

17

AUTOINVENT – NOWOCZESNY SYSTEM WSPOMAGANIA PRACY MIERNICZYCH GÓRNICZYCH ZWIĘKSZAJĄCY BEZPIECZEŃSTWO ORAZ EFEKTYWNOŚĆ PRACY

17.2 WPROWADZENIE

Jednym z zadań mierniczych jest realizacja pomiarów na terenie górniczym, co wiąże się z wyznaczaniem kształtu badanych obiektów takich jak np. zwałowisko, hałda, składowisko. W zależności od rodzaju kopalni i wydobywanych kruszyw, pomiary inwentaryzacyjne są wykonywane w określonych interwałach czasowych. Obecnie realizowanie pomiarów odbywa się najczęściej manualnie, co nierzadko wiąże się z dodatkowymi trudnościami. Podstawowym problemem jest obszar, który należy poddać badaniu. Często jest to powierzchnia, którą należy przebyć samodzielnie i sumarycznie może wynosić wiele kilometrów. W przypadku niskiej granulacji składowanego materiału, należy również wziąć pod uwagę znacznie utrudnione poruszanie się po składowisku. Dodatkowo warunki pogodowe mogą drastycznie wpłynąć na czas i jakość pomiarów.

Dlatego też wciąż poszukiwane są i rozwijane nowoczesne metody pomiarów wykorzystujące urządzenia o wysokiej dokładności. Są to m.in. tachimetry elektroniczne, tachimetry skanujące, odbiorniki GPS, skanery laserowe [1], metody fotogrametryczne, w tym również z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych.

Podstawową metodą pomiaru objętości zwałowisk materiałów sypkich jest metoda tachimetryczna, która przede wszystkim charakteryzuje się prostotą pomiaru oraz niskim kosztem. W przypadku małych objętości pozwala w stosunkowo szybkim czasie wykonać prace inwentaryzacyjne, jednakże wraz ze wzrostem planowanych do pomiaru objętości, staje się wysoce czasochłonna i fizycznie obciążająca mierniczego. Ułatwieniem może być zastosowanie tachimetru zrobotyzowanego, ale jest to drogie urządzenie. Dokładność pomiaru jest wysoce zależna od umiejętności i

doświadczenia personelu, mimo to osiągnęte błędy względne pomiaru z powodzeniem spełniają wymagania stosowanych rozporządzeń.

Zdecydowanie szybszą i bardziej komfortową metodą jest wykorzystanie do pomiaru techniki RTK GNSS. W połączeniu z brakiem konieczności kalibracji pozyskanych danych do jednego układu współrzędnych, mobilnością, łatwością i szybkością obróbki danych oraz możliwością użycia w każdych warunkach pogodowych jest to bardzo atrakcyjna alternatywa. Dodatkowo, odbiornik GNSS może być obsługiwany przez jedną osobę. Wadą może być oczekiwanie na minimalną ilość satelitów dla obu odbiorników, co jednak w przypadku odsłoniętych terenów nie zdarza się zbyt często. Inne zauważalne niedoskonałości to ograniczony zasięg radiowy czy też wpływ silnego promieniowania elektromagnetycznego. Zalety tej metody mogą być nieznacznie uszczuplone osiąganą dokładnością pomiaru, ale nie są to błędy uniemożliwiające zastosowanie techniki do comiesięcznych inwentaryzacji [2].

Wysokie dokładności pomiaru osiągnęte są z wykorzystaniem skanera laserowego. Długi czas pomiaru, a następnie prace związane z przetworzeniem uzyskanej chmury punktów, mogą wydłużyć cały proces kilkukrotnie w porównaniu do wcześniejszych metod. Jednakże jest to metoda ograniczająca konieczność przemieszczania się mierniczych po zwałowisku. W dodatku czas ten można zminimalizować ograniczając ilość zbieranych przez urządzenie punktów pomiarowych. Ostatecznie na uzyskane wyniki wpływ mają dokładność kalibracji chmury punktów i rodzaj zastosowanych algorytmów do obliczenia objętości [3]. Decydując się na takie rozwiązanie, należy wziąć pod uwagę iż część skanerów uniemożliwia pomiar poniżej 0 stopni Celsjusza, a także zamontowane oryginalnie źródła zasilania mogą być niewystarczające do wykonania pomiarów dużych objętości.

