

## PORÓWNANIE WYNIKÓW KARTOWANIA LEŚNYCH POWIERZCHNI NIESTANOWIĄCYCH WYŁĄCZEŃ W URZĄDZANIU LASU Z MOŻLIWOŚCIAMI BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

Rafał Borkowski<sup>1</sup>✉, Karolina Duńska<sup>1</sup>, Hubert Leśniak<sup>1</sup>, Paweł Strzeliński<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sekcja Geomatyczna Koła Leśników, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
ul. Wojska Polskiego 85, 60-625 Poznań

<sup>2</sup>Katedra Urządzania Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

### ABSTRAKT

**Wstęp.** Ze względu na wciąż rosnące możliwości wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w Sekcji Geomatycznej Koła Leśników UPP przeprowadzono badania nad możliwością ich praktycznego zastosowania do pomiarów odnowionych gniazd. Zasadniczym celem pracy było porównanie możliwości pomiarowych z użyciem geodezyjnych odbiorników GNSS klasy GIS oraz danych w postaci ortofotomapy, których dostarczył nalot przeprowadzony dronem DJI Mavic Pro.

**Materiał i metody.** W 2019 roku na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina zlokalizowano 21 powierzchni badawczych, zasięgiem obejmujących wydzielania 55b oraz 55j. Na terenie badanych wydzieleń rośnie 110-letni i 116-letni drzewostan sosnowy w klasie odnowienia, zagospodarowany rębnią gniazdową zupełną, na gniazdach z 40-letnim dębem bezszypułkowym (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Pomiar z użyciem odbiornika GNSS wykonano czterema metodami (A–D). W metodzie A–C odbiornik GNSS był stawiany w każdym punkcie załamania granicy gniazda na czas odpowiednio: 150, 60 i 30 s. W metodzie D zmierzono obwód gniazd poprzez ich okrążenie z odbiornikiem ustawionym w trybie „follow”.

**Wyniki.** Łączna powierzchnia gniazd wyniosła od 1,87 ha do 2,22 ha w wydzielaniu 55b oraz 1,22 ha do 1,46 ha w 55j. Rozpiętość między wynikami wyniosła odpowiednio 0,35 ha i 0,24 ha. W wydzielaniu 55b wynik najbliższy referencji otrzymano z pomiaru metodą B, a dla wydzielania 55j najbliższy referencji okazał się pomiar z ortofotomapy. W pracy poruszono również aspekt czasochłonności poszczególnych metod pomiarowych.

**Słowa kluczowe:** drony, odbiorniki GNSS, ortofotomapa, urządzenie lasu, fotogrametria

### WSTĘP

Systemy nawigacji satelitarnej zyskały dużą popularność w leśnictwie dzięki wszechstronnej dostępności, prostocie oraz możliwości uzyskania stosunkowo dokładnej lokalizacji. Pozwalają one na rejestrację punktów, przebiegu linii, wielkości powierzchni oraz umiejscowienia przestrzennego mierzonych obiektów

(Brach, 2012). W Lasach Państwowych – po wprowadzeniu w życie Zarządzenia nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z 23 sierpnia 2001 roku – dopuszczono stosowanie odbiorników GNSS (*Global Navigation Satellite System*) w pracach związanych z urządzeniem lasu, głównie w procesie aktualizacji

✉rafal.borkowski@up.poznan.pl, <https://orcid.org/0000-0001-5974-4811>

Leśnej Mapy Numerycznej (LMN; Antosiewicz i Wężyk, 2005). Obecnie prawie każde leśnictwo w Polsce ma rejestrator z wbudowanym modułem GNSS oraz oprogramowaniem pozwalającym na pomiar powierzchni, w tym powierzchni niestanowiących wyłączeń takich, jak gniazda, luki czy kępy (Brach i in., 2017; Instrukcja urządzania..., 2012). W praktyce leśnej odbiorniki GNSS wykorzystuje się w projektach geoinformatycznych. Zastosowanie technologii GNSS pozwala na aktualizację baz danych geometrycznych, ich weryfikację oraz nawigację w terenie (Szostak i Wężyk, 2013). Dokładność tego typu pomiarów jest przedmiotem zainteresowania wielu autorów. Wśród metod prowadzenia pomiarów odbiornikami GNSS wyróżnia się trzy: autonomiczny (bez baz korekcyjnych) oraz różnicowy (w tym: Differential GPS, Real Time Kinematic oraz pomiar fazowy; Wężyk, 2004).

Każdy z trybów pomiarowych charakteryzuje się określoną dokładnością wynikającą ze skomplikowania stosowanych poprawek, jakości samego odbiornika GNSS, zastosowanej anteny oraz warunków, w których został przeprowadzony pomiar (Szostak i Wężyk, 2013). Ponadto środowisko leśne przez złożoność stwarza specyficzne warunki kłopotliwe do pomiarów GNSS ze względu na duże zagęszczenie obiektów blokujących bezpośredni sygnał odbierany od satelity (Bakuła i in., 2006).

Zwiększenie precyzji pomiaru jest możliwe dzięki wydłużeniu czasu jego trwania (Naesset i Johnmeister, 2002). Długość pomiaru nie wpływa bezpośrednio na dokładność, pomaga jednak w rozwiązaniu nieoznaczoności fazowej – zjawiska wynikającego z rejestracji sygnału o wartości skokowej. W przypadku wydłużenia czasu pomiaru rejestrowany sygnał przyjmuje wartość ciągłą (Yoshimura i Hasehawa, 2003). Duże błędy w pozycjonowaniu mogą być także powodowane przez zmiany ażurowości okapu drzewostanu (Sigris i in., 1999). Na wielkość błędu pozycjonowania wpływa również zmienność ukształtowania terenu czy konfiguracja urządzania (Bolstad i in., 2005).

