

Możliwości wdrożenia koncepcji Budownictwa 4.0 w obszarze BHP

Possibilities of implementing the Construction 4.0 concept in the area of occupational health and safety

dr inż. Krzysztof Kaczorek (ORCID: 0000-0002-4262-7077), Politechnika Warszawska

DOI: 10.5604/01.3001.0053.9372

Streszczenie: Na początku pierwszej dekady XXI wieku rozpoczęła się czwarta rewolucja przemysłowa, które opiera się na pracy na dotychczas niespotykanej ilości danych, co w rezultacie umożliwia cyfryzację oraz integrację systemów i procesów. Przywołane zmiany są wdrażane również w branży budowlanej, co przekłada się bezpośrednio na opracowywanie nowych innowacyjnych rozwiązań, których celem jest poprawa wybranych parametrów procesu inwestycyjno-budowlanego. W niniejszym artykule przedstawiono możliwości wdrożenia w obszarze bezpieczeństwa i higieny pracy na budowie następujących technologii: BIM, czyli modelowanie informacji o obiekcie budowlanym, usługi w chmurze i technologie mobilne, sztuczna inteligencja, ze szczególnym uwzględnieniem analityki prognostycznej, Internet rzeczy, Rzeczywistość rozszerzona, robotyzacja, bezałogowe statki powietrzne i egzoskielety, Druk 3D, Big Data, Cyfrowe bliźniaki (digital twins). Przeprowadzona analiza umożliwiła wskazanie pól, które już są gotowe do szerokiej implementacji, a które obszary stanowią potencjalne obszary, które mogą być wdrożone w celu poprawy warunków BHP w realizacji kontraktów budowlanych.

Słowa kluczowe: BHP, Budownictwo 4.0, nowoczesne technologie, innowacje.

Abstract: At the beginning of the first decade of the 21st century, the fourth industrial revolution began, which is based on working with previously unprecedented amounts of data, which ultimately enables the digitization and integration of systems and processes. The above-mentioned changes are also implemented in the construction industry, which translates directly into the development of new innovative solutions aimed at improving selected parameters of the investment and construction process. This article presents the possibilities of implementing the following technologies in the area of occupational health and safety on construction sites: BIM, i.e. building information modeling, cloud services and mobile technologies, artificial intelligence, with particular emphasis on predictive analytics, Internet of Things, Augmented Reality, robotization, unmanned aerial vehicles and exoskeletons, 3D printing, Big Data, Digital twins. The analysis carried out made it possible to identify the fields that are already ready for wide implementation, and which areas are potential areas that can be implemented in order to improve health and safety conditions in the implementation of construction contracts.

Keywords: occupational health and safety, Construction 4.0, modern technologies, innovations.

1. Wprowadzenie

Na początku pierwszej dekady XXI wieku rozpoczęła się czwarta rewolucja przemysłowa, która opiera się na pracy na dotychczas niespotykanej olbrzymiej ilości danych, co w rezultacie umożliwia cyfryzację oraz integrację systemów i procesów. W uproszczeniu: od rozwiązań automatycznych przechodzimy w kierunku rozwiązań autonomicznych. Przywołane zmiany są wdrażane również w branży budowlanej, co przekłada się bezpośrednio na opracowywanie nowych innowacyjnych rozwiązań, których celem jest poprawa wybranych parametrów procesu inwestycyjno-budowlanego. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie możliwości wdrożenia koncepcji Budownictwa 4.0 w obszarze bezpieczeństwa i higieny pracy.

2. Czym jest Budownictwo 4.0

2.1. Rys historyczny

Pierwsza rewolucja przemysłowa zaczęła się w XVIII wieku wraz z poznaniem i okiełznaniem mocy pary, co umożliwiło mechanizację produkcji. Siła mięśni (zarówno ludzkich jak i zwierzęcych) była stopniowo wypierana przez silniki parowe. W budownictwie to przede wszystkim dynamiczny rozwój kolejnictwa oraz budowanie licznych obiektów inżynierskich (np. mostów żelaznych) wymaganych przez kolejne nitki połączeń kolejowych. Druga rewolucja przemysłowa miała miejsce w XIX wieku i wiązała się z wynalezieniem elektryczności oraz linii montażowej. W budynkach pojawiają się instalacje elektryczne, zaś w 1867 r. Joseph Monier, ogrodnik miasta Paryża, opatentował siatkobetonowe donice – pierwsze współczesne prefabrykaty. Trzecia rewolucja

