

## BADANIE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ZOBRAZOWAŃ DYNAMICZNYCH (WIDEO) Z NISKIEGO PUŁAPU LOTNICZEGO (BSP) DO OPRACOWAŃ FOTOGRAMETRYCZNYCH

ADAM MŁYNARCZYK<sup>1</sup>, SŁAWOMIR KRÓLEWICZ<sup>1</sup>, PAWEŁ RUTKOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zakład Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, [adml@amu.edu.pl](mailto:adml@amu.edu.pl)

<sup>2</sup>Zakład Siedliskoznawstwa Leśnego, Katedra Siedliskoznawstwa i Ekologii Lasu, Wydział Leśny, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, [redebede@up.poznan.pl](mailto:redebede@up.poznan.pl)  
ORCID: 0000-0002-3607-0890; ORCID: 0000-0003-1117-7832; ORCID: 0000-0003-3614-8923

**Abstract:** The use of unmanned aerial vehicles is becoming more and more popular for making high-altitude and orthophotomap models. In this process, series of images are taken at specific intervals, usually lasting several seconds. This article demonstrates the ability to make models and orthophotomaps from dynamic images – video recorded from UAV. The best mutual coverage of photographs was indicated (95–96%) and the photogrammetric process for joining images was presented, through the creation of a point cloud to obtain a digital terrain model and the ortofotomap. The data was processed in 150 different variants and the usefulness of this method was demonstrated. Problems and errors that may occur during the processing of recorded image data are also described.

**Keywords:** UAV, photogrammetry, Metashape, film processing for photos, digital elevation model, orthophotomap

### WSTĘP

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP) znajdują coraz szersze zastosowanie w badaniach nad środowiskiem przyrodniczym, takich jak np. monitorowanie procesów geomorfologicznych i zanieczyszczeń lub tworzenia cyfrowych modeli wysokościowych. Główną zaletą BSP są ich bardzo duże możliwości przy stosunkowo niskich kosztach zakupu i eksploatacji w porównaniu z alternatywą, jaką stanowią samoloty. BSP typu *off-the-shell* są tanimi, lekkimi i szybkimi urządzeniami, które dobrze sprawdzają się przy zbieraniu danych teledetekcyjnych na potrzeby kartowania różnych cech krajobrazu (Wójtowicz i in. 2016; Cureton 2017; Englund i in. 2017). W porównaniu z metodami satelitarnymi i lotniczymi zastosowanie technologii BSP umożliwia znacznie łatwiejsze dostosowanie do wymagań dotyczących czasu, lokalizacji i rozdzielczości pozyskiwanych danych obrazowych w celu rozwiązania określonego problemu środowiskowego. Do niewątpliwych zalet BSP można zaliczyć przemieszczenie się z dowolną prędkością (od zera do prędkości maksymalnej używanego BSP)

oraz w dowolnym kierunku, a także wykonywanie lotów z małej wysokości. Jak zauważają Kaźmierowski i in. (2016), za pomocą BSP można pozyskiwać obrazy o bardzo dużej rozdzielczości (w przypadku Phantom 3–12 Mpix), co przekłada się bezpośrednio na zwiększenie szczegółowości opracowania. Jest ona potrzebna przy szczegółowym monitoringu np. klifów, lodowców, osuwisk czy kształtów koron drzew.

Podstawowymi produktami otrzymywanymi po fotogrametrycznym przetworzeniu zdjęć są: chmura punktów, cyfrowy model wysokościowy (DEM) i ortofotomapa. DEM-y mogą być, na przykład, wykorzystywane do modelowania szczegółowych zjawisk hydrologicznych (Kurczyński, Bakula 2016), badania klifów (Winowski, Śramski 2017) czy geomorfologii lodowcowej (Ewertowski 2019). Ortofotomapy zaś wykorzystuje się do aktualizacji różnych warstw tematycznych w istniejących przestrzennych bazach danych (Borkowski, Młynarczyk 2019).

Przy wykonywaniu zdjęć na potrzeby przygotowania produktów fotogrametrycznych za pomocą BSP stosuje się takie same zasady jak przy wykonywaniu klasycznych nalotów fotogrametrycznych, czyli bloków zdjęć w równoległych do siebie szeregach, przy założonym pokryciu podłużnym i poprzecznym. Pokrycie podłużne to procent wzajemnego nakładania się kolejnych zdjęć na siebie w jednym szeregu. Pokrycie poprzeczne to procent wzajemnego nakładania się sąsiednich zdjęć z sąsiadującymi szeregami – przy założeniu ich równoległości do siebie (Ciołkosz i in. 1989). Na rycinie 1 przedstawiono chmurę punktów wraz z położeniem wzajemnym zdjęć (niebieskie prostokąty) podczas przykładowego lotu.

