

Wykorzystanie samolotów bezzałogowych i termowizji do nocnej inwentaryzacji kopytnych

Stanisław Pagacz, Julia Witczuk

Abstrakt. Ocena liczebności dzikich kopytnych jest jednym z podstawowych zadań gospodarki łowieckiej. Z powodu ograniczeń dotychczas stosowanych metod, takich jak pędzenia próbne czy tropienia na śniegu (mała dokładność, czasochłonność, konieczność zaangażowania licznego personelu) istnieje potrzeba opracowania nowej, precyzyjnej i efektywnej metody inwentaryzacji zwierzyny. Potencjalnie, spełnienie tych warunków może zapewnić wykorzystanie do inwentaryzacji dwóch nowoczesnych technologii – samolotów bezzałogowych (dronów) i termowizji. Metoda taka, posiadając wszelkie zalety inwentaryzacji z powietrza, pozwalałaby na prowadzenie inwentaryzacji nocą, kiedy zwierzęta wykazują największą aktywność i są przez to łatwiejsze do wykrycia. W celu przetestowania proponowanej metody przeprowadziliśmy próbne loty z wykorzystaniem samolotu bezzałogowego wyposażonego w kamerę termowizyjną nad różnymi typami drzewostanów oraz o różnych porach doby. Na podstawie filmów termowizyjnych zarejestrowanych w Drawieńskim Parku Narodowym (kwiecień 2015 r.) byliśmy w stanie wykryć zwierzęta zarówno w bezlistnych drzewostanach liściastych, jak i drzewostanach iglastych o niepełnym zwarciu. Wyniki inwentaryzacji zależały od pory dnia – na filmie zarejestrowanym w południe wykryliśmy tylko pięć sygnałów termalnych, podczas gdy na filmach wykonanych rano, wieczorem i w nocy rozpoznaliśmy od 10 do 27 sygnałów zwierząt. Wyniki pierwszych testów potwierdzają przydatność dronów i kamer termowizyjnych do inwentaryzacji kopytnych. Głównymi ograniczeniami opracowywanej metody są przepisy prawne (wymóg lotów w zasięgu wzroku operatora), zależność od pogody oraz stosunkowo niska rozdzielczość kamer termowizyjnych utrudniająca identyfikację gatunkową zarejestrowanych sygnałów.

Słowa kluczowe: inwentaryzacja, kopytne, monitoring, termowizja, samoloty bezzałogowe, drony

Abstract. Using drones and thermal imaging for night ungulate surveys in forests. Reliable assessment of population size is required for effective ungulate management and conservation. Yet, none of the several ungulate monitoring methods is satisfying in terms of cost-effectiveness and precision. A new method combining two modern technologies: unmanned aerial vehicles (UAV or drones) and thermal infrared imaging (TIR) may have great potential as a tool for ungulate monitoring. In addition to having all of the advantages of aerial surveys, it also enables operations at night, when ungulates are most active and easy to detect. To assess the feasibility of the proposed method we use a fixed-wing UAV equipped with TIR camera to conduct test surveys in different forest types and at different times of the day. During tests in Drawieński

National Park, Poland in April 2015 we detected animals both in leafless deciduous forests and in broken canopy coniferous forests. The time of day highly influenced the results – during the noon flight we discovered only five thermal signatures, while during the flights conducted in the morning, evening and at night we recognized from 10 to 27 ungulates. Our preliminary results show that drones with TIR sensors are a suitable tool for ungulate surveys. The main challenges of the method are regulations (drone operations limited to visual line of sight), high dependence on weather, and relatively low resolution of TIR cameras hindering species identification.

Keywords: survey, ungulates, monitoring, thermal imaging, unmanned aerial vehicles, drones

Wstęp

Monitorowanie liczebności populacji jest jednym z podstawowych zadań gospodarki łowieckiej, niezbędnym do prawidłowego zarządzania populacjami dzikich zwierząt. W przypadku kopytnych możliwe precyzyjne oszacowanie liczebności wymagane jest do ustalenia rocznych planów łowieckich, do monitorowania reakcji populacji na prowadzoną gospodarkę łowiecką oraz do kontroli efektywności działań ochronnych w przypadku gatunków chronionych lub objętych czasowym zakazem polowań, np. łosia. Rzetelnie prowadzona gospodarka łowiecka umożliwia utrzymanie zdrowych populacji kopytnych przy jednoczesnym zmniejszeniu szkód wyrządzanych przez zwierzęta w leśnictwie i rolnictwie. Jednakże stosowane obecnie metody monitoringu liczebności (pędzenia próbne, tropienia na śniegu, całoroczne obserwacje) są bardzo niedokładne (Wawrzyniak i in. 2010) i w efekcie uniemożliwiają optymalne zarządzanie populacjami kopytnych. Ponadto, zarówno tropienia, jak i pędzenia próbne są czasochłonne oraz wymagają zaangażowania licznego personelu, co znacznie utrudnia stosowanie tych metod w praktyce.