przemysłowa to lata 70. ubiegłego wieku i wszechobecna komputeryzacja, a w późniejszym okresie również automatyzacja. Zdecydowanemu usprawnieniu uległ proces projektowania, dzięki oprogramowaniu komputerowemu możliwe były dokładne analizy, co pozwoliło na wznoszenie bardziej skomplikowanych układów konstrukcyjnych. Automatyzacja procesów produkcyjnych przełożyła się na zwiększenie wydajności w prefabrykacji. Obecnie trwa czwarta rewolucja przemysłowa, która charakteryzuje się zbieraniem, przetwarzaniem i analizą olbrzymich ilości danych. Opracowywane są systemy nie tylko inteligentne, ale coraz częściej autonomiczne, które po odpowiednim zaprogramowaniu potrafią same „się uczyć” i pracować przy bardzo ograniczonej ingerencji człowieka. W branży budowlanej czwarta rewolucja przemysłowa otrzymała nazwę Budownictwo 4.0 [9].

2.2. Obszary Budownictwa 4.0

W budownictwie, zgodnie z [23], można wyróżnić następujące obszary związane z czwartą rewolucją przemysłową:

- BIM, czyli modelowanie informacji o obiekcie budowlanym.
- Usługi w chmurze i technologie mobilne.
- Sztuczna inteligencja, ze szczególnym uwzględnieniem analityki prognostycznej.
- Internet rzeczy.
- Rzeczywistość rozszerzona.
- Robotyzacja, bezałogowe statki powietrzne i egzoskielety.
- Druk 3D.
- Big Data.
- Cyfrowe bliźniaki (digital twins).

Wszystkie te obszary są już wykorzystywane również w Polsce, natomiast celem dalszej części niniejszej pracy jest analiza, jak rozwiązania implementować do poprawy warunków BHP w kontraktach budowlanych, a w kolejnym kroku podnieść poziom upowszechnienia przedmiotowych rozwiązań.

3. Charakterystyka wybranych obszarów Budownictwa 4.0 w kontekście BHP

3.1. BIM, czyli modelowanie informacji o obiekcie budowlanym

Formalna implementacja BIM do obszaru BHP nastąpiła między innymi przez brytyjski Standard PAS 1192-6:2018, który wprowadził strukturyzację informacji dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w kontekście budowlanym, z wykorzystaniem technologii BIM (*Building Information Modeling*). Jego celem jest zwiększenie bezpieczeństwa pracowników na placu budowy oraz użytkowników obiektów budowlanych poprzez dostarczenie lepszych i bardziej kompletnych informacji z BHP w całym cyklu życia obiektu.

Poniżej – struktura standardu PAS 1192-6:2018:

- Geneza i koncepcje BHP w BIM.

- Warstwa informacyjna BHP.
- Wymiana informacji BHP.
- Katalog zagrożeń.
- Model informacyjny BHP.

Standard PAS 1192-6:2018 dąży do stworzenia bardziej bezpiecznego i efektywnego środowiska budowlanego poprzez strukturyzację i integrację informacji BHP w ramach projektów BIM. Pomaga to zwiększyć świadomość ryzyka, poprawić zarządzanie bezpieczeństwem oraz propagować wiedzę o BHP w całym cyklu życia obiektu budowlanego. Wdrażanie standardu może przyczynić się do redukcji wypadków i incydentów na placach budowy oraz zapewnienia bardziej bezpiecznych obiektów dla użytkowników. Warto również rozważyć dostosowanie tych koncepcji do lokalnych realiów, tak jak to uczyniono w ramach inicjatywy „Porozumienie dla bezpieczeństwa w budownictwie” w Polsce [10, 11, 19].

