



## Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w identyfikacji szkód górniczych na terenach rolnych - studium przypadków

The use of unmanned aerial vehicles in the identification of mining damage in agricultural areas - a case study

Magdalena Wróblewska\*)

**Treść:** Tereny górnicze podlegają ciągłym inwentaryzacjom, między innymi w celu oceny stopnia deformacji terenu czy też kontroli obiektów szczególnie chronionych. Posłużyć ku temu mogą nowoczesne techniki pomiarowe, w tym bezzałogowe statki powietrzne (drony). Sprzęt umożliwia wykonanie serii zdjęć, a następnie utworzenie z nich ortofotomapy, co stanowi podstawę do określenia aktualnej rzeźby terenu. Wygenerowany numeryczny model terenu zawiera ogromną ilość danych w postaci współrzędnych punktów terenowych (chmura punktów). Obróbka danych pozwala również na utworzenie profili, przekrojów, jak i wyznaczenie objętości. Duże możliwości na etapie postprocessingu sprawiają, że bezzałogowe statki powietrzne z sukcesem wykorzystać można w identyfikacji szkód górniczych, w tym na terenach rolnych. Dodatkowo za ich wykorzystaniem przemawia szybkość, elastyczność i wydajność pomiaru. W artykule określono szerokie zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w pracach inżynierskich. Nawiązano również do problematyki napraw szkód górniczych opierając się na obowiązujących przepisach prawnych. Na podstawie przytoczonych przykładów z nalotów ukazano zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w oględzinach szkody, tak istotne w procesie postępowania w przypadku szkód górniczych

**Abstract:** Mining areas are subject to continuous inventories, inter alia, to assess the degree of terrain deformation or to control specially protected facilities. Modern measurement techniques, including unmanned aerial vehicles (drones), can serve this purpose. The equipment allows you to take a series of photos and then create an orthophotomap from them, which is the basis for determining the current relief. The generated numerical terrain model contains a large amount of data in the form of coordinates of terrain points (point cloud). Data processing also allows you to create profiles, sections, and determine the volume. Great opportunities at the postprocessing stage mean that unmanned aerial vehicles can be successfully used in the identification of mining damage, including in agricultural areas. In addition, their use is supported by the speed, flexibility, and efficiency of measurement. The article describes the wide use of unmanned aerial vehicles in engineering works. Reference was also made to the issue of repairing mining damage, based on the applicable legal regulations. On the basis of the examples from the raids, the use of unmanned aerial vehicles in the damage inspection was shown, which is so important in the process of dealing with mining damage.

### Słowa kluczowe:

bezzałogowy statek powietrzny, szkody górnicze, tereny rolne

### Keywords:

unmanned aerial vehicle, mining damage, agricultural areas

## 1. Wprowadzenie

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP), częściej znane pod pojęciem „drony”, znajdują coraz szersze zastosowanie w pracach inżynierskich. Na początku używane jako urządzenia rekreacyjne, dziś stanowią nowoczesne narzędzie pracy w dziedzinach fotografii, geodezji czy służb militarnych.

Niewątpliwie zaletą wykorzystania BSP w pomiarach fotogrametrycznych jest wykonywanie serii zdjęć w sposób szybki przy niewielkim nakładzie pracy podczas samego pomiaru. Główny zakres pracy sprowadza się do obróbki danych. Tworzenie ortofotomap, map hipsometrii terenu, profili, przekrojów czy też wyznaczenie objętości to jedne z wielu możliwości sprowadzających się do etapu postprocessingu. Z uwagi na szereg funkcji BSP znalazły szerokie zastosowanie w życiu cywilnym, o czym pisano między innymi w (Adamski, Rajchel 2013, Zieliński 2014). Nowoczesne narzędzie z sukcesem wykorzystuje się podczas inwentaryzacji obiektów trudno dostępnych jak kominy, maszty, słupy (Mika i in. 2018).

Jednym z ciekawszych przykładów zastosowania BSP jest konserwacja linii wysokiego napięcia. Wykonywane prace na dużej wysokości wymagające bezpośredniej ingerencji człowieka, dziś zostają zastąpione narzędziem kierowanym zdalnie w sposób znacznie bezpieczniejszy.

