

Opracowanie metody pozyskiwania danych teledetekcyjnych do oceny rozwoju flory obszarów chronionych

Studenckie Koło Naukowe Geografów UMCS im. Adama Malickiego w Lublinie

Autorzy

Anna Szalewicz
Ewelina Kruszczyńska
Jakub Alinowski
Jakub Wielgus
Jan Cebula
Patrycja Steć
Piotr Marian Urbański
Sara Torój
Tomasz Szafran

Redakcja

Piotr Marian Urbański

Opieka merytoryczna

dr Piotr Demczuk

Czerwiec 2022 r.



**Ministerstwo
Edukacji i Nauki**

Dofinansowano przez Ministra Edukacji i Nauki
ze środków budżetu państwa w ramach programu
"Studenckie Koła Naukowe Tworzą Innowacje"

Spis treści

Założenia merytoryczne projektu „Opracowanie metody pozyskiwania danych teledetekcyjnych do oceny rozwoju flory obszarów chronionych”	3
Wprowadzenie do tematyki teledetekcji niskopułapowej.....	11
Prawne aspekty wykonywania lotów przy użyciu bezzałogowych statków powietrznych (UAV)	22
Środowisko przyrodnicze Rostoczańskiego Parku Narodowego	39
Środowisko przyrodnicze Poleskiego Parku Narodowego	63
Warunki klimatyczne Rostocza i Polesia w kontekście wykonywania lotów przy użyciu bezzałogowych statków powietrznych (UAV)	82
Flory Poleskiego i Rostoczańskiego Parku Narodowego jako przedmiot badań oraz czynnik decydujący o jakości zobrażeń przy użyciu UAV	95
Zagrożenia i możliwości badań z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (UAV) w kontekście awifauny	116
Założenia metody pozyskiwania danych teledetekcyjnych do oceny rozwoju flory obszarów chronionych na przykładzie Poleskiego i Rostoczańskiego Parku Narodowego	131
Algorytm	196

Założenia merytoryczne projektu „Opracowanie metody pozyskiwania danych teledetekcyjnych do oceny rozwoju flory obszarów chronionych”

Jan Cebula

Przedmiot projektu i cele

Przedmiotem pracy tej publikacji jest stworzenie instrukcji pozyskiwania danych przestrzennych o wysokiej rozdzielczości z obszarów chronionych. Należy uwzględnić, że obszary są niedostępne do badań terenowych ze względu na specyfikę żyjących tam gatunków fauny i flory; człowiek na tych obszarach jest traktowany jako „nieproszony gość”. Zdjęcia lotnicze oraz zobrazenia multispektralne badanych fragmentów miejsc będą pozyskiwane za pomocą bezzałogowych systemów latających. Zostaną przedstawione zagadnienia z odpowiedniego przygotowania do wykonywania badań, wykonywania bezpiecznych nalołów nad obszarami chronionymi z uwzględnieniem warunków klimatycznych oraz flory Rostocza i Polesia. Zostaną poruszone prawne aspekty latania platformami UAV (ang. unmanned aerial vehicle) w procesie uzyskiwania wymaganych uprawnień czy pozwoleń. Do uzyskiwania zdjęć lotniczych (RGB) oraz zdjęć wielospektralnych będą wykorzystywane profesjonalne bezzałogowe systemy latające Birdie Geo (Ryc. 1.1) eBee X (Ryc. 1.2). Do wykonywania zdjęć (RGB) wykorzystywany był cyfrowy aparat typu bezlusterkowiec Sony α6000 (Ryc. 1.3), a do zobrażeń multispektralnych kamera Micasense RedEdge-M (Ryc. 1.4).

Ryc. 1.1. Birdie Geo



Źródło: https://www.flytechuav.pl/files/upload/images/700x366xlinkedin_post--4-.png.pagespeed.ic.jO4zwuIMrM.webp

Ryc. 1.2. eBee X



Źródło: https://aeromind.pl/pol_pm_Kamera-multispektralna-Micasense-RedEdge-M-11648_1.jpg

Ryc. 1.3. Aparat Sony a6000



Źródło: opracowanie własne

Ryc 1.4. Kamera multispektralna Micasense ReadEdge M



Źródło: https://aeromind.pl/pol_pm_Kamera-multispektralna-Micasense-RedEdge-M-11648_1.jpg

Obszary, które zostały wykorzystane do opracowania metodyki to dwa odmienne tereny pod względem warunków środowiskowych oraz teledetekcyjnych. Są to obszary wodno-błotne Poleskiego Parku Narodowego (PPN) oraz nieleśne zbiorowiska roślinne Roztoczańskiego Parku Narodowego (RPN). Prace na terenie PPN-u obejmowały zjawisko sukcesji jezior tzw. zarastania tafli wody przez rośliny wodne i będą wykonywane na obszarze 4 jezior: Jeziora Długie, Jezioro Karaśne, Jezioro Łukie i Jezioro Moszne. Na terenie RPN-u badania będą obejmowały zbiorowiska leśne, zjawiska wtórnej sukcesji leśnej oraz zdrowotności drzewostanu na obszarach porolnych pogranicza parku i otuliny. Wybór obiektów do badań był konsultowany z władzami obydwu parków. Efektem opracowywania instrukcji są mapy roślinności w różnych okresach wegetacji. Zebrane materiały zostaną porównane z archiwalnymi danymi. W realizacji projektu brali udział członkowie Studenckiego Koła Naukowego im. Adama Malickiego pod opieką dr Piotr Demczuka, działające na Wydziale Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej (UMCS) w Lublinie. Pomoc w realizacji projektu udzielił nam dr hab. Piotr Zagórski prof. UMCS poprzez naloty za pomocą platformy eBee X i pomoc w korzystaniu z oprogramowania. Wszystkie planowane działania, ich zakres oraz ich problematyka były szczegółowo omawiana z władzami PPN-u oraz RPN-u.

Cele projektu

Cele szczegółowe projektu:

- akwizycja danych przy pomocy bezzałogowego systemu latającego z różnych wysokości nalogu, do oceny jakości zdjęć oraz zobrazowań multispektralnych przy rozpoznawaniu gatunków roślin w Poleskim Parku Narodowym oraz Roztoczańskim Parku Narodowym;
- akwizycja danych przy pomocy bezzałogowego systemu latającego z różną prędkością nalogu, do oceny jakości zdjęć oraz zobrazowań multipektralnych przy rozpoznawaniu gatunków roślin w Poleskim Parku Narodowym oraz Roztoczańskim Parku Narodowym;
- akwizycja danych przy pomocy bezzałogowego systemu latającego o różnych porach dnia, do oceny jakości zdjęć oraz zobrazowań multispektralnych przy rozpoznawaniu gatunków roślin w Poleskim Parku Narodowym oraz Roztoczańskim Parku Narodowym,
- akwizycja danych przy pomocy bezzałogowego systemu latającego w różnych porach sezonu wegetacyjnego, do oceny jakości zdjęć oraz zobrazowań multispektralnych przy rozpoznawaniu gatunków roślin w Poleskim Parku Narodowym oraz Roztoczańskim Parku Narodowym;
- przeprowadzenie kwerendy dotyczącej zdjęć lotniczych oraz innych danych teledetekcyjnych obiektów badawczych w Poleskim Parku Narodowym oraz Roztoczańskim Parku Narodowym,
- opracowanie algorytmu do wykonywania poprawnych nalogów badawczych przy użyciu bezzałogowego systemu latającego nad obszarami chronionymi na podstawie zebranych danych przestrzennych (zdjęcia RGB i dane multispektralne);
- opracowanie wysokorozdzielczych map zbiorowisk roślinnych obiektów badawczych w Poleskim Parku Narodowym oraz Roztoczańskim Parku Narodowym;
- analiza tempa sukcesji sezonowej oraz wieloletniej (na podstawie danych archiwalnych) roślinnej obiektów badawczych w Poleskim Parku Narodowym oraz Roztoczańskim Parku Narodowym.

Harmonogram

Tab 1.1. Harmonogram realizacji projektu

Data	Wydarzenie
22.06.2021	Rozpoczęcie realizacji projektu
27.07.2021-28.07.2021	Szkolenie teoretyczne w zakresie uzyskania świadectwa kwalifikacji operatora drona
29.07.2021-30.07.2021	Szkolenie praktyczne w zakresie uzyskania świadectwa kwalifikacji operatora drona
30.08.2021	Zakup bezzałogowej platformy latającej Birdie Geo oraz aparatu Sony A6000
10.03.2022	Wprowadzenie strefy zakazów lotów dronami nad częścią województwa lubelskiego
9.06.2022	Przedstawienie rezultatów projektu na zorganizowanej Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Współczesne metody monitoring i ochrony obszarów cennych przyrodniczo”
21.06.2022	Wydanie opracowania instrukcji do wykonywania najefektywniejszych lotów, pozyskiwania zobrażeń teledetekcyjnych w obszarach chronionych
21.06.2022	Zakończenie realizacji projektu

Tab 1.2. Historia wyjazdów terenowych na naloty.

L.p.	Data	Miejsce
1	16.08.2021	Guciów, Obrocz
2	02.09.2021	Karaśne, Moszne
3	03.09.2021	Obrocz (awaria)
4	07.10.2021	Obrocz
5	11.10.2021	Łukie
7	22.11.2021	Karaśne (awaria)
8	23.11.2021	Czarny Żagon
9	09.12.2021	Sochy
10	13.12.2021	Długie
12	30.04.2022	Długie
13	09.05.2022	Moszne
14	30.05.2022	Łukie
15	01.06.2022	Józefin
16	02.06.2022	Cichobórz
17	03.06.2022	Czermno
18	04.06.2022	Opoka

Organizacja Badań

Na początku zostały przeprowadzone szkolenia dla dwóch osób w zakresie uzyskania Świadectwa kwalifikacji operatora drona UAVO w zakresie VLOS i BVLOS. Po uzyskaniu kwalifikacji i zakupie platformy latającej Birdie Geo wraz z aparatem Sony α6000 rozpoczęto zbieranie danych przestrzennych za pomocą nalotów. Do nalotów wykorzystywano również jako wsparcie platformę latającą eBee X oraz kamera Micasense RedEdge-M znajdujących się w zasobach Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej. Wyjazdy na naloty składały się z jedno- lub dwudniowych wyjazdów. Noclegi odbywały się w Stacji Naukowej UMCS w Guciowie. Po wykonanym nalocie zdjęcia były składane w oprogramowaniu Agisoft PhotoScan. Analiza otrzymanych ortofotomap odbywała się w ArcMap. Dokonano analizy prawnych zagadnień latania bezzałogowymi statkami powietrznymi, jakie obecnie obowiązują w kwestii pozwoleń, licencji czy obostrzeń. Dokonywaniu badań warunków środowiska przyrodniczego w kwestiach wpływu klimatu na naloty, bezpieczeństwa ornitofauny w kontekście zagrożenia związanych ze statkami czy czynników flory jako przedmiotów badań.

Ryc 1.5 Szkolenie praktyczne z obsługi quadrocoptera



Źródło: opracowanie własne

Ryc 1.6 Przedstawienie platformy Birdie Geo



Źródło: opracowanie własne

Ryc 1.7 Przedstawienie platformy Birdie Geo



Źródło: opracowanie własne.

Ryc. 1.8 Nauka obsługi platformy Birdie Geo



Źródło: opracowanie własne

Wprowadzenie do tematyki teledetekcji niskopułapowej

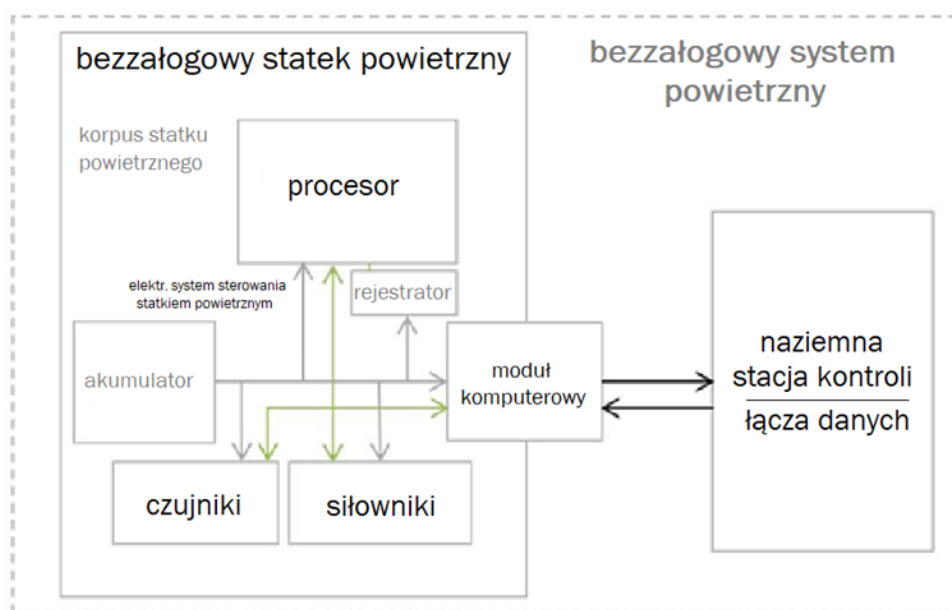
Jakub Wielgus

Pojęcia wstępne

UAV a UAS. Podstawowe klasyfikacje UAV

Do pojęć bez wątpienia elementarnych w tematyce teledetekcji niskopułapowej należy dron, a właściwie bezzałogowy statek powietrzny (BSP, częściej UAV, ang. *Unmanned Aerial Vehicle*). UAV jest jedynie częścią bezzałogowego systemu powietrznego (UAS, ang. *Unmanned Aerial System*). Oprócz statku powietrznego składa się on z komponentów takich jak: naziemna stacja kontroli (GSC, ang. *Ground System Control*) obsługiwana przez operatora, system komunikacji między GSC a UAV, wymienny ładunek, stosowany w zależności od charakteru realizowanej misji, oprogramowanie do przetwarzania zbieranych danych czy sprzęt pomocniczy do obsługi i transportu całego systemu (Pandalea i in., 2017). Przykładowy schemat UAS obrazuje Ryc. 2.1.

Ryc. 2.1. Przykładowy bezzałogowy system powietrzny (UAS).



Źródło: Tłumaczenie własne na podstawie Pandalea i in., 2017

Dron, już ze swojej semantycznej definicji, jest to urządzenie poruszające się drogą powietrzną bez konieczności obecności na jego pokładzie pilota ani reszty załogi. Jak łatwo

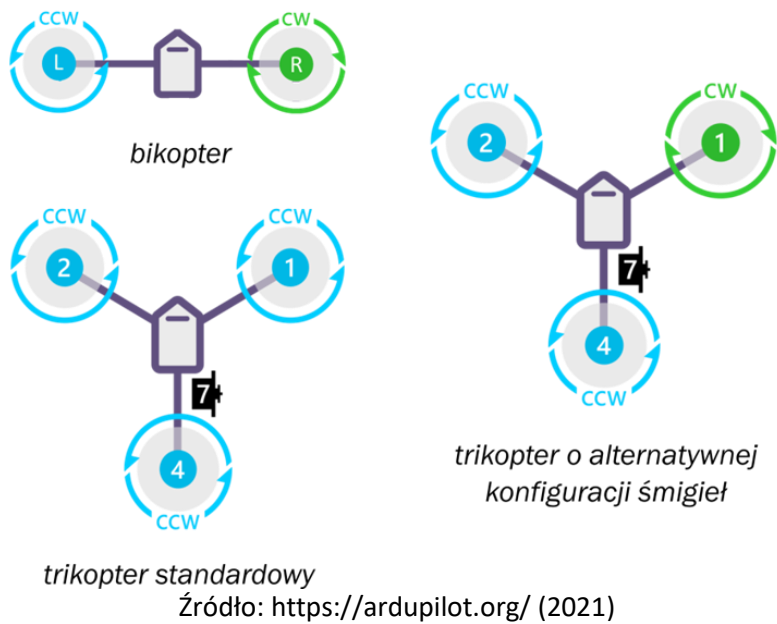
zatem dostrzec, pojęcie dron jest niezwykle szerokie i zawiera szereg urządzeń o rozmaitych właściwościach. Wszystkie je łączy cecha, że są one sterowane na odległość przez pilota – operatora (UAVO, ang. *Unmanned Aerial Vehicle Operator*).

Węższą grupą wyodrębnianą w ramach rodziny dronów są multikoptery, w literaturze polskojęzycznej spotykane również pod nazwą dronów wielowirnikowych. Multikopter to taki bezzałogowy statek powietrzny, który w celu uzyskania siły nośnej korzysta z wielu śmigieł (wirników, rotorów). Podstawową klasyfikacją dronów wielowirnikowych jest podział właśnie przez wzgląd na liczbę tych śmigieł. Wyróżnia się zatem multikoptery dwuśmigłowe – bikopty, trzyśmigłowe – trikopty, czterośmigłowe – kwadrokoptery, sześćśmigłowe – heksakoptery czy ośmiośmigłowe – oktokoptery (Audronis 2014). Współcześnie to kwadrokoptery są jednymi z najbardziej popularnych dronów. Wykorzystuje je chociażby innowacyjny polski projekt AirVein (z ang. *air* – powietrze, *vein* – żyła) – autonomiczny system transportu krwi pomiędzy szpitalami (www.airvein.io 2022).

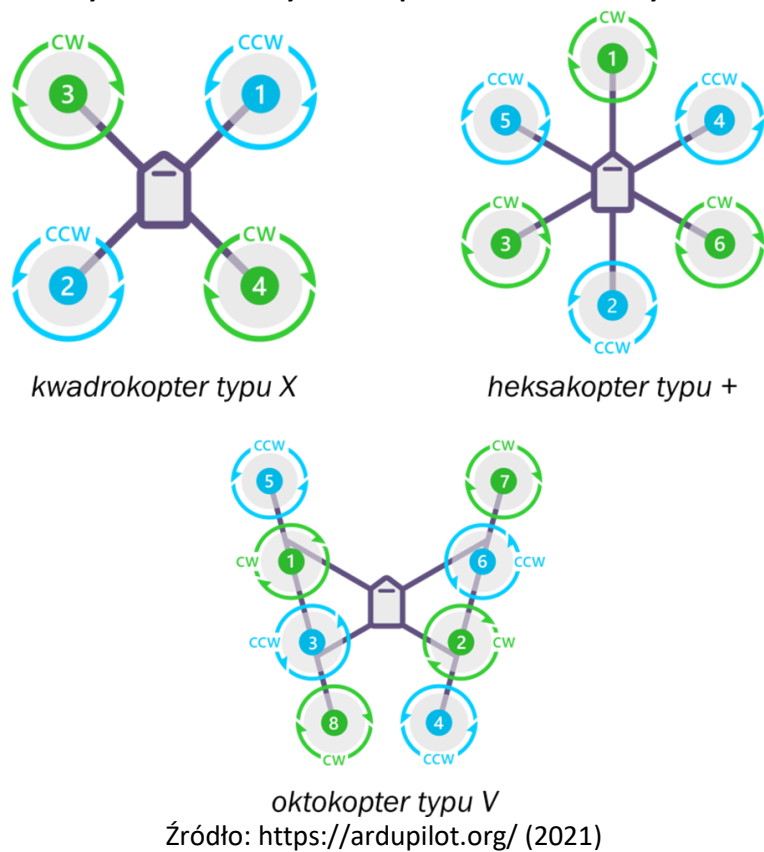
Uproszczony schemat działania wybranych rodzajów multikopterów prezentują ryciny 2.2 i 2.3. Na załączonych rycinach zastosowano jednolity system oznaczeń. Kierunek obrotu poszczególnego wirnika jest zgodny z kierunkiem wskazywanym przez grot strzałki. Dodatkowo, śmigła o kierunku ruchu zgodnym z kierunkiem ruchu wskazówek zegara oznaczono CW (ang. *clockwise rotation*), natomiast o kierunku przeciwnym – CCW (ang. *counter-clockwise rotation*).

Typologia dronów wielowirnikowych o czterech i więcej śmigłach zakłada ich nazewnictwo zgodnie ze znakami alfanumerycznymi, jakie przypomina układ ich wirników nośnych (np. typ X, typ +, typ V, typ H i inne) (www.ardupilot.org 2021).

Ryc. 2.2. Schematy multikopterów <4-wirnikowych.



Ryc. 2.3. Schematy multikopterów ≥ 4 -wirnikowych.



Drugą kategorią UAV są śmigłowce wraz z monokopterami (dronami jednowirnikowymi), a więc są to takie drony, które posiadają jeden wirnik nośny. Mogą one

posiadać również drugi wirnik – ogonowy. Drony – śmigłowce wyglądem przypominają bezzałogowe helikoptery, a monokoptery wykorzystują pojedynczą, obracającą się łopatę na wzór dynamicznej samary klonu. Urządzenia tej kategorii oraz wcześniej przedstawione multikoptery charakteryzują się pionowym startem i lądowaniem, jednak to śmigłowce zazwyczaj mogą dłużej utrzymać się w powietrzu.

Trzecią i ostatnią grupę UAV stanowią natomiast płatowce (drony stałopłatowe). Wykorzystywane najczęściej w celach militarnych (zarówno w działaniach rozpoznawczych, zwiadowczych, jak i bojowych), używają one skrzydeł na wzór i podobieństwo samolotu. W ostatnich latach płatowce znajdują także coraz szersze zastosowania w badaniach metodami nieinwazyjnymi. Cechują się najdłuższym czasem lotu ze wszystkich dronów i przez to stosuje się je do skanowania dużych obszarów. Charakteryzuje je odmienny względem pozostałych kategorii UAV start i lądowanie. Start odbywa się z ręki bądź, w przypadku większych urządzeń, z wyrzutni, natomiast lądowanie poprzez wyznaczenie ścieżki autonomicznego lądowania na wyznaczonym obszarze.

Powyższe rozważania klasyfikacyjne systematyzuje tabela 2.1.

Tab. 2.1. Podstawowa klasyfikacja dronów (UAV) przez wzgląd na wybrane charakterystyki.

	multikoptery	śmigłowce	płatowce
wirniki (łącznie)	≥2	1-2	-
w tym wirniki nośne	≥2	1	-
skrzydła	NIE	NIE	TAK
start	pionowy	pionowy	z ręki / z wyrzutni
lądowanie	pionowe	pionowe	przez wyznaczenie ścieżki podejścia do lądowania
czas lotu	krótki (poniżej 2 h)	do 2 h	do kilku h

Opracowanie własne na podstawie: <https://bzbuas.com/blog/aktualnosci/co-to-jest-uav-uas-bezzałogowe-statki-powietrzne/> (dostęp: 01.06.2022))

Fotogrametria i teledetekcja

Zarówno fotogrametria, jak i teledetekcja to pojęcia stosunkowo młode. Zapewne Louis Jacques Daguerre wraz z Josephem Nicéphorem Niépce nie przypuszczali na przełomie 2. i 3. dekady XIX wieku, że ich odkrycie dagerotypii (pierwszej metody fotograficznej) zapoczątkuje zupełnie nową dziedzinę nauki o niebagatelnym znaczeniu dla świata. Dziedzinę, a nie dziedziny, ponieważ różnice pomiędzy tymi pojęciami są na tyle małe, że w 1998 r.

środowiska naukowe na XVI Kongresie Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji w Kioto doszły do konsensusu, aby podawać ich wspólną definicję, która prezentuje się następująco (za Tokarczyk 2008):

„Fotogrametria i teledetekcja to dziedziny nauk technicznych zajmujące się zdalnym pozyskiwaniem wiarygodnych informacji o obiektach fizycznych i ich otoczeniu drogą rejestracji, pomiaru i interpretacji obrazów i zdjęć.”

Mimo to możliwe jest rozróżnienie tych dwóch pojęć. Fotogrametria odtwarza kształt, rozmiar i wzajemne położenie ciał fizycznych o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego ($-273,15^{\circ}\text{C} = 0\text{K}$), a więc emitujących promieniowanie elektromagnetyczne. Wykonuje to na podstawie zdjęć fotogrametrycznych, to jest zdjęć wykonanych zgodnie z pokładem specjalnie do tego celu zaadaptowanego obiektu latającego (np. UAV, ale też i samolotu) wyposażonego w aparaturę nawigacyjną, kamerę pomiarową i odpowiednie przyrządy pomocnicze (Tokarczyk 2008). Teledetekcja, wykorzystując właściwości promieniowania elektromagnetycznego, zdalnie pozyskuje, przetwarza i interpretuje dane jakościowe dotyczące elementów określonego środowiska geograficznego (Zawiła-Niedźwiedzki 2010). Fotogrametria jest starsza niż teledetekcja. Pierwsze zdjęcia fotogrametryczne wykonano jeszcze w 1859 r., a już w latach 20. XX wieku Kasper Weigel z Politechniki Lwowskiej opracował z wykorzystaniem stereofotogramów mapę Tatr, co uznaje się za początek fotogrametrii w Polsce (Zawiła-Niedźwiedzki 2010). Pojęcie teledetekcji (ang. *remote sensing*) zostało wprowadzone dopiero w drugiej połowie XX wieku przez amerykańską geograf badawczą Evelyn Lord Pruitt. Początkowo oznaczało nie więcej niż obserwację i pomiar obiektów odfotografowanych na zdjęciach lotniczych, a dopiero z czasem nabrało współczesnego znaczenia (Ciołkosz 2008). Chcąc maksymalnie uprościć powyższe rozważania, należałoby stwierdzić, iż fotogrametria mierzy, natomiast teledetekcja wykrywa i identyfikuje obiekty w przestrzeni fizycznej ujętej na zdjęciu pomiarowym.

Geneza badań metodami nieinwazyjnymi

Historia bezzałogowych statków powietrznych (UAV) sięga czasów antycznych. Za symboliczny początek współczesnej „ery dronów” uważa się rok 1898 r. i sterowany falami radiowymi teleautomaton Nikoli Tesli (Gnaś 2022), jednak człowiek już w starożytności

zapraǳał wzbić się w powietrze, co więcej, zapraǳał, aby ponad powierzchnię wzniosła się lekka niczym ptak maszyna.

Archytas z Tarentu zaprojektował w IV wieku p.n.e. archetypiczny dron, który uznaje się za pierwszą autonomiczną maszynę latającą starożytności. „Latająca gołębnca”, jak nazwano wynalazek greckiego uczonego, posiadała aerodynamiczny kształt i napęd parowy, co zapewniało jej maksymalną możliwą prędkość lotu i możliwość pokonania odległości kilkuset metrów (Gelliusz 1927).

Szkice pierwszych prototypów helikopterów kreślił niecałe dwa tysiąclecia później włoski geniusz epoki odrodzenia, Leonardo da Vinci. Zakładał on wykorzystanie śruby Archimedes, która miałaby przy pomocy spiralnego wirnika nacierać na powietrze i w ten sposób uzyskać lot. Na przełomie XV i XVI wieku na Półwyspie Apenińskim brakowało jednak technologii pozwalających mu urzeczywistnić te projekty. Dopiero w latach 2019-2022 uczeni z Uniwersytetu w Maryland skonstruowali bezzałogowy statek powietrzny bazując na koncepcie da Vinciego (Shankland 2022). Dalszy rozwój proto-dronów to już XVIII i XIX wiek. Helikoptery Michaiła Łomonosowa (1754), sir George’a Cayleya (1796) i Henry’ego Brighta (1859) posiadały dziś rzadko stosowany układ koaksjalny (z drugim wirnikiem w jednej osi o obrocie w przeciwną stronę zamiast ogona z tylnym rotorem) (Bukowski, Szala 2018).

Antyaustriackie powstanie wybuchło w czasie Wiosny Ludów 1848 r. w Królestwie Lombardzko-Weneckim i proklamacja Republiki Świętego Marka przyniosła pierwszą nowożytną próbę zastosowania bezzałogowych statków powietrznych na polu bitwy. Próbę, ponieważ austriacki plan przeniesienia ładunków wybuchowych nad Wenecję za pomocą balonów na gorące powietrze zakończył się fiaskiem. Po starcie tych prototypowych dronów bojowych wiatr zmienił kierunek i żaden z nich nie dotarł zgodnie z przeznaczeniem z ładunkiem nad stolicę samowłańczej republiki (Bukowski, Szala 2018; Borkowski i in. 2018).

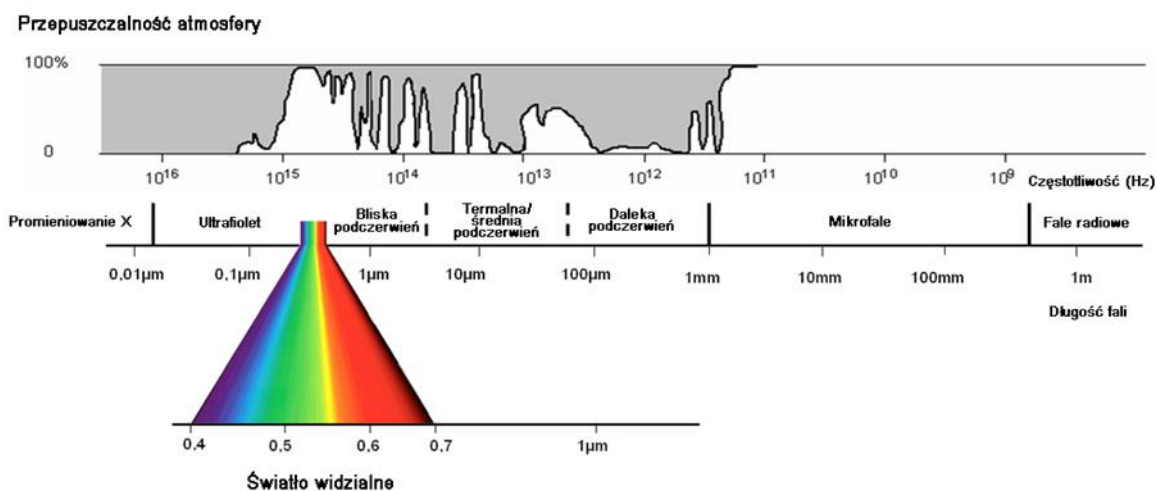
Prawdziwy przełom w rozwoju technologii UAV nastąpił w latach 30. XX wieku. Niespełniony aktor, Reginald Denny, zajął się biznesem, a konkretniej sprzedażą zabawkowych samolocików sterowanych falami radiowymi. Sukces pomysłu przerósł oczekiwania twórcy, toteż podjął on starania w celu budowy większych i bardziej zaawansowanych modeli samolotów sterowanych przez nadajnik radiowy, a następnie zaoferował je amerykańskiej

armii - jako ruchome cele do szkolenia obsługi dział przeciwlotniczych (Wilewski 2018). Druga wojna światowa tylko przyspieszyła rozwój urządzeń zdalnie sterowanych. W 1940 r. rozpoczęła się masowa produkcja Radioplane OQ-2 Denny'ego (Borkowski i in. 2018), a do 1945 r. osiągnęła ona już wymiary kilkunastu tysięcy sztuk (Wilewski 2018). Od lat 50. XX wieku drony zaczęły stanowić realną alternatywę dla samolotów załogowych na polach bitew. Równolegle do postępującego rozwoju zastosowań militarnych (Wietnam 1955–1975, Izrael 1973–1982, Zatoka Perska 1990–2003, Ukraina 2014–?), wraz z coraz szybciej postępującą eksploatacją środowiska przyrodniczego przez człowieka i refleksją na temat potrzeby jego skutecznej ochrony, dostrzeżono potencjał tkwiący w bezzałogowych statkach powietrznych (UAV), jako przydatnym narzędziem nienaruszającym w trakcie badań pierwotnej tkanki ekosystemu naturalnego. W dwóch pierwszych dekadach XXI wieku drony nabyły szereg zastosowań cywilnych, począwszy od inspekcji miejsc trudno dostępnych, po nawet kontrolę ruchu drogowego w czasie rzeczywistym, co ma na celu zmniejszenie liczby wypadków komunikacyjnych. Istnieją szacunki, że do 2050 r. drony będą stanowiły ponad 10% europejskiego rynku lotniczego (Borkowski i in. 2018).

Zastosowania teledetekcji niskopułapowej w badaniach metodami nieinwazyjnymi

Współcześnie, kiedy duży nacisk w środowisku badawczym kładzie się na minimalizowanie obecności człowieka podczas prowadzenia przedsięwzięć naukowych na terenach o szczególnym znaczeniu dla przyrody, teledetekcja znajduje wiele zastosowań. Jedną z podstawowych możliwości ich teoretycznej klasyfikacji jest ich uporządkowanie przez wzgląd na długość zastosowanej fali elektromagnetycznej. W tym celu można poszerzyć klasyfikację Świątkiewicza (1978) o przykłady bardziej współczesne związane z rozwojem nauki i techniki w ostatnich pięciu dekadach.

Ryc. 2.4. Spektrum elektromagnetyczne i przepuszczalność atmosfery



Źródło: Albertz 2007 po modyfikacjach za SEOS

Promieniowanie gamma sprawdzi się doskonale w badaniu defektów strukturalnych metali, natomiast fale Roentgena pozwalają określić występowanie i strukturę elementów chemicznych. Ultrafiolet i bliski ultrafiolet znajdują zastosowanie w badaniach zanieczyszczenia powierzchni wód olejami (szczególnie po katastrofalnych dla ekologii wyciekach z tankowców), rejestracji zawiesin w wodzie, jak i jej zabarwienia. Światło widzialne używane jest między innymi w rozpoznawaniu form geomorfologicznych, co jest dziś wykorzystywane w tworzeniu wizualizacji terenu 2,5D (3D), a następnie do opracowania numerycznych modeli terenu. Już w XX wieku było także przydatnym narzędziem w procesie wykrywania ośrodków jarzenia i absorpcji gazów. Światło widzialne wraz z bliską podczerwienią pozwoli na zdalną identyfikację roślin, szkód w stanie roślin i przysłuży się do określenia temperatury powierzchni terenu. Właściwości te zostały wykorzystane chociażby podczas katastrofalnych pożarów w Biebrzańskim Parku Narodowym w 2020 r., co pozwoliło częściowo zmniejszyć zakres strat w środowisku przyrodniczym (Partyła 2020). Używając podczerwieni naukowcy mogą określić chemiczny skład dużych złóż skalnych, a mikrofałe będą im przydatne w tworzeniu popularnych dziś map radarowych poprzez określanie struktur terenowych. Ponadto, wraz z falami ultrakrótkimi i częściowo krótkimi mogą mieć niebagatelne znaczenie w procesie rozpoznawania obiektów radioastronomicznych (Świątkiewicz 1978).

W procesie teledetekcji niskopułapowej najczęściej wykorzystuje się bliski ultrafiolet, światło widzialne i podczerwień, a więc fale elektromagnetyczne o długości pomiędzy 0,3 μm

a 22 μm . Zakres ten nazywa się zakresem optycznym, ponieważ w procesie jego rejestracji wykorzystywane są sensory optyczne – głównie kamery i skanery (Zawiła-Niedźwiedzki 2010).

Spośród mnogości współczesnych przykładów praktycznych zastosowań teledetekcji niskopułapowej w badaniach metodami nieinwazyjnymi warto wymienić chociażby drony będące platformami do prowadzenia badań nad jakością powietrza. Współczesne UAV mogą posiadać obok sensorów także wbudowane pojemniki do poboru próbek powietrza, a dzięki ich specyfikacji technicznej są zdolne pozyskiwać takowe próbki również z miejsc niebezpiecznych lub fizycznie nieosiągalnych dla człowieka (Berner, Chojnacki 2017). Działania ochronne w zakresie jakości powietrza (szczególnie dotyczące walki ze smogiem) z użyciem bezzałogowych statków powietrznych podjęty w ostatnim czasie rozliczne samorządy zarówno wielkich metropolii, jak i mniejszych ośrodków miejskich.

Możliwość zastosowania dronów do skanowania olbrzymich połaci terenu sprawiła, że bezzałogowe statki powietrzne stały się podstawowym narzędziem w ocenie liczebności różnorodnych gatunków zwierząt, w tym tych wędrownych. Pozyskiwanie danych przestrzennych to kolejna z funkcjonalności UAV w tym aspekcie. Oprócz standardowych danych o pokryciu terenu współcześnie to właśnie dzięki dronom lokalizuje się niebezpieczne (najczęściej również nielegalne) składy odpadów i określa się miejsca zagrożone rychłymi katastrofami ekologicznymi pokroju wycieku toksycznych substancji.

Podsumowanie

Reasumując wszystkie aspekty podjętego tematu wprowadzenia do podstawowych zagadnień teledetekcji niskopułapowej można dojść do konkluzji, że ta wąska dyscyplina nauki i techniki rozwija się niezwykle prężnie i dynamicznie. Zebranie jej zasobów wiedzy w format zwięzłego artykułu bez jednoczesnego pomijania części kluczowych wątków staje się coraz trudniejszym zadaniem. Rynek dronów (UAV) oferuje dziś mnogość modeli przeznaczonych do konkretnych, specjalistycznych zastosowań, powoli zacierając różnice pomiędzy innowacyjnymi urządzeniami bezzałogowymi a tradycyjnymi, załogowymi helikopterami i samolotami. Teledetekcja niskopułapowa ma perspektywę stać się kluczową dziedziną nauki w XXI wieku, znajdując szereg zastosowań w badaniach metodami nieinwazyjnymi.

Bibliografia

- Albertz J., 2007. *Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- & Satellitenbildern*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- Audronis T., 2014. *Building Multicopter Video Drones*. Birmingham: Packt Publishing
- Berner B., Chojnacki J., 2017. *Monitorowanie zanieczyszczeń środowiska za pomocą dronów*, Bezpieczeństwo i Ekologia, 7-8
- Borkowski R., Łach A., Zwierzyna J., 2018. *Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w ratownictwie wodnym*, Bezpieczeństwo. Teoria i praktyka, 2
- Bukowski P., Szala G., 2018. *Bezzałogowe statki powietrzne – geneza, teraźniejszość i przyszłość*, Postępy w inżynierii mechanicznej, 6
- Ciołkosz A., 2008. Wstęp do teledetekcji, URL: <https://geoforum.pl/teledetekcja/teledetekcja> (dostęp: 01.06.2022)
- Gelliusz A. C., 1927. *Noctes Atticae*, tłum. Loeb Classical Library
- Gnaś H., 2022. *Historia dronów – od starożytności do projektów Tesli*, URL: <https://twojahistoria.pl/2022/03/28/historia-dronow-od-starozytnosci-do-projektow-tesli/> (dostęp: 01.06.2022)
- Pandalea M., Boscoianu M., Frățiță M-M., Vladareanu V., 2017. *Conceptual Method of Navigating and Controlling a Drone*, Scientific Research and Education in the Air Force – AFASES, Braşów: “Henri Coandă” Air Force Academy, 19, 1
- Partyla M., 2020. Pożar nad Biebrzą. Dron z kamerą termowizyjną będzie nadzorował obszar objęty ogniem, URL: https://www.rmfm24.pl/fakty/polska/news-pozar-nad-biebrza-dron-z-kamera-termowizyjna-będzie-nadzorow,nld,4458743#crp_state=1 (dostęp 01.06.2022)
- Shankland S., 2022. This drone flies using da Vinci's 530-year-old helicopter design, URL: <https://www.cnet.com/science/this-drone-flies-using-da-vincis-530-year-old-helicopter-design/> (dostęp 01.06.2022)
- Świątkiewicz A., 1978. *O pojęciu i definicji teledetekcji*, Fotointerpretacja w geografii, 13, Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
- Tokarczyk R., 2008. *Definicje. Fotogrametria*, URL: <https://geoforum.pl/teledetekcja/fotogrametria> [dostęp: 01.06.2022]
- Wilewski K., 2018. *Ojciec dronów*, URL: <http://polska-zbrojna.pl/home/articleshow/24459?t=Ojciec-dronow> (2018) [dostęp: 01.06.2022]
- Zawiła-Niedźwiedzki T., 2010. *Podstawy teledetekcji i fotogrametrii*. [w:] W. Milewski (red.), *Geomatyka w Lasach Państwowych*. Warszawa: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych

Netografia

www.airvein.io/ (dostęp 01.06.2022)

www.ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html (dostęp 01.06.2022)

www.bzbuas.com/blog/aktualnosci/co-to-jest-uav-uas-bezzalogowe-statki-powietrzne/
(dostęp 01.06.2022)

www.seos-project.eu/remotesensing/remotesensing-c01-p01.pl.html (dostęp 01.06.2022)

Prawne aspekty wykonywania lotów przy użyciu bezzałogowych statków powietrznych (UAV)

Jakub Alinowski

Wprowadzenie

W przeciągu ostatnich lat popularność bezzałogowych statków powietrznych stale wzrasta, coraz niższe ceny poszczególnych platform, w szczególności amatorskich, pozwalają coraz większej liczbie osób na stanie się jednym z użytkowników przestrzeni powietrznej nie posiadając jednocześnie odpowiedniego wykształcenia co stanowi zagrożenie w wielu aspektach, które zostaje spotęgowane z każdym kolejnym nowym użytkownikiem tego typu urządzeń. W związku z tym naturalną kolejną rzeczą było określenie zasad użytkowania bezzałogowych statków powietrznych na gruncie prawnym w celu uregulowania w pewnym stopniu użytkowania tego typu platform w celach m.in. bezpieczeństwa. Obecna część skupiać się będzie na aspektach prawnych użytkowania bezzałogowych statków powietrznych, będących równie ważnymi kwestiami co sama umiejętność obsługi platformy, skupiając się przede wszystkim na przedstawieniu najważniejszych aktów prawnych, które obowiązują osoby zajmujące się użytkowaniem platform bezzałogowych zarówno zawodowo jak i czysto amatorsko. W ramach tej części przedstawione zostaną także informacje dotyczące uzyskania uprawnień oraz pozwoleń dających możliwość wykorzystywania bezzałogowych statków powietrznych zgodnie z prawem.

Obowiązujące akty prawne dotyczące eksploataowania bezzałogowych statków powietrznych (BSP)

Obecnie najważniejszymi aktami prawnymi obowiązującymi użytkowników cywilnych w Polsce oraz w pozostałych krajach Unii Europejskiej są rozporządzenia wykonawcze Komisji Unii Europejskiej. W szczególności mowa tutaj o dokumencie „ROZPORZĄDZENIE WYKONAWCZE KOMISJI (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych”, który wszedł w życie z dniem 1 lipca 2019 roku. Wprowadzenie tego dokumentu miało na celu ujednolicenie przepisów oraz

procedur związanych z bezzałogowymi statkami powietrznymi na terenie wszystkich państw członkowskich UE. Na mocy tego rozporządzenia, dotychczasowe zasady określone na poziomie krajowym przestały funkcjonować na rzecz przepisów określonych w wyżej wymienianym rozporządzeniu. Ponadto do dnia dzisiejszego pojawiło się kilka innych rozporządzeń modyfikujących niektóre aspekty określone w rozporządzeniu 2019/947, są to: „Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2020/639 z dnia 12 maja 2020 r.”, „Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2020/746 z dnia 4 czerwca 2020 r.”, „Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2021/1166 z dnia 15 lipca 2021 r.”, oraz „Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2022/425 z dnia 14 marca 2022 r.”. W celu uszczegółowienia kwestii poruszanych w rozporządzeniach wykonawczych w Polsce aktami prawnymi, w których znajdują się najważniejsze informacje dotyczące BSP są wytyczne Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC). Począwszy od momentu wejścia w życie przepisów europejskich, wytyczne Prezesa ULC traktujące o BSP pojawiły się w dniach 29 grudnia 2020, 30 grudnia 2020, 3 czerwca 2021 oraz 13 sierpnia 2021. Ważnym jest zwracanie uwagi oraz zapoznawanie się z tymi dokumentami w szczególności w wypadku częstego eksploataowania platform bezzałogowych, w celu znajomości sytuacji prawnej związanej z BSP.