W celu wyeliminowania bezpośredniej przyczyny powstawania błędów pomiarowych można zastosować metody, które umożliwiają umieszczenie urządzenia pomiarowego powyżej koron drzewostanu. Takie możliwości oferują metody i narzędzia związane z teledetekcją i fotogrametrią (Zawiła-Niedźwiecki,

2010). Pierwsze udokumentowane zastosowanie na potrzeby leśnictwa zdjęć wykonanych z przestrzeni powietrznej (z pokładu balonu w okolicach Berlina) najprawdopodobniej miało miejsce w 1887 roku (Będkowski, 2015). W Polsce fotogrametria zaczęła się kształtować wkrótce po zakończeniu pierwszej wojny światowej w nowo powstałej pracowni fotogrametrycznej w Krakowie, zorganizowanej przez prof. Bronisława Piątkowicza. Największy wzrost zainteresowania teledetekcją i fotogrametrią w urządzaniu lasu zaczął się podczas jego czwartej rewizji, która przypadła na lata 2003–2011. Był to okres szybkiego rozwoju systemów informacji geograficznej oraz pojawienia się na rynku większej liczby zdjęć lotniczych i satelitarnych, a także zwiększenie ich możliwości rozdzielczych (Będkowski, 2015; Kaczyński i Ewiak, 2006).

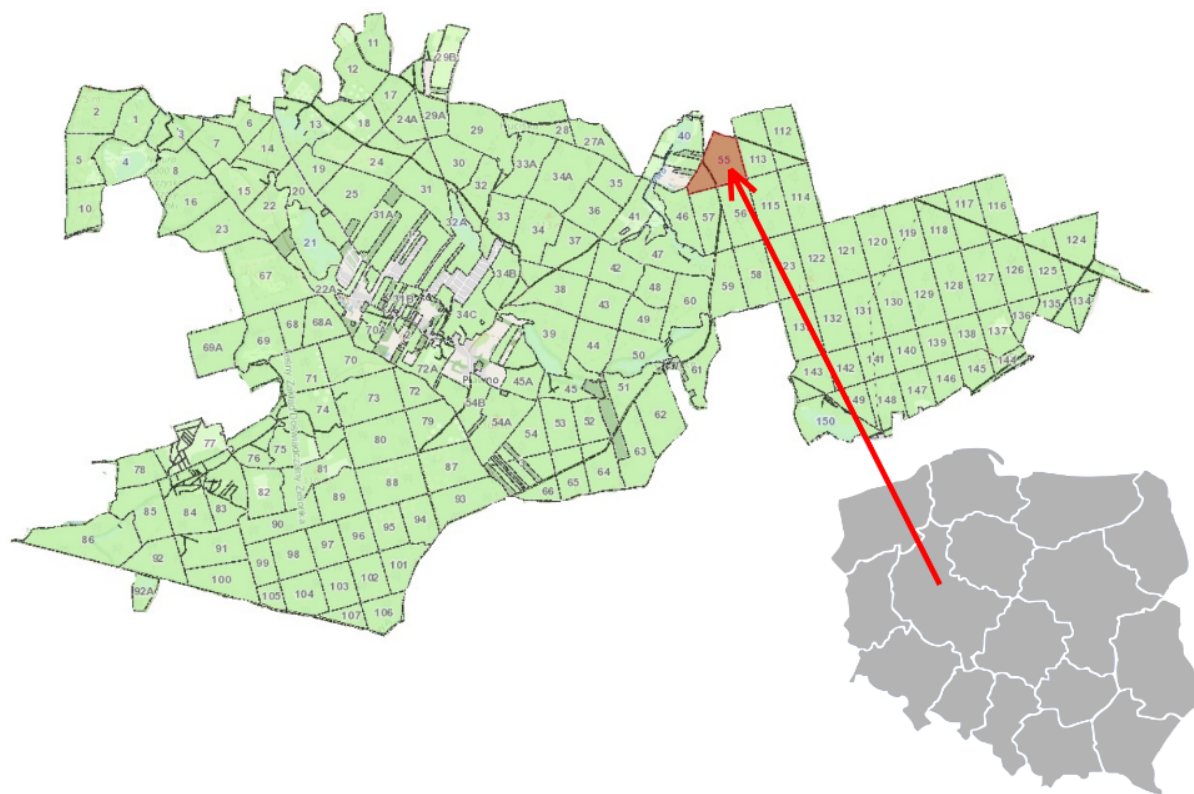
Obecny rozwój rynku bezzałogowych statków powietrznych (BSP) umożliwia pozyskiwanie znacznych liczb aktualnych i wysokorozdzielczych zdjęć, które można wykorzystać z powodzeniem w pracach urzędniowych oraz w monitorowaniu stanu środowiska (Szymański, 2013). Początkowo BSP miały zastosowanie jedynie militarne, ale ze względu na ogromną funkcjonalność wykorzystuje się je obecnie w służbach cywilnych, przemyśle, w celach badawczych, w rolnictwie precyzyjnym, górnictwie, leśnictwie oraz wielu innych dziedzinach (Kardasz i in., 2016).

Celem niniejszej pracy była ocena możliwości zastosowania bezzałogowego statku powietrznego do pomiarów leśnych powierzchni niestanowiących wyłączeń oraz porównanie otrzymanych wyników do metod pomiarowych z wykorzystaniem odbiornika GNSS klasy GIS.

## MATERIAŁ I METODY

Prace były wykonywane na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina, Nadleśnictwa Zielonka (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu) w województwie wielkopolskim (północno-zachodnia część Polski). Obszar zawiera się między 52°33'06.3" a 52°32'45.2" szerokości geograficznej północnej oraz 17°07'15.5" a 17°06'31.9" długości geograficznej wschodniej (rys. 1).