Przy zastosowaniu technik fotografii analogowej w praktyce fotogrametrycznej wartości pokrycia podłużnego wynosiły około 70% i około 30% dla pokrycia poprzecznego. Liczba zdjęć możliwych do wykonania w ciągu dnia



Ryc. 1. Chmura punktów z nałożoną informacją o położeniu zdjęć (niebieskie prostokąty)

Fig. 1. Point cloud with photo location information (blue rectangles)

była ograniczona liczbą filmów fotograficznych, jakie można było zabrać na pokład samolotu oraz minimalnym odstępem czasu między kolejnymi zdjęciami. Czas potrzebny na przewinięcie filmu w kamerze wynosił minimalnie około 2 s (Dębski i in. 2004). W najnowocześniejszych kamerach cyfrowych stosowanych w fotogrametrii tzw. kamerach szeregowo-pomiarowych, minimalny czas pomiędzy kolejnymi zdjęciami wynosi około 0,5 s (wg dostępnej dokumentacji technicznej). Jest to czas niezbędny do przetworzenia i zarchiwizowania danych obrazowych (w przypadku kamery DMC III jedno zdjęcie zajmuje ok. 1,8 Gb). Praktycznie brak ograniczeń co do liczby wykonywanych zdjęć w ciągu całego dnia. Wynika to z zastosowania bardzo szybkich dysków Solid State Disk wykorzystujących nieulotną pamięć flash (Jiangi in. 2018), które można wymieniać w czasie pracy kamery. We współczesnej praktyce fotogrametrycznej stosuje się pokrycie wzajemne podłużne 80% i poprzeczne 60%. Zwiększenie pokryć wzajemnych związane jest ze zwiększeniem redundancji rejestrowanej informacji obrazowej (jeden punkt rejestrowany jest na kilku bądź nawet kilkunastu kolejnych zdjęciach o dużym pokryciu wzajemnym). Ma to wpływ na podniesienie dokładności modelowania fotogrametrycznego (Kurczyński, Preuss 2009). Takie wysokie wartości pokrycia wzajemnego stosuje się przy modelowaniu trójwymiarowym obszarów zurbanizowanych. Technologicznie możliwe jest wykonywanie zdjęć z wyższymi pokryciami wzajemnymi (nawet do 95%), jednak w praktyce, przy używaniu kamer szeregowo-pomiarowych zamontowanych w samolotach, jest to nieefektywne (Królewicz i in. 2015).

Do modelowania fotogrametrycznego można wykorzystać filmy wideo, szczególnie jeżeli mają taką samą rozdzielczość jak zdjęcia np. Phantom 3 Professional. Zamiast wykonywać zdjęcia statyczne, w określonych interwałach, zgodnie z zaprojektowanym pokryciem podłużnym i poprzecznym, można zarejestrować film wideo. Przeciętny film wideo nagrywany jest z liczbą 30 klatek na sekundę (każda klatka odpowiada jednemu statycznemu zdjęciu). Następnie z zarejestrowanego filmu można wykorzystać do modelowania fotogrametrycznego tylko wybrane zdjęcia. Przyjmując wysokość lotu równą 100 m, długość szeregu 100 m, średnią prędkość poruszania się BSP równą 10 m/s, 30 klatek na sekundę oraz kamerę o kącie widzenia  $94^\circ$  (w przypadku Phantom 3), to zarejestrowany na takim odcinku film będzie miał długość 10 s i będzie się składał z 300 kadrów, które mogą być traktowane jako oddzielne zdjęcia. Jeżeli wykorzystane zostanie co trzecie zdjęcie, procent pokrycia podłużnego wyniesie 99%. Obecnie w typowych urządzeniach BSP są zamontowane kamery pozwalające na rejestrację obrazu wideo 2,7K, 4K i 5,7K. Wyodrębniony kadr w przypadku rozdzielczości 2,7K to rozmiar obrazu odpowiadający  $2592 \times 1458$  pikseli (do rejestracji użyto Phantom 3 Advanced, który ma takie parametry). Wykonując rejestrację wideo, trzeba być świadomym zastosowania efektywniejszej kompresji obrazu, czyli zmniejszenia szczegółowości zdjęć na rzecz zmniejszenia rozmiaru materiału w porównaniu ze zdjęciami statycznymi.

W niniejszej pracy przedstawiono wykorzystanie zdjęć dynamicznych, pozyskanych z rejestracji kamerą wideo zamontowaną na BSP, w celu utworzenia chmury punktów, cyfrowego modelu pokrycia terenu i ortofotomapy dla fragmentu lasu położonego na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Zielonka.