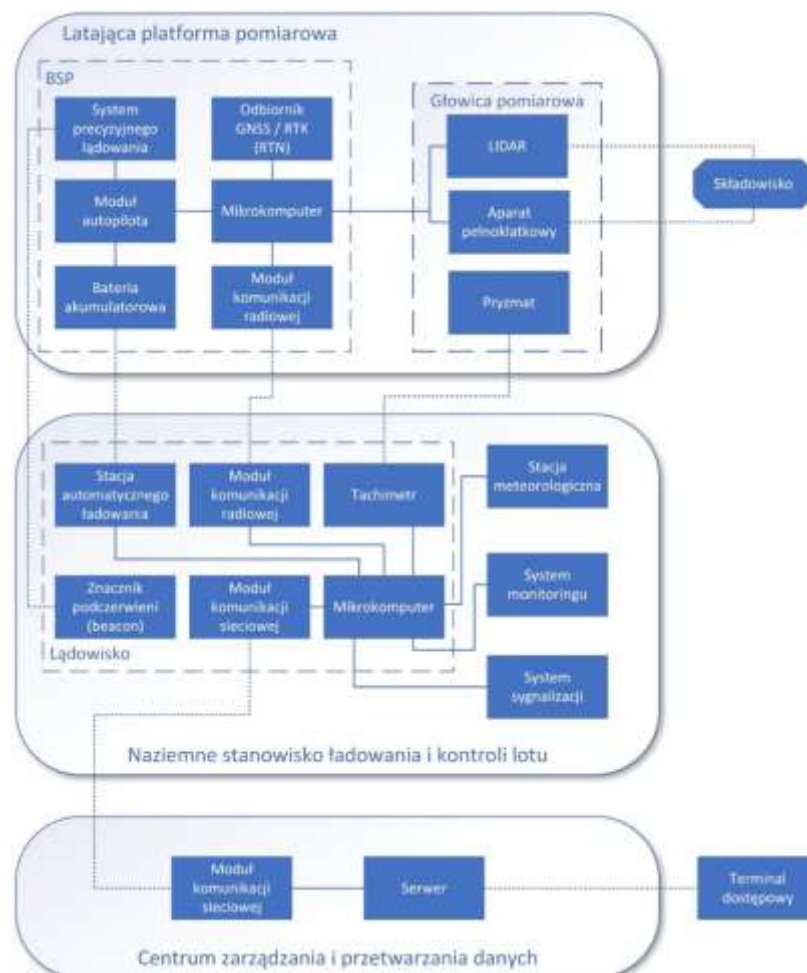
Coraz powszechniej stosowaną metodą jest metoda fotogrametryczna. Wyznaczenie objętości odbywa się na podstawie wykonanych zdjęć. Sposób ten w szczególności sprawdza się przy inwentaryzacji trudno dostępnych składowisk, czy też często zmienianym kształcie. Wykorzystanie automatycznych algorytmów wyznaczających na podstawie materiałów graficznych objętość, ogranicza wpływ czynnika ludzkiego na ostateczny wynik, jednocześnie zapewniając krótki czas pracy i wysoką dokładność [4].

Metoda fotogrametryczna ma również tą podstawową zaletę, że pomiar z jej wykorzystaniem można zautomatyzować. Do tego celu idealne wydają się bezzałogowe statki powietrzne (BSP). Wykorzystanie odpowiedniej platformy latającej pozwala na przeprowadzenie swobodnego lotu na określonej wysokości i wykonania zdjęć w wysokiej jakości. Czas realizacji pomiaru jest w tym przypadku zależny od parametrów technicznych BSP. Dokładność zależy od użytego sprzętu zarówno do robienia zdjęć jak i samego lotu. Dodatkowo, rozwój bezzałogowych statków powietrznych doprowadził do zwiększenia stopnia automatyzacji całego lotu. Obecnie zadania operatora BSP zostały w wielu przypadkach ograniczone do

przygotowania platformy do lotu oraz do ręcznej realizacji startu i lądowania. Cały lot i wykonanie pomiarów można wykonać automatycznie poprzez wprowadzenie do stacji naziemnej odpowiednich parametrów i planując szczegółowo trasę lotu. Opracowany w ramach projektu i zaprezentowany w niniejszym artykule system AutoInvent łączy w sobie zalety kilku systemów pomiarowych przy jednoczesnym zwiększeniu autonomii wykonywania lotu.

