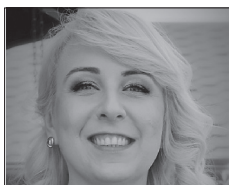


# Nowoczesne technologie monitorowania robót ziemnych

## Praktyczne wdrożenie na przykładzie budowy Kwatery Południowej OUOW Żelazny Most



dr inż.  
**IWONA RYBKA**  
Inżynier Rezydent SAFEGE S.A.S.  
Oddział w Polsce  
**ORCID: 0000-0003-3944-6926**



mgr inż.  
**MARTA STOLARZ**  
Specjalista ds. BIM SAFEGE S.A.S.  
Oddział w Polsce  
**ORCID: 0000-0002-4472-9536**



mgr inż.  
**TOMASZ NOWOBILSKI**  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechniki Wrocławskiej  
Katedra Budownictwa Ogólnego  
**ORCID: 0000-0002-0599-7108**

Celem artykułu jest przedstawienie najważniejszych narzędzi technologii BIM wykorzystywanych do analizy przebiegu robót ziemnych na przykładzie budowy Kwatery Południowej OUOW Żelazny Most, a także wskazanie korzyści i ograniczeń wynikających z ich zastosowania.

Roboty ziemne są nieodzownym elementem każdego przedsięwzięcia budowlanego, zwłaszcza gdy ich rezultatem jest ziemna budowla hydrotechniczna. W ich zakres wchodzi wiele czynności technologicznych, w tym m.in. odspojenie, załadunek, transport, formowanie, zagęszczenie i wyprofilowanie gruntu [1]. Każdy z tych procesów wiąże się z określonymi wymaganiami jakościowymi i ilościowymi, a ze względu na przestrzenny charakter robót ziemnych oraz zaangażowanie wielu jednostek sprzętowych prace te stanowią duże wyzwanie logistyczne. Z tych wszystkich względów prawidłowy przebieg robót ziemnych uzależniony jest od wiedzy i kompetencji osób nimi zarządzających, a determinantem sukcesu przedsięwzięcia jest prawidłowa organizacja prac oraz ich bieżąca kontrola. W przypadku robót budowlanych proces kontroli na etapie wykonawstwa sprowadza się m.in. do sprawdzenia poprawności wykonania założeń projektowych oraz analizy postępu prac w stosunku do harmonogramu bazowego.

Ciągły rozwój technologiczny, w szczególności narzędzi umożliwiających gromadzenie, przetwarzanie i analizę dużych ilości danych, umożliwia szybsze, dokładniejsze i bar-

dziej efektywne zarządzanie budową w porównaniu do metod tradycyjnych [2]. Jednym z takich narzędzi jest technologia BIM.

Celem artykułu jest przedstawienie najważniejszych narzędzi technologii BIM wykorzystywanych do analizy przebiegu robót ziemnych na przykładzie budowy Kwatery Południowej OUOW Żelazny Most, a także wskazanie korzyści i ograniczeń wynikających z ich zastosowania.

### Specyfika inwestycji i związane z tym wyzwania

Poddane analizie przedsięwzięcie budowlane polega na rozbudowie, o tzw. Kwaterę Południową (KP), eksploatowanego od 1977 roku Obiektu Unieszkodliwiania Odpadów Wydobywczych Żelazny Most (OUOW Żelazny Most) [3].

Kwaterna Południowa została zaprojektowana jako ziemny zbiornik nadpoziomowy [4], w którym podobnie jak w istniejącym OUOW Żelazny Most będą deponowane odpady flotacyjne. Nowo budowany obiekt hydrotechniczny tworzą dwa okalające nasypy zapory – wschodni i zachodni. Dopełnienie obwodu Kwatery Południowej od południa stanowi istniejąca zaporą OUOW Żelazny Most.

Łączna długość nowo wznoszonych zapór wynosi ponad 6 km (długość liczona po koronie na rz. 195 m n.p.m.). Wysokość zapór ze względu na ukształtowanie terenu jest zmienna. Największą wysokość osiąga zaporą zachodnią – ok. 60 m. Szerokość korony nasypu statycznego zapór wynosi ok. 85 m.

Powierzchnia zabudowy Kwatery Południowej (czaszy wraz z zaporami i infrastrukturą towarzyszącą) wynosi około 614 ha. Projektowana, docelowa pojemność Kwatery Południowej wynosi 163 mln m<sup>3</sup>, co pozwoli na zgromadzenie 234,3 mln ton odpadów.

Korpus zapory jest wznoszony metodą downstream z gruntów naturalnych uzyskanych w trakcie wykonywania robót ziemnych w ramach kształtowania dna czaszy budowanego obiektu. Na rys. 1. przedstawiono widok na realizowaną inwestycję.