## OBSZAR BADAŃ

Obszar badań znajduje się w Polsce w województwie wielkopolskim (ryc. 2), na północny-wschód od Poznania, na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Zielonka. Jest to teren zlokalizowany w leśnictwie Potasze w odległości 500 m na południe od ul. Sosnowej. Środek obszaru badawczego znajduje się na szerokości geograficznej  $52^{\circ}31'18,557''\text{N}$  i długości  $17^{\circ}03'21,326''\text{E}$ . Analizowany obszar jest wielkości  $400\text{ m}^2$  i obejmuje zarówno las iglasty, jak i liściasty. Film został wykonany 2.11.2018 r. o godzinie 10:50 UTC. Azymut Słońca wynosił  $199,3^{\circ}$ , a wysokość nad horyzontem  $20,8^{\circ}$ . Na rycinie 3 pokazano przykładową klatkę z filmu wykonaną na wysokości 100 m nad poziomem terenu.



Ryc. 2. Obszar badań (źródło: ESRI oraz USGS, dostęp: 15.06.2019)

Fig. 2. Research area (Source: ESRI and USGS – access 15/06/2019)



Ryc. 3. Przykładowa klatka filmu prezentująca wycinek powierzchni badawczej

Fig. 3. An example of a film frame presenting research section

## METODY BADAŃ

W badaniach posłużono się BSP Phantom 3 Advanced wyposażonym w kamerę wideo rejestrującą obraz w maksymalnej rozdzielczości 2704 x 1520 pikseli oraz wykorzystano rejestrację 24 klatek na sekundę. Do obliczeń wykorzystano wycinek filmu o długości 6,5 s zarejestrowany na wysokości 60 m nad poziomem terenu. Liczba klatek pozyskanych wyniosła 156 przy szybkości lotu 3 m/s, co pozwoliło na otrzymanie 99% pokrycia wzajemnego. Pokrycie zmniejszono do uzyskania 70% co 1%. Wszystkie obliczenia wykonano dla pięciu poziomów dokładności – *highest*, *high*, *medium*, *low* oraz *lowest*, co przełożyło się na obliczenie 150 modeli.

W celu wygenerowania chmury punktów, obliczenia modelu wysokościowego, wykonania ortofotomap oraz ich wizualizacji posłużono się programem Metashape, który do obliczeń wykorzystuje metodę Structure From Motion (Agisoft LLC, 2018). Aby ten algorytm poprawnie działał, użyto zdjęć z dużym pokryciem wzajemnym, generując pojedyncze zdjęcia z kadrów filmu. Na podstawie własnych doświadczeń zaobserwowano, że do opracowania zobrażeń leśnych najlepszym pokryciem wzajemnym było 95% oraz wysokość 100 m nad

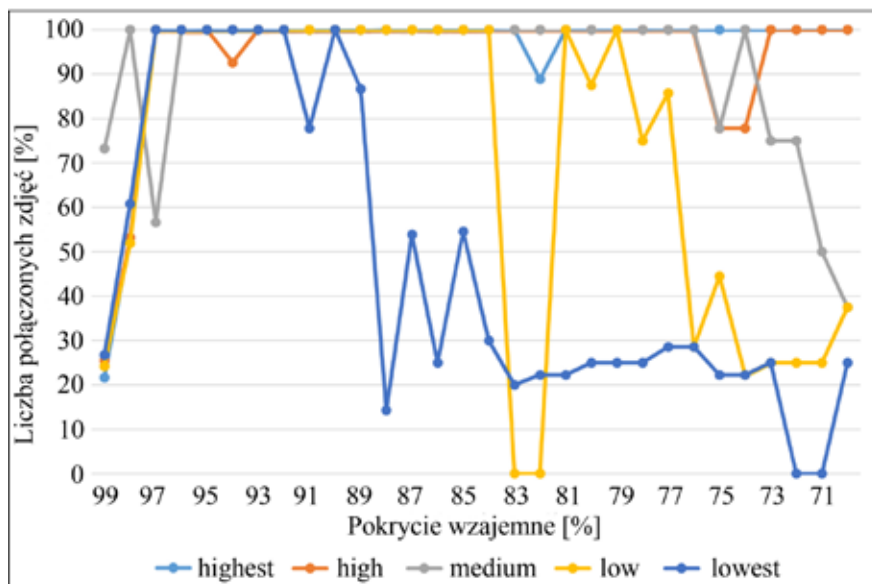
poziomem terenu. Takimi właśnie parametrami sugerowano się przy wstępnym doborze liczby klatek filmu. W celu zwiększenia poprawności przetwarzania wgrano informacje kalibracyjne do programu, wyliczone wcześniej dla użytej kamery. Dużym problemem podczas obróbki fotogrametrycznej zdjęć okazał się ruch koron drzew pod wpływem wiatru, który powodował zmianę geometrii powierzchni podczas przetwarzania w oprogramowaniu. Dlatego do wykonywania misji lotniczej wybrano dzień, w którym prędkość wiatru wynosiła poniżej 2 m/s. Po konwersji filmu do zdjęć zostały wszystkie one sprawdzone pod względem jakościowym i odrzucono te z nich, które miały wady obrazu, np. rozmycie. W dalszym toku obróbki wykonana została operacja *alignphotos* (ułożenie zdjęć), podczas której program obliczył charakterystyczne punkty dla każdego zdjęcia, a po tych punktach przypisał im miejsce w przestrzeni oraz powiązał je między sobą w celu zrekonstruowania geometrii całej analizowanej sceny. Czynność tę wykonano na pięciu poziomach dokładności, od największej – *highest* (zdjęcie w tym procesie jest interpolowane do czterokrotnie większej rozdzielczości), przez *high* (obrabiane są zdjęcia w oryginalnej rozdzielczości), do najmniejszej – *lowest*, w której zdjęcie jest uogólniane, a rozdzielczość zmniejsza się 32 razy w stosunku do oryginału. Różnice w liczbie przetwarzanych punktów mają znaczenie dla jakości uzyskanego modelu oraz możliwości łączenia zdjęć.

