

Zagrożenia dla bezpieczeństwa pracy związane z automatyzacją i robotyzacją w budownictwie

Dr inż. Mariusz Szóstak, prof. dr hab. inż. Bożena Hoła, mgr inż. Tomasz Nowobilski, dr inż. Piotr Grzempowski, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, dr inż. Paweł Bogusławski, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

1. Wprowadzenie

Ciągły postęp technologiczny prowadzi do coraz większego udziału zautomatyzowanych i zrobotyzowanych maszyn budowlanych na polskich budowach. Automatyzacja i robotyzacja procesów technologicznych ma na celu zmniejszenie lub wyeliminowanie udziału operatora w obsłudze urządzenia i zastąpienie go sterowaniem zdalnym – komputerowym, zwiększenie wydajności pracy oraz poprawę bezpieczeństwa pracy. Stworzenie bezpiecznych warunków pracy na placu budowy, powinno być nadrzędnym celem każdego pracodawcy.

Ze względów technicznych, ekonomicznych i behawioralnych nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie zagrożeń występujących w środowisku pracy. Można je jednak ograniczyć do pewnego minimum, dzięki wprowadzaniu nowych innowacyjnych rozwiązań technicznych i organizacyjnych do procesów pracy. W takich przypadkach, znane dotąd zagrożenia są eliminowane, jednak mogą się ujawnić nowe zagrożenia dotąd nie znane.

Celem badań prowadzonych przez autorów artykułu jest rozpoznanie najczęściej występujących w polskim budownictwie rozwiązań o charakterze innowacyjnym w zakresie automatyzacji i robotyzacji procesów budowlanych oraz zidentyfikowanie zagrożeń dla życia i zdrowia pracowników z nimi związanych. W związku z powyższym nawiązano kontakt z przedsiębiorstwami, które świadczą usługi budowlane wspomagane zastosowaniem rozwiązań zautomatyzowanych i zrobotyzowanych. Są to krajowe przedsiębiorstwa wykonujące roboty budowlane, produkujące roboty stosowane w budownictwie oraz świadczące usługi wypożyczania sprzętu. Dzięki temu zidentyfikowano najczęściej stosowane, w wykonawstwie robót budowlanych, zautomatyzowane i zrobotyzowane urządzenia i maszyny. Na podstawie przeglądu polskiej literatury przedmiotu oraz doświadczeń własnych zidentyfikowano możliwe zagrożenia dla życia i zdrowia pracowników związane ze stosowaniem tych maszyn i urządzeń.

W artykule zwrócono również uwagę na możliwość poprawy jakości szkoleń pracowników budowlanych w zakresie

bezpieczeństwa pracy, poprzez zastosowanie nowoczesnej technologii, takiej jak wirtualna rzeczywistość VR. Zastosowanie tej technologii z pewnością spowoduje zwiększenie umiejętności pracowników w zakresie wykonywanej pracy oraz zmniejszenia ryzyka związanego z automatyzacją i robotyzacją.

2. Zautomatyzowane i zrobotyzowane maszyny budowlane stosowane w Polsce

Na podstawie informacji uzyskanych od przedsiębiorstw budowlanych, stosujących innowacyjne rozwiązania stwierdzono, że najczęściej wykorzystywanymi, w polskim budownictwie są: drony, roboty wyburzeniowe, maszyny do robót ziemnych wspomaganych systemami pozycjonowania satelitarne GNSS, deskowania samowznoszące, drukarki 3D oraz pojazdy trakcyjne.

2.1. Drony

Bezzałogowe statki powietrzne, tzw. drony, już od wielu lat z powodzeniem wykorzystywane są w budownictwie. W zależności od docelowego przeznaczenia stosuje się drony o różnej konstrukcji i wadze. Urządzenia te mogą być wyposażone m.in. w kamery o wysokiej rozdzielczości, kamery termowizyjne, skanery laserowe i urządzenia odbiorcze GNSS. Widok oprzyrządowania drona, tj. skanera LiDAR oraz kamer wysokiej rozdzielczości zamieszczono przykładowo na rysunku 1. Dzięki takiemu wyposażeniu drony mają zastosowanie w:

- kontroli obiektów budowlanych do których dostęp jest utrudniony, np. mostów, kominów, dachów [1, 2]. Zdjęcie wykonane za pomocą drona, na którym widoczne są uszkodzenie elementów konstrukcyjnych mostu zamieszczono na rysunku 2;
- ocenie stanu technicznego konstrukcji i ich elementów [3, 4]. Na obrazie transmitowanym przez kamery z drona można znaleźć pęknięcia i inne defekty zagrażające bezpieczeństwu konstrukcji;
- monitorowaniu postępów prac budowlanych. Nadzór z powietrza pozwala na większą kontrolę przebiegu prac



Rys. 1. Widok na spód drona – skaner laserowy LiDAR oraz kamery wysokiej rozdzielczości (źródło: [5])



Rys. 2. Widok z powietrza na elementy podparcia przęsła mostowych na podporach



Rys. 3. Ortofotomapa z widokiem na budynek C-13 Politechniki Wrocławskiej

na budowie dzięki możliwości wykonywania zdjęć i filmów z realizacji inwestycji [5–8];

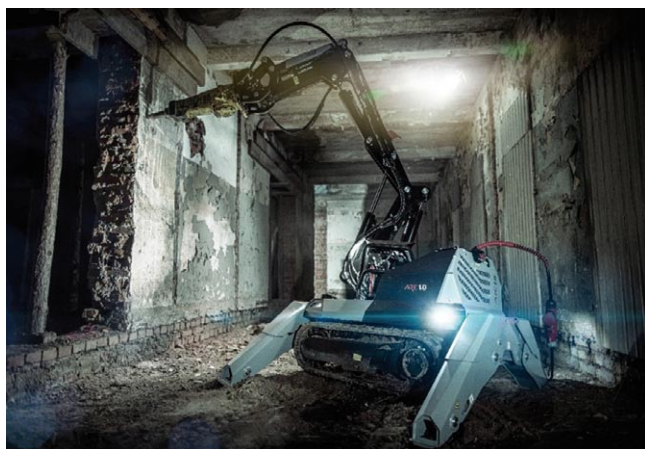
- termowizyjnych badaniach obiektów budowlanych [9]. Dzięki zastosowaniu kamer termowizyjnych jest możliwe dokonywanie pomiarów i identyfikowanie źródeł utraty ciepła w budynku;
- monitorowaniu i kontroli środowiska pracy, identyfikacji zagrożeń w realizacji obiektów [10–13]. Dzięki temu zmniejszane jest ryzyko wypadków, a tym samym zwiększone bezpieczeństwo pracy;
- pozyskiwaniu zobrazowań do wyznaczania geometrii 3D obiektów przestrzennych, określaniu wymiarów

przestrzennych (odległość, powierzchnia, objętość), tworzenia ortofotomapy, a także inwentaryzacji atrybutów obiektów [14]. Przykład ortofotomapy budynku C-13 Politechniki Wrocławskiej zamieszczono na rysunku 3.

Drony, w zależności od swojej konstrukcji i docelowego przeznaczenia w trakcie jednego lotu mogą pokonać nawet kilkanaście kilometrów. Zaletą dronów jest ich wysoka mobilność oraz możliwość szczegółowej inwentaryzacji dużego obszaru w krótkim czasie. Należy jednak pamiętać, że drony mogą być obsługiwane jedynie przez osoby posiadające odpowiednie uprawnienia.

2.2. Roboty do prac wyburzeniowych

Na polskim rynku budowlanym jest dostępnych kilka różnych robotów do prac wyburzeniowych. Na podstawie przeglądu stron internetowych oraz kontaktów z przedsiębiorstwami budowlanymi można wymienić następujące roboty do prac rozbiórkowych: Husqvarna, Brook, Avant i ARE. Główną zaletą tych maszyn jest zdalne sterowanie pracą maszyny oraz stosunkowo niewielki ciężar i gabaryty. Roboty zasilane są energią elektryczną – prądem trójfazowym, a w przypadku robota ARE zaprojektowano zasilanie hybrydowe, a mianowicie: za pośrednictwem kabla elektrycznego lub alternatywnie za pomocą baterii elektrycznej. Sterowanie pracą maszyny jest zdalne, za pośrednictwem pilota, konsoli lub zdalnego pulpitu co zapewnia większe bezpieczeństwo pracy operatora. Dzięki niewielkiej szerokości maszyna mieści się w standardowych otworach drzwiowych, co pozwala na jej pracę wewnątrz pomieszczeń. Niewielki ciężar maszyny umożliwia pracę na stropach o odpowiedniej wytrzymałości. Mała wysokość zapewnia dobrą widoczność w czasie wyburzania i skuteczną kontrolę pracy maszyny. Ze względu na możliwość zastosowania licznego osprzętu jak: młot hydrauliczny, szczypce, nożyce, łyżka, chwytak wyburzeniowy, maszyny te mają zastosowanie do wszystkich ciężkich i niebezpiecznych prac budowlanych. Przykładowo na zdjęciu pokazano pracę robota wyburzeniowego (rys. 4).