Inwentaryzacja dotyczy również większych obszarów, w tym placów budowy. Monitoring umożliwia stałą kontrolę postępu robót budowlanych, z możliwością dokonywania obmiarów (Czerwiński, Wójcik 2017). Inspekcja budowlana dotyczy również monitoringu obiektów inżynierskich już istniejących takich jak: mosty, wiadukty (Chan i in. 2015, Nowobilski 2020) oraz budynków mieszkalnych (Mazurek 2018, Mika i in. 2018, Waniewska 2020).

Możliwość podłączenia odpowiedniej aparatury pomiarowej pozwala również na kontrolę jakości powietrza (Cygańczuk, Janik 2020, Zboina i in. 2020).

Prace inżynierskie czy też kontrolne to nie wszystko. BSP wykorzystuje się również w służbach ratownictwa medycznego, a przy zastosowaniu kamery termowizyjnej również w straży pożarnej (Kostur i in. 2019, Merkiusz, Nykaza 2016, Sikorski, Szmigiero 2018).

\*) Politechnika Śląska, Gliwice

Stopniowa automatyzacja pomiarów geodezyjnych, wynikająca między innymi z inicjatywy przemysłu 4.0, przejęła również branża górnicza. Ciekawe rozwiązania przedstawione w (Jabłoński, Jaśkowski 2016) ukazują zastosowanie np. kamer cyfrowych, czujników zmian długości i pochyłomierzy, czy też skaningu laserowego podczas inwentaryzacji szybów górniczych, co może zostać równie sukcesywnie wykorzystane w warunkach powierzchniowych. Z kolei rozwój technologii, w tym metod telemetrycznych umożliwił zastosowanie laserowego czujnika drgań i wychyleń budowli (Bochenek 2007).

Wprowadzanie nowoczesnych rozwiązań uważa się za słuszne nie tylko z uwagi na automatyzację pomiaru, ale również wynikający z tego aspekt bezpieczeństwa pracy. Przykładowo, przedstawiono sposób zastosowania nowego systemu kontroli poziomu barometrycznego w rejonach ścian wydobywczych zagrożonych wybuchem (Trenczek 2010).

Na terenach górniczych niezwykle istotne jest stałe monitorowanie deformacji terenu spowodowane eksploatacją górniczą wraz z obiektami budowlanymi. Prace służb mierniczych sprowadzają się do wykonywania klasycznych pomiarów geodezyjnych powierzchni terenu na założonych liniach obserwacyjnych. Obserwacje dotyczą również obiektów budowlanych (Wróblewska 2018).

Z uwagi na aspekt ekonomiczny oraz społeczny niezwykle istotną uważa się kwestię szkód górniczych. Nowoczesne techniki pomiarowe pozwalają na szybką ocenę powstałych deformacji terenu. Należy tutaj wyróżnić metodę satelitarną znaną jako InSAR, lotniczy skaningu laserowy (LiDAR) oraz wspomniane wcześniej BSP. Technika satelitarna pozwala na radarowe skanowanie dużych obszarów powierzchni Ziemi w krótkim czasie. Odpowiednia obróbka wykonywanych okresowo zdjęć radarowych umożliwia pozyskiwanie informacji przestrzennych o zmianach wysokościowych terenu (Popiołek i in. 2007). Znacznie lepszą dokładność pomiaru można uzyskać przy użyciu lotniczego skaningu laserowego (Jaboyedoff i in. 2012). Metoda umożliwia pozyskanie danych w postaci chmury punktów, a następnie wygenerowanie numerycznego modelu terenu. Podobne działania uzyskać można z wykorzystaniem BSP. Dodatkowo dzięki swojej elastyczności i jednocześnie wydajności BSP z powodzeniem wykorzystuje się w kopalniach odkrywkowych, gdzie stały monitoring jest niezbędny (Quoc Long i in. 2020).

O zastosowaniu BSP w celu identyfikacji szkód nawiązano w dziedzinie ubezpieczenia mienia, w tym upraw rolnych (Wieteska 2017). Omówiono główne zalety i wady wykorzystania BSP. Za istotne wskazano możliwość otrzymania w sposób szybki obrazu strat poniesionych przez rolników w wyniku szkód naturalnych (powódzie, gradobicie, przymrozki). Większe możliwości daje wykorzystanie kamer multispektralnych do wykonywania fotografii upraw roślin i tym samym oceny stanu roślin (Mazur, Chojnacki 2017).