W dalszym toku postępowania zbudowano gęstą chmurę punktów – *densecloud*, którą również wykonano dla pięciu poziomów dokładności, co przełożyło się na liczbę obliczonych punktów w chmurze. Na podstawie tych danych obliczono cyfrowy model wysokościowy (jego szczegółowość bezpośrednio zależy od chmury punktów) oraz ortofotomapę, która jest liczona z modelu wysokościowego.

## WYNIKI

W pierwszej kolejności zdjęcia poddano ocenie wizualnej, podczas której można było zauważyć delikatne rozmycie obrazu, najprawdopodobniej spowodowane zbyt szybkim przemieszczaniem się BSP lub zbyt słabym światłem przy niskim kącie padania promieni słonecznych. Następnie oceniono jakość zdjęć, wykorzystując polecenie w programie Metashape – Estimate Image Quality. Program ocenia przestrzenny rozkład ostrości obrazu. Wynikiem jest współczynnik jakości, którego wartość zmienia się w zakresie od 0 do 1, przy czym 1 oznacza najwyższą jakość obrazu. Dla wykorzystanego zbioru obrazów wartości tego wskaźnika zmieniały się od 0,852 do 0,871, przy średniej wartości 0,865 i odchyleniu standardowym 0,029. Uznano, że zdjęcia wykonano poprawnie i przeprowadzono proces *alignphotos*, *buliddensecloud*, *build DEM*, *buildortophotomap*. Liczba połączonych zdjęć zależna była od całkowitej liczby zdjęć dla pięciu poziomów przetwarzania (ryc. 3).





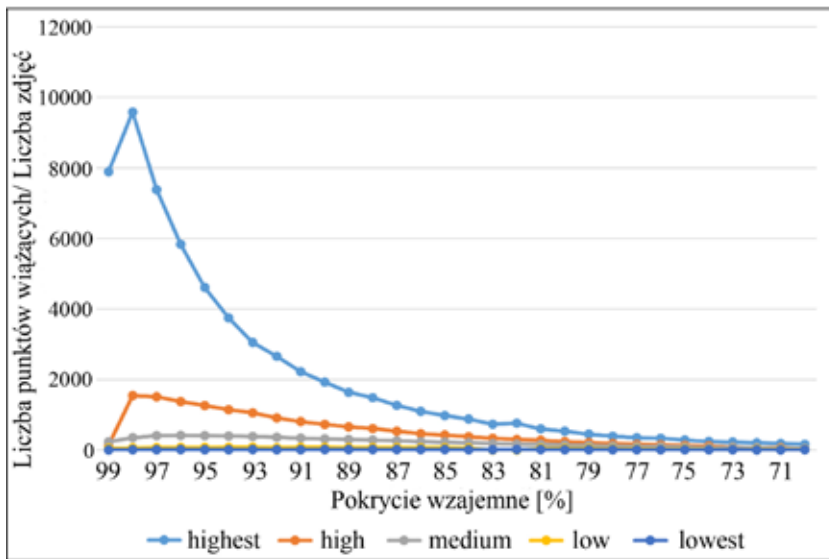
Ryc. 4. Procentowy udział połączonych zdjęć w całkowitej liczbie zdjęć

Fig. 4. Percentage of connected images to the total number of photos

W trybie największej dokładności procentowy udział połączonych zdjęć wyniósł 100, oprócz punktu 82, w którym wyniósł 89%, także w punktach 99 i 98, gdzie stanowił odpowiednio: 21,6% i 53,2%. Podczas zmniejszania jakości można wyznaczyć charakterystyczne punkty, przy których pokrycie wzajemne jest zbyt niskie. Są to dla następujących poziomów: *high* 75%, *medium* 75%, *low* 83% i *lowest* 92%. Z przeprowadzonych badań wynika również, że zbyt duże pokrycie wzajemne negatywnie wpływa na łączenie zdjęć i zaleca się, aby nie było ono większe niż 96%.