17.2 KOMPONENTY SYSTEMU

System AutoInvent, wykorzystujący latającą platformę pomiarową, wykazuje cechy autonomiczne, przez co należy rozumieć zdolność systemu do cyklicznego wykonywania procesu inwentaryzacji w sposób samodzielny, według ustalonego harmonogramu oraz z uwzględnieniem panujących warunków pogodowych. Podczas wykonywania zaplanowanego zadania z wykorzystaniem bezzałogowego statku powietrznego realizowany jest automatyczny start, lot po zaprogramowanej trasie według punktów nawigacyjnych, wykonanie zaplanowanych pomiarów, powrót i lądowanie na naziemnym stanowisku lądowania i kontroli lotu oraz przesłanie zebranych pomiarów do centrum zarządzania i przetwarzania danych w celu ich dalszej obróbki.



Rys. 17.1 Schemat blokowy systemu AutoInvent

Źródło: opracowanie własne

W celu zapewnienia zakładanej funkcjonalności, zbudowany system został zautomatyzowany i charakteryzuje się minimalnym stopniem obsługi. System integruje kilka urządzeń pomiarowych zainstalowanych na głowicy: skaner laserowy 3D, aparat fotograficzny z matrycą pełnoklatkową i pryzmat śledzony przez tachimetr elektroniczny. Ponadto umożliwia analizę i przesłanie zebranych wyników pomiarów do użytkownika końcowego.

System AutoInvent (zgodnie z przedstawionym na rysunku 17.1 schematem blokowym), składa się z trzech zasadniczych elementów: platforma latająca, naziemne stanowisko ładowania i kontroli lotu oraz centrum zarządzania i przetwarzania danych.

17.2.1 Latająca platforma pomiarowa

Ze względu na konieczność pionowego startu i lądowania w projekcie wykorzystano bezzałogowy statek powietrzny w postaci wielowirnikowej platformy latającej o masie startowej 22 kilogramów. BSP ma za zadanie przenoszenie multisensorycznej głowicy pomiarowej pozwalając na wykonanie automatycznego lotu do 40 minut dzięki zastosowaniu specjalnie opracowanej i skonfigurowanej baterii akumulatorowej. W celu zagwarantowania automatycznego przebiegu lotu, BSP został wyposażony w system precyzyjnego lądowania oraz odpowiednio skonfigurowany i przetestowany moduł autopilota. Nad poprawnością realizacji misji czuwa mikrokomputer, będący systemem sterowania lotem, którego funkcjonowanie jest analogiczne do FMS (ang. Flight Management System) stosowanego w samolotach pasażerskich. Został on zintegrowany z systemami nawigacyjnymi oraz modułem komunikacji radiowej. Ponadto nadzoruje poprawność wykonywania pomiarów poprzez sterowanie głowicą pomiarową.

Głowica pomiarowa zamontowana na układzie stabilizującym zawiera dwa podstawowe sensory: aparat fotograficzny i kompaktowy skaner 3D – LIDAR. Wykorzystanie innowacyjnej fuzji danych fotogrametrycznych pozyskanych dzięki niskopoziomowym zdjęciom pionowym oraz danych z trójwymiarowego skanowania laserowego (LIDAR) pozwala na dokładniejsze odzwierciedlenie powierzchni bryły tym samym zwiększając dokładność modelowania 3D i pomiaru objętości. Dodatkowo na głowicy zamontowano pryzmat, od którego odbijana jest wiązka laserowa służąca do pomiaru odległości z wykorzystaniem geodezyjnego tachimetru. Miejsce montażu pryzmatu uwarunkowane jest koniecznością zapewnienia braku przeszkód w linii widzenia pomiędzy lustrem pryzmatu i tachimetrem. Dane z precyzyjnego laserowego systemu pomiarowego w postaci zrobotyzowanego tachimetru zostały zintegrowane z pozycją określaną przez globalny system nawigacji satelitarnej (GNSS), wykorzystujący metodę czasu rzeczywistego RTK (ang. Real Time Kinematic), umożliwiając śledzenie i określanie w czasie rzeczywistym pozycji bezzałogowego statku powietrznego z dokładnością nie gorszą niż 6 cm. Jedynym ograniczeniem dla poprawnego funkcjonowania latającej

platformy pomiarowej są warunki meteorologiczne takie jak prędkość wiatru, temperatura, opady oraz widoczność, które muszą mieścić się w odpowiednich zakresach, zdefiniowanych dla wybranego statku powietrznego i jego wyposażenia.