3.2. Usługi w chmurze i technologie mobilne

Istnieje wiele aplikacji na tablety, które mogą usprawnić zarządzanie BHP na placu budowy. Głównym celem przedmiotowego software’u jest wsparcie kadry nadzorczej w monitorowaniu i zarządzaniu zagrożeniami, prowadzeniu dokumentacji, szkoleniach pracowników oraz utrzymaniu wysokich standardów bezpieczeństwa. Poniżej przedstawiono wybrane aplikacje mobilne, z krótkim opisem:

- iAuditor firmy SafetyCulture: iAuditor to narzędzie do przeprowadzania inspekcji BHP, audytów oraz tworzenia raportów;
- Safety Meeting App: Ta aplikacja umożliwia tworzenie i dokumentowanie spotkań zespołów ds. bezpieczeństwa;
- Fieldwire: Fieldwire to narzędzie umożliwia śledzenie postępu prac, zarządzanie ryzykiem i dokumentacją BHP oraz komunikację zespołu;
- BIM 360: W przypadku korzystania z technologii BIM, Autodesk BIM 360 pozwala na przeglądanie modeli BIM w kontekście BHP, zarządzanie dokumentacją i audytami;
- SafeSite: Ta aplikacja pozwala na raportowanie incydentów, inspekcje BHP, zarządzanie szkoleniami oraz tworzenie listy kontrolnej związanej z BHP;
- BIStrainer: To narzędzie do zarządzania szkoleniami BHP pracowników na placu budowy;
- SiteDocs: SiteDocs to platforma do zarządzania dokumentacją BHP, inspekcjami i audytami;
- Safety Reports: Ta aplikacja umożliwia tworzenie raportów z incydentów i wypadków, a także zarządzanie dokumentacją BHP. Pozwala na śledzenie trendów i analizę danych;
- BIMx: W przypadku pracy z modelem BIM, BIMx (aplikacja firmy Graphisoft) pozwala na interaktywne przeglądanie modeli w kontekście BHP;
- SHEQSY: SHEQSY to narzędzie do zarządzania aspektami związanymi z jakością, środowiskiem i zdrowiem zawodowym (QSSE).

Powyższe aplikacje mogą być przydatne dla firm wykonawczych w skutecznym zarządzaniu BHP na placach budowy i utrzymaniu wysokich standardów bezpieczeństwa.

Mnogość software'u pozwala na dobór aplikacji pod kątem potrzeb interesariuszy, jak również specyfikacji realizacyjnej kontraktu.

3.3. Analityka prognostyczna

Wykorzystanie analityki prognostycznej w zakresie BHP na budowie ma ogromny potencjał w poprawie bezpieczeństwa pracowników i ograniczeniu ryzyka wypadków. Dzięki zaawansowanym narzędziom i technologiom można osiągnąć poniższe korzyści.

- Identyfikacja potencjalnych zagrożeń na podstawie analizy danych historycznych, warunków pogodowych i innych czynników pozwala na wczesne podejmowanie działań zapobiegawczych.
- Analityka prognostyczna pozwala na prognozowanie ryzyka poprzez tworzenie modeli, które przewidują ryzyko wypadków na budowie, co umożliwia skoncentrowanie się na obszarach o największym potencjale zagrożenia.
- Optymalizacja harmonogramu prac w taki sposób, aby po uzyskaniu prognozy wystąpienia okoliczności sprzyjających pojawianiu się zagrożeń (np. niesprzyjających warunków pogodowych) modyfikować plan prac, tak aby roboty bardziej podatne na niesprzyjające otoczenie przesunąć w inne okno czasowe.
- Za pomocą analityki można monitorować wydajność pracowników i wykrywać sygnały ostrzegawcze, takie jak nadmierne zmęczenie czy brak uwagi, co może negatywnie wpłynąć na bezpieczeństwo.
- Dzięki ciągłemu monitorowaniu i analizie danych można szybko reagować na zmiany warunków na budowie, co może być krytyczne w przypadku awarii lub niebezpiecznych sytuacji.
- Analiza danych może pomóc w identyfikacji obszarów, w których pracownicy potrzebują dodatkowego szkolenia lub wsparcia, co pozwala na lepsze dostosowanie strategii szkoleniowych.
- Analityka prognostyczna ułatwia generowanie dokładnych raportów i dokumentacji związanej z BHP, co może być istotne w przypadku inspekcji i audytów.
- Wykorzystanie analityki prognostycznej może podnieść poziom zaufania inwestorów i przyczynić się do pozyskania nowych projektów.

