

MICHAŁ BRACH, LECH STAŃCZAK, PAWEŁ SZYMAŃSKI

Dokładność szybkich metod inwentaryzacji leśnej mapy numerycznej

Accuracy of fast inventory techniques used for digital forests map update

ABSTRACT

Brach M., Stańczak L., Szymański P. 2017. Dokładność szybkich metod inwentaryzacji leśnej mapy numerycznej. Sylwan 161 (1): 18-26.

The functioning of the forest digital maps and conducting complex silviculture implemented in accordance with the diversified development creates great demand for a quick method of spatial data capture. Currently used data collectors and navigation receivers enable the measurements of the forest, but the results are not reliable taking into account their quality. In this study the evaluation of currently used measuring devices were realized and new, reliable solution that can streamline data capture in the field was proposed. The work was carried out in the Pułtusk Forest District (central Poland). We established five plots in the stand with the alder as a dominant species. 137 reference points were captured using classical surveying methods. We used the following data collectors: Motorola Omnia XT15 and Workabout PRO, Samsung Galaxy Core Plus smartphone and GIS Trimble ProXH navigation receiver. In addition, the unmanned aircraft i.e. popular on the market DJI Phantom 4 was also used. The accuracy was assessed by determining the error of the plot area and the accuracy of control points (M_p). It was found that current popular data collectors and smartphones define the plot area with an error of about 3%, the same positioning of the object can be accurate from 2 to 6 meters (tab. 1). The results allow to conclude that the use of smartphones may be important only for draft assessment, and the realization of the measurement using the data collectors should always be preceded by the control measurement on the characteristic points. Significantly better results are obtained by the GIS class receivers (M_p less than 2 meters) and using differential correction (M_p less than 0.6 meters). However, these devices are used rarely in practice, despite universal access to the network of GNSS reference stations. The use of drone allowed to obtain images for the entire area in 15 minutes. The orthophotomap was automatically made in point-cloud technology. This method gave an error of 1.3% for estimating the plot area and 1.69 meters for the position of control points for objects borders. Given the falling prices of unmanned platforms and low labor intensity of this measurement method, we can assume that it will find widespread use in updating of forest digital maps.

KEY WORDS

RPAS, UAV, orthophotomap, forest, GNSS, measurements, digital forest map update

ADDRESSES

Michał Brach ⁽¹⁾ – e-mail: Michal.Brach@wl.sggw.pl

Lech Stańczak ⁽²⁾ – e-mail: lech.stanczak@warszawa.lasy.gov.pl

Paweł Szymański ⁽¹⁾ – e-mail: Pawel.Szymanski@wl.sggw.pl

⁽¹⁾ Samodzielny Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, SGGW w Warszawie;
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Nadleśnictwo Pułtusk; ul. Bartodziejska 50, 06-100 Pułtusk

