

mgr inż. Krzysztof Pietron^{1)*}
mgr inż. Łukasz Kacprzak¹⁾

Inwentaryzacja hałd materiałów sypkich metodą UAV oraz naziemnego skaningu laserowego

Okolo 2015 r. na całym świecie nastąpił gwałtowny rozwój bezzałogowych statków powietrznych. Drony przestały być domeną modelarzy i ich amatorskich konstrukcji, a zaczęły być produkowane na szeroką skalę, w coraz bardziej atrakcyjnych cenach. Wyposażone w aparat fotograficzny sprawiły, że zainteresowano się fotogrametrią, dziedziną nieco zapomnianą i zarezerwowaną na duże projekty. Ujmując w skrócie, korzystając z fotogrametrii, na podstawie zdjęć wykonanych z różnych pozycji możemy określać wielkości geometryczne takie jak współrzędne, długość, szerokość oraz ich pochodne, tj. powierzchnię, objętość itd. Do czasu popularyzacji dronów, fotogrametria była stosowana jedynie do opracowań małoskalowych, typu ortofotomapa kraju czy całego województwa (tylko takie projekty dawały stopę zwrotu pozwalającą na inwestycję w system fotogrametryczny, składający się z samolotu załogowego i drogiej kamery lotniczej). W przypadku małych firm, taki zakup był nieosiągalny. Z kolei ograniczenia geometryczne do stosowania fotogrametrii na co dzień (konieczność wykonania zdjęć obiektów z wielu różnych pozycji) była nie do przeskokowania.

Na szczęście producenci programów geodezyjnych i GIS-owych szybko dostrzegli potencjał tej technologii w połączeniu z dronami i zaczęli pracować nad oprogramowaniem, pozwalającym na realizację w pełni metrycznych i wiarygodnych opracowań dotyczących geometrii obiektów (fotografia 1). Rozwój ten trwa nadal, a algorytmy zaczynają być wspierane przez sztuczną inteligencję.



Fot. 1. Przykład poprawnego rozmieszczenia zdjęć równoległe do elewacji – efekt niemożliwy do osiągnięcia bez wykorzystania dronów

¹⁾ PKIG Sp. z o.o.

^{*)} Adres do korespondencji: krzysztof.pietron@pkig.pl

Dron w służbie inwentaryzacji hałd

Bardzo szybko okazało się, że obiektami, które świetnie nadają się do inwentaryzacji z wykorzystaniem dronów, są wszelkiego rodzaju hałdy kruszyw, węgla (fotografia 2) i innych sypkich materiałów. Przyczyniło się to do popularyzacji tej metody pomiaru. Jej główne zalety to:

- szybkość pomiaru – czas nalotu nad składowiskiem zajmuje zwykle 20 – 40 min (tyle w najgorszym przypadku zajmuje czas przestoju całego składu);
- brak uogólniania kształtu nawet najbardziej skomplikowanych hałd – bezpośrednim produktem inwentaryzacji jest tzw. chmura punktów (fotografia 3), zbiór bardzo blisko położonych względem siebie punktów. „Blisko” oznacza odległość ok. 1 cm, dlatego każdy szczegół hałdy jest dokładnie odwzorowany.



Fot. 2. Dron podczas pomiaru hałd – przykład wykorzystania fotogrametrii

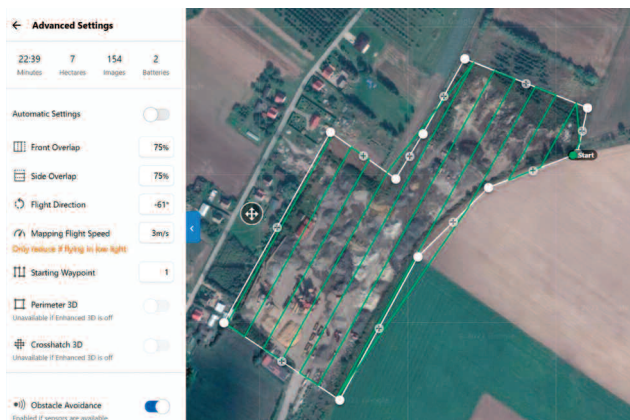


Fot. 3. Przykład chmury punktów hałd

Pomiar i opracowanie sprowadza się do następujących etapów:

- stabilizacji i pomiaru GPS fotopunktów w terenie – są to w uproszczeniu sfotografowane na zdjęciach punkty o znanych współrzędnych, które następnie służą do wpasowania i kontroli opracowania;

- planowania misji (fotografia 4) i wykonania lotu fotogrametrycznego;
- kontroli poprawności wykonania zdjęć obiektu;
- analizy i opracowania danych uzyskanych z pomiarów;
- przekazania opracowania zamawiającemu.



Fot. 4. Przykład planu nalotu nad składowiskiem

Zazwyczaj wyniki pomiaru dostępne są na drugi dzień roboczy, jednak okres ten można skrócić do jednego dnia.