Według regionalizacji przyrodniczo-leśnej (Zielony i Kliczkowska, 2012), lasy oraz obszary nieleśne



**Rys. 1.** Lokalizacja obszaru badawczego w Nadleśnictwie Zielonka

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ze strony <http://www.bdl.lasy.gov.pl> (dostęp: 28.08.2019) oraz <http://www.wikipedia.pl> (dostęp: 28.08.2019; kontur Polski).

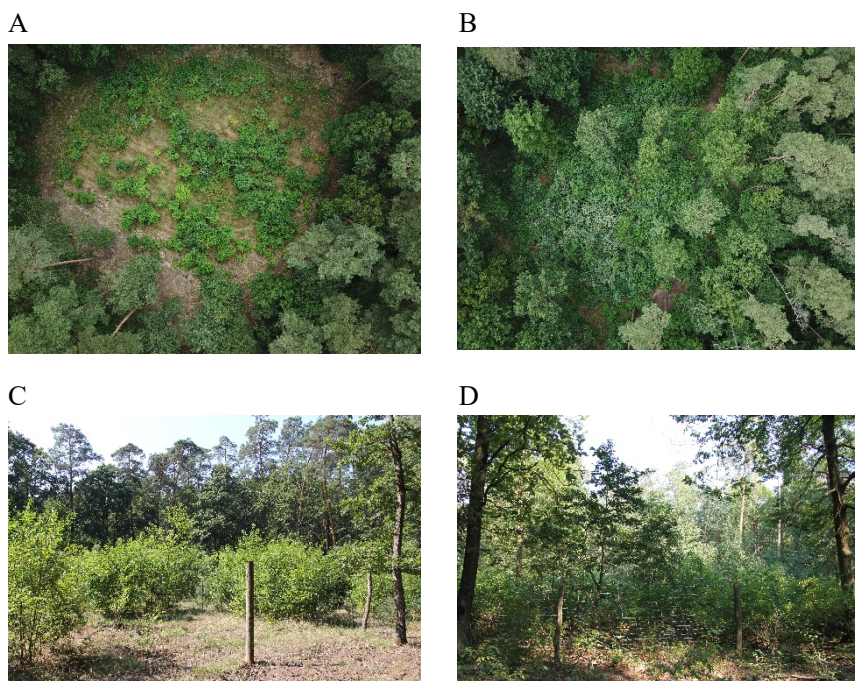
**Fig. 1.** Location of the research area in the Zielonka Forest District

Source: author's own study based on data from the website <http://www.bdl.lasy.gov.pl> (accessed: 28.08.2019) and <http://www.wikipedia.pl> (accessed: 28.08.2019; outline of Poland).

Nadleśnictwa Zielonka są zlokalizowane na terenie Krainy III Wielkopolsko-Pomorskiej, Dzielnica 7 – Nizina Wielkopolsko-Kujawska, w mezoregionie 7b Pojezierze Wielkopolskie (część środkowa). Teren został ukształtowany w trakcie poznańskiej fazy zlodowacenia bałtyckiego: dominują tu płaskie równiny sandrowe z występującą strefą pagórków moreny czołowej, licznie występują wyżłobione rynny jeziorne (Krąkowski, 2018). Powierzchnie badań znajdują się w niedużej odległości od jeziora Zielonka. Obiektem badań były dwa wydzielenia 55b i 55j. Na terenie wydzielenia 55b znajduje się drzewostan sosnowy (sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L.) w wieku 110 lat, z ośmioma gniazdami, w których znajduje się nasadzenie dębowo-bukowe (dąb bezszypułkowy *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. i buk zwyczajny *Fagus sylvatica* L.) w wieku

około 14 lat i o średniej wysokości 15 m oraz podszyt czeremchowy (czeremcha zwyczajna *Padus avium* Mill.). W wydzieleniu 55j znajduje się drzewostan sosnowy (sosna zwyczajna) w wieku 116 lat, z trzynastoma gniazdami z nasadzeniem dębowo-bukowym (dąb bezszypułkowy, buk zwyczajny) w wieku około 20 lat, o średniej wysokości 20 m oraz z podszytem czeremchowym (rys. 2). Wydzielenia są zlokalizowane na siedlisku lasu mieszanego świeżego, typ pokrywy zielny miejscami zadarniony (Bank..., 2014).

W czasie badań przyjęto założenie, że bezzałogowy statek powietrzny dostarczy fotogrametrycznych materiałów do pomiaru gniazd, a tym samym zostanie zaktualizowana leśna mapa numeryczna w sposób porównywalny lub lepszy niż odbiornik GNSS klasy geodezyjnej bez stosowanych poprawek różnicowych.



**Rys. 2.** Widok z powietrza (A i B) oraz widok z ziemi (C i D) na jedno z gniazd wydzielenia 55b (z lewej) i 55j (z prawej). Zdjęcia przedstawiają pokrycie roślinnością (fot. R. Borkowski)

**Fig. 2.** Aerial view (A and B) and view from the ground (C and D) of an opening in subcompartments 55b (left) and 55j (right). The photographs show vegetation coverage (photo R. Borkowski)

Pomiary z wykorzystaniem odbiornika GNSS klasy geodezyjnej (Getac Z710) wykonywano w marcu 2019 roku, z użyciem aplikacji mLas inżynier na system Android. Zastosowano cztery różne metody pomiaru. Trzy z nich polegały na wybraniu charakterystycznych punktów załamania na obwodzie każdego z gniazd (nie mniej niż osiem punktów) i ustawieniu nad nimi odbiornika na okres równy:

- A – czasowi pomiaru 150 s
- B – czasowi pomiaru 60 s
- C – czasowi pomiaru 30 s.

