

dr inż. Aleksandra Radziejowska<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-3190-7129

mgr inż. Agata Struś<sup>2)</sup>

# Diagnostyka obiektów w złym stanie technicznym w kontekście bezpieczeństwa prowadzenia robót budowlanych

## *Diagnostics of objects in a bad technical condition in the context of safety of construction works*

DOI: 10.15199/33.2022.10.16

**Streszczenie.** Budownictwo charakteryzuje się dużą wypadkowością podczas prowadzenia wszelkiego rodzaju prac, co w dużej mierze wynika z indywidualnego charakteru każdego przedsięwzięcia. Ryzyko zaistnienia wypadku będzie większe podczas oceny stanu technicznego, a następnie prac remontowych i/lub rozbiórkowych w obiektach, w których nie prowadzono przez wiele lat prawidłowej polityki utrzymaniowej. Niezbędne jest szukanie rozwiązań, które zminimalizują zagrożenie życia i zdrowia osób przebywających w takich obiektach. Proponujemy zwiększenie bezpieczeństwa podczas wykonywania oceny stanu technicznego, a także późniejszego prowadzenia prac w obiekcie przez zastosowanie nowoczesnych metod, takich jak inwentaryzacja obiektu statkami bezzałogowymi oraz jego skanowanie, utworzenie modelu obiektu, a następnie możliwość wykonania symulacji przeprowadzenia prac rozbiórkowych.

**Słowa kluczowe:** ocena stanu technicznego; bezpieczeństwo; diagnostyka; rozbiórka; symulacja.

**Abstract.** The civil engineering is characterised by a high accident rate during the execution of all types of work, which is largely due to the individual nature of each project. The risk of an accident will be greater during technical condition assessments and in particular, during renovation and/or demolition work on buildings where there has not been a proper maintenance policy for many years. It is necessary to seek solution that minimise the risk to life and health of the occupants of such facilities. We propose to increase safety during the assessment of the technical condition of a facility and the subsequent conduct of works in the facility by using modern method such as an inventory of the facility with unmanned vehicles and its scanning, creating a model of the facility and then the possibility to simulate the conduct of demolition works.

**Keywords:** technical condition assessment; safety; diagnostics; demolition; simulation.

**B**udownictwo charakteryzuje się wieloma cechami sprzyjającymi występowaniu dużego ryzyka zaistnienia wypadku. Przyczyniają się do tego cechy charakterystyczne każdego tego typu przedsięwzięcia, takie jak: zmienność warunków pracy; istotny wpływ warunków atmosferycznych; zmieniający się ciągły front robót i zaplecze budowy; indywidualny charakter każdej inwestycji itp. Z tego powodu określa się pracę na budowie jako jeden z zawodów o największym ryzyku wypadkowym. Obserwując statystyki wypadków na budowach, nietrudno zauważyć, że jednak najczęściej na tego typu sytuację ma wpływ czynnik ludzki [1, 2]. Liczba możliwych wypadków zależy od typu realizowanego przedsięwzięcia budowlanego. Wię-

ksza będzie występowała w obiektach poddawanych gruntownym remontom, przebudowom oraz rozbiórkom. Zarówno w przypadku remontu, jak i rozbiórki, jeśli przyczyną prowadzenia prac będzie zły stan techniczny, to zagrożenie wypadkiem będzie największe. W artykule skupiono się na najniebezpieczniejszym typie robót budowlanych towarzyszących tym pracom, a przede wszystkim na diagnostyce stanu technicznego poprzedzającej przystąpienie do robót, mającej często decydujący wpływ na bezpieczeństwo.

### Klasyczne metody oceny stanu technicznego

W klasycznym podejściu do badań diagnostycznych istniejących obiektów budowlanych można spotkać wiele metod stosowanych w celu jak najbardziej dokładniejszej oceny ich stanu technicznego [3, 4, 5, 6, 7]. Diagnostyka obiektów budowlanych jest dziedziną

wiedzy o rozpoznawaniu stanów technicznych obiektów budowlanych, najczęściej z użyciem specjalistycznej aparatury na podstawie dostępnych symptomów, zjawisk, a także na podstawie znajomości występujących procesów.

