

WIZUALIZACJA DYNAMIKI ZMIAN LICZBY UCZESTNIKÓW IMPREZY MASOWEJ Z WYKORZYSTANIEM DRONÓW

MACIEJ SMACZYŃSKI

Zakład Kartografii i Geomatyki, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań

Abstract: Currently the fastest growing segment of equipment for acquisition of photogrammetric images is drones. This article examines the possibilities and the effectiveness of such devices to obtain images during mass events at various time intervals. The aim was to design a visualisation of the dynamics of change in the number of participants of mass events. At the same time, the paper presents an attempt to systematise the process of acquiring data using this type of Unmanned Aerial Vehicle (UAV).

Keywords: drones, BSL, UAV, RPA, mass events

WPROWADZENIE

Według przepisów bezzałogowe statki powietrzne to statki bez pilota, nieprzeznaczone do celów sportowych lub rekreacyjnych, zdolne do lotu autonomicznego programowanego lub zdalnie sterowanego. Z języka angielskiego nazywane są dronami (ang. *drones*), w skrócie według najnowszej nomenklatury – RPA (*Remotely Piloted Aircraft*), a według dotychczasowego nazewnictwa – UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) (Przywara 2012). Jeszcze do niedawna kojarzone były jedynie z działalnością militarną, jednak od kilkunastu lat technologia ta znajduje szerokie zastosowanie w sektorze cywilnym. Fakt, iż platformy bezzałogowe umożliwiają spojrzenie na otaczającą nas przestrzeń z dotąd mniej dostępnej perspektywy, jest bodźcem do rozwoju w Polsce przede wszystkim firm zajmujących się fotografowaniem i filmowaniem.

Zdaniem Zespołu ds. bezzałogowych statków powietrznych przy Urzędzie Lotnictwa Cywilnego (2013) możliwość przesyłania obrazu video w czasie rzeczywistym sprawiła, iż drony to idealne narzędzie do monitorowania imprez masowych, sieci dróg, lasów, obszarów wodnych czy granic. Bezzałogowce odnajdują się znakomicie w charakterze wsparcia i koordynacji akcji ratunkowych, a także dokumentowania strat po klęskach żywiołowych. UAV jako platforma fotogrametryczna wykorzystywana jest również do badania atmosfery, upraw rolnych czy stanu wszelkiej infrastruktury inżyniersko-technicznej.

W porównaniu z tradycyjnymi załogowymi statkami powietrznymi koszt zakupu i eksploatacji drona jest często nieporównywalnie niższy. Niewątpliwie ich przewagą jest również możliwość dotarcia w miejsca niedostępne dla samolotu załogowego.

CEL BADAŃ

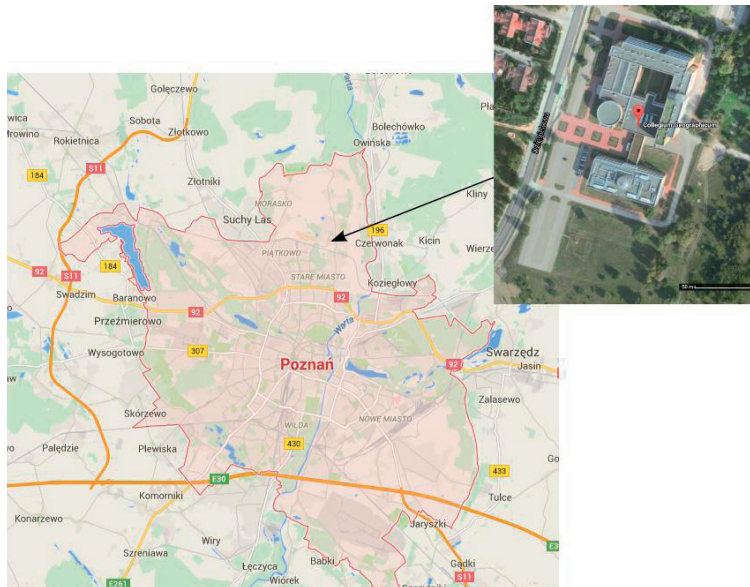
Celem niniejszego artykułu jest wizualizacja dynamiki przyrostu liczby uczestników imprezy masowej na podstawie zdjęć pozyskanych z drona, na których przeprowadzono analizy przestrzenne w systemach informacji geograficznej (GIS). Poza kartograficznym przedstawieniem analizowanego zjawiska celem badań była ocena ilościowa uczestników znajdujących się na obszarze badań oraz jej korelacja z harmonogramem imprezy masowej. Autor chce również określić potencjał wykorzystania innowacyjnej technologii UAV w tego typu badaniach.