Podstawowe informacje związane z BSP:

Obecnie obowiązujące przepisy określają dokładnie jaką drogę należy przebyć, aby stać się pełnoprawnym pilotem, warto jednak zaznaczyć, iż obowiązuje podział na trzy główne kategorie wykonywania lotów, które zostały określone w rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2019/947, są to:

- Kategoria „Otwarta”
- Kategoria „Szczególna”
- Kategoria „Certyfikowana”

Najczęściej loty wykonywane są w obrębie kategorii otwartej z racji najniższych wymagań związanych z rozpoczęciem lotów. Kategoria „otwarta” umożliwia wykonywanie lotów niskiego ryzyka. Nie wymagają one uzyskania uprzedniego zezwolenia na lot z Urzędu Lotnictwa Cywilnego. W wypadku tej kategorii operacje mogą być wykonywane tylko w

zasięgu widoczności wzrokowej pilota lub obserwatora w odległości nie większej niż 120 metrów od najbliższego punktu powierzchni ziemi, dronami o masie nie przekraczającej 25 kg. Aby zarejestrować się jako pilot bądź operator w Polsce należy spełnić kilka warunków, mianowicie:

- Pilot musi mieć ukończone 16 lat.
- Operator rejestruje się w systemie ULC, jeżeli jego miejsce zamieszkania to Polska lub jest to jego główne miejsce prowadzenia działalności.
- Operatorzy systemów BSP, którzy są zarejestrowani w innym kraju UE lub EFTA i chcą przejść w Polsce szkolenie mogą założyć konto w systemie rejestracji operatorów podając swój numer operatora z innego kraju UE lub EFTA.
- Operatorzy SBSP spoza UE i krajów EFTA mogą dokonać rejestracji w systemie ULC (dotyczy to również Islandii i Szwajcarii), jeżeli zamierzają wykonać pierwszą operację w Polsce.
- Operator nie może być zarejestrowany w więcej niż jednym państwie członkowskim.

Kategoria „otwarta” podzielona jest na trzy podkategorie A1, A2 i A3, w oparciu o ograniczenia operacyjne i wymogi, jakim podlegają piloci bezzałogowych statków powietrznych oraz same drony. Kategoria A1 przewiduje i dopuszcza na przeloty nad osobami postronnymi (z pewnymi ograniczeniami) lecz nie daje możliwości wlatywania nad zgromadzenia osób, które to definiowane jest jako zgromadzenie, w którym zagęszczenie osób uniemożliwia im przemieszczanie się. Loty w kategorii A2 Nie zezwalają na wlatywanie nad osoby i zgromadzenia osób. Określona jest tutaj minimalna odległość pozioma od osób, która wynosi 30 m lub 5 m jeżeli dron posiada funkcję ograniczającą prędkość lotu. W przypadku kategorii A3 nie wolno wlatywać nad osoby i zgromadzenia. Operacje mogą odbywać się w bezpiecznej odległości co najmniej 150 metrów w poziomie od terenów mieszkaniowych, użytkowych, przemysłowych lub rekreacyjnych.

Otrzymanie uprawnień do lotów w którejkolwiek z podkategorii w ramach kategorii otwartej jest wymagane w wypadku chęci rozszerzenia swoich kompetencji o otrzymanie uprawnień np. na loty w kategorii „szczególnej”. W celu otrzymania uprawnień do lotów w kategorii otwartej należy przejść szkolenie online oraz zaliczyć test online potwierdzający

zdobycie wymaganej wiedzy, szkolenie jak i test są bezpłatne oraz wykonywane są na stronie Urzędu Lotnictwa Cywilnego. Kwalifikacje pilota są ważne przez 5 lat. Sam egzamin online składa się z 40 pytań wielokrotnego wyboru, warunkiem jego zaliczenia jest uzyskanie 75% poprawnych odpowiedzi.

Ryc. 3.1. Podział kategorii otwartej

Masa drona (bez klasy CE)	Podkategoria kategorii Otwartej	Wymagane kompetencje	Zasady lotów
< 250 g	A1	Znajomość instrukcji obsługi drona.	- Możliwy przelot nad osobami postronnymi. - Maks. wysokość lotu: 120 m AGL tam gdzie to możliwe. - Brak możliwości lotów nad zgromadzeniami.
250 - 500 g	A1	- Znajomość instrukcji obsługi drona. - Ukończenie bezpłatnego szkolenia online (A1/A3). - Zdanie bezpłatnego egzaminu (A1/A3).	- W normalnych okolicznościach lot nie może przebiegać nad osobami postronnymi. - W przypadku nieprzewidzianego przelotu nad osobami postronnymi pilot ogranicza czas przelotu nad nimi do minimum. - Maks. wysokość lotu: 120 m AGL tam gdzie to możliwe. - Brak możliwości lotów nad zgromadzeniami.
0,5 - 2 kg	nie dotyczy	- Znajomość instrukcji obsługi drona. - Kompetencje pilota wymagane dla podkategorii A2, czyli: - Ukończenie szkolenia online oraz zaliczenie egzaminu dla A1/A3; - Ukończenie praktycznego szkolenia w trybie samokształcenia w zakresie warunków operacyjnych dla podkategorii A3; - Zaliczenie dodatkowego egzaminu (opłata 20-30 zł) z wiedzy teoretycznej przeprowadzanego przez właściwy organ.	- Należy zachować odległość co najmniej 50 m od ludzi. - Maks. wysokość lotu: 120 m AGL tam gdzie to możliwe. - Brak możliwości lotów nad zgromadzeniami.
do 25 kg	A3	- Znajomość instrukcji obsługi drona. - Ukończenie bezpłatnego szkolenia online (A1/A3).	- W normalnych okolicznościach przez cały czas trwania lot nie może stwarzać zagrożenia dla osób postronnych. 150 m w poziomie od terenów mieszkaniowych, użytkowych, przemysłowych lub rekreacyjnych. - Maks. wysokość lotu: 120 m AGL tam gdzie to możliwe. - Brak możliwości lotów nad zgromadzeniami.
> 25 kg	Nie można latać w kategorii Otwartej.		

Źródło: <https://www.pansa.pl/zasady-wykonywania-lotow-bsp-w-kategorii-otwartej/>

Wymagane kompetencje dla kategorii „otwartej”:

- A1 i A3 – szkolenie i test online;
- A2 – szkolenie i test online, ukończenie szkolenia praktycznego w trybie samokształcenia, zaliczenie dodatkowego egzaminu teoretycznego prowadzonego przez wyznaczony podmiot.

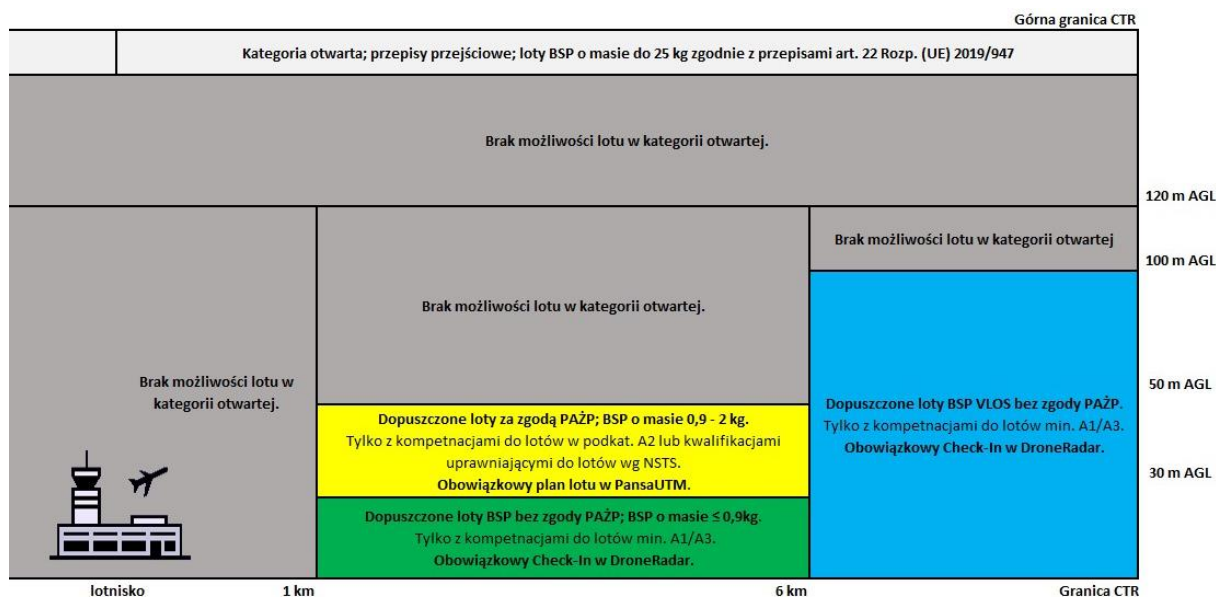
Dokumentem stwierdzającym posiadanie określonych kwalifikacji i upoważniającym do wykonywania określonych czynności lotniczych przez pilotów bezzałogowych statków powietrznych jest zgodnie z przepisami UE:

- dowód zaliczenia szkolenia i egzaminów online w przypadku wykonywania operacji w podkategorii A1 i A3 kategorii „otwartej” uzyskiwane po zaliczeniu szkolenia i egzaminu online;
- certyfikat kompetencji pilota bezzałogowego statku w przypadku wykonywania operacji w podkategorii A2 kategorii „otwartej” uzyskiwane po zaliczeniu egzaminu online, dodatkowego egzaminu teoretycznego oraz odbyciu szkolenia praktycznego w postaci samokształcenia.

Ponadto pilot posiada szereg obowiązków których musi być świadomy oraz je respektować jeśli chce stać się użytkownikiem przestrzeni powietrznej:

- Pilot nie może wykonywać obowiązków pod wpływem substancji psychoaktywnych lub alkoholu bądź w sytuacji, gdy nie jest zdolny do wykonywania swoich zadań z powodu urazu, zmęczenia, zażywanych leków, choroby lub z innych przyczyn;
- prowadzi dokładny wizualny przegląd przestrzeni powietrznej otaczającej BSP w celu uniknięcia wszelkiego ryzyka kolizji z załogowymi statkami powietrznymi. Pilot drona zobowiązany jest przerwać lot, jeżeli operacja stwarza zagrożenie dla innych statków powietrznych, ludzi, zwierząt, środowiska lub mienia;
- przestrzega ograniczeń operacyjnych w strefach geograficznych;
- musi mieć możliwość utrzymania kontroli nad dronem, z wyjątkiem sytuacji gdy dochodzi do utraty połączenia lub w przypadku wykonywania operacji z użyciem drona w locie swobodnym;
- eksploatuje system bezzałogowego statku powietrznego zgodnie z instrukcją producenta dostarczoną przez producenta, w tym zgodnie z wszelkimi mającymi zastosowanie ograniczeniami;
- stosuje się do opracowanych przez operatora procedur, o ile są dostępne;
- podczas wykonywania operacji w nocy zapewnia uruchomienie na dronie migającego zielonego światła.

Ryc. 3.2. Możliwość wykonywania lotów w obrębie kategorii otwartej w odniesieniu do odległości od lotniska



Dział Zarządzania Operacjami Bezzałogowych Statków Powietrznych
Polska Agencja Żegludgi Powietrznej

Źródło: <https://www.pansa.pl/zasady-wykonywania-lotow-bsp-w-kategorii-otwartej/>

Wprowadzenie do kategorii „szczegółnej” oraz narodowe scenariusze standardowe

Kategoria „szczególna” przeznaczona została dla operacji o średnim ryzyku, której parametry lotu wychodzą poza kategorię „otwartą”. Wykonywanie tego typu operacji wymaga weryfikacji oraz w niektórych przypadkach zgody Urzędu Lotnictwa Cywilnego.

Operacje wykonywane w kategorii „szczegółnej” wymagają rejestracji wszystkich operatorów systemów bezzałogowych statków powietrznych bez względu na masę eksploatowanego drona. Dostępne są 3 możliwe opcje uprawniające do wykonywania lotów w kategorii „szczegółnej”:

1. Oświadczenie o operacji zgodnej ze scenariuszem standardowym

Oświadczenie o operacji zgodnej ze scenariuszem standardowym należy złożyć w przypadku, kiedy parametry wykonywanych operacji wychodzą poza kategorię „otwartą”. W myśl przepisów europejskich scenariusze standardowe opublikowane przez EASA zaczną obowiązywać od 3 grudnia 2023 roku.

W związku z tym w Dzienniku ULC zostały opublikowane krajowe scenariusze standardowe. Składając do Urzędu świadczenie zgodne z NSTS operator otrzyma

potwierdzenie odbioru i kompletności, dzięki któremu bezzwłocznie może rozpocząć operację zgodnie z ograniczeniami scenariusza standardowego. Takie oświadczenie operator BSP będzie mógł przedłożyć ULC do 2 grudnia 2023 roku. Dokument ten traci ważność 2 grudnia 2025 roku. Dokładne opisy NSTS oraz do jakich rodzaju operacji uprawniają użytkownika przedstawione zostaną w dalszej części podrozdziału.

2. Zezwolenie na operację

Wniosek o zezwolenie na operację jest stosowany w przypadku, gdy operacja nie jest objęta ani scenariuszem standardowym ani nie należy do kategorii „otwartej”. Przed złożeniem niniejszego wniosku operator jest zobowiązany do przeprowadzenia oceny ryzyka, której wykonanie zostało przewidziane w dwóch alternatywnych podejściach:

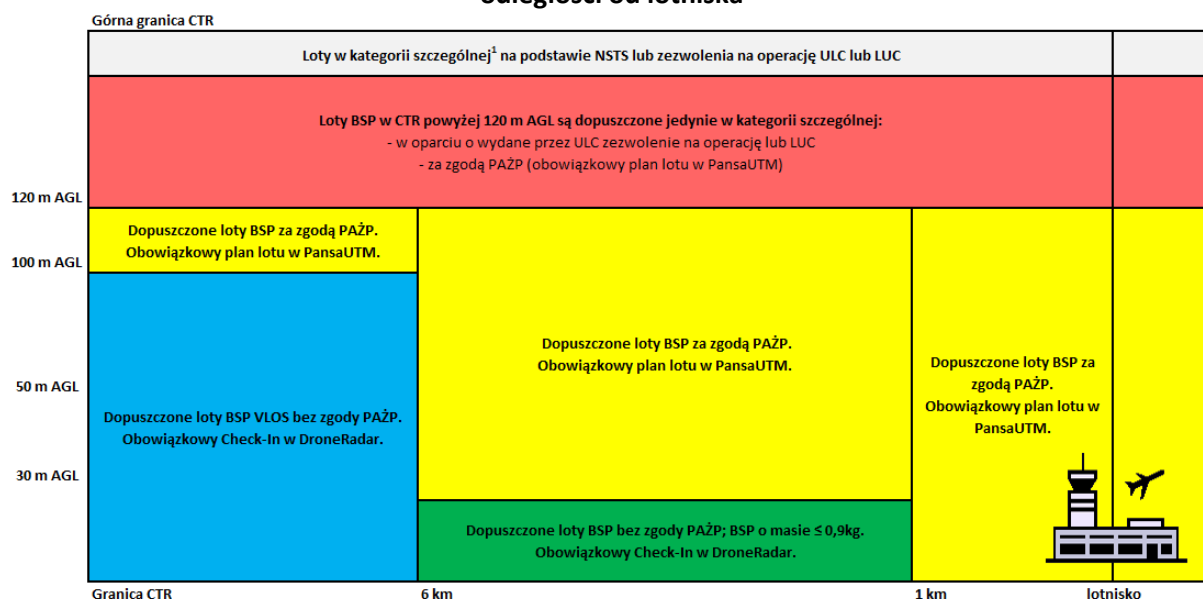
1. Ocena ryzyka planowanej operacji: przeprowadzenie oceny ryzyka planowanej operacji zgodnie z metodologią SORA (Specific operations risk assessment) oraz przedłożenie wraz z wnioskiem oceny ryzyka i wszystkich środków ograniczających ryzyko oraz przestrzeganie celów bezpieczeństwa operacyjnego do Urzędu Lotnictwa Cywilnego.
2. Predefiniowana ocena ryzyka (PDRA-Predefined risk assessment): jest to uproszczona forma przeprowadzenia ryzyka dla operatorów zaproponowana przez EASA. Jeżeli planowana operacja okaże się objęta jednym z opublikowanych PDRA, zamiast przeprowadzać pełną ocenę ryzyka, można postępować z instrukcjami zawartymi w PDRA i odpowiednio przygotować dokumentację do wniosku, który zostanie złożony do Urzędu Lotnictwa Cywilnego. W zezwoleniu wydanym przez Urząd Lotnictwa Cywilnego zostanie określony dokładny zakres zezwolenia i warunki wykonania operacji.

3. Certyfikat LUC

Wydanie certyfikatu LUC następuje na wniosek osoby prawnej. Wniosek o certyfikat LUC należy złożyć w celu oceny przez Urząd Lotnictwa Cywilnego prowadzonej organizacji i wykazania, że operator jest w stanie samodzielnie ocenić ryzyko operacji. Wytyczne jakie muszą zostać spełnione przez operatora określono w części C rozporządzenia 2019/947/UE.

Jeżeli wymagania zostaną spełnione, ULC wyda certyfikat LUC oraz przyzna uprawnienia odpowiadające poziomowi doświadczenia operatora.

Ryc. 3.3. Możliwość wykonywania lotów w obrębie kategorii szczególnej w odniesieniu do odległości od lotniska



¹ - pilot musi posiadać odpowiednie kompetencje, a operator dla którego wykonuje operację dopuszczenie do NSTS lub LUC lub zezwolenie na operację ULC

Dział Zarządzania Operacjami Bezzałogowych Statków Powietrznych
Polska Agencja Żegludgi Powietrznej

Źródło: <https://www.pansa.pl/zasady-wykonywania-lotow-bsp-w-kategorii-szczegolnej/>

Z racji, iż scenariusze NSTS różnią się od siebie w niektórych aspektach, w tej części podrozdziału, nadmienionej wcześniej, zostanie przedstawiony opis poszczególnych obowiązujących obecnie narodowych scenariuszy standardowych, w celu przybliżenia jakiego typu operacje oraz na jakich zasadach przewidziane zostały w poszczególnych scenariuszach. Operacje systemów bezzałogowych statków powietrznych w ramach krajowego scenariusza standardowego NSTS-01 wykonuje się w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) lub z widokiem z pierwszej osoby (FPV). Scenariusz ten stosuje się do bezzałogowych statków powietrznych o masie startowej mniejszej niż 4 kg, BSP w operacji w obrębie NSTS-01 nie może przenosić materiałów niebezpiecznych. Zasady lotu dla operacji w zasięgu wzroku zakładają, iż w czasie lotu bezzałogowy statek powietrzny utrzymuje się w odległości do 120 m od najbliższego punktu powierzchni Ziemi; pomiar odległości dostosowuje się odpowiednio do cech geograficznych terenu, takich jak równiny, wzgórza, góry. W przypadku gdy podczas lotu w operacji VLOS pilot na terenie, na którym wykonywany jest lot stwierdzi obecność

przeszkody sztucznej w odległości do 50 metrów w poziomie od niej, której wysokość przekracza 105 metrów, maksymalną wysokość operacji w takiej sytuacji można zwiększyć o maksymalnie 15 metrów powyżej wysokości przeszkody. Jak sama nazwa wskazuje operacje VLOS należy wykonywać w zasięgu widoczności wzrokowej pilota lub przynajmniej jednego obserwatora, którzy nieuzbrojonym okiem utrzymują kontakt wzrokowy z BSP w celu określenia jego położenia względem pilota i w przestrzeni powietrznej oraz zapewnienia bezpiecznej odległości od innych statków powietrznych, przeszkód, pojazdów, osób bądź zwierząt. W operacjach tego typu, które wykonywane są bez obserwatora statku powietrznego, dopuszcza się utratę kontaktu wzrokowego z bezzałogowym statkiem powietrznym w momencie dokonywania przez pilota kontroli parametrów lotu przekazywanych przez urządzenia będące wyposażeniem bezzałogowego statku powietrznego. Dodatkowo w wypadku lotów z obserwatorem, dopuszczone jest aby obserwator nie znajdował się bezpośrednio przy pilocie pod warunkiem zapewnienia ustalonej dwukierunkowej łączności pomiędzy nim a pilotem. Co zaś tyczy się lotów FPV, tego typu operacje w obrębie scenariusza NSTS-01 można wykonywać do wysokości maksymalnie 50 metrów nad poziomem terenu oraz w odległości poziomej nie większej niż 500 m od operatora.

Każdy kolejny scenariusz NSTS w dużej mierze zawiera podobne zasady co w przypadku scenariusza NSTS-01, jednak odnoszą się do różnych rodzajów bezzałogowych statków powietrznych lub różnych typów wykonywania operacji. W przypadku scenariusza NSTS-02 zakładane jest wykonywanie operacji w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS). Scenariusz ten stosowany jest do bezzałogowych statków powietrznych kategorii wielowirnikowiec, o masie startowej mniejszej niż 25 kilogramów. Podobnie jak w wypadku NSTS-01 podczas operacji nie można przenosić materiałów niebezpiecznych, zaś lot wykonywany jest w odległości do 120 m od najbliższego punktu powierzchni Ziemi z możliwością zwiększenia takowej wysokości w przypadku wystąpienia w odległości do 50 metrów w poziomie sztucznej przeszkody o wysokości przekraczającej 105 metrów, wtedy maksymalną wysokość operacji można zwiększyć o maksymalnie 15 metrów powyżej wysokości przeszkody. Scenariusz NSTS-02 nie przewiduje w przeciwieństwie do scenariusza NSTS-01 lotów FPV a jedynie loty w zasięgu

wzroku, których warunki są takie same jak w wypadku NSTS-01 tj., podczas lotu konieczne jest utrzymywanie stałego kontaktu wzrokowego z platformą latającą przez pilota bądź obserwatora, dopuszcza się utratę kontaktu wzrokowego z bezzałogowym statkiem powietrznym tylko w momencie dokonywania przez pilota kontroli parametrów lotu przekazywanych przez urządzenia będące wyposażeniem bezzałogowego statku powietrznego. Sam obserwator nie musi koniecznie znajdować się obok pilota pod warunkiem ustalenia między obserwatorem a pilotem stałej, ustalonej łączności komunikacyjnej.

Operacje systemów bezzałogowych statków powietrznych w ramach scenariusza standardowego NSTS-03 wykonuje się podobnie jak w wypadku dwóch poprzednich w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS). W tym wypadku zaś scenariusz ten stosowany jest do lotów wykonywanych przy użyciu stałopłata oraz stałopłatów mających możliwość pionowego startu i lądowania (VTOL) o masie startowej mniejszej niż 25 kilogramów. Pozostałe zasady operacji nie różnią się od poprzednich, scenariusz zakłada iż bezzałogowy statek powietrzny nie może przenosić materiałów niebezpiecznych, statek powietrzny utrzymuje się w odległości do 120 m od najbliższego punktu powierzchni ziemi. W przypadku wystąpienia sztucznej przeszkody w odległości do 50 metrów w poziomie od wspomnianej sztucznej przeszkody o wysokości przekraczającej 105 metrów, maksymalną wysokość operacji może być zwiększona o maksymalnie 15 metrów powyżej wysokości przeszkody. Jako iż są to loty wyłącznie w zasięgu wzroku obowiązują ciągle te same zasady dotyczące stałej obserwacji BSP co w punkcie poprzednim tj., utrzymywanie statku powietrznego w zasięgu wzroku nieuzbrojonego oka w celu zapewnienia bezpiecznej odległości od wszelkich obiektów bądź innych użytkowników przestrzeni, w której wykonywany jest lot, utrzymywanie stałej łączności z obserwatorem jeśli takowy wspomaga pilota i nie znajduje się bezpośrednio przy nim.

Operacje systemów bezzałogowych statków powietrznych w ramach krajowego scenariusza standardowego NSTS-04 wykonywane są na takich samych zasadach co w wypadku scenariusza NSTS-03, jedyną różnicą jest rodzaj statku powietrznego używanego do takiej operacji. W wypadku scenariusza NSTS-04 mowa o BSP kategorii helikopter, o masie startowej mniejszej niż 25 kg. Pozostałe podstawowe zasady związane z charakterystyką wykonywania lotów oraz obserwacją bezzałogowego statku powietrznego są niezmiennie.

Scenariusz NSTS-05 przynosi pewne zmiany do wykonywania lotów, bowiem zezwala na wykonywanie operacji zarówno w zasięgu widoczności wzrokowej (VLOS) lub także poza zasięgiem widoczności wzrokowej (BVLOS). Scenariusz odnosi się do wszelkich bezzałogowych statków powietrznych o masie startowej mniejszej niż 4 kg. Podobnie jak w poprzednich scenariuszach lotu bezzałogowy statek powietrzny nie może przenosić materiałów niebezpiecznych, mogących stanowić wysokie ryzyko dla osób trzecich. Warunkami wykonywania operacji systemów bezzałogowych statków powietrznych w ramach NSTS-05 są: utrzymanie się w czasie lotu w odległości do 120 m od najbliższego punktu powierzchni ziemi; pomiar odległości dostosowuje się odpowiednio do cech geograficznych terenu, takich jak równiny, wzgórza, góry. Warunek ten jest taki sam jak w wypadku pozostałych scenariuszy, podobnie w przypadku omijania przeszkód. Jeśli w ramach scenariusza NSTS-05 wykonywane są operacje w zasięgu wzroku to należy stosować się do zasad dla lotów VLOS opisanych w poprzednich punktach, nowe informacje pojawiają się tutaj jeśli chodzi o operacje BVLOS, które są możliwe do realizacji w ramach scenariusza NSTS-05. Zasady określone w tym scenariuszu zakładają, iż loty BVLOS wykonuje się nie dalej niż 2 km w linii prostej od pilota.

Scenariusze NSTS-06, NSTS-07 oraz NSTS-08 działają na podobnych zasadach co w wypadku opisanego przed chwilą scenariusza NSTS-05, główną różnicą jest odnoszenie się danego scenariusza do innego typu klasyfikacji bezzałogowego statku powietrznego. W związku z tym scenariusz NSTS-06 przewiduje loty przy użyciu bezzałogowych statków powietrznych o masie startowej mniejszej niż 25 kilogramów, NSTS-07 odnosi się do lotów przy użyciu stałopłatów, w tym stałopłatów mających możliwość pionowego startu i lądowania (VTOL), o masie startowej poniżej 25 kg. NSTS-08 odnosi się zaś do operacji z użyciem bezzałogowych statków powietrznych kategorii helikopter o masie startowej poniżej 25 kg. Poza tymi zmianami obowiązują te same zasady dotyczące maksymalnej wysokości lotów, omijania wysokich przeszkód sztucznych jak również zasad związanych z lotami VLOS i BVLOS.

Tab. 3.1. Tabela zestawienie podstawowych różnic pomiędzy danymi scenariuszami standardowymi

NSTS	Warunki	Typ platformy bezzałogowej	Max wysokość lotu
NSTS-01	VLOS i FPV	Poniżej 4kg	120 m
NSTS-02	VLOS	Wielowirnikowiec poniżej 25kg	

NSTS-03	VLOS	Stałopłat poniżej 25kg	
NSTS-04	VLOS	Śmigłowiec poniżej 25kg	
NSTS-05	VLOS i BVLOS do 2 km od pilota BSP	poniżej 4kg	
NSTS-06	VLOS i BVLOS do 2 km od pilota BSP	Wielowirnikowiec poniżej 25kg	
NSTS-07	VLOS i BVLOS do 2 km od pilota BSP	Stałopłat poniżej 25kg	
NSTS-08	VLOS i BVLOS do 2 km od pilota BSP	Śmigłowiec poniżej 25kg	

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://ulc.gov.pl/pl/drony/kategoria-szczegolna/5300-oswiadczenie-o-operacji-zgodnej-ze-scenariuszem-standardowym-nsts>

Warunki korzystania z przestrzeni powietrznej – strefy geograficzne:

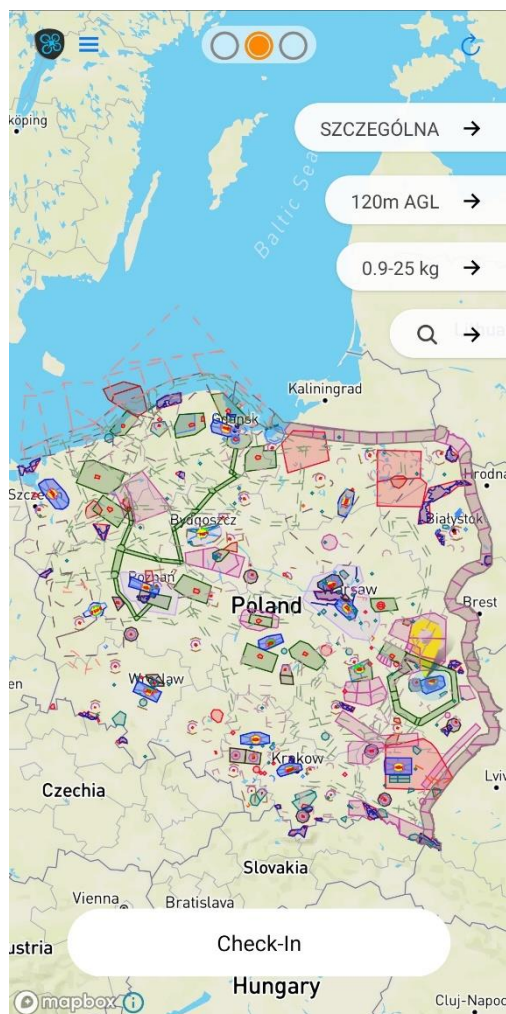
W związku z wejściem w życie od 2021 roku przepisów określonych w rozporządzeniach wykonawczych Komisji UE nastąpiły także zmiany w nazewnictwie stref przestrzeni powietrznej. Strefy te zawierają informacje o możliwości wykonywania operacji przy użyciu bezzałogowych statków powietrznych. Istnieje wiele rodzajów stref, niektóre są ustalone na stałe jak np. w wypadku obszarów lotnisk czy obszarów szczególnie cennych przyrodniczo. Inne mogą być wprowadzane czasowo na wniosek uprawnionych do tego podmiotów takie strefy mogą zostać ustanowione np. w wypadku większych wydarzeń z udziałem dużej ilości osób. Obecnie obowiązujące strefy są to:

- DRA-P – strefa zakazana, w której operacje przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych nie mogą być wykonywane;
- DRA-R - strefa ograniczona dla systemów bezzałogowych statków powietrznych, w której operacje przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych mogą być wykonywane za zgodą i na warunkach określonych przez PAŻP lub podmiot uprawniony, na wniosek którego strefa geograficzna została wyznaczona. Wyróżnia się następujące rodzaje stref geograficznych DRA-R:
 - DRA-RH – strefa ograniczona dla systemów bezzałogowych statków powietrznych o wysokim prawdopodobieństwie uzyskania zgody na operacje, o której mowa powyżej;

- DRA-RM – strefa ograniczona dla systemów bezzałogowych statków powietrznych, o średnim prawdopodobieństwie uzyskania zgody na operacje, o której mowa powyżej;
- DRA-RL – strefa ograniczona dla systemów bezzałogowych statków powietrznych, o niskim prawdopodobieństwie uzyskania zgody na operacje, o której mowa w powyżej;
- DRA-I – strefą informacyjną dla bezzałogowych statków powietrznych, zawierającą informacje konieczne dla zapewnienia bezpieczeństwa wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych, w tym ostrzeżenia nawigacyjne.
- DRA-T – strefę ograniczoną dla systemów bezzałogowych statków powietrznych, w której PAŻP wskazuje wymagania techniczne, które obowiązany jest spełniać system bezzałogowego statku powietrznego, przy pomocy którego realizowana ma być operacja. Dla strefy DRA-T dopuszcza się wprowadzenie obowiązku uzyskania zgody na operacje.
- DRA-U – strefa geograficzna dla systemów bezzałogowych statków powietrznych, w której operacje systemów bezzałogowych statków powietrznych mogą odbywać się wyłącznie przy wsparciu zweryfikowanych usług zapewnianych w tej strefie i na warunkach wskazanych przez PAŻP.

Użytkownik może bardzo szybko sprawdzić czy znajduje się obecnie na terenie jednej ze stref korzystając np. z aplikacji „DroneRadar”, w której to ukazane są wizualne zasięgi danych stref (jeśli takowe na danym terenie występują) na tle mapy Polski, każda strefa posiada także określone dodatkowe informacje i kontakt do zarządzającego daną strefą. W obrębie wymienionych powyżej stref znajdują się podziały każdy o oddzielnej charakterystyce i ewentualnych warunkach wykonywania lotów.

Ryc. 3.4. Zrzut ekranu z aplikacji DroneRadar ukazujący wizualne rozmieszczenie stref geograficznych



Źródło: opracowanie własne

Dla stref **DRA-P** wymienione mamy strefy czasowo wydzielone (TSA) oraz stałe trasy lotnictwa wojskowego (MRT) w ich wypadku, podczas gdy są aktywne obowiązują kategoriyczny zakaz wykonywania lotów przy użyciu BSP. W obrębie stref **DRA-P** występuje także strefa ograniczona (R), w wypadku której istnieje szansa na wykonywanie lotów lecz tylko i wyłącznie za zgodą zarządzającego o ile dopuścił taką możliwość podczas wnioskowania o wyznaczanie strefy.

Przechodząc dalej, dla oznaczenia **DRA-RH** pojawiają się 3 konkretne strefy: Strefy kontrolowane lotnisk komunikacyjnych (CTR) >6km do granicy lotniska oraz strefy ruchu lotniskowego (ATZ) >6km od granicy lotniska, w obu tych przypadkach loty do wysokości 100 metrów nie wymagają uzyskania zgody, jednak w strefie CTR potencjalne loty powyżej 100 metrów mogą odbywać się wyłącznie w obrębie kategorii szczególnej. Oprócz wyżej

wymienionych stref wymienione są także strefy kontrolowane lotnisk wojskowych (MCTR) w wypadku chęci wykonywania lotów w obrębie tej strefy wymagana jest zgoda i wykonywanie lotów na warunkach zarządzającego lotniskiem wojskowym.

DRA-RM, w tym przypadku ponownie mamy do czynienia ze strefami lotniskowymi CTR oraz ATZ z różnicą, iż w tym wypadku odnosimy się do chęci wykonywania lotów w promieniu 1-6 km od granicy lotniska jak również wyróżnione są strefy zakazane (P) w obrębie >500 metrów od obiektu chronionego strefą P. W wypadku wszystkich trzech stref loty platformą o masie do 900 gram oraz do 30 metrów nad poziomem gruntu nie wymagają specjalnych pozwoleń a jedynie dokonania CHECK-IN w aplikacji DroneRadar. W innych przypadkach wymagane jest zapoznanie się z obowiązującymi ograniczeniami, uzyskanie zgody na lot i pełne zastosowanie się do zasad określonych przez organ zarządzający daną strefą.

Strefa **DRA-RL** ponownie pozwala nam wyróżnić strefy CTR oraz ATZ lecz w wypadku chęci wykonywania lotów w promieniu >1 km od granicy lotniska. W wypadku strefy CTR obowiązuje zakaz lotów w kategorii otwartej, w pozostałych przypadkach loty mogą być realizowane wyłącznie za zgodą i na warunkach określonych przez PAŻP. Pojawiają się tutaj także strefy niebezpiecznie (D), strefy czasowo rezerwowane (TRA) jak i strefy zakazane (P) w ich wypadku łącznie ze strefą ATZ loty mogą być przeprowadzane wyłącznie za zgodą zarządzającego daną strefą. W obrębie DRA-RL są również strefy ograniczone (R) wyznaczone nad Parkami Narodowymi, gdzie loty mogą być wykonywane za zgodą zarządzającego parkiem i na warunkach przez niego określonych. Dodatkowo co tyczy się stref zarówno DRA-RH, DRA-RM oraz DRA-RL w przypadku jakichkolwiek innych stref wyznaczonych na wniosek uprawnionego podmiotu loty mogą odbywać się za zgodą i na warunkach zarządzającego daną strefą.

Strefa **DRA-I** zawiera w sobie ostrzeżenia nawigacyjne (NW), strefy obowiązkowej łączności radiowej (RMZ), strefy identyfikacji obrony powietrznej (ADIZ) oraz strefy ograniczone (R) znajdujące się poza terenem Parku Narodowego

Strefy **DRA-T** oraz **DRA-U** nie posiadają dokładniejszego podziału, warunki wykonywania lotów w tych strefach zostały nakreślone w głównym podziale stref geograficznych w początkowej części podrozdziału.

Inne akty prawne wpływające na eksploatację BSP

Poza aktami prawnymi regulującymi bezpośrednio zasady eksploataowania bezzałogowych statków powietrznych pilot platformy bezzałogowej musi być świadomy, iż podlega jednocześnie innym przepisom prawa, niewynikającym wprost z przepisów, które dotyczą ściśle BSP. Przykładem tego typu mogą być artykuły zawarte w kodeksie cywilnym stanowiące o naruszeniu prawa do prywatności czy spokojnego zamieszkiwania, odnosi się to w szczególności do sytuacji, w których wykonywane są loty na niskich wysokościach generujących uciążliwy dla niektórych dźwięk czy dokonywane są loty obejmujące długotrwałe zawiśnięcia drona w jednym miejscu, które to może niepokoić niektórych ludzi. Przed każdym lotem użytkownik BSP powinien upewnić się czy na terenie, na którym będzie dokonywał lotów nie będzie potencjalnie naruszał czyjejś prywatności, bądź naruszał cudzego spokoju. Należy pamiętać, iż tego typu działania mogą zostać podciągnięte pod artykuł 51. § 1 kodeksu wykroczeń, który mówi, iż „Kto krzykiem, hałasem, alarmem lub innym wybrykiem zakłóca spójność, porządek publiczny, spoczynek nocny albo wywołuje zgorszenie w miejscu publicznym, podlega karze aresztu, ograniczenia wolności albo grzywny”. W celu uniknięcia takich sytuacji jeżeli użytkownik posiada wątpliwości czy jego lot będzie potencjalnie uciążliwy dla przykładowo mieszkańców domu w okolicy, warto wtedy poinformować ich o naszych zamiarach aby uniknąć problemów jakie mogą z takiego faktu wyniknąć. Użytkownicy BSP mogą zostać także potencjalnie pociągnięci do odpowiedzialności karnej jeśli swoimi działaniami spowodowałoby bezpośrednie zagrożenia. Przykładami aktów odnoszących się do takich wydarzeń mogą być art. 156 i 157 kodeksu karnego, które odnoszą się do uszczerbku na zdrowiu jeśli w wyniku naszych działań ktoś zostanie poszkodowany. Związany z tym są art. 173, 174 i 177 k.k., które traktują m.in. o spowodowaniu katastrofy lub spowodowaniu niebezpieczeństwa katastrofy w ruchu powietrznym. Innym bardzo ważnym aspektem związanym z BSP jest prawo autorskie oraz ustawa o ochronie danych osobowych. Kiedy platforma bezzałogowa wyposażona jest w sprzęt dający jej możliwość do nagrywania bądź

robienia zdjęć trzeba mieć świadomość o obowiązujących zasadach związanych z nagrywaniem i potencjalnym udostępnianiem materiałów zarejestrowanych przez nas w trakcie lotów. W szczególności należy zwrócić tutaj uwagę na kwestie ochrony wizerunku oraz danych osobowych, jeśli loty wykonywane są na niższych wysokościach a zdjęcia bądź nagrania z takich lotów pozwalają na łatwe rozpoznanie znajdujących się tam postronnych osób. Z innych aktów wpływających na loty BSP można wymienić ustawę o ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 roku jak też rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 grudnia 2016 roku dotyczące ochrony gatunkowej zwierząt. Zgodnie z tymi aktami trzeba mieć na uwadze, iż wszelkie zakłócanie ciszy oraz umyślne płoszenie, bądź niepokojenie zwierząt jest zakazane. Stąd wszelkie działania związane z lotami przy użyciu BSP, na które nie zostało wydane pozwolenie mogą zostać podciągnięte pod łamanie tych przepisów a wobec pilota może zostać wszczęte postępowanie karne za złamanie prawa.

Netografia

<https://www.ulc.gov.pl/pl/drony/akty-prawne> (dostęp 20.04.2022 r.)

<https://ulc.gov.pl/pl/drony/informacje-ogolne> (dostęp 20.04.2022 r.)

<https://ulc.gov.pl/pl/drony/kategoria-otwarta-informacje> (dostęp 25.04.2022 r.)

<https://www.pansa.pl/zasady-wykonywania-lotow-bsp-w-kategorii-otwartej/> (dostęp 28.04.2022 r.)

<https://www.pansa.pl/zasady-wykonywania-lotow-bsp-w-kategorii-szczegolnej/> (dostęp 28.04.2022 r.)

<https://ulc.gov.pl/pl/drony/kategoria-szczegolna/5299-kategoria-szczegolna> (dostęp 28.04.2022 r.)

https://www.pansa.pl/uas_geozones/ (dostęp 10.05.2022 r.)

<https://ulc.gov.pl/pl/drony/kategoria-szczegolna/5300-oswiadczenie-o-operacji-zgodnej-ze-scenariuszem-standardowym-nsts> (dostęp 30.04.2022 r.)