Diagnozowanie istniejących budynków, po wieloletniej eksploatacji, jest zadaniem trudnym i na ogół bardziej złożonym niż projektowanie nowych. Nośność konstrukcji tego typu obiektów jest zmienną losową, zależną od aktualnych parametrów wytrzymałościowych materiałów, rozwiązań projektowych, jakości wykonania robót, sposobu użytkowania i eksploatacji obiektu. Dodatkowo czynnikiem utrudniającym określenie nośności, a zatem ocenę bezpieczeństwa obiektów, jest często brak dokumentacji technicznej budynku [4].

Klasyczne metody diagnostyki bazują najczęściej na ocenie wymagającej przeprowadzenia bezpośrednich prac

<sup>1)</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

<sup>2)</sup> absolwentka Akademii Górniczo-Hutniczej

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: aradziej@agh.edu.pl

w obiekcie, często połączonych z oceną organoleptyczną. Tego typu ocena stanu technicznego konstrukcji wymaga wejścia do budynku w celu dokładnego zbadania poszczególnych elementów konstrukcyjnych. Niejednokrotnie taka ocena połączona jest również z wykonaniem częściowych odkrywek mających na celu ocenę stanu elementów nośnych w budynku znajdujących się pod warstwami wykończenia. W przypadku obiektów zaniedbanych przez wiele lat lub w których nie prowadzono właściwej polityki eksploatacyjnej nawet wstępna ocena ich stanu technicznego jest zadaniem obciążonym dużym ryzykiem zaistnienia wypadku [8]. Warto więc poszukiwać, a następnie wdrażać narzędzia i metody, które zminimalizują ryzyko, a jednocześnie pozwolą na uzyskanie wiarygodnej oceny stanu technicznego obiektu. Ponadto należy mieć na uwadze, że dobrze przeprowadzona diagnostyka będzie stanowiła bardzo istotny czynnik maksymalizujący bezpieczeństwo podczas późniejszego prowadzenia prac. Zwiększenie bezpieczeństwa jest możliwe dzięki zastosowaniu nowych narzędzi i technologii, jakie pojawiają się na rynku.

## Charakterystyka prac związanych z największym ryzykiem zaistnienia wypadku

**Prace rozbiórkowe** to jedne z najbardziej niebezpiecznych robót budowlanych. W Polsce coraz częściej można zaobserwować wymianę starej substancji budowlanej, szczególnie w centrach dużych miast. Przykładami mogą być rozbiórki prowadzone w ostatnich latach, m.in. Szpitala Kolejowego w Krakowie lub obiektu biurowego (fotografia 1), gdzie rozpoczęto realizację nowej inwestycji prawdopodobnie o tym samym przeznaczeniu. Przed wybraniem rodzaju techniki rozbiórkowej, wykonawca rozważa kryteria decydujące o efektywności prac, uwzględniając skalę budowy, jej lokalizację, koszty i przede wszystkim bezpieczeństwo [9].

Najczęściej podczas prowadzenia prac rozbiórkowych wykorzystywane są obecnie **metody mechaniczne w połączeniu z metodami manualnymi (ręcznymi)**. Ręczne metody obejmują wszelką technikę, w której używany jest lekki sprzęt budowlany zarówno do demontażu elemen-