Realizowana inwestycja z pewnością jest przedsięwzięciem unikatowym na skalę światową. Opisane powyżej parametry projektowe przekładają się na znaczny zakres robót ziemnych. Docelowy bilans mas ziemnych (wykop/nasyp) obejmuje ponad 10 mln m<sup>3</sup>. W efekcie oznacza to średnio 20 000 m<sup>3</sup> odspojonego, przewiezionego i wbudowanego gruntu dziennie. Do realizacji tych robót

w ciągu każdego dnia roboczego zaangażowanych jest około 100 jednostek sprzętowych różnego typu.

Ze względu na charakter i skalę inwestycji oraz jej znaczenie dla gospodarki i środowiska naturalnego właściwe monitorowanie prac jest zadaniem kluczowym dla sukcesu całego przedsięwzięcia i stanowi duże wyzwanie inżynierskie.

### Narzędzia technologii BIM

Technologia BIM (definiowana m.in. jako *Building Information Management* [5]) najczęściej wykorzystywana jest w trakcie realizacji inwestycji kubaturowych. Zastosowanie pewnych jej elementów w trakcie budowy analizowanego obiektu hydrotechnicznego jest podejściem innowacyjnym. Z tego powodu w dalszej części artykułu autorzy skupili się na przedstawieniu najważniejszych narzędzi wspierających technologię BIM, wykorzystywanych podczas realizacji analizowanej inwestycji.

### Bezzałogowe statki powietrzne

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP), potocznie nazywane dronami, z powodzeniem stosowane są w budownictwie już od kilku lat [6, 7]. Ważące do kilkunastu kilogramów platformy latające umożliwiają lot nawet do kilku kilometrów od miejsca startu. Najczęściej wyposażone są w kamery o wysokiej rozdzielczości, skanery laserowe i inne. Wykorzystuje się je najczęściej do: inspekcji z powietrza, gromadzenia materiału zdjęciowego i filmowego przebiegu inwestycji, opracowywania ortofotomap oraz gromadzenia materiału na potrzeby opracowań 3D [8, 9, 10]. Zaletą BSP jest wysoka mobilność oraz możliwość szczegółowej inwentaryzacji dużego obszaru w krótkim czasie. Należy jednak pamiętać, że drony mogą być wykorzystywane jedynie przez uprawnionych operatorów [11, 12]. Na rys. 2. przedstawiono ważący ok. 25 kg BSP wykorzystywany podczas realizacji inwestycji. Wyposażony jest on m.in. w skaner laserowy (tzw. LiDAR) oraz kamery wysokiej rozdzielczości – rys. 3. Wybrane cechy charakterystyczne urządzenia przedstawiono w tab. 1.

### Skanery laserowe

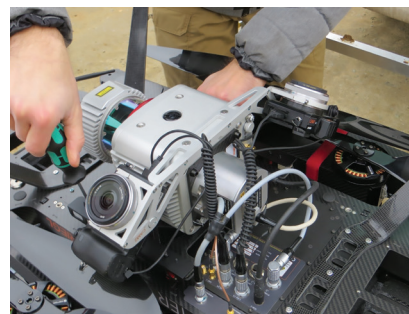
Skanery laserowe wykorzystywane są m.in. do inwentaryzacji istniejących lub nowo budowanych obiektów [14]. W zależności od konstrukcji umożliwiają gromadzenie danych o geometrii obiektu oddalonego od stanowiska pomiarowego nawet o kilkaset metrów, z dużą dokładnością i szybkością kilku mln punktów na sekundę [15]. Efektem ich pracy jest tzw. chmura punktów, która złożona jest z pojedynczych punktów ułożonych w przestrzeni 3D, odpowiadających geometrii skanowanego obiektu. Uzyskany w wyniku skanowania materiał charakteryzuje się wysoką



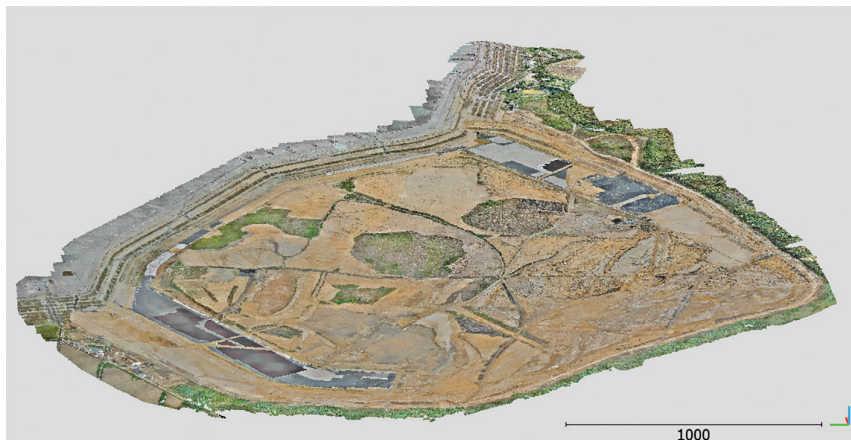
Rys. 1. Widok na teren budowy Kwatery Południowej OUOW Żelazny Most