W metodzie czwartej (D) pomiar polegał na trzykrotnym przejściu obwodu w trybie „follow”. Po każdym pomiarze notowano współczynnik PDOP oraz liczbę widzianych satelitów.

W celu wykonania nalotu fotogrametrycznego z wykorzystaniem BSP (DJI Mavic Pro) użyto oprogramowania DroneDeploy. Jest to kompleksowe opro-

gramowanie funkcjonujące w chmurze, które można wykorzystać do planowania misji przelotu, przetwarzania uzyskanych zdjęć na ortomozaikę oraz analizy i eksportu pozyskanej ortofotomapy.

Nad wydzieleniami 55b oraz 55j wykonano dwa naloty fotogrametryczne na wysokości 60 m. Cały proces pozyskania, utworzenia oraz analizy danych z wydzielenia 55b potrwał sumarycznie 98 min. W efekcie zostały pozyskane łącznie 242 zdjęcia o pokryciu poprzecznym 65%, pokryciu podłużnym 75% oraz rozdzielczości terenowej 2 cm/piksel. Natomiast na wydzieleniu 55j proces wraz z pomiarami potrwał 107 min, uzyskano 267 zdjęć przy takim samym pokryciu i rozdzielczości terenowej (tab. 1).

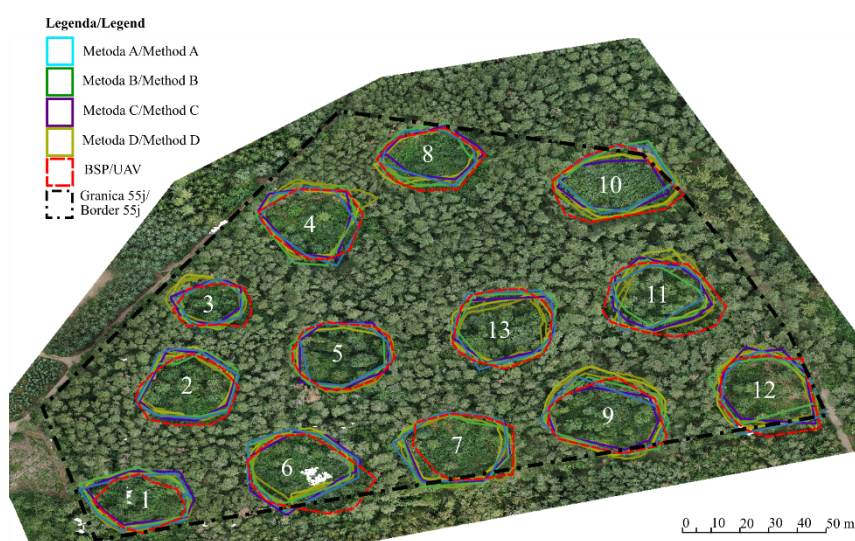
Sumaryczne dane referencyjne dotyczące powierzchni pozyskano z Banku Danych o Lasach (2014). Ze względu na brak danych dotyczących obwodu badanych powierzchni, w celu uzyskania referencji dla obwodu wykonano pomiar każdego z gniazd za pomocą

**Tabela 1.** Wyniki czasu pomiarów  
**Table 1.** Measurement time results

Kod wydzielenia Subcom- partment code	Czas pomiaru, min – Measurement time, min					
	BSP UAV	metoda – method				referencja reference
		A	B	C	D	
55b	98	188	103	81	53	60
55j	107	309	160	116	83	117

taśmy mierniczej. Każde z gniazd pomierzono poprzez dwukrotne rozciągnięcie taśmy wzdłuż metalowego ogrodzenia oraz wyciągnięcie średniej z uzyskanych wyników. Sumaryczny czas trwania pomiarów, liczony bez przejść, wyniósł odpowiednio 60 min na wydzieleniu 55b oraz 117 min na wydzieleniu 55j (tab. 1).

Prace kameralne polegały na fotointerpretacji przebiegu granic gniazd z uzyskanej ortofotomapy. Podczas interpretacji ortofotomapy szukano widocznych elementów ogrodzenia, po których można było poprowadzić granicę wydzieleni. Ze względu na przykrycie części ogrodzenia przez korony drzew, nie zawsze możliwe było wrysowanie linii w przebiegu ogrodzenia. Kiedy znaczna część ogrodzenia nie była widoczna, wrysowanie konturów granic gniazd wykonywano na podstawie cech pośrednich (kąt widocznej części ogrodzenia, współzależność pomiędzy jego elementami, rzuty koron). W trakcie prac kameralnych naniesiono również kontury powierzchni pomierzonych urządzeniami GNSS poprzez wgranie wygenerowanych warstw wektorowych. Całość prac wykonano z wykorzystaniem darmowego oprogramowania QGIS 2.18. Rozmieszczenie gniazd z wydzielenia 55j przedstawiono na rysunku 3, a z wydzielenia 55b – na rysunku 4.