**Fot. 1. Rozbiórka obiektu biurowo-usługowego w Krakowie przy ulicy Wadowickiej, 01.12.2021**

*Archiwum autorek  
Photo 1. Demolition of an office and service facility in Kraków at Wadowicka Street, 01.12.2021  
Authors' archives*

tów, jak i ich usuwania. Niestety ta metoda związana jest w największym stopniu z czynnikiem ludzkim, a w efekcie z największą możliwością zaistnienia wypadku [10 ÷ 13]. Natomiast mechaniczna rozbiórka zdecydowanie przyspiesza prowadzenie prac, a jednocześnie zmniejsza zagrożenie wypadkiem. W przeciwieństwie do tradycyjnych technik demontażu, duże znaczenie ma w tym przypadku zagospodarowanie terenu rozbiórki [2, 14, 15]. Istnieją rozbiórki polegające na rozbijaniu elementów za pomocą kuli burzącej, obalaniu linami podczepionymi do ciągników lub koparkami wyburzeniowymi, cięciu mechanicznemu, termicznemu i wodą, a także rozpieraniu urządzeniami mechanicznymi działającymi na zasadzie klina [16 ÷ 18].

Duże znaczenie w doborze metody rozbiórki ma materiał, z jakiego zbudowany został obiekt. Zdecydowanie łatwiej jest prowadzić ręczne prace rozbiórkowe w przypadku budynków w technologii drobnowymiarowej, w przeciwieństwie do konstrukcji żelbetonowych lub stalowych. Niezależnie jednak od metody, aby prace przebiegały bezpiecznie, bardzo ważne jest określenie stanu technicznego konstrukcji poddawanej rozbiórce. Diagnostyka w tym przypadku będzie stanowiła bardzo istotny czynnik w celu maksymalizacji bezpieczeństwa podczas prowadzenia prac.

## Zastosowanie nowych technologii w celu zwiększenia bezpieczeństwa prowadzonych prac

**Techniki skanowania laserowego 3D oraz fotogrametria** są coraz częściej stosowane w przypadku inwentaryzacji istniejących obiektów budowla-

nych. Na tym etapie, szczególnie gdy dokumentacja nie jest dostępna, należy utworzyć model parametryczny, który będzie w pełni reprezentował geometrię oraz wygląd danego budynku.

**Inwentaryzacja skanowaniem laserowym.** Pozyskanie danych pozwalających wiernie odtworzyć cyfrową wersję analizowanego obiektu zaczyna się od pomiarów skanowaniem laserowym odległości pomiędzy skanerem a powierzchnią elementu na podstawie odebranego kształtu fali (odbicia). Aby zeskanować cały obiekt, należy wykonać dużą liczbę skanów, szczególnie ze względu na ograniczony zasięg działania skanera. Najdokładniejsze wyniki uzyskuje się, skanując powierzchnie, które nie są idealnie gładkie (dokładność skanów laserowych zależy od odbicia). W otoczeniu skanera rozmieszczone są punkty referencyjne (markery) umożliwiające skompletowanie modelu poligonalnego w chmurę punktów. Otrzymane wyniki składają się z wielomilionowych zbiorów punktów w kolorach RGB, tworzących trójwymiarową reprezentację zeskanowanego obiektu o określonych współrzędnych X, Y, Z [19].

Obrazy otrzymane ze skaningu obiektów zlokalizowanych w gęstej zabudowie otoczonej bujnie rosnącą roślinnością mogą charakteryzować się tzw. martwymi polami, przez które nie ma możliwości uzyskania kompletnego modelu, dlatego też zaleca się stosować jednocześnie jeszcze metodę fotogrametrii.

**Inwentaryzacja statkami bezzałogowymi za pomocą fotogrametrii.** Metodą pozyskiwania i przetwarzania danych obrazowych jest fotogrametria niskiego pułapu. Pomiarów wykonywane są za pomocą bezzałogowego statku powietrznego (BSP). Wyposażony w kamerę cyfrową wykonuje nieprzerwany ciąg zdjęć z co najmniej sześćdziesięcioprocentowym pokryciem między nimi. Dodatkowym parametrem wpływającym na jakość danych jest kąt wykonywania zdjęć. Kąt odchylenia od osi prostopadłej do płaszczyzny odniesienia nie może przekroczyć 15°. „Nalot” dronem może być wykonywany zarówno na zewnątrz, jak i w środku badanego obiektu.