OBSZAR BADAŃ

Jako obszar badań wybrano Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych (WNGiG) Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Na terenie wspomnianego wydziału 23 kwietnia 2015 r. odbywał się „Dzień Geografa”. Uwieńczeniem całego wydarzenia był „Piknik geograficzny”, który miał miejsce na terenie okalającym budynek WNGiG w Poznaniu i którego uczestnicy bezpośrednio stanowili podmiot badań.

Analizowany obszar (ryc. 2) podzielono na osiem stref. Pierwszą z nich, a zarazem najbardziej obleganą, była strefa „piknikowa”. Charakteryzowała się trawiastym podłożem, które sprzyjało biesiadowaniu. Jej powierzchnia wynosiła 3600 m². Jako druga wydzielona została strefa „muzyczna”, to właśnie tu uczestnicy mogli potańczyć na powierzchni 1460 m². W jej centralnym punkcie znajdowała się strefa didżeja dbającego o oprawę muzyczną, który do dyspozycji miał 20 m². Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego miało możliwość prezentacji swoich sekcji w namiotach zajmujących powierzchnię 280 m², które zostały zlokalizowane w strefie oznaczonej numerem czwartym. Na omawianym obszarze znajduje się wygrodzona wydziałowa stacja meteorologiczna o powierzchni 224 m². Uczestnicy niemający własnego grilla mieli możliwość zakupu już gotowej kiełbaski w punkcie gastronomicznym (nr 6) zajmującym 3 m². Przez cały czas trwania imprezy uczestnicy mieli do dyspozycji (nr 7) punkt sanitarny o powierzchni 6 m². Na obszarze 70 m² przez pierwszą godzinę wydarzenia prezentowany był szybowiec (nr 8).

Możliwość wykorzystania do badań bezzałogowego statku powietrznego wiąże się z silnym uzależnieniem od warunków atmosferycznych. Ma ono bowiem



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań

Fig. 1. Location of the study area

Źródło: GoogleMaps



Legenda

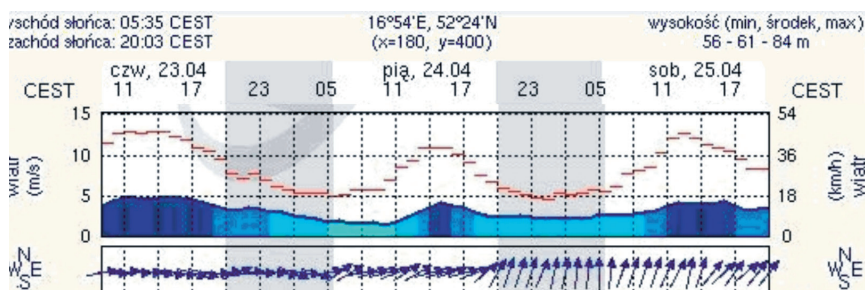
- 1 – Strefa piknikowa
- 2 – Strefa muzyczna
- 3 – DJ'ka
- 4 – Strefa SKNG
- 5 – Ogródek meteorologiczny
- 6 – Wydziałowy grill
- 7 – Toalety
- 8 – Prezentacja szybowca

Ryc. 2. Podział obszaru badań na strefy o różnych funkcjach

Fig. 2. The division of the research area into zones with different functions

Źródło ortofotomapy: <googlemaps.pl>

bezpośredni wpływ na jakość zdjęć i filmów, a przede wszystkim na bezpieczeństwo wykonywania nalotu nad analizowanym obszarem. Kluczowe znaczenie dla powodzenia przeprowadzenia lotu miały dwa czynniki – opady deszczu i wiatr. Na rycinie 3 przedstawiono meteogram warunków eolicznych nad obszarem nalotu. W dniu nalotu (23.04.2015) nie wystąpiły opady deszczu, wiatr wiał z kierunku zachodniego, dochodząc w godzinach popołudniowych nawet do $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Do momentu rozpoczęcia imprezy masowej prędkość wiatru spadła i wynosiła już