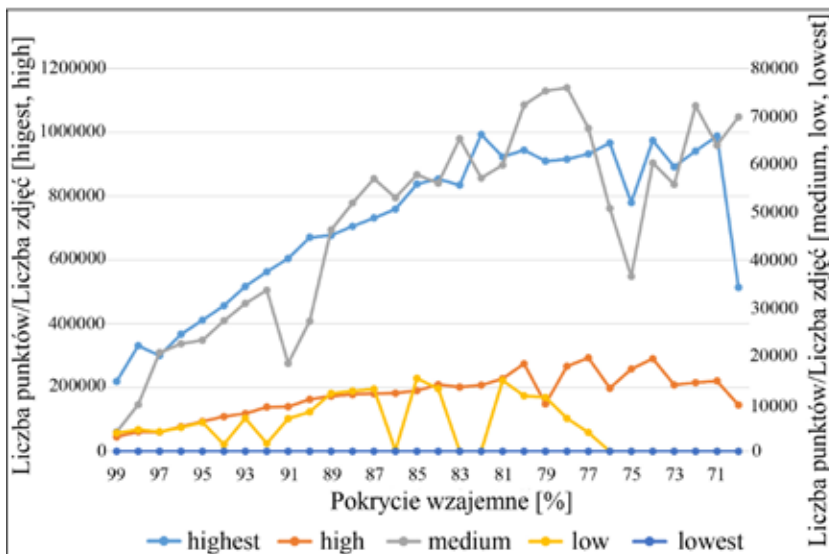
Na wykresie (ryc. 5) widoczny jest spadek wartości iloczynu liczby punktów wiążących przez liczbę zdjęć wraz ze spadkiem pokrycia wzajemnego. Należy zwrócić uwagę na niską wartość iloczynu przy pokryciu 99%, prawdopodobnie jest to spowodowane zbyt dużą liczbą zdjęć, czyli zdjęciami za bardzo podobnymi do siebie. W celu wyeliminowania różnic przetwarzania podczas łączenia zdjęć przyjęto maksymalną liczbę punktów łączących, które program może obliczyć na 100 tys. szt. oraz brak limitu w wykorzystywaniu tych punktów do łączenia. Posługując się wykresem, należy zalecić w podobnych przypadkach wykorzystywanie pokrycia wzajemnego nie większego niż 98%.

Krzywa iloczynu liczby punktów (dla przetwarzania na poziomach *highest* i *high*) w chmurze punktów przez liczbę zdjęć rośnie wraz ze spadkiem pokrycia wzajemnego i osiąga maksimum w punkcie 82% (ryc. 6). Dla ustawień *medium* i *low* krzywa ma lokalne maksima w punktach 92% i 87% oraz 95%, 93%, 87%,



Ryc. 5. Wykres iloczynu punktów wiążących przez liczbę zdjęć w stosunku do pokrycia wzajemnego

Fig. 5. A graph of the product of binding points by the number of photos compared to the mutual coverage



Ryc. 6. Wpływ pokrycia wzajemnego (*highest* i *high* – oś główna; *medium*, *low* i *lowest* – oś pomocnicza) na liczbę punktów w chmurze punktów w zależności od liczby zdjęć

Fig. 6. The influence of mutual coverage (*highest* and *high* main axis, *medium*, *low* and *lowest* – auxiliary axis) on the number of points in the point cloud depending on the number of photos

