868, <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100868>
- [24] Ellingrud K., Gupta R., Salguero J., *Building the vital skills for the future of work in operations*, McKinsey Co., 2020