Legenda

- ▲ stanowisko operatora ▨ obszar nalotu

Ryc. 3. Meteogram warunków eolicznych oraz obszar nalotu drona i stanowisko operatora

Fig. 3. Meteogram of wind conditions and the area of drone flight and operator station

Źródło meteogramu: <www.meteo.pl>

niespełna $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. W celu zapewnienia bezpieczeństwa uczestnikom imprezy postanowiono obszar nalotu zlokalizować na południe od terenu imprezy. Dzięki temu nagła awaria bądź niespodziewany podmuch wiatru zniósłby urządzenie na niezaludniony trawiasto-krzaczasty obszar.

METODYKA

Jak wspomniano na wstępie, drony dzięki możliwości przesyłania obrazu video w czasie rzeczywistym stanowią idealne narzędzie do monitorowania imprez masowych. Autor niniejszej publikacji stanął przed zadaniem wykonania wizualizacji dynamiki zmian liczby uczestników jednej z nich, a tym samym przed oceną potencjału pochodzących z nalotu materiałów. Metody badań wynikały z założeń związanych z analizą GIS pozyskanych zdjęć oraz możliwością ich wizualizacji kartograficznej. Prace badawcze podzielono na pięć głównych etapów: koncepcyjny, pozyskania danych, harmonizacji danych, analiz przestrzennych i wizualizacji kartograficznej.

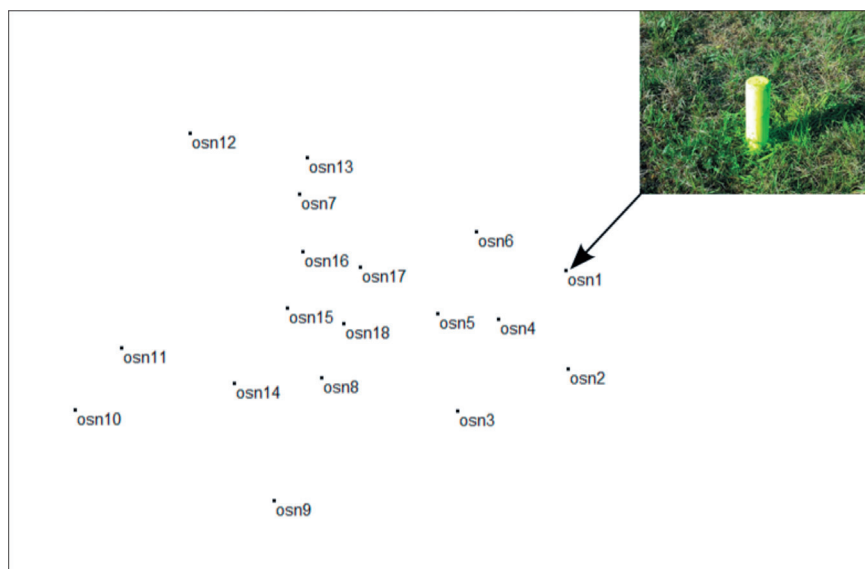
ETAP KONCEPCYJNY

Etap koncepcyjny podzielono na część kameralną i terenową. Część kameralna polegała na zdefiniowaniu imprezy masowej jako wydarzenia o charakterze dynamicznym. Określono również, iż przedmiotem badań jest zbiór osób biorących udział w imprezie masowej, a celem wizualizacja dynamiki zmiany liczby uczestników imprezy masowej w czasie jej trwania w sposób kartograficzny. Do technicznych aspektów należało m.in. zaplanowanie założenia fotopunktów, czyli zidentyfikowanych na zdjęciu lotniczym punktów o znanych współrzędnych (*Wielki słownik wyrazów obcych PWN*, 2010).

Założenie punktów osnowy fotogrametrycznej było niezbędne do wykonania georeferencji zdjęć analizowanego obszaru. Część terenowa miała na celu założenie osnowy w terenie techniką GPS RTK. Współrzędne każdego z punktów zostały określone na podstawie uśrednionego 30-krotnego pomiaru GNSS RTK (interwał jednosekundowy). Łącznie na analizowanym terenie znajdowało się 18 punktów osnowy fotogrametrycznej zdefiniowanych w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych „2000” strefa VI (południk osiowy 18°E).