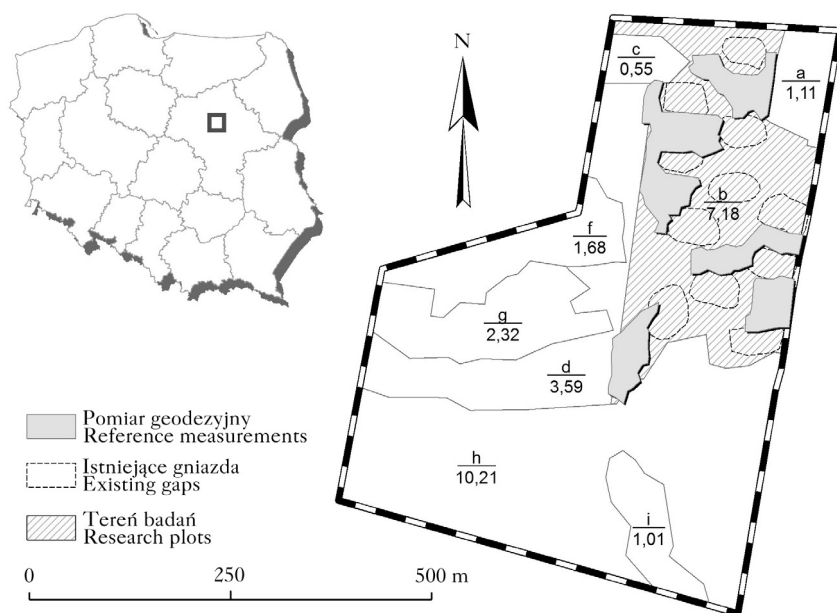
Wstęp

Organizacja gospodarki leśnej propagująca zróżnicowany rozwój w znacznym stopniu podkreśla wzrost znaczenia ekologicznych funkcji lasu, a co za tym idzie dążenie do zwiększenia szeroko rozumianej różnorodności biologicznej [Ustawa... 1991]. Przyjmuje się obecnie założenie, że ocena wartości przyrodniczej lasu jest wypadkową czynników opisujących jego zmienność, takich jak skomplikowana struktura pionowa, skład gatunkowy czy znaczny udział starszych klas wieku [Stachura-Skierczyńska 2007]. Oczekiwania społeczne względem lasu, wyrażające się w wypełnianiu funkcji rekreacyjnych, stawiają przed leśnikami nowe wyzwania w realizacji ekosystemowego modelu leśnictwa. Tym samym zaczęto poszukiwać nowych metod hodowli lasu, podpatrując strukturę lasów naturalnych [Drozdowski i in. 2014]. Prowadzi to do rosnącego udziału rębni złożonych w ogólnym rozmiarze cięć odnowieniowych, co skutkuje kreowaniem drzewostanów zróżnicowanych wielowiekowo i gatunkowo [Bernadzki, Brzeziecki 1999]. Wprowadzenie Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) oraz leśnej mapy numerycznej (LMN) w sposób istotny usprawniło prowadzenie gospodarki leśnej, jednak realizacja nowych metod hodowlanych wymusiła konieczność bieżącej aktualizacji baz danych, co jest elementem niezbędnym do corocznego planowania prac gospodarczych [Miścicki, Nowicka 2008]. Obecnie niemal każde leśnictwo posiada rejestrator wyposażony w wewnętrzny moduł nawigacyjny (GPS) oraz oprogramowanie pozwalające na samodzielne tworzenie obiektów geometrycznych, takich jak gniazda, luki czy kępy. W nadleśnictwach z przewagą siedlisk lasowych prowadzi się w dużej mierze użytkowanie rębniami złożonymi, co wiąże się z powstającymi rokrocznie nowymi obiektami niestanowiącymi wydzieleń (pns), których powierzchnia jest podstawą do tworzenia planów gospodarczych na następne lata. Ewentualne błędy w pomiarze tych powierzchni oraz ich kumulacja mogą prowadzić do trudności w planowaniu i rozliczaniu prac – zarówno z zakresu hodowli, jak i ochrony lasu – przez szereg następnych lat. Stosowanie nowoczesnych narzędzi powinno odbywać się ze świadomością użytkowników co do ich dokładności oraz znajomością metod pomiaru. W niniejszym opracowaniu podjęto próbę oceny dokładności, użyteczności oraz pracochłonności wybranych metod aktualizacji LMN. W odróżnieniu od licznych opracowań dotyczących analizy dokładności odbiorników nawigacyjnych [Wężyk 2004], klasycznych metod pomiaru [Brach i in. 2013] czy wykorzystania ortofotomap cyfrowych [Będkowski 2011] do aktualizacji elementów geometrii podziału powierzchniowego zastosowano typowe urządzenia wykorzystywane przez leśników w praktyce. Materiał badawczy wzbogacono zdjęciami pozyskanymi z popularnego na rynku bezzałogowego statku powietrznego (RPAS – Remotely Piloted Aircraft System), mogącego być dobrą alternatywą dla pomiarów naziemnych. Technika ta znalazła już praktyczne zastosowanie w lasach, m.in. do pomiaru powierzchni uszkodzonej przez zwierzynę łowną, określania lokalizacji pożarów, a także oceny i monitoringu upraw leśnych oraz młodników. Dodatkowo z pomocą bezzałogowców można określić kondycję zdrowotną żywych pomników przyrody, jak i wykonać zdjęcia w celach archiwizacyjnych [Szymański 2014]. Wielowirnikowe statki powietrzne są przydatne w monitorowaniu roślin pod kątem zawartości azotu [Caturegli i in. 2016] czy wzrostu koron w plantacji sosny pinii (*Pinus pinea*) [Guerra-Hernández i in. 2008].