Rys. 2. Bezzałogowy statek powietrzny wykorzystywany podczas realizacji inwestycji



Rys. 3. Widok na spód BSP – skaner laserowy (tzw. LiDAR) oraz kamery wysokiej rozdzielczości



Rys. 4. Widok na chmurę punktów terenu inwestycji

dokładnością, jednak ze względu na charakter pracy urządzenia skanowanie dużego obszaru zajmuje więcej czasu niż wykorzystanie do tego celu BSP. Spowodowane jest to koniecznością wykonania skanowania z różnych stanowisk.

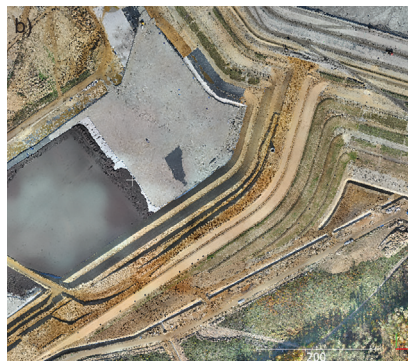
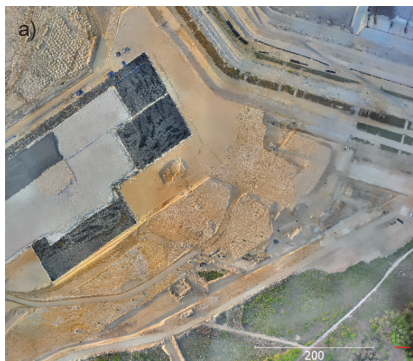
### Chmury punktów

Chmura punktów może być efektem pracy skanera laserowego lub opracowania fotogrametrycznego, w którym wykorzystano zdjęcia zgromadzone np. z wykorzystaniem BSP. W zależności od stopnia jej szczegóło-

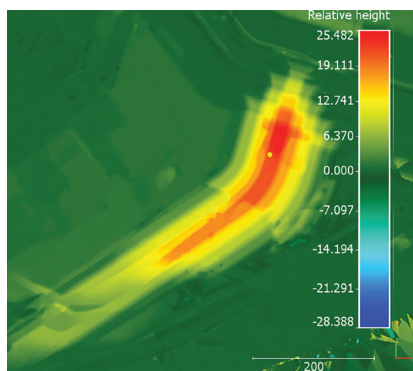
wości może być złożona z od kilku do nawet kilkudziesięciu milionów punktów ułożonych w przestrzeni 3D, w której każdy z punktów stanowi cyfrowe odzwierciedlenie geometrii analizowanego obiektu – rys. 4. Każdy punkt posiada informacje na temat współrzędnych przestrzennych X, Y, Z oraz może być wzbogacony m.in. o informacje dotyczące koloru analizowanego miejsca [16]. Opracowana w ten sposób chmura punktów może być wykorzystana do bezpośrednich analiz, a także opracowania: numerycznego modelu terenu, ortofotomapy i innych.

Tab. 1. Wybrane cechy charakterystyczne urządzenia (wg [13])

Parametr	Wartość
BSP – Riegl RiCOPTER	
Maksymalna masa startowa (MTOM)	25 kg
Maksymalny udźwig	6,5 kg
Maksymalny czas lotu	do 30 min
Skaner (LiDAR) – Riegl VUX® - 1 Series	
Maksymalny zasięg wiązki lasera	400–1350 m *
Dokładność	5–15 mm *
Maksymalna szybkość pomiarowa	500 000–1 000 000 pkt./sek. *
* - w zależności od zastosowanej wersji skanera	



Rys. 5. Analizowany fragment terenu inwestycji – chmura punktów: a) kwiecień, b) październik



Rys. 6. Analizowany fragment terenu inwestycji – graficzne odwzorowanie zmian w ukształtowaniu powierzchni terenu