POZYSKANIE DANYCH

Odnosząc się do regulacji prawnych zawartych w ustawie Prawo lotnicze (Dz.U. z 2012, poz. 933 z późn. zm.), podkreślić należy, iż podczas



Ryc. 4. Punkty osnowy fotogrametrycznej

Fig. 4. Ground control points

przeprowadzania nalołów priorytetowe było bezpieczeństwo, stąd każdy z nich odbywał się w myśl przepisów prawa z uwzględnieniem panujących warunków atmosferycznych. Ważne, aby stanowisko sterowania zlokalizowane było w takim miejscu, z którego bezzałogowiec będzie w stałym zasięgu wzroku operatora, a sam operator będzie miał komfort w jego pilotowaniu. Podczas nalołu wybrano południową stronę obszaru badań, gdyż jest to strona zawiętrna. Miało to na celu zabezpieczyć przed niekontrolowanym zniesieniem jednostki przez silny podmuch wiatru na uczestników pikniku oraz wyeliminować bezpośrednio padające promienie słoneczne do obiektu.

Naloł wykonywany był przy użyciu drona DJI PHANTOM 2, który stanowił platformę dla kamery GoPro Hero 4 Black Edition. Przed przystąpieniem do właściwego nalołu nad analizowanym obszarem operator przeprowadził lot próbny, którego celem była kalibracja kąta pionowego pochylenia obiektywu aparatu względem płaszczyzny ziemi. Czynność ta była konieczna, aby sfotografować pożądaną obszar w zakresie zdjęcia.

Charakter analizowanego wydarzenia oraz znana godzina jego rozpoczęcia pozwoliły na wcześniejsze zaplanowanie interwałów czasowych pomiędzy poszczególnymi nalołami. Ustalono, iż naloły będą odbywały się w odstępach około 20-minutowych. Urządzenie rejestrujące wykonywało zdjęcia w interwałach czasowych wynoszących jedną sekundę. Łącznie przeprowadzono 9 nalołów, w których wykonano 1944 zdjęcia. Każdy z nich trwał około 5 min. Pierwszy z nich wykonany został zaraz po planowym rozpoczęciu wydarzenia,



Ryc. 5. Przykładowe zdjęcie pochodzące z nalotu

Fig. 5. Sample picture of the research area

tj. o godzinie 18:12, kolejne o godzinach: 18:34; 18:54; 19:15; 19:33; 19:49; 20:12, natomiast ostatnie wybrane do analizy zdjęcie pochodzi z godz. 20:33. Materiał fotograficzny z ostatniego nalotu, tj. z godziny 20:54, został odrzucony z dalszej analizy ze względu na niedostateczne naturalne oświetlenie obszaru badań spowodowane zachodem słońca około godziny 20.

Do pozyskania danych wykorzystano obiektyw szerokokątny, co spowodowało charakterystyczne „kuliste” zniekształcenie obrazu. Należy wspomnieć, iż często są to zdjęcia ukośne, gdzie kąt nachylenia $\nu > 45^\circ$ z widocznym na zdjęciach horyzontem (Wiatr 2007).

HARMONIZACJA DANYCH

Harmonizacja danych stanowiła kluczowy etap badań poprzedzający przystąpienie do wykonywania analiz geoinformacyjnych. W pierwszej kolejności wyodrębniono zdjęcia, które obejmowały cały badany obszar. Uznano, iż kluczowym aspektem standaryzacji będzie zbliżony na każdym zdjęciu kąt poziomy oraz pionowy ustawienia obiektywu, zorientowany w stosunku do obszaru badań, oraz pułap wykonania zdjęcia. Z łącznej liczby 1944 zdjęć do dalszych analiz wybrano po jednej reprezentatywnej ekspozycji analizowanego obszaru z każdego nalotu. Z przeprowadzonych dziewięciu nalotów wybrano zdjęcia z pierwszych ośmiu. Odrzucenie ostatniego było spowodowane brakiem

możliwości identyfikacji podmiotu badań na skutek niedostatecznego oświetlenia obserwowanego obszaru.