Wszystko wygląda bardzo przejrzyście, lecz są też wady tego rozwiązania, do których można zaliczyć:

- dużą zależność od warunków meteo; naloty bardzo utrudniają wiatr powyżej 10 m/s oraz opady atmosferyczne (w tym zalegająca mgła);
- ograniczenia w przestrzeni powietrznej. Drony jako obiekty latające podlegają ustawie Prawo Lotnicze. Obecnie warunki wykonywania lotów i wymaganych kwalifikacji pilota regulują rozporządzenia unijne;
- zalegająca pokrywa śnieżna. Dron wykonuje pomiar tego, co widzi, zatem w przypadku pokrywy śnieżnej potencjalnie obliczona objętość będzie zafałszowana (w górę);
- ograniczenia w widoczności hałd z góry (zadaszenia, materiały wewnątrz magazynów). Niestety nie wszędzie jesteśmy w stanie wykonać nalot dronem, jednak nawet takie obiekty można szybko inwentaryzować....

Wykorzystanie skanera laserowego, gdy dron się nie sprawdzi

W przypadku materiałów zlokalizowanych pod dachami, z pomocą przychodzi technologia skaningu laserowego. Jest ona zbliżona do tachymetrycznej, jednak skanując, mierzymy nie kilkadziesiąt punktów na dzień, a 2 mln punktów na sekundę. Tak szybki pomiar pozwala na zorganizowanie minimum kilkudziesięciu stanowisk pomiarowych dziennie, a z każdego pozyskujemy miliardy punktów pomiarowych. Taka szybkość umożliwiła przeprowadzenie pomiarów w 2–3 h. Uzyskaną chmurę punktów opracowuje się w sposób analogiczny, jak dane pozyskane z drona.

Jaki jest błąd pomiaru?

Niestety odpowiedź nie jest jednoznaczna. O ile sam pomiar powierzchni hałdy z wykorzystaniem drona lub skanera daje bardzo dobre rezultaty (dokładność wyznaczenia chmury punktów to kilka cm), o tyle na błąd wyznaczenia objętości wpływa więcej składowych:

- błąd pomiaru góry i dna hałdy;
 - błąd aproksymacji (modelowania, odtwarzania właściwego kształtu) góry i dna hałdy;
 - błąd pomiaru gęstości (w przypadku wyznaczania tonażu).
- Błędy pomiarowe są w zasadzie marginalne – omówione technologie skutecznie je eliminują. Błąd aproksymacji hałdy też jest znikomy – gęste pokrycie chmurą punktów obiektu niweluje go w zasadzie do zera. Największą niewiadomą pozostaje kształt dna hałdy, którego nie widzimy. Jeśli będzie on bardzo nieregularny, nie osiągniemy poprawnych wyników. Pomocny może się okazać np. wykonany uprzednio pomiar dna przed nasypaniem hałdy. Natomiast błąd pomiaru gęstości ma największy wpływ w przypadku wyznaczania tonażu hałd. W przeciwieństwie do pozostałych, jest on skalowalny i zwiększa się wraz z wielkością hałd. Podsumowując, można stwierdzić, że wartość błędów to:
- < 1% wartości całkowitej, w przypadku samych pomiarów objętości hałd (wartość w m³);
 - ok. 5% wartości całkowitej, przypadku pomiarów objętości i gęstości (wartość w tonach).

Inne zastosowanie dronów

Trzeba pamiętać, że dane z dronów można wykorzystywać nie tylko w dziedzinie pomiarów objętości, ale także w szeroko rozumianym monitoringu. Obecnie trudno już znaleźć duży projekt infrastrukturalny drogowy czy kolejowy, nad którym przynajmniej raz w miesiącu nie przelatuje dron w celu zebrania danych. Takie wymagania są stawiane zresztą w OPZ do SIWZ w przypadku poszczególnych kontraktów. Dane z dronów, poza oczywistym zastosowaniem w wizualnej ocenie postępów prac, dostarczają współrzędne geometryczne dotyczące aktualnego pokrycia terenu, a te mogą być zastosowane np. do:

- bieżących kontroli hałd mas ziemnych składowanych na budowie do rozliczeń z podwykonawcami;
- nadzoru geodezyjnego w przypadku odbioru poszczególnych warstw nasypów;
- kontroli posadowienia poszczególnych elementów względem projektu;
- wspierania zarządzania z wykorzystaniem procesów BIM.

Podsumowanie

Na przykładzie inwentaryzacji hałd wskazaliśmy, jak nowoczesne technologie pomiarowe zrewolucjonizowały w ciągu ostatnich kilku lat rynek pomiarów geodezyjnych. Obecnie wykonywane są dużo mniejszym nakładem pracy, z zachowaniem tych samych (bądź lepszych) standardów dotyczących dokładności. W przyszłości oczekuje się znacznego wykorzystania sztucznej inteligencji, np. w wykrywaniu, klasyfikacji i automatycznym obliczaniu objętości hałd na podstawie dostarczonej chmury punktów. Ponadto wraz z popularyzacją sieci 5G i ciągłym zwiększaniem wydajności podzespołów, pomiary będą być może wykonywane online, a wyniki znane jeszcze przed powrotem drona z misji fotogrametrycznej, czy przed wykonaniem pomiarów na wszystkich stanowiskach skanowania laserowego.

Koordynatorem merytorycznym działu Akademia BIM jest mgr inż. arch. Leszek Włochyński – reprezentujący Stowarzyszenie buildingSMART Polska, www.buildingsmart.org/pl