Metoda fotogrametrii odznacza się większym stopniem kompletności w porównaniu ze skanowaniem laserowym,

a jej obraz w bardziej realistyczny sposób odwzorował rzeczywistość. Mimo tego, to jednak skanowanie laserowe odwzorowuje skanowany obiekt z większą dokładnością, co pozwala na wykonywanie precyzyjnych analiz geometrycznych. W zależności od potrzeb można stosować jedną z metod lub łączyć je, uzyskując tym samym najlepsze rezultaty.

**Model na podstawie chmury punktów.** Efektem skanowania laserowego i fotogrametrii niskiego pułapu jest chmura punktów, na bazie której powstają przekroje i rzuty obiektu budowlanego wchodzące w skład dokumentacji projektowej. Zarówno w przypadku skanowania, jak i fotogrametrii problemem są powierzchnie przeszkłone, sąsiednia zabudowa i zieleń otaczająca inwentaryzowany obiekt, dlatego też należy łączyć obie metody w celu utworzenia wierniejszego modelu badanego obiektu.

Utworzenie powykonawczego modelu BIM zaczyna się od zamodelowania geometrii poszczególnych elementów obiektu budowlanego, przypisanie im właściwości oraz ustalenie relacji pomiędzy nimi. Rekonstrukcja polega na przekształceniu oryginalnych danych pomiarowych w kompletną chmurę punktów [20]. W przypadku planowanej rozbiórki obiektu dokładność odtworzenia nie musi być bardzo szczegółowa.

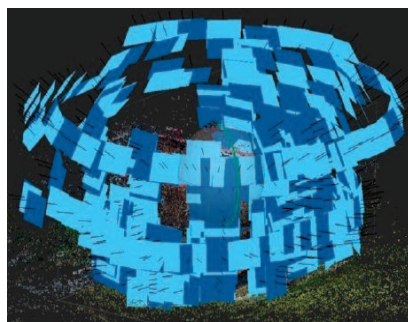
**Symulacja przeprowadzenia prac rozbiórkowych.** Odtworzenie obiektu z chmury punktów i później jego zamodelowanie może posłużyć do kolejnego etapu – zaplanowania wykonania prac rozbiórkowych. Dzięki modelowi budynku wykonanego w technologii BIM oraz przypisanym parametrom materiałowym poszczególnych elementów konstrukcji możliwe jest zasymulowanie planowanych robót. Do tego celu można wykorzystać model zapisany w formacie .ifc wykonany np. w programie Revit i przekonwertować do programu np. Navisworks, w którym w prosty sposób można również wczytać wcześniej wykonany harmonogram, np. w programach Excel lub Project. Im bardziej szczegółowo zamodelujemy obiekt i utworzymy harmonogram, tym dokładniej będziemy mogli odwzorować kolejne etapy planowanych prac. Wykonanie takiej symulacji pozwala również na zaobserwowanie na wirtualnym

obiekcie ewentualnych niebezpieczeństw związanych z planowanymi pracami. Symulacje te można przeprowadzić w przypadku różnych wariantów harmonogramu.

**Planowanie rozbiórki budynku jednorodzinnego.** W prezentowanym przykładzie wykorzystano dane fotogrametryczne, które pozwoliły na utworzenie modelu 3D wybranego obiektu budowlanego w programie *Agisoft Metashape*. Pomiarzy zostały wykonane dronem *Yuneec Typhoon H520* wyposażonym w kamerę E90. Na podstawie uzyskanych danych, oprócz modelu mesh (fotografia 2) obiektu budowlanego, wygenerowano również numeryczny model terenu analizowanej działki oraz ortofotomapę.