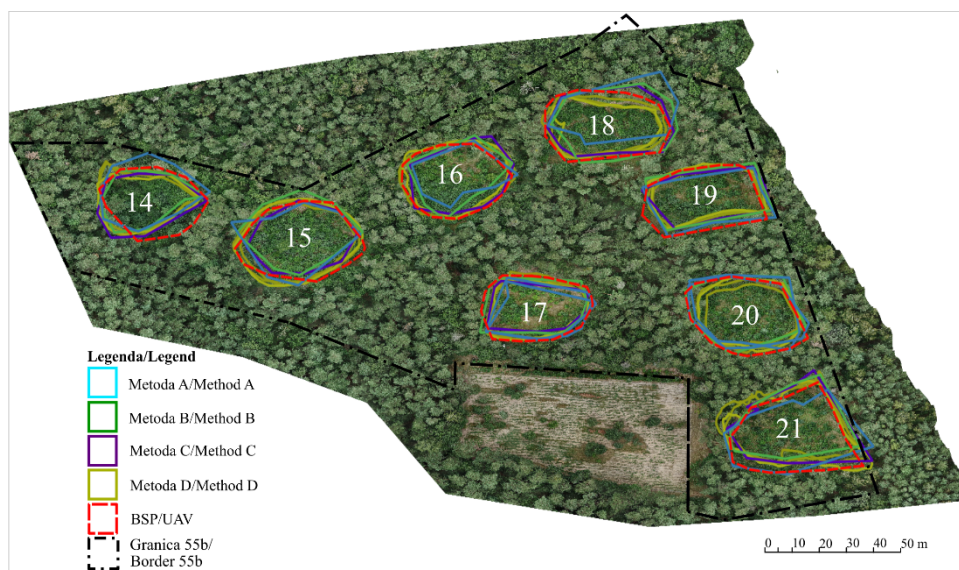


**Rys. 3.** Porównanie wyników pomiarów gniazd dla wydzielenia 55j na tle ortofotomapy

Źródło: opracowanie własne w programie QGIS na podstawie wyników pomiarów, granica wydzielenia pobrana z danych w formie WMS na stronie <http://www.bdl.lasy.gov.pl> (dostęp: 28.08.2019).

**Fig. 3.** A comparison of measurement results for subcompartment 55j plotted on a orthophotomap

Source: author's own study in the QGIS program based on the results of measurements, the subcompartment boundaries downloaded from the data in the form of the WMS file at <http://www.bdl.lasy.gov.pl> (accessed: 28.08.2019).



**Rys. 4.** Porównanie wyników pomiarów gniazd dla wydzielienia 55b na tle ortofotomapy  
Źródło: opracowanie własne w programie QGIS na podstawie wyników pomiarów, granica wydzielienia pobrana z danych w formie WMS na stronie <http://www.bdl.lasy.gov.pl> (dostęp: 28.08.2019).

**Fig. 4.** A comparison of measurement results for subcompartment 55b plotted on an orthophotomap  
Source: author's own study in the QGIS program based on the results of measurements, the sub-compartment boundaries downloaded from the data in the form of the WMS file at <http://www.bdl.lasy.gov.pl> (accessed: 28.08.2019).

## WYNIKI

Na badanym terenie przeanalizowano łączną powierzchnię 21 gniazd: ośmiu znajdujących się w wydzieleniu 55b oraz trzynastu z wydzielienia 55j. W tabeli 1 przedstawiono czas od rozpoczęcia pomiaru do uzyskania wyniku z zastosowaniem jednej z wymienionych wcześniej metod pomiarowych. W czasie potrzebnym do wykonania pomiaru z wykorzystaniem BSP uwzględniono długość nalotu fotogrametrycznego oraz późniejszą analizę ortofotomapy. W przypadku pomiaru poszczególnymi metodami z wykorzystaniem odbiornika GNSS do czasu pomiaru zaliczono pomiary na każdym punkcie załamania ogrodzenia oraz przejścia między punktami w ramach mierzonego gniazda. Łączna powierzchnia gniazd wyniosła, w zależności od metody pomiaru, od 3,13 ha do 3,66 ha. Średni obwód gniazd wyniósł, w zależności od metody pomiaru, od 146,8 m do 156,4 m. Wyniki

pomiarów przedstawiono w tabeli 2. Pomiary rozkładu obwodu gniazd dla wydzielienia 55b oraz 55j zilustrowano na rysunku 5. Natomiast rozkład pola powierzchni gniazd dla badanych wydzieleni pokazano na rysunku 6.

Czas pomiaru w metodach od A do D wynikał z przyjętych założeń metodycznych. W przypadku pomiaru referencyjnego należało kilkakrotnie odłożyć długość taśmy mierniczej, przez co pomiar obwodu wydłużał się o czas potrzeby na jej zwijanie. Pomiar dronem obejmował nie tylko powierzchnię gniazd, ale pozostałą powierzchnię wydzielienia.

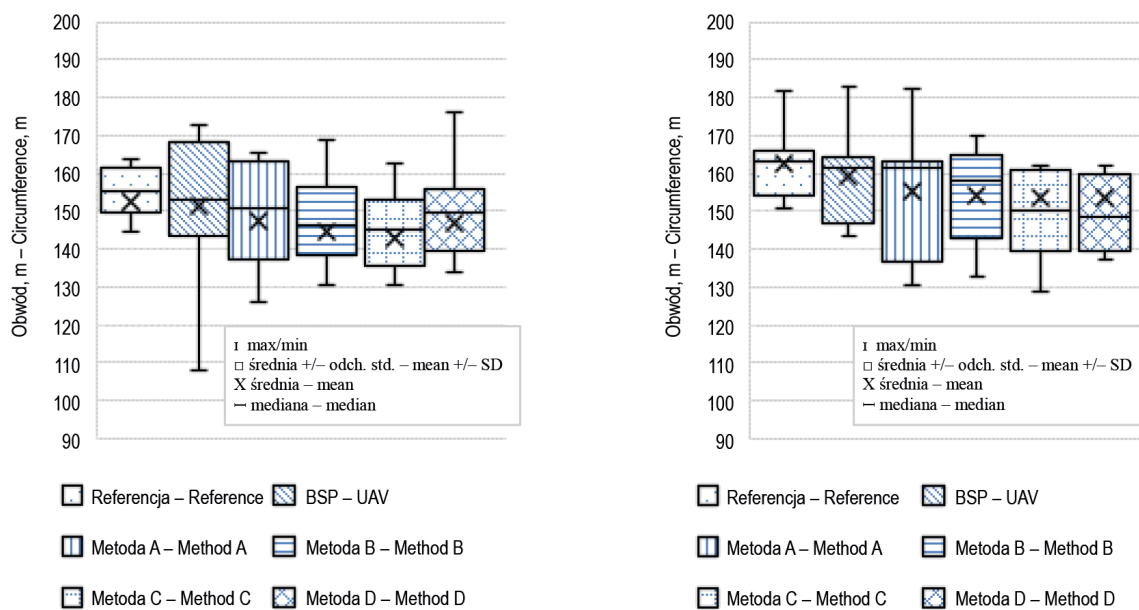
W nawiasach podano różnice względem pomiarów referencyjnych. Pomiar z wykorzystaniem BSP dał wyniki najbliższe dla średniego obwodu uzyskanego z danych referencyjnych. Największe rozbieżności charakteryzują pomiar w metodzie C.