Środowisko przyrodnicze Roztoczańskiego Parku Narodowego

Sara Torój

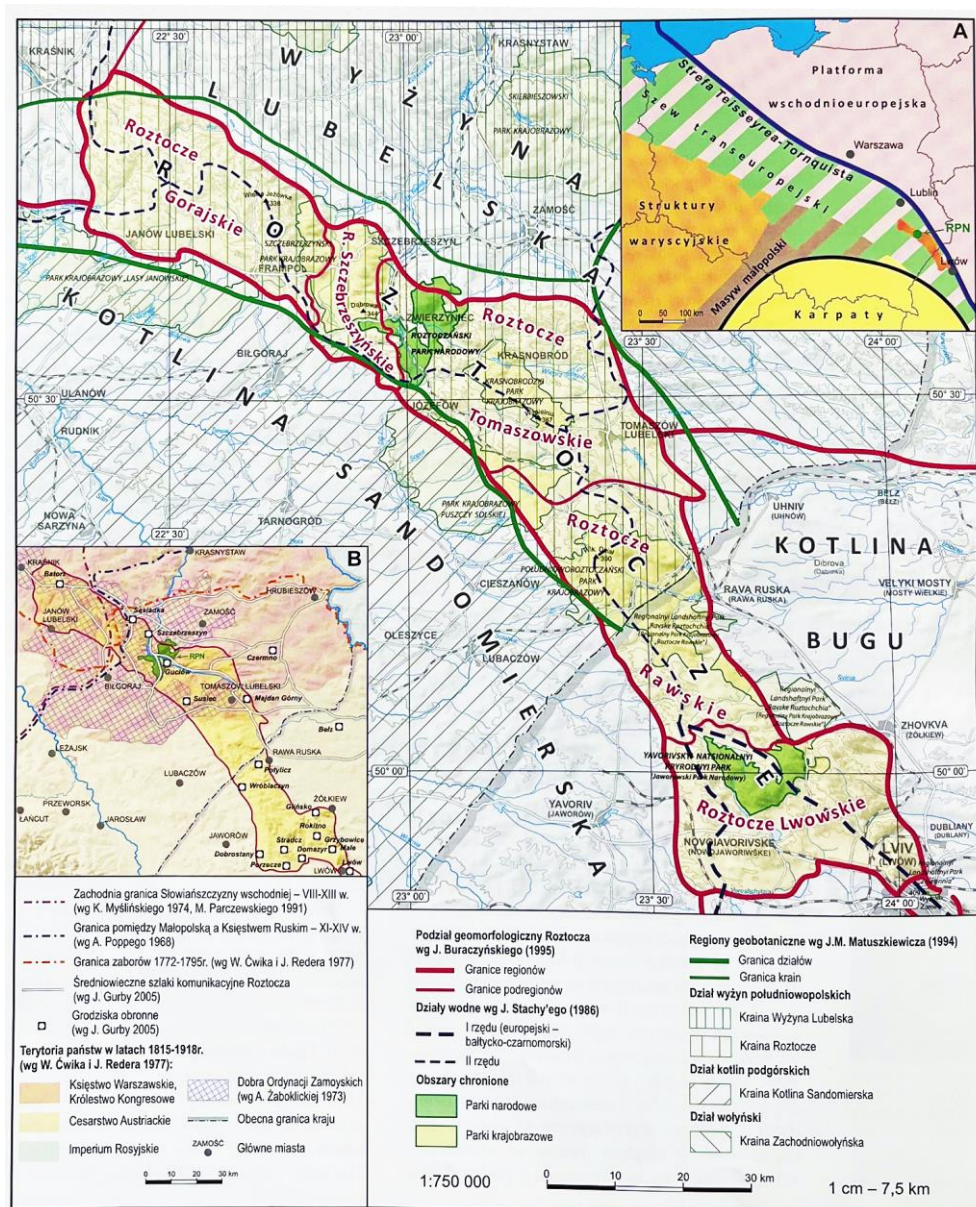
Lokalizacja

Roztoczański Park Narodowy położony jest w południowo-wschodniej części Polski, w województwie lubelskim. Swoimi granicami park wchodzi na teren gmin: Adamów, Krasnobród, Szczepieszyń, Zwierzyniec, Zamość, należących do powiatu zamojskiego oraz gmin: Józefów i Terespol, należących do powiatu biłgorajskiego. Zdecydowanie największy udział w zajmowanej powierzchni ma gmina Zwierzyniec – 93,9% powierzchni Parku znajduje się w jej obrębie.

Powierzchnia Roztoczańskiego Parku Narodowego wynosi 8482,8 ha, wobec czego zaliczany jest do parków średniej wielkości (Grabowski, Kałamucka 2015). Roztoczański Park Narodowy posiada otulinę o dużej powierzchni względem pozostałych parków narodowych – jej powierzchnia wynosi 39 095,8 ha (Ochrona...2012).

Pod względem regionalizacji fizycznogeograficznej zaproponowanej przez Buraczyńskiego (1995) Roztoczański Park Narodowy w większości położony jest na obszarze 2 mezoregionów: południowo-wschodniej części Roztocza Szczepieszyńskiego oraz północno-zachodniej części Roztocza Tomaszowskiego, wchodzących w skład makroregionu Roztocza. Niewielkie fragmenty Parku położone na północy znajdują się w Kotlinie Zamojskiej, która należy do Wyżyny Lubelskiej. Roztoczański Park Narodowy znajduje się w centralnej części Roztocza (Ryc. 4.1) – makroregionu wyraźnie wyróżniającego się pod względem cech przyrodniczych od otaczających go jednostek fizycznogeograficznych. Unikalne wartości przyrodnicze i kulturowe Roztocza pozwoliły na dynamiczny rozwój systemu ochrony przyrody regionu. Roztoczański Park Narodowy wchodzi w skład Transgranicznego Rezerwatu Biosfery „Roztocze”, który został wpisany na Światową Listę Rezerwatów Biosfery UNESCO (Roztocze...2019).

Ryc. 4.1. Położenie Roztoczańskiego Parku Narodowego na Roztoczu



A – Roztoczański Park Narodowy na tle jednostek podpermsko-mezozoicznych; B – Roztoczański Park Narodowy na tle regionu Roztocza jako obszaru pogranicza społeczeństw i kultur

Źródło: Brzezińska-Wójcik i in. 2015

Geologia

Roztoczański Park Narodowy położony jest w strefie pogranicza pomiędzy dwoma jednostkami strukturalnymi oddzielonymi strefą Teisseyr'a-Tornquista – platformą wschodnioeuropejską oraz strukturami platformy paleozoicznej Europy Zachodniej. Park pod względem położenia na tle jednostek geologicznych wchodzi w skład Niecki puławskiej (Ryc. 4.2). Obszar Roztoczańskiego Parku Narodowego znajduje się więc w strefie krawędziowej,

która oddziela zrąb Rostocza od zapadliska przedkarpackiego. Ruchy tektoniczne, które formowały zapadlisko przedkarpackie na południu przyczyniły się do powstania licznych przesunięć pionowych i rowów tektonicznych na terenie obecnego Parku. W efekcie Rostoczański Park Narodowy położony jest na obszarze czterech oddzielnych bloków, rozdzielonych uskokami i rowami tektonicznymi (Buraczyński 2013).

Pierwszy z bloków – Żurawnica-Kosobudy budują opoki, opoki margliste oraz gezy, które powstały w okresie późnej kredy. Blok ma charakter monokliny, na co wskazuje łagodne opadanie skał w stronę północno-wschodnią ku ułożeniu horyzontalnemu w części granicznej Parku na północy (Harasimiuk 1996). We wschodniej części Parku położony jest blok Adamowa, który również zbudowany jest ze skał górnego mastrychtu – opok marglistych.

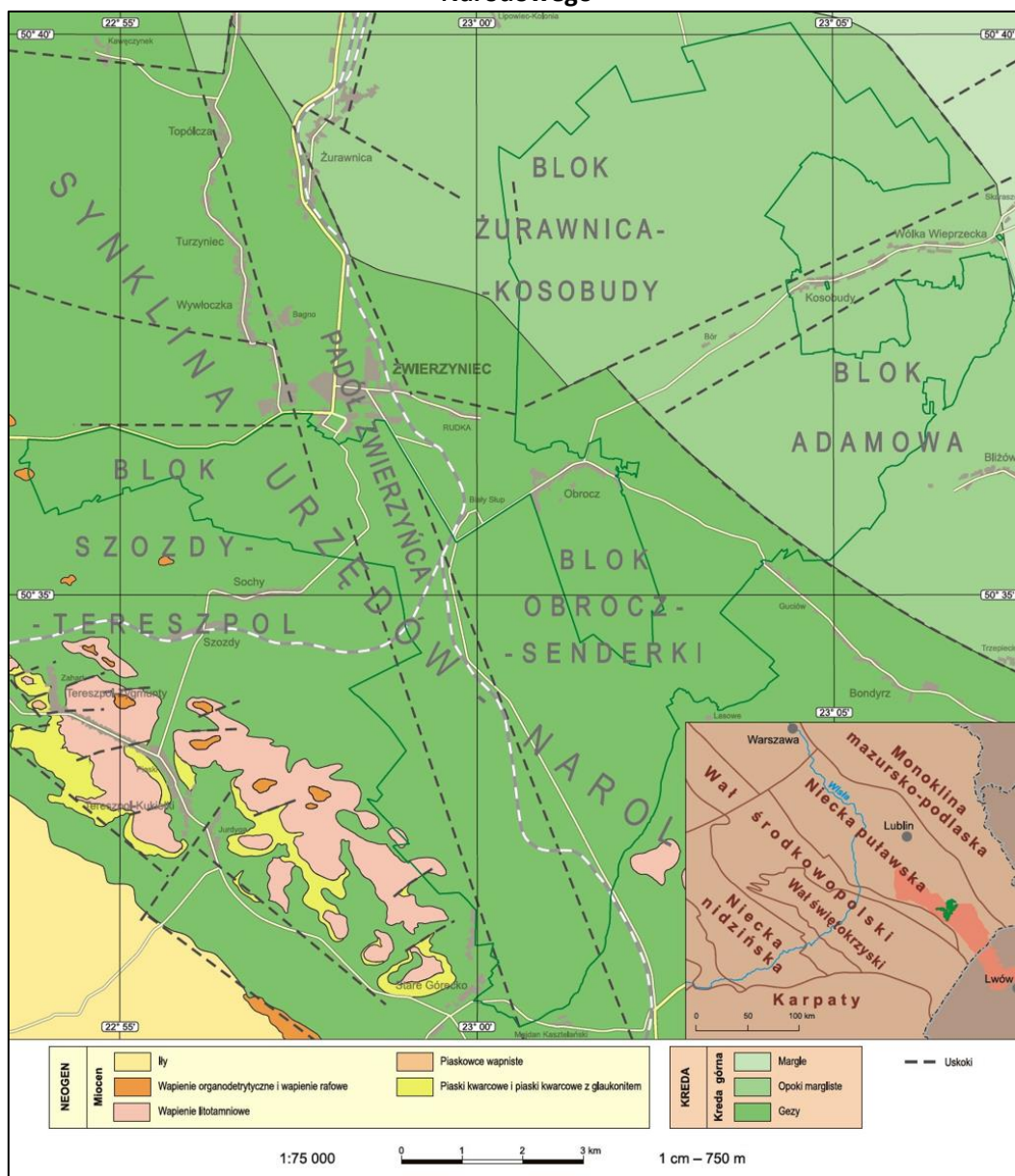
W centralnej części Parku znajduje się blok – Obrocz-Senderki. Utwory, które budują blok to zalegające prawie horyzontalnie gezy i opoki późnej kredy. W południowo-zachodniej części bloku, w okolicach wsi Potok i Sanderki zalegają płatami miocenne wapienie litotamniowe oraz piaskowce i wapienie piaszczyste z lepiszczem krzemionkowym.

Ostatni z bloków – blok Szozdy-Tereszpol położony jest w zachodniej części Parku. Pod względem budowy wewnętrznej, blok ten wyróżnia się szczególnie, ponieważ znajduje się w krawędziowej strefie Rostocza. To właśnie w tej części, blok opada stopniowo w ku Równinie Biłgorajskiej. W utworach występujących w tym bloku przeważają wychodnie gezy mastrychtu dolnego. Na południe od doliny Szozd oraz na wzgórzach Tereszpołskich, przykrywają je skały miocenne – płaty wapieni litotamniowych i rafowych oraz wapieni piaszczystych i piaskowców z lepiszczem krzemionkowym. W obrębie bloku Szozdy-Tereszpol obserwuje się liczne dyslokacje tektoniczne.

Do zjawiska intensywnej sedymentacji lądowej doszło na tym obszarze w czwartorzędzie, równocześnie jednak dochodziło wtedy do procesów denudacji i erozji. Plejstocenne utwory na obszarze Parku to piaski, piaski ze żwirami oraz piaski gliniaste. Podczas ostatniego zlodowacenia Wisły, obszar Parku znajdował się w strefie peryglacjalnej, co skutkowało deponowaniem tam piasków, piasków mułkowatych oraz mułków. Istotny udział posiadają także piaski eoliczne oraz lessy. W holocenie zaś obszary dolin rzecznych i

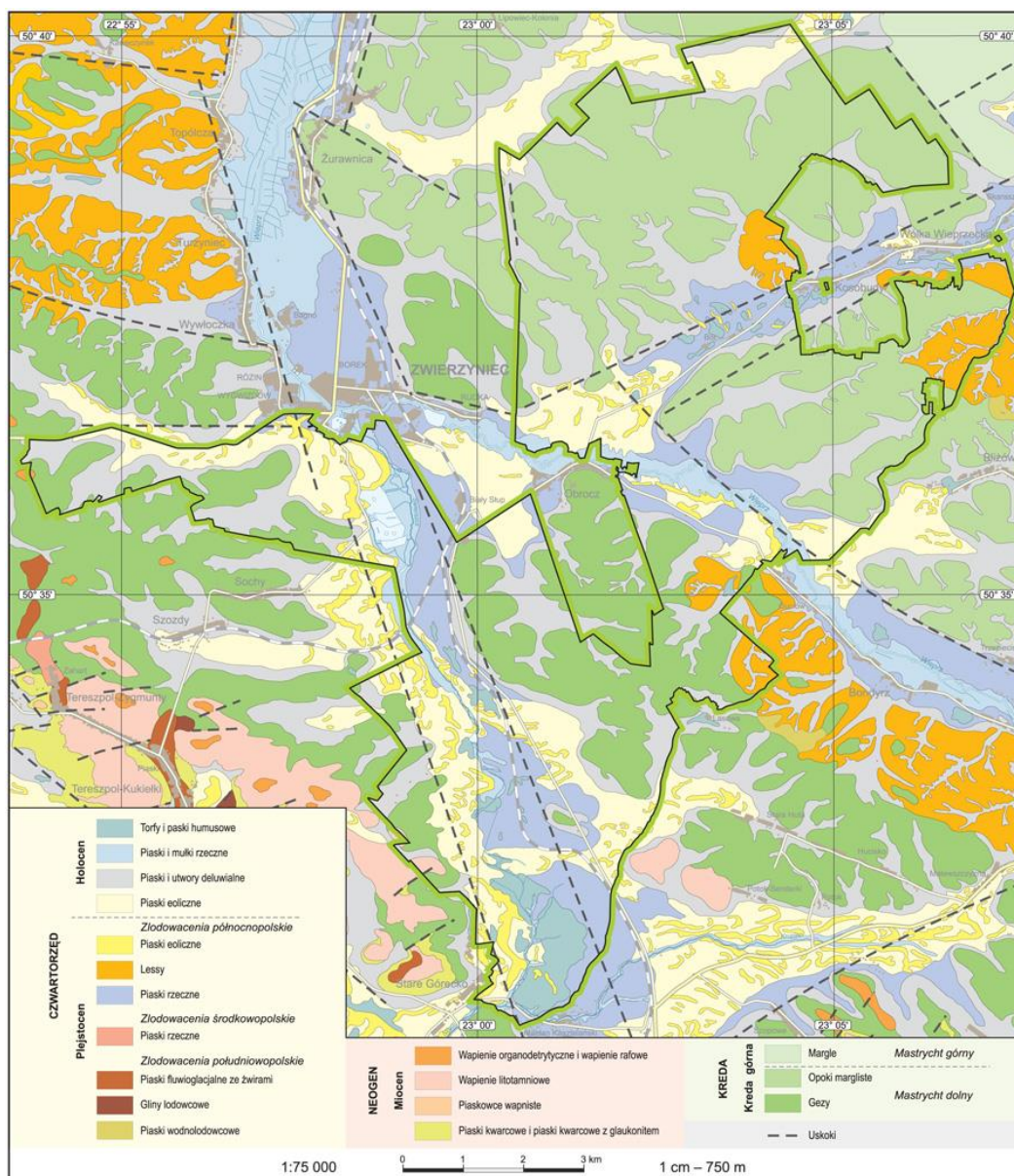
zagłębień terenu zostały wypełnione osadami sedymentacyjnymi – torfami humusowymi, mułkami rzecznyymi i namułami (Brzezińska-Wójcik, Harasimiuk 2015).

Ryc. 4.2. Skały mezozoiczno-kenozoiczne bez utworów czwartorzędowych Rostoczańskiego Parku Narodowego



Źródło: Brzezińska-Wójcik i in. 2015

Ryc. 4.3. Utwory powierzchniowe Rostoczańskiego Parku Narodowego



Źródło: Brzezińska-Wójcik i in. 2015

Rzeźba terenu

Ukształtowanie powierzchni Roztoczańskiego Parku Narodowego cechuje się dużą różnorodnością (Ryc. 4.4). W nawiązaniu do charakterystycznej, składającej się z odrębnych bloków budowy tektonicznej w granicach Parku, wyróżnić można liczne mikroregiony geomorfologiczne.

Odpowiednikiem bloku północno-wschodniego jest wzniesienie Kamiennej Góry. osiągające kulminację w postaci szczytu Kamienna Góra (340 m n.p.m.). Ta część

charakteryzuje się deniwelacjami rzędu 90-120 m, a stoki szczególnie zachodniej części są strome i krótkie.

Elementem rzeźby terenu, który odpowiada blokowi wschodniemu jest Grzbiet Bliżowa, który wznosi się na 320-330 m n.p.m. W lessowej tego mikroregionu występują liczne suche dolinki i krótkie wąwozy rozcinające zbocza, zaś w części południowo-zachodniej występują suche doliny o znacznej długości.

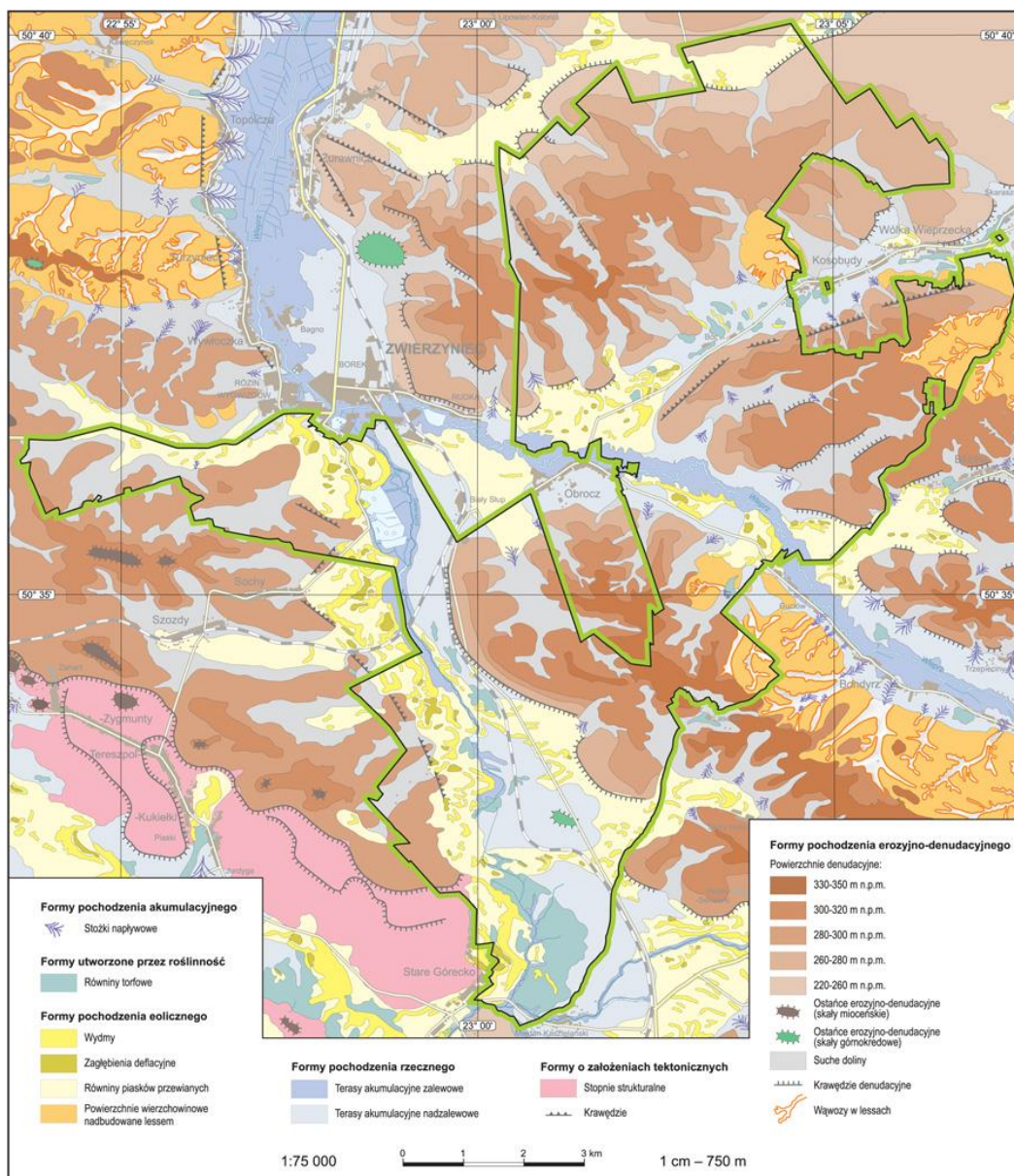
Przedstawicielem bloku środkowego jest Wzniesienie Nart-Czerkies, z kulminacją wysokości rzędu 350 m n.p.m. Wzniesienie cechuje się znaczną asymetrią skłonów. Skłon północno-wschodni posiada gęstą sieć głęboko wcinających się suchych dolin wraz z rozbudowanymi systemami wąwozowymi. Skłon opada w kierunku doliny Wieprza (240 m n.p.m.), przez co deniwelacje w części północno-wschodniej dochodzą do ponad 100 m. Na skłonie południowo-zachodnim wyróżnić można liczne wzniesienia, oddzielonymi od siebie szerokimi obniżeniami, w których rozwinęły się formy eoliczne, np. wydmy.

Blok zachodni wyróżnia się złożonością form ukształtowania terenu. Na północnym-wschodzie znajduje się wzniesienie Bukowej Góry. Pod względem charakteru rzeźby przypomina krajobraz pogórski (Harasimiuk 1996). Występują tutaj duże deniwelacje terenu, przekraczające 100 m, wysokości bezwzględne wierzchołków osiągające 310-320 m kontrastują szczególnie widocznie z dnem Padołu Zwierzynieckiego (230 m n.p.m.). Od strony zachodniej wzniesienie stanowi krawędziową część i łagodnie opada ku Kotlinie Sandomierskiej.

Ukształtowanie terenu strefy krawędziowej Wzgórz Tereszpolskich ma silny związek ze zjawiskami tektonicznymi. Obszar ten cechuje się stopniowością. Pierwszy stopień krawędziowy o szerokości 1,5-2,0 km stanowi powierzchnię zrównań wznoszącą się na 20,0 m. Powyżej kolejny stopień wznosi się o kolejne 40,0-50,0 m i przechodzi w nieco bardziej zarysowane wzgórze. To właśnie te wzniesienia ze względu na występowanie twardych wapieni miocenских przypominają ostańce i określane są „górami świadkami” (Brzezińska-Wójcik, Harasimiuk 2015, za: Maruszczak, Wilgat 1956). Północno-wschodni skłon wzgórz tworzą krótkie, strome stoki, które stopniowo przechodzą w silnie rozciętą powierzchnię zaliczaną do stopnia przykrawędziowego. Od wschodu mikroregion Wzgórz Tereszpolskich ograniczony jest doliną Szumu.

Przez centralną część Parku przebiega obniżenie genezy tektonicznej określane Padołem Zwierzynieckim, jego szerokość osiąga 2,0 km. W zachodniej części Padołu Zwierzynieckiego spotkać można liczne stożki napływowe oraz wydmy. W dnie obniżenia płynie rzeka Świerszcz, której źródła znajdują się na silnie zabagnionej dolinie na wysokości około 250 m n.p.m. Na południe, w okolicach leśniczówki Kruglik znajduje się dział wodny pomiędzy zlewnią Świerszcza, a zlewnią Szumu. Od północy Padół Zwierzyniecki ograniczony jest doliną Wieprza. W górnym odcinku Wieprz silnie meandruje i przepływa przez zabagnioną dolinę, zaś w odcinku dolnym staje się rzeką o krętym korycie, a w niektórych miejscach jak np. w Zwierzyńcu o korycie prostym.

Ryc. 4.4. Rzeźba terenu Roztoczańskiego Parku Narodowego



Klimat

Klimat Roztoczańskiego Parku Narodowego pod względem regionalizacji klimatycznej Polski, zalicza się do regionu Zamojsko-Przemyskiego (Woś 1999). Cechami szczególnymi tego obszaru jest niewielka liczba dni z pogodą umiarkowaną ciepłą, często pojawiają się zaś dni z pogodą bardzo ciepłą i niewielkim zachmurzeniem oraz opadem.

Obszar Roztoczańskiego Parku Narodowego wykazuje się klimatem przejściowym umiarkowanie ciepłym z przewagą cech kontynentalnych. Masy powietrza polarno-morskiego

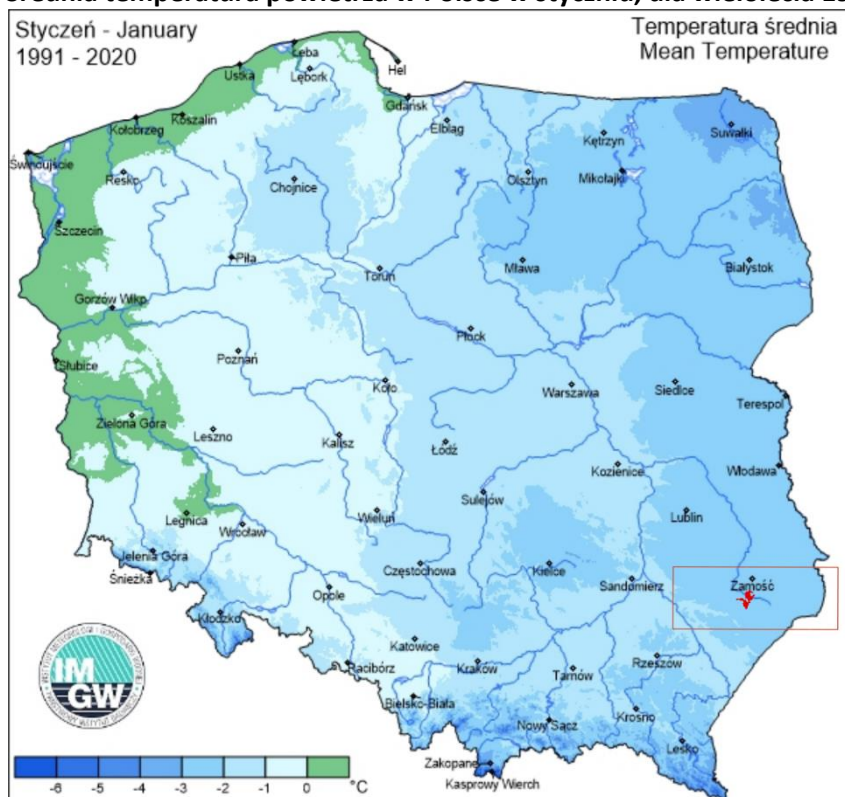
stanowią 65% udziału wszystkich napływających mas w ciągu roku, znaczący jest także wpływ suchych mas powietrza polarno-kontynentalnego, których udział wynosi około 18% (Kaszewski, Siwek 2015).

Średnia roczna temperatura powietrza tego obszaru opisywana jest izotermą 7,0°C. Najchłodniejszym miesiącem jest styczeń ze średnią temperaturą -2,7°C (Ryc. 4.5), zaś najcieplejszym lipiec ze średnią temperaturą 19,1°C (Ryc. 4.6). Obszar ten odznacza się dość wysokimi wartościami amplitudy temperatury powietrza, w ciągu roku dochodzi do 22°C.

Region Roztocza, w którym położony jest RPN zalicza się do najchłodniejszy regionów Lubelszczyzny. Średnia liczba dni z temperaturą maksymalną < 0,0°C (dni zimowe) wynosi około 55 dni. Jest to jedna z najwyższych wartości dla Polski, której średnia liczba dni zimowych wynosi od 28-66 (Warakomski 1996).

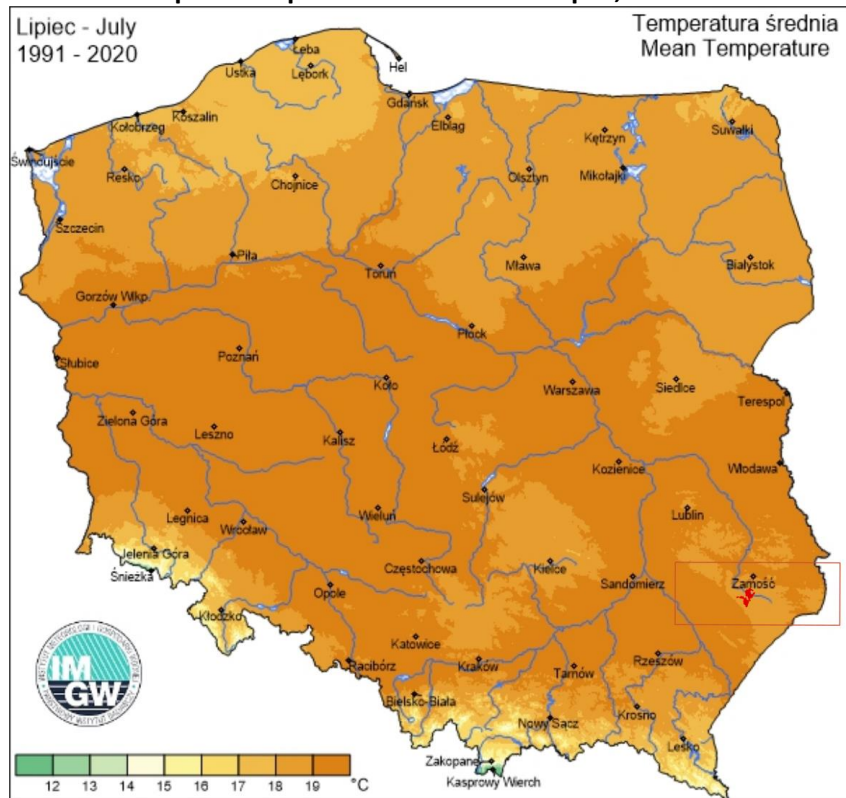
Średnia suma opadów atmosferycznych (Ryc. 4.7) dla regionu Roztocza wynosi 710 mm, co również jest wynikiem odznaczającym się na tle kraju – wartość ta jest wyższa o 110 mm od przeciętnej. Miesiącem z najniższą sumą opadu jest grudzień (ok. 40 mm), a za miesiąc z najwyższymi wartościami sumy opadu uznaje się lipiec (ok. 112 mm).

Ryc. 4.5. Średnia temperatura powietrza w Polsce w styczniu, dla wielolecia 1991 – 2020



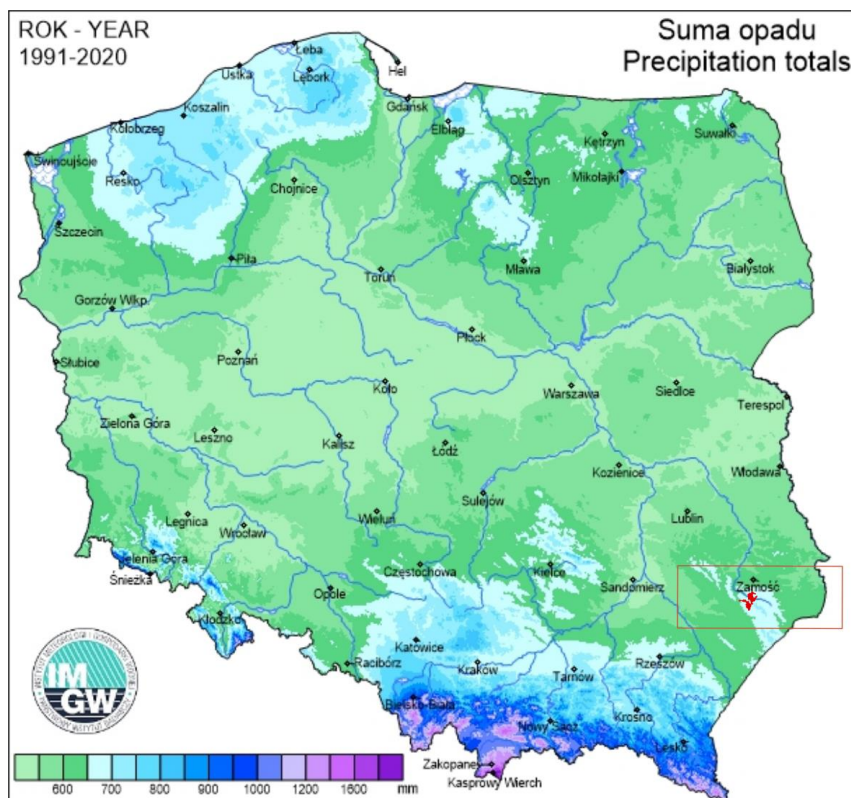
Źródło: opracowanie własne na podstawie: https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Mean_Temperature/Monthly/1991-2020/1/Winter

Ryc. 4.6. Średnia temperatura powietrza w Polsce w lipcu, dla wielolecia 1991 – 2020



Źródło: opracowanie własne na podstawie: https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Mean_Temperature/Monthly/1991-2020/7/Winter

Ryc. 4.7. Średnia suma opadu rocznego w Polsce dla wielolecia 1991 – 2020



Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Precipitation/Yearly/1991-2020/7/Winter>

Wody powierzchniowe i podziemne

Obszar Roztoczańskiego Parku Narodowego według podziału hydrograficznego Lubelszczyzny znajduje się w subregionie IIa (Roztocze). Cechami wyróżniającymi tą jednostkę są najwyższe opady atmosferyczne oraz największe wartości odpływu całkowitego. W rzeczywistości, zasobność wodna Parku jest zróżnicowana względem poszczególnych jego części (Michalczyk, Wilgat 1998; Michalczyk, Kowalczyk 2002).

Sieć rzeczna Roztoczańskiego Parku Narodowego jest słabo rozwinięta. Większość obszaru RPN położona jest w zlewni górnego Wieprza (Ryc. 4.8). Najważniejszymi dopływami rzeki na tym odcinku są prawostronnie wpadająca Jacynka oraz lewostronnie uchodzący do Wieprza Świerszcz. W skład dorzecza Wieprza zalicza się także zlewnię Łabuńki oraz Poru. Niewielkie fragmenty południowo-zachodniej części Parku odwadniane są przez system dorzecza Tanwi, którą prezentuje górny Szum oraz zlewnia Czarnej Łady.

Warto wspomnieć, że sieć hydrograficzna międzyrzeczna Wieprza i Tanwi uległa przekształceniom na skutek zabiegów melioracyjnych, które były odpowiedzią na wzrastającą

potrzebę eksploatacji obszarów leśnych w XX wieku. Na skutek melioracji wydłużeniu uległa długość liniowych obiektów wodnych, bowiem obszar ten był niegdyś sporadycznie odwadniany przez Świerszcz i Szum (Michalczyk, Wilgat 1996).

Najbardziej znanym zbiornikiem wodnym na terenie RPN jest kompleks Stawów Echo o łącznej powierzchni 39,9 ha. Powyżej niego znajdują się Czarny Staw (1,0 ha) oraz Staw Florianiecki (0,8 ha). Zbiorniki te posiadają genezę sztuczną i zasilane są wodami Świerszcza. Na terenie Parku znajdują się liczne (szacuje się, że jest ich ok.200) (Grabowski, Kałamucka 2015), niewielkie powierzchniowo zbiorniki o zróżnicowanej genezie. Woda wypełnia okresowo zagłębienia terenu, a niekiedy geneza tych zbiorników może być związana także z działalnością zwierząt. Przykładem są występujące w dolinie rzeki Świerszcz stawy bobrowe.

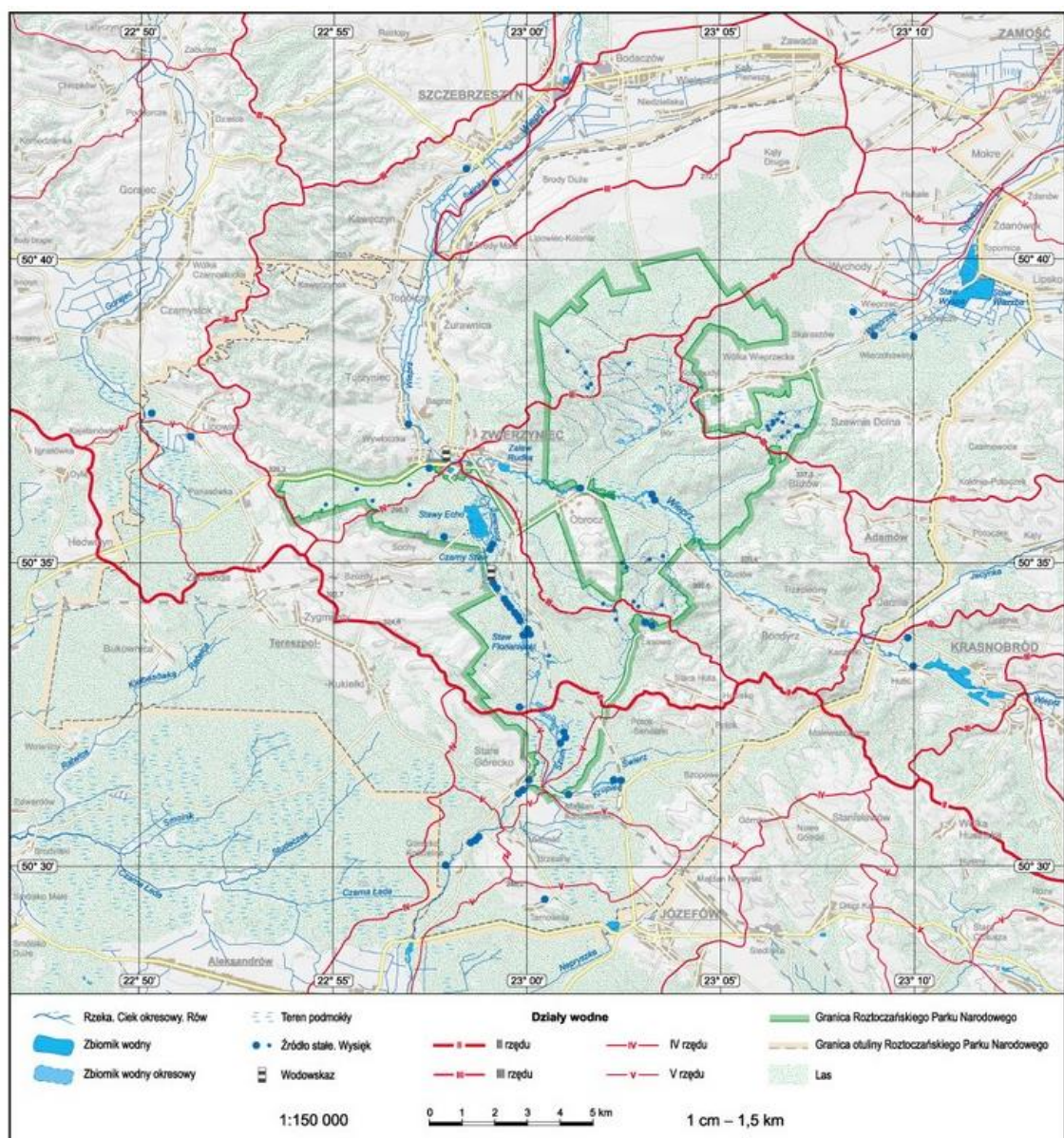
Dużą rolę kształtującą zasobność wód podziemnych Roztoczańskiego Parku Narodowego posiadają utwory górnej kredy. W spękanych skałach węglanowo-krzemionkowych obecne są liczne pory i szczeliny, które umożliwiają powstanie głównego poziomu wodonośnego regionu – poziomu roztoczańskiego.

Widoczna jest zależność pomiędzy ukształtowaniem terenu a głębokością zalegania wody. Wody podziemne w utworach czwartorzędowych występują w obniżeniach dolinnych, np. dolinach kopalnych Wieprza, na głębokości 2-4 m. Na wierzchołkach zwierciadło wód podziemnych występuje na głębokościach dochodzących do 80 m (Ryc. 4.9).

Do najbardziej wydajnych obszarów pod względem warunków hydrogeologicznych należy dolina Wieprza – nawet do 150 m³/h/m depresji, zaś najgorszymi są obszary działów wodnych – 1 m³/h/m depresji (Michalczyk, Wilgat 1998).

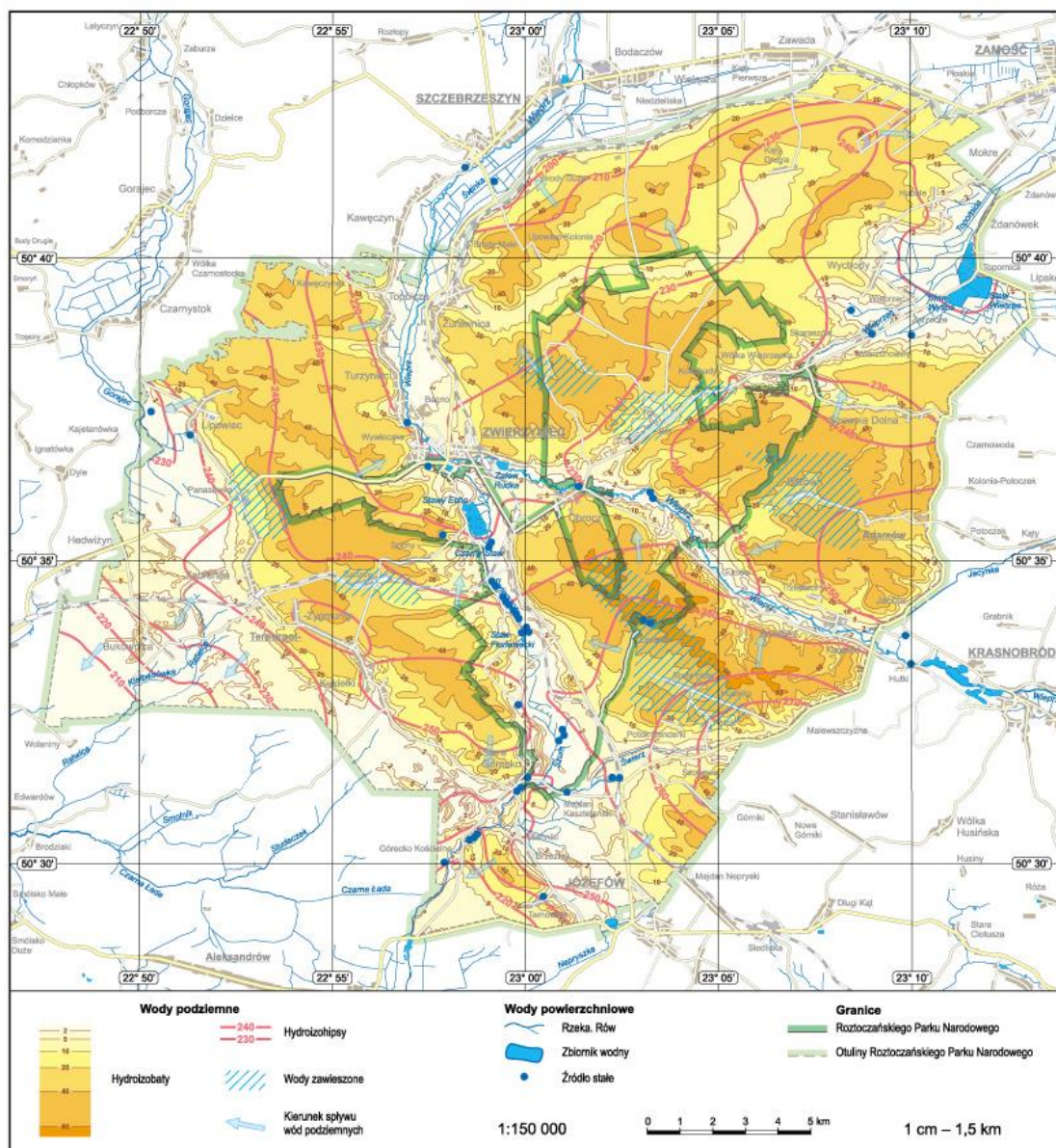
Źródła w Roztoczańskim Parku Narodowym to źródła typu szczelinowo-warstwowego, a ich występowanie związane jest głównie z dolinami rzecznyymi założonymi na liniach dyslokacji tektonicznych. Najbardziej wydajne źródła znajdują się u podciętych przez Wieprz zboczy Stokowej Góry - 138 l/ sekundę (Bartoszewski, Michalczyk 2015).