17.2.2 Naziemne stanowisko lądowania i kontroli lotu

Naziemne stanowisko lądowania i kontroli lotu ma zwartą konstrukcję i cechuje się odpornością na warunki atmosferyczne. Umieszczony wewnątrz lądowiska układ regulacji temperatury pozwala na utrzymanie właściwych warunków klimatycznych podczas lądowania i postoju platformy latającej. Bezobsługowe stanowisko lądowania i kontroli lotu służy również do przechowywania platformy latającej w czasie gdy nie będą wykonywane pomiary. Konstrukcja lądowiska umożliwia hangarowanie przez cały rok oraz bezpieczny start i lądowanie latającej platformy pomiarowej. Elementem wyposażenia stanowiska jest automatyczny układ lądowania oraz układ kontroli lotu wraz z modułami komunikacyjnymi. Oprogramowanie do zarządzania lotem dla Operatora BSP zintegrowane z systemem koordynacji lotnictwa załogowego z bezzałogowym – PANSAs UTM powered by Hawk-e DroneRadar oraz aktualnymi informacjami ze stacji pogodowej, systemu monitoringu wizyjnego oraz transpondera ADS-B, umożliwia bezpieczne wykonanie automatycznego lotu poza zasięgiem wzroku operatora (BVLOS). Lądowisko zapewnia łączność i wymianę danych pomiędzy aparaturą pomiarową, a centrum zarządzania i przetwarzania danych. Naziemne stanowisko lądowania i kontroli lotu zostało wyposażone w stację meteorologiczną, system monitoringu, światła ostrzegawcze oraz syrenę alarmową w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa wykonywania lotów zarówno dla systemu jak i przypadkowych osób znajdujących się w pobliżu stanowiska.

17.2.3 Centrum zarządzania i przetwarzania danych

Centrum zarządzania i przetwarzania danych ma zapewnioną dwukierunkową łączność z lądowiskiem. Pozwala to na przekazywanie danych z latającej platformy pomiarowej, stacji meteorologicznej oraz systemu monitoringu. Dane pomiarowe zebrane w trakcie lotu zostają automatycznie przesłane po wykonaniu misji w celu ich dalszego przetworzenia przez zaimplementowane oprogramowanie. Pozwala to na utworzenie trójwymiarowego modelu skanowanego terenu, obliczenie objętości składowanych surowców mineralnych oraz wygenerowanie i rozesłanie raportu podsumowującego inwentaryzację do wyznaczonych osób.

W trakcie trwania misji osoba odpowiedzialna za nadzór, poprzez terminal dostępowy, ma możliwość podglądu podstawowych parametrów lotu co umożliwia podjęcie decyzji o jej ewentualnym przerwaniu lub skorygowaniu w wyjątkowych sytuacjach. Centrum zarządzania i przetwarzania danych stanowi również repozytorium, w którym dostępne są wszystkie dotychczas uzyskane dane