**Tabela 2.** Obwód gniazd

**Table 2.** Opening perimeter

Lp.	referencja reference	Obwód, m – Perimeter, m				
		BSP – UAV	metoda – method A	metoda – method B	metoda – method C	metoda – method D
1	148,0	122,5 (-25,5)	151 (3,0)	140,5 (-7,5)	137,6 (-10,4)	138,7 (-9,3)
2	155,4	147,7 (-7,7)	150,4 (-5,0)	146,3 (-9,1)	145,2 (-10,2)	140,7 (-14,7)
3	106,9	108,1 (1,2)	97,8 (-9,1)	94,6 (-12,3)	97,1 (-9,8)	108,6 (1,7)
4	152,4	149,4 (-3,0)	151,5 (-0,9)	157,3 (4,9)	145,3 (-7,1)	149,8 (-2,6)
5	153,9	146,6 (-7,3)	137,3 (-16,6)	139,8 (-14,1)	144,7 (-9,2)	143,8 (-10,1)
6	159,6	172,5 (12,9)	165,3 (5,7)	149,8 (-9,8)	162,3 (2,7)	155,9 (-3,7)
7	162,0	152,9 (-9,1)	156 (-6,0)	162 (0,0)	157,5 (-4,5)	155,9 (-6,1)
8	144,3	140,4 (-3,9)	126,1 (-18,2)	136,9 (-7,4)	130,3 (-14,0)	133,9 (-10,4)
9	163,3	164,6 (1,3)	164,6 (1,3)	169 (5,7)	148 (-15,3)	175,9 (12,6)
10	163,9	169,9 (6,0)	148,9 (-15,0)	152,2 (-11,7)	133,1 (-30,8)	151,1 (-12,8)
11	151,2	168,2 (17,0)	137,5 (-13,7)	130,7 (-20,5)	144,8 (-6,4)	151,1 (-0,1)
12	159,7	168,3 (8,6)	163,5 (3,8)	143,9 (-15,8)	159,5 (-0,2)	162,1 (2,4)
13	161,5	158,8 (-2,7)	162,9 (1,4)	155,9 (-5,6)	148,9 (-12,6)	144,9 (-16,6)
14	152,5	143,3 (-9,2)	144,4 (-8,1)	132,9 (-19,6)	138,8 (-13,7)	137,4 (-15,1)
15	166,4	163,5 (-2,9)	161,2 (-5,2)	156 (-10,4)	142,7 (-23,7)	162,1 (-4,3)
16	158,5	146,9 (-11,6)	130,3 (-28,2)	143,2 (-15,3)	148,3 (-10,2)	152,4 (-6,1)
17	150,6	147,6 (-3,0)	134,1 (-16,5)	143 (-7,6)	128,6 (-22,0)	138,6 (-12,0)
18	162,0	164,4 (2,4)	162,8 (0,8)	166,3 (4,3)	162 (0,0)	147,6 (-14,4)
19	165,0	160,9 (-4,1)	163,6 (-1,4)	160,8 (-4,2)	152,2 (-12,8)	149,1 (-15,9)
20	164,4	162,1 (-2,3)	161,9 (-2,5)	160,2 (-4,2)	157,3 (-7,1)	141,1 (-23,3)
21	181,8	183,1 (1,3)	182,5 (0,7)	169,9 (-11,9)	197,8 (16,0)	200,9 (19,1)

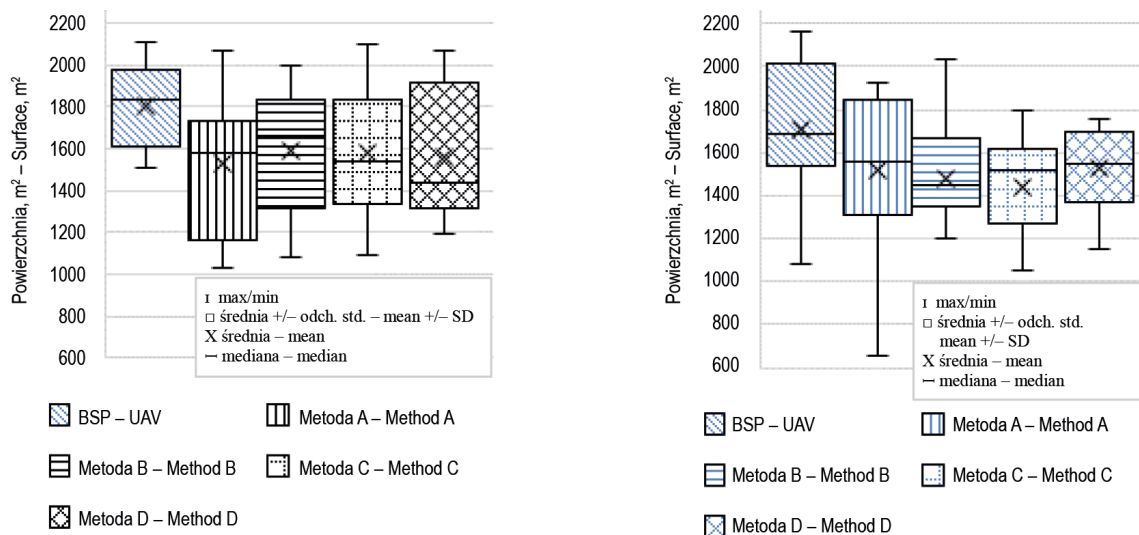
W nawiasach podano różnicę względem referencji.  
The differences between references given in brackets.