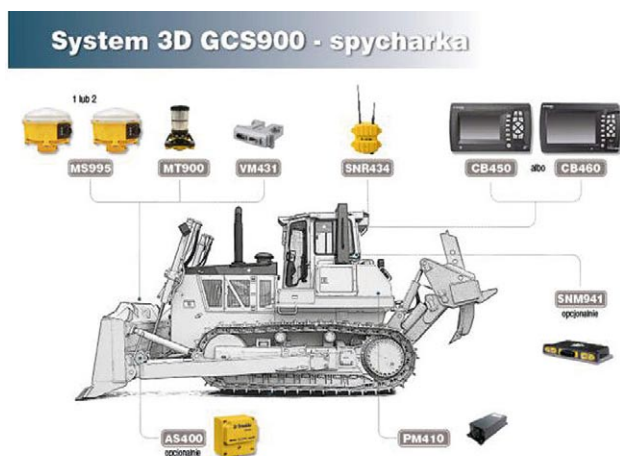
Rys. 4. Robot wyburzeniowy w trakcie prac rozbiórkowych (zdjęcie ze zbioru Advanced Robotics Engineering)

2.3. Systemy sterowania maszynami do robót ziemnych

Systemy sterowania maszynami do robót ziemnych stanowią istotny element usprawnienia prac ziemnych. Zadaniami realizowanymi przez systemy są:

- pozycjonowanie maszyn na placu budowy z użyciem systemów pozycjonowania satelitarne GNSS lub zrobotyzowanego tachimetru,
- wyznaczanie wychyleń względnych maszyn oraz ich części roboczych,
- sterowanie hydrauliką maszyn w celu ustawiania wysokości i nachylenia części roboczych maszyn,
- komunikacja pomiędzy systemem sterowania maszyn i systemem zarządzania przedsięwzięciem.

Systemy pozycjonowania mają za zadanie lokalizację maszyn w układzie współrzędnych oraz w kombinacji z czujnikami wychyleń wyznaczanie orientacji maszyn w przestrzeni 3D. W zależności od stopnia zaawansowania systemu możliwe jest dwustronne przekazywanie w czasie rzeczywistym danych o realizacji przedsięwzięcia między systemem sterowania i systemem zarządzania projektem. Pozwala to na śledzenie postępu prac i optymalizację robót ziemnych oraz redukcję kosztów. Przykład systemu sterowania maszynami oferowanymi na polskim rynku przedstawiono na rysunku 5. Systemy sterowania maszyn nie są obecnie w pełni autonomiczne i wymagają bezpośredniego lub zdalnego nadzoru operatora [15]. Prowadzone są prace badawcze nad systemami w pełni autonomicznymi [16] oraz identyfikowane są problemy, które wymagają rozwiązań w najbliższej przyszłości. Do kluczowych zadań należy zaliczyć: opracowanie autonomicznych algorytmów i ich adaptacja do zróżnicowanych maszyn i realizowanych zadań, opracowanie autonomicznej nawigacji i planowania ścieżek, opracowanie technologii komunikacji oraz koordynacji między maszynami, opracowanie technologii jednoczesnej lokalizacji i wizualizacji graficznej, a także identyfikacja i przeciwdziałanie sytuacjom niebezpiecznym.