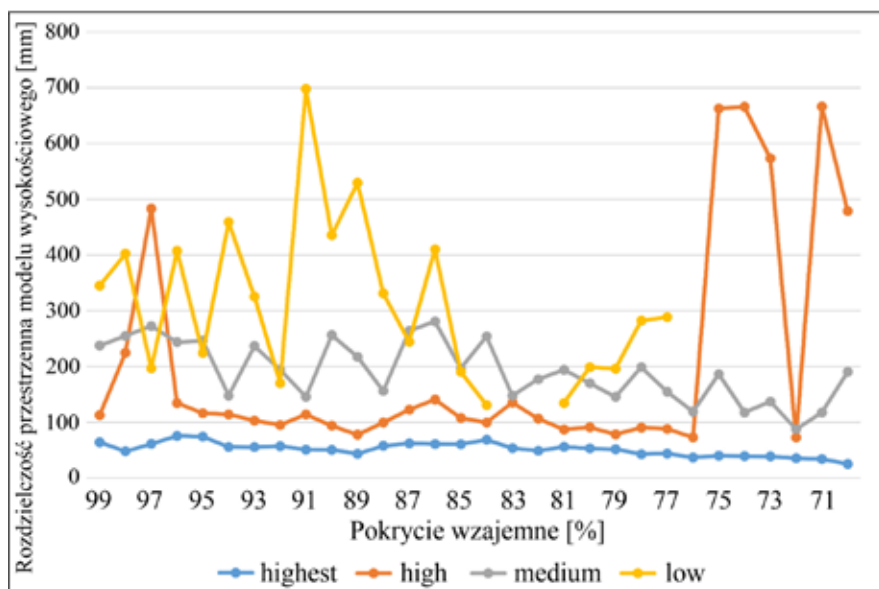


85%, 81% dla *low*. Niestety przetwarzanie *lowest* nie tworzyło chmury punktów, a program generował komunikat „zero resolution”, który zazwyczaj wskazuje na zbyt małą liczbę punktów dopasowania między zdjęciami, które są potrzebne do zidentyfikowania par obrazów. W przypadku tworzenia chmury punktów na poziomie *high* i *highest* wskazane jest pokrycie wzajemne zdjęć nie mniejsze niż 82% w szeregu. W przypadku przetwarzania na niższych poziomach dokładności należy zalecić pokrycie wzajemne nie mniejsze niż 95% w szeregu.

W całym badanym zakresie pokrycia wzajemnego w trybie *highest* rozmiar komórki modelu zawiera się w przedziale 24,9–75,6 mm (ryc. 7). W trybie *high* można zauważyć stabilizację obliczeń w zakresie 76–95%. Również tryb *medium* zawiera większą oscylację, która zawiera się w przedziale 87,5–272,3 mm. Tryb *lowest* nie został zbadany z powodu braku możliwości wygenerowania chmury punktów.

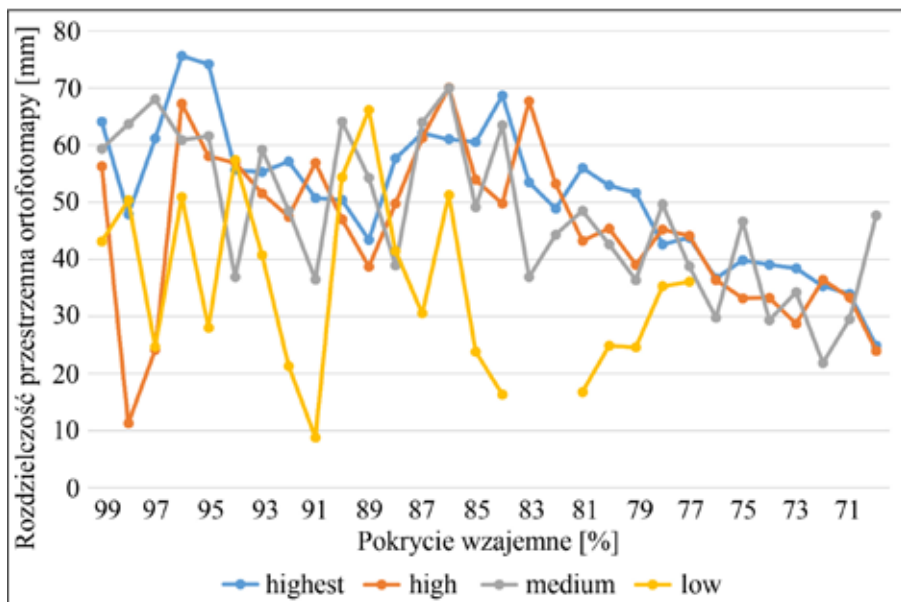
Rozmiar komórki ortofotomapy jest także zależny od stopnia pokrycia wzajemnego oraz ustawień jakości obliczeń (ryc. 8). Na uwagę zasługuje linia *highest*, która ma takie same wartości jak model wysokościowy. Rozmiar komórki ortofotomapy wykonanej na ustawieniach *medium* jest podobny w całym zakresie, a *high* tylko między 70% a 95%.