A. Wyniki dla powierzchni 55b  
A. Results for subcompartment 55b

B. Wyniki dla powierzchni 55j  
B. Results of subcompartment 55j

**Rys. 5.** Wykres rozkładu obwodu dla gniazd wydzielienia 55b (A) i 55j (B)  
**Fig. 5.** Chart of the perimeter distribution for openings in subcompartments of 55b (A) and 55j (B)



A. Wyniki dla powierzchni 55b  
A. Results for subcompartment 55b

B. Pola powierzchni dla 55j  
B. Results for subcompartment 55j

**Rys. 6.** Wykres rozkładu pola powierzchni dla gniazd wydzielienia 55b (A) i 55j (B)  
**Fig. 6.** Chart of the surface area distribution for the area 55b (A) and 55j (B)



## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych do aktualizacji leśnej mapy numerycznej uzasadnili m.in. Brach i in. (2017); aspekty użytkowania dronów były poruszane w pracy Kardasza i in. (2016), natomiast techniki prowadzenia pomiarów z wykorzystaniem różnej klasy odbiorników GNSS oraz wybranych trybów przedstawiali Szostak i Wężyk (2013). Niniejsze opracowanie, nawiązując do wskazanych aspektów, pokazuje wyniki badań przeprowadzonych na powierzchniach niestanowiących wyłączeń w drzewostanach sosnowych, zagospodarowanych rębniami gniazdowymi, z istniejącym odnowieniem na gniazdach.

W niniejszej pracy dane referencyjne dotyczące powierzchni pozyskano z Banku Danych o Lasach. W nawiasach przedstawiono różnicę między uzyskanymi wynikami a danymi referencyjnymi. Znakami + oraz – wskazano czy dany wynik był większy, czy mniejszy od referencji. Łączna powierzchnia gniazd na wydzielaniu 55b wyniosła od 1,87 ha do 2,22 ha. Rozpiętość między wynikami wyniosła 0,35 ha, średnia powierzchnia wyniosła 1,98 ha (+0,07 ha). Łączna powierzchnia gniazd dla wydzielania 55j wyniosła od 1,22 ha do 1,46 ha. Rozpiętość między wynikami sięgała 0,24 ha, średnia powierzchnia wyniosła 1,32 ha (–0,14 ha) w stosunku do referencji. W przypadku pomiarów wydzielania 55b wynik najbliższy referencji otrzymano w pomiarze metodą B (0% różnicy), natomiast największą różnicę w stosunku do danych referencyjnych wykazał wynik pomiaru z ortofotomapy (+16% różnicy). Dla wydzielania 55j najmniejszą różnicę w porównaniu z referencją stwierdzono, gdy pomiar powierzchni otrzymano z analizy ortofotomapy (–1% różnicy), najmniej dokładny okazał się pomiar metodą A (–16% różnicy).

Średni obwód gniazd na wydzielaniu 55b wyniósł od 153,5 m do 159,0 m. Rozpiętość między wynikami sięgała 5,5 m, średni obwód osiągnął 155 m (–7,6 m) w stosunku do referencji. Średni obwód gniazd na wydzielaniu 55j wyniósł od 142,6 m do 151,5 m. Rozpiętość między wynikami równała się 8,9 m, średni obwód wyniósł 146,6 m (–5,9 m) w stosunku do referencji. Dla wydzielania 55b najbardziej dokładny okazał się średni wynik pomiaru z ortofotomapy (–1% różnicy), najmniej dokładny okazał się średni wynik pomiaru metodą C (–6% różnicy). Dla wydzielania 55j

najbliższy referencji okazał się średni wynik pomiaru z ortofotomapy (–2% różnicy), najmniej dokładny – średni wynik pomiaru metodą C (–6% różnicy).

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Zdjęcia zarejestrowane za pomocą bezzałogowego statku powietrznego umożliwiają uzyskanie danych pozwalających na pomiar łącznej powierzchni gniazd w wydzielaniu, z dokładnością niezbędną dla procesu aktualizacji Leśnej Mapy Numerycznej.

2. Opisana metodyka umożliwia również obliczenia wystarczająco dokładnego obwodu gniazd.

Wykazano również, iż opisana technologia pozwala uzyskać mapę kartometryczną, dzięki czemu, zwłaszcza w przypadku większych obszarów, jest możliwe skrócenie czasu potrzebnego na pomiary badanych powierzchni w porównaniu z metodami klasycznymi.

Rezultaty przeprowadzonych badań potwierdzają także coraz częściej pojawiające się opinie, że w bliskiej perspektywie czasowej będzie możliwe zautomatyzowanie procesu pomiarowego dzięki przeniesieniu pomiarów z terenu do biura.