Ryc. 4.8. Wody powierzchniowe Roztoczańskiego Parku Narodowego



Źródło: Bartoszewski i in. 2015

Ryc. 4.9. Wody podziemne Roztoczańskiego Parku Narodowego



Źródło: Bartoszewski i in. 2015

Gleby

Czynnikami glebotwórczymi, które najsilniej warunkują występowanie gleb na terenie Roztoczańskiego Parku Narodowego są rodzaj podłoża skalnego, urozmaicona rzeźba terenu, a także szata roślinna (Uziak 1996). Do głównych utworów budujących podłoże Parku należą piaski luźne oraz piaski słabogliniaste o zróżnicowanej genezie oraz gezy z opokami marglistymi.

W Parku dominują rędziny - 33,2% (Tab. 4.1), które utworzyły się na utworach wapiennych takich jak gezy oraz wapienie litotamniowe. Szczególnie licznie gleby te występują w obrębie ostańców oraz zdenudowanych wierzchołków. Pod względem siedliska roślinnego, rędziny spotkać można w zbiorowiskach buczyny karpackiej i grądu. Gleby te wykorzystywane są na terenie RPN niekiedy pod grunty rolne.

Wysoki udział posiadają gleby bielcowe - 32,9%, które związane są z występowaniem utworów piaszczystych pochodzenia rzeczno, deluwialnego, eolicznego oraz wodnolodowcowego. Gleby te zajmują obszary wydm, suchych dolin oraz teras zalewowych i nadzalewowych. Ich występowanie związane jest ze zbiorowiskami drzewostanów iglastych – bory sosnowe, mieszane oraz bory bagienne. Tożsama skała macierzysta jak w przypadku gleb bielcowych, występuje u gleb rdzawych, które stanowią 23,5% udziału w powierzchni. Niekiedy gleby rdzawe mogą utworzyć się na piaskach zalegających na zwietrzelinie skały wapiennej. Typy siedliskowe lasu, w których występują to bory mieszane oraz grąd subkontynentalny.

Niewielki udział posiadają gleby płowe (ok. 3%), które rozwinęły się na utworach pylastych takich jak less i pyły lessopodobne. Gleby płowe występują w RPN w niewielkim stopniu pod zbiorowiskami buczyny karpackiej. Gleby te niekiedy wykorzystywane są pod uprawę rolną. Podobny udział posiada grupa utworów organicznych – gleby torfowe i murszowe (łącznie 2,9%). Gleby torfowe na obszarze Parku utworzyły się z torfów wysokich, przejściowych oraz w niewielkim stopniu z torfów niskich. Występują głównie w dolinach rzecznych oraz na terenach mokradłowych Parku. Co istotne, gleby te na skutek spadku wielkości opadów atmosferycznych oraz prowadzonych w latach 60. i 70. XX wieku melioracji ulegać mogą murszeniu. Zbiorowiska roślinne porastające gleby organiczne to m.in. olsy torfowcowe i bory bagienne (Dębicki i in. 2015).

Najmniej znaczące pod względem powierzchniowym są gleby technogeniczne, głównie związane z infrastrukturą i zabudową terenu (Ryc. 4.10).

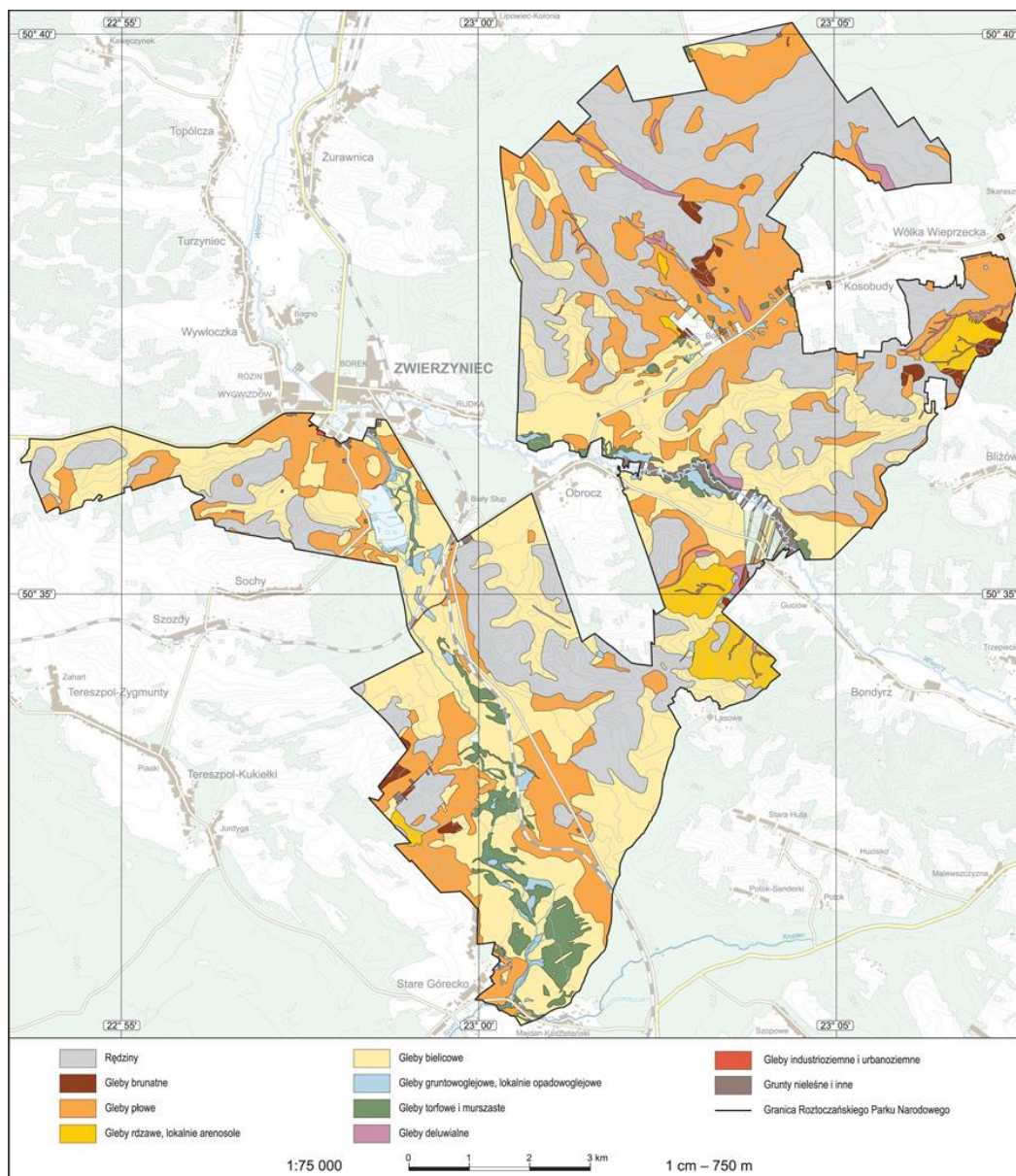
Tab. 4.1. Gleby Roztoczańskiego Parku Narodowego na podstawie Klasyfikacji Gleb Leśnych Polski

Typ gleby	Udział [%]
Rędziny	33,16
Gleby bielcowe	32,86
Gleby rdzawe	23,53

Typ gleby	Udział [%]
Gleby płowe	2,95
Gleby torfowe	2,48
Gleby gruntowoglejowe	1,30
Gleby deluwialne	0,97
Gleby brunatne	0,89
Gleby murszowe	0,41
Gleby opadowoglejowe	0,10
Gleby industrio i urbanoziemne	0,05
Arenosole	0,01
Grunty inne	1,28
Razem	100,00

Źródło: <https://roztoczanski.pn.pl/pl/przyroda/przyroda-nieozywiona/gleby>

Ryc. 4.10. Gleby leśne Roztoczańskiego Parku Narodowego



Źródło: Miśta, Radliński 2015

Zagospodarowanie terenu

W strukturze użytkowania obszaru Roztoczańskiego Parku Narodowego (Tab. 4.2) dominują grunty leśne, których powierzchnia wynosi ok. 96%. Tak wysoki udział powierzchni leśnych RPN klasyfikuje go jako drugi z najbardziej zalesionych parków narodowych (zaraz za Magurskim Parkiem Narodowym). Nie bez znaczenia jest również powierzchnia zajmowana przez wody powierzchniowe, pomimo, że jest to ok. 0,6% - względem pozostałych parków narodowych w Polsce jest to wartość wysoka. Analiza konkretnych kategorii gruntów pozwala

także na oszacowanie udziału gruntów rolnych jako nieznacznych pod względem zajmowanej powierzchni – 3,1% (Grabowski, Kałamucka 2015).

Do gruntów pozostałych zaliczyć można tereny przekształcone przez człowieka, np. elementy infrastruktury, które będą wchodziły w skład ścieżek przyrodniczych, np. ścieżka na Bukową Górę, a także drogi dojazdowe oraz trakty, np. Trakt Krasnobrodzki. Terenami zagospodarowanymi określić można także plażę i parking przy Stawach Echo oraz budynki należące do RPN – np. Izba Leśna we Floriancie. Przez teren Parku przebiega Linia Hutnicza Szerokotorowa, która wykorzystywana jest do transportu towarowego.

Najlepiej zachowane ekosystemy leśne RPN, które stanowią 12,1% (1029,22 ha) powierzchni RPN zostały objęte ochroną ścisłą i są to: obszar ochrony ścisłej Jarugi, ooś. Bukowa Góra, ooś. Nart, ooś. Czerkies, ooś. Międzyrzeki (Rozporządzenie...2018). Ochroną czynną objęto 85,4%, a krajobrazową 2,5% powierzchni Parku (Kałamucka, Grabowski 2015).

Tab. 4.2. Rodzaj użytkowania gruntów w Rostoczańskim Parku Narodowym

Kategoria gruntów	Powierzchnia w ha	Powierzchnia w %
Leśne	8101,3	95,5%
w tym niezalesione	46,9	0,6%
Rolne	261,9	3,1%
Zadrzewione i zakrzaczone	2,2	0,0%
Wody	52,6	0,6%
Tereny pozostałe	64,8	0,8%
Razem	8 482,8	100,0%

Źródło: Grabowski, Kałamucka 2015

Flora i fauna

Zbiorowiska roślinne Rostoczańskiego Parku Narodowego to głównie zróżnicowane pod względem gatunkowym zbiorowiska leśne (Ryc. 4.11). Do podstawowych składników drzewostanów należą: sosna zwyczajna *Pinus silvestris* tworząca bór sosnowy, buk zwyczajny *Fagus sylvatica* tworzący żyzną buczynę karpacką (19,5% powierzchni Parku) oraz jodła zwyczajna *Abies alba* tworząca wyżynny bór jodłowy (12,2% powierzchni Parku).

Obszary dolinne, często zabagnione stanowią siedlisko dla łęgów jesionowo-olszowych oraz olsów porzeczkowych i torfowcowych (Szwagrzyk, Maciejewski, 2015). Ogólna liczba występujących gatunków drzew szacowana jest na 45. Wśród zbiorowisk nieleśnych (Tab. 4.3) dominują fitocenozy łąkowe stanowiące 43,5% ogólnego obszaru zajmowanego przez

ekosystemy nieleśne. Wysoki udział posiadają także roślinność wodna i szuwarowa oraz roślinność torfowiskowa (20,3%).

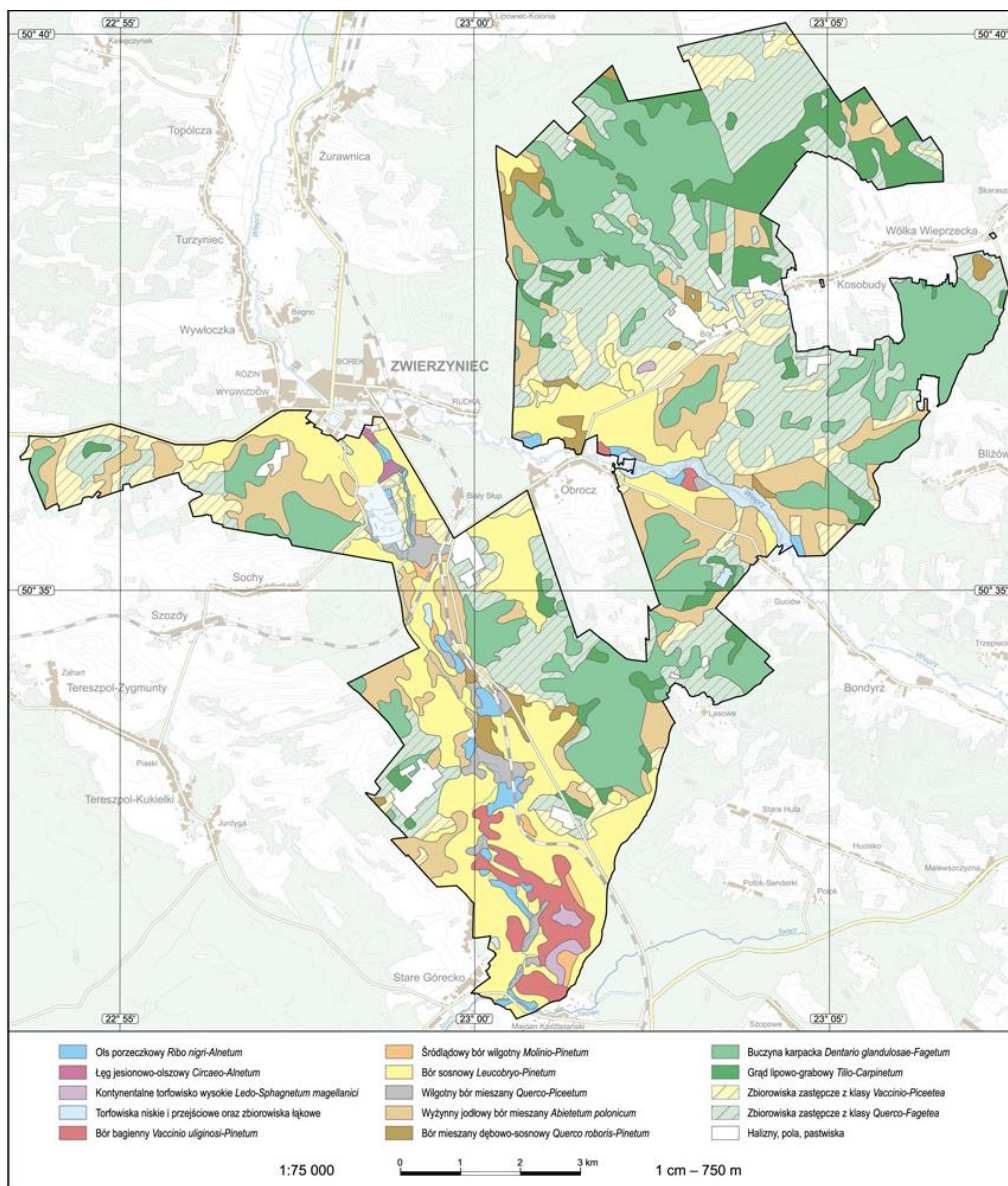
Niezwykle bogata jest także fauna Parku – obecnych jest tutaj 3630 gatunków zwierząt. Fauna bezkręgowców RPN stanowi około 10% fauny krajowej (3300 gatunków) – dominują stawonogi i owady, fauna kręgowców (343 gatunków) RPN stanowi około 46% fauny krajowej – dominują ptaki i ssaki.

Na terenie Parku wyróżnia się poszczególne ostoje fauny. W części południowej występują tacy przedstawiciele świata zwierząt jak minóg ukraiński, żółw błotny, derkacz i bóbr europejski. W części północnej obserwować można jelonka rogacza, puszczyka uralskiego i nocka dużego (Lorens, Stachyra 2015).

Co szczególnie istotne, na terenie Parku prowadzi się działania mające na celu szczególną ochronę awifauny (Stachyra i in. 2015).

- zmiana większości napowietrznych linii energetycznych na linie kablowe
- wprowadzenie stref ochrony całorocznej i okresowej w okolicach siedlisk bociana czarnego i orlika krzykliwego
- prowadzenie ochrony czynnej przez wykaszanie łąk w dolinie Wieprza

Ryc. 4.11. Zbiorowiska roślinne



Źródło: Lorens, Radliński 2015

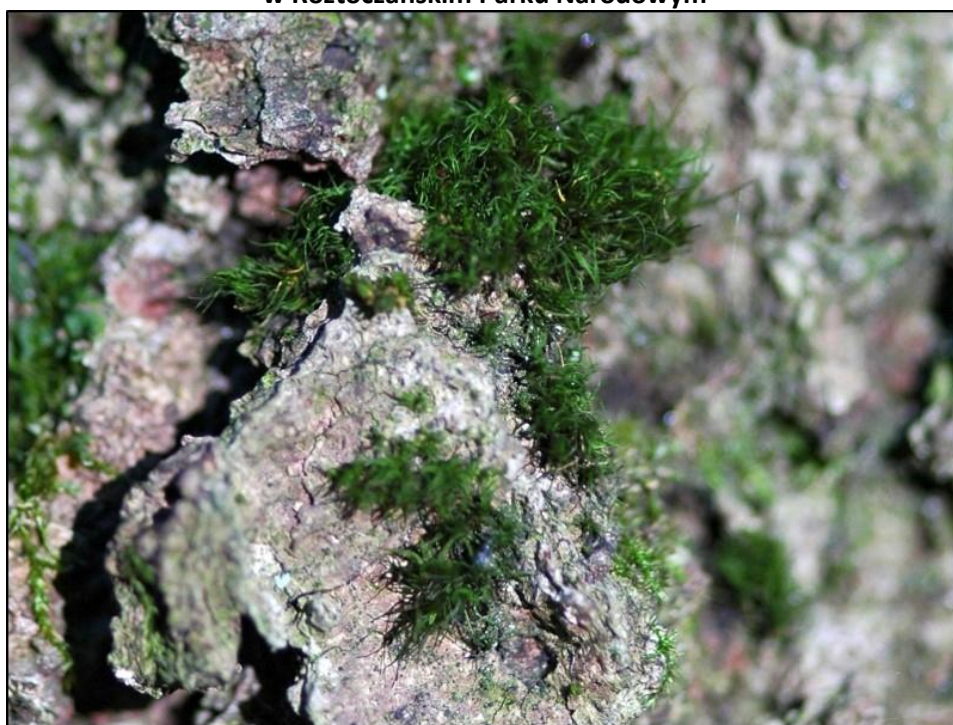
Tab.4.3. Nieleśne ekosystemy lądowe Roztoczańskiego Parku Narodowego

Zbiorowiska roślinne nieleśne	Wybrane gatunki wskaźnikowe	Powierzchnia w ha	Powierzchnia w %
Roślinność wodna i szuwarowa	turzyca zastrzona, tatarak zwyczajny, mozga trzcinowata	26,6	16,7%
Roślinność łąkowa	wiązówka błotna, bodziszek łąkowy, śmiełek darniowy	72,9	45,6%

Zbiorowiska roślinne nieleśne	Wybrane gatunki wskaźnikowe	Powierzchnia w ha	Powierzchnia w %
Roślinność niskich muraw napiaskowych	mietlica pospolita, jastrzębiec kosmaczek	6,3	4,0%
Roślinność torfowiskowa	wełnianka pochwowata, torfowiec odgięty	5,8	3,6%
Zbiorowiska roślinności antropogenicznej	marchew zwyczajna, perz właściwy	36,1	22,6%
Zbiorowiska roślinności leśnej i zaroślowej niezaliczone do powierzchni leśnej zalesionej	turzyca błotna, śmieciek darniowy, torfowiec błotny	12,1	7,6%
Razem		159,9	100,0%

Źródło: <https://roztoczanski.pn.pl/pl/przyroda/przyroda-ozywiona/nielesne-ekosystemy-ladowe>

Ryc. 4.12. Fragment pojedynczego skupiska widłozębu zielonego *Dicranum viride* na korze drzewa w Rostoczańskim Parku Narodowym



Źródło fotografii: Robert Zubel 2017

Ryc. 4.13. Derkacz w Rostoczańskim Parku Narodowym



Źródło: Paweł Marczakowski 2015

Bibliografia

- Bartoszewski S., Michalczyk Z., 2015. *Stosunki wodne* [w:] Reszel R., Grądziel T., 2015. Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek. Wydanie II uaktualnione. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 53-60.
- Brzezińska-Wójcik T., Harasimiuk M., 2015. *Budowa geologiczna i rzeźba terenu* [w:] Reszel R., Grądziel T., 2015. Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek. Wydanie II uaktualnione. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 41-48.
- Buraczyński J. 1995. *Regiony geomorfologiczne Rostocza*. Annales UMCS, sec. B, v. 48: 59-73.
- Buraczyński J. 2013. *Rozwój rzeźby Rostocza*. Drukarnia i Wydawnictwo Akademickie Wyższej Szkoły Społeczno-Przyrodniczej im. Wincentego Pola. Lublin.
- Dębicki R., Bartmiński P., Chodorowski J., Miśta T., 2015. *Gleby* [w:] Reszel R., Grądziel T., 2015. Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek. Wydanie II uaktualnione. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 49-52.
- Grabowski T., Kałamucka W., 2015. *Wiadomości wstępne o Parku* [w:] Reszel R., Grądziel T., 2015. Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek. Wydanie II uaktualnione. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 31-38.
- Harasimiuk M., 1996. *Budowa geologiczna i rzeźba Roztoczańskiego Parku Narodowego* [w:] Wilgat T., Roztoczański Park Narodowy. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 55-67.

- Kałamucka W., Grabowski T., 2015. *Park na tle istniejących i planowanych obszarów chronionych Roztocza* [w:] Reszel R., Grądziel T., 2015. *Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek*. Wydanie II uaktualnione. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 245-248.
- Kaszewski B.M., Siwek K., 2015. *Klimat* [w:] Reszel R., Grądziel T., 2015. *Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek*. Wydanie II uaktualnione. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 61-65.
- Lorens B., Stachyra P. 2015. *Roztoczański Park Narodowy w sieci Natura 2000* [w:] Reszel R., Grądziel T., 2015. *Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek*. Wydanie II uaktualnione. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 249-260.
- Maruszczak H., Wilgat T., 1956. *Rzeźba strefy krawędziowej Roztocza*. Annales UMCS, sec. B, v 10: 1-107.
- Michalczyk Z., Kowalczyk I., 2002. *Stosunki Wodne. Terenowe uwarunkowania obiegu wody* [w:] Buraczyński J. 2002. *Roztocze. Środowisko przyrodnicze*. Wydawnictwo Lubelskie, Lublin: 228.
- Michalczyk Z., Wilgat T. 1996. *Wody w rejonie Roztoczańskiego Parku Narodowego* [w:] *Roztoczański Park Narodowy*. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 68-81.
- Michalczyk Z., Wilgat T., 1998. *Stosunki wodne Lubelszczyzny. Badania Hydrograficzne w Poznawaniu Środowiska; t. 4*. Wydawnictwo UMCS, Lublin.
- Ochrona Środowiska* 2012. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia z dnia 19 kwietnia 2018 r. w sprawie ustanowienia planu ochrony dla Roztoczańskiego Parku Narodowego [Dz.U. 2018, poz. 1081].
- Roztocze wpisane na Światową Listę Rezerwatów Biosfery UNESCO* [online], 25 czerwca 2019 [dostęp 05.05.2022]. Polska. Polski Komitet ds. UNESCO. Dostęp w internecie: <https://www.unesco.pl/nauka/article/28/roztocze-wpisane-na-swiatowa-liste-rezerwatow-biosfery-unesco>
- Stachyra P., Marczakowski P., Tchórzewski M., 2015. *Kręgowce bezszczękowe i promieniopłetwe (kręglousto i ryby)* [w:] Reszel R., Grądziel T., 2015. *Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek*. Wydanie II uaktualnione. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 127-175.
- Szwagrzyk J., Maciejewski Z., 2015. *Zróżnicowanie ekosystemów leśnych* [w:] Reszel R., Grądziel T., 2015. *Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek*. Wydanie II uaktualnione. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 69-81.
- Uziak S., 1996. *Gleby Roztoczańskiego Parku Narodowego i otuliny* [w:] Wilgat T., *Roztoczański Park Narodowy*. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec: 82-94.

Warakomski W. 1996. *Zarys klimatu Roztocza* [w:] Roztoczański Park Narodowy. Wydawnictwo Roztoczańskiego Parku Narodowego. Zwierzyniec:42-54.

Woś A., 1999. *Klimat Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Środowisko przyrodnicze Poleskiego Parku Narodowego

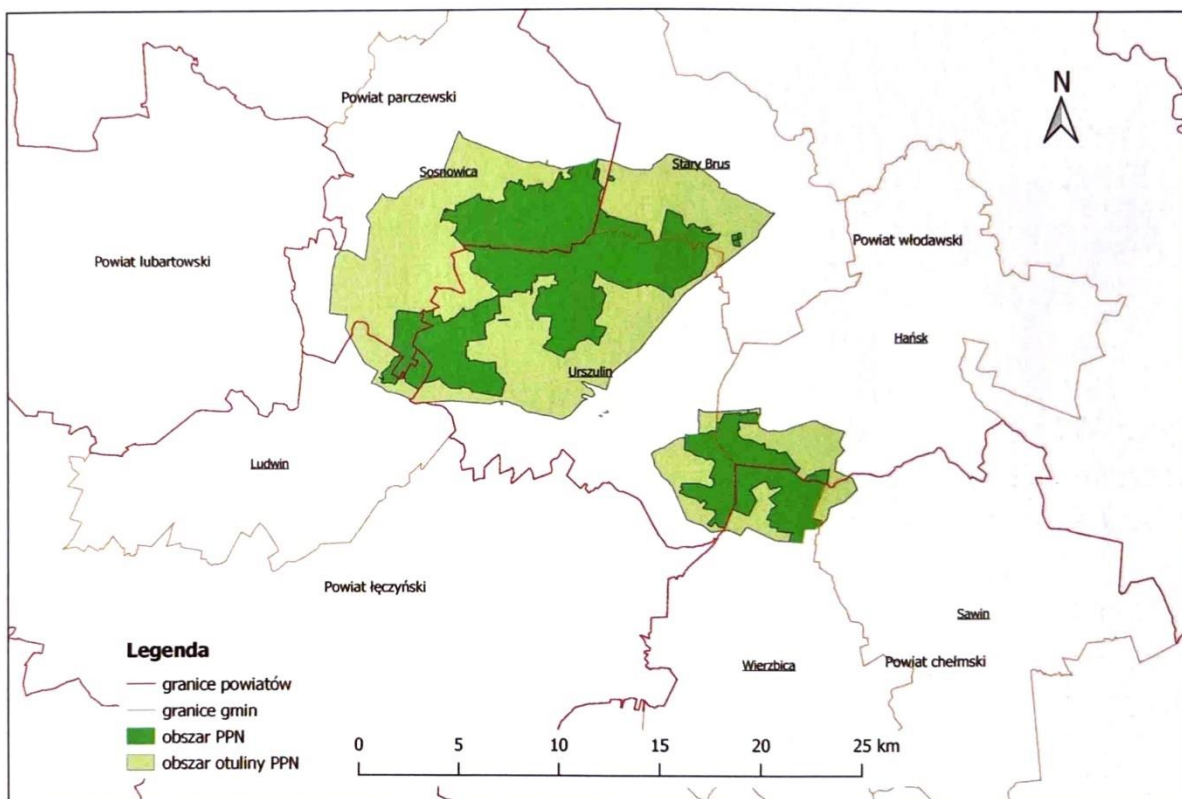
Tomasz Szafran

Lokalizacja

Poleski Park Narodowy zajmuje powierzchnię 9 759,9 ha i składa się z dwóch kompleksów terytorialnych: północno-zachodniego oraz południowo-wschodniego. Każdy z nich jest otoczony otuliną o szerokości do 3 km i łącznej powierzchni 13 702,8 ha.

Administracyjnie, PPN znajduje się w centralnej części województwa lubelskiego, na pograniczu czterech powiatów: łęczyńskiego, parczewskiego, włodawskiego oraz chełmskiego. Obszar Parku leży w obrębie siedmiu gmin: Urszulin, Stary Brus, Hańsk, Sosnowica, Wierzbica oraz Ludwin (Ryc. 5.1). Największa część powierzchni Parku (ponad 63%) znajduje się na obszarze powiatu włodawskiego oraz gminy Urszulin (około 52% powierzchni Parku). Ośrodek Dydaktyczno-Administracyjny wraz z siedzibą Dyrekcji usytuowany jest w Urszulinie, natomiast Ośrodek Dydaktyczno-Muzealny we wsi Stare Załucze (Chmielewski i in. 2020).

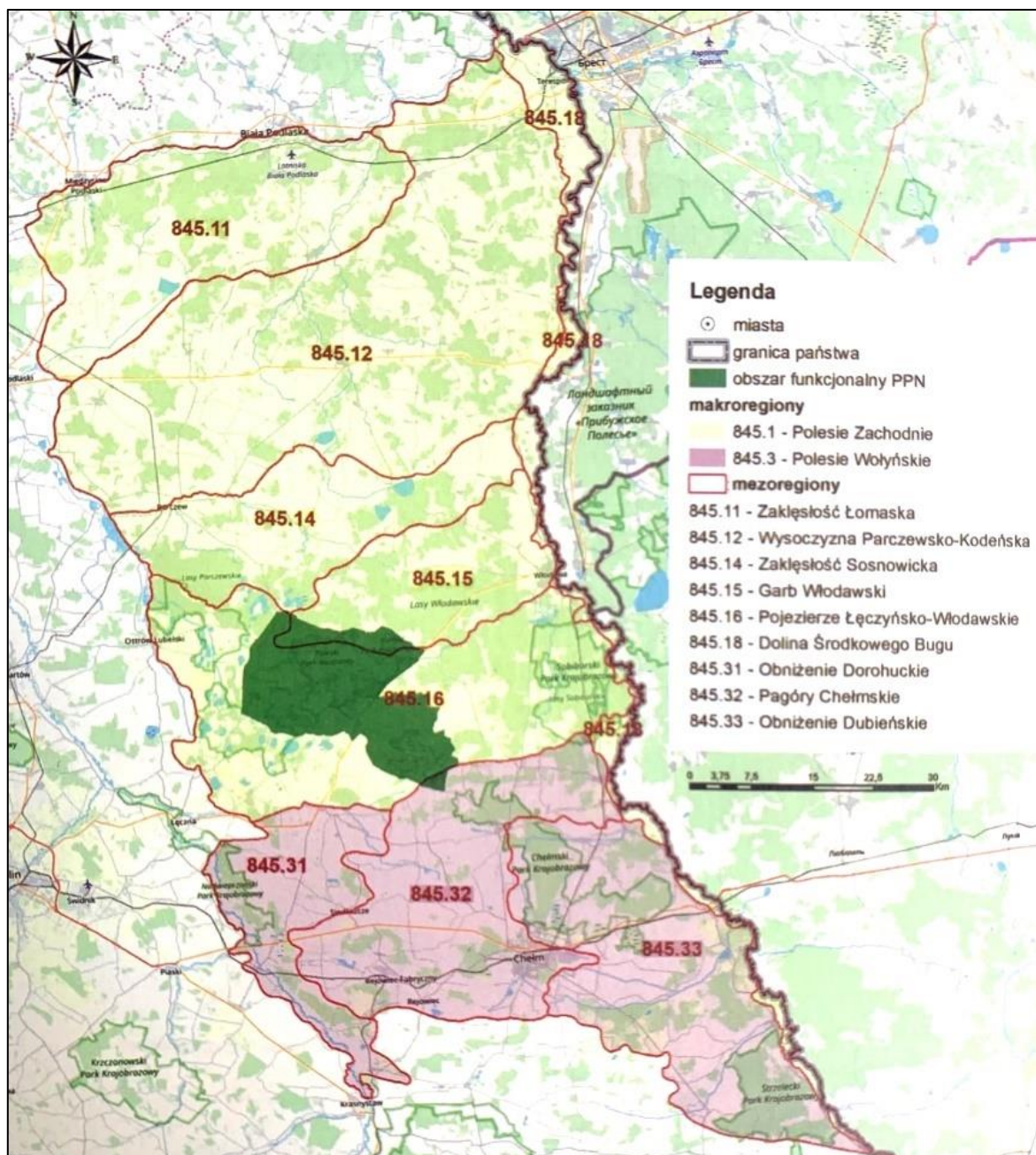
Ryc. 5.1. Położenie administracyjne Poleskiego Parku Narodowego i otuliny



Źródło: Chmielewski i in. 2020

Poleski Park Narodowy znajduje się w zachodniej części największego kompleksu torfowisk i bagien Europy – Polesia (Ryc. 5.2). Według podziału Polski na regiony fizycznogeograficzne (Solon i in. 2018) zdecydowana większość (ponad 90%) obszaru Parku i jego otuliny położona jest w granicach makroregionu Polesie Zachodnie (845.1) oraz centralnej części mezoregionu Pojezierze Łęczyńsko-Włodawskie (845.16). Niewielki, północny fragment Parku znajduje się na Garbie Włodawskim (845.15), natomiast południowo-wschodnia część położona jest na obszarze Polesia Wołyńskiego (845.3), w mezoregionie Pagóry Chełmskie (845.32).

Ryc. 5.2. Położenie obszaru funkcjonalnego PPN na tle podziału fizycznogeograficznego Polesia, w granicach Polski



Źródło: Chmielewski, Michalik-Śnieżek 2020

Geologia

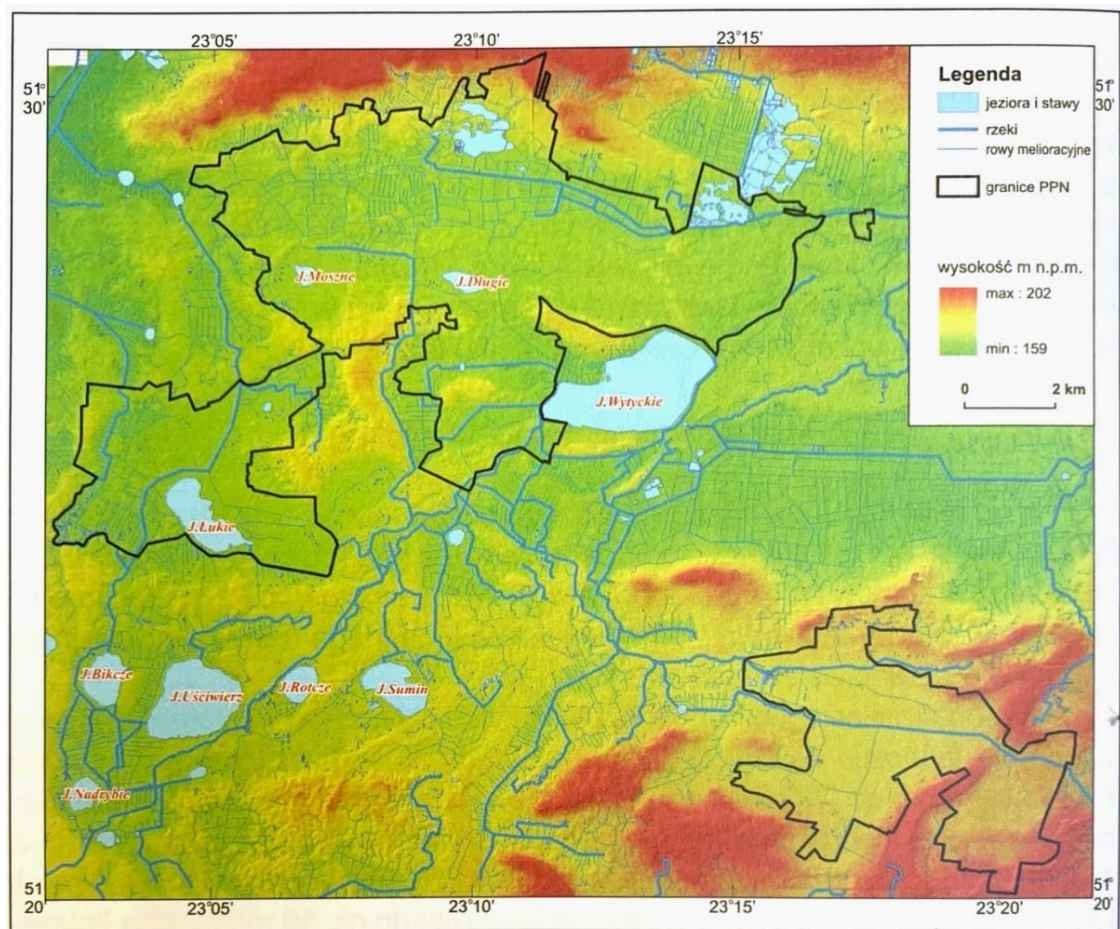
Budowa geologiczna w sposób istotny wpływa na funkcjonowanie systemów przyrodniczych Poleskiego Parku Narodowego, szczególnie warunków wodnych. Pod względem tektonicznym obszar Parku znajduje się przy zachodniej, peryferyjnej części platformy wschodnioeuropejskiej, w obrębie jednostki zapadliska włodawskiego.

Najstarszymi skałami nawierconymi na terenie Parku są utwory dewońskie: piaskowce, wapienie rafowe i dolomity. Oprócz nich, kompleks paleozoiczny, sięgający ponad 1000 metrów miąższości, budują karbońskie margle, piaskowce, mułowce i iłowce z pokładami węgla kamiennego. Kompleks mezozoiczny zbudowany jest głównie z wapieni i piaskowców oraz górnokredowych wapieni, margli i kredy piszącej. Utwory mezozoiku stanowią podłoże skalne omawianego regionu i w wielu miejscach odsłaniają się na powierzchni terenu. Zarówno w kompleksie paleozoicznym, jaki i mezozoicznym występują luki stratygraficzne, co świadczy o wzmożonych i długotrwałych procesach denudacyjnych (Dobrowolski, Pietruczuk 2020).

Pokrywa osadów paleogenu i neogenu reprezentowana jest przez cienkie serie miocenijskich piaskowców kwarcytowych, niewielkie płyty oligoceńskich piasków glaukonitowych oraz pliocenijskie iły, które przetrwały w obrębie niektórych kulminacji kredowego podłoża.

W czwartorzędzie obszar Parku był zlodowacony aż czterokrotnie, podlegał więc intensywnym procesom erozji, denudacji i sedymentacji. Skutkiem tego było powstanie zróżnicowanej pod względem genetycznym i litologicznym serii osadów, o miąższości do kilkudziesięciu metrów. Wśród utworów plejstocenijskich, największą powierzchnię zajmują wodnolodowcowe piaski i piaski ze żwirami ze zlodowacenia Odry. W strefie otulinowej PPN występują osady szczelin lodowych: piaski i żwiry ozów oraz piaski i mułki kemów, które tworzą widoczne w terenie ciągi wałów o orientacji N-S, NE-SW oraz W-E. W obniżeniach hipsometrycznych okolic Bagna Bubnów i Bagna Staw, a także Jeziora Łukie zalegają piaski i mułki jeziorno-rozlewiskowe ze zlodowacenia Wisły. Większość plejstocenijskich utworów występuje bezpośrednio na skałach węglanowych górnej kredy.

Ryc. 5.3. Utwory powierzchniowe Poleskiego Parku Narodowego



Źródło: Pietruczuk 2020

Pierwotna, silnie urozmaicona rzeźba została w znaczący sposób przemodelowana w czwartorzędzie. Wśród czynników, które odegrały główną rolę w intensywnej morfogenezie omawianego obszaru, można wyróżnić procesy: glacygenetyczne ze zlodowacenia Odry, peryglacialne (denudacyjne i akumulacyjne) ze zlodowacenia Warty i Wisły oraz holocenijskiej akumulacji biogenicznej. Największe znaczenie dla kształtowania współczesnej morfologii Parku miały jednak procesy zachodzące na przełomie późnego glacjału i holocenu. Uformowały się wtedy misy jeziorne i torfowiskowe, stanowiące baseny sedymentacyjne dla akumulacji organogenicznej (Harasimiuk 1996).

Wśród głównych elementów współczesnej rzeźby można wyróżnić m. in. formy glacygeniczne, do których zaliczyć należy wysoczyzny morenowe płaskie i rozległe równiny sandrowe. Ponadto na terenie Parku można wyróżnić 7 wałów ozów, które znacząco wyróżniają się w krajobrazie Polesia. Tworzą one ciągi wzniesień o wyrównanej powierzchni i

zmiennym przebiegu (NW-SE i NNW-SSE). Ich długość wynosi od 600 m do ok. 6 km, szerokość podstawy nie przekracza 200 m, a średnia wysokość waha się od 2 do 3 m.

Wokół północnego obniżenia Bagna Bubnów i Bagna Staw grupują się kemy i terasy kemowe, które tworzą wyraźne wzniesienia o równoleżnikowym przebiegu. Wznoszą się do 10 m nad poziom terenu, zaś ich długość osiąga maksymalnie 2 km.

Zespół form pochodzenia rzeczno-jeziornego tworzą dna dolin rzecznych, terasy akumulacyjne oraz równiny jeziorne, które na terenie Parku tworzą rozległe, monotonne powierzchnie.