W ciągu ostatniej dekady, powszechnie dostępne stały się dwie nowoczesne technologie – kamery termowizyjne oraz bezzałogowe statki latające (BSL lub drony) – które mogą stać się podstawą nowej metody badań i monitoringu liczebności populacji dzikich zwierząt. Choć pierwsze próby wykorzystania termowizji do inwentaryzacji dużych saków podjęto już pod koniec lat 60 (Croon i in. 1968; Brooks 1972), to jednak dopiero teraz znaczne obniżenie cen kamer termowizyjnych, a także poprawa ich parametrów technicznych, umożliwiły zastosowanie ich na szerszą skalę. Współczesne kamery termowizyjne oferują rozdzielczość obrazu rzędu 640×480 pikseli przy rozdzielczości termicznej poniżej 0,1°C, co wystarcza do identyfikacji dużych gatunków zwierząt na podstawie ich kształtu (Potvin i Breton 2005; Bernatas 2011; Mulero-Pázmány i in. 2014) i umożliwia wykorzystanie do monitoringu na obszarach zalesionych (Beaver i in. 2014). Podczas lotniczej inwentaryzacji jeleni wapiti (*Cervus canadensis*) w północnoamerykańskich lasach mieszanych, wykrywalność zwierząt na filmach termowizyjnych wynosiła od 76% do 100%, w zależności od wielkości chmury (Dahl 2008). Podobnie wysoką wykrywalność uzyskali Millette i in. (2011) prowadząc próbną inwentaryzację łosia *Alces alces* za pomocą zamontowanego na pokładzie samolotu zestawu złożonego z kamery termowizyjnej oraz cyfrowego aparatu fotograficznego o wysokiej rozdzielczości.

Dotychczasowe doświadczenia wskazują na duży potencjał termowizyjnej inwentaryzacji z powietrza (Kissell i Nimmo 2011), jednakże wykorzystanie do tego celu samolotów załogowych jest problematyczne. Zależność od infrastruktury lotnisk, duże koszty eksploatacji, a także względy bezpieczeństwa ograniczające wykorzystanie samolotów załogowych głównie do lotów dziennych powodują, że lotnicza inwentaryzacja zwierzyny nie jest powszechnie stosowana. Ograniczenia te nie dotyczą dronów, które do startu i lądowania nie wymagają lotnisk, mogą bezpiecznie latać w nocy i na niskich pułapach, a ich eksploatacja jest znacznie tańsza niż w przypadku samolotów załogowych. Z tych powodów drony uznawane są za najbardziej obiecującą technologię, mogącą w najbliższej przyszłości zrewolucjonizować metody badań dzikich zwierząt (Anderson i Gaston 2013). Drony, podobnie jak termowizja, początkowo były wykorzystywane wyłącznie przez wojsko, jednak w ciągu ostatniej dekady tego typu sprzęt zaczęto także stosować do zadań cywilnych, m.in. do szeroko rozumianego monitoringu środowiska, a krąg ich zastosowań stale się rozszerza (Whitehead i in. 2014).