Temat odszkodowań z tytułu szkód rolnych nabiera większego znaczenia na terenach górniczych, gdzie oprócz katastrof naturalnych mamy również do czynienia ze skutkami eksploatacji górniczej. Z uwagi na kwestię wypłacalności odszkodowania z tytułu szkód górniczych tak ważne stają się obserwacje wraz z właściwą interpretacją powstałych szkód na terenach rolnych.

## 2. Rekompensata za szkody górnicze

Szkody górnicze to niewątpliwie negatywne skutki prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej, obserwowane zarówno na powierzchni terenu jak i obiektach budowlanych. Zgodnie z ustawą (Prawo ...2011) właściciel nieruchomości

nie może sprzeciwić się prawdopodobnym zagrożeniom spowodowanym ruchem zakładu górniczego, prowadzonym zgodnie z prawem.

Poszkodowany może jednak domagać się swoich praw zgodnie z przepisami kodeksu cywilnego. Odpowiedzialność za poniesione szkody powstałe w związku z ruchem zakładu górniczego ponosi przedsiębiorca danego zakładu górniczego.

Na podstawie (Prawo ...2011) poszkodowany może żądać przywrócenia stanu poprzedniego poprzez wykonanie napraw lub ma prawo domagać się odszkodowania w formie zapłaty pieniężnej. Jednakże, gdyby przywrócenie stanu poprzedniego było niemożliwe albo gdyby pociągało za sobą dla zobowiązanego nadmierne trudności lub koszty, roszczenie poszkodowanego ogranicza się do zapłaty odszkodowania (Kodeks ...1964). Jeśli rekompensata za powstałe szkody ma odbyć się w postaci pieniężnej, powstaje wówczas pytanie jak ową wartość określić.

Temat oszacowania szkód górniczych jest stale rozpatrywany. Dotyczy to głównie obiektów budowlanych z uwagi na ich użyteczność, która staje się ograniczona bądź niemożliwa w wyniku powstałych uszkodzeń. Przykładowo dotyczy to obiektów wychylonych z pionu. Rozważanie na powyższe kwestie prowadzone były między innymi w (Kaszowska 2002, Kawulok 2000, Kowal 2014).

Prowadzenie eksploatacji górniczej wpływa również na grunty rolne. Powstające zapadliska, miejscowe wysuszenia, zawodnienia mogą wpływać na niezdatność tych miejsc do upraw. Szkody o charakterze rolnym dają właścicielowi gruntu możliwość żądania nie tylko utraconych korzyści wynikających z eksploatacji górniczej, ale także żądania przywrócenia gruntu do stanu bez szkód. W przypadku naprawienia szkody górniczej na gruntach rolnych lub leśnych zdegradowanych lub zdewastowanych stosuje się przepisy o ochronie tych gruntów (Ustawa ...1995). Dodatkowo w przypadku obniżenia poziomu produkcji w okresie trzech lat co najmniej o jedną trzecią dotychczasowej wartości, zakład jest obowiązany, na wniosek właściciela, wykupić całość lub część tych gruntów według cen wolnorynkowych.

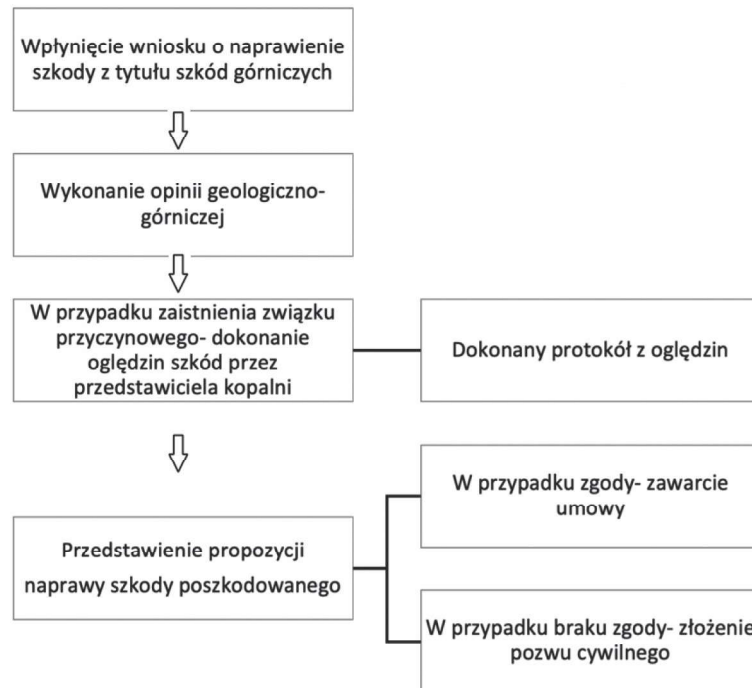
Poniżej przedstawiono ogólny schemat procedury postępowania w przypadku szkód górniczych, w tym na terenach rolnych.