### Zastosowanie praktyczne

Przedstawione powyżej narzędzia znajdują swoje praktyczne zastosowanie podczas budowy Kwatery Południowej OUOW Żelazny Most. W trakcie realizacji inwestycji Inżynier Kontraktu wykonuje m.in. okresową analizę postępu prac mającą na celu kontrolę nad prawidłowym przebiegiem procesu oraz weryfikację modelu BIM, który co miesiąc jest aktualizowany o informacje wynikające z postępu prowadzonych prac. Do po-

wyższych analiz wykorzystywane są m.in. chmury punktów obrazujące bieżące ukształtowanie powierzchni terenu. Chmury te opracowywane są przez uprawnionych geodetów m.in. z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych oraz skanerów laserowych. Charakteryzują się one (w zależności od techniki wykonania i przeznaczenia) gęstością w zakresie do ok. 50 punktów na m<sup>2</sup>, kilkucentymetrową dokładnością pomiaru i obejmują cały obszar inwestycji. Przewagą nowoczesnych technik pomiarowych nad geodezją tradycyjną jest m.in. krótszy czas niezbędny do wykonania pomiarów oraz możliwość znacznego zagęszczenia ilości punktów pomiarowych.

Jednym z elementów analizy postępu prac jest identyfikacja zmian w ukształtowaniu terenu w danym okresie. W tym celu wykorzystywane jest oprogramowanie umożliwiające porównanie ze sobą np. dwóch chmur punktów. Dla przykładu, na rys. 5. przedstawiono wybrany obszar inwestycji obrazujący stan terenu w kwietniu i październiku. Widoczne pomiędzy rysunkami zmiany w ukształtowaniu terenu obrazują postępek prac, jaki nastąpił w przeciągu 6 miesięcy. Analiza tak przy-

gotowanych danych pozwala m.in. na: opracowanie graficznej mapy obrazującej postępek prac (rys. 6), porównanie profili terenu pochodzących z różnych miesięcy (rys. 7) oraz tabelaryczne zestawienie bilansu mas ziemnych (tab. 2.).

Tak opracowany materiał może stanowić szczegółowe źródło informacji na temat przebiegu realizowanych prac. Należy jednak pamiętać, że podczas przeprowadzania analizy ważnym elementem jest właściwa interpretacja otrzymanych wyników oraz wcześniejsza obróbka chmur punktów. Niektóre zmiany zidentyfikowane na chmurach punktów pochodzących z dwóch różnych okresów mogą być wynikiem m.in. zmian w pokryciu roślinnym wynikających z okresu wegetacji.

### Podsumowanie

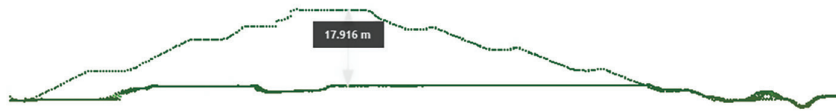
Przedstawiona w artykule rozbudowa OUOW Żelazny Most o Kwaterę Południową jest jedną z największych inwestycji hydrotechnicznych tego typu na świecie. W związku z ogromną skalą przedsięwzięcia bardzo ważna jest właściwa organizacja oraz bieżąca kontrola prac. W tym przypadku z nieocenioną pomocą przychodzą nowe technologie, a wśród nich technologia BIM. Wykorzystywane na budowie narzędzia takie jak drony oraz skanery laserowe umożliwiają szybkie gromadzenie dużej ilości dokładnych danych, których właściwa analiza pozwala na wyciągnięcie wniosków kluczowych dla powodzenia całej inwestycji.

### Literatura:

- [1] Martinek W., Nowak P., Woyciechowski P., Technologia robot budowlanych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.
- [2] Siebert S., Teizer J., Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system, "Automation in Construction", Vol. 41, 2014, s. 1-14, DOI: 10.1016/j.autcon.2014.01.004.
- [3] Szełanek P., Wrzosek K., Zmiana technologii składowania odpadów w procesie rozbudowy obiektu unieszkodliwiania odpadów wydobywanych Żelazny Most, "Inżynieria Morska i Geotechnika", nr 3, 2015, s. 382-386.
- [4] DHV Hydroprojekt Sp. z o.o., Projekt Budowlany Kwatery Południowej do rz. 195,00 m n.p.m., nr arch. 24 966- HS/17, Warszawa 2017.
- [5] Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P., BIM w praktyce, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.
- [6] Nowobilski T., Bezzałogowe statki powietrzne w kontroli obiektów budowlanych, "Builder", nr 2 (271), 2020, s. 18-20, DOI: 10.5604/01.3001.0013.7500.
- [7] Baryłka A., Zagadnienie możliwości wykorzystania dronów w budownictwie, "Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych", nr 1, 2017, s. 24-35.
- [8] Drozd W., Koziol P., Zima K., Cyfryzacja w budownictwie i architekturze, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2019.
- [9] Noszczyk P., Nowak H., Zastosowanie dronów do termowizyjnych badań obiektów budowlanych, "Materiały Budowlane", nr 11, 2017, s. 27-28, DOI: 10.15199/33.2017.11.11.
- [10] Nowobilski T., Sawicki M., Szóstak M., Drony w ocenie stanu rusztowań, "Builder", nr 1 (270) 2020, s. 6-7.
- [11] Obwieszczenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków (Dz.U. 2019 poz. 1497).
- [12] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 19 lipca 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo lotnicze (Dz.U. 2019 poz. 1580).
- [13] <http://www.riegl.com/> [on-line: luty 2020 r.].
- [14] Owerko T., Kuras P., Ortyl Ł., Kocierz R. Wykorzystanie ska-