Rys. 5. Przykład systemu sterowania maszynami do robót ziemnych (źródło: <https://www.sitech-poland.pl/products/system-3d-gcs900/>)

2.4. Inne przykłady zautomatyzowanych lub zrobotyzowanych maszyn budowlanych

Warto zauważyć, że w budownictwie kubaturowym stosuje się także inne formy automatyzacji, np.: stosowanie deskowań samowznoszących, które znacząco przyspieszają realizację robót budowlanych. Rozwiązania te są oparte na układzie hydraulicznym i pozwalają na budowę bardzo wysokich budynków o skomplikowanej bryle bez potrzeby użycia żurawi wieżowych. Wznoszenie struktury odbywa się kolejno poprzez wysunięcie w górę maszty (stosowane są rozwiązania wykorzystujące szynę wspinania), a następnie podniesienie przy jego wykorzystaniu kompletu deskowania na żadaną wysokość. Z uwagi na ich konstrukcję, platformę roboczą i hydrauliczny system wznoszenia traktuje się jako jeden element.

Innowacyjnym rozwiązaniem są również drukarki 3D wykorzystywane do wznoszenia budynków, jednak stanowią one rzadkość w polskim budownictwie. Technologia druku 3D może być również zastosowana na etapie wykonywania projektu architektonicznego do wykonywania modelu 3D obiektu (fizyczna wizualizacja obiektu) oraz na etapie realizacji (wydrukowany model 3D, fragment lub cały budynek w skali 1:1) [17]. Na podstawie przeprowadzonego rozeznania literaturowego stwierdzono, że dotychczas zostało wykonanych niewiele takich budynków (w skali 1:1) i technologia ta dopiero wchodzi na rynek budowlany.

W budownictwie kolejowym automatyzacja procesów konstrukcyjnych i pomiarowych realizowana jest przez zastosowanie pociągów roboczych, np. podbijarki automatyczne. Obecnie w Polsce wdrażany jest Krajowy Program Kolejowy realizujący strategię przyjętą przez Radę Ministrów, w którym zawarto ponad 230 kolejowych projektów inwestycyjnych, w trakcie których pociągi robocze znajdą zastosowanie przy budowie nowych i modernizacji istniejących linii kolejowych.

3. Zagrożenia związane ze stosowaniem wybranych maszyn i urządzeń budowlanych

Na podstawie analizy literatury przedmiotu, a także bezpośrednich informacji od producentów oraz użytkowników zautomatyzowanych i zrobotyzowanych maszyn budowlanych zidentyfikowano najczęściej występujące zagrożenia związane ze stosowaniem tych urządzeń. Wyniki analiz zebrano w tabeli 1.

4. Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości do szkolenia pracowników budowlanych w zakresie bezpieczeństwa pracy

W ostatnich latach wirtualna rzeczywistość (*Virtual Reality* – VR) coraz częściej wykorzystywana jest w branży IT, medycynie i przemyśle [24]. Wirtualna rzeczywistość to świat stworzony przy użyciu technik komputerowych, który pozwala