Przedstawiona powyżej procedura postępowania w przypadku szkód górniczych niejednokrotnie potrafi przybrać szersze zasięgi, co sprawia, że na rozstrzygnięcie sprawy można czekać latami. Jednym z etapów jest dokonanie oględzin przez przedstawiciela zakładu górniczego, w wyniku którego powstaje protokół. Dokument ten stanowi dowód w sprawie, szczególnie istotny w przypadku wpłynięcia pozwu sądowego.

W celu identyfikacji wielkości oraz rodzaju powstałych szkód na polach uprawnych pomocne stają się zastosowanie nowoczesnych technik pomiarowych w postaci BSP, czego przykłady wskazano w następnym rozdziale artykułu.

## 3. Zastosowanie BSP w identyfikacji szkód górniczych na terenach rolnych

Wykonywanie oględzin w celu określenia wielkości oraz rodzaju powstałej szkody górniczej stanowi niezbędne działanie wpisujące się w procedurę rozpatrzenia wniosków o odszkodowanie. W przypadku pól rolnych charakteryzujących się dużą powierzchnią wizje lokalne wykonane za pomocą BSP okazują się być narzędziem idealnym do takich zadań. Przykładowo nalot wykonany BSP o masie 1,3 kg z wykorzystaniem jednej baterii wystarcza na 18 minut lotu (przy założeniu 80 % pokrycia zdjęć), co daje możliwość objęcia nalotem 10 ha powierzchni pola.



Rys. 1. Ogólny schemat procedury postępowania w przypadku szkód górniczych  
Fig. 1. General scheme of the procedure to be followed in the event of mining damage



Rys. 2. Ortofotomapa terenu rolnego będącego pod wpływem oddziaływania górniczego  
Fig. 2. Orthophotomapa of agricultural land under the influence of mining

Wykonanie ortofotomapy z nalotu stanowi obiektywny obraz powstałych szkód na terenie rolnym, czego przykładem jest ortofotomapa przedstawiona na rysunku 2. Miejsce nalotu obejmuje czynną rolę uprawną, będącą pod wpływem oddziaływań górniczych. Zauważalne jest miejscowe oraz powierzchniowe zawodnienie gruntu, co bezpośrednio wpływa na wyłączenie tych miejsc z upraw.

Wielkość powstałych obniżień terenu rolnego możliwe jest do zaobserwowania w wyniku utworzenia mapy hipsometrycznej (rysunek 3).

Tuż obok map hipsometrycznych pomocne w określeniu spadków terenu stają się wyznaczone profile terenów rolnych, czego przykład przedstawiono na rysunku 4. Określone profile terenu (rysunek 5) w połączeniu z prognozowanymi wpływami górniczymi, na przykład w postaci izolinii obniżień, dają możliwość oszacowania miejsca powstania niecki obniżień, w tym niecek bezodpływowych.