Materiał i metody

Powierzchnia badań zlokalizowana jest na terenie RDLP Warszawa w Nadleśnictwie Pułtusk. Ze względu na wielkość, liczbę i dość charakterystyczny kształt wyciętych gniazd, pozwalający na zebranie obszernego materiału referencyjnego, do analizy wybrano oddział 123b w leśnictwie Pokrzywnica (52°36'37"N, 20°58'23"E). W drzewostanie z przewagą olszy w wieku 77 lat, o prze-

ciętej wysokości 25 m i zadrzewieniu 0,6, wykonano w 2014 roku drugi etap rębni III b w postaci pięciu nieregularnych gniazd, których sumaryczna powierzchnia wynosi 2,51 ha (ryc. 1). Aby zminimalizować wpływ aparatu asymilacyjnego drzew liściastych na propagację sygnału satelitarnego, prace badawcze wykonano na przełomie lat 2015/2016. Jest to również okres, w którym z reguły trwają prace nad uzgodnieniami powierzchniowymi wykonanych cięć oraz coroczną aktualizacją LMN. Materiał referencyjny pozyskano dzięki realizacji kompleksowych pomiarów geodezyjnych z wykorzystaniem tachimetru Topcon GTS-105N oraz odbiornika nawigacyjnego Topcon HiPer SR. Punkty nawiązania wyznaczono na zewnątrz kompleksu leśnego w postaci dwóch boków za pomocą technologii RTN (Real Time Network) opartej o sieć stacji referencyjnych TPI NET Pro. Analogiczna polska sieć ASG-EUPOS pozwala na uzyskanie około 0,03 metra dokładności horyzontalnej [Bosy i in. 2007]. W dalszym etapie założono ciąg poligonowy dwustronnie nawiązany o długości 685,33 m, uzyskując odchyłkę liniową $f_L=0,11$ m. Stosując biegunową metodę pomiaru, wyznaczono współrzędne uprzednio zastabilizowanych 137 punktów zlokalizowanych na obrzeżach pięciu gniazd. Przyjmuje się, że tą techniką możliwe jest zlokalizowanie szczegółu sytuacyjnego w I grupie dokładnościowej, czyli z błędem położenia punktu poniżej 0,05 metra [Doskocz 2008]. Docelowo wszystkie współrzędne wyrażono w państwowym układzie współrzędnych geodezyjnych 1992. Sumaryczna powierzchnia referencyjna wszystkich obiektów wyniosła 24 526 m². Do pomiarów testowych wykorzystano cztery odbiorniki nawigacyjne – dwa rejestratory najczęściej obecnie używane w nadleśnictwie: Motorola Omnii XT15 i Workabout PRO z wewnętrznym modułem GPS, osobisty smartfon SAMSUNG Galaxy Core Plus z oprogramowaniem mLas Inżynier dostępnym na platformie Android i odbiornik nawigacyjny reprezentujący klasę GIS marki Trimble ProXH z zewnętrzną anteną zamontowaną na tyczce o wysokości 2 m. W przypadku zestawu opartego na telefonie Samsung zrealizowano trzy warianty pomiaru, wykorzystujące:



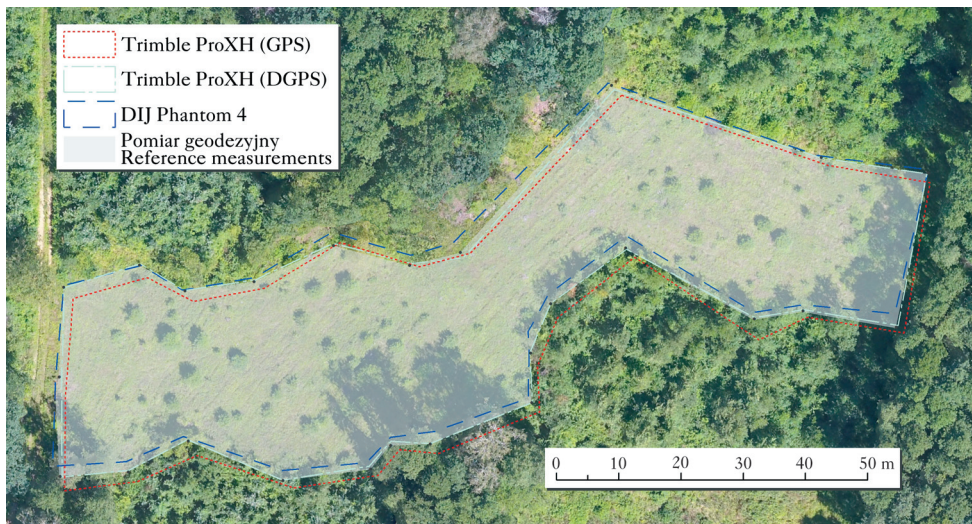
Ryc. 1.