Warto podkreślić, że analityka prognostyczna w zakresie BHP na budowie opiera się na zbieraniu i analizie danych, co wymaga zaawansowanej infrastruktury technologicznej oraz odpowiednich narzędzi. Jednak inwestycja w tę dziedzinę może przynieść znaczne korzyści w postaci poprawy bezpieczeństwa pracowników, ograniczenia ryzyka oraz zwiększenia efektywności procesów budowlanych [24].

3.4. Internet rzeczy

Internet rzeczy to koncepcja urządzeń mogących połączyć się z internetem lub innymi urządzeniami, korzystając bezpośrednio z sieci bezprzewodowych lub, co rzadziej spotykane,

za pomocą kabli. Doskonałą implementacją Internetu rzeczy w budownictwie są „weraables”, czyli urządzenia ubieralne – ubrania oraz akcesoria zawierające w sobie komputer oraz zaawansowane technologie elektroniczne pracujące w czasie rzeczywistym. Przykładem mogą być rozwiązania opracowane przez firmę Human Condition Safety, takie jak np. inteligentne kamizelki, które mają pomagać noszącym je pracownikom wykonywać swoje zadania w lepszy, bardziej bezpieczny i szybszy sposób, a przy tym stanowią swojego rodzaju kokpit menedżerski działający w czasie rzeczywistym, przekazujący informacje na temat tego, ile pracowników aktualnie znajduje się w obszarach o podwyższonym prawdopodobieństwie wystąpienia wypadku. Inne rozwiązanie to „Connected helmet”. Każdy taki hełm zostaje podłączony do specjalnego systemu, który monitoruje wybrane parametry. Głównym zadaniem urządzenia jest alarmowanie biura budowy w przypadku wykrycia w odczytach anomalii oznaczających niebezpieczną sytuację na placu budowy, tak jak: wstrząs, uderzenie, upadek, czy znaczący wzrost lub spadek wartości temperatury pod hełmem. Wraz z alertem przesyłana jest również lokalizacja danego pracownika, dzięki czemu czas reakcji jest ograniczony do minimum, zaś skuteczność pomocy wzrasta. Hełm ułatwia również pracę z dokumentacją na budowie – system, do którego jest podłączony pokazuje kierownikowi budowy+ ważność badań lekarskich, szkolenia BHP czy uprawnienia do wykonywania specjalistycznych prac [3].

3.5. Rzeczywistość rozszerzona

Rzeczywistość rozszerzona (w skrócie: AR od *Augmented Reality*) to technologia, która pozwala na nakładanie cyfrowych obiektów i informacji na rzeczywisty świat za pomocą urządzeń takich jak smartfony, okulary AR czy tablet. Wykorzystanie AR w branży budowlanej może przynieść korzyści dla bezpieczeństwa i higieny pracy w następujących obszarach: Szkolenia i edukacja; Wizualizacja zagrożeń: Aplikacje AR mogą dostarczać wizualne reprezentacje potencjalnych zagrożeń na budowie; Instrukcje montażu i naprawy; Monitoring i inspekcje; Rozpoznawanie niebezpiecznych substancji; Nawigacja na budowie; Symulacje wypadków; Skanowanie bezpieczeństwa.

Podsumowując, Rzeczywistość rozszerzona ma olbrzymi potencjał do poprawy świadomości pracowników w zakresie BHP, co przyczynia się do zmniejszenia ryzyka wypadków i zapewnienia bezpieczniejszego środowiska pracy na budowie [7].

3.6. Robotyzacja, bezzałogowe statki powietrzne i egzoszkielety

Bezzałogowe statki powietrzne (UAV – *the Unmanned Aerial Vehicles*), zwane potocznie „dronami” znalazły szerokie zastosowanie w monitorowaniu BHP (Bezpieczeństwo i Higiena Pracy) na placach budowy. Drony umożliwiają szybkie i dokładne przeprowadzenie inspekcji terenu budowy z powietrza w celu identyfikacji zagrożeń. Dzięki kamerom i innym