Tab. 2. Zestawienie bilansu mas ziemnych dla analizowanego fragmentu inwestycji

Parametr	Jednostka	Wartość
Powierzchnia analizowanego obszaru	m <sup>2</sup>	605 430,00
Objętość (nasyp)	m <sup>3</sup>	1 006 443,58
Objętość (wykop)	m <sup>3</sup>	83 682,62
Objętość (netto)	m <sup>3</sup>	922 760,96



Rys. 7. Analizowany fragment terenu inwestycji – porównanie profili terenu

ningu laserowego do wyznaczania deformacji stalowych wież telekomunikacyjnych, „Pomiary Automatyka Kontrola”, nr 12, vol. 58, 2012, s. 1087-1090.

[15] Dronszczyk P., Strach M., Zastosowanie technologii skaningu laserowego i termowizji do inwentaryzacji tunelu i znajdujących się w nim urządzeń przeciwpożarowych, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, nr 3, Vol. 43, 2016, s. 199-214, DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.18.

[16] Zeybeka M., Şanlıoğlu I., Point cloud filtering on UAV based point cloud, Measurement, Vol. 133, February 2019, s. 99-111, DOI: 10.1016/j.measurement.2018.10.013.

DOI: 10.5604/01.3001.0014.0810

#### PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Rybka Iwona, Nowobilski Tomasz, Stolarz Marta, 2020, Nowoczesne technologie monitorowania robót ziemnych – praktyczne wdrożenie na przykładzie budowy Kwatera Południowej OUOW Żelazny Most, „Builder” 05 (274). DOI: 10.5604/01.3001.0014.0810

**Streszczenie:** Roboty ziemne są nieodzownym elementem każdego procesu inwestycyjnego, a prawidłowy ich prze-

bieg uzależniony jest od wiedzy i kompetencji osób nimi zarządzających oraz wykorzystywanych metod. Ciągły rozwój narzędzi umożliwiających gromadzenie, przetwarzanie i analizę dużych ilości danych umożliwia szybsze, dokładniejsze i bardziej efektywne zarządzanie budową w porównaniu do metod tradycyjnych. W artykule przedstawiono najważniejsze narzędzia technologii BIM wykorzystywane do analizy robót ziemnych prowadzonych na dużej inwestycji geotechnicznej w Polsce, jaką jest budowa Kwatera Południowej Obiektu Unieszkodliwiania Odpadów Wydobywczych Żelazny Most (OUOW Żelazny Most). Przeprowadzona analiza pozwoliła na wskazanie korzyści i ograniczeń wynikających z zastosowania wybranych narzędzi technologii BIM w procesie inwestycyjnym. **Słowa kluczowe:** technologia BIM, roboty ziemne, budownictwo, studium przypadku

**Abstract:** NEWTECHNOLOGIES OF MONITORING IN EARTHWORK – PRACTICAL IMPLEMENTATION ON THE EXAMPLE OF CONSTRUCTION OF KWATERA POŁUDNIOWA OUOW ŻELAZNY MOST. Earthworks are an indispensable element of any investment process, and their proper course depends on the knowledge and competence of its managers and the tools used. The continuous development of tools enabling the collection, processing and analysis of large amounts of data enables faster, more accurate and more effective construction management compared to traditional methods. The article presents the most important BIM technology tools used for the analysis of earthwork carried out on a large geotechnical investment in Poland, which is the construction of the Kwatera Południowa of the mining waste disposal facility Żelazny Most (OUOW Żelazny Most). The analysis allowed to indicate benefits and limitations resulting from the application of selected BIM technology tools in the investment process.

**Keywords:** BIM technology, earthwork, civil engineering, case study