Lokalizacja terenu badań
Location of the study site

- wewnętrzny moduł GNSS telefonu (Samsung G),
- zewnętrzny moduł GPS firmy Pentagram (Samsung G + Pent),
- pomiar współrzędnej środka gniazda za pomocą wewnętrznego modułu GNSS telefonu, a następnie zastosowanie dalmierza laserowego TruPulse360B do wyznaczenia położenia docelowych punktów (Samsung G + TP).

Odbiornik nawigacyjny Trimble z anteną zewnętrzną jako jedyny dawał możliwość przeprowadzenia korekcji różnicowej, pozwalającej zdecydowanie poprawić dokładność pozycjonowania w warunkach leśnych [Andersen i in. 2009; Valbuena 2014]. Źródłem danych korekcyjnych była ogólnopolska sieć stacji referencyjnych ASG-EUPOS. Tym samym zebrano dane bez korekcji (GPS) oraz po wykonaniu postprocessingu obserwacji (DGPS). Do wykonania misji fotogrametrycznej został użyty wielowirnikowiec DJI Phantom 4 o masie startowej do 1,5 kg i wymiarach około 30×30 cm. Nalot bezzałogowym statkiem powietrznym (BSP) odbył się za zgodą odpowiednich organów lotniczych. Jest to niezbędna procedura do wykonania bezpiecznej i legalnej misji fotogrametrycznej. Operacja lotnicza miała miejsce w lipcu 2016 roku przy wietrze do 7 m/s – pozwalającym na bezpieczny start. Operator zaplanował nalot na wysokości 115 m na powierzchni 15 ha, przy maksymalnej prędkości 8,7 m/s. BSP, pokonując 6,5 km, wykonał misję w niecałe 15 minut, wykonując przy tym 240 zdjęć w rzucie środkowym o rozdzielczości terenowej 5 cm/piksel. Po wykonanym nalocie została z dostępnych zdjęć utworzona ortofotomapa (ryc. 2) wraz z numerycznym modelem pokrycia terenu.

W rezultacie prac terenowych pozyskano współrzędne wierzchołków gniazd, które w dalszym etapie posłużyły do stworzenia wektorowej warstwy poligonowej reprezentującej powierzchnie gniazd i będące punktem wyjścia do dalszych analiz. Głównym przedmiotem zainteresowania, z punktu widzenia gospodarki leśnej, jest właściwe określenie powierzchni gniazd. Wartości



Ryc. 2.

Porównanie dokładności pomiarowej surowych (GPS) i skorygowanych (DGPS) danych obserwacyjnych odbiornika Trimble ProXH oraz opracowania zdjęcia z platformy DJI Phantom 4

Comparison of raw navigation data (GPS) and postprocessed data (DGPS) from Trimble ProXH and final images taken by DJI Phantom 4

Podkład mapy stanowi ortofotomapa uzyskana w wyniku nalotu bezzałogowym statkiem powietrznym DJI Phantom 4
Background map present final orthomosaic captured by RPAS DJI Phantom 4

powierzchni do analiz uzyskano automatycznie z modelu. Różnice przedstawiono za pomocą wzoru na błąd procentowy:

$$U = \pm \frac{\Delta P}{P_{GEO}} \cdot 100\%$$

gdzie:

P_{GEO} – suma pola powierzchni gniazd pomierzona metodami geodezyjnymi,

ΔP – różnica między polem powierzchni ustalonym badanym urządzeniem a danymi referencyjnymi.

Obliczono również błąd przeciętny pomiaru poszczególnych gniazd, stosując wzór:

$$\Delta P_p = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta P_{gn}|}{n}$$

gdzie:

ΔP_{gn} – błąd pola powierzchni dla pojedynczego gniazda,

n – liczba gniazd.

Dokładność określania współrzędnych X i Y obliczono za pomocą wzoru na błąd średni:

$$M_X = \sqrt{\frac{\sum (X_{POM} - X_{REF})^2}{n}} \quad M_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{POM} - Y_{REF})^2}{n}}$$

gdzie:

X_{POM}, Y_{POM} – współrzędne uzyskane z urządzeń będących przedmiotem analizy,

X_{REF}, Y_{REF} – współrzędne referencyjne uzyskane z pomiaru geodezyjnego,

n – liczba pomiarów.