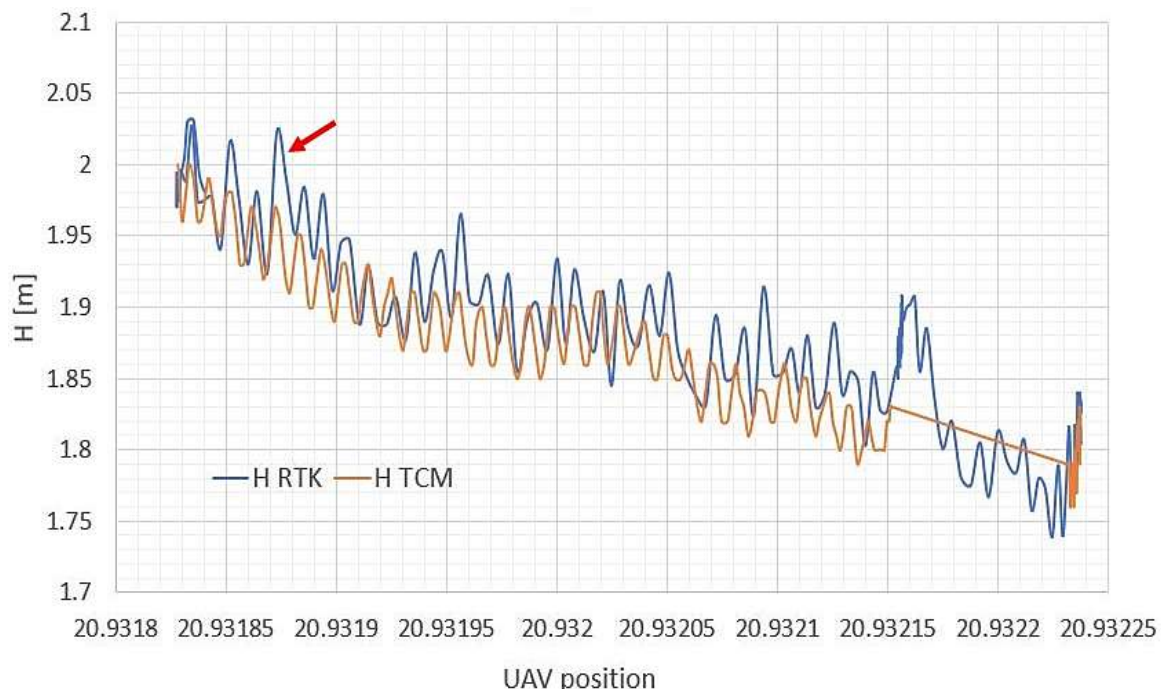
pomiarowe, informacje o trwających pomiarach inwentaryzacyjnych oraz gotowości danych do przetworzenia.

17.3 BADANIA SYSTEMU

Zgodnie z harmonogramem realizacji projektu badania systemu zostały podzielone na trzy etapy. W pierwszym niezależnie zostały przebadane poszczególne komponenty systemu, w drugim przeprowadzono testy w środowisku zbliżonym do naturalnego, natomiast w trzecim przeprowadzone zostaną w środowisku naturalnym w jednej z kopalni GK JSW.

17.3.1 Badanie komponentów systemu

W ramach badania komponentów systemu między innymi przetestowano różne typy źródeł zasilania, skonfigurowano efektywny zespół napędowy, zweryfikowano dokładność pomiarów skanera laserowego LIDAR, układu orientacji przestrzennej AHRS, układu precyzyjnego lądowania, a także zweryfikowano przydatność tachimetru geodezyjnego do określania położenia BSP [5]. Podczas badań w locie dokładności pomiarów położenia z wykorzystaniem tachimetru, równoległe rejestrowano dane z systemu nawigacji satelitarnej GNSS RTK umieszczonego na pokładzie BSP. Największe różnice między wskazaniem systemów zaobserwowano w przypadku pomiaru wysokości. Fragment przebiegu zmian wysokości lotu przedstawiono na rysunku 17.2.



Rys. 17.2 Wykres pomiarów wysokości z fragmentu lotu z wykorzystaniem tachimetru (linia pomarańczowa) oraz GNSS RTK (linia niebieska)