Wśród form krasowych, charakterystycznych dla krasu kredy piszącej, najczęściej spotyka się wertoby - czyli drobne zagłębienia bezodpływowe, o średnicy kilkudziesięciu metrów i głębokości ok. 2 m (Maruszczak 1966). Oprócz nich, na bardziej odpornych na korozję skałach kredowych, zachowały się ostańce krasowe - humy.

Najmłodszymi, naturalnymi elementami rzeźby są wspomniane wcześniej równiny torfowe, zajmujące największą powierzchnię Parku i wypełniające dna licznych zagłębień o różnej genezie.

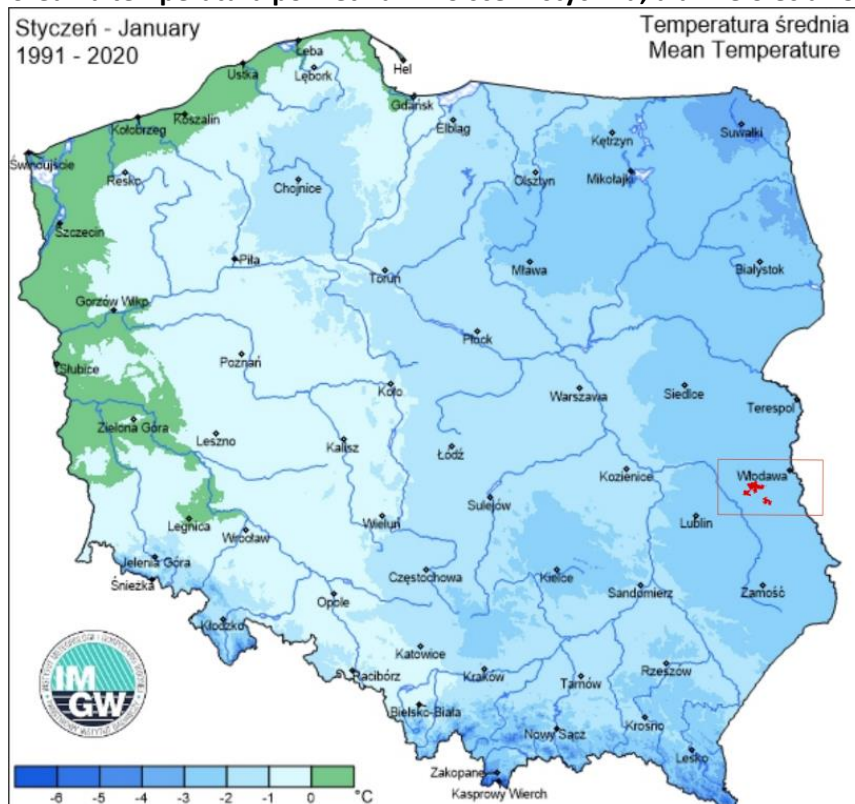
Współczesna morfologia Poleskiego Parku Narodowego jest intensywnie przekształcana w wyniku trwającej od ponad stu lat działalności człowieka. Do głównych form antropogenicznych należą przede wszystkim elementy związane z zagospodarowaniem i retencją wody (rowy melioracyjne, kanały, groble) oraz elementy związane z infrastrukturą komunikacyjną (wykopy i nasypy drogowe). Równinny charakter terenu sprawia, że formy te nie osiągają dużych wymiarów pionowych, natomiast wymiary poziome osiągają często długość kilku kilometrów. Jedną z najbardziej odznaczających się form antropogenicznych jest wał wokół zbiornika Wytyckiego, którego długość wynosi 8,5 km, a wysokość do 3 m (Dobrowolski, Pietruczuk 2020).

Klimat

Położenie Poleskiego Parku Narodowego (wschodnia część Polski) sprawia, że klimat tego obszaru jest przejściowy, z większym udziałem cech klimatu kontynentalnego. Według regionalizacji klimatu Polski, opracowanej przez Wosia (2010), Park znajduje się w regionie lubelskim. Charakteryzuje się on stosunkowo małą liczbą dni z pogodą umiarkowanie ciepłą

(122 dni w roku) i pogodą umiarkowanie ciepłą z opadem (59 dni w roku). Częściej występują dni z pogodą mroźną, słoneczną i bez opadu (5 dni w roku), a także dni przymrozkowe z pogodą umiarkowanie zimną (30 dni w roku).

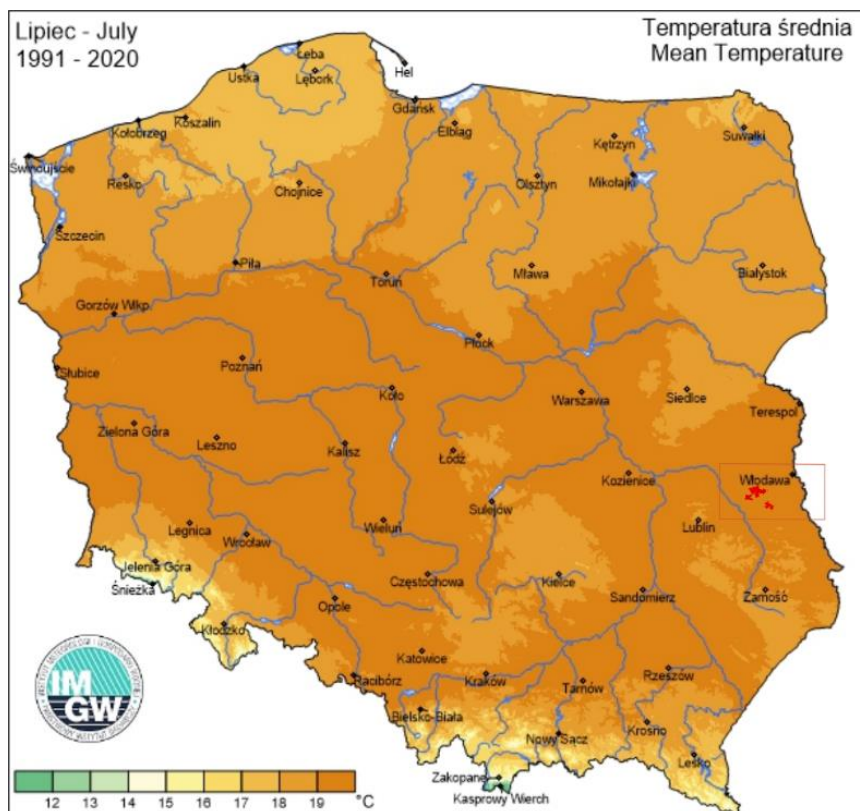
Ryc. 5.5. Średnia temperatura powietrza w Polsce w styczniu, dla wielolecia 1991 – 2020



Źródło: opracowanie własne na podstawie: https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Mean_Temperature/Monthly/1991-2020/1/Winter

Średnia roczna temperatura na obszarze Parku wynosi $7,3^{\circ}\text{C}$. Najchłodniejszym miesiącem jest styczeń, ze średnią temperaturą $-3,9^{\circ}\text{C}$ (Ryc. 5.5), a najcieplejszym lipiec, ze średnią temperaturą $18,4^{\circ}\text{C}$ (Ryc. 5.6). Ujemne temperatury mogą występować od września do maja, a najniższa odnotowana temperatura wystąpiła 08.01.1987 roku i wynosiła $-34,2^{\circ}\text{C}$. Temperatury powyżej 30°C występują od maja do września, maksymalną temperaturę odnotowano 15.08.1952 oraz 13.07.1959 i wynosiła $36,2^{\circ}\text{C}$. Średnia roczna amplituda wynosi $22,3^{\circ}\text{C}$, co świadczy o wyraźnym w porównaniu z innymi regionami Polski, kontynentalizmie klimatu.

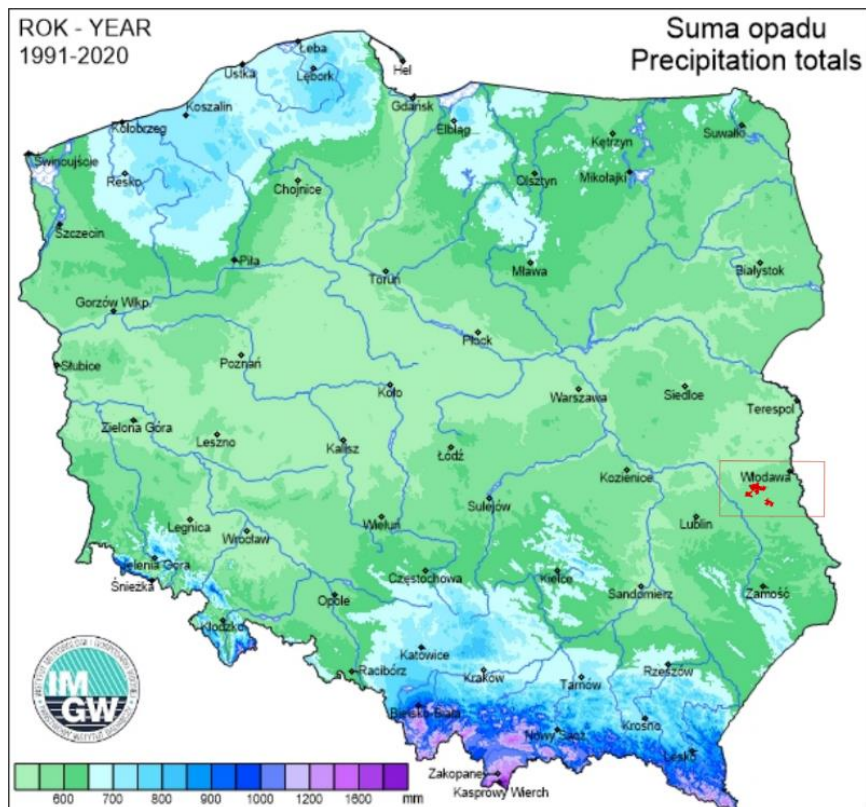
Ryc. 5.6. Średnia temperatura powietrza w Polsce w lipcu, dla wielolecia 1991 – 2020



Źródło: opracowanie własne na podstawie: https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Mean_Temperature/Monthly/1991-2020/7/Winter

Roczna suma opadów atmosferycznych na omawianym obszarze wynosi średnio 546 mm (Ryc. 7). W okresie letnim spada ok. 40% rocznej sumy opadów, a najniższe opady występują od stycznia do marca. Sumy roczne opadu cechują się wyraźną zmiennością na przestrzeni wielolecia. Różnica między największą, a najmniejszą roczną sumą opadów (872 mm w 1974 r. a 383 mm w 1969 r.) wynosi około 490 mm (Kaszewski i in. 2020).

Ryc. 5.7. Średnia suma opadu rocznego w Polsce dla wielolecia 1991 – 2020

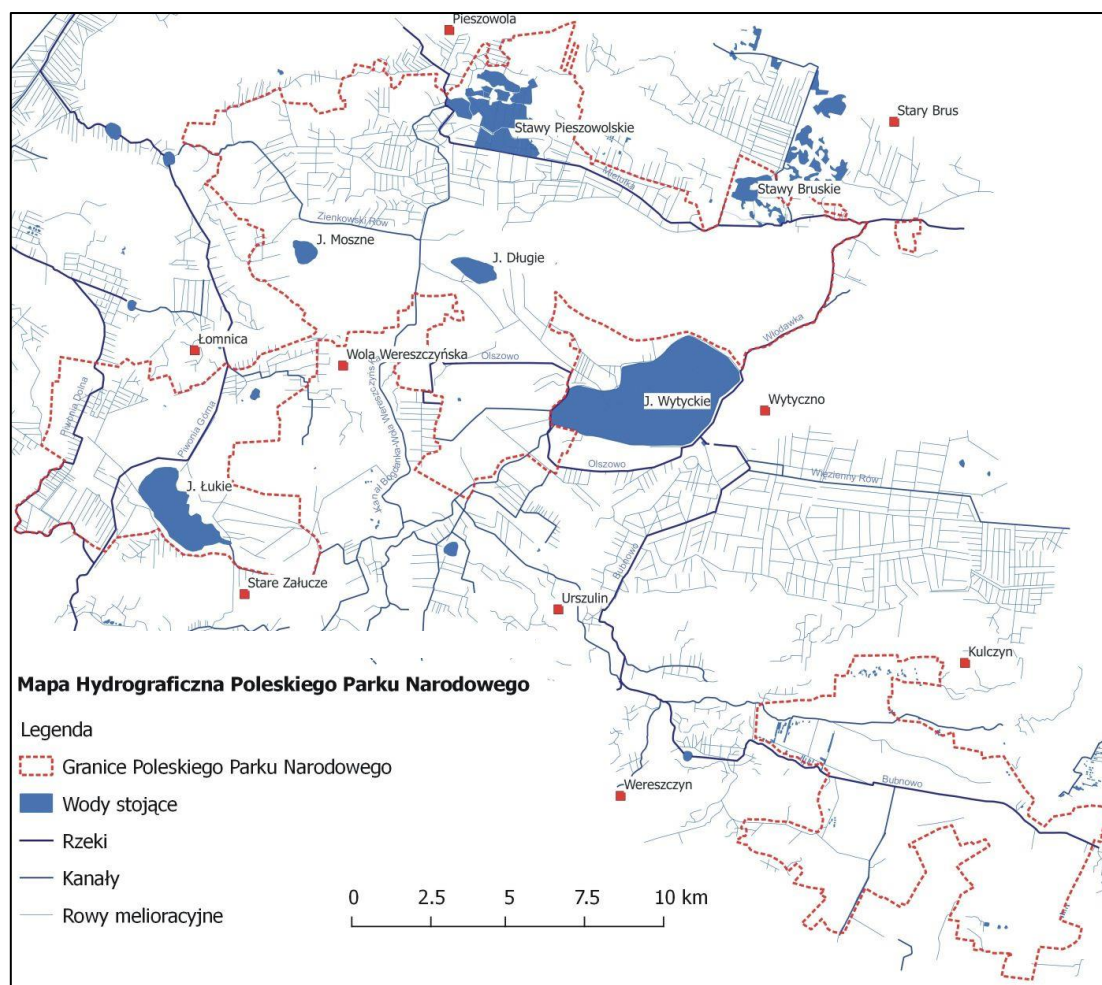


Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Precipitation/Yearly/1991-2020/7/Winter>

Wody

Położenie hydrograficzne Poleskiego Parku Narodowego jest dość interesujące, ponieważ leży on w strefie wododziałowej Wieprza i Bugu. Rzadko bowiem zdarza się, że rozległe obszary jeziorno-torfowiskowe wykształcają się w strefach wododziałowych dużych rzek.

Ryc. 5.8. Mapa hydrograficzna Poleskiego Parku Narodowego



Źródło: <http://www.poleskipn.pl/index.php/historia-i-przyroda/89-wody-parku>

Stałą sieć wód powierzchniowych tworzą rzeki: Piwonia Dolna, Mietułka i Włodawka; rowy melioracyjne i kanały oraz jeziora: Łukie, Karaśne, Moszne i Długie (Ryc. 5.8). Ukształtowanie powierzchni terenu (małe spadki terenu) powoduje, że wszystkie rzeki płyną powoli, natomiast aktualny stan sieci wód jest wynikiem prac melioracyjnych wykonywanych w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku (Michalczyk i in. 2002).

Cieki Parku, podobnie jak w innych częściach Polesia, charakteryzują się sezonowym zróżnicowaniem zasobności wodnej. Największa rzeka na obszarze PPN - Włodawka, w trzech miesiącach wiosennych odprowadza 38% całkowitej objętości odpływającej wody. Wynika to przede wszystkim z sezonowego rozkładu opadu, retencji, odpływu i ewapotranspiracji.

Wszystkie jeziora występujące w granicach Parku znajdują się w ostatnim stadium funkcjonowania. Trzy z nich (Karaśne, Moszne i Długie) to niewielkie zbiorniki otoczone

szerokim pasmem splei i szuwarów, sąsiadujące z podmokłymi zaroślami i trzcinowiskami. Taki charakter brzegów utrudnia wyznaczenie linii brzegowej i określenie powierzchni tafli. Czwarte jezioro - Łukie, o powierzchni 136,7 ha jest jednym z największych jezior Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego. Prace odwadniające przeprowadzone w drugiej połowie XX wieku, spowodowały znaczące obniżenie zwierciadła wody. Obecnie głębokość maksymalna tego jeziora wynosi 4 m, a średnia głębokość około 1 m.

Łączna powierzchnia wód w granicach Parku wynosi niemal 405,0 ha, z czego zdecydowana większość to wody stojące (341,1 ha). Obszary podmokłe, w których wody podziemne występują do 1 m zajmują aż 86% powierzchni Parku.

Głębokość zalegania wód podziemnych wykazuje silny związek z głównymi elementami rzeźby terenu. Najwyżej zwierciadło wody podziemnej (ponad 180 m n.p.m.) znajduje się w północnej części Parku na granicy z Garbem Włodawskim oraz obrzeżach Bagna Staw. Lokalnie występują wody o charakterze wyżówek, utrzymujące się na utworach słabo przepuszczalnych. Na południe od Pieszowoli następuje znaczne obniżenie zwierciadła wody podziemnej (do wysokości 166-168 m n.p.m.), co wynika z ukształtowania terenu i dopasowania się zwierciadła do obniżającego się stropu utworów słabo przepuszczalnych. W okolicy Starego Załucza i Urszulina stwierdza się niewielkie podniesienie rzędnych zwierciadła wód i w południowej części Parku osiąga wartość około 169 m n.p.m.

Obszar Parku i otuliny charakteryzuje się płytkim występowaniem zwierciadła wody podziemnej, w granicach Parku średnia miąższość aeracji osiąga 0,5 m (Michalczyk i in. 2020).

Gleby

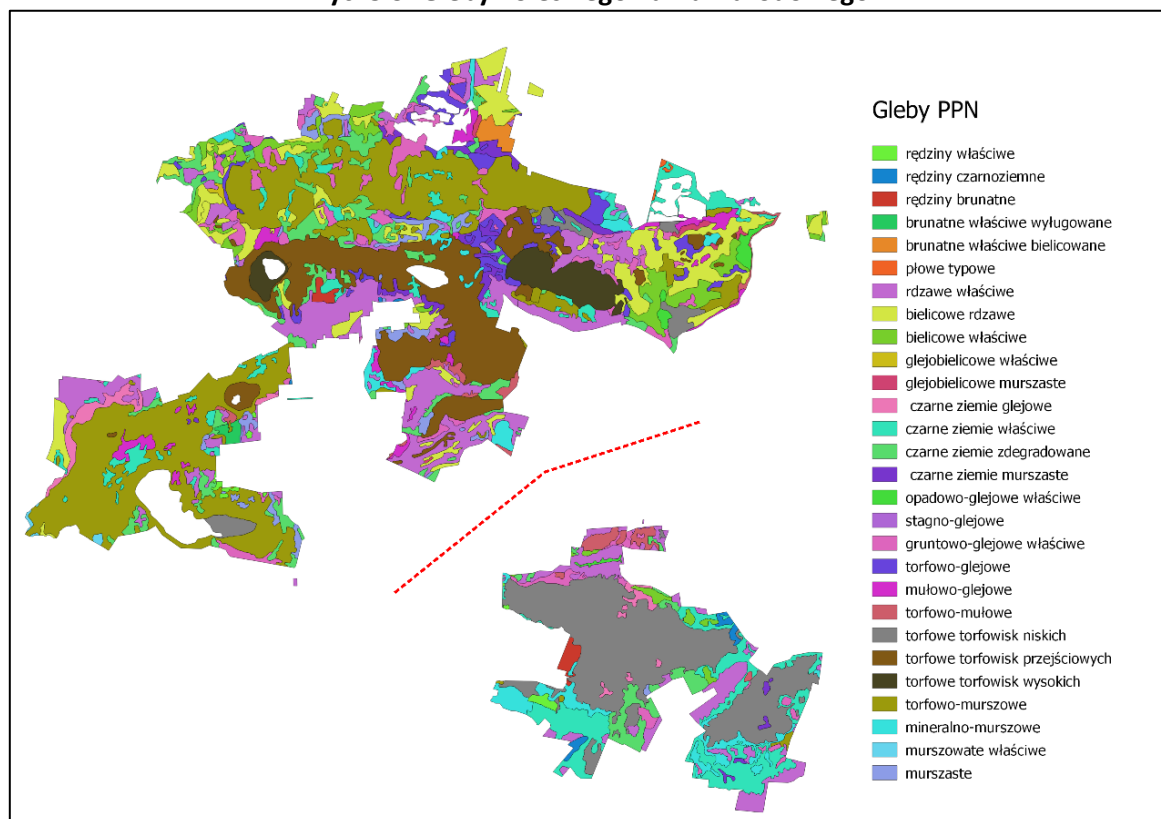
Skalami macierzystymi gleb Poleskiego Parku Narodowego są przede wszystkim utwory plejstoceny i holoceny, reprezentowane między innymi przez: wodnolodowcowe piaski i piaski ze żwirami, rzeczno-peryglacialne piaski, mułki i ropy, a także osady akumulacji organogenicznej: torfy, namuły torfiaste oraz namuły zagłębień bezodpływowych.

Czynnikami glebotwórczymi, które mają największy wpływ w kształtowaniu gleb Parku są: budowa geologiczna, rzeźba terenu, stosunki wodne oraz w coraz większym stopniu działalność człowieka. Świadczy o tym fakt, iż gleby Parku w latach 1963-1983 w wyniku prac melioracyjnych, uległy nadmiernemu przesuszeniu. Ponadto przesadne nawożenie mineralne

gruntów ornych, położonych w bliskiej odległości od Parku, prowadzi do wzmożonej eutrofizacji (Wicik, Piotrowski 2002).

Na omawianym obszarze można dostrzec pewną zależność w rozmieszczeniu przestrzennym poszczególnych typów gleb. Na kumulacjach zbudowanych z margli kredowych często występują rędziny; rozległe i równinne wzniesienia zajmują gleby brunatne, rdzawe i bielcowe. Z kolei gleby mułowe, torfowe, murszowe oraz murszowate występują w nieckowatych zagłębieniach i dolinach, a na ich obrzeżach znajdują się czarne ziemie i gleby gruntowo-glejowe (Ryc. 5.9).

Ryc. 5.9. Gleby Poleskiego Parku Narodowego



Źródło: <http://www.poleskipn.pl/index.php/historia-i-przyroda/107-opis-terenu>

Gleby hydrogeniczne stanowią około 48% powierzchni wszystkich gleb Parku. Są one reprezentowane głównie przez podtypy: gleby torfowe torfowisk niskich, gleby torfowe torfowisk przejściowych, gleby torfowe torfowisk wysokich oraz gleby torfowo-mułowe. Powstają one w miejscach o utrudnionym odpływie wód powierzchniowych, a ograniczona aeracja redukuje proces rozkładu materiału organicznego (roślinnego), który nabiera cech torfu.

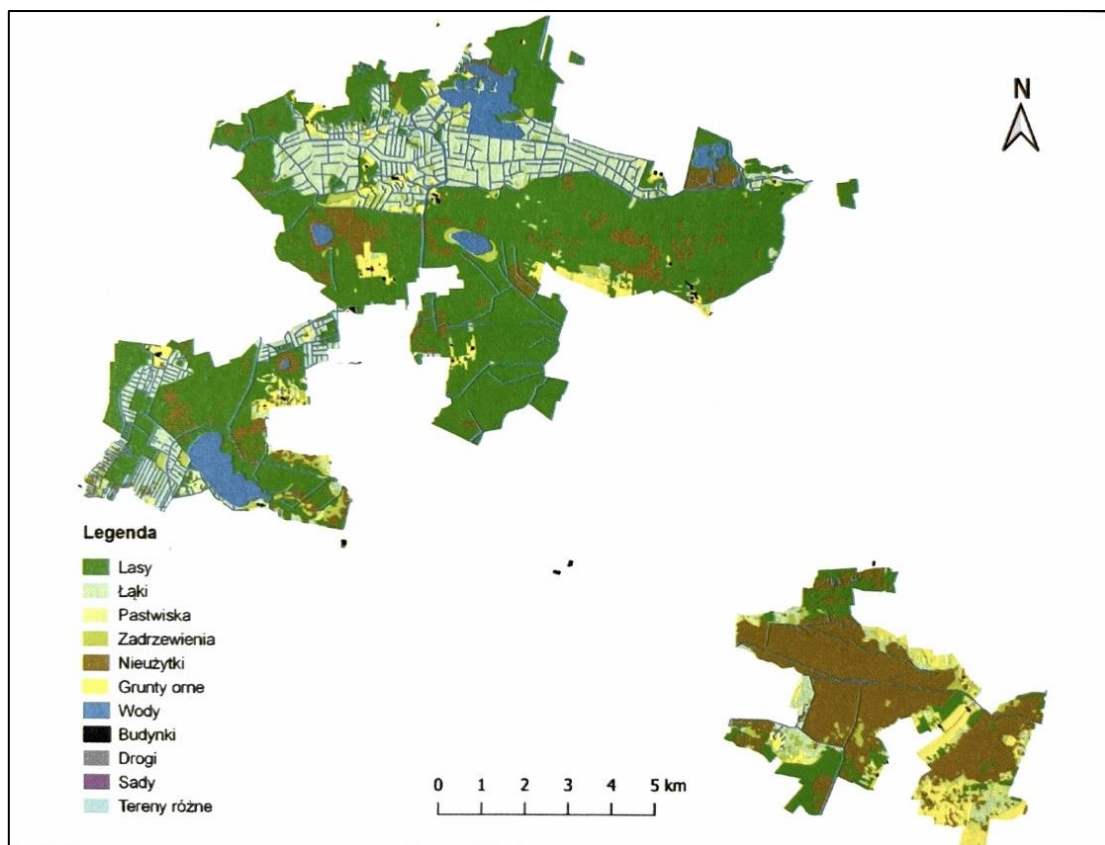
Gleby semihydrogeniczne zajmują ponad 23% wszystkich gleb. Zaliczyć do nich można czarne ziemie, gleby gruntowo-glejowe, gleby opadowo-glejowe oraz glejobielicowe. W Parku czarne ziemie występują punktowo, na styku gleb mineralnych i organicznych, szczególnie w otoczeniu Bagna Bubnów i Bagna Staw. Gleby gruntowo-glejowe i opadowo-glejowe występują na terenie całego Parku. Charakteryzują się występowaniem oglejenia w górnej części profilu i płytko zalegającym zwierciadle wód gruntowych. Związane są z siedliskami borów wilgotnych i borów mieszanych wilgotnych. Gleby glejobielicowe są utworzone z ubogich w składniki odżywczych piasków luźnych i słabogliniastych, w warunkach silnego uwilgotnienia. Występują głównie przy północno-wschodniej części Parku, w okolicy rzeki Mietułki.

Wśród gleb, które wytworzyły się bez wyraźnego wpływu wód gruntowych - czyli gleb autogenicznych - największy udział mają gleby rdzawe (ok. 19%), związane głównie z siedliskami boru świeżego oraz boru mieszanego świeżego. Ponadto występują również niewielkie powierzchnie rędzin, gleb płowych i brunatnych (Chodorowski, Bartmiński 2020).

Zagospodarowanie terenu

Obecnie, Poleski Park Narodowy zajmuje powierzchnię 97,6 km² i plasuje się na 10. miejscu pod względem wielkości wśród parków narodowych w Polsce. Pierwotnie, miał występować pod nazwą Wytycki Park Narodowy i zajmować powierzchnię 30 km². W 1994 roku nastąpiło pierwsze po utworzeniu powiększenie Parku do 96,5 km², a także ustanowiona została otulina. W strukturze użytkowania terenu (Ryc. 5.10) największy udział mają lasy (49,9%), a także użytki rolne, głównie łąki (24,3%). Na trzecim miejscu znajdują się tzw. nieużytki, do których należą torfowiska, bagna oraz podmokłe zbiorowiska zaroślowe (15,9%).

Ryc. 5.10. Użytkowanie terenu Poleskiego Parku Narodowego



Źródło: Szymański 2020

W strukturze własności gruntów zdecydowaną przewagę stanowią grunty Skarbu Państwa, które zajmują aż 87,9% obszaru Parku. Grunty prywatne zajmują 11,3% powierzchni Parku.

Łączna powierzchnia rezerwatów przyrody na omawianym obszarze wynosi 115,7 ha i są to: Durne Bagno, Jezioro Moszne, Jezioro Długie oraz Torfowisko Orłowskie (Chmielewski, Szymański 2020).

Flora i fauna

Występowanie rozległych torfowisk sprawia, że szata roślinna Poleskiego Parku Narodowego jest niezwykle bogata. Na obszarze Parku wyróżniono 208 zespołów roślinnych, z czego znaczącą większość, bo 178 z nich stanowią formacje nieleśne. Występuje tu ok. 260 gatunków glonów i 130 gatunków mszaków, których najliczniejszą grupę stanowią torfowce - 13 gat. (w tym dwa gatunki zagrożone wyginięciem - mszar nastroszony i skorpionowiec brunatny). Doliczono się także około 1000 gatunków roślin naczyniowych (107 to gat. rzadkie).

Szacunkowo 120 gatunków to przedstawiciele flory środkowoeuropejskiej, a blisko 140 gatunków stanowią rośliny strefy północnej, do których należy zaliczyć m. in. brzozę niską, wierzbę lapońską i borówkolistną. Reliktami polodowcowymi są także: turzyca strunowa i bagienna, gnidosz królewski, bagnica torfowa oraz kosaciec syberyjski. Na obszarze Parku można spotkać także rośliny stepowe i górskie: ciemiężycę zieloną, kosatka kielichowatego oraz storczyka gółka długoostrogowa.

Ryc. 5.11. Obuwik pospolity



Źródło fotografii: <http://www.poleskipn.pl/index.php/historia-i-przyroda/flora/105-ochrona-flory>

Spośród 81 gat. chronionych roślin naczyniowych, aż 36 znajduje się na polskiej czerwonej liście gatunków zagrożonych wyginięciem. Są to m. in. aldrawanda pęcherzykowata, buławnik czerwony i tłustosz zwyczajny dwubarwny. Interesującą grupę roślin występujących w Parku stanowią storczyki, które są reprezentowane przez 14 gatunków i 1 podgatunek. Do najrzadszych należą: obuwik pospolity i buławnik mieczolistny (Ryc. 5.11). Występuje tu także aż 8 gatunków roślin mięsożernych: rosziczka długolistna, pośrednia, okrągłolistna i owalna (Fijałkowski, Izdebski 2002).

Poleski Park Narodowy to jeden z najbogatszych w awifaunę obszarów - stwierdzono tu występowanie około 200 gatunków ptaków, z czego około 150 uznano za lęgowe. Do najbardziej interesujących zaliczyć można: żurawia (widniejącego w herbie PPN), czapłę białą i nadobną, wodniczkę, bociana czarnego oraz cietrzewie. Wśród ptaków drapieżnych występujących w Parku stwierdzono obecność: bielika, puchacza oraz puszczyka zwyczajnego.

Ssaki są reprezentowane przez 48 gatunków, spośród których najliczniejszą grupę stanowią gryzonie (18 gatunków). Największym z nich jest sprowadzony w 1992 roku do Parku bóbr europejski. Ponadto występują piżmak, karczownik ziemnowodny oraz nornica ruda i północna. Wśród ssaków drapieżnych należy wymienić coraz częściej pojawiającego się w Parku wilka, a także tchórza, kunę, łasicę i gronostaja. Z przedstawicieli kopytnych najczęściej spotkać można sarnę, a także łosia, dziką oraz największego zwierzęcia Parku - łośa.

Ryc. 5.12. Żółw błotny



Źródło fotografii: autor

Na terenie PPN stwierdzono występowanie 13 gatunków płazów, z czego najczęściej występują żaby brunatne oraz zielone. Gady są reprezentowane przez 7 gatunków, z czego na największą uwagę zasługuje żółw błotny, którego liczebność w Parku szacuje się na około 400

osobników (Ryc. 5.12). Występują tu także: żmija zygzakowata, zaskroniec zwyczajny i gniewosz plamisty.

Spośród 21 gatunków ryb, stwierdzonych w wodach Parku, 4 gatunki są objęte ochroną gatunkową. Są to: strzebla przekopowa (jedna z najrzadszych ryb w Polsce), różanka, piskorz oraz koza (Dziedzic 2002).

Bibliografia

- Chmielewski T. J., Szymański J., Michalik-Śnieżek M., Kułak A., 2020. *Położenie Poleskiego Parku Narodowego*. W: T. J. Chmielewski, J. Szymański. A. Weigle (red.), *Poleski Park Narodowy, Dziedzictwo i przyszłość*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin: 23-35.
- Chmielewski T. J., Szymański J., 2020. Historia powstania, cele i zadania Poleskiego Parku Narodowego, W: T. J. Chmielewski, J. Szymański. A. Weigle (red.), *Poleski Park Narodowy, Dziedzictwo i przyszłość*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin: 35-50.
- Chodorowski J., Bartmiński P., 2020. *Gleby*, W: T. J. Chmielewski, J. Szymański. A. Weigle (red.), *Poleski Park Narodowy, Dziedzictwo i przyszłość*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin: 85-98.
- Dobrowolski R., Pietruczuk J., 2020. *Budowa geologiczna i rzeźba terenu*. W: T. J. Chmielewski, J. Szymański. A. Weigle (red.), *Poleski Park Narodowy, Dziedzictwo i przyszłość*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin: 55-85.
- Dziedzic R., 2002. *Fauna Poleskiego Parku Narodowego*. W: S. Radwan (red.), *Poleski Park Narodowy – monografia przyrodnicza*, Wydawnictwo Morpol, Lublin: 124-129.
- Fijałkowski D., Izdebski K., 2002. *Flora poleskiego Parku Narodowego*. W: S. Radwan (red.), *Poleski Park Narodowy – monografia przyrodnicza*, Wydawnictwo Morpol, Lublin: 99-114.
- Harasimiuk M., 1996. Geologiczne i geomorfologiczne uwarunkowania krążenia wód w rejonie prac renaturalizacyjnych na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim (rejon jezior Rogóźno-Uściwierz. W: Renaturalizacja ekosystemów wodno-torfowiskowych na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim, Lublin: 7-13.
- Harasimiuk M., Dobrowolski R., Rodzik J., 2002. *Budowa geologiczna i rzeźba Poleskiego Parku Narodowego*. W: S. Radwan (red.), *Poleski Park Narodowy – monografia przyrodnicza*, Wydawnictwo Morpol, Lublin: 29-43.
- Kaszewski B. M., Siwek K., Gluza A., 2020. *Warunki klimatyczne*. W: T. J. Chmielewski, J. Szymański. A. Weigle (red.), *Poleski Park Narodowy, Dziedzictwo i przyszłość*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin: 101-114.

- Maruszczak H., 1966. Zjawiska krasowe w skałach górnokredowych międzyrzecza Wisły i Bugu (typ krasu kredy piszącej), *Przegląd Geograficzny*, Warszawa, 38, 3: 339-370.
- Michalczyk Z., Bartoszewski S., Chmiel S., Dawidek J., Głowacki S., Turczyński M., 2002. *Zasoby wodne Poleskiego Parku Narodowego*. W: S. Radwan (red.), *Poleski Park Narodowy – monografia przyrodnicza*, wydawnictwo Morpol, Lublin: 55-70.
- Michalczyk Z., Mięsiak-Wójcik K., Sposób J., Chmiel S., Głowacki S., Turczyński M., 2020. *Wody*, W: T. J. Chmielewski, J. Szymański. A. Weigle (red.), *Poleski Park Narodowy, Dziedzictwo i przyszłość*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin: 119-143.
- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., ... & Ziaja W., 2018. Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustmant of baundaries on the basic of contemporary spatial data. *Geographia Polonica*, T. 91 z. 2: 143-170.
- Wicik B., Piotrowski W., 2002. *Gleby Poleskiego Parku Narodowego*, W: S. Radwan (red.), *Poleski Park Narodowy – monografia przyrodnicza*, Wydawnictwo Morpol, Lublin: 43-54.
- Woś A., 2010. *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 1-489.

Warunki klimatyczne Roztocza i Polesia w kontekście wykonywania lotów przy użyciu bezzałogowych statków powietrznych (UAV)

Patrycja Steć

Wstęp

Warunki pogodowe są istotnym czynnikiem odpowiadającym za bezproblemową i efektywną pracę bezzałogowych statków powietrznych. W ich skład wchodzi kilka z najważniejszych elementów klimatu: prędkość wiatru, zachmurzenie oraz opad atmosferyczny (intensywność opadu deszczu, dni z opadem śniegu) (IMGW 2021). Optymalna prędkość wiatru do wykonywania lotów jest zależna od rodzaju statku i może się wahać od 4 m/s do ponad 20 m/s. Zachmurzenie w głównej mierze odpowiada za jakość wykonanych zdjęć, np. za złe oświetlenie zdjęcia lub powodowanie na nich cieni. Zjawiskiem negatywnie wpływającym na pracę statków są opady atmosferyczne, zarówno opady deszczu jak i śniegu mają zły wpływ na maszynę. Dłuższy kontakt z wilgocią na powierzchni gruntu (np. w postaci śniegu) lub w powietrzu (np. opad deszczu, śniegu lub mgła) może nawet uszkodzić silnik czy też elektronikę wewnątrz dronu. Maszyny te są stosunkowo wrażliwe na wyżej wymienione warunki pogodowe.

Celem pracy jest rozwiązanie problemu badawczego, który brzmi: Czynniki meteorologiczne wpływające na jakość pozyskiwanych danych teledetekcyjnych z niskiego pułapu (UAV). Praca ma za zadanie wzbogacić wiedzę czytelnika na powyższy problem badawczy.

Analizę warunków klimatycznych Roztocza i Polesia oparto na następujących danych meteorologicznych: opad atmosferyczny, prędkość wiatru, zachmurzenie oraz liczba dni z opadem śniegu. Analizę dla obszaru Roztocza dokonano na podstawie, danych ze Stacji Bazowej ZMŚP Roztocze, Roztoczańskiego Parku Narodowego; posłużyły do tego: prędkość wiatru oraz opad atmosferyczny. Z archiwalnych danych pomiarowo-obszernych ze stacji IMGW, wykorzystano zachmurzenie oraz liczbę dni z opadem śniegu, pobrano je ze stacji: Tomaszów Lubelski (lata 2012 – 2017) oraz Cieszanów (lata 2018 – 2020). Analizę warunków

klimatycznych Polesia oparto na archiwalnych danych pomiarowo-obserwacyjnych IMGW ze stacji Włodawa. Dane użyte w pracy pochodzą z lat 2012-2020.

Warunki klimatyczne Roztocza i Polesia

Roztocze

Roztocze ze względu na swoje położenie w południowo-wschodniej Polsce, należy do typu klimatu umiarkowanego, przejściowego. Biorąc pod uwagę przyległe tereny, klimat Roztocza charakteryzuje się większą ilością cech klimatu kontynentalnego, co wyróżnia tę krainę na tle Polski (Kaszewski, Siwek 2015).

Na obszarze Roztocza roczna amplituda temperatury powietrza wynosi ok. 22,8°C. Temperaturę dodatnią notują się przez ok. 263 dni w roku (Kaszewski, Siwek 2015), zaś dni pogodne z zachmurzeniem od 0 do 2 można zaobserwować przez ok. 70 dni (Wład 2011). Okres wegetacyjny, podczas którego następuje intensywny wzrost roślinności (od siewu do zbioru) a średnia dobową temperatura powietrza wynosi powyżej 5°C, na Roztoczu waha się między 205 a 209 dni. Klimat Roztoczańskiego Parku Narodowego leżącego na obszarze opisywanej krainy geograficznej, należy do najchłodniejszych w województwie Lubelskim. Średnia roczna temperatura powietrza waha się między 7,4°C a 7,5°C, zaś na wzniesieniach temperatura spada o ok. 1-2°C. Suma roczna opadów atmosferycznych jest stosunkowo wysoka – 600-650 mm (Kaszewski, Siwek 2015).

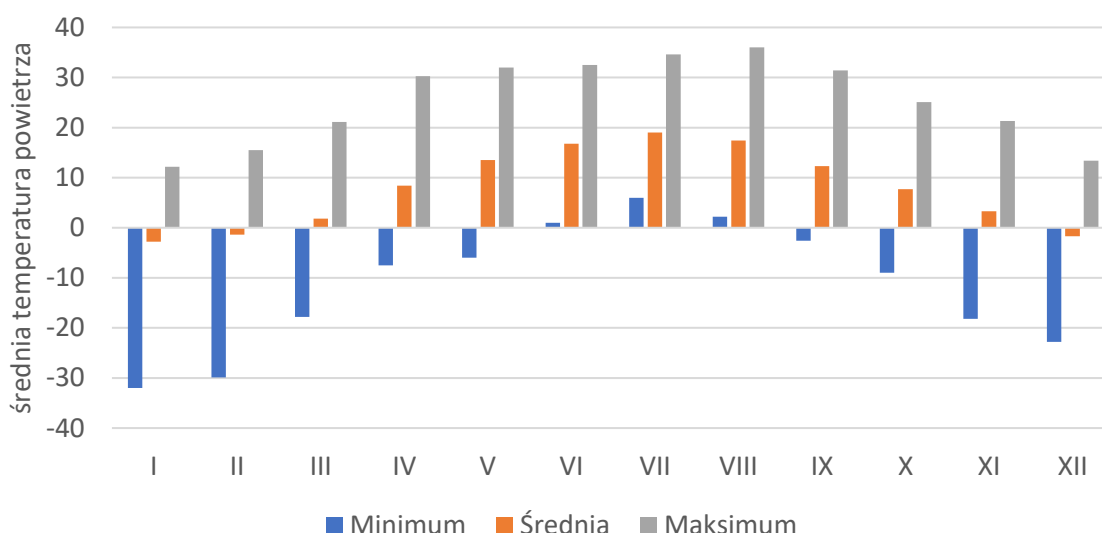
Znaczący wpływ na warunki pogodowe analizowanego obszaru ma m.in. cyrkulacja atmosferyczna. Przez 65% dni w roku przeważają masy powietrza napływające z zachodu, a dokładnie masy polarne morskie, przynoszące ochłodzenie w lecie, zaś zimą – odwilż atmosferyczną. Przez ponad 18% dni w roku napływają masy powietrza ze wschodu – masy polarne kontynentalne, przynoszące ocieplenie w lecie a zimą ochłodzenie. Z północy napływają masy arktyczne (około 13% dni w roku), powodując ochłodzenie przez cały rok. Tylko przez około 4% dni w roku docierają masy powietrza z południa – masy zwrotnikowe (przynoszą ciepłe a latem gorące powietrze) (Kaszewski, Siwek 2015).

Na obszarze Roztocza najczęściej wieje wiatr z sektora zachodniego – południowo-zachodni, zachodni oraz północno-zachodni. Najrzadziej notowanym jest wiatr z kierunku

północnego, północno-wschodniego oraz wschodniego. Średnia prędkość wiatru zanotowana na badanym obszarze (teren odkryty) nie przekracza 3,1 m/s. Największe wartości występują od listopada do marca – ok 3,7 m/s, najmniejsze od czerwca do sierpnia – ok 2,4 m/s (Kaszewski, Siwek 2015).