Ponadto wyliczono błąd średni położenia wierzchołków gniazd ze wzoru:

$$M_p = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2}$$

gdzie:

M_X – średni błąd współrzędnej X,

M_Y – średni błąd współrzędnej Y.

Dodatkowo zmierzono czas potrzebny na zebranie danych pomiarowych dla obserwacji nawigacyjnych, biegunowej metody pomiaru z wykorzystaniem dalmierza laserowego oraz nalotu bezzałogowym statkiem powietrznym wraz z przygotowaniem wyjściowego formatu wektorowego.

Wyniki

Pole powierzchni gniazd ustalone za pomocą analizowanych urządzeń wynosiło, w zależności od sposobu pomiaru, od 23 356 do 25 114 m². Wartości te ujęte w postaci różnic w stosunku do powierzchni referencyjnej zawierały się w zakresie od -588 do +1170 m² dla wszystkich gniazd. Jest to błąd mieszczący się w przedziale od -2,4 do 4,8% (tab. 1). Błąd przeciętny ΔP_p poszczególnych gniazd wahał się w granicach od 61 do 234 m². Błąd średni wyznaczania współrzędnych X wynosi od 0,35 do 3,65 m, a Y od 0,49 do 5,67 m. Z kolei średni błąd wyznaczenia położenia wierzchołków gniazd przyjmuje, w zależności od sposobu inwentaryzacji, wartości od 0,60 do 6,28 m (tab. 2). Metody opierające się na pomiarach odbiornikiem nawigacyjnym pochłonęły średnio 100 minut. Zastosowanie dalmierza laserowego nieznacznie skróciło czas pracy, do 80 minut, zaś czas wykonania nalotu dronem to około 15 minut.

Tabela 1.

Powierzchnia gniazd (ΣP [m²]) oraz średnia wartość i zakres (w nawiasie), a także sumaryczna wartość (Σ) przeciętnego (ΔP [m²]) i procentowego (U [%]) błędu wyznaczania powierzchni w zależności od badanego urządzenia

Total plot area (ΣP [m²]) as well as mean and range (in parentheses) and total value (Σ) of mean absolute (ΔP [m²]) and relative (U [%]) error of area assessment for analysed measurement devices

	ΣP	ΔP	$\Sigma \Delta P$ [m ²]	U	ΣU [%]
Motorola Omnii XT15	25 114	138 (3-327)	-588	2,7 (0,7-4,4)	-2,4
Workabout PRO	23 356	234 (98-517)	1170	5,0 (2,6-6,9)	4,8
Samsung G	23 844	167 (77-279)	682	3,5 (2,1-5,6)	2,8
Samsung G + Pent	23 939	204 (37-537)	584	4,3 (0,8-7,6)	2,4
Samsung G + TP	24 013	85 (68-241)	513	1,8 (2,3-6,4)	2,1
Trimble ProXH (GPS)	24 149	101 (78-206)	377	2,1 (1,6-2,5)	1,5
Trimble ProXH (DGPS)	24 223	61 (32-103)	303	1,2 (0,7-2,5)	1,2
DJI Phantom 4	24 214	68 (15-182)	312	1,4 (0,4-2,1)	1,3

Tabela 2.

Średni błąd [m] wyznaczania współrzędnych X i Y (odpowiednio M_X i M_Y), średnia wartość i zakres (w nawiasie) błędu wyznaczania położenia wierzchołków powierzchni badawczych (M_P [m]) oraz czas pracy (T [min]) w zależności od badanego urządzenia

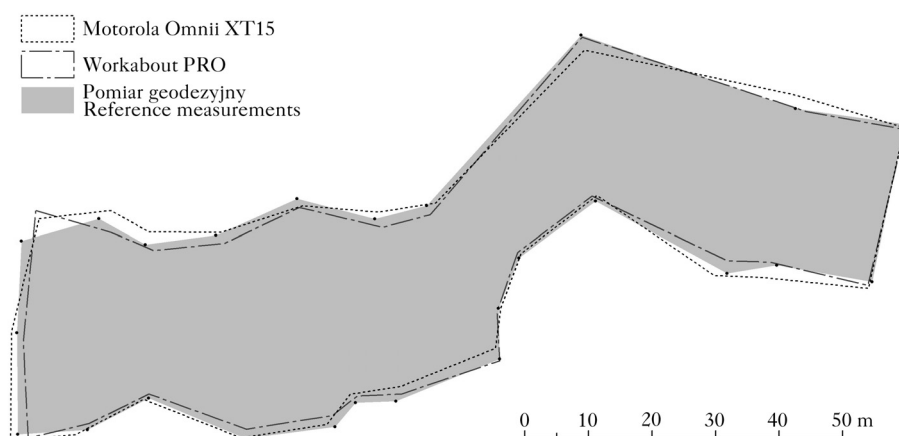
Mean X and Y coordinate error (M_X and M_Y respectively [m]) as well as mean and range (in parentheses) horizontal error of plot vertexes location assessment (M_P [m]) and average work duration (T [min]) for analysed measurement devices