Tabela 1. Zagrożenia związane z eksploatacją wybranych maszyn budowlanych

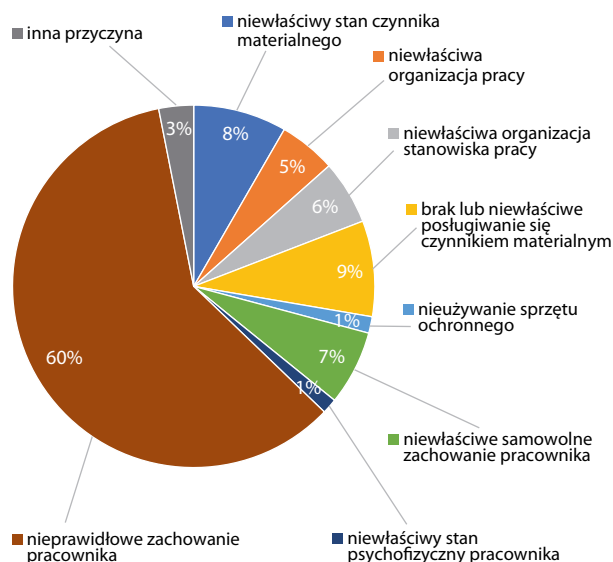
Nazwa urządzenia	Zagrożenia/Sytuacje niebezpieczne
Bezzałogowe statki powietrzne – drony	<ul style="list-style-type: none"> • awaria urządzenia powodująca niekontrolowany lot bądź upadek drona, a w konsekwencji uderzenie w pracownika i spowodowanie uszkodzenia ciała bądź zniszczenia drona; • możliwość utraty kontroli nad urządzeniem powodująca niekontrolowany lot bądź upadek drona, a w konsekwencji jego zniszczenie, uderzenie w pracownika i spowodowanie uszkodzeń jego ciała; • zagrożenia wynikające z warunków terenowych i pogodowych, np. słaba bądź ograniczona widoczność i uderzenie dronem w przeszkodę; • zagrożenie upadkiem drona z przyczyn technicznych, z powodu złego przygotowania do lotu; • uderzenia dronem w przeszkodę lub kolizja z innym poruszającym się obiektem w przestrzeni powietrznej i w konsekwencji zniszczenie urządzenia, uderzenie w osoby postronne i obrażenia ciała; • zagrożenia wynikające od osób trzecich; • zagrożenie pożarowe, awaria akumulatora, zniszczenie uszkodzenie drona; • porażenie prądem w wyniku awarii akumulatora w czasie przygotowania drona do lotu.
Roboty wyburzeniowe [18–21]	<ul style="list-style-type: none"> • zagrożenia mechaniczne spowodowane niekontrolowanymi ruchami ramienia robota, uderzenie w pracownika, przygniecenie do przeszkody; • uderzenie pracownika, znajdującego się w strefie pracy robota, przez poruszające się ramię robota; • przewrócenie się maszyny na skutek przemieszczania się po nierównym podłożu i przygniecenie pracownika; • zagrożenie zmiany toru przemieszczania się urządzenia w wyniku awarii systemu sterującego; • zagrożenie elektryczne, ryzyko porażenia prądem w wyniku awarii instalacji elektrycznej; • hałas i pył.
Autonomiczne i półautonomiczne maszyny do robót ziemnych [22, 23]	<ul style="list-style-type: none"> • zagrożenia związane z nieplanowanym wejściem/wtargnięcie osób postronnych i innych maszyn/urządzeń/przedmiotów w strefę pracy maszyn jak: potrącenie, najechanie, przejechanie; • zagrożenia związane z nieplanowanym pojawieniem się innych maszyn/urządzeń/przedmiotów w strefie pracy maszyny np. kolizja i obrażenia ciała doznane przez operatorów; • wystąpienie niezidentyfikowanych obiektów infrastruktury podziemnej, np. kable elektryczne, rurociągi wodne, gazowe, które mogą stworzyć bezpośrednie zagrożenie dla pracowników jak: porażenie prądem, poparzenie, utonięcie pracownika w wykopie, inne; • błędy w systemie sterowania, które mogą spowodować niekontrolowanych ruch maszyny i w konsekwencji najechanie na pracownika.
Deskowania samowznoszące	<ul style="list-style-type: none"> • upadek pracownika z wysokości; • upadek deskowania; • uderzenie spadającymi przedmiotami; • zagrożenie mogą wystąpić w trakcie montażu, demontażu, regulacji położenia i eksploatacji.
Drukarki 3D	<ul style="list-style-type: none"> • awaria systemu sterowania; • niekontrolowany ruch ramienia drukarki uderzenie w osoby obsługujące; • zachłapanie rozprowadzanym materiałem; • nieprawidłowe ułożenie podawanego materiału; • zawalenie się ścian obiektu.
Pociągi robocze	<ul style="list-style-type: none"> • uderzenie przez poruszający się pojazd trakcyjny, gdy pracownik znajdzie się w strefie niebezpiecznej; • uderzenie przez maszynę w ruchu w pracownikach lub przeszkodę; • porażenie prądem z napowietrznej linii trakcyjnej.