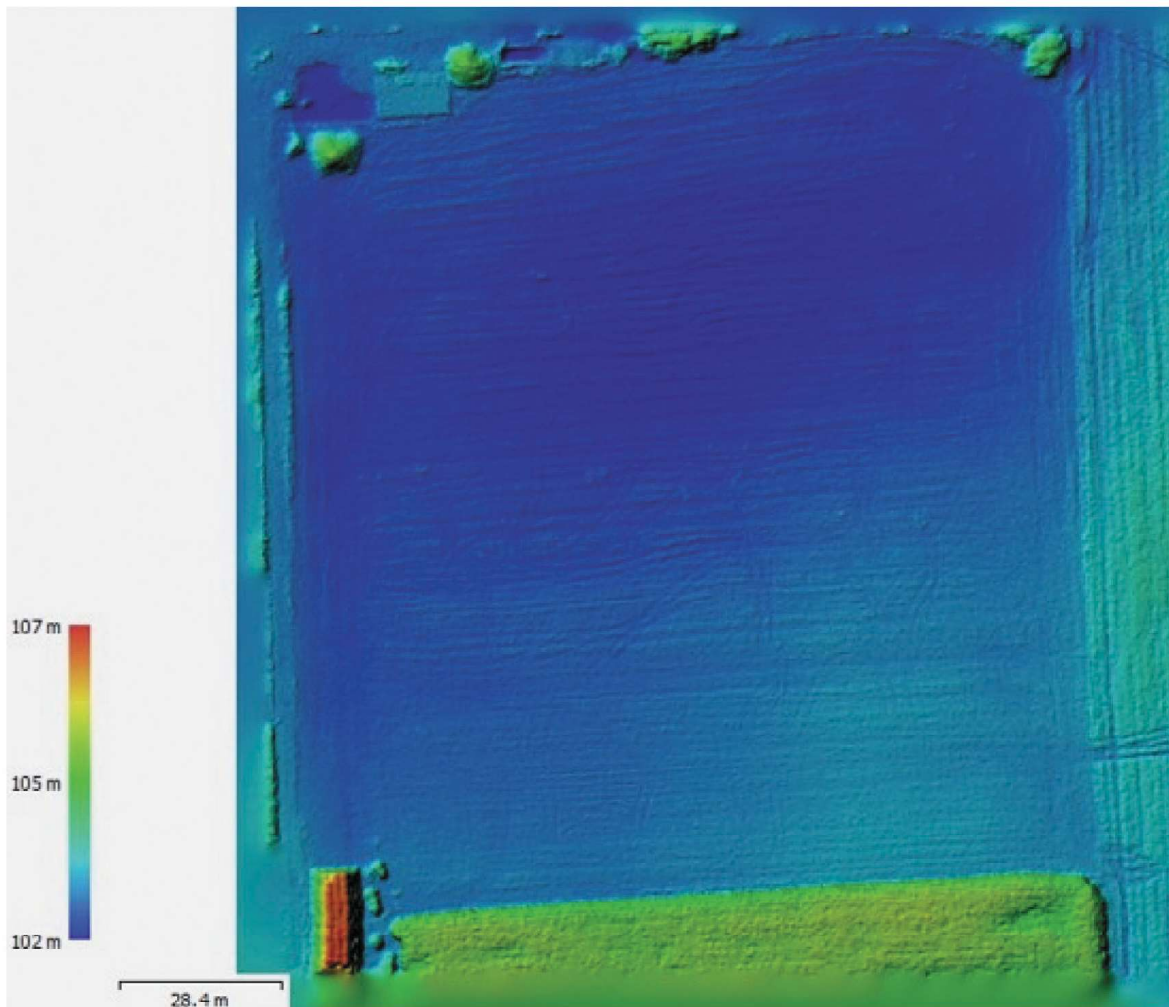
Jako główną przyczynę wnioskowania o naprawę szkody z tytułu szkód górniczych na terenach rolnych wskazuje się bardzo często niekorzyść w rosnących uprawach. Wykazana we wniosku powierzchnia dotyczy zazwyczaj całej nieruchomości rolnej. Tymczasem z pomocą BSP obserwuje się miejsca objęte funkcją technologiczną np. drogi dojazdowe,

miejsca składowania czy też zawracania sprzętu rolniczego (rysunek 6). Zatem plony nie mogą ulec zniszczeniu w tym miejscu w wyniku oddziaływań górniczych, gdyż stanowi to część pola wyłączzonego z zasiewu. Jest to szczególnie istotne w momencie określenia wartości odszkodowania, zależnej od powierzchni uszkodzonej.

Obrazy z nalotu pozwalają również na szybką inwentaryzację wykonanych napraw z tytułu szkód górniczych. Przykładowo rysunek 7 przedstawia ortofotomapę dawnego obszaru bezodpływowego (depresyjnego). Naprawa polegała na wybudowaniu przepompowni. W trakcie robót hydrotechnicznych zalewisko zostało zlikwidowane.