	M_X	M_Y	M_P	T
Motorola Omnii XT15	1,35	1,77	2,22 (0,14-7,08)	100
Workabout PRO	1,34	1,72	2,18 (0,29-7,67)	100
Samsung G	2,74	2,60	3,18 (0,57-11,11)	100
Samsung G + Pent	2,69	5,67	6,28 (0,67-13,11)	100
Samsung G + TP	3,65	4,34	5,67 (0,63-11,80)	80
Trimble ProXH (GPS)	1,18	1,42	1,84 (0,49-4,17)	100
Trimble ProXH (DGPS)	0,35	0,49	0,60 (0,03-1,93)	100
DJI Phantom 4	1,04	1,33	1,69 (0,44-3,48)	15

Dyskusja

Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że wśród badanych urządzeń nawigacyjnych największą wiarygodność danych możemy uzyskać, stosując odbiorniki wykorzystujące poprawki różnicowe ze stacji referencyjnych. Model Trimble ProXH w trybie autonomicznym dokonał pomiaru powierzchni z błędem nieprzekraczającym 4 ary, a po przeprowadzeniu korekcji różnicowej (DGPS) błąd ten nieznacznie zmalał. Korekcja wpływa jednak istotnie na wartość średniego błędu wyznaczenia położenia punktu, który zmalał trzykrotnie: z 1,84 do 0,60 m. Zbieżność przebiegu linii pomiarowej z pomiarem referencyjnym jest bardzo duża (ryc. 2). Jest to wynik, który w warunkach gospodarstwa leśnego możemy uznać za bardzo satysfakcjonujący, tym bardziej że przez wiele lat akceptowano dokładność pomiarów busolowych na poziomie 5 metrów. W praktyce leśnej urządzenia takie są jednak stosowane okazjonalnie, a korekcja różnicowa, mimo powszechnego dostępu do sieci stacji referencyjnych, nie jest wykorzystywana. Pomiary są bowiem najczęściej wykonywane przy pomocy rejestratorów i telefonów z wbudowanym modułem GPS, będących przedmiotem niniejszego opracowania – Motorola Omnii XT15, Workabout PRO oraz popularnego modelu telefonu Samsung Galaxy. Wyraźnie widać, że urządzenia nowszej generacji utrzy-