Wykorzystanie dronów do badań i monitoringu dzikich zwierząt jest ciągle w fazie eksperymentalnej, jako że pierwsze próby tego typu miały miejsce zaledwie kilkanaście lat temu (Jones i in. 2006). Dotychczas były one głównie wykorzystywane w badaniach ptaków (Jones i in. 2006; Chabot i Bird 2012; Sardà-Palomera i in. 2012; Hodgson i in. 2016; McEvoy i in. 2016) i ssaków morskich (Koski i in. 2009; Hodgson i in. 2013). Przykłady wykorzystania dronów do badań ssaków kopytnych są ciągle nieliczne (Watts i in. 2010; Barasona i in. 2015; Patterson i in. 2015). W większości badań używano mało zaawansowanych dronów (zarówno płatowców, jak i wielowirnikowców), wyposażonych w aparaty cyfrowe lub kamery rejestrujące obraz w barwach widzialnych. Kamery termowizyjne stosowane były jedynie sporadycznie (Israel 2012; Mulero-Pázmány i in. 2014; Gonzalez i in. 2016). Tymczasem, połączenie bezzałogowych samolotów i termowizji daje szansę na stworzenie nowoczesnej, stosunkowo niedrogiej i precyzyjnej metody monitorowania populacji dzikich zwierząt, możliwej do wykorzystania zarówno do celów zarządzania populacjami zwierzyny łownej, jak i do badań ekologicznych i ochrony gatunków. Potencjalnie, metoda wykorzystująca obie te technologie pod wieloma względami może przewyższać tradycyjne liczenia z samolotu, a także inne (naziemne) metody badań i inwentaryzacji zwierząt. Do zalet takiej metody należą:

1. Zwiększenie wykrywalności zwierząt – wykorzystanie detektora podczerwieni wraz z niskim pułapem lotów dronów (150-200 m) pozwala na uzyskanie zdjęć o większej rozdzielczości i szczegółowości.
2. Możliwość lotów nocą, czyli w czasie kiedy zwierzęta są najbardziej aktywne i łatwe do zaobserwowania.
3. Wydajność i efektywność – duże powierzchnie mogą być monitorowane w krótkim czasie przy stosunkowo niskich kosztach.
4. Bezpieczeństwo – brak ryzyka dla życia ludzkiego związanego z lotami nocą i na niskich wysokościach.
5. Zintegrowanie z systemem informacji geograficznej (GIS), co umożliwia zastosowanie zaawansowanych metod statystycznych do oszacowania zagęszczenia zwierząt (np. *multiple-covariate distance sampling* – Marques i Buckland 2003) oraz pozwala na analizę przestrzennego rozmieszczenia badanych gatunków w kontekście środowiskowym.
6. Nieinwazyjność – metoda nie wymaga łapania ani płoszenia zwierząt – drony są stosunkowo niewielkie i cechuje je cicha praca silnika.

7. Zaangażowanie nielicznego personelu – w przeciwieństwie do metod takich jak pędzenia próbnego lub tropienia na śniegu do operowania dronem konieczne są tylko dwie osoby.
8. Mała zmienność dokładności podczas kolejnych inwentaryzacji, jeśli kolejne loty wykonywane są o tej samej porze roku i w podobnych warunkach pogodowych.
9. Ograniczenie błędów ludzkich poprzez automatyzację liczenia zwierząt na zdjęciach.
10. Możliwość monitoringu w szerokim spektrum środowisk – na obszarach leśnych oraz na terenach trudnych do inwentaryzacji naziemnej ze względów logistycznych (np. na terenach podmokłych, w rezerwach).

Od 2015 r., wspólnie z firmą Taxus SI prowadzimy badania nad opracowaniem szczegółów i przetestowaniem metody inwentaryzacji ssaków kopytnych za pomocą kamery termowizyjnej zainstalowanej na pokładzie samolotu bezzałogowego. W badaniach wykorzystujemy samoloty bezzałogowe AVI-1 (fot. 1) oraz Skywalker X8 Flying Wing. AVI-1 jest głównym komponentem systemu BSL opracowanego przez firmę Taxus SI. Obydwa samoloty wyposażone są w GPS i nawigowane za pomocą autopilota. W trakcie startu i lądowania sterowane są za pomocą radia przez operatora naziemnego. Aby umożliwić loty nocne samoloty wyposażone zostały w oświetlenie LED. W dolnej części kadłuba zainstalowana jest kamera termowizyjna IRMOD v640 (matryca mikrobolometryczną 640×480 pikseli, zakres spektralny 8-14 μm) z obiektywem o ogniskowej 25 mm.