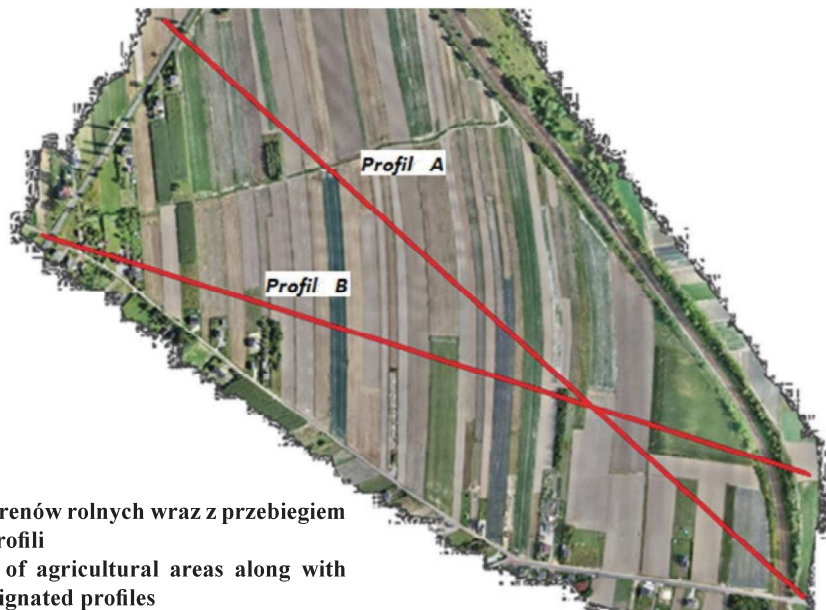
#### 4. Podsumowanie

Nowoczesne techniki pomiarowe jak BSP mogą skutecznie posłużyć jako obiektywny dowód w sprawach napraw z tytułu szkód górniczych. W połączeniu z odpowiednio przygotowaną opinią geologiczno-górnictwiczną zawierającą między innymi wskaźniki deformacji terenu stają się pomocne w określeniu wielkości oraz rodzaju szkody.



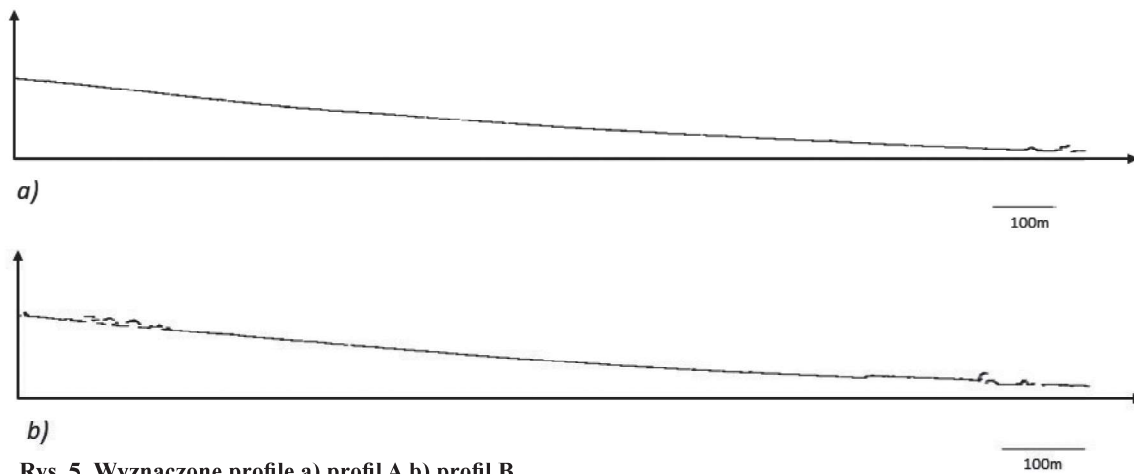
Rys. 3. Mapa hipsometryczna ukazująca naturalne ukształtowanie powierzchni (wykorzystana skala barw od czerwonego - obszar położony najwyżej do ciemnoniebieskiego dla obszaru położonego najniżej)

Fig. 3. Hipsometric map showing the natural shape of the surface (the color scale used is from red - the highest area to dark blue for the lowest area)