sensorom mogą rejestrować obrazy i filmy z różnych perspektyw, pozwalając na dokładne zbadanie stanu budowy i ewentualnych zagrożeń. Jest to szczególnie przydatne w przypadku konieczności weryfikacji trudno dostępnych lub niebezpiecznych miejsc na placu budowy, takich jak dachy, wysokie konstrukcje czy obszary pod napięciem. Pozwala to na ocenę stanu tych miejsc bez konieczności narażania pracowników na ryzyko wypadku [14, 15, 12]. Co więcej, drony mogą stanowić bezpieczne źródło informacji w przypadku wystąpienia konieczności przeprowadzenia akcji ratunkowej, dzięki czemu służby ratunkowe mogą podejmować szybkie, sprawne i precyzyjne działania. Ma to szczególne znaczenie przy kontraktach realizowanych na dużym obszarze, tak jak chociażby w przypadku kontraktów kolejowych [6], gdzie precyzyjne określenie miejsca wystąpienia zdarzenia niepożądanego jest decydujące dla powodzenia całej akcji ratunkowej.

Na realizowanych w Polsce kontraktach zaczęły się również pojawiać pierwsze egzoszkielety „Human augmentation” (rys. 1). Egzoszkielety mogą pomagać pracownikom w podnoszeniu i przenoszeniu ciężkich przedmiotów, co jest częstym źródłem urazów na budowie. Dzięki wbudowanym mechanizmom i siłownikom egzoszkielety odciążają kręgosłup i mięśnie pracowników, zmniejszając ryzyko kontuzji. Co więcej, na budowie często pracuje się w trudnych warunkach, gdzie trzeba dźwigać ciężkie narzędzia lub elementy konstrukcyjne. Egzoszkielety mogą znacznie zmniejszyć obciążenie ciała pracownika, co pomaga w zapobieganiu przeciążeniom mięśni i stawów. Ponadto egzoszkielety są zaprojektowane tak, aby promować prawidłową postawę ciała podczas pracy. Pomagają utrzymać odpowiednią pozycję pleców i kręgosłupa, co redukuje ryzyko bólu pleców i innych dolegliwości związanych z pracą. Należy również dodać, że egzoszkielety mogą być szczególnie przydatne podczas prac na wysokościach, bowiem pomagają pracownikom w zachowaniu równowagi i stabilności, co jest kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa podczas prac na rusztowaniach czy na drabinach [1].



Rys. 1. Zdjęcie pracownika w egzoszkielecie na kontrakcie „Egzoszkielety „Human augmentation” realizowanym przez firmę JT S.A. [22]

3.7. Druk 3D

Druk 3D, znany również jako drukowanie trójwymiarowe, to innowacyjna technologia produkcyjna, która umożliwia tworzenie fizycznych obiektów poprzez nakładanie materiału warstwa po warstwie na podstawie cyfrowego modelu trójwymiarowego. Jest to proces przeciwieństwa tradycyjnych metod, które polegają na usuwaniu materiału z bryły (np. obróbka skrawaniem lub frezowanie). W budownictwie druk 3D daje możliwość szybkiego i niestandardowego tworzenia komponentów i elementów ochronnych, takich jak ochraniacze na urządzenia, osłony maszyn, bariery ochronne itp. Dzięki temu można dostosować rozwiązania do konkretnych potrzeb i zagrożeń na placu budowy. Ponadto, druk 3D umożliwia produkcję indywidualnych elementów ochrony osobistej, takich jak hełmy, gogle czy maski. Dzięki temu każdy pracownik może mieć dopasowane do siebie środki ochrony, co zwiększa komfort pracy i skuteczność ochrony [21].

3.8. Big Data

Big Data to termin używany do opisanego ogromnych ilości danych, które są zbyt duże i złożone, aby mogły być efektywnie przetwarzane za pomocą tradycyjnych metod i narzędzi analitycznych. Technologie i narzędzia związane z Big Data, takie jak techniki przetwarzania danych w klastrach, rozproszone bazy danych, narzędzia do analizy danych, uczenie maszynowe i sztuczna inteligencja, są wykorzystywane do efektywnego przetwarzania, analizy i wykorzystywania tych ogromnych zbiorów danych, co znajduje również zastosowanie w obszarze bezpieczeństwa na budowie. Big Data umożliwia:

- monitorowanie pracy i analizę ryzyka;
- zarządzanie zasobami ludzkimi;
- monitorowanie maszyn i urządzeń;
- optymalizację logistyki i dostaw;
- przewidywanie incydentów;
- szkolenia i edukację;
- monitorowanie stanu zdrowia pracowników;
- zarządzanie dokumentacją i zgodnością [4, 5, 2].