Wyselekcjonowane zdjęcia poddane zostały obróbce graficznej, mającej na celu zminimalizowanie efektu kulistości obrazu. Korekta kulistości obrazu, polegającego na zakrzywieniu linii prostych w kierunku środka obrazu, była możliwa dzięki dostępnej w programie Adobe Photoshop CC 2015 funkcji korekty obiektywu. Podczas fotografowania pod kątem często powstającym zniekształceniem jest zniekształcenie trapezowe (pomoc programu Photoshop). Narzędzie „Kadrowanie perspektywiczne” pozwoliło przekształcić perspektywę obrazu podczas kadrowania i uzyskać kąt zbliżony do pionowego.

ANALIZA PRZESTRZENNA

GIS dla kartografii jest technologią opracowania map z baz danych przestrzennych (Medyńska-Gulij 2011). Pierwszy etap opracowania stanowiło nadanie każdemu ze zdjęć georeferencji, czyli wpasowanie go w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych „2000”. Georeferencja odbywa się poprzez przyporządkowanie określonych wartości współrzędnych odpowiednim punktom na zdjęciu. Do tego celu wykorzystano wcześniej założoną osnowę fotogrametryczną (fotopunkty). Georeferencja materiału fotograficznego została



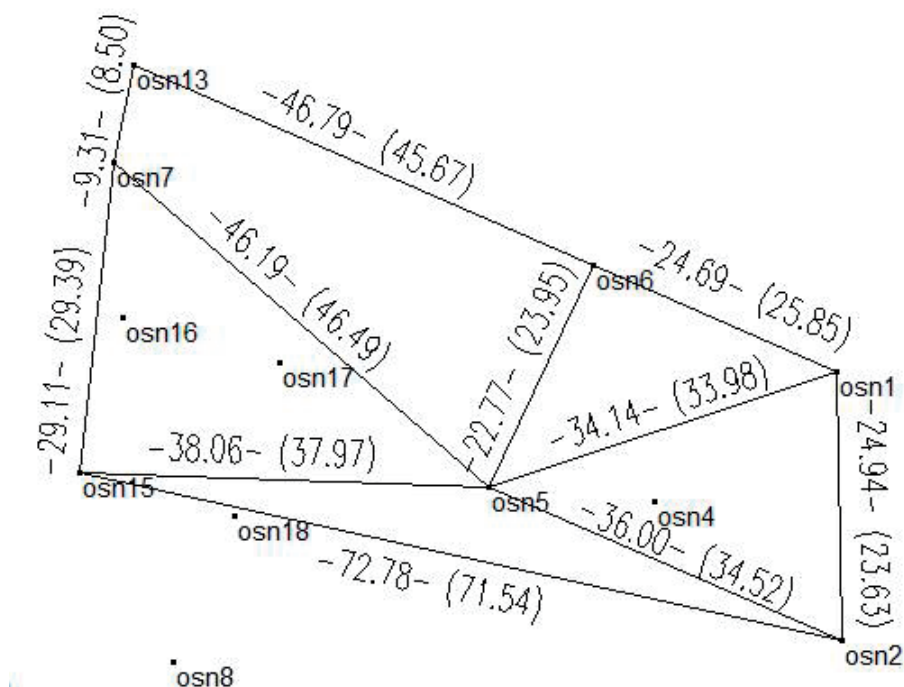
Ryc. 6. Obszar badań po kadrowaniu perspektywicznym
Fig.6 . The study area after perspective trimming

wykonana z zastosowaniem transformacji afinicznej drugiego stopnia w programie ArcMap 10.2.

Po nadaniu georeferencji porównano odległości pomiędzy rzeczywistymi miarami zmierzonych punktów osnowy fotogrametrycznej w programie C-GEO (ryc. 7) a odległościami na obrazie po transformacji (wartości podane w nawiasach).

Nadanie georeferencji pozwoliło na przystąpienie do wektoryzacji przedmiotu badań (uczestników imprezy masowej) na każdym ze zdjęć. Osoby biorące udział w wydarzeniu potraktowane zostały jako obiekty punktowe, czyli typ danych przestrzennych, którego nie można scharakteryzować za pomocą długości, szerokości ani głębokości i dlatego uważany jest za bezwymiarowy. Punkty mogą reprezentować fakt wystąpienia zdarzeń albo ich rozkład przestrzenny (Longley i in. 2008). Każdy z punktów ma współrzędne oraz unikatowy numer identyfikacyjny. W rozpatrywanym wypadku obiekty punktowe stanowią dane o charakterze ilościowym.