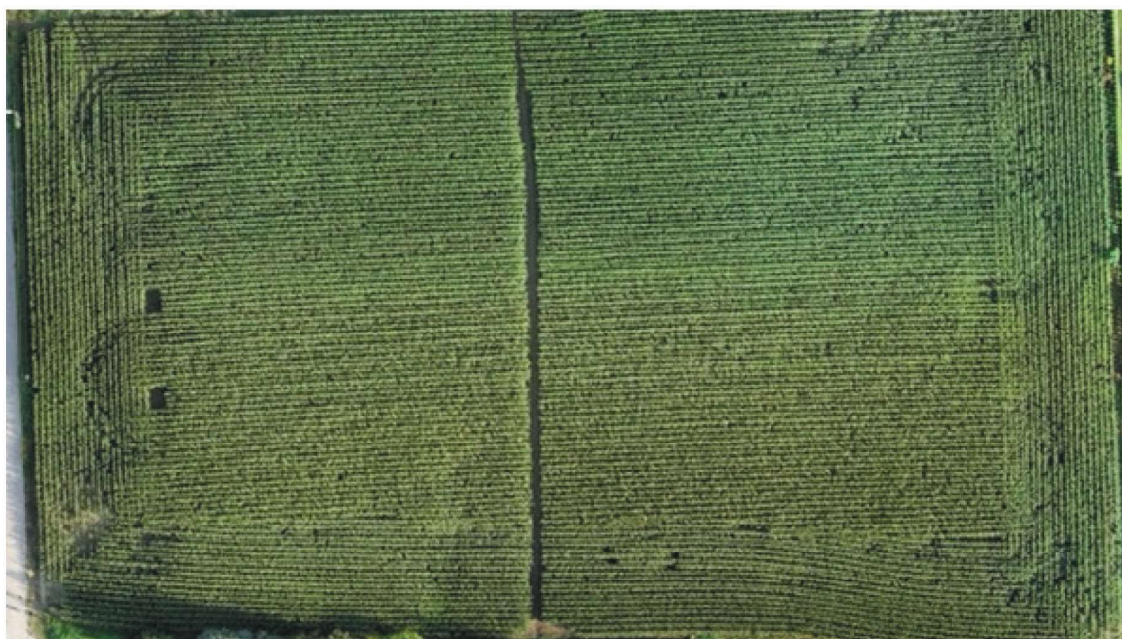
Rys. 4. Ortofotomapa terenów rolnych wraz z przebiegiem wyznaczonych profili

Rys. 4. Orthophotomap of agricultural areas along with the course of designated profiles



Rys. 5. Wyznaczone profile a) profil A b) profil B

Fig. 5. Designated profiles a) profile A b) profile B



Rys. 6. Ortofotomapa pola rolnego wraz przebiegającą drogą dojazdową przez środek pola

Fig. 6. An orthophotomap of an agricultural field with an access road running through the center of the field



**Rys. 7. Ortofotomapa dawnego terenu zalewowego**  
**Fig. 7. Orthophotomap of the former floodplain**

Przy obserwacji powstałych szkód na terenach rolnych należy uwzględnić również inne czynniki wpływające na stan upraw. Zastosowana agrotechnika, nawożenie, ochrona plantacji, czy też zmiany wynikające z anomalii pogodowych jak susze mogą przyczynić się do braku urodzajności. Niejednokrotnie wymaga to opinii osoby odpowiednio wykwalifikowanej w temacie rolnictwa.