## PIŚMIENNICTWO

- Antosiewicz, M., Wężyk, P. (2005). GPS w zarządzaniu informacją o środowisku [GPS in environmental information management]. *Rocz. Geomat.*, 3, 3, 125–133.
- Bakuła, M., Oszczak, S., Pelc-Mieczkowska, R., Suchocki, M., Chrostowska, M., Rudziński, M. (2006). Analiza precyzji i dokładności pomiarów GPS w warunkach leśnych [Analysis of precision and accuracy of GPS measurements taken in forest conditions]. *Rocz. Geomat.*, 4, 3, 23–32.
- Bank Danych o Lasach (2014). Pobrano 20 sierpnia 2019 roku z: <https://www/bdl/lasy.gov.pl>.
- Będkowski, K. (2015). Z historii rozwoju fotogrametrii i teledetekcji w leśnictwie polskim [From the history of the development of photogrammetry and remote sensing in Polish forestry]. *Teledetek. Środ.*, 52, 5–15.
- Bolstad, P., Jenks, A., Berkin, J., Horne, K., Reading, W. H. (2005). A comparison of autonomous, WAAS, real-time, and post-processed Global Positioning System (GPS) accuracies in northern forests. *North. J. Appl. For.*, 22(1), 5–11.
- Brach, M. (2012). Analiza dokładności wyznaczania współrzędnych wybranymi odbiornikami GNSS w środowisku leśnym [Analysis of the accuracy of coordinates determined by selected GNSS receivers in forest areas]. *Sylwan*, 156, 1, 47–56.

- Brach, M., Stańczak, L., Szymański, P. (2017). Dokładność szybkich metod inwentaryzacji leśnej mapy numerycznej [Accuracy of fast inventory techniques used for digital forests map update]. *Sylvan*, 161, 1, 18–26.
- Instrukcja urzędowania lasu [Forest management instructions] (2012). Część 1: Instrukcja sporządzania projektu planu urzędowania lasu dla nadleśnictwa [Part 1: Instructions for preparing the draft forest management plan for the forest district]. Warszawa: CILP.
- Kaczyński, R., Ewiak, I. (2006). Wysokorozdzielcze zobrażenia satelitarne a zdjęcia lotnicze [High-resolution satellite images vs. aerial photos]. *Geodezja*, 12, 2/1, 257–265.
- Kardasz, P., Doskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P., Zarzycki, H. (2016). Drones and possibilities of their using. *J. Civil Environ. Eng.*, 6, 1–7.
- Krąkowski, B. (2018). Puszcza Zielonka i okolice [The Puszcza Zielonka Forest and its environs]. Poznań: Związek Międzygminny „Puszcza Zielonka”.
- Naesset, E., Jonmeister, T. (2002). Assessing point accuracy of DGPS under forest canopy before data acquisition, in the field and after post-processing. *Scand. J. For. Res.*, 17, 351–358.
- Sigrist, P., Coppin, P., Hermy, M. (1999). Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. *Int. J. Rem. Sens.*, 20(18), 3595–3610.
- Szostak, M., Wężyk, P. (2013). Pomiary GNSS w przestrzeni leśnej przy wykorzystaniu różnej klasy odbiorników oraz wybranych trybów pomiaru [GNSS measurements in forest environment using various receivers and measurement modes]. *Arch. Fotogr. Kartogr. Teledet.*, 25, 217–231.
- Szymański, P. (2013). Kierunki zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w leśnictwie i ochronie przyrody [Trends in the use of unmanned aerial vehicles in forestry and environmental protection]. *Rocz. Geomat.*, 12, 1(63), 117–127.
- Wężyk, P. (2004). Mity i fakty dotyczące stosowania GPS w leśnictwie [GPS in forestry: myths and facts]. *Rocz. Geomat.*, 2, 4, 19–32.
- Yoshimura, T., Hasehawa, H. (2003). Comparing the precision and accuracy of GPS positioning in forest areas. *J. For. Res.*, 8(3), 147–152.
- Zawiła-Niedźwiecki, T. (2010). Teledetekcja i fotogrametria obszarów leśnych [Remote sensing and photogrammetry of forest areas]. W: K. Okła (red.), *Geomatyka w Lasach Państwowych. Część 1. Podstawy* (s. 277–297). Warszawa: DGLP.
- Zielony, R., Kliczkowska, A. (2012). Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010 [Nature and forest regionalization of Poland 2010]. Warszawa: CILP.

## A COMPARISON OF MAPPING RESULTS OF FOREST AREAS OTHER THAN SUBCOMPARTMENTS IN THE FOREST INVENTORY USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

### ABSTRACT

Due to the growing potential uses of unmanned aerial vehicles (UAV), a study on their practical application in regenerated openings has been conducted by the Geomatics Section of the Foresters, Science Club, the Poznań University of Life Sciences. In 2019, twenty-one research areas were established in the Murowana Goślina Forest Experimental Station, covering subcompartments 55b and 55j. In the research area there are 110- and 116-year-old pine stands growing in the regeneration class in a group-clear felling system with 40-year-old sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). The main aim of the study was to compare the measurement potential application of Getac Z710 geodetic GNSS receivers and orthophotomap data provided by the DJI Mavic Pro model UAV. Four (A–D) measuring methods involving the GNSS receiver were used. In measuring methods A–C the GNSS receiver was placed at each boundary corner of the measured opening for 150, 60 and 30 seconds, respectively. In method D the area perimeter was measured by circling them with the receiver set in the “follow” mode. The total area of the measured openings ranged from 1.87 ha to 2.22 ha for subcompartment 55b and 1.22 ha to 1.46 ha for subcompartment 55j. The difference between the results was 0.35 ha and 0.24 ha, respectively. In the case of subcompartment 55b, the result closest to the reference was obtained during measurement method B, while for subcompartment 55j the orthophotomap measurement turned out to be the closest to the reference. The paper also discusses the time intensity of individual measurement methods.

**Keywords:** drones, GNSS receivers, orthophotomap, forest management, photogrammetry