na symulację zjawisk zachodzących w świecie rzeczywistym. Współczesne systemy VR pozwalają wygenerować wirtualne środowisko bardzo dobrze imitujące różne warunki pracy, w tym również panujące na placu budowy. Dzięki takim symulacjom użytkownik może dokładnie zobaczyć, poczuć i „przeżyć” określone scenariusze i sytuacje, które mogą wystąpić w środowisku pracy. Wirtualna rzeczywistość oddziałuje równocześnie na kilka zmysłów człowieka. W zależności od zastosowanych rozwiązań są to: wzrok, słuch, zmysł równowagi, propriocepcja (tj. zmysł orientacji ułożenia części własnego ciała). Technika VR charakteryzuje się niemal całkowitym odizolowaniem zmysłów człowieka od wrażeń pochodzących z rzeczywistego świata. W zamian za to prezentowany jest mu obraz oraz dźwięk przygotowany przez komputer, będący odzwierciedleniem symulowanego środowiska. Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości bardzo dobrze wspomaga szkolenia pracowników budowlanych w zakresie bezpieczeństwa na placu budowy.

Procentowy udział przyczyn wypadków przy pracy w budownictwie zidentyfikowanych w 2019 roku przedstawiono na rysunku 6.

5. Podsumowanie

Najczęściej występującą przyczyną wypadku przy pracy w budownictwie jest: nieprawidłowe zachowanie się pracownika stanowiące 60% wszystkich zidentyfikowanych przyczyn. Może ono wynikać z nieznanomości zagrożeń, przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, lekceważenia zagrożenia i brawury, braku doświadczenia i innych. Jedną z możliwości podnoszenia poziomu umiejętności pracowników, zwiększenia ich świadomości i postrzegania zagrożeń w środowisku pracy, jest prowadzenie szkoleń w warunkach jak najbardziej przypominających warunki rzeczywiste. Narzędziem pomocnym w tym zakresie jest wirtualna rzeczywistość. Dzięki wykorzystaniu wirtualnego środowiska



Rys. 6. Przyczyny wypadków w polskim przemyśle w 2019 roku [25]

pracownik może dokładnie zobaczyć, poczuć i przeżyć, jakie mogą być konsekwencje w przypadku nieprawidłowego zachowania się w środowisku pracy. Pozwala to nie tylko wyeliminować niepotrzebne ryzyko, ale też zmniejszyć wydatki i przyspieszyć proces szkoleniowy.

Obecnie na Politechnice Wrocławskiej, we współpracy z University of the West of England (Wielka Brytania), Asociacion Empresarial de Investigacion Centro Tecnologico del Marmol Y La Piedra (Hiszpania), Bildungszentren des Baugewerbes EV (Niemcy), jest realizowany międzynarodowy projekt badawczy, finansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach programu Erasmus+ „SafeCROBOT: Virtual reality immersive safety training environment for robotised and automated construction sites”, w ramach którego jest planowane opracowanie innowacyjnego, bezpiecznego środowiska szkoleniowego wykorzystującego wirtualną rzeczywistość i symulację 3D rzeczywistych scenariuszy. Interaktywne wirtualne środowisko będzie więc okazją do symulacji warunków pracy i identyfikacji zagrożeń związanych ze zautomatyzowanymi i zrobotyzowanymi pracami budowlanymi, a także pozwoli na zwiększenie kwalifikacji, umiejętności i świadomości ostrzegania zagrożeń przez pracowników budowlanych.

Praca jest wynikiem realizacji przez autorów projektu badawczego nr 2020-1-UK01-KA202-079176 „Virtual reality immersive safety training environment for robotised and automated construction sites” finansowanego przez europejski program Erasmus+ (<https://safecrobot.pwr.edu.pl>).

BIBLIOGRAFIA

[1] Nowobilski T., Bezzałogowe statki powietrzne w kontroli obiektów budowlanych, Builder, 2/2020, str. 18–20
 [2] Kaleta D., Macheta D., Reizer E., Rajcherm M., Możliwości stosowania dronów do inspekcji mostów, Archives of Institute of Civil Engineering 24/2017, str.141–149