Na podstawie danych ze stacji meteorologicznej w Zwierzyńcu (miasto położone na Roztoczu Środkowym), zanotowana średnia roczna temperatura powietrza wynosiła 7,9°C. Najwyższa średnia miesięczna temperatura wystąpiła w lipcu (19,1°C), zaś najniższa w styczniu (-2,7°C) (Kaszewski, Siwek 2015). W miesiącach kwiecień-wrzesień temperatury maksymalne przekraczają 30°C (Ryc. 6.1).

Ryc. 6.1. Minimalna, średnia i maksymalna temperatura powietrza w Zwierzyńcu w latach 1998-2010



Źródło: opracowanie własne na podstawie Kaszewski i Siwek 2020

Dni mroźne występują od listopada do kwietnia, maksymalna zanotowana liczba dni mroźnych wyniosła 13,1 dni w styczniu. Liczba dni z przymrozkiem wyniosła 18,7 dni w marcu, a występowanie ich zanotowano od września do maja. W sierpniu zaobserwowano 16,7 dni gorących – od kwietnia do października (Tab. 6.1).

Tab. 6.1. Liczba dni mroźnych, z przymrozkiem, liczby dni gorących w Zwierzyńcu w latach 1998-2010

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Liczba dni mroźnych	13,1	9,6	2,5	0,1	0	0	0	0	0	0	2,5	11,9
Liczba dni z przymrozkiem	11,8	13,5	18,7	8,9	1,8	0	0	0	1,4	6,6	11	11

Liczba dni gorących	0	0	0	0,7	5,3	10,3	16,7	13,3	3,3	0,1	0	0
----------------------------	---	---	---	-----	-----	------	------	------	-----	-----	---	---

Źródło: Kaszewski i Siwek 2020

Polesie

Polesie ze względu na swoje położenie we wschodniej Polsce, należy do typu klimatu umiarkowanego, przejściowego. Biorąc pod uwagę przyległe tereny, klimat Rostocza charakteryzuje się większą ilością cech klimatu kontynentalnego (Kaszewski 2002).

Znaczący wpływ na warunki pogodowe Polesia ma cyrkulacja atmosferyczna. Przez większą część roku napływają masy powietrza polarnego morskiego. W lecie powietrze polarno-morskie przynosi ochłodzenie, duże zachmurzenie i częste opady atmosferyczne. W zimie napływ tego powietrza przynosi ocieplenie, często nawet odwilż oraz zwiększone zachmurzenie. Masy powietrza polarnego kontynentalnego mają mniejszy udział w kształtowaniu klimatu Polesia. W zimie napływają jako powietrze chłodne, zaś w okresie letnim jako ciepłe, o małej wilgotności względnej. Pojawienie się mas powietrza arktycznego na początku okresu wegetacyjnego, powoduje szkodliwe dla roślin przymrozki lub mrozy. Powyższe zjawisko można spotkać w obniżeniach terenu. Przez 3% dni w roku na obszar Polesia docierają masy powietrza zwrotnikowego.

W ciągu roku przeważa wiatr z sektora zachodniego: południowo-zachodni, zachodni oraz północno-zachodni. Najrzadziej obserwowanym wiatrem jest wiatr z kierunku północno-wschodniego, północnego. Na podstawie danych meteorologicznych ze stacji w Białej Podlaskiej (miasto położone w północnej części Polesia Zachodniego), średnia prędkość wiatru wynosi 3,8 m/s. Minimalną wartość notuje się w okresie letnim (3,8 m/s), maksymalną zaś w okresie zimowym (ok 4,2 m/s). Na analizowanym obszarze występowanie ciszy atmosferycznej notuje się stosunkowo rzadko (maksymalnie kilkanaście procent) (Kaszewski 2002).

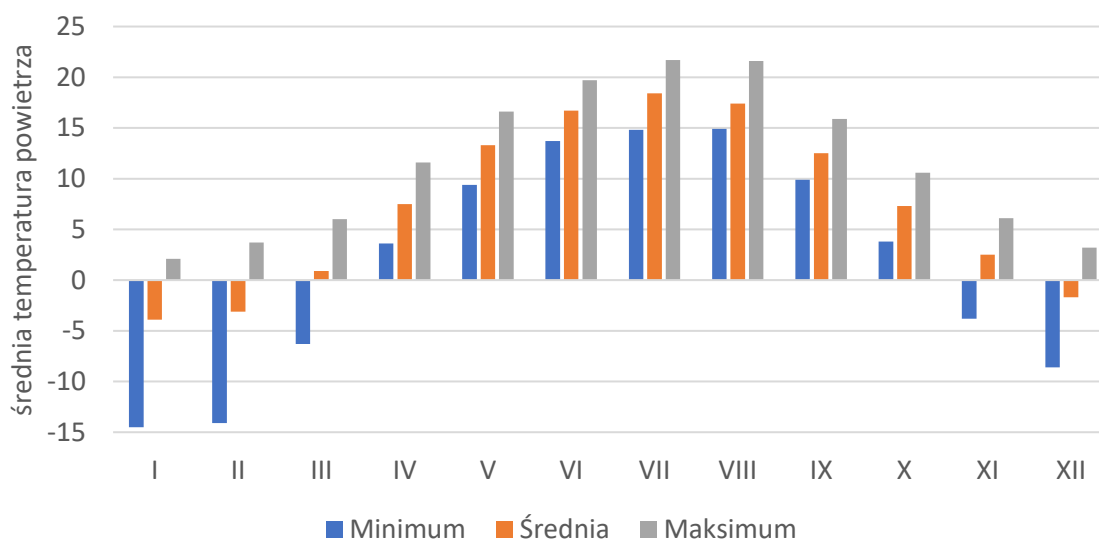
Średnia roczna liczba godzin usłonecznienia waha się od ok. 1680 w okolicach Terespola do 1700 w zachodniej części Polesia Lubelskiego. Wartości usłonecznienia należą do najwyższych w Polsce. Najniższe wartości występują w grudniu (>35h do 35h<), najwyższe – w lipcu (220h do 240h<) (Kaszewski 2002).

Zmiany temperatury powietrza na obszarze Polesia są niewielkie, ze względu na nieduże różnice wysokości terenu. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi ok. 7,2°C.

Średnia temperatura w miesiącu zimowym w styczniu wynosi $-4,3^{\circ}\text{C}$ w Białej Podlaskiej i Terespolu. Średnia temperatura w lipca wynosi $18,1^{\circ}\text{C}$ w Białej Podlaskiej i Terespolu. Najwyższą temperaturę maksymalną ($36,5^{\circ}\text{C}$) zaobserwowano w Białej Podlaskiej w lipcu 1959 roku. We Włodawie w ciągu roku od maja do września najwyższa średnia miesięczna temperatura przekracza 15°C (Ryc. 6.2), zaś w miesiącach lipiec-sierpień jest to powyżej 20°C . Zaobserwowane najniższe średnie miesięczne temperatury powietrza wyniosły blisko -15°C , w miesiącach styczeń i luty. W styczniu 1987 roku w Białej Podlaskiej zanotowano najniższą bezwzględną temperaturę minimalną: $-37,4^{\circ}\text{C}$. Średnia liczba dni mroźnych na terenie Polesia waha się od 47 do 54 dni. Najwięcej dni mroźnych występuje w styczniu (15-18 dni). Pierwsze dni mroźne mogą pojawić się w październiku, zaś ostatnie w kwietniu. Dni chłodnych z temperaturą minimalną poniżej 0°C notuje się od 118 do 126 (Kaszewski 2002).

Suma roczna opadów atmosferycznych na Polesiu wynosi ok. 575 mm. W przebiegu rocznym opady letnie przeważają nad opadami zimowymi. Maksymalną sumę opadów notuje się w lipcu (76-83 mm), zaś minimalną w styczniu i lutym.

Ryc. 6.2. Minimalna, średnia, maksymalna temperatura powietrza we Włodawie w latach 1951-2015

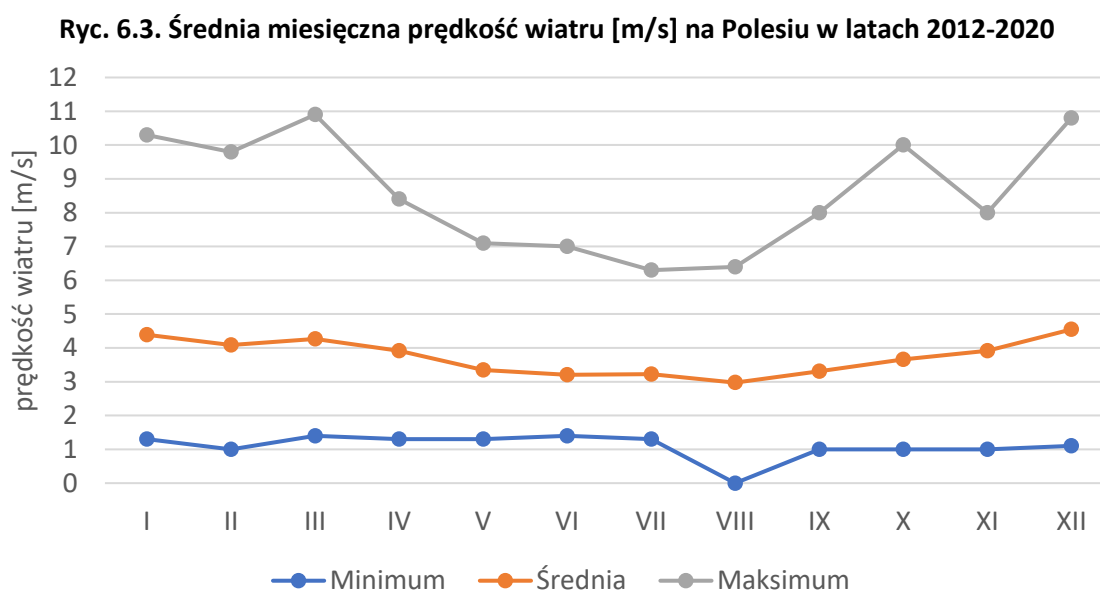


Wykres przedstawia: średnią temperaturę powietrza, najwyższą średnią miesięczną temperaturę powietrza oraz najniższą średnią temperaturę powietrza

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kaszewski i Siwek 2020.

Warunki klimatyczne sprzyjające wykonywaniu lotów bezzałogowymi statkami powietrznymi

Polesie charakteryzuje się niziną oraz monotonną rzeźbą terenu, w związku z czym biorąc pod uwagę orografię Polesia, teren nie stanowi wyraźnej bariery zakłócającej przepływ wiatru. Maksymalna prędkość wiatru waha się od 8 m/s do 11 m/s w okresie jesienno-zimowym, a 5 do 6,2 m/s w okresie wiosenno-letnim. Najmniejsze prędkości wiatru notowano są na przełomie lipca i sierpnia, największe zaś w grudniu oraz marcu (Ryc. 6.3). W miesiącach letnich można zauważyć kilkunastoprocentowy udział ciszy atmosferycznej. Najwyższą średnią prędkość wiatru notuje się w grudniu, zaś najniższą w sierpniu. Prędkość wiatru sprzyjająca wykonywaniu lotów statkiem to od 5 m/s do 10 m/s. Przy czym optymalna wartość wynosi 5-6 m/s, zaś prędkości wyższe niżeli 10 m/s powodują przerwanie pracy dronu.



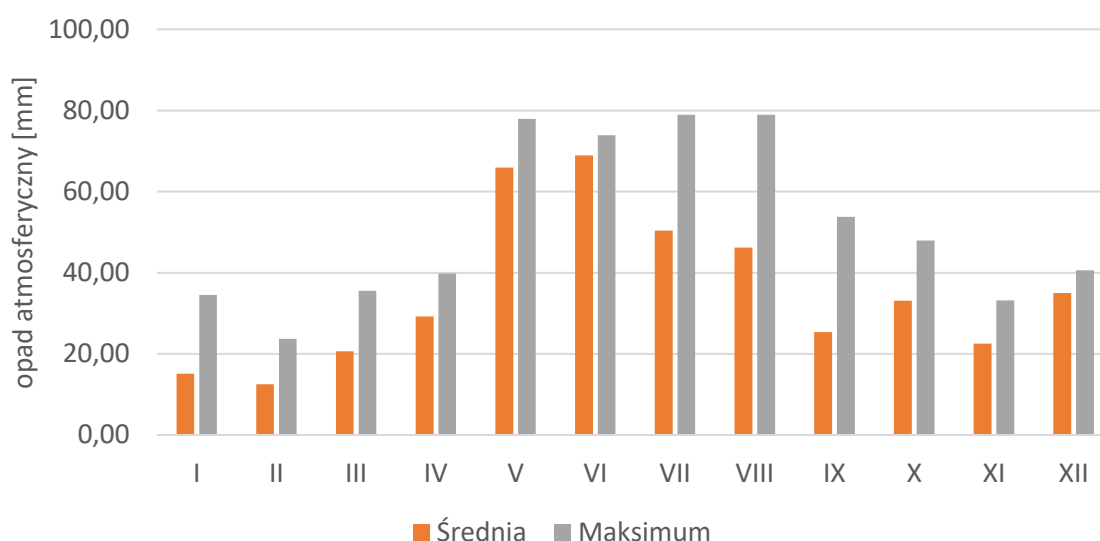
Niebieska linia: minimalna prędkość wiatru, pomarańczowa linia: średnia prędkość wiatru, szara linia: maksymalna prędkość wiatru

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych meteorologicznych IMGW

W miesięcznym ujęciu maksimum opadów atmosferycznych notuje się w lipcu oraz sierpniu (79 mm), minimum zaś w lutym (24 mm) (Ryc. 6.4). Najobfitsze średnie i maksymalne opady występują między majem a sierpniem (74-79 mm). W okresie styczeń – wrzesień średnie sumy opadów nie przekraczają 20 mm. Warunki korzystnie wpływające na

wykonywanie lotów statkami bezzałogowymi, charakteryzują się niską sumą opadów lub ich brakiem.

Ryc. 6.4. Średnia miesięczna suma opadów atmosferycznych (mm) na Polesiu w latach 2012-2020

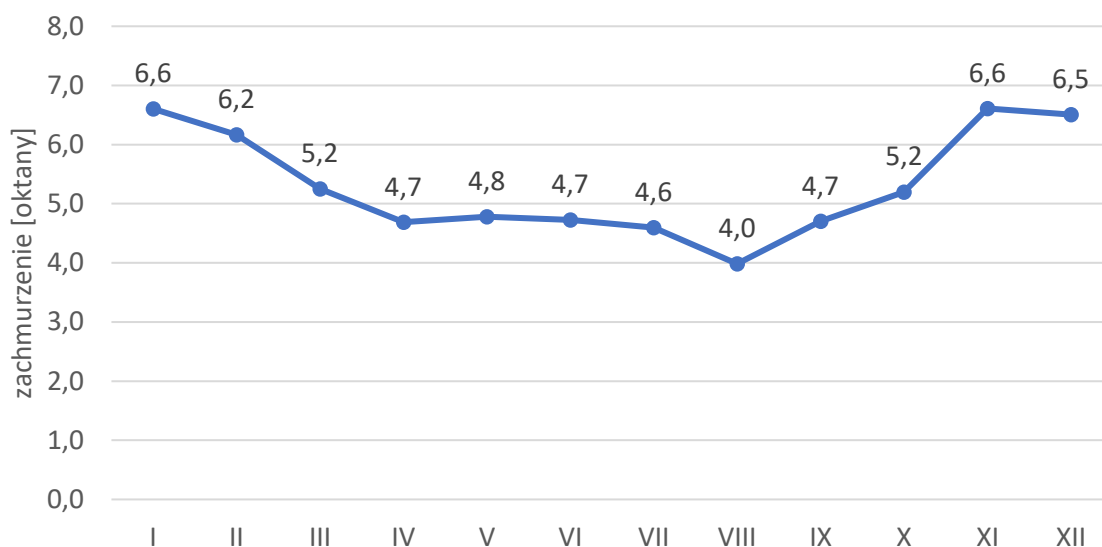


Pomarańczowa kolumna: średnia miesięczna suma opadów, szara kolumna: maksymalna suma opadów

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych meteorologicznych IMGW

Średnie miesięczne zachmurzenie na Polesiu waha się między 4,0 a 6,6 stopni w skali oktantowej (0-8) przy czym 0 oznacza bezchmurne niebo, zaś 8 – pełne zachmurzenie. Najniższe wartości można zaobserwować w miesiącach: kwiecień-wrzesień, najwyższe zaś: październik-marzec. W sierpniu notuje się najmniejsze zachmurzenie w przebiegu roku (4,0), największe w listopadzie i styczniu (6,6).

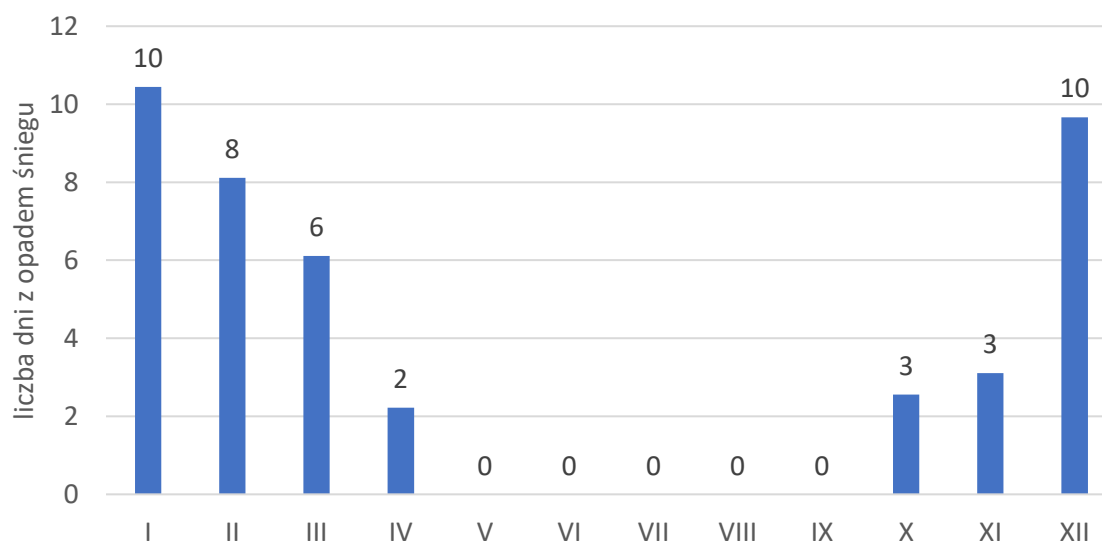
Ryc. 6.5. Średnie miesięczne zachmurzenie na Polesiu w skali oktantowej (0 – 8) w latach 2012 – 2020



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych meteorologicznych IMGW

Średnia maksymalna liczba dni z opadem śniegu występuje w miesiącach grudzień-styczeń (10 dni), zaś minimalna od maja do września (0 dni). W ciągu roku dni z opadem śniegu notuje się od października (3 dni) do kwietnia (2 dni). Najkorzystniejsze warunki klimatyczne do wykonywania lotów bezzałogowych obserwuje się w miesiącach bez opadu śniegu, tj. maj-wrzesień.

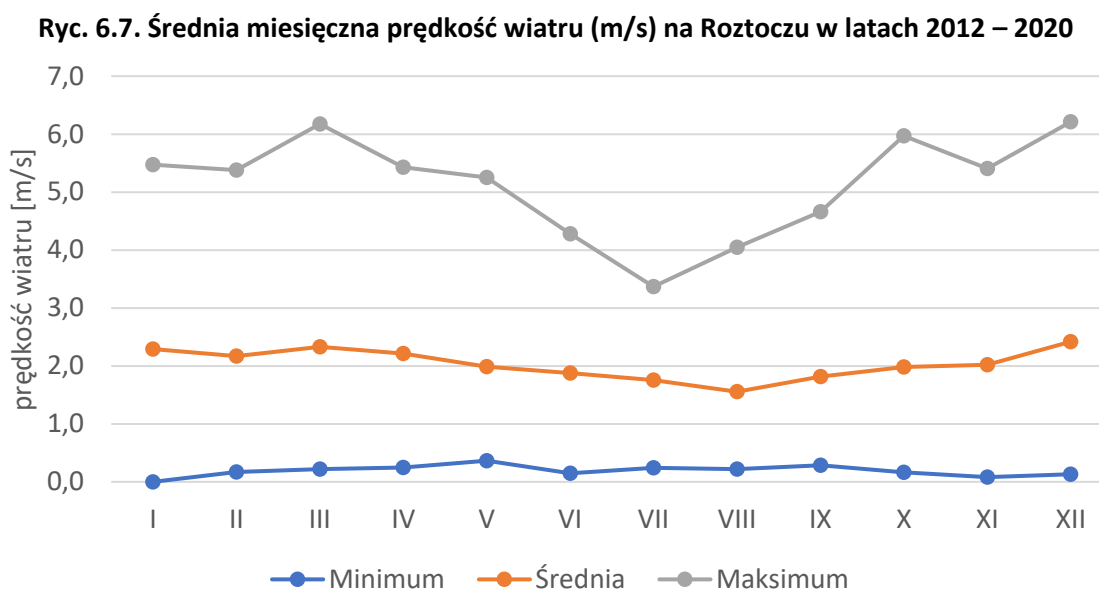
Ryc. 6.6. Średnia miesięczna liczba dni z opadem śniegu na Polesiu w latach 2012 – 2020



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych meteorologicznych IMGW

Na analizowanym obszarze Rostocza, można spotkać wiele modyfikacji pola wiatru, jest to w głównej mierze spowodowane pokryciem terenu. Na terenie nisko położonym,

dochodzi do większego udziału występowania cisz atmosferycznych. Średnia prędkość wiatru na Roztoczu wynosi ok 3,1 m/s. Największe prędkości notuje się od przełomu września i października do przełomu marca i kwietnia. (5,4-6,2 m/s), najmniejsze zaś występują w miesiącach letnich: przełom maja i czerwca – przełom sierpnia i września. Najwyższą średnią prędkość zaobserwowano w grudniu (2,4 m/s), najniższą w sierpniu (1,6 m/s).

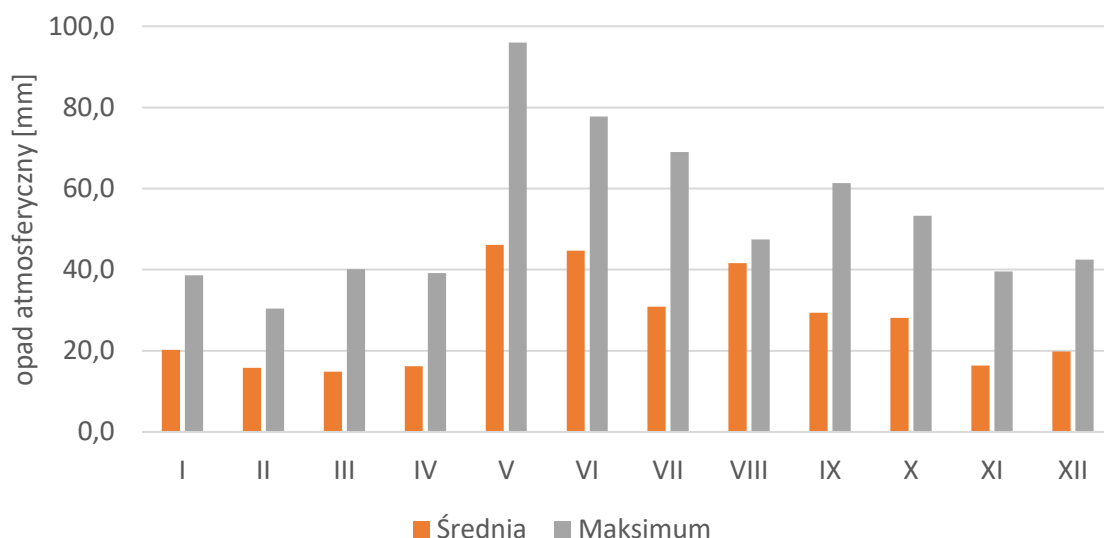


Niebieska linia: minimalna prędkość wiatru, pomarańczowa linia: średnia prędkość wiatru, szara linia: maksymalna prędkość wiatru

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ze Stacji Bazowej ZMŚP

Najmniejszą średnią sumę opadów atmosferycznych obserwuje się w lutym oraz czerwcu, gdzie wartości nie przekraczają 16 mm, największą zaś maj-czerwiec (44,7-46,1 mm) (Ryc.6.8). Maksimum opadów przypada w okresie wiosennym – w maju (96 mm), minimum w lutym (30,4 mm). W miesiącach listopad-kwiecień wartości średniej sumy opadów atmosferycznych nie przekraczają 20 mm. Warunki korzystnie wpływające na wykonywanie lotów statkami bezzałogowymi, charakteryzują się niską sumą opadów lub ich brakiem. Podczas lekkiego (do 2,5 mm/h) oraz umiarkowanego (do 7,5 mm/h) deszczu maszyna bez komplikacji wykonuje swoją pracę, zaś występowanie deszczu silnego (powyżej 7,5 mm/h) kończy misję.

Ryc. 6.8. Średnia miesięczna suma opadów atmosferycznych (mm) na Roztoczu w latach 2012-2020

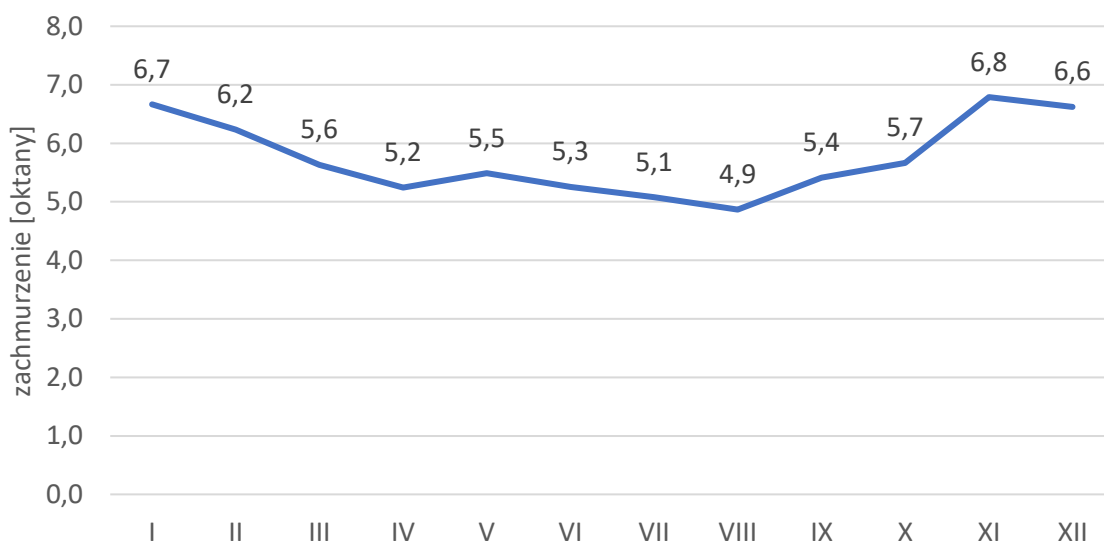


Pomarańczowa kolumna: średnia miesięczna suma opadów, szara kolumna: maksymalna suma opadów

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ze Stacji Bazowej ZMŚP

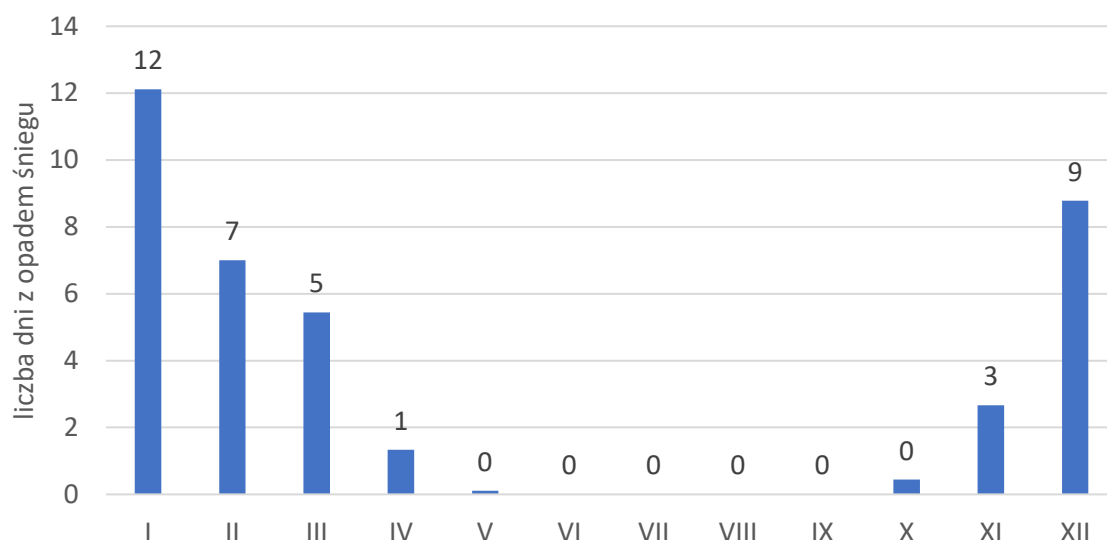
Średnie miesięczne zachmurzenie na Roztoczu przedstawiono w skali oktantowej; wartości wahają się tutaj między 4,9 a 6,8 stopni. Najwyższe wartości zanotowano w listopadzie (6,8), najniższe w okresie letnim – w sierpniu (4,9). W ciągu roku można zauważyć niewielkie różnice w wielkości zachmurzenia oraz brak wyraźnych odchyień.

Ryc. 6.9. Średnie zachmurzenie na Roztoczu w skali oktantowej (0-8) w latach 2012 – 2020



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych meteorologicznych IMGW

Ryc. 6.10. Średnia miesięczna liczba dni ze opadem śniegu na Roztoczu w latach 2012 – 2020



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych meteorologicznych IMGW

Wnioski

Na podstawie powyższej analizy, będącej odpowiedzią na problem badawczy: czynniki meteorologiczne wpływające na jakość pozyskiwanych danych teledetekcyjnych z niskiego pułapu (UAV), dokonano następujących wniosków:

1. Najkorzystniejsza prędkość wiatru do wykonywania lotów z użyciem dronu stałopłatowego waha się między 5 m/s a 10 m/s, zaś optymalna prędkość wiatru to ok. 5 m/s. Przekroczenie wartości maksymalnej (tj. 10 m/s) skutkuje przerwaniem misji, ze względów bezpieczeństwa. Najlepsze warunki do wykonywania misji z użyciem UAV pod względem średniej prędkości wiatru nad obszarem Poleskiego Parku Narodowego występują od pełni wiosny (przełom maja i czerwca) do wczesnej jesieni (połowa września). Nad obszarem Roztoczańskiego Parku Narodowego występują od wczesnej wiosny (połowa kwietnia) do jesieni (październik). Najgorsze warunki do wykonywania misji z użyciem UAV pod względem średniej prędkości wiatru nad obszarem PPN i RPN notuje się od jesieni (październik) do przedwiośnia (marzec).
2. Miesiące z największą średnią sumą opadów atmosferycznych w RPN obserwuje się od maja do przełomu czerwca i lipca, w PPN od maja do sierpnia. Wykorzystywany dron stałopłatowy bez przeszkód wykonywał misję w deszczu lekkim (do 2,5 mm/h) i

umiarkowanym (do 7,5 mm/h). Komplikacje rozpoczynają się podczas występowania deszczu silnego (powyżej 7,5 mm/h), maszyna kończy misję i wraca do bazy.

3. Najkorzystniejsze warunki do wykonywania zdjęć z użyciem UAV pod względem zachmurzenia zaobserwowano podczas występowania stałych warunków zachmurzenia (pełne zachmurzenie lub jego brak) w trakcie wykonywania misji. W sytuacji wykonywania misji nad jeziorami w słoneczne dni oraz z chmurami piętra niskiego, w tafli wody mogą odbijać się pojedyncze chmury. Najdogodniejsze warunki na wykonywanie zdjęć z wykorzystaniem UAV mają miejsce podczas występowania chmur z piętra wysokiego (od 5-13 km) i niektórych chmur z piętra średniego (np. altostratus).
4. Najdogodniejsze warunki na wykonywanie zdjęć z wykorzystaniem UAV pod względem liczby dni z opadem śniegu nad obszarem RPN zaobserwowano od kwietnia do października, zaś w PPN od maja do września (w podanych miesiącach liczba dni ze śniegiem wynosi 0). Śnieg widoczny na zdjęciach multispektralnych uniemożliwia wykonanie analizy wegetacji, zaś zamrożone jeziora na zdjęciach widać wyraźniej. Podczas lotów w dni z opadami śniegu i/lub pokrywą śnieżną, istotny jest cel wykonywania zdjęć.

Porównując wyniki z obszaru Poleskiego Parku Narodowego i z Roztoczańskiego Parku Narodowego, korzystniejsze warunki pogodowe obserwuje się na terenie RPN. Wiąże się to z urozmaiconą rzeźbą terenu, która znacząco wpływa m.in. na średnią prędkość wiatru. W analizie można zauważyć wyższe wartości prędkości wiatru na Polesiu niżeli na Roztoczu, dodatkowo średnia liczba dni ze śniegiem oraz liczba miesięcy z opadem śniegu jest wyższa na obszarze PPN.

Bibliografia

- Kaszewski B., Siwek K., 2020. Warunki klimatyczne, W: (Red.) Chmielewski T.J., Szymański J., Weigle A., Poleski Park Narodowy. Dziedzictwo i przyszłość, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin
- Kaszewski B., Siwek K., Gluza A., 2015. Klimat, W: (Red.) Reszela R., Grądziela T., Roztoczański Park Narodowy. Przyroda i człowiek, Roztoczański Park Narodowy, Zwierzyniec
- Wład P., 2011. Roztocze dla dociekliwych, t. 1. serii Roztocze Puszcza Solska, Rzeszów

- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, 2021. Dron. Zima. Pogoda
(<https://www.imgw.pl/wydarzenia/dron-zima-pogoda>)
- Kaszewski B., 2002. Klimat Polesia Lubelskiego i jego zmiany, Wydawnictwo Uniwersytetu
Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin
- Lishtvan I., Yaroshevich, 2000. Belarusian Polesye: Problems of development and preservation
of its natural complexes. *Acta Agrophysica*, 26, 245-253
- Michna E., 1974. Usłonecznienie województwa lubelskiego na tle usłonecznienia Polski. *Folia
Societatis Scientiarum Lublinensis*, 16, Geogr., 1, 37-42
- Zinkiewicz W., Zinkiewicz A., 1975. Atlas klimatyczny województwa lubelskiego 1951-1960.
Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin
- <http://www.poleskipn.pl/index.php/historia-i-przyroda/107-opis-terenu>
- Darowska M., Kutwa K., 2019. Biała Księga Rynku Bezzałogowych Statków Powietrznych, Polski
Instytut Ekonomiczny, Warszawa

Flory Poleskiego i Roztoczańskiego Parku Narodowego jako przedmiot badań oraz czynnik decydujący o jakości zobraowań przy użyciu UAV

Ewelina Kruszczyńska

Wybrane wskaźniki przydatne w badaniach

Do badań nad florą oraz jej monitoringu można wykorzystać przydatne wskaźniki, które pomagają w prowadzonych badaniach. Są to między innymi wskaźniki: znormalizowany różnicowy wskaźnik roślinności (NDVI), zmiany tła gleby (DVI) oraz wskaźnik pokrycia liściowego (LAI). Wskaźniki roślinne to kombinacje co najmniej 2 wybranych wartości współczynnika odbicia, który zmierzono w terenie, zarejestrowano z pokładu samolotu czy satelity lub zmierzonego w laboratorium. Są wykorzystywane do zaznaczenia unikatowych cech roślin, a także do wyróżnienia roślinności spośród pozostałych materiałów (Olędzki i in. 2010).

Znormalizowany różnicowy wskaźnik roślinności

NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index*) jest wykorzystywany w pomiarach teledetekcyjnych, ma szerokie zastosowanie, ponieważ pokazuje strukturę pokrycia terenu, przyrost biomasy, stan roślinności czy aktywność fotosyntetyczną. NDVI wykorzystuje się także do prac nad zmianami pokrycia terenu. Wskaźnik ten polega na różnicy współczynnika odbicia pomiędzy pasmami fal bliskiej podczerwieni i czerwieni (Durka 2020). Wskaźnik daje możliwość wskazania, w którym miejscu występują ogniska chorobowe roślin. Dzięki czemu można zatrzymać rozprzestrzenianie się szkodników lub chorób. Dodatkowo pozwala ocenić dojrzałość roślin. Wzór na NDVI (<https://rolnictwoprecyzyjne.eu/>):

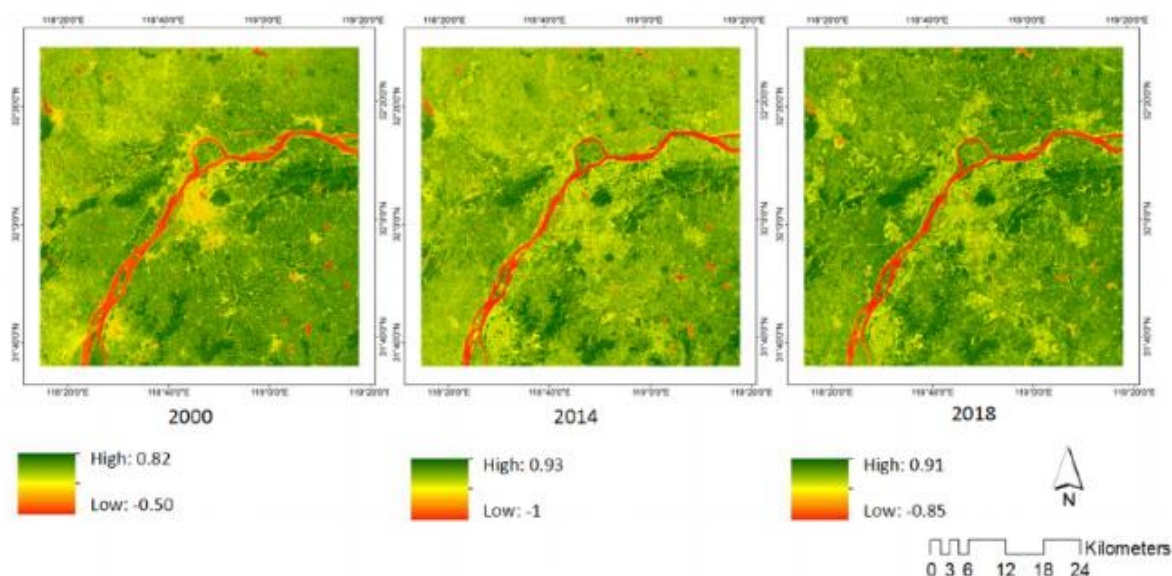
$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

NIR – odbicie pasma podczerwieni,

R – odbicie pasma czerwonego.

Przykład wykorzystania wskaźnika widoczny jest na mapach z miasta Nanjing (Ryc. 7.1).

Ryc. 7.1. Mapy NDVI miasta Nanjing z lat 2000, 2014 i 2018



Źródło: Wang i in. 2020

Zmiany tła gleby

DVI (ang. *Difference Vegetation Index*) jest to wskaźnik, który określa różnicę wegetacji. Dzięki niemu można zbadać rozbieżności pomiędzy zdrowymi i chorymi roślinami. Jest wyczulony na zmienność tła gleby. Stosuje się go m.in. do monitoringu ekologicznego środowiska roślinności. Dzięki kumulacji biomasy możliwa jest ocena rozwoju choroby drzew, jak i skuteczność podejmowanego leczenia wobec tych roślin. Wzór na wskaźnik DVI prezentuje się następująco (<https://rolnictwoprecyzyjne.eu/>):

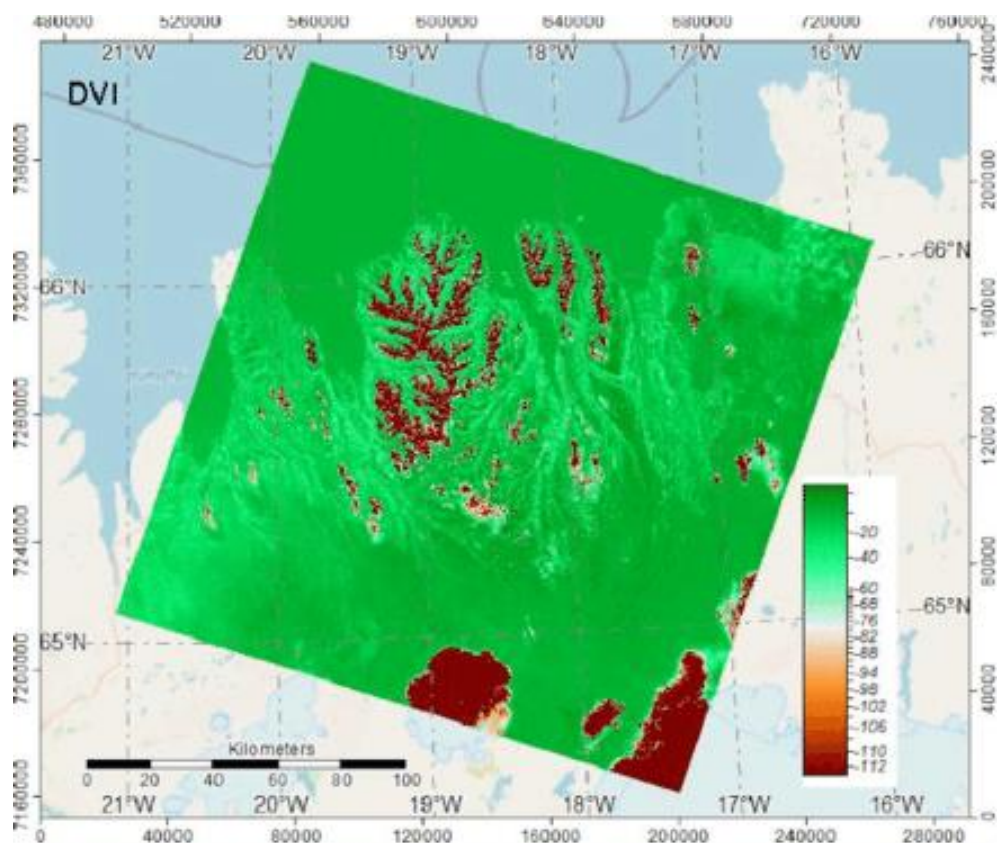
$$DVI = R - NIR$$

R - odbicie pasma czerwonego,

NIR – odbicie pasma bliskiej podczerwieni.

Wykorzystanie wskaźnika DVI ilustruje mapa wykonana przez Polinę Lemenkovą (Ryc. 7.2).