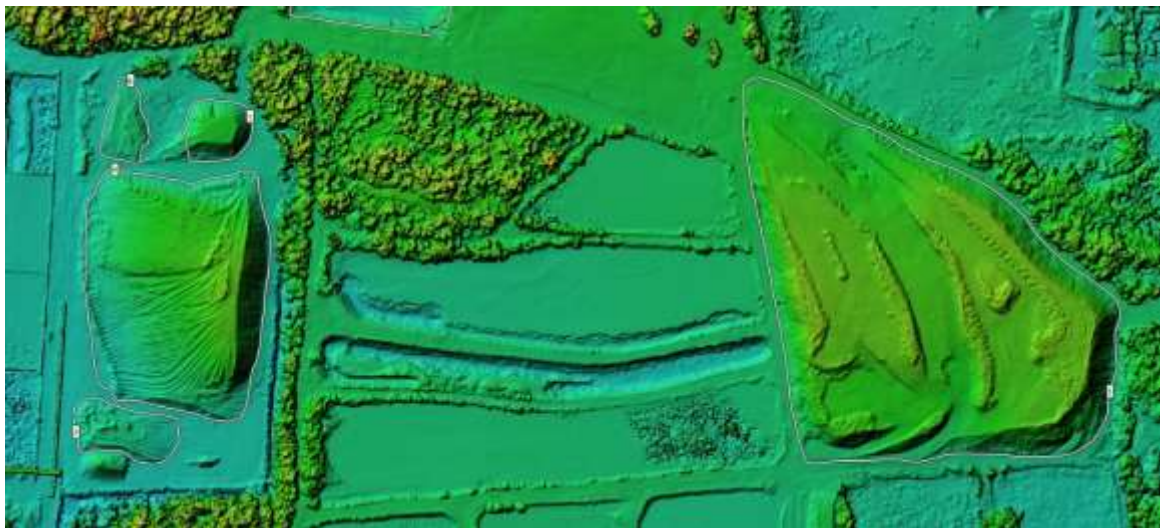
Źródło: opracowanie własne [5]

Pomarańczowa linia oznacza wysokość uzyskaną przy pomocy tachimetru, natomiast niebieska z systemu GNSS RTK w funkcji pozycji geograficznej BSP. Dane

przedstawione na wykresie zostały skorygowane o różnice w wysokości umieszczenia odbiornika GNSS oraz pryzmatu wynoszącej 38 cm. Maksymalna różnica pomierzonych wysokości wynosi 8 cm (czerwona strzałka na wykresie), natomiast średnia różnica dla całego lotu nie przekroczyła 6 cm. W systemie zaimplementowany został algorytm umożliwiający wzajemną korekcję wskazań położenia z obu systemów.

17.3.1 Badanie systemu w środowisku zbliżonym do naturalnego

Podczas badań systemu w środowisku zbliżonym do naturalnego niezależnie testowano współdziałanie latającej platformy pomiarowej z naziemnym stanowiskiem ładowania i kontroli lotu oraz realizację lotów pomiarowych i przetwarzanie uzyskanych danych. Automatyczne startowanie, lot i lądowanie w koordynacji ze służbami ruchu lotniczego z zastosowaniem systemu Pansa UTM powered by Hawk-e DroneRadar przeprowadzono na lądowisku samolotowym. Loty pomiarowe wykonywane były nad terenem jednej z kopalni GK JSW. Przykładowe dane pomiarowe objętości uzyskane przy pomocy opracowanego systemu i zwizualizowane w postaci trójwymiarowej przedstawiono na rysunku 17.3.



Rys. 17.3 Przykład wizualizacji uzyskanych danych pomiarowych

Źródło: opracowanie własne

17.4 PODSUMOWANIE

System AutoInvent jest nowoczesnym narzędziem pomiarowym wspomagającym pracę mierniczych górniczych oraz zwiększający bezpieczeństwo oraz efektywność pracy. Przeprowadzone badania systemu potwierdzają osiągnięcie zakładanych w projekcie efektów poprawy efektywności oraz bezpieczeństwa. System AutoInvent jest dedykowany do wykonywania automatycznych pomiarów i analizy zmian, przede wszystkim objętości składowanego materiału. Niemniej jednak system ma możliwość wdrożenia w wielu segmentach rynku, wszędzie tam gdzie konieczne jest wykonywanie cyklicznych pomiarów oraz porównywanie danych w poszukiwaniu

zmian. Ponadto istnieje możliwość rozszerzenia funkcjonalności systemu zmieniając głowicę pomiarową. Do potencjalnych obszarów zastosowań, poza zwałowiskami węgla, można zaliczyć kopalnie odkrywkowe, inspekcje obiektów liniowych, lasów, wysypisk śmieci czy zbiorników retencyjnych, a także monitoring, automatyczne wykrywanie i śledzenie ruchu, również z zastosowaniem termowizji.