Opierając się na pierwotnych (wejściowych) materiałach fotograficznych, zaobserwowano tworzenie się coraz większych skupisk ludzkich złożonych



Ryc. 7. Porównanie odległości pomiędzy punktami osnowy fotogrametrycznej w terenie oraz programie GIS po georeferencji

Fig. 7. Comparison of the distance between ground control points and GIS program after georeferencing

z uczestników pikniku. Analizując zdjęcia pochodzące z nalogów oraz wcześniej zwektoryzowanych punktów reprezentujących uczestników, wyodrębniło powstałe grupy, które potraktowano jako obiekty powierzchniowe. „Obiekty powierzchniowe mają dwa wymiary: długość i szerokość. [...] Obszary mogą graniczyć z obiektami liniowymi i zwiierać obiekty punktowe” (Longley i in. 2008). Jako skupisko ludzi, a tym samym obiekt powierzchniowy, potraktowano grupę składającą się z co najmniej trzech osób. Tak powstały zestaw danych geometrycznych i atrybutowych zapisano w formacie shp.

Ostatnim krokiem etapu analizy przestrzennej było pozyskanie na podstawie tabeli atrybutów obiektów pochodzących z każdej ekspozycji, określenie liczby uczestników przebywających na analizowanym obszarze oraz zliczenie i określenie łącznej powierzchni utworzonych skupisk.

WIZUALIZACJA

Ostatnim, a zarazem docelowym etapem badań było wykonanie wizualizacji dynamiki migracji uczestników imprezy masowej na podstawie wyników przeprowadzonej analizy geoinformacyjnej. Opracowano dwie wizualizacje kartograficzne, obrazujące rozmieszczenie uczestników i stworzone przez nich skupiska. Dodatkowo sporządzono wykres przedstawiający liczbę uczestników i zajmowaną przez nich powierzchnię podczas każdego z nalogów.

Główną koncepcją wizualizacji analizowanego zjawiska było stworzenie mapy obrazującej zmienność liczby osób pomiędzy poszczególnymi godzinami wykonywania nalogów. Do programu geoinformacyjnego ArcMap zaimportowano siedem plików w formacie shapefile, wykonanych na etapie analizy danych o punktowym oraz przestrzennym rozmieszczeniu uczestników. Po analizie otrzymanej mapy uznano, iż bardzo duże zagęszczenie obiektów punktowych powoduje jej nieczytelność. Postanowiono odrzucić metodę sygnatur punktowych jako metodę wizualizacji analizowanego zjawiska.

Kolejnym krokiem było wykonanie mapy z plików zawierających obiekty powierzchniowe w sposób tożsamy jak w wypadku obiektów punktowych.

Pierwsza metoda wizualizacji badanego zjawiska polegała na przedstawieniu przyrostu powierzchni zajmowanej przez uczestników na każdej kolejnej ekspozycji. Barwy wykorzystane do wizualizacji dobrane zostały za pomocą internetowego narzędzia COLORBREWER 2.0, zaprojektowanego specjalnie z myślą o doborze kolorów w procesie mapowania. Narzędzie zostało zamieszczone na stronie internetowej <<http://colorbrewer2.org/#>> oraz opisane (Harrower, Brewer 2003).

Drugi sposób wizualizacji polegał na zastosowaniu zmiennego stopnia przezroczystości dla każdej z warstw. Nałożono warstwy zawierające poligony kolejno od pierwszego zdjęcia do ostatniego. Począwszy od zdjęcia drugiego na

każdym kolejnym ustawiono przezroczystość w interwale 14%. Pozwoliło to na zidentyfikowanie całkowitej powierzchni zajmowanej przez uczestników na każdym zdjęciu, a nie jedynie przyrosty, jak to miało miejsce w metodzie na rycinie 8. Podobnie jak poprzednio barwy zostały dobrane za pomocą narzędzia COLORBREWER 2.0.

Porównując dwie przedstawione metody wizualizacji, pierwsza z nich pozwalała na zaobserwowanie przyrostu powierzchni zajmowanej przez użytkowników na każdej kolejnej ekspozycji. Druga wizualizacja, dzięki zastosowaniu przezroczystości powierzchni, umożliwia przedstawienie kształtu poszczególnych skupisk na każdym z analizowanych zdjęć.