Ryc. 7.2. Mapa z wykorzystaniem wskaźnika DVI za pomocą programu SAGA GIS



Źródło: Lemenkova P. 2021

Wskaźnik pokrycia liściowego

LAI (ang. *leaf area index*) z definicji jest to połowa całkowitej powierzchni liści (lub igieł) na jednostkę powierzchni. To jeden z podstawowych wskaźników, wykorzystywanych do opisu struktury roślinności, a także najistotniejszych zmiennych w modelach produktywności ekosystemów, cyklów klimatycznych, biogeochemicznych, ekologicznych oraz hydrologicznych. LAI wpływa na efektywność i przebieg ewapotranspiracji, fotosyntezy, transpiracji, a także determinuje produkcję pierwotną, równowagę energetyczną oraz wielkość plonów. W skali lokalnej, ale i globalnej, pokazuje przemiany roślinności, gdyż szybko reaguje na zmiany klimatu i obecność czynników stresowych u roślin. Rola tego wskaźnika w badaniach jest istotna. LAI pozwala określić wiele cech roślin, pomaga w badaniach grubości pokrywy roślinnej, a także daje możliwość obliczenia struktury roślinności w ekosystemie (<https://rolnictwoprecyzyjne.eu/>) Wskaźnik opisano wzorem:

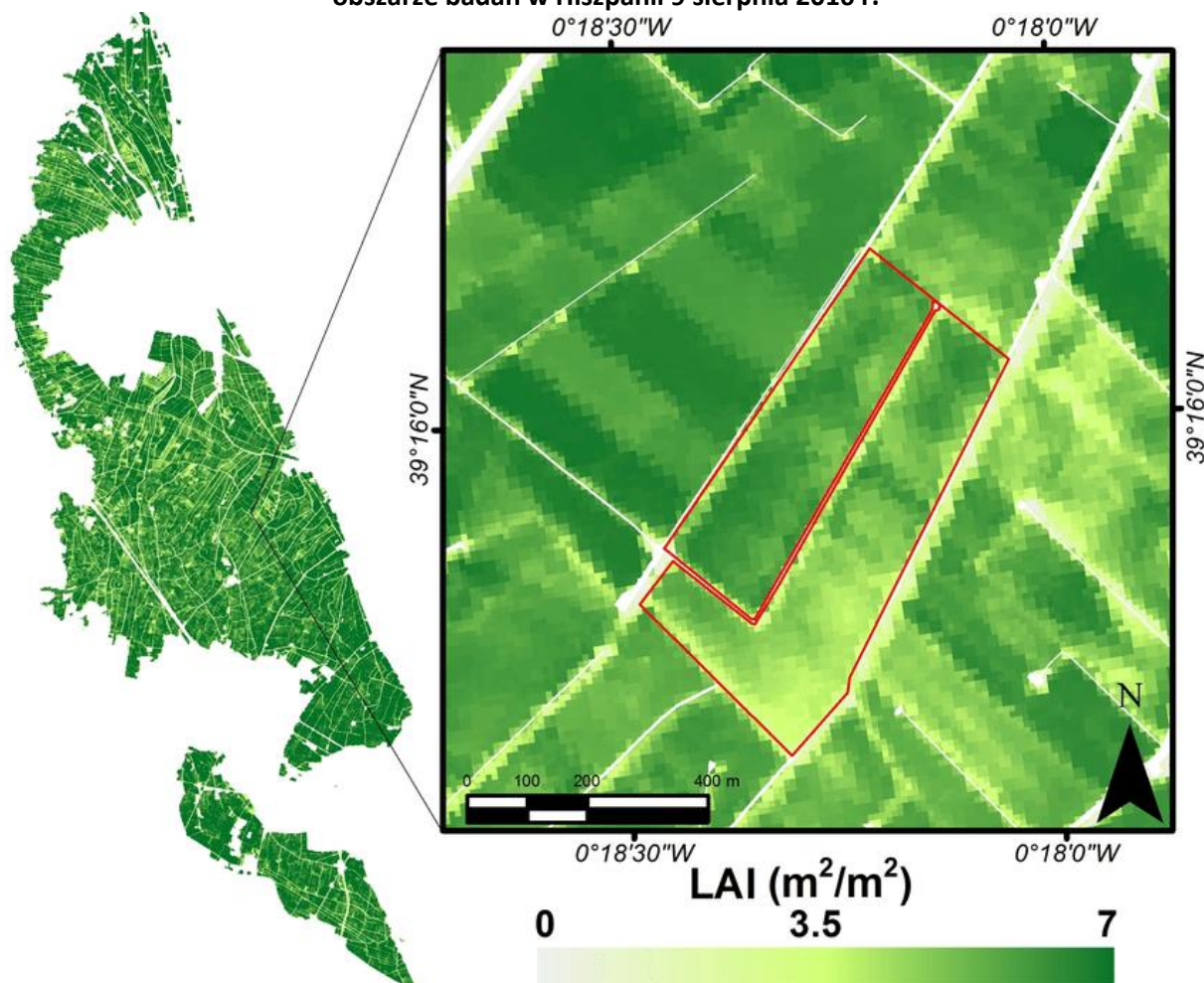
$$LAI = \frac{s}{G} \text{ [m}^2\text{m}^{-2}\text{]}, \text{ gdzie:}$$

s - oznacza funkcjonalną powierzchnię liści,

G - oznacza jednostkę powierzchni terenu (Olędzki i in. 2010).

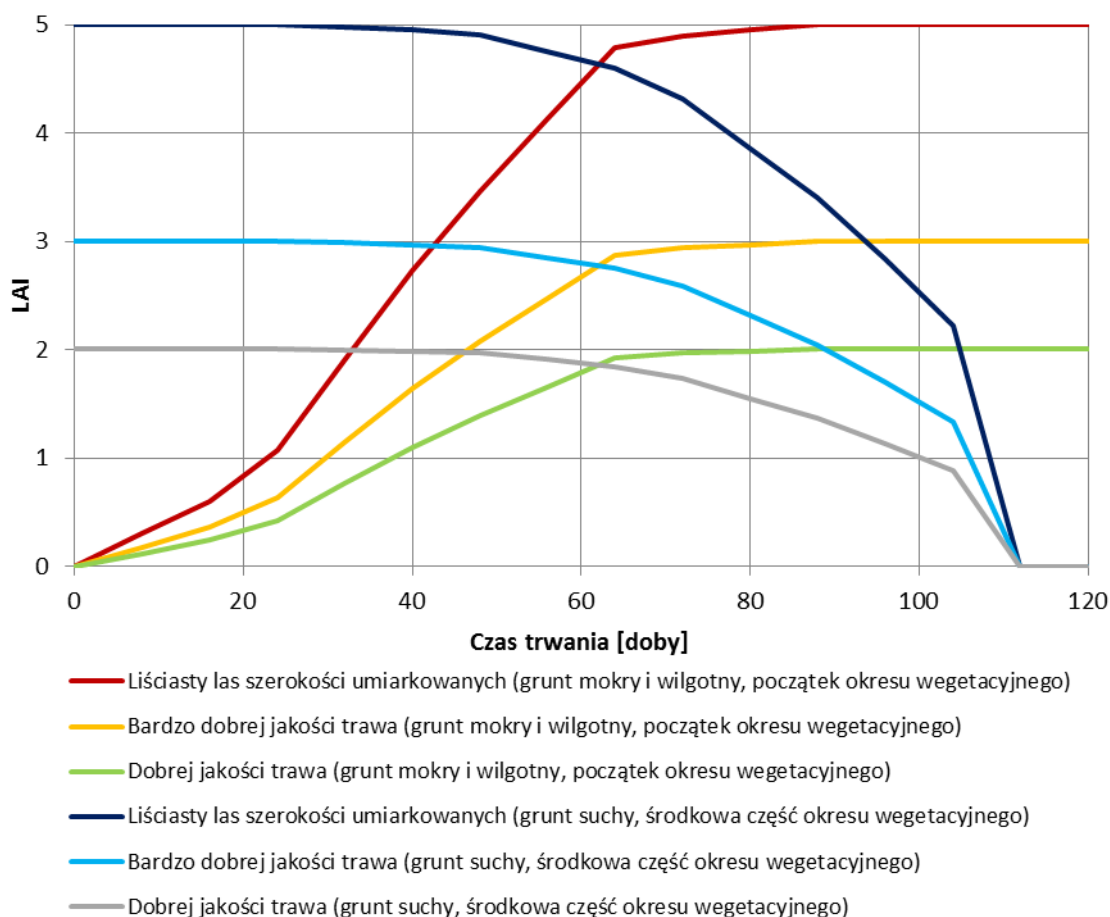
Mapę z przykładem wykorzystania wskaźnika LAI przedstawia rycina 7.3.

Ryc. 7.3. Mapa LAI o wysokiej rozdzielczości uzyskana dzięki danym Sentinel-2A pozyskanym na obszarze badań w Hiszpanii 9 sierpnia 2016 r.



Źródło: Campos-Taberner i in. 2017

Ryc. 7.4. Rozkład intensywności wegetacji traw i lasów względem dnia rozpoczęcia analizy wykorzystane do symulacji numerycznych w programie GeoStudio 2012



Źródło: podręcznik Vadose/W GeoStudio 2012

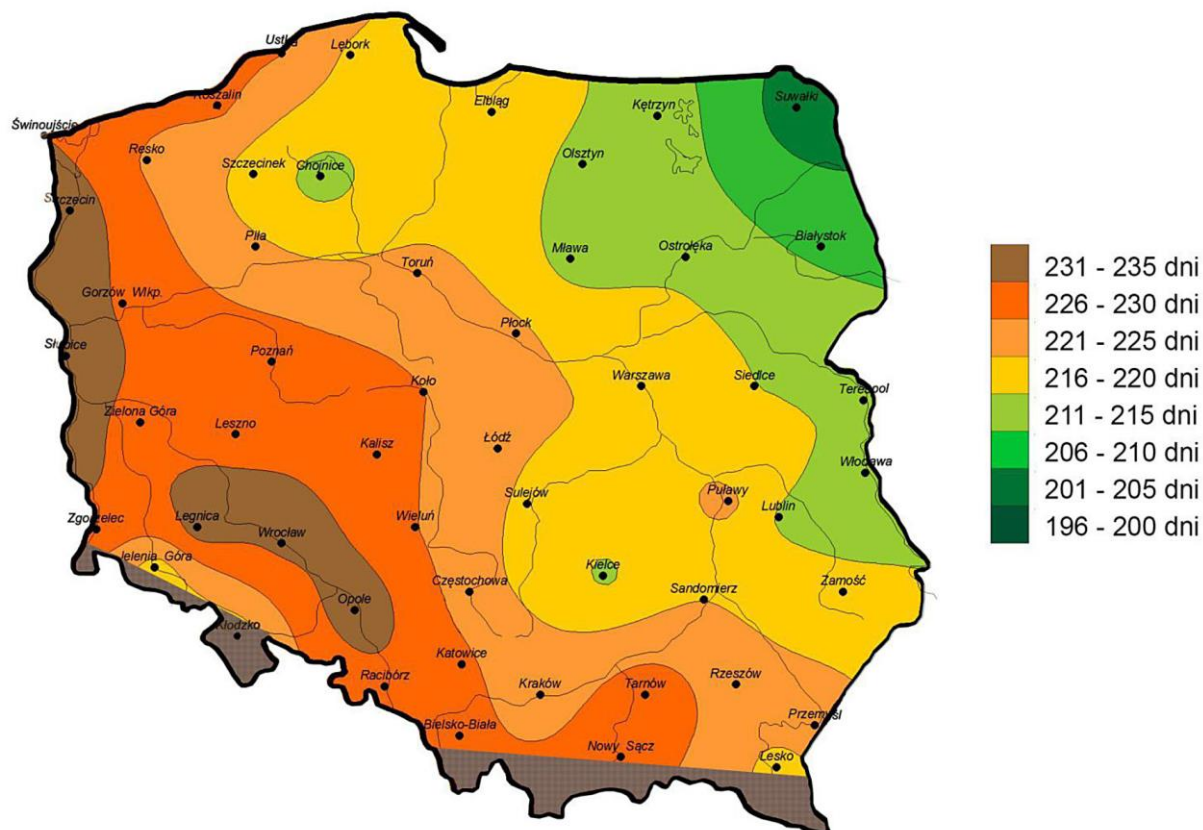
Powyższy wykres (Ryc. 7.4) przedstawia rozkład intensywności wegetacji traw i lasów na podstawie współczynnika LAI. Maksymalną wartość LAI trawy oraz lasy liściaste osiągają około 70. dnia i wartość ta wynosi 2 w przypadku traw oraz 5 w przypadku lasów liściastych.

Okres wegetacyjny

Okres wegetacyjny jest to część roku, kiedy średnia temperatura dobową powietrza wynosi powyżej 5°C (Tomczyk, Szyga-Pluta 2016). Długość okresu wegetacyjnego jest różna każdego roku, ponieważ mają na nią wpływ czynniki klimatyczne, które za każdym razem są inne. Okres wegetacyjny w Polsce w latach 1981-2010 przedstawiony na rycinie 7.5, pokazuje, iż okres wegetacyjny w Poleskim Parku Narodowym wynosił 211-215 dni, a w Roztoczańskim Parku Narodowym było to 216-220 dni. Według innych źródeł okres wegetacyjny w Poleskim Parku Narodowym trwa około 220 dni (Chmielewski, Szymański, Weigle 2020), natomiast w

Roztoczańskim Parku Narodowym jest to mniej więcej 216 dni (roztoczanski.pn.pl). Wszystko więc zależy od lat, w których długość tego okresu była badana. Na rycinie 7.5 zobrazowane jest zróżnicowanie długości okresu wegetacyjnego w całym kraju. Widać, że jest on dłuższy w zachodniej, południowo-zachodniej oraz południowej części kraju, a krótszy w północno-wschodniej i wschodniej Polsce.

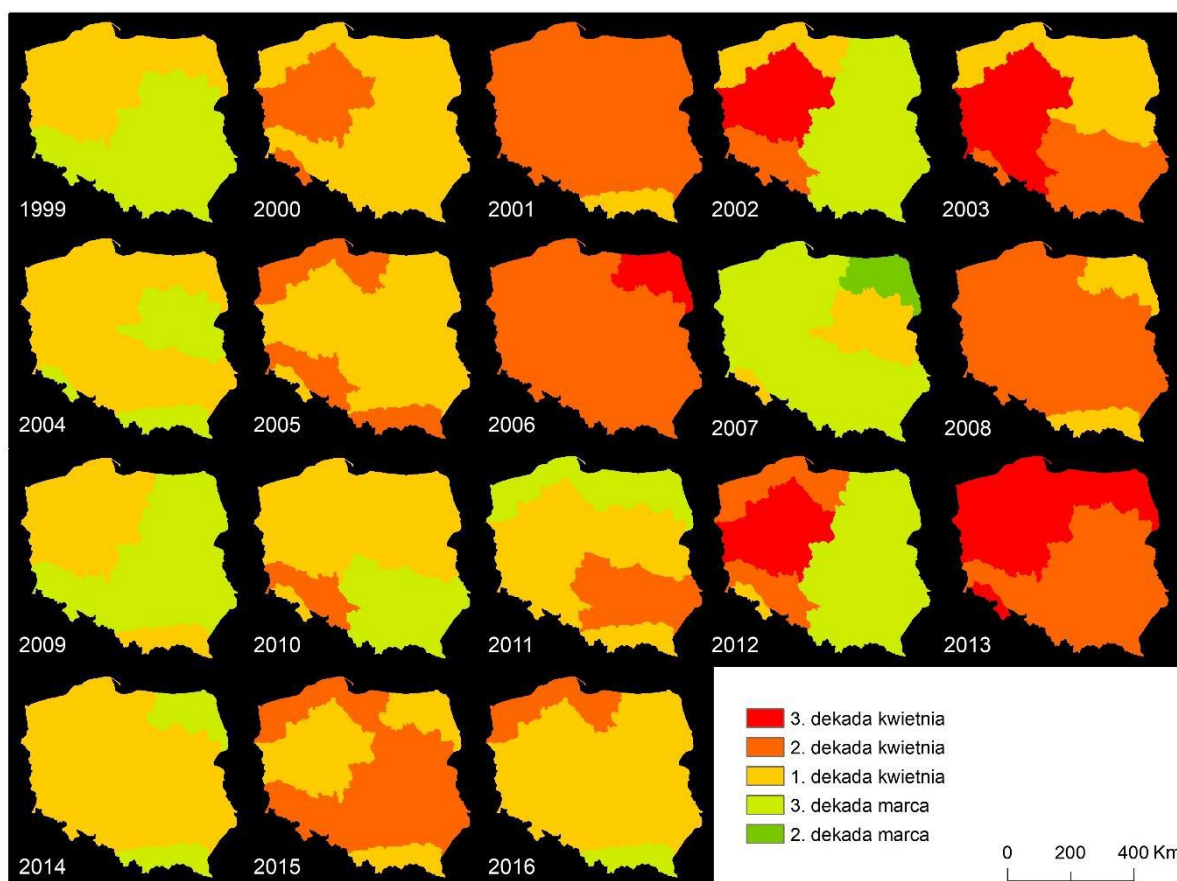
Ryc. 7.5. Czas trwania meteorologicznego okresu wegetacyjnego na obszarze Polski w latach 1981–2010



Źródło: Krużel i in. 2015

Długość okresu wegetacyjnego, jego początek oraz koniec są uzależnione od panujących warunków termicznych i wilgotnościowych. Zobrazowano to na przykładzie lasów liściastych w krainach przyrodniczo-leśnych na rycinach 7.6 oraz 7.9.

Ryc. 7.6. Czasowo-przestrzenny rozkład początku okresu wegetacyjnego lasów liściastych w krainach przyrodniczo-leśnych



Źródło: Bartold 2018

W latach od 1999 do 2016 początek okresu wegetacyjnego w przypadku obu parków przedstawiony jest na rycinie 7.7 oraz 7.8. W tym przedziale czasu okres wegetacyjny najczęściej rozpoczynał się w Poleskim Parku Narodowym w pierwszej dekadzie kwietnia, natomiast w Roztoczańskim Parku Narodowym w drugiej dekadzie kwietnia. W obu parkach początek okresu najwcześniej przypadał na trzecią dekadę marca, a najpóźniej na drugą dekadę kwietnia.

Ryc. 7.7. Początek okresu wegetacyjnego w latach 1999-2016 w Poleskim Parku Narodowym

Rok	2. dekada kwietnia	1. dekada kwietnia	3. dekada marca
1999			
2000			
2001			
2002			
2003			
2004			
2005			
2006			
2007			
2008			
2009			
2010			
2011			
2012			
2013			
2014			
2015			
2016			

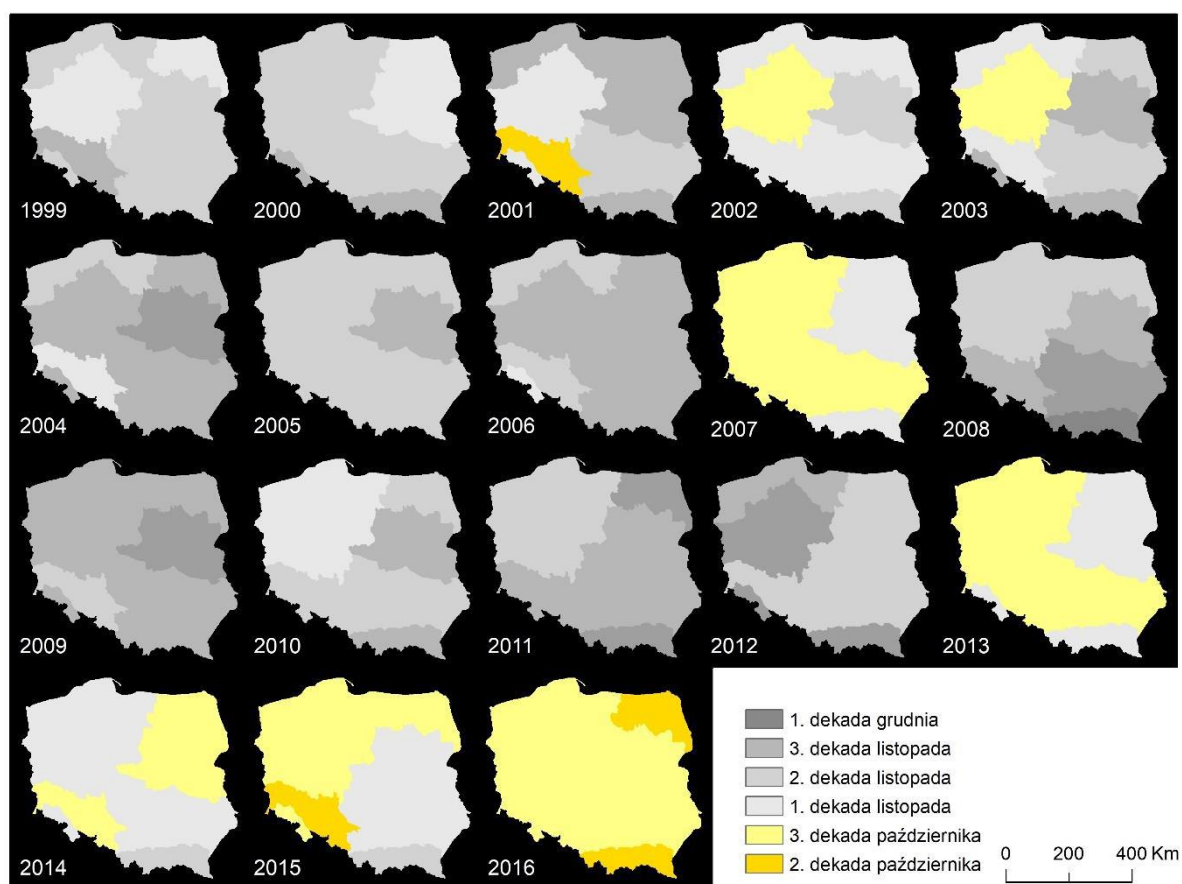
Źródło: opracowanie własne na podstawie ryc. 7.5

Ryc. 7.8. Początek okresu wegetacyjnego w latach 1999-2016 w Roztoczańskim Parku Narodowym

Rok	2. dekada kwietnia	1. dekada kwietnia	3. dekada marca
1999			
2000			
2001			
2002			
2003			
2004			
2005			
2006			
2007			
2008			
2009			
2010			
2011			
2012			
2013			
2014			
2015			
2016			

Źródło: opracowanie własne na podstawie ryc.7.5

Ryc. 7.9. Czasowo-przestrzenny rozkład końca okresu wegetacyjnego lasów liściastych w krainach przyrodniczo-leśnych



Źródło: Bartold 2018

Ryc. 7.10. Koniec okresu wegetacyjnego w latach 1999-2016 w Poleskim Parku Narodowym

Rok	1. dekada grudnia	3. dekada listopada	2. dekada listopada	1. dekada listopada	3. dekada października
1999					
2000					
2001					
2002					
2003					
2004					
2005					
2006					
2007					
2008					
2009					
2010					
2011					
2012					
2013					
2014					
2015					
2016					

Źródło: opracowanie własne na podstawie ryc. 7.8

Ryc. 7.11. Koniec okresu wegetacyjnego w latach 1999-2016 w Roztoczańskim Parku Narodowym

Rok	3. dekada listopada	2. dekada listopada	1. dekada listopada	3. dekada października
1999				
2000				
2001				
2002				
2003				
2004				
2005				
2006				
2007				
2008				
2009				
2010				
2011				
2012				
2013				
2014				
2015				
2016				

Źródło: opracowanie własne na podstawie ryc. 7.8

Koniec okresu wegetacyjnego na przestrzeni lat 1999-2016 został przedstawiony na rycinach 7.10 i 7.11, najczęściej w Poleskim Parku Narodowym przypadał na trzecią dekadę listopada, a w Roztoczańskim Parku Narodowym na drugą dekadę listopada. W Poleskim PN najwcześniej okres wegetacyjny kończył się w trzeciej dekadzie października, a najpóźniej w pierwszej dekadzie grudnia. W Roztoczańskim PN najwcześniej okres wegetacyjny w przeciągu badanych lat kończył się również w trzeciej dekadzie października, natomiast najpóźniej w trzeciej dekadzie listopada.

Monitoring flory

Ryc. 7.12. Monitoring wybranych gatunków roślin Poleskiego Parku Narodowego

Gatunki roślin	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lipiennik Loesela												
Obuwik pospolity												
Aldrowanda pęcherzykowata												
Dzwonecznik wonny												
Leniec bezpodkwiatkowy												
Starodub tåkowy												
Kotewka orzech wodny												
Widłaki Lycopodium												

	brak informacji
	okres wegetacyjny
	okres kwitnienia
	najlepszy okres na obserwacje

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kamiński 2010, Kucharczyk 2010, Kucharski 2010, Kamiński 2012, Nobis 2012, Pawlikowski 2012, Perzanowska, Walusiak 2012, Rapa 2012

Ryc. 7.13. Monitoring wybranych gatunków roślin Roztoczańskiego Parku Narodowego

Gatunki roślin	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Obuwik pospolity												
Bezlist okrywowy												
Dzwonecznik wonny												
Widłoząb zielony												
Chrobotki Cladonia												
Ciemnizyca czarna												
Śnieżyczka przebiśnieg												
Widłaki Lycopodium												

	brak informacji
	okres wegetacyjny
	okres kwitnienia

 najlepszy okres na obserwacje

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kucharczyk 2010, Kucharczyk, Kucharczyk 2012, Perzanowska, Walusiak 2012, Rapa 2012, Stebel 2012, Vončina 2012, Walusiak, Wilk 2012, Węgrzyn 2012

Informacje o okresie wegetacyjnym, okresie kwitnięcia oraz najlepszym okresie do monitoringu wybranych roślin zawarte są na rycinach 7.12 oraz 7.13. Rycina dotycząca roślin Poleskiego Parku Narodowego ilustruje, iż okres najbardziej sprzyjający obserwacjom mieści się w zakresie miesięcy letnich (czerwca, lipca, sierpnia). W Rostoczańskim Parku Narodowym okres ten jest rozmieszczony na przestrzeni niemal całego roku. Większość wybranych do analizy roślin najlepiej jednak monitorować również w miesiącach letnich. Gatunki roślin wybrane do opracowania są roślinami niskimi, w większości kwiatowymi. Najlepszy okres do ich obserwacji został wyznaczony pod koniec lub w samym środku okresu kwitnienia roślin, co pozwala zaobserwować m.in. ich ilość i zarostanie.

Obuwik pospolity (*Cypripedium calceolus* L.) jest rośliną, znajdującą się w obu parkach narodowych pod ochroną ścisłą. Rozpoczyna wegetację w kwietniu, kwitnienie zaczyna w połowie maja, a kończy w połowie lipca. Jego owoce dojrzewają w sierpniu, a sezon wegetacyjny zazwyczaj trwa do września lub października. Roślinę najlepiej monitorować w czerwcu, gdy kończy kwitnienie (Kucharczyk 2010). Przedstawiono go na rycinie 7.14.

Ryc. 7.14. Obuwik pospolity - *Cypripedium calceolus* L.



Źródło: Kucharczyk 2010

Aldrowanda pęcherzykowata (*Aldrovanda vesiculosa* L.) – to roślina będąca hydrofitem, występuje w Poleskim PN, rośnie ona w zbiornikach mezoeutroficznych oraz eutroficznych będących w różnej fazie zarastania, a także w jeziorach będących w różnym stadium dystrofii. Najlepszym okresem do prowadzenia badań jest okres między trzecią dekadą czerwca a drugą połową sierpnia, kiedy roślina jest w fazie wzrostu (Kamiński 2010). Roślina wygląda w sposób przedstawiony na rycinie 7.15.

Ryc. 7.15. Aldrowanda pęcherzykowata - *Aldrovanda vesiculosa* L.



Źródło: Kamiński 2010

Leniec bezpodkwiatkowy (*Thesium ebracteatum* Hayne) to gatunek widnych lasów, zarośli, a także ich skrajów, muraw, ciepłolubnych okrajów oraz poboczy dróg leśnych. Monitoring powinien obejmować zarówno małe populacje, ale także i większe i odbywać się na początku lata, kiedy gatunek owocuje, ponieważ jest wtedy najlepiej wykrywalny (Pawlikowski 2012). Przedstawiony jest na rycinie 7.16.

Ryc. 7.16. Leniec bezpodkwiatkowy - *Thesium ebracteatum* Hayne



Źródło: Pawlikowski 2012

W Roztoczańskim Parku Narodowym rosną rośliny gatunku chrobotki (*Cladonia L.*). Występują one głównie w obszarach borów sosnowych, wrzosowiskach, murawach kserotermicznych, a także torfowiskach wysokich. Można je monitorować przez cały rok, jedynym warunkiem jest brak pokrywy śnieżnej. Jednak najlepszym okresem do badań są miesiące letnie. Ważnym elementem jest pogoda podczas monitoringu. Obfite opady deszczu nie powodują zmiany koloru runa chrobotkowego, co utrudnia analizę ilościową gatunków (Węgrzyn 2012). Przedstawiono je na rycinie 7.17.

Ryc. 7.17. Chrobotki - *Cladonia L.*



Źródło: Węgrzyn 2012

Bezlist okrywowy (*Buxbaumia viridis*), występujący w Roztoczańskim PN to roślina jednoroczna. Pierwsze osobniki wyrastają jesienią i wczesną wiosną. Najlepszym okresem do obserwacji są właśnie te dwa okresy. Podczas jesieni monitoring należy prowadzić przed opadami śniegu, ponieważ będą wtedy widoczne młode sporofity (Vončina 2012). Roślina wygląda w sposób przedstawiony na rycinie 7.18.

Ryc. 7.18. Bezlist okrywowy - *Buxbaumia viridis*



Źródło: Vončina 2012

W przypadku monitoringu lasów liściastych i struktury runa leśnego najbardziej odpowiednim momentem do prowadzenia badań jest okres od połowy lutego, kiedy nie zalega jeszcze pokrywa śnieżna do pierwszej połowy kwietnia, ze względu na brak liści na drzewach. Prowadzone badania będą wtedy najskuteczniejsze, gdyż będzie najlepsza widoczność podłoża. Lasy iglaste można monitorować cały kwiecień, natomiast na przełomie kwietnia/maja zaczyna się okres wegetacyjny roślin runa leśnego. Wyjątkiem są drzewostany, w których występuje domieszka modrzewia. Zazwyczaj jest on tylko gatunkiem dodatkowym, jednak może nieco zakłócać wyniki pomiarów ze względu na opadanie igieł modrzewia. Monitorowanie lasów liściastych powinno się odbywać maksymalnie do 25 kwietnia, ponieważ jeszcze wtedy nie powinny się pojawiać liście. Należy jednak wziąć pod uwagę, iż głównym czynnikiem jest klimat i może to się zmieniać zależnie od niego, oraz że gatunki domieszkowe mogą wypuszczać liście nieco wcześniej (czeremcha, klon), dlatego jednak najbardziej odpowiednim momentem do zakończenia obserwacji jest połowa kwietnia.

Jeżeli celem monitoringu jest badanie zarastania, pomiary powinny być wykonywane w czasie najpełniejszego rozkwitu roślin, czyli na przełomie lipca oraz sierpnia. Wtedy ma miejsce największy przyrost oraz jest najwięcej wyprodukowanej biomasy roślinnej, czego skutkiem jest największa ilość chlorofilu w roślinach.

Czynniki wpływające na jakość zobrażeń przy użyciu UAV

Na jakość zobrażeń przy monitoringu roślin mogą mieć wpływ różne wskaźniki, które zakłócają wyniki. Należą do nich:

- Zawartość drzewostanu oraz stopień zacienienia
- Gęstość pokrywy roślinnej
- Pokrycie terenu
- Pogoda
- Gęstość liści

Ich występowanie może wpływać negatywnie na identyfikację flory, występującej w niższych piętrach lasu, trudności w rozpoznaniu drzew pod pokrywą śnieżną czy mniejszych roślin pomiędzy gęstą szatą roślinną oraz utrudniać analizę ilościową konkretnego gatunku (Olędzki i in. 2010, P. (red.) Perzanowskiej 2012, Zarzecki, Pasierbiński 2009).

Wnioski

Na podstawie wybranych gatunków roślin najlepszy okres do monitoringu flory Poleskiego Parku Narodowego przy użyciu UAV przypada na miesiące letnie (czerwiec, lipiec, sierpień). W przypadku Roztoczańskiego Parku Narodowego okres monitoringu jest rozmieszczony na przestrzeni niemal całego roku, pomijając jednak w większości miesiące zimowe.

Najbardziej odpowiedni czas na obserwacje roślin wyznaczono pod koniec lub w samym środku ich kwitnienia.

W celu monitoringu struktury powierzchni terenu oraz struktury runa leśnego, badania przy użyciu platform latających najlepiej przeprowadzać od połowy lutego, kiedy nie ma pokrywy śnieżnej, do pierwszej połowy kwietnia, gdyż nie występują jeszcze liście na drzewach.

Wykonując monitoring przy użyciu UAV warto zwrócić uwagę na czynniki wpływające na jakość zobrazowań, ponieważ mogą one zakłócać wyniki.

Literatura

- Bartold M. 2018. *Wyznaczanie początku i końca okresu wegetacyjnego lasów liściastych Polsce na podstawie wieloletnich obserwacji satelitarnych SPOT Vegetation i Proba-V*. Prace i Studia Geograficzne, t. 63.3, ss. 7-31.
- Campos-Taberner M., García-Haro F. J., Camps-Valls G., Grau-Muedra G., 2017. *Exploitation of SAR and Optical Sentinel Data to Detect Rice Crop and Estimate Seasonal Dynamics of Leaf Area Index*. Remote Sensing 9(3):248.
- Chmielewski T. J., Szymański J., Weigle A., 2020. *Poleski Park Narodowy: Dziedzictwo i przyszłość*. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej.
- Durka M., Kozak J., Kolečka N. (n.d.) 2020. *Wpływ pożaru w Biebrzańskim Parku Narodowym w kwietniu 2020 r. na zmienność wskaźnika NDVI*. Praca magisterska Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Geostudio 2012, 2012, GEOSLOPE International, Ltd.
- Kamiński R. 2010. *Aldrowanda pęcherzykowata Aldrovanda vesiculosa*. W: Perzanowska J. (red.) 2010. *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część I*, s. 34–47. GIOŚ, Warszawa.
- Kamiński R. 2012. *Kotewka orzech wodny Trapa natans L. s. I*. W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część III*. GIOŚ, Warszawa, s. 128-143.
- Kucharczyk M. 2010. *Obuwik pospolity Cypripedium calceolus L.* W: Perzanowska J. (red.) 2010. *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część I*, s. 83–98. GIOŚ, Warszawa.
- Kucharczyk M., Kucharczyk H. 2012. *Ciemężyca czarna Veratrum nigrum L.* W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część III*. GIOŚ, Warszawa, s. 93-102.
- Kucharski L. 2010. *Lipiennik Loesela Liparis loeselii (L) Rich.* W: Perzanowska J. (red.) 2010. *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część I*, s. 99–109. GIOŚ, Warszawa.
- Krużel J., Ziernicka-Wojtaszek A., Borek Ł., Ostrowski K., 2015. *Zmiany czasu trwania meteorologicznego okresu wegetacyjnego w Polsce w latach 1971–2000 oraz 1981–2010*. Inżynieria Ekologiczna, Vol. 44, 2015, 47–52.
- Lemenkova P., 2021. *SAGA GIS for Computing Multispectral Vegetation Indices by Landsat TM for Mapping Vegetation Greenness*. Contemporary Agriculture 70(1-2):67-75.

- Nobis M. 2012. *Starodub łąkowy Ostericum palustre Besser*. W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część II*. GIOŚ, Warszawa, s. 160-273.
- Pawlikowski P. 2012. *Leniec bezpodkwiatkowy Thesium ebracteatum Hayne*. W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część II*. GIOŚ, Warszawa, s. 127-140.
- Perzanowska J., Walusiak E. 2012. *Widłaki Lycopodium L. spp.* W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część III*. GIOŚ, Warszawa, s. 239-249.
- Olędzki J. (red.) R., Zagajewski B., Folbrier A., 2010. Wskaźniki stanu roślinności. Teledetekcja Środowiska. Tom 44.
- Rapa A. 2012. *Dzwonecznik wonny Adenophora liliifolia (L.) Besser*. W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część II*. GIOŚ, Warszawa, s. 53-65.
- Stebel A. 2012. *Widłóżqb zielony Dicranum viride (Sull. & Lesq.) Lindb.* W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część II*. GIOŚ, Warszawa, s. 296-306.
- Tomczyk A. M., Szyga-Pluta K., 2016. *Okres wegetacyjny w Polsce w latach 1971-2010*. Przegląd Geograficzny, 88, 1, s. 75-86.
- Vončina G. 2012. *Bezlist okrywowy Buxbaumia viridis (Moug. ex Lam. & DC.) Brid. ex Moug. & Nestl.* W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część II*. GIOŚ, Warszawa, s. 40-52.
- Walusiak E., Wilk Ł. 2012. *Śnieżyczka przebiśnieg Galanthus nivalis L.* W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część III*. GIOŚ, Warszawa, s. 203-213.
- Wang Z., Hou H., Murayama Y., Derdouri A., 2020. *Spatiotemporal Analysis of Land Use/Cover Patterns and Their Relationship with Land Surface Temperature in Nanjing, China*. Remote Sensing 12(3):440.
- Węgrzyn M. 2012. *Chrobotki Cladonia L. podrodzaj Cladina (Nyl.) Vain. spp.* W: J. Perzanowska (red.). *Monitoring gatunków roślin. Przewodnik metodyczny. Część III*. GIOŚ, Warszawa, s. 73-92.
- Zarzecki M., Pasierbiński A., 2009. *Zastosowanie GIS i teledetekcji w badaniach szaty roślinnej*. „Wiadomości Botaniczne” (Vol. 53, iss. 3/4, s.53-56).

Netografia

rolnictwoprecyzyjne.eu/blog/indeksy-wegetacyjne-cz-1/ (25.04.2022 r.)

roztoczanskipn.pl/pl/przyroda/przyroda-nieozywiona/warunki-klimatyczne (21.05.2022 r.)

rolnictwoprecyzyjne.eu/ndvi/ (15.06.2022 r.)

Zagrożenia i możliwości badań z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (UAV) w kontekście awifauny

Piotr Urbański

Wprowadzenie

Zasadniczo, loty dronami w przestrzeni powietrznej polskich parków narodowych są zabronione. W nielicznych przypadkach stosuje się jednak ustępstwa służące celom: naukowo-badawczym, ochronnym, inwentaryzacyjnym, monitoringowym i komercyjnym. Powodem takiego zakazu jest przede wszystkim ochrona zwierząt, a zwłaszcza ptaków, które są potencjalnie najbardziej narażone na negatywne oddziaływanie bezzałogowych statków powietrznych (UAV) ze względu na korzystanie z tej samej przestrzeni użytkowej.

Nie sposób nie zauważyć, że prócz potencjalnie negatywnego oddziaływania dronów na faunę, ich wykorzystanie może przynosić również wymierne korzyści, tj. poprawienie efektywności, obniżenie kosztów i rozszerzenie możliwości działań monitoringowych i badawczych. W określonych przypadkach gromadzenie danych za pomocą UAV może okazać się mniej inwazyjne w porównaniu do tradycyjnych metod wykorzystujących np. samoloty lub bezpośrednio ludzi.

Celem niniejszego rozdziału jest opracowanie czynników zagrażających awifaunie w kontekście lotów dronami oraz scharakteryzowanie szans i korzyści ich wykorzystania w celu ochrony przyrody. Produktem wynikowym będzie również kalendarz terminów, w których loty UAV będą oddziaływać w największym stopniu na cykl życiowy ptaków.

Awifauna Poleskiego Parku Narodowego

Polesie stanowi jeden z największych kompleksów torfowiskowych w Europie – w celu ochrony środowiska wodno-błotnego w 1990 roku powstał Poleski Park Narodowy. W strukturze użytkowania ziemi ponad 20% powierzchni parku przypada wodom i nieużytkom, tj. torfowiskom, bagnetom i podwodnym zbiorowiskom zaroślowym. Lasy zajmują prawie połowę jego terenu, a użytki rolne, z dominującym udziałem łąk, zajmują następne 25%

powierzchni parku (Chmielewski, Szymański 2020; Rozporządzenie... 2020). Ze względu na duży udział podmokłego środowiska, decyduje to o przewadze ptactwa wodno-błotnego.

Na obszarze Poleskiego Parku Narodowego (PPN) i jego otuliny stwierdzono występowanie ponad dwustu gatunków ptaków (w zależności od źródła, między 215 a 224) stanowiących niemal połowę wszystkich gatunków obserwowanych w Polsce. Jest to też szczególnie ważny obszar dla ptaków lęgowych, których odnotowuje się powyżej 160 gatunków (między 162 a 168; około 70% ogółu w Polsce). Polska czerwona księga zwierząt obejmuje 39 gatunków ptaków obserwowanych w PPN (Różycki, Grzywaczewski 2020; Rozporządzenie... 2020).

Szczególnie istotne gatunki, wymienione przez Różyckiego i Grzywaczewskiego (2020), to: dubelt, dzięcioł białostrzbioty, kraska, podgorzałka, puchacz, wodniczka oraz żuraw. Wszystkie z nich wyróżniają się pozytywnie w skali regionu, kraju, a nawet świata: wodniczka stanowi ok. dwa procent populacji globalnej; dubelt odpowiada za prawie cztery procent populacji w Polsce; podgorzałka to 20% populacji Lubelszczyzny oraz pięć procent kraju; dzięcioł białostrzbioty stanowi 20% gatunku na Lubelszczyźnie oraz prawie jeden procent populacji krajowej.

Na terenie Parku zlokalizowane są dwie ostoje ptaków o znaczeniu międzynarodowym: Bagno Bubnów i Polesie (Grzywaczewski, Różycki 2010a; 2010b). Pod tym pojęciem rozumie się obszary o wyjątkowym znaczeniu dla efektywnej ochrony gatunkowej i siedliskowej. Program IBA (ang. *International Bird Areas*) gromadzi ponad jedenaście tysięcy miejsc w niemal wszystkich państwach na świecie - mają one najwyższy priorytet ochronny, dzięki czemu ograniczony kapitał przeznaczony na ochronę ma szansę przynieść największe korzyści (Wilk i in. 2010). Na ich podstawie wyznaczono ostoje ptasie Natura 2000, odpowiednio: PLB060001 i PLB060019. Oprócz tego, na terenie Parku znajduje się również tzw. obszar siedliskowy: PLH060013 (<http://poleskipn.pl/...>).

Tabela 8.1. przedstawia fenologię występowania i gniazdowania ptaków Poleskiego Parku Narodowego znajdujących się w wykazie z załącznika 1. do tzw. Dyrektywy Ptasiej (Dyrektywa... 2009). Gatunki w nim wymienione „podlegają specjalnym środkom ochrony dotyczącym ich naturalnego siedliska w celu zapewnienia im przetrwania oraz reprodukcji na

obszarze ich występowania. W związku z powyższym uwzględnia się: a) gatunki zagrożone wyginięciem; b) gatunki podatne na szczególne zmiany w ich naturalnym siedlisku; c) gatunki uznane za rzadkie z uwagi na niewielkie populacje lub ograniczone lokalne występowanie; d) inne gatunki wymagające szczególnej uwagi ze względu na specyficzny charakter ich naturalnego siedliska” (Dyrektywa... 2009:2). Wymienione wyżej gatunki, dla których Poleski Park Narodowy stanowi szczególnie ważną ostoję, zostały wyróżnione kursywą.