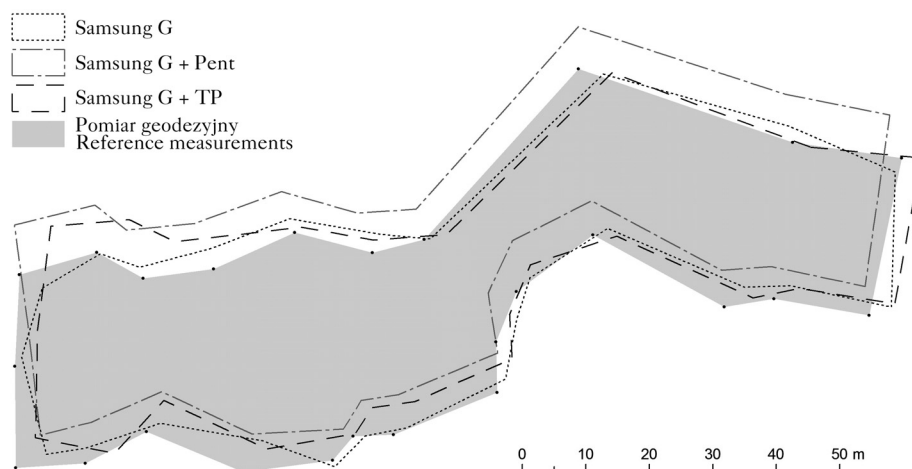
mują zbliżony poziom dokładności pomiaru powierzchni, wynoszący około 0,06 ha, co stanowiło niecałe 2,5% całego obszaru. Prawie dwa razy większy błąd pomiaru powierzchni uzyskano nieco starszym modelem rejestratora Workabout PRO. Dość dobry wynik pozycjonowania dla tego urządzenia nie jest jednak skorelowany z błędem powierzchni (ryc. 3). Przyczyną jest tutaj mniejsza dokładność kilku wierzchołków, których położenie znacząco odbiegało od rzeczywistej lokalizacji, wpływając tym samym na słaby wynik końcowy (tab. 2). O ile wyniki pomiaru powierzchni nowszymi rejestratorami możemy uznać za dostateczne, to pomiar starszym modelem Workabout PRO z błędem 0,11 ha wydaje się być nie do zaakceptowania. Pomiar smartfonem Samsung – wyposażonym w aplikację przygotowaną do wykonania różnego typu pomiarów, nie tylko z pomocą wewnętrznego modułu GPS, ale również z wykorzystaniem urządzeń peryferyjnych, takich jak np. dalmierz laserowy – charakteryzował się dosyć dużymi błędami średnimi wyznaczania współrzędnych X i Y, a tym samym położenia wierzchołków gniazd (ryc. 4). Warto pamiętać, że odbiorniki nawigacyjne montowane powszechnie w telefonach komórkowych są domyślnie skonfigurowane na bardzo szybkie zarejestrowanie współrzędnej, niekoniecznie prawidłowej, ponieważ z założenia służą przede wszystkim do nawigacji. Niewielka antena, brak algorytmów redukujących wielodrożność sygnału satelitarnego czy wreszcie niedające się skorygować wyniki obserwacji kwalifikują tego typu urządzenia jedynie do zastosowań poglądowych, nie zaś jako źródło danych do aktualizacji LMN. Mimo iż pomiar telefonem komórkowym może być wykonany w każdej chwili, warto pamiętać, że wiarygodność pomiarów jest znacznie ograniczona i z całą pewnością nie może być kontrolowana. Niepewność wyników pozycjonowania odbiornikami nawigacyjnymi jest faktem. Tym bardziej więc konieczne jest, aby przed dokonaniem właściwego pomiaru zarejestrować w tym samym środowisku współrzędne punktów charakterystycznych, takich jak skrzyżowania linii podziału powierzchniowego, celem uzyskania możliwości oszacowania potencjalnego błędu. Dane pozyskane z ortofotomapy wykonanej ze zdjęć RPAS pozwoliły określić powierzchnię obiektów z dokładnością około 1,3%. Jest to wynik porównywalny do najlepszych odbiorników nawigacyjnych stosowanych w badaniu i zdecydowanie satysfakcjonujący z punktu widzenia oczekiwanych dokładności na potrzeby aktualizacji LMN. Podstawowym założeniem przy użyciu drona było zminimalizowanie pracochłonności z równoczesnym uzyskaniem



Ryc. 3.

Porównanie dokładności pomiarowej danych obserwacyjnych z rejestratorów Motorola Omnii XT15 i Workabout PRO

Comparison of positioning data from Motorola Omnii XT15 and Workabout PRO data collector



Ryc. 4.

Porównanie dokładności pomiarowej danych obserwacyjnych z telefonu Samsung Galaxy Core Plus rozszerzonego o zewnętrzny moduł GPS Pentagram oraz dalmierz laserowy TruPulse 360B

Comparison of positioning data from Samsung Galaxy Core Plus extended by external Pentagram GPS antenna and laser rangefinder TruPulse 360B

wysokiej dokładności pomiarowej. Gotowe zdjęcia zostały przesłane do serwerów obliczeniowych w chmurze, co pozwoliło na otrzymanie gotowego zobrazowania bez niezbędnej wiedzy fotograficznej. Przy tworzeniu ortofotomapy nie wykorzystano żadnych kontrolnych punktów naziemnych, tym samym błąd określania wierzchołków poligonu – na poziomie 1,7 metra – należy uznać za bardzo dobry. Pewnym ograniczeniem tej techniki jest konieczność posiadania niezbędnych uprawnień i przestrzegania zasad wykorzystania przestrzeni powietrznej. Jednak mając na uwadze czas opracowania, jakość uzyskanych wyników i cenę platformy latającej, zbliżoną do wartości odbiorników nawigacyjnych, należy jednoznacznie stwierdzić, że jest to rozwiązanie o dużym potencjale wykorzystywania w praktyce.