Opierając się na przeprowadzonej analizie przestrzennej oraz zliczeniu uczestników analizowanego wydarzenia i powierzchni przez nich zajmowanej, sporządzono wykres przedstawiający relację między liczbą uczestników imprezy masowej a powierzchnią przez nich zajmowaną.

Analizując powyższe wizualizacje i wykres, stwierdzić można, iż z każdą kolejną obserwacją na analizowanym obszarze znajdowała się większa liczba uczestników. Najmniejszą liczbę (250 os.) zarejestrowano o godzinie 18:34, a największą o godzinie 20:12 (738 os.). Analizowany obszar liczy 3600 m². Największa zajmowana powierzchnia wyniosła 350 m², co stanowiło blisko 10% powierzchni całkowitej.

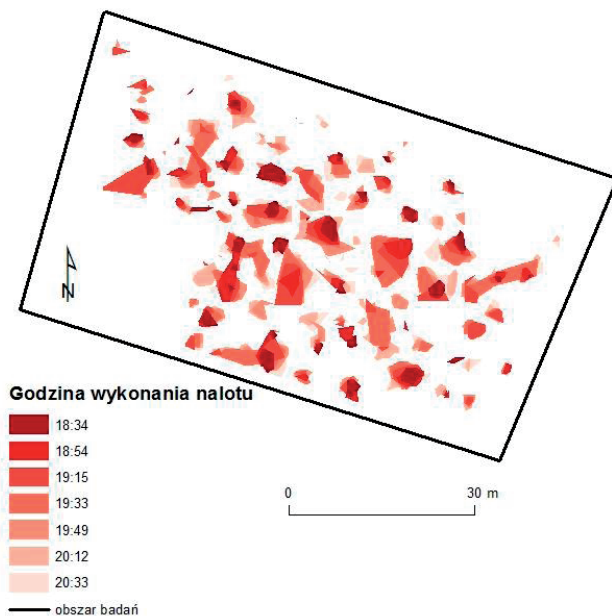
PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono technologię UAV jako metodę pozyskania danych w postaci materiałów fotograficznych odnoszących się do wydarzenia o charakterze dynamicznym. Dzięki przeprowadzeniu obróbki graficznej zdjęć przystosowano materiał do dalszej obróbki fotogrametrycznej. Następnie wykorzystano możliwości oprogramowania geoinformacyjnego i wykonano serię analiz przestrzennych, dzięki którym możliwe było określenie liczby uczestników oraz zajmowanej przez nich powierzchni.

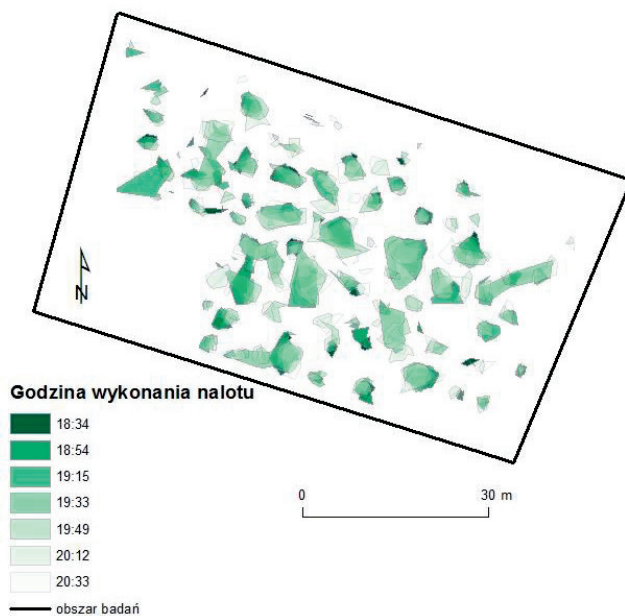
Wygenerowane podczas analiz geoinformacyjnych mapy pozwoliły na przestrzenne przedstawienie analizowanego zjawiska, a utworzony wykres na ilościowe zestawienie liczby uczestników oraz powierzchni skupisk każdego z nalołów względem kolejnych. Zdjęcia lotnicze pochodzące z nalołu bezzałogowca stanowią doskonały materiał do szacowania liczby uczestników dowolnych zgromadzeń. Należy podkreślić, iż analizowana w niniejszym artykule impreza masowa to jedynie przykład wykorzystania technologii UAV.

Największym problemem podczas procesu badawczego okazał się sam materiał fotograficzny, który przez silne zniekształcenia wywołane specyfiką obiektywu sprawił trudność w nadaniu mu georeferencji.

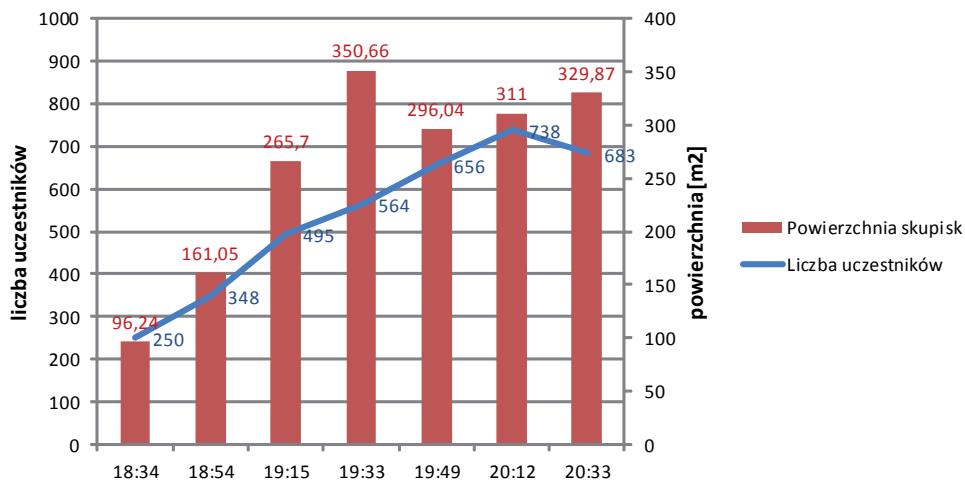
Przedstawiony wstępny algorytm postępowania badawczego jest tematem



Ryc. 8. Wizualizacja dynamiki migracji uczestników imprezy masowej metodą przyrostów
Fig. 8. Visualization of the dynamics of participants migration, by increments method



Ryc. 9. Wizualizacja dynamiki migracji uczestników imprezy masowej metodą przezroczystości
Fig. 9. Visualization of the dynamics of participants migration, by transparency method



Ryc. 10. Liczba uczestników oraz zajmowana przez nich powierzchnia

Fig. 10. Chart presenting the number of participants and the area occupied by them

zachęcającym do dalszych badań. Na podstawie przeprowadzonych testów stwierdzić można, iż bezzałogowce stanowią nowe narzędzie będące platformą do pozyskania danych przestrzennych z perspektywy dotąd trudno osiągalnej. Drony mają olbrzymi potencjał zastosowań w sferze fotogrametrii. Treść materiału fotogrametrycznego pochodzącego z nalogu charakteryzuje się wysokim stopniem szczegółowości i aktualności analizowanego obszaru. Należy jednak nadmienić, iż nalog odbywa się nad znacznie mniejszym obszarem w porównaniu z samolotem wykorzystywanym podczas tradycyjnego nalogu fotogrametrycznego.

LITERATURA

- Bańko M., 2010: *Wielki słownik wyrazów obcych PWN*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Harrower M., Brewer C.A., 2003: *ColorBrewer.org: an online tool for selecting colour schemes for maps*, The Cartographic Journ. t. 40, nr 1, 27–37.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind W., 2006: *GIS. Teoria i praktyka*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Medyńska-Gulij B., 2011: *Kartografia i geowizualizacja*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Przywara J., 2012: *Inwazja dronów*, Miesięcznik Geoinformacyjny GEODETA 10(209), 10–15.
- Ustawa „Prawo lotnicze”, Dz.U. z 2002 r., poz. 933 z późn. zm.
- Wiatr L., 2012: *Wykorzystanie materiałów fotogrametrycznych do opracowywania map 311 [10]. Z4.02*, Inst. Technol. Ekspł. – PIB, Radom.
- Zespół ds. bezzałogowych statków powietrznych, 2013: *Bezzałogowe statki powietrzne w Polsce*, Urząd Lotnictwa Cywilnego, Warszawa, <http://ulc.gov.pl/_download/publikacje/_UAV_report_ULC_2013.pdf>, [dostęp: 20.08.2015].