Wielkość błędu średniokwadratowego w zależności od pokrycia wzajemnego jest stabilna podczas przetwarzania *highest* oraz *high* i wynosi poniżej 1 piksela, a obliczenia błędu na poziomie *medium* są blisko wartości 1 (ryc. 9). Duże



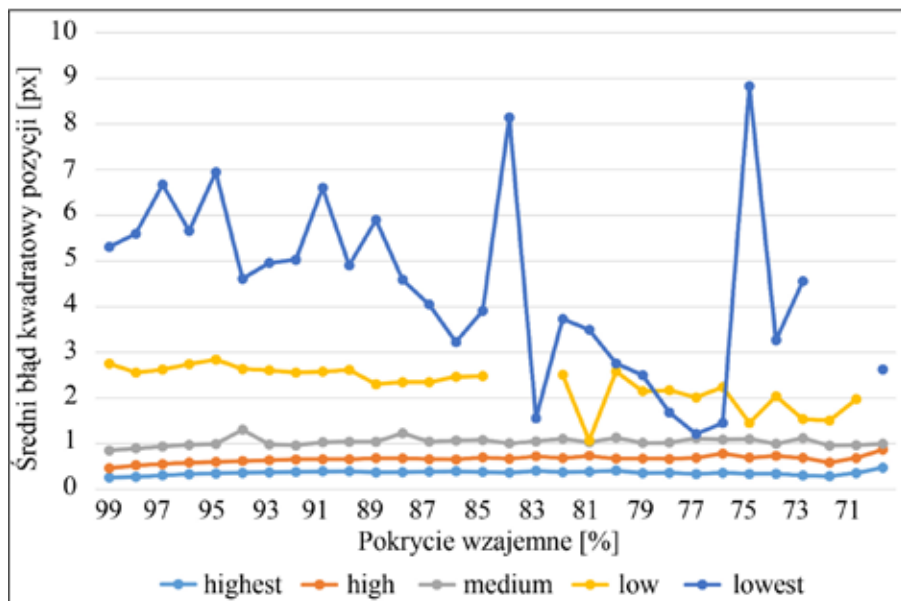
Ryc. 7. Wpływ pokrycia wzajemnego na rozmiar komórki modelu wysokościowego

Fig. 7. The influence of mutual coverage on the resolution of the altitude model



Ryc. 8. Wpływ pokrycia wzajemnego na rozdzielczość przestrzenną ortofotomapy

Fig. 8. Effect of mutual coverage on spatial resolution of orotophotomap



Ryc. 9. Zależność między pokryciem wzajemnym a błędem średniokwadratowym

Fig. 9. The relationship between mutual coverage and the mean square error

błędy pojawiają się w przetwarzaniu *low* i *lowest*, a maleją wraz ze zmniejszaniem się pokrycia wzajemnego. Jest to prawidłowa zależność, ponieważ w tych modelach maleje również liczba połączonych zdjęć, co powoduje zmniejszenie błędów pochodzących z ich dużej liczby.

## DYSKUSJA

Podczas badań wykonano 150 modeli, z których 111 zostało zbudowanych od etapu łączenia zdjęć *align photos* do wygenerowania ortofotomapy. W pozostałych modelach wykonano prawidłowo tylko etap łączenia zdjęć. Wykazano, że najlepszym pokryciem wzajemnym do łączenia zdjęć jest przedział 89–96%, ale zaleca się 95–96%. Największe możliwości uzyskano w trybie *highest*, ale również jakość *high* i *medium* wykazywały bardzo dobre właściwości do wykonania modeli i ortofotomap. W większości przypadków otrzymano modele w trybie *low*, a tryb *lowest* był nie do zaakceptowania z powodu niemożliwości ich zbudowania. Zalecane jest zmniejszenie prędkości lotu i pozyskiwanie zdjęć podczas większego nasłonecznienia.

Metoda pozyskiwania zdjęć z filmu wideo pozwala na wybór zdjęć (klatek wideo), z których jest wykonywany model. Za jej pomocą możliwe jest wykonanie większej liczby zdjęć przy zmniejszonej jakości, ale pozwala to na wykonanie ich z bardzo dużym pokryciem wzajemnym. Umożliwia to zmniejszenie pułapu lotniczego, co prowadzi do zwiększenia jakości zdjęć. Jeżeli w dalszych badaniach zostanie wyznaczona korelacja między zmniejszeniem jakości związanym z kodowaniem obrazu a pułapem lotu, możliwe jest wykonanie operacji lotniczej znacznie szybciej przy niezmienionej dokładności. Wadą tej metody jest brak zapisu w pliku wideo danych o pozycji geograficznej, co uniemożliwia automatyczne nadanie georeferencji bez wykonania dodatkowych zdjęć lub fotopunktów. W pracy wykazano, że wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych do pozyskiwania obrazów dynamicznych, za pomocą rejestracji wideo, jest skuteczne do budowy modeli i ortofotomap.