## Literatura

- ADAMSKI M., RAJCHEL J. 2013 - Bezzałogowe statki powietrzne. Cz. I, Charakterystyka i wykorzystanie. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych. Dębлін.
- BOCHENEK W., MOTYKA Z., PASSIA H., SZADE A. 2007 - Laserowa kontrola budynków i budowli inżynierskich poddanych oddziaływaniu eksploatacji podziemnej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Prace Naukowe GIG, Katowice.
- CHAN B., GUAN H., JO J., LUMENSTEIN M. 2015 - Towards UAV-based bridge inspection systems: a review and an application perspective. *Structural Monitoring and Maintenance* 2(3):283-300.
- CYGAŃCZUK K., JANIK P. 2020 - Systemy pomiarowe wykorzystywane w bezzałogowych statkach powietrznych do badania jakości powietrza. „Przemysł Chemiczny” 99(7):977-81.
- CZERWIŃSKI Ł., WÓJCIK P. 2017 - Drony w budownictwie [internet]. Raport SkySnap. Retrieved from: <https://dronywbudownictwie.pl>.
- GRUHLIK P. 2015 - Nazemne skanowanie laserowe 3D, doświadczenia i perspektywy. „Przeгляд Górnicy” 71(5):20-24.
- JABŁOŃSKI M., JAŚKOWSKI W. 2016 - Przegląd technik inwentaryzacji rury szybowej. „Budownictwo i Architektura” 15(3):63-74.
- JABOYEDOFF M., OPPIKOFER T., ABELLÁN A., DERRON M., LOYE A., METZGER R., PEDRAZZINI A. 2012 - Use of LIDAR in landslide investigations: a review. *Nat Hazards* 61:5–28.
- KASZOWSKA O. 2002 - Metoda prognozowania kosztów usuwania szkód w budynkach na terenach górniczych. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko* 3:69-81.
- KAWULOK M. 2000 - Ocena właściwości użytkowych budynków z uwagi na oddziaływania górnicze. Wydawnictwo Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- Kodeks cywilny.** Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. (Dz.U. 1964 nr 16 poz. 93 z późn. zm.)
- KOSTUR K., ŻMIGRODZKA M., BALCERZAK T. 2019 - Unmanned Aerial Vehicles in Fire Protection. *Revista europea de derecho de la navegación marítima y aeronáutica*, abril 36:39-62.
- KOWAL T. 2014 - Propozycja ustalania wartości szkody w postaci trwałego wychylenia bryły budynku od pionu. „Przeгляд Górnicy” 70(10):164-169.
- KWIATEK J. I INNI 1997 - Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
- MAZUR P., CHOJNACKI J. 2017 - Wykorzystanie dronów do teledetekcji multispektralnej w rolnictwie precyzyjnym. „Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna” 25-28.
- MAZUREK A. 2018 - Unmanned aerial vehicles in technical diagnostics of buildings using non-destructive methods. *Welding Technology Review* 3:66-69.
- MERKISZ J., NYKAZA A. 2016 - Perspektywy rozwoju i wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych w służbach ratowniczych. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 17(6):291-296.
- MIKA W., FERENCA., CZAJAS. 2018 - Monitoring obiektów budowlanych z zastosowaniem drona. „Przeгляд Górnicy” 74(1):21-26.
- NOWOBILSKI T. 2020 - Bezzałogowe statki powietrzne w kontroli obiektów budowlanych. *Builder* 24(2):18-20.
- POPIOLEK E., KRAWCZYK A., SOPATA P., BACHOWSKI C. 2007 - Wykorzystanie metody InSAR w monitoringu i prognozowaniu deformacji powierzchni terenu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo* 278.
- Prawo geologiczne i górnicze.** Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981)
- QUOC LONG N., ET AL. 2020 - 3D Spatial Interpolation Methods for Open-Pit Mining Air Quality with Data Acquired by Small UAV Based Monitoring System. *Inżynieria Mineralna* 2(46):263-273. <https://dx.doi.org/10.29227/IM-2020-02-32>.
- SIKORSKI S., SZMIGIERO M. 2018 - Możliwości zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w systemie Państwowego Ratownictwa Medycznego w świetle obowiązujących regulacji prawnych. *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów Szkoła Główna Handlowa*, 167:143-155.
- TRENCZEK S. 2010 - Rozszerzenie kontroli w rejonach ścian wydobywczych o pomiary ciśnienia w aspekcie zagrożenia wybuchowego. „Mechanizacja i Automatyza Górnictwa” 48(1):5-14.
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych** (Dz.U. 1995 nr 16 poz. 78)
- WANIEWSKA A. 2020 - Identifying the possibility of using unmanned aerial vehicles in the process of construction projects implementation.

- Scientific Journal of the Military University of Land Forces 52(3):643-650. DOI 10.5604/01.3001.0014.3958
- WIETESKA S. 2017 - Możliwości zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w likwidacji szkód w ubezpieczeniach upraw rolnych w Polsce. *Studia Ekonomiczne, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach* 331:190-200.
- WRÓBLEWSKA M. 2018 - Measurement methods of building structures deflections. *E3S Web of Conferences BIG 36(3):02010:1-8*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183602010>.
- ZBOINA J., ZAWISTOWSKI M., SOWA T. 2020 - Ocena jakości powietrza z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych. „*Przemysł Chemiczny*” 99(7):988-993. DOI 10.15199/62.2020.7.4.
- ZIELIŃSKI T. 2014 - Funkcjonowanie bezzałogowych systemów powietrznych w sferze cywilnej. Wyd. *Silva Rerum*, Poznań.

Artykuł wpłynął do redakcji w styczniu 2022  
Akceptowano do druku 10.03.2022

Magdalena Wróblewska, dr inż. Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa, Katedra Geotechniki i Dróg. Autorka z wykształcenia jest geodetą górniczym. Swoje zainteresowania naukowe kieruje w stronę zarówno klasycznych jak i nowoczesnych metod pomiarowych służących identyfikacji szkód górniczych. [magdalena.wroblewska@polsl.pl](mailto:magdalena.wroblewska@polsl.pl)