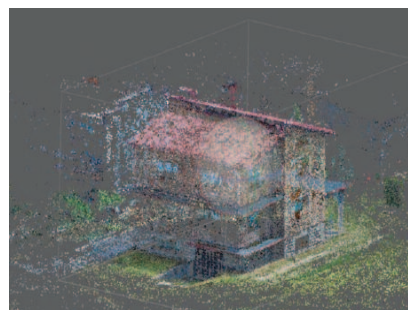
Okno *workspace* przedstawia przestrzeń roboczą do przetwarzania zdjęć lotniczych, które składa się z trzech etapów. Pierwszy z nich to utworzenie rzadkiej chmury punktów w wyniku dopasowania wspólnych punktów z wczytanych zdjęć w formacie JPEG (fotografia 2). Następnym etapem jest budowa gęstej chmury punktów w celu wiernego odtworzenia kształtu obiektu 3D (fotografia 3). Tak uzyskanemu modelowi nadano powierzchnię oraz teksturę na podstawie rekonstrukcji siatki wielokątów 3D (fotografia 4). Mając możliwość importu przetworzonych danych, w programie *3DF Zephyr Free* dokonano dokładnego określenia wymiarów.

Kolejny etap to odtworzenie rzeczywistych gabarytów budynku. Do tego w prezentowanym przykładzie posłużyło środowisko *Revit 2019*. Wygenerowano zestawienia użytych materiałów zawartych również w dokumentacji budowlanej (fotografia 5).



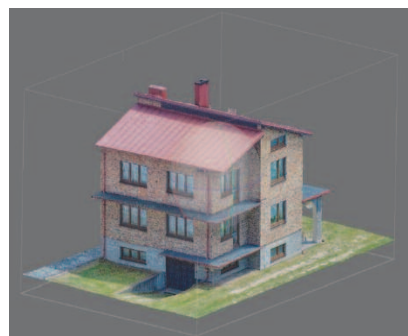
Fot. 2. Dopasowanie przestrzenne zdjęć

Opracowanie własne  
Photo 2. Spatial adjustment of images  
Own elaboration



Fot. 3. Budowa gęstej chmury punktów

Opracowanie własne  
Photo 3. Building of dense point cloud  
Own elaboration

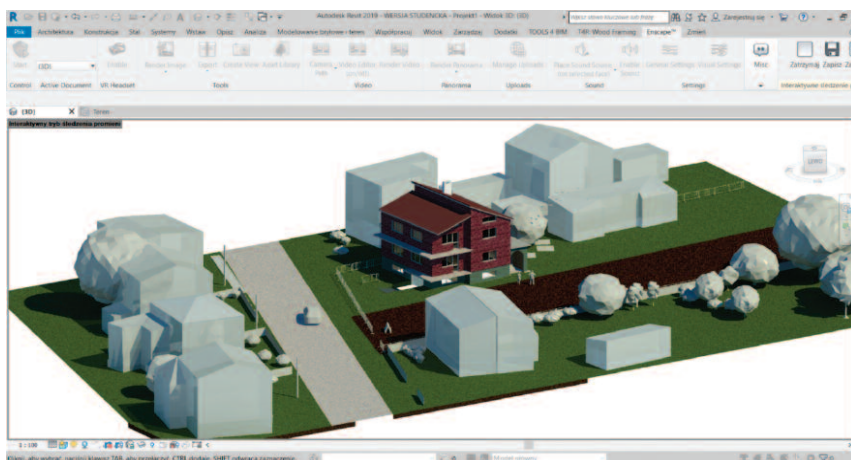


Fot. 4. Budowa płaszczyznowego modelu siatkowego pokrytego teksturą

Opracowanie własne  
Photo 4. Building a plane mesh model covered with texture  
Own elaboration

Dodatkowym źródłem informacji stał się *geoportal.gov.pl* (Geoportal Infrastruktury Informacji Przestrzennej) obsługiwany przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Do dalszych analiz pozyskano mapę GESUT (Geodezyjna Ewidencja Sieci Uzbrojenia Terenu) oraz mapę EGIB (Ewidencja Gruntów i Budynków) w postaci rastrowej, które zwektoryzowano w programie *AutoCAD 2017*. Na tej podstawie odtworzono umiejscowienie sieci uzbrojenia terenu opracowywanego obiektu, a także jego faktyczne wymiary.