3.9. Cyfrowe bliźniaki (digital twins)

Cyfrowy bliźniak to wirtualny model lub replika rzeczywistego obiektu lub procesu, którą można monitorować, analizować i symulować za pomocą technologii cyfrowych. W przypadku budowy cyfrowy bliźniak może pomóc w wielu aspektach bezpieczeństwa, w tym w:

- monitorowaniu bezpieczeństwa;
- symulacjach i przewidywaniach;
- szkoleniach i symulacjach;
- zarządzaniu ryzykiem;
- optymalizacji procesów;
- zarządzaniu awariami.

W rezultacie cyfrowe bliźniaki są coraz częściej wykorzystywane w branży budowlanej, aby poprawić zarządzanie

bezpieczeństwem, zmniejszyć ryzyko wypadków i zwiększyć efektywność prac budowlanych [16, 18, 17].

4. Nowe wymagania i trudności we wdrożeniu Budownictwa 4.0

Nowe technologie to oprócz nowych szans również nowe (a czasami i wcześniej znane tylko dotyczące nowych zagadnień) trudności. Do głównych wyzwań związanych z wdrażaniem Budownictwa 4.0 w obszarze BHP należy według [20] zaliczyć:

- konserwatywną mentalność;
- niską otwartość rynku na nowe pomysły;
- poziom przygotowania zawodowego specjalistów;
- niechęć do innowacji z powodu dodatkowego obciążenia;
- niską ufnosć do adaptacji rozwiązań wypracowanych przez inne kraje;
- kwestię bezpieczeństwa danych;
- wzrost zapotrzebowania na analityków danych oraz architektów IT;
- konieczność nauki nowego oprogramowania;
- ścisłą współpracę branży budowlanej z branżą IT.

Wdrażanie innowacji można usprawnić i przyspieszyć korzystając z:

- gotowych rozwiązań, które opracowały zagraniczne podmioty i sprowadziły do Polski na realizowane przez siebie kontrakty;
- doświadczeń inżynierów, którzy po zdobyciu doświadczenia za granicą, wrócili do Polski;
- wiedzy i doświadczenia kadry naukowej, której przedstawiciele podczas odbywania zagranicznych staży pracują z najbardziej nowoczesnymi rozwiązaniami w skali globalnej [7].

5. Podsumowanie

W niniejszym tekście omówiono wprowadzenie czwartej rewolucji przemysłowej, zwanej Budownictwem 4.0, do branży budowlanej. Wprowadzenie tej rewolucji opiera się na wykorzystaniu ogromnych ilości danych, co umożliwia cyfryzację i integrację procesów budowlanych. W pracy przedstawiono możliwości wdrożenia w obszarze bezpieczeństwa i higieny pracy na budowie następujących technologii: BIM, czyli modelowanie informacji o obiekcie budowlanym, usługi w chmurze i technologie mobilne, sztuczna inteligencja, ze szczególnym uwzględnieniem analityki prognostycznej, Internet rzeczy, Rzeczywistość rozszerzona, robotyzacja, bezzałogowe statki powietrzne i egzoszkielety, Druk 3D, Big Data, Cyfrowe bliźniaki (digital twins). Podkreślenia wymaga, że wszystkie wymienione wyżej rozwiązania technologiczne umożliwiają uzyskanie znaczącego podniesienia poziomu bezpieczeństwa na budowie. Niemniej wymaga to wdrożenia szeregu zmian, które zaczynają się już