LITERATURA

- [1] M. Poręba. „Nowoczesne metody pomiarów mas ziemnych” Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol 19, 2009
- [2] A. Nowak, A. Sobieraj, J. Szulwic. „Porównanie wyników pomiarów mas ziemnych wykonanych metodą skaningu laserowego i GNSS w kontekście inwestycji komunikacyjnych” *Logistyka* 6/2014
- [3] „Obliczenia objętości metodą fotogrametryczną” Wrogeo, www.wrogeo.pl
- [4] A. Kampczyk, K. Malach. „Analiza i porównanie aplikacji komputerowych do obliczania objętości mas ziemnych i materiałów sypkich” *Przegląd komunikacyjny* 12/2015
- [5] A. Hankus-Kubica, B. Brzozowski, K. Cheda, M. Kuliński, P. Wieczorek. „Verification tests of total station usability for UAV position measurements” *Proc. IEEE-MetroAeroSpace*, 2020, str. 331-335.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 07.2020

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 09.2020

AUTOINVENT – NOWOCZESNY SYSTEM WSPOMAGANIA PRACY MIERNICZYCH GÓRNICZYCH ZWIĘKSZAJĄCY BEZPIECZEŃSTWO ORAZ EFEKTYWNOŚĆ PRACY

Streszczenie: W artykule zaprezentowano nowoczesny, prototypowy system AutoInvent pozwalający na automatyzację procesu inwentaryzacji zasobów mineralnych poprzez wykonywanie pomiaru objętości składowisk z wykorzystaniem bezzałogowego statku powietrznego. W celu zwiększenia dokładności danych zastosowano fuzję innowacyjnych technologii pomiarowych: skanowania laserowego 3D i fotogrametrii z niskiego pułapu oraz integrację dwóch metod precyzyjnego pozycjonowania: pomiary satelitarne GNSS wspomagane poprawkami sieciowymi RTK oraz precyzyjne laserowe pomiary tachimetryczne. Automatyzacja procesu pomiarowego zwiększa bezpieczeństwo mierniczych górniczych oraz skraca czas potrzebny na prace w terenie poprzez ograniczenie konieczności przebywania ludzi na zwałowisku. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. Projekt realizowany w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: INNOSBZ.

Słowa kluczowe: fotogrametria, skanowanie laserowe, bezzałogowy statek powietrzny, automatyzacja procesów

AUTOINVENT – A MODERN SYSTEM SUPPORTING THE WORK OF MINING SURVEYORS, INCREASING WORK SAFETY AND EFFICIENCY

Abstract: The article presents a prototype of a modern system called AutoInvent, that allows for the automation of the mineral resources inventory process by measuring the volume of stacks using an unmanned aerial vehicle. In order to increase the accuracy of the data, a fusion of innovative measurement technologies was used: 3D laser scanning and low-altitude photogrammetry, as well as the integration of two methods of precise positioning: GNSS satellite measurements supported by RTK network corrections and precise laser total station measurements. Automation of the measurement process increases the safety of mining surveyors and shortens the time needed for field work by reducing the need for people to be personally present on the stack. The project co-financed by European Union from European Regional Development Fund within the Smart Growth operational Programme 2014-2020. The project carried out within National Centre for Research and Development call: INNOSBZ.

Key words: photogrammetry, laser scanning, unmanned aerial vehicle, process automatization

Bartosz Brzozowski

JSW Innowacje S.A.
Zakład Technologii Przełomowych
Paderewskiego 41, 40-282 Katowice, Polska
e-mail: bbrzozowski@jswinnowacje.pl

Krzysztof Kaźmierczak

JSW Innowacje S.A.
Zakład Technologii Przełomowych
Paderewskiego 41, 40-282 Katowice, Polska
e-mail: kkazmierczak@jswinnowacje.pl

Maciej Kuliński

JSW Innowacje S.A.
Zakład Technologii Przełomowych
Paderewskiego 41, 40-282 Katowice, Polska
e-mail: mkulinski@jswinnowacje.pl

Bartosz Gawęlda

JSW Innowacje S.A.
Zakład Technologii Przełomowych
Paderewskiego 41, 40-282 Katowice, Polska
e-mail: bgawelda@jswinnowacje.pl