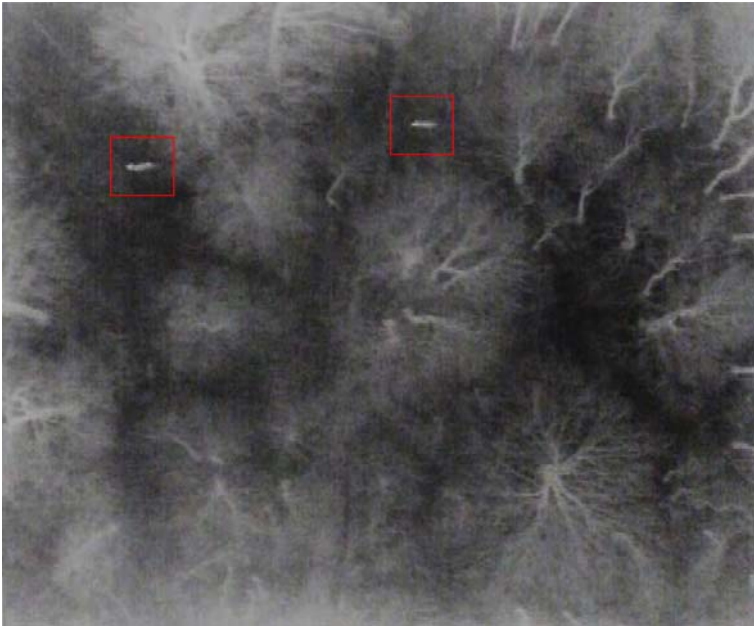


Fot. 1. Samolot bezzałogowy AVI-1 z widocznym oświetleniem LED
Photo 1. Unmanned aircraft AVI-1 with LED lights turned on

W kwietniu 2015 r. przeprowadziliśmy 5 lotów testowych nad obszarem Drawieńskiego Parku Narodowego (pułap 150 m). Cztery loty wykonano samolotem AVI-1 w godzinach: 06:15-06:55, 07:32-08:16, 12:20-13:23 i 18:50-19:49, piąty lot wykonano samolotem Skywalker X8 w godz. 22:36-23:04. Loty wykonano nad obszarami, które zostały wskazane przez pracowników DPN jako najbardziej prawdopodobne obszary bytowania kopytnych. Zarejestrowane podczas lotów filmy termowizyjne przeanalizowane zostały przez trzech obserwatorów, którzy wyszukiwali na filmach sygnatury termalne zwierząt, w każdym przypadku notując czas i liczbę zaobserwowanych sygnatur.

Wyniki pierwszych testów

Samoloty bezproblemowo wykonały loty według wcześniej zaprojektowanych tras rejestrując filmy termowizyjne, na których możliwe było rozpoznanie sygnatur kopytnych (fot. 2). Zgodnie z naszymi przewidywaniami godziny południowe okazały się najmniej odpowiednie do przeprowadzania inwentaryzacji w związku z niską aktywnością zwierząt, jak i niekorzystnymi warunkami termicznymi – nagrzane przez słońce korony drzew oraz powierzchnia ziemi znacząco utrudniały odnalezienie na termogramach sygnatur zwierząt. W rezultacie, na filmie zarejestrowanym w południe rozpoznaliśmy tylko pięć sygnatur, podczas gdy na pozostałych filmach pochodzących z godzin wczesno rannych oraz wieczornych i nocnych, wykryliśmy od 10 do 27 sygnatur. Zwierzęta zostały wykryte zarówno w bezlistnych drzewostanach liściastych, jak i drzewostanach iglastych o niepełnym zwarciu. Przeprowadzone testy pokazały, że latając w zasięgu wzroku na przyjętym pułapie 150 m, w czasie pojedynczego lotu można sfilmować transekty o łącznej powierzchni około 100-200 ha.



Fot. 2. Dwa osobniki zarejestrowane w bezlistnym drzewostanie liściastym (pułap 150 m)
Photo 2. Two animals detected in leafless deciduous forest (altitude 150 m)

Wnioski

Przeprowadzone testy potwierdziły podstawowe założenia proponowanej metody i przydatność dronów wyposażonych w kamery termowizyjne do inwentaryzacji kopytnych w lasach. Jednakże ujawniły też pewne ograniczenia opracowywanej metody:

1. Przepisy prawne ograniczające użycie dronów głównie do lotów w zasięgu wzroku (VLOS). Biorąc pod uwagę możliwości nowoczesnych akumulatorów wydłużających czas lotu do ponad 90 min. (zasięg około 90 km), wymóg latania w zasięgu wzroku powoduje, że możliwości samolotu nie są w pełni wykorzystywane. Oznacza to konieczność częstszego przemieszczania się zespołu obsługującego samolot, a tym samym większą liczbę startów i lądowań oraz stratę czasu na szukanie dogodnych miejsc startowych. Możliwość latania poza zasięg wzroku znacznie usprawniłaby projektowanie i wykonywanie inwentaryzacji.
2. Mniejsza wykrywalność zwierząt w drzewostanach iglastych. Odsłonięta powierzchnia, na której można wykryć zwierzęta jest w drzewostanach iglastych znacznie mniejsza, niż w bezlistnych drzewostanach liściastych, co może oznaczać konieczność znacznego zwiększenia długości/powierzchni inwentaryzowanych transektów w drzewostanach z przewagą drzew iglastych.
3. Zależność od warunków pogodowych. Silny wiatr nie tylko uniemożliwia wykonanie lotów, ale także wychładza powierzchnię ciała zwierząt obniżając kontrast termalny, co może utrudnić wykrycie sygnatur na zdjęciach (termogramach) i filmach termowizyjnych.
4. Ogromna ilość danych do analiz oraz trudności z identyfikacją gatunków. W trakcie jednego lotu rejestrowanych jest ponad 3 tys. termogramów lub około 60 minut filmu, co oznacza, że całkowita liczba danych uzyskanych po przeprowadzeniu inwentaryzacji na danym obszarze może wynieść kilkanaście tysięcy termogramów lub kilka godzin filmów. Ponieważ systematyczne przeglądanie takiej liczby termogramów/filmów przez obserwatorów byłoby wyjątkowo pracochłonne i podatne na błędy, konieczne jest opracowanie oprogramowania, które pozwoli na automatyczną detekcję i identyfikację sygnatur poszczególnych gatunków kopytnych.
5. Stosunkowo niska rozdzielczość kamer przekłada się na ograniczenia wydajności. Przy pułapie lotu 150 m oraz minimalnej rozdzielczości terenowej piksela rzędu 10 cm, szerokość fotografowanego pasa wynosi około 65 m. Kamery o większej rozdzielczości umożliwiłyby fotografowanie znacznie szerszego pasa (przy tej samej wysokości lotu i rozdzielczości terenowej piksela), tym samym zwiększając inwentaryzowaną powierzchnię w jednostce czasu. Biorąc pod uwagę szybki rozwój technologii kamer termowizyjnych jaki dokonał się w ciągu ostatnich kilku lat, należy się spodziewać, że kamery o większych rozdzielczościach wkrótce będą dostępne na rynku.

Pomimo stwierdzonych ograniczeń, termowizyjna inwentaryzacja z samolotu bezzałogowego pozostaje niezwykle obiecującą metodą badań i monitoringu dzikich kopytnych. Znajduje to potwierdzenie w coraz liczniejszych badaniach prowadzonych z użyciem kombinacji tych technologii (Christiansen i in. 2014; Mulero-Pázmány i in. 2014; Chrétien i in. 2016).

Podziękowania

Badania są współfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach 3 Konkursu Programu Badań Stosowanych – umowa nr PBS3/B8/18/2015.