[3] Nowobilski T., Sawicki M., Szóstak M., Drony w ocenie stanu rusztowań, Builder 1/2020, str. 40–41
 [4] Nowobilski T., Sawicki M., Szóstak M., Analiza rusztowań budowlanych z wykorzystaniem nowych technologii rusztowania, Builder 7/2020, str. 32–33
 [5] Rybka I., Nowobilski T., Stolarz M., Nowoczesne technologie monitorowania robót ziemnych, Builder 5/2020, str. 44–47
 [6] Waniewska A., Identyfikacja możliwości wykorzystania bezzałogowych statków latających w procesie realizacji przedsięwzięć budowlanych, Scientific Journal of the Military University of Land Forces, 2020, 52, 3(197), str. 643–650
 [7] Skorupka D., Duchaczek D., Waniewska A., Kowacka, M., Optimization of the choice of unmanned aerial vehicles used to monitor the implementation of selected construction projects, AIP Conference Proceedings, 2017, 1863, 230013, str. 1–4
 [8] Mrówczyńska M., Grzelak B., Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w procesie inwestycyjnym, Cyfryzacja w budownictwie i architekturze, redakcja naukowa Wojciech Drozd, Piotr Koziół, Krzysztof Zima. Warszawa, 2019
 [9] Noszczyk P., Nowak H., Zastosowanie dronów do termowizyjnych badań obiektów budowlanych, Materiały Budowlane 11/2017
 [10] Becmer D., Skorupka D., Duchaczek A., Trendy rozwojowe bezzałogowych systemów latających, Problemy Techniki Uzbrojenia, 2015, 136, 4, str. 19–40
 [11] Fellner A., Mańka A., Mańka I., Analiza zagrożeń wynikających z użytkowania bezzałogowych statków powietrznych (dronów), TTS Technika Transportu Szynowego, 2015, 22, 12, str. 489–491
 [12] Kardach M., Fuć P., Galant M., Maciejewska M., Ocena ryzyka zagrożeń w systemach użytkowania bezzałogowych statków powietrznych, Journal of KONBiN, 49/2019, str. 95–106
 [13] Kasperska R., Możliwości monitorowania bezpieczeństwa środowiska pracy za pomocą dronów, Polskie Towarzystwo Profesjologiczne, Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy, Uniwersytet Zielonogórski, Problemy Profesjologii 1/2019, str. 83–90
 [14] Mika W., Ferenc A., Czaja S., Modelowanie 3D obiektów budowlanych z wykorzystaniem drona, Przegląd Górniczy, 7/2019, str. 55–62
 [15] Szafranko E., Machine control systems for leveling areas for road investments, IOP Conference Series Materials Science and Engineering 2020, 709, 022077
 [16] Dadhich S., Bodin U., Andersson U., Key challenges in automation of earth-moving machines, Automation in Construction 68/2016, str. 212–222
 [17] Major M., Minda I., Zastosowanie technologii druku przestrzennego w budownictwie, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Budownictwo 22/2016, str. 238–247
 [18] Derlukiewicz D., Application of a Design and Construction Method Based on a Study of User Needs in the Prevention of Accidents Involving Operators of Demolition Robots, Applied Sciences 9/2019, str. 1500
 [19] Cieślak M., Derlukiewicz D., Determining the causes of the arm member fractures of the brokk 90 demolition machine with use of high speed camera and finite element method, 8th International Symposium on Mechanics and Structures, Augustów, 2015
 [20] Derlukiewicz D., Ptak M., Koziół S., Proactive Failure prevention by Human-Machine Interface in Remote-Controlled demolition robots, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2016, 445
 [21] Derlukiewicz D., Ptak M., Wilhelm J., Jakubowski K., The Numerical-Experimental Studies of Demolition Machine Operator Work, Proceedings of the 13th International Scientific Conference, 2016, str. 129–138
 [22] Budny E., Chłosta M., Kierunki rozwoju automatyzacji w budownictwie cz. I, Technologia i Automatyzacja Montażu 1/2016, str. 26–28
 [23] Budny E., Chłosta M., Kierunki rozwoju automatyzacji w budownictwie cz. I, Technologia i Automatyzacja Montażu, 4/2016, str. 24–29.
 [24] Klempous R., Kluwak K., Idzikowski R., Nowobilski T., Zamojski T.: Possibility analysis of danger factors visualization in the construction environment based on Virtual Reality Model. 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, CogInfoCom 2017: proceedings, September 11-14, 2017, Debrecen, Hungary. Danvers, MA: IEEE, cop. 2017, str. 363-367.
 [25] Główny Urząd Statystyczny.: Wypadki przy pracy w 2019 roku. Urząd Statystyczny w Gdańsku, Warszawa, Gdańsk 2020