Wnioski

- ✦ Największą dokładność wśród odbiorników nawigacyjnych uzyskał model klasy GIS – Trimble ProXH. Zastosowanie korekcji różnicowej znacznie poprawiło dokładność odczytu współrzędnych mierzonych punktów, natomiast nie miało znaczącego wpływu na dokładność obliczania powierzchni.
- ✦ Należy zdawać sobie sprawę, że dane pozyskiwane za pomocą rejestratorów leśniczego mogą zawierać błędy, a ich szacowanie należy ocenić, wykonując każdorazowo pomiar testowy na punktach charakterystycznych.
- ✦ Ze względu na dość duże błędy pozycjonowania smartfony wyposażone w aplikację mLas Inżynier należałoby stosować tylko do pomiarów o znaczeniu pogładowym.
- ✦ Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych otwiera nowe możliwości aktualizacji LMN ze względu na dobre parametry dokładnościowe i niską pracochłonność pomiaru.

Literatura

Andersen H. E., Clarkin T., Witerberger K., Strunk J. 2009. An accuracy assessment of positions obtained using survey-grade global positioning system receivers across a range of forest conditions within the Tanana Valley of Interior Alaska. *Western Journal of Applied Forestry* 24 (3): 128-136.

- Bernadzki E., Brzeziecki B. 1999. Wpływ metod odnowienia na różnorodność biologiczną lasów zagospodarowanych w Polsce. W: Rykowski K., Matuszewski G., Lenart E. [red.]. Ocena wpływu praktyki leśnej na różnorodność biologiczną w lasach w Europie Środkowej. Studium w zakresie polskiej Ustawy o lasach i innych przepisach prawnych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Będkowski K. 2011. Cyfrowe zdjęcia lotnicze. W: Będkowski K. [red.]. Las w rastrowym modelu danych przestrzennych. Wyd. SGGW, Warszawa. 74-78.
- Bosy J., Graszka W., Leończak M. 2007. ASG-EUPOS. A multifunctional precise satellite positioning systems in Poland. *European Journal of Navigation* 5 (4): 2-6.
- Brach M., Bielak K., Drozdowski S. 2013. Dokładność pomiaru wybranymi dalmierzami laserowymi w środowisku leśnym. *Sylwan* 157 (9): 671-677.
- Caturegli L., Corniglia M., Gaetani M., Grossi N., Magni S., Migliazzi M., Angelini L., Mazzoncini M., Silvestri N., Fontanelli M., Raffaelli M., Peruzzi A., Volterrani. 2016. Unmanned Aerial Vehicle to Estimate Nitrogen Status of Turfgrasses. *PLoS ONE* 11 (6): e0158268. DOI: 10.1371/journal.pone.0158268.
- Doskoź A. 2008. Analiza dokładności pomiarów sytuacyjnych wykonywanych metodą biegunową oraz domiarów prostokątnych. *Acta Scientiarum Polonorum. Geodesia et Descriptio Terrarum* 7 (3): 47-70.
- Drozdowski S., Bielak K., Buraczyk W., Gawron L., Jaros R., Żybura H. 2014. Planowanie hodowlane w drzewostanach jodłowych o złożonej strukturze z wykorzystaniem metody BDq w Nadleśnictwie Zagnańsk. *Sylwan* 158 (9): 651-660.
- Guerra-Hernández J., González-Ferreiro E., Sarmiento A., Silva J., Nunes A., Correia A., Fontes L., Tomé M., Díaz-Varela R. 2016. Using high resolution UAV imagery to estimate tree variables in *Pinus pinea* plantation in Portugal. *Forest Systems* 25 (2), eSC09.
- Miścicki S., Nowicka E. 2008. Aktualizacja zapasu drzewostanów na podstawie danych z SILP i stałych kontrolnych powierzchni próbnych. *Sylwan* 152 (11): 26-39.
- Stachura-Skierczyńska K. 2007. Ocena wartości biologicznej lasów w Polsce – wstępne rezultaty projektu. *Studia i Materiały CEPL* 3 (16): 346-355.
- Szymański P. 2014. Kierunki zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w leśnictwie i ochronie przyrody. *Roczniki Geomatyki* 63: 117-127.
- Valbuena R. 2014. Integrating airborne laser scanning with data from global navigation satellite systems and optical sensors. In *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning*. Springer Netherlands. 63-88.
- Wężyk P. 2004. Mity i fakty dotyczące stosowania GPS w leśnictwie. *Roczniki Geomatyki* 2 (4): 19-32.
- Ustawa o lasach. 1991. Dz. U. Nr 101, poz. 444.