Literatura

- Anderson K., Gaston K. J. 2013. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Front. Ecol. Environ.* 11: 138-146.
- Barasona J. A., Mulero-Pázmány M., Acevedo P., Negro J. J., Torres M. J., Gortázar C., Vicente J. 2015. Unmanned aircraft systems for studying spatial abundance of ungulates: Relevance to spatial epidemiology. *PLoS ONE* 9: e115608.
- Beaver J. T., Harper C. A., Kissell R. E., Muller L. I., Basinger P. S., Goode M. J., Van Manen F. T., Winton W., Kennedy M. L. 2014. Aerial vertical-looking infrared imagery to evaluate bias of distance sampling techniques for white-tailed deer. *Wildl. Soc. Bull.* 38: 419-427.
- Bernatas S. 2011. "We can see a deer's ears from here" - wildlife inventories using infrared aerial cameras. *Wildlife Professional Summer*: 82-84.
- Brooks J. W. 1972. Infra-red scanning for polar bear. *International Conference on Bear Research and Management* 2: 138-141.
- Chabot D., Bird D. M. 2012. Evaluation of an off-the-shelf unmanned aircraft system for surveying flocks of geese. *Waterbirds* 35: 170-174.
- Chrétien L.-P., Théau J., Ménard P. 2016. Visible and thermal infrared remote sensing for the detection of white-tailed deer using an unmanned aerial system. *Wildl. Soc. Bull.* 40: 181-191.
- Christiansen P., Steen K., Jørgensen R., Karstoft H. 2014. Automated detection and recognition of wildlife using thermal cameras. *Sensors* 14: 13778.
- Croon G. W., McCullough D. R., Olson C. E., Queal L. M. 1968. Infrared scanning techniques for big game censusing. *J. Wildl. Manage.* 32: 751-759.
- Dahl L. M. 2008. Using forward-looking infrared radiography to estimate elk density and distribution in eastern Kentucky. MS Thesis, University of Kentucky, Lexington.
- Gonzalez L., Montes G., Puig E., Johnson S., Mengersen K., Gaston K. 2016. Unmanned aerial vehicles (UAVs) and artificial intelligence revolutionizing wildlife monitoring and conservation. *Sensors* 16: 97.
- Hodgson A., Kelly N., Peel D. 2013. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying marine fauna: A dugong case study. *PLoS ONE* 8: e79556.
- Hodgson J. C., Baylis S. M., Mott R., Herrod A., Clarke R. H. 2016. Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports* 6: 22574.
- Israel M. 2012. A UAV-based roe deer fawn detection system. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XXXVIII-1/C22: 51-55.
- Jones G. P. I. V., Pearlstone L. G., Percival H. F. 2006. An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research. *Wildl. Soc. Bull.* 34: 750-758.
- Kissell R. E., Nimmo S. K. 2011. A technique to estimate white-tailed deer *odocoileus virginianus* density using vertical-looking infrared imagery. *Wildl. Biol.* 17: 85-92.
- Koski W. R., Allen T., Ireland D., Buck G., Smith P. R., Macrender A. M., Halick M. A., Rushing C., Sliwa D. J., McDonald T. L. 2009. Evaluation of an unmanned airborne system for monitoring marine mammals. *Aquat. Mamm.* 35: 347-357.
- Marques F. F. C., Buckland S. T. 2003. Incorporating covariates into standard line transect analyses. *Biometrics* 59: 924-935.
- McEvoy J. F., Hall G. P., McDonald P. G. 2016. Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: Disturbance effects and species recognition. *PeerJ* 4: e1831.
- Millette T. L., Slaymaker D., Marcano E., Alexander C., Richardson L. 2011. AIMS-thermal - a thermal and high resolution color camera system integrated with GIS for aerial moose and deer census in northeastern Vermont. *Alces* 47: 27-37.
- Mulero-Pázmány M., Stolper R., van Essen L. D., Negro J. J., Sassen T. 2014. Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa. *PLoS ONE* 9: e83873.
- Patterson C., Koski W., Pace P., McLuckie B., Bird D. M. 2015. Evaluation of an unmanned aircraft system for detecting surrogate caribou targets in Labrador. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 4: 53-69.
- Potvin F., Breton L. 2005. Testing 2 aerial survey techniques on deer in fenced enclosures: Visual double-counts and thermal infrared sensing. *Wildl. Soc. Bull.* 33: 317-325.

- Sardà-Palomera F., Bota G., Viñolo C., Pallarés O., Sazatornil V., Brotons L., Gomáriz S., Sardà F. 2012. Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems. *Ibis* 154: 177-183.
- Watts A. C., Perry J. H., Smith S. E., Burgess M. A., Wilkinson B. E., Szantoi Z., Ifju P. G., Percival H. F. 2010. Small unmanned aircraft systems for low-altitude aerial surveys. *J. Wildl. Manage.* 74: 1614-1619.
- Wawrzyniak P., Jêdrzejewski W., Jêdrzejewska B., Borowik T. 2010. Ungulates and their management in Poland. W: Apollonio M., Andersen R., Pulman R. (red.), *European ungulates and their management in the 21st century*. Cambridge University Press, Cambridge: 223-242.
- Whitehead K., Hugenholtz C. H., Myshak S., Brown O., LeClair A., Tamminga A., Barchyn T. E., Moorman B., Eaton B. 2014. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: Scientific and commercial applications. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 2: 86-102.

Stanisław Pagacz, Julia Witczuk

Muzeum i Instytut Zoologii Polskiej Akademii Nauk
spagacz@miiz.eu, juliawit@miiz.eu