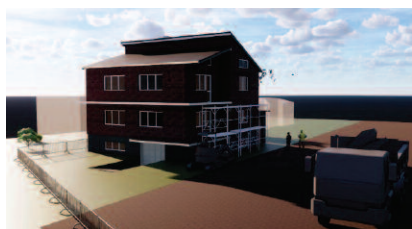
Po zweryfikowaniu bezpieczeństwa badanego budynku zdecydowano dodatkowo przeprowadzić jego wizję lokalną. Potwierdzono, że mimo zaobserwowanego stanu zużycia, obiekt jest w dobrym stanie technicznym, a opisane uszkodzenia nie ograniczają w żaden sposób dalszej jego eksploatacji, ale inwestor zdecydował się na wyburzenie. W związku z tym, wykorzystując sporządzoną wcześniej dokumentację wirtualną, wykonano symulację przeprowadzenia prac rozbiórkowych



**Fot. 5. Model obiektu budowlanego wraz z otoczeniem – Revit 2019**  
*Photo 5. Model of the building and its surroundings – Revit 2019*

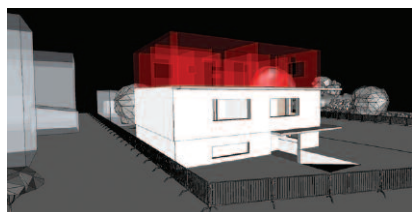
*Opracowanie własne*  
*Own elaboration*

(fotografie 6 i 7). Proponowane prace obejmowały kolejno: zabezpieczenie terenu; roboty ręczne, tj. wyłączenie wszelkich instalacji (z uzyskaniem potwierżeń pisemnych u gestorów sieci) oraz ich demontaż, a następnie demontaż wyposażenia, okien i drzwi. Wraz ze wzrostem stopnia zaawansowania robót zaproponowano tradycyjne metody zastąpić mechanicznymi, podczas których zostaną zdemontowane kolejno (od góry) elementy konstrukcyjne obiektu. Ostatnim proponowanym etapem prac było usunięcie części podziemnych budynków i zasypanie powstałego wykopu.



**Fot. 6. Symulacja prac rozbiórkowych, rozstawione rusztowania podczas demontażu okien**  
*Photo 6. Simulation of demolition work, scaffolding set up during dismantling of windows*

*Opracowanie własne*  
*Own elaboration*



**Fot. 7. Demontaż przegród pionowych – Navisworks Manage**

*Photo 7. Removing vertical partitions – Navisworks Manage*

*Opracowanie własne*  
*Own elaboration*

## Podsumowanie i wnioski

Dzięki przeprowadzonym wstępnie badaniom z zastosowaniem nowoczesnych technologii możliwe jest uzyskanie obrazu konstrukcji. Nalot dronem można wykonać również od środka obiektu, co zwiększa bezpieczeństwo przeprowadzania oceny jego stanu technicznego. Weryfikacja stanu obiektu za pomocą kamer pozwala wykonawcy ocenić bezpieczeństwo wejścia do budynku w celu prowadzenia dalszej diagnostyki, a w przypadku stanu przedkatastrofalnego pozwala na szybką reakcję i niezwłoczne zabezpieczenie terenu, minimalizując ryzyko wypadku z udziałem ludzi. Ponadto niejednokrotnie taka ocena umożliwia operatorowi podjąć decyzję dotyczącą metod pracy, jakie należy zastosować w przypadku danego obiektu, aby zachować maksymalne bezpieczeństwo ich prowadzenia.