Na podstawie sumy gatunków, które odbywają lęgi w danym miesiącu, można wnioskować, że najbardziej wrażliwym okresem dla awifauny Poleskiego Parku Narodowego jest okres od kwietnia do sierpnia.

Tab. 8.1. Fenologia występowania i gniazdowania wybranych ptaków Poleskiego Parku Narodowego

Gatunek	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Dubelt</i>												
<i>Dzięcioł białogrzbisty</i>												
<i>Kraska</i>												
<i>Podgorzałka</i>												
<i>Puchacz</i>												
<i>Wodniczka</i>												
<i>Żuraw</i>												
Batalion												
Bączek												
Bąk												
Bernikla rdzawoszyja												
Biegus zmienny												
Bielaczek												
Bielik												
Błotniak łąkowy												
Błotniak stawowy												
Błotniak stepowy												
Błotniak zbożowy												
Bocian biały												
Bocian czarny												
Cietrzew												
Czapla biała												
Czapla nadobna												
Czapla purpurowa												
Derkacz												
Drzemlik												
<i>Dzięcioł białogrzbisty</i>												
<i>Dzięcioł białoszyi</i>												
<i>Dzięcioł czarny</i>												

Gatunek	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Dzięcioł średni												
Dzięcioł zielonosiwy												
Gadożer												
Gąsiorek												
Jarząbek												
Jarzębatka												
Kania czarna												
Kania ruda												
Kobczyk												
Kropiatka												
Lelek												
Lerka												
Łabędź niemy												
Łęczak												
Mewa czarnogłowa												
Mewa mała												
Muchołówka mała												
Nur czarnoszyi												
Nur rdzawoszyi												
Orlik grubodzioby												
Orlik krzykliwy												
Ortolan												
Orzeł przedni												
Podróżniczek												
Puchacz												
Puszczyk mszarny												
Rybitwa białoczelna												
Rybitwa białowąsa												
Rybitwa czarna												
Rybitwa rzeczna												
Rybitwa wielkodzioba												
Rybołów												
Sokół wędrowny												
Świergotek polny												
Trzmielojad												
Uszatka błotna												
Zielonka												
Zimorodek												

<i>Kursywa</i>

brak stwierdzenia obecności gatunku w Polsce

okres przebywania gatunku w Polsce

orientacyjny okres lęgowy

gatunek szczególnego zainteresowania

Źródło: opracowanie własne na podstawie GIOŚ 2015; <https://encyklopedialesna.pl/>;
<https://ptaki.info/>; Różyński i in. 2020

Awifauna Roztoczańskiego Parku Narodowego

Poziom zalesienia Roztoczańskiego Parku Narodowego wyróżnia się na tle pozostałych polskich parków narodowych – udział gruntów leśnych w strukturze użytkowania terenu wynosi powyżej 95% (Grabowski, Kałamucka 2015).

Wybitnie zalesiony charakter Parku wpływa bezpośrednio na dominację gatunków leśnych wśród ptaków. Awifauna Roztoczańskiego Parku Narodowego liczy ok. 230 gatunków (w zależności od źródła 227-230), stanowiących połowę zasobów Polski. Gatunki lęgowe występują w liczbie 142 (Stachyra, Marczanowski, Tchórzewski, 2015).

Ze względu na ubóstwo sieci wód powierzchniowych, znaczenie gatunków wodnych jest stosunkowo niewielkie. Największy zbiornik RPN – Stawy Echo – są ich głównym miejscem żeru (Stachyra, Lorens 2015).

Cały teren Parku pokrywa ostoja ptaków o znaczeniu międzynarodowym – Roztocze (Stachyra i in. 2010). Na jej podstawie wytypowano jeden z dwóch obszarów Natura 2000 znajdujących się na terenie Parku – „Roztocze PLB060012” (tzw. obszar ptasi). Drugi z nich, to „Roztocze PLB060012” (tzw. obszar siedliskowy) (Stachyra, Lorens 2015).

Status ochronny posiada 218 gatunków ptaków, z czego 211 odnosi się do ochrony ścisłej, a siedem do ochrony częściowej (Rozporządzenie... 2018). Do Polskiej Czerwonej Księgi Zwierząt wpisano 53 z nich (Stachyra, Lorens 2015) a Załącznik I Dyrektywy Ptasiej – 62 (Tabela 2). Ptaki, dla których Roztoczański Park Narodowy stanowi ważną ostoję, to: bocian czarny, trzmielojad, orlik krzykliwy, bielik, puszczyk uralski, włochatka, sóweczka, dzięcioł zielonosiwy, dzięcioł średni, dzięcioł białostrzbiety, zniczek, muchołówka mała, muchołówka białoszysa (<https://roztoczanski.pn.pl/...>). Populacje lęgowe większości z nich stanowią jeden procent populacji krajowej (Grabowski, Kałamucka 2015).

Poniższa tabela przedstawia fenologię występowania i gniazdowania ptaków Roztoczańskiego Parku Narodowego znajdujących się w wykazie z załącznika 1. do tzw. Dyrektywy Ptasiej (Dyrektywa... 2009). Wymienione wcześniej gatunki, dla których Roztoczański Park Narodowy stanowi szczególnie ważną ostoję, zostały wyróżnione kursywą.

Na podstawie sumy gatunków, które odbywają lęgi w danym miesiącu, można wnioskować, że najbardziej wrażliwym okresem dla awifauny Roztoczańskiego Parku Narodowego jest okres od kwietnia do sierpnia.

Tab. 8.2. Fenologia występowania i gniazdowania wybranych ptaków Roztoczańskiego Parku Narodowego

Gatunek	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Bączek</i>												
<i>Bocian czarny</i>												
<i>Derkacz</i>												
<i>Dzięcioł białogrzbiety</i>												
<i>Dzięcioł białoszyi</i>												
<i>Dzięcioł czarny</i>												
<i>Dzięcioł średni</i>												
<i>Dzięcioł zielonosiwy</i>												
<i>Gąsiorek</i>												
<i>Jarzębatka</i>												
<i>Muchotówka białoszyja</i>												
<i>Muchotówka mała</i>												
<i>Orlik krzykliwy</i>												
<i>Puchacz</i>												
<i>Puszczyk uralski</i>												
<i>Trzmiełojad</i>												
<i>Włochatka</i>												
<i>Zielonka</i>												
Batalion												
Bąk												
Biegus zmienny												
Bielik												
Błotniak łąkowy												
Błotniak stawowy												
Błotniak zbożowy												
Bocian biały												
Czapla biała												
Czapla modronosa												
Czapla purpurowa												
Drzemlik												
Gadożer												
Głuszc												
Jarząbek												
Kania czarna												
Kania ruda												
Kobczyk												
Kropiatka												
Lelek												

Gatunek	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lerka												
Łabędź krzykliwy												
Łęczak												
Mewa mała												
Nur czarnoszyi												
Ortolan												
Orzeł przedni												
Orzełek												
Płatkonóg sztydłodzioby												
Podgorzałka												
Rybitwa białoczelna												
Rybitwa białowąsa												
Rybitwa czarna												
Rybitwa rzeczna												
Rybołów												
Siewka złota												
Sokół wędrowny												
Sóweczka												
Ślepowron												
Świergotek polny												
Uszatka błotna												
Zielonka												
Zimorodek												
Żuraw												

	brak stwierdzenia obecności gatunku w Polsce
	okres przebywania gatunku w Polsce
	orientacyjny okres lęgowy
<i>Kursywa</i>	gatunek szczególnego zainteresowania

Źródło: opracowanie własne na podstawie GIOŚ 2015; Stachyra i in. 2015;
<https://encyklopedialesna.pl/>; <https://ptaki.info/>; <https://roztoczanski.pl/>...

Zagrożenia awifauny w kontekście UAV

Rynek bezzałogowych statków powietrznych dynamicznie się rozrasta – szacunkowy wzrost liczby dronów w Polsce w latach 2017-2026 wyniesie ok. 140% (Darowska, Kutwa 2019). Drony są również coraz częściej wykorzystywane w badaniach przyrodniczych – tego typu działania można traktować jako aspekt antropopresji w stosunku do dzikiej fauny. Potencjalnie, najbardziej narażoną grupą zwierząt są ptaki ze względu na korzystanie z tej samej przestrzeni użytkowej (Hogson, Koh 2016). Obecnie, stopień zrozumienia tego ryzyka jest na stosunkowo niskim poziomie, co podkreślają autorzy wielu prac z literatury przedmiotu

(m.in. Hogson, Koh 2016; Mulero-Pazmany i in. 2017; Rebolo-Ifran i in. 2019). Tabela 8.3. przedstawia czynniki wpływające na responsywność awifauny na naloty UAV.

Tab. 8.3. Czynniki wpływające na reakcję ptaków na UAV ze względu na komponent interakcji

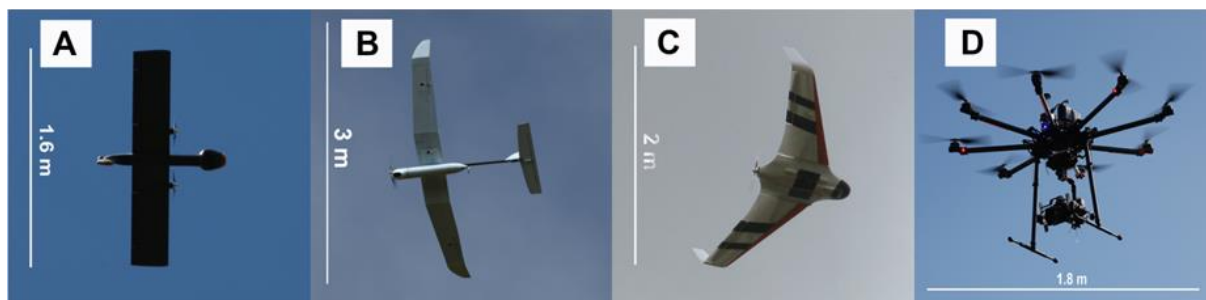
Komponent interakcji	Czynniki	
UAV	Rodzaj płatów nośnych Kształt drona Rozmiar drona Rodzaj napędu Generowany hałas Odległość startu od ptaków	Kierunek lotu Kąt nalożu do obiektu Prędkość lotu Wysokość lotu Częstość nalożów
Środowisko	Wiatr Hałas otoczenia	Roślinność Obecność drapieżników
Ptaki	Etap życia Zgromadzenia	Grupa Habitacja (przyzwyczajanie)

Źródło: opracowanie własne na podstawie Holldorf 2018

Rozważania na temat oddziaływania bezzałogowych statków powietrznych na ptaki należy rozpocząć od cech samego drona i jego eksploatacji. Podział UAV należy rozpocząć od rodzaju napędu: spalinowego lub elektrycznego. Silniki spalinowe mają przewagę nad napędem elektrycznym m.in. pod względem zasięgu i długości lotu, jednak generują znacznie większy hałas (Mulero-Pazmany i in. 2017; Holldorf 2018).

Wśród typów układu nośnego wyróżnia się zazwyczaj: płatowce, śmigłowce i wielowirnikowce (Feltynowski 2019). Są one bezpośrednio związane z kształtem pojazdu, który odgrywa kluczowe znaczenie w płoszeniu ptaków – stałopłaty przypominają sylwetką ptaki. Kształt niektórych modeli przypomina drapieżniki, np. bielika białobrzuchego (model C, Ryc. 8.1.), podczas gdy inne (model A, Ryc. 8.1.) (Vas i in. 2015; McEvoy i in. 2016). Rozmiar stałopłatów również jest zbliżony do dużych ptaków drapieżnych (rozpiętość skrzydeł: 1,5–3 m) – wielowirnikowce na tym polu wykazują dużą różnorodność: od małych quadrokopterów ze średnią ramion wynoszącą ok. 40 cm, do dużych oktokopterów ze średnicą dochodzącą do dwóch metrów (model D, Ryc. 8.1.) (McEvoy i in. 2016).

Ryc. 8.1. Porównanie kształtu wybranych modeli bezzałogowych statków powietrznych



A – UAVER Avian-P; B – Skylark II; C – Drone Metrex Topodrone-100; D – FoxTech Kraken-130

Źródło: McEvoy i in. 2016

Wielowirnikowce okazują się najmniej wpływać na zainteresowanie nimi ptaków – szczególnie małe drony rekreacyjne, jak DJI Phantom (ok. 40 cm średnicy), mogą przelatywać 15 metrów nad osobnikami bez podejmowania przez nich lotu (Ryc. 8.3). Wśród płatowców wyróżnia się pojazd przypominający sylwetką drapieżnika – ptaki wydają się być wtedy najbardziej zagrożone, czego skutkiem jest ich ucieczka, nawet przy przelocie drona 80 metrów nad nimi.

Rycina 8.2. Reakcja ptactwa wodnego na UAV różnych kształtów przelatujące nad ptakami na różnych wysokościach

kształt	wysokość nad powierzchnią wody						
	100 m	90 m	80 m	70 m	60 m	50 m	15 m (take-off)
	NR	NR	NR	NR	V	N/A	F
	NR	NR	NR	NR	V	NA	F
	NR	NR	F	F	F	N/A	F
	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	V	V
	NR	NR	NR	NR	NR	V	N/A

F podjęcie lotu

V wzmożona czujność

NR brak zauważalnej reakcji

N/A brak przelotu UAV na określonej wysokości

Źródło: McEvoy i in. 2016

Sposób wykonywanego nalogu, a więc jego kierunek, prędkość i wysokość, również wpływa na zachowanie ptaków. Naloty ukierunkowane bezpośrednio na wybrane osobniki lub zgromadzenia ptaków powodują ich reakcję, w przeciwieństwie do np. lotów rekreacyjnych, które zazwyczaj nie są ukierunkowane wprost na obiekt. Jeśli dodatkowo, prędkość i wysokość ulegną znaczącej zmianie, reakcja ptaków jest silniejsza (McEvoy i in. 2016; Zboryt 2018). Vas

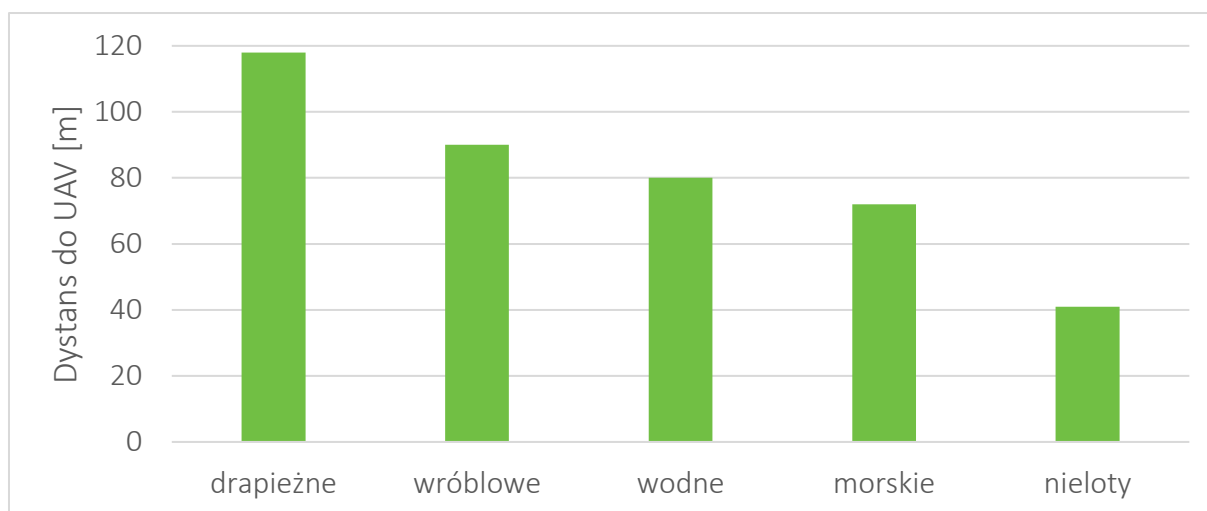
i in. (2015) dostrzegli również, że na ogół ptaki reagują silniej, jeśli pojazd znajduje się bezpośrednio nad nimi (pod kątem 90°).

Warunki środowiskowe również wydają się mieć duże znaczenie w płoszeniu ptaków. Kierunek i prędkość wiatru mogą istotnie wpływać na charakterystykę lotu drona i przykładowo, zwiększyć generowany przez niego hałas na powierzchni ziemi. Innym znaczącym czynnikiem jest hałas otoczenia – co prawda na obszarach chronionych można spodziewać się cichych warunków, jednak wzdłuż jezdni i torów kolejowych, przebiegających m.in. przez parki narodowe, można spodziewać się podwyższonych wartości szumu tła, a w takich warunkach spada prawdopodobieństwo usłyszenia lecącego drona (Wiącek i in. 2014; Holldorf 2018).

Gęsta roślinność może pozwalać ptakom na skrycie się przed potencjalnym zagrożeniem (Holldorf 2018). Pomimo wyraźnego związku między dronami o sylwetkach drapieżników oraz reakcją awifauny, nie wykazują one tak silnego odzewu jak w przypadku pojawienia się prawdziwych ptaków drapieżnych (McEvoy i in. 2016).

Pod pojęciem „etap życia” (ang. *life history stage*) rozróżnia się: lęgi oraz okres pozalęgowy. Ptaki wysiadujące jaja lub wychowujące potomstwo cechują się na ogół mniejszą reaktywnością – prawdopodobnie ze względu na niechęć do porzucenia gniazda lub trudności w poruszaniu się ciężarnych samic (Mulero-Pazmany 2017). Mało zauważalny odzew zewnętrzny nie oznacza jednak braku reakcji fizjologicznej (Ditmer i in. 2015), czyli stresu prowadzącego np. do zmniejszenia reprodukcji (Le Maho i in. 2014; Mulero-Pazmany 2017).

Ryc. 8.3. Średnia początkowa odległość reakcji wybranych rodzajów ptaków na naloty UAV



Źródło: Holldorf 2018

Pośród grup ptaków, największą reaktywność wykazują drapieżniki (Ryc. 8.3). Holldorf (2018) wskazuje, że przeciętna odległość zaistnienia reakcji wynosi między 90 a 120 m. Możliwe są również agresywne odpowiedzi, tj. atak w kierunku drona (Vas i in. 2015; Zbyryt 2018; Rebolo-Ifran 2019). Szczególnie wysokim stopniem płochliwości cechują się też ptaki wodne i wróblowe (Zbyryt 2018).

Oprócz tego, im większe jest zgromadzenie ptaków, tym większa ich reaktywność (Mulero-Pazmany 2017). W przypadku obecności drapieżników, inne ptaki są bardziej wyczulone na jakiegokolwiek bodźce (Zbyryt 2018).

W zależności od wrażliwości danego osobnika, duża częstotliwość nalotów może skłaniać do porzucenia terytorium lub do habituacji, czyli do przywyknięcia do nich (Mulero-Pazmany 2017).

W nawiązaniu do powyższych obserwacji, badania Holldorfa (2018) wskazują na to, że miejsce startu bezzałogowego statku powietrznego powinno zachowywać bufor ok. 100 m od najbliższego siedliska ptaków lub zaobserwowanego osobnika. W przypadku zaobserwowania żerującego drapieżnika, należy zwiększyć odległość o ok. 25 m – w przeciwnym przypadku bufor można zmniejszyć.

Podsumowanie

Badania empiryczne wskazują, że przy określonych warunkach. wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych do badań przyrodniczych ma niewielki wpływ na

zwierzęta – w większości przypadków mniejszy niż alternatywne metody badań. Stan prac jest jednak na stosunkowo wczesnym etapie, więc proponuje się kontynuowanie badań tego problemu.

Standardy nalołów, do których uzyskania należy dążyć w jak największym stopniu, można podsumować jako:

1. Należy stosować pojazdy o napędzie elektrycznym – generują mniejszy hałas od silników spalinowych.
2. Drony wielowirnikowe wywołują najmniejsze zainteresowanie ptactwa ze względu na brak podobieństwa do jakiegokolwiek drapieżnika. Jeśli sytuacja tego wymaga (np. ze względu na dużą przestrzeń objętą badaniem), należy stosować stałopłaty w jak najmniejszym stopniu przypominające sylwetkę ptaków drapieżnych.
3. Właściwe jest zachowanie największej możliwej wysokości nad powierzchnią terenu. Dla stałopłatów bezpieczna wartość to ok. 80-90 m, natomiast dla wielowirnikowców – powyżej 60 m. W celu osiągnięcia kompromisu pomiędzy wysokością a jakością uzyskanego obrazu, można stosować teleobiektywy (o większej ogniskowej, pot. „zoomie”).
4. Nie zaleca się gwałtownych zmian parametrów lotu, tj. prędkości i wysokości, co przypomina zachowanie ptaków drapieżnych podczas ataku. Najlepsze wyniki dają naloły z prędkością do 10 km/h z jak najniższym kątem opadania – nie należy wykonywać prostopadłego nalołu w kierunku obserwowanych osobników. Generalnie, miejsce startu powinno znajdować się nie bliżej niż 100 m od najbliższego siedliska ptaków lub zaobserwowanego osobnika.
5. Ze względu na brak wystarczających informacji nt. wpływu UAV na sukces lęgowy, warto dostosować termin nalołów do okresu lęgowego ptaków – zwłaszcza szczególnie istotnych gatunków dla wybranego terenu. Zarówno dla Poleskiego i Roztoczańskiego Parku Narodowego, najbardziej wrażliwym terminem jest okres od kwietnia do sierpnia (patrz: tabele 1 i 2).

6. W celu uzyskania najlepszych wyników, naloty monitoringowe należy przeprowadzać przede wszystkim w stosunku do ptaków dużych i średnich oraz takich, które odznaczają się wysokim kontrastem w stosunku do otoczenia.

Bibliografia

- Chmielewski T.J., Szymański J., 2020. Historia powstania, cele i zadania Poleskiego Parku Narodowego, W: (Red.) Chmielewski T.J., Szymański J., Weigle A., Poleski Park Narodowy. Dziedzictwo i przyszłość, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin
- Ditmer M.A., Vincent J.B., Werden L.K., Tanner J.C., Laske T.G., Iazzo P.A., Garshelis D.L., Fieberg J.R., 2015. Bears Show a Physiological but Limited Behavioral Response to Unmanned Aerial Vehicles, *Current Biology*, 25, 17, DOI: 10.1016/j.cub.2015.07.024
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/147/WE z dnia 30 listopada 2009 r. w sprawie ochrony dzikiego ptactwa
- Feltynowski M. (red.), 2019. Wykorzystanie bezzałogowych platform latających w operacjach na rzecz bezpieczeństwa publicznego, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodzi im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy, Józefów
- GIOŚ 2015. Monitoring ptaków lęgowych. Poradnik metodyczny, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa
- Grabowski T., Kałamucka W., Wiadomości wstępne o Parku, 2015. W: (Red.) Reszela R., Grądziela T., Roztoczański Park Narodowy. Przyroda i człowiek, Roztoczański Park Narodowy, Zwierzyniec
- Grzywaczewski G., Różycki A. 2010a. Bagno Bubnów, W: Wilk T., Jujka M., Krogulec J., Chylarecki P. (red.), Ostoje ptaków o znaczeniu międzynarodowym w Polsce, Ogólnopolskie Towarzystwo Ochrony Ptaków, Marki: 351-352
- Grzywaczewski G., Różycki A. 2010b. Polesie, W: Wilk T., Jujka M., Krogulec J., Chylarecki P. (red.), Ostoje ptaków o znaczeniu międzynarodowym w Polsce, Ogólnopolskie Towarzystwo Ochrony Ptaków, Marki: 347-350
- Hogson J.C., Koh L.P., 2016. Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research, *Current Biology*, 26, 10:404-405, DOI: 10.1016/j.cub.2016.04.001
- Holldorf E., 2018. Avifauna Ethological Response to Unmanned Aircraft Systems, Master's Projects and Capstones. 771
- <http://poleskipn.pl/index.php/o-nas/znaczenie-miedzynarodowe/natura-2000> URL (01.04.2022)
- <https://encyklopedialesna.pl/> URL (20.05.2022)

<https://ptaki.info/> URL (20.05.2022)

<https://roztoczanski.pn.pl/pl/przyroda/przyroda-ozywiona/swiat-zwierzat> URL (20.05.2022)

Le Maho Y., Whittington J.D., Hanuise N., Pereira L., Boureau M., Bruker M., Chatelain N., Courtecuisse J., Crenner F., Friess B., Grossbellet E., Kernaléguen L., Olivier F., Saraux C., Vetter N., A Viblanc V., Thierry B., Tremblay P., Groscolas R., Le Bohec C., 2014. Rovers minimize human disturbance in research on wild animals, *Nature Methods*, 11, 1242-1244, DOI: doi.org/10.1038/nmeth.3173

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,

Mulero-Pazmany M., Jenni-Eiermann S., Strebel N., Sattler T., Negro J.J., Tablado Z., 2017. Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review, *PLOS ONE*, 12, 6, DOI: [10.1371/journal.pone.0178448](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178448)

Rebolo-Ifran N., Grilli M.G., A Lambertucci S., 2019. Drones as a Threat to Wildlife: YouTube Complements Science in Providing Evidence about Their Effect, Cambridge University Press, *Environmental Conservation*, 46, 3:205-210

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 września 2020 r. w sprawie ustanowienia planu ochrony dla Poleskiego Parku Narodowego (Dz.U. 2020 poz. 1966)

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 kwietnia 2018 r. w sprawie ustanowienia planu ochrony dla Roztoczańskiego Parku Narodowego (Dz.U. 2018 poz. 1081)

Różycki A., Grzywaczewski G., 2020. Protisty i zwierzęta. Ptaki, W: (Red.) Chmielewski T.J., Szymański J., Weigle A., Poleski Park Narodowy. Dziedzictwo i przyszłość, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

Stachyra P., Cymbała R., Marczanowski P., Łopuszyńska K., Tchórzewski M., 2010. Roztocze, W: Wilk T., Jujka M., Krogulec J., Chylarecki P. (red.), *Ostoje ptaków o znaczeniu międzynarodowym w Polsce*, Ogólnopolskie Towarzystwo Ochrony Ptaków, Marki: 371-373

Stachyra P., Lorens B., 2015. Natura 2000, URL (20.05.2022): <https://roztoczanski.pn.pl/pl/park-na-roztoczu/natura-2000>

Stachyra P., Marczanowski P., Tchórzewski M., 2015. Świat zwierząt, W: (Red.) Reszela R., Grądziela T., *Roztoczański Park Narodowy. Przyroda i człowiek*, Roztoczański Park Narodowy, Zwierzyniec

Vas E., Lescroel A., Duriez O., Boguszewski G., Gremillet D., 2015. Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines, *Biology Letters*, 11, DOI: [10.1098/rsbl.2014.0754](https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0754)

Wiącek J., Polak M., Kucharczyk M., Zgorzałek S., 2014. Wpływ hałasu drogowego na ptaki, *Budownictwo i Architektura*, 13, 1: 75-86

- Wilk T., Jujka M., Krogulec J., Chylarecki P. (red.) 2010. Ostoje ptaków o znaczeniu międzynarodowym w Polsce, Ogólnopolskie Towarzystwo Ochrony Ptaków, Marki
- Zbyryt A., 2018. Oddziaływanie dronów na ptaki oraz ich zastosowanie w badaniach ornitologicznych i ochronie, *Ornis Polonica*, 59: 56-70
- Darowska M., Kutwa K., 2019. Biała Księga Rynku Bezzałogowych Statków Powietrznych, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa

Założenia metody pozyskiwania danych teledetekcyjnych do oceny rozwoju flory obszarów chronionych na przykładzie Poleskiego i Roztoczańskiego Parku Narodowego

Jakub Alinowski, Jan Cebula

Charakterystyka wykonywanych lotów

Naloty przy użyciu bezzałogowego statku powietrznego odbywały się w okresie od lata do wiosny pomiędzy rokiem 2021 oraz 2022. Dokładniej loty miały miejsce w sierpniu, wrześniu, październiku i grudniu roku 2021 a także w kwietniu, maju i czerwcu roku 2022. Pora dnia wybierana najczęściej do wykonywania lotów oscylowała w granicach od godziny 10 rano do maksymalnie 14 w celu otrzymania materiałów wykonywanych w warunkach podobnego oświetlenia oraz w miarę możliwości podobnych pór dnia. Loty wykonywane były platformą Birdie Geo, będącą bezzałogowym statkiem powietrznym w formie stałopłatu, wyposażonym w aparat Sony a6000. Platforma ta pozwalała na dokonywanie średnio około 30-35 minutowych lotów na jednej baterii z prędkością około 16 metrów na sekundę na wysokości 120 metrów nad poziomem terenu. W niektórych lotach uczestniczyła także druga platforma wspomagająca eBee, posiadająca podobną charakterystykę lotu co platforma Birdie Geo.

Ryc. 9.1. Platforma bezzałogowa Birdie Geo



Źródło: opracowanie własne

W wypadku planowania lotów wykorzystywana do tego celu była aplikacja Mission Manager Lite, umożliwia ona tworzenie tzw. misji w dowolnym momencie w celu posiadania gotowego planu do lotu oraz wstępnych informacji na jego temat. Tworzenie misji dzieli się na kilka istotnych części:

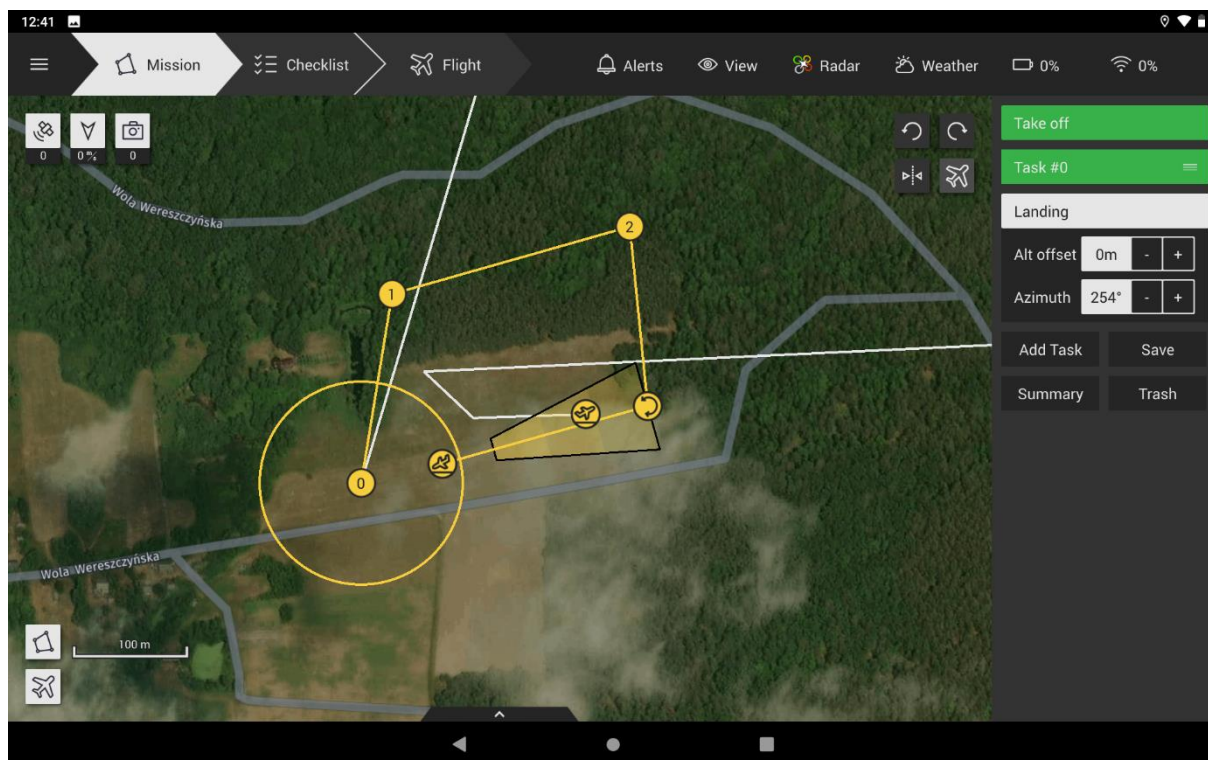
1. Wybór miejsca lotu
2. Określenie miejsca startu i lądowania
3. Dokładne oznaczenie obszaru, nad którym wykonywany będzie lot
4. Ustawienie parametrów lotu np. wysokości

Ryc. 9.2. Wybór i ustawianie parametrów miejsca startu



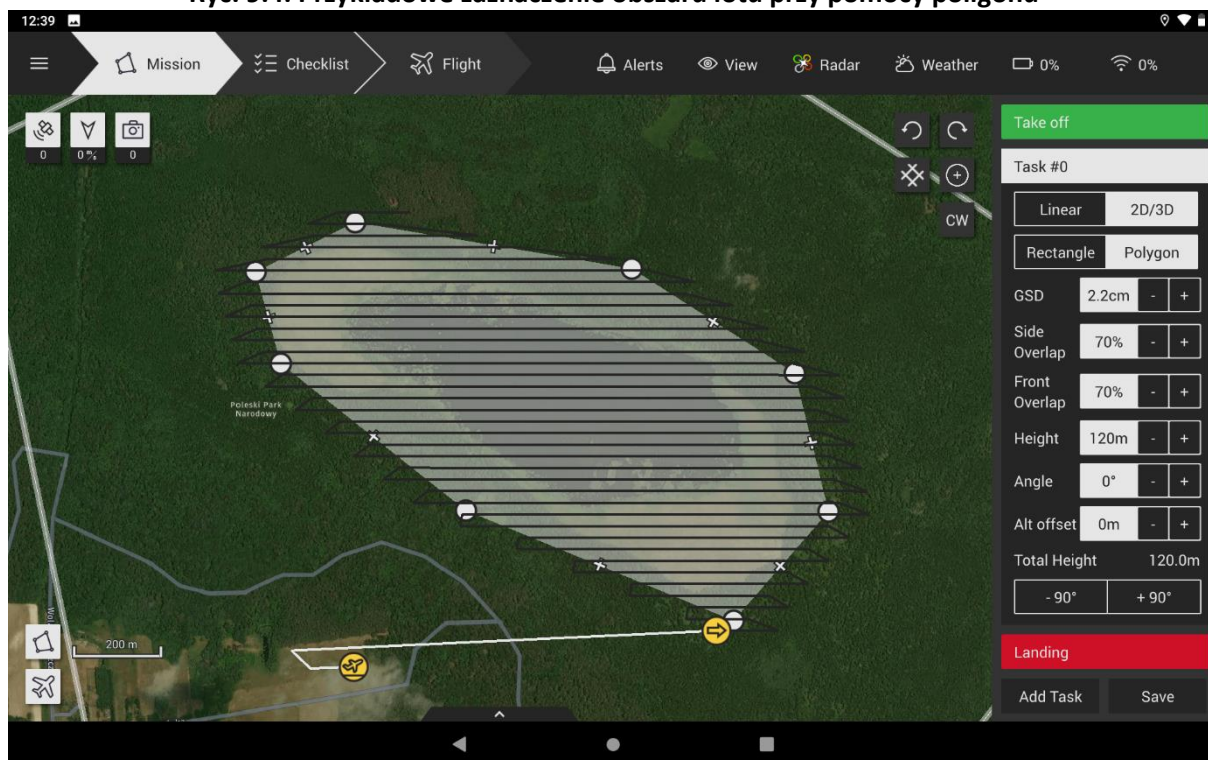
Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.3. Wybór i ustawianie parametrów miejsca lądowania



Źródło: opracowanie własne

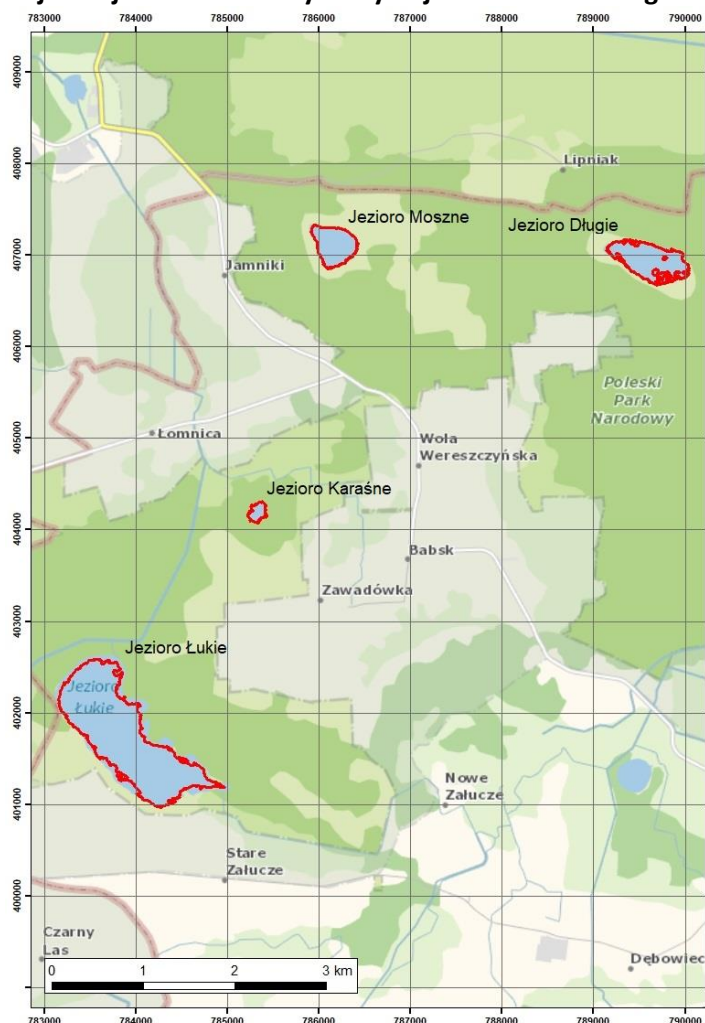
Ryc. 9.4. Przykładowe zaznaczenie obszaru lotu przy pomocy poligonu



Źródło: opracowanie własne

Loty wykonywane były nad wybranymi jeziorami Poleskiego Parku Narodowego jak też nad obszarami otuliny Roztoczańskiego Parku Narodowego. Jako pierwsze zostaną przedstawione wyniki dotyczące Poleskiego Parku Narodowego. Jak zostało już zaznaczone, loty te były wykonywane nad wybranymi jeziorami na obszarze Parku. Były to jeziora Łukie, Karaśne, Moszne oraz Długie.

Ryc. 9.5. Lokalizacja miejsc lotów nad wybranymi jeziorami Poleskiego Parku Narodowego



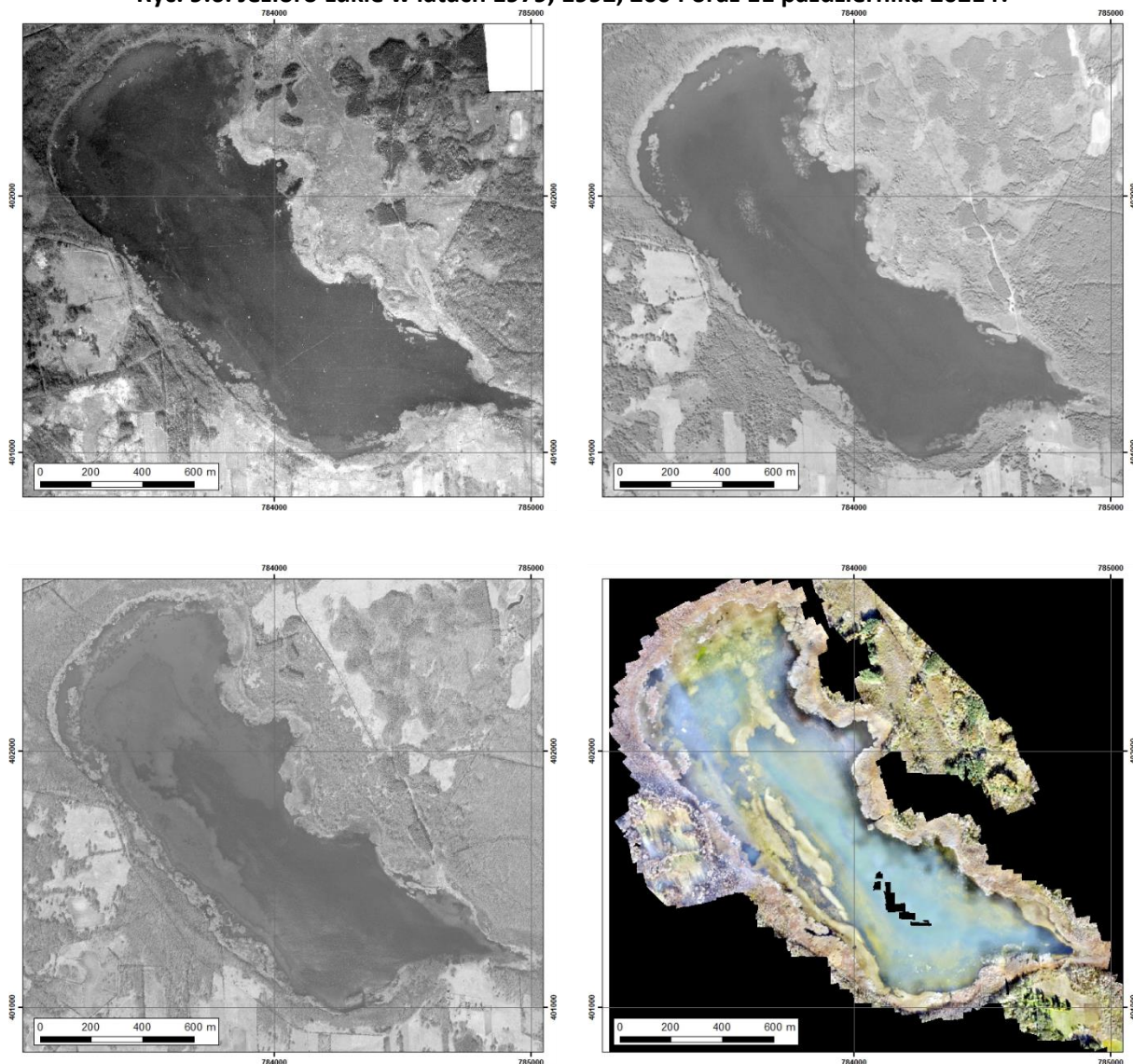
Źródło: opracowanie własne

Przedstawienie wyników lotów

Celem wykonywania lotów fotogrametrycznych z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych było utworzenie z wykonanych zdjęć ortofotomap ukazujących interesujący nas teren, aby następnie móc na podstawie wyników lotów dokonać wstępnych porównań stanu danego terenu na przestrzeni lat oraz przygotować materiał do potencjalnych