od procesu kształcenia na uczelniach wyższych, gdzie absolwent kierunku budownictwo powinien poznać również więcej szczegółowych rozwiązań w zakresie IT, aby w przyszłości budować podczas realizacji kontraktów dobrą współpracę pomiędzy informatykami i programistami a przedstawicielami branży budowlanej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ananda T. M., Egzoszkielek – nowy wymiar bezpieczeństwa. utrzymamieruchu.pl, 2019
- [2] Anysz H. Zastosowanie narzędzi uczenia maszynowego i eksploracji danych z uwzględnieniem baz danych o małej liczbie rekordów, *Technologie XXI wieku – Aktualne Problemy i Nowe Wyzwania*, Młodoch-Mendoń I., Maciąg K., Wydawnictwo Naukowe Tygiel, Lublin, 2020, str. 81–104
- [3] Forat A., Przegalińska A., Krzemiński M., Risk assessment on the construction site with the use of wearable technologies, *Ain Shams Engineering Journal* 12/2021, str. 3411–3417
- [4] Gajzler M., Big Data i Data Mining w polskim budownictwie, *Przegląd Budowlany* 7–8/2021, str. 150–153
- [5] Górecki J., Wykorzystanie analizy big data w planowaniu funkcjonowania infrastruktury drogowej, *Autobusy*, 12/2017, str. 1725–1732
- [6] Janowiec F., Leśniak A. Przegląd wybranych procedur i środków wpływających na bezpieczeństwo podczas budowy infrastruktury kolejowej, *Przegląd Budowlany* 9–10/2022, str. 76–80
- [7] Kaczorek K., Ibadov N., Roslon J., *Construction 4.0 – New Possibilities, Intelligent Applications, Research Possibilities*, W (Red.), 4th International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering: ICAIAME 2022, str. 490–499, https://doi.org/10.1007/978-3-031-31956-3_43
- [8] Kostrzewa-Demczuk P., Rogalska M. Planning of construction projects taking into account the design risk, *Archives of Civil Engineering* 1/2023, str. 613–626
- [9] Lis T., Małyś T., Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy w aspekcie wdrażanych rozwiązań Przemysłu 4.0, *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Humanitas, Zarządzanie* 1/2021, str. 95–105
- [10] Magiera J., BIM dla bezpieczeństwa, czyli najnowszy brytyjski standard PAS 1192-6:2018. Cz.1 Geneza i cel, *Builder*, 6/2018, str. 64–68
- [11] Magiera J., BIM dla bezpieczeństwa. Część 2. Standard PAS 1192-6:2018 w praktyce projektowej i budowlanej, *Builder Science* 254(9)2018, str. 38–41
- [12] Nowobilski T., Sawicki M., Szóstak M., Drony w ocenie stanu rusztowań, *Builder Science* 270(1)2020, str. 40–41
- [13] Szóstak M., Napiórkowski M., Analiza możliwości zastosowania wirtualnej rzeczywistości w szkoleniach BHP w budownictwie, *Przegląd Budowlany* 9–10/2022, str. 138–140
- [14] Szóstak M., Nowobilski T.). Bezzałogowe statki powietrzne w budownictwie-protokół bezpiecznego przygotowania i lotu dronem, *Przegląd Budowlany* 9–10/2022, str. 117–120
- [15] Szóstak M., Nowobilski T., Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w budownictwie, *Przegląd Komunikacyjny* 3/2022
- [16] Walters A-M., Technologia cyfrowych bliźniaków napędza wprowadzanie innowacji w sektorze energetycznym, *intelligentnybudynek.eu*, 2022
- [17] Woźniak Z., Hoła B., Zdarzenia potencjalnie wypadkowe jako prekursory wypadków przy pracy w budownictwie, *Materiały Budowlane* 1/2022, str. 72–74
- [18] Woźniak Z., Hoła B., Ciszewski J., Stelmaszczyk M., Znaczenie zdarzeń potencjalnie wypadkowych dla bezpieczeństwa pracy w budownictwie, *Przegląd Budowlany* 9–10/2022, str. 90–93
- [19] Zima K., Plebankiewicz E., Wiczorek D., A SWOT Analysis of the Use of BIM Technology in the Polish Construction Industry, *Buildings* 10(1)2020, str. 16
- [20] Budownictwo. Innowacje. Wizja liderów branży 2025, Centrum Badań i Analiza Rynku, Autodesk, 2020
- [21] cadxpert.pl/druk-3d-komponentow-do-helmow-dla-sluzb-mundurowych
- [22] jtsa.pl/egzoszkielety-na-budowie-oswiecim-tworzen/
- [23] www.planradar.com/pl/nowoczesne-technologie-w-budownictwie/
- [24] www.propertynews.pl/technologie/nowe-technologie-w-budownictwie-sztuczna-inteligencja-silnym-wsparciem,134855.html