Na prezentowanym przykładzie wykazano, że użycie nowoczesnych technologii, takich jak dron z odpowiednią kamerą w połączeniu ze specjalistycznym oprogramowaniem, pozwala na przeprowadzanie realistycznej symulacji przedsięwzięcia.

Specjalistyczne przedsiębiorstwa budowlane, przede wszystkim wyburzeniowe, coraz częściej korzystają z nowoczesnych narzędzi i technologii, jakie oferuje rynek, maksymalizując tym samym bezpieczeństwo przeprowadzenia oceny stanu technicznego oraz później planowanych prac. Ponadto inwentaryzacja za pomocą bezzałogowych statków powietrznych pozwala na wykonywanie, w dość krótkim czasie, symula-

cji kilku wariantów planowanych robót, a w efekcie na optymalizację czasowo-kosztową przedsięwzięć.

## Literatura

- [1] Hoła B. Bezpieczeństwo pracy w procesach budowlanych. 2016.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych. [Online]. Available: <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20030470401>. [Accessed: 17-Jan-2022].
- [3] Runkiewicz L. Diagnostyka obiektów budowlanych. Warszawa: PWN, 2020.
- [4] Orłowski Z, Radziejowska A. Diagnostyka i monitoring w ocenie bezpieczeństwa wybranych obiektów budowlanych. Logistyka. 2014; vol. 6: 8187 – 8196.
- [5] Szudrowicz B, Prejzner H, Szulc J. Diagnostyka i modernizacja budynków. 2014; pp. 54–60.
- [6] Wodyński A. Zużycie techniczne budynków na terenach górniczych. AGH, 2007.
- [7] Drobiec Ł, Jasiński R, Piekarczyk A. Diagnostyka konstrukcji żelbetonowych. PWN, 2021.
- [8] Sobotka A, Radziejowska A, Czaja J. Tasks and Problems in the Buildings Demolition Works: A Case Study. Arch. Civ. Eng. 2015; vol. 61, no. 4: 3 – 18.
- [9] Anumba CJ, Abdullah A, Ruikar K. An integrated system for demolition techniques selection. Archit. Eng. Des. Manag. 2008; vol. 4, no. 2: 130 – 148.
- [10] Rawska-Skotniczny A, Nalepka M. Metody realizacji robót rozbiórkowych. Builder. 2016; nr 1.
- [11] Rawska-Skotniczny A, Margazyń A. Rozbiórki budynków i budowli. PWN, 2021.
- [12] García RB. Demonstration of techniques and products developed in ircow project within the extension of a penitentiary center in teruel (spain) description of case study: demolition & new building.
- [13] Cheng JCP, Ma LYH. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. Waste Manag. 2013; vol. 33, no. 6: 1539 – 1551.
- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 26 czerwca 2002 r. w sprawie dziennika budowy, montażu i rozbiórki, tablicy informacyjnej oraz ogłoszenia zawierającego dane dotyczące bezpieczeństwa pracy i ochrony zdrowia. [Online]. Available: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20021080953>. [Accessed: 17-Jan-2022].
- [15] Ustawa z 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane z późniejszymi zmianami. 2021; no. 89: 1 – 140.
- [16] Services D, Division DIS, Gas W. Requirements for Demolition of Buildings. 2016; vol. 8265: 8 – 9.
- [17] Abdullah A. Intelligent selection of demolition techniques. 2003.
- [18] Torgal FP. Handbook of recycled concrete and demolition waste. Woodhead Publishing Ltd, 2013.
- [19] Borodinecs A, Zemitis J, Dobelis M, Kalinka M. 3D scanning data use for modular building renovation based on BIM model, MATEC Web Conf., vol. 251, 2018.
- [20] Uotila U, Junnonen J, Saari A. Laser Scanning Tasks of Building Refurbishment Project. 2020; nr 5.

*Przyjęto do druku: 21.09.2022 r.*