## LITERATURA

- Agisoft LLC, 2018: *Metashape – photogrammetric processing of digital images and 3D spatial data generation*, <<http://www.agisoft.com>> [dostęp: 13.06.2019].
- Borkowski G., Młynarczyk A., 2019: *Remote sensing using unmanned aerial vehicles for tourist-recreation lake evaluation and development*, 5–14.
- Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J., 1989: *Interpretacja zdjęć lotniczych*. PWN, Warszawa.
- Cureton P., 2017: *Strategies for Landscape Representation – Digital and Analogue Techniques*. Taylor & Francis Group, Milton Park, Abingdon, Oxfordshire United Kingdom.
- Dębski W., Walczykowski P., Żukowicz R., 2004: *Dobór lotniczych czarno-białych materiałów światłoczułych dla potrzeb fotogrametrii i teledetekcji*.

- Englund O., Berndes G., Cederberg C., 2017: *How to analyse ecosystem services in landscapes – A systematic review*. *Ecol. Indicators*, 73, 492–504.
- Ewertowski M., Tomczyk A., Evans D., Roberts D., Ewertowski W., 2019: *Operational Framework for Rapid, Very-high Resolution Mapping of Glacial Geomorphology Using Low-cost Unmanned Aerial Vehicles and Structure-from-Motion Approach*. *Remote Sensing in Geology, Geomorphology and Hydrology, Remote Sens.*, 11(1), 65.
- Kaźmierowski C., Ceglarek J., Jasiewicz J., Królewicz S., Wyczałek M., Cierniewski J., 2015: *Soil surface roughness quantification using DEM obtained from UAV photogrammetry*. [In:] J. Jasiewicz, Z. Zwoliński, H. Mitsova, T. Hengl (eds), *Geomorphometry for Geosciences*. Poznań, Bogucki Wyd. Nauk., Adam Mickiewicz Univ. in Poznań – Institute of Geoecology and Geoinformation, Poznań, 259–262.
- Królewicz S., Wyczałek M., Ceglarek J., Piekarczyk J., Kaźmierowski C., Lewińska K., Herodowicz K., 2015: *Geodezyjna ocena dokładności ortofotomapy i cyfrowego modelu powierzchni terenu kampusu WNGIG wykonanej na podstawie zdjęć fotograficznych z UAV*. Uniw. im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań.
- Kurczyński Z., Bakula K., 2016: *Zaawansowane technologie wspomagające przeciwdziałanie zagrożeniom związanym z powodzią – advanced technologies in the prevention of flood hazard*. *Arch. Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 28, 39–52.
- Kurczyński Z., Preuss R., 2009: *Wymagania wobec danych źródłowych dla generowania true-ortho requirements to source data for true-ortho generation*. *Arch. Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 19, Zakł. Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej, Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Peijun J., Qiang X., Keji H., 2018, *Array controller, solid state disk and method for controlling solid state disk to write data*, HUAWEI TECHNOLOGIES CO. Patent Application Publication No. US 2018/0165014 A1.
- Phantom 3 Advanced User Manual v. 1.0, 2015: <[http://download.djiinnovation.com/downloads/phantom\\_3/en/Phantom\\_3\\_Advanced\\_User\\_Manual\\_v1.0\\_en.pdf](http://download.djiinnovation.com/downloads/phantom_3/en/Phantom_3_Advanced_User_Manual_v1.0_en.pdf)> [dostęp: 13.06.2019].
- Piekarczyk J., Kaźmierowski C., 2015: *Przykład zastosowania obrazu Landsat 8 do rozpoznawania cech siedlisk leśnych na terenie Parku Narodowego Bory Tucholskie*. [W:] M. Kunz (red.), *Stan poznania środowiska przyrodniczego Tucholskiego Parku Krajobrazowego i Rezerwatu Biosfery Bory Tucholskie*. Wyd. Nauk o Ziemi UMK, Toruń.
- Rodgers M., Vallee M., Wang P., Cheng J., 2019: *Measuring complex beach-dune morphology and nearshore processes using UAVs*. *Coastal Sediments*, 2581–2595.
- United States Geological Survey: <<https://landsatlook.usgs.gov/>> [dostęp: 15.06.2019].
- Winowski M., Śramski M., 2017: *Geoelementy wybrzeży morskich. Ocena ilościowa zmian rzeźby klifu w świetle pomiarów z naziemnego skaningu laserowego (wyspa Wolin)*, 45. Uniw. im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Inst. Geologii i Geoinformacji, Poznań.
- Wójtowicz M., Wójtowicz A., Piekarczyk J., 2016: *Application of Remote Sensing Methods in Agriculture*. *Communications in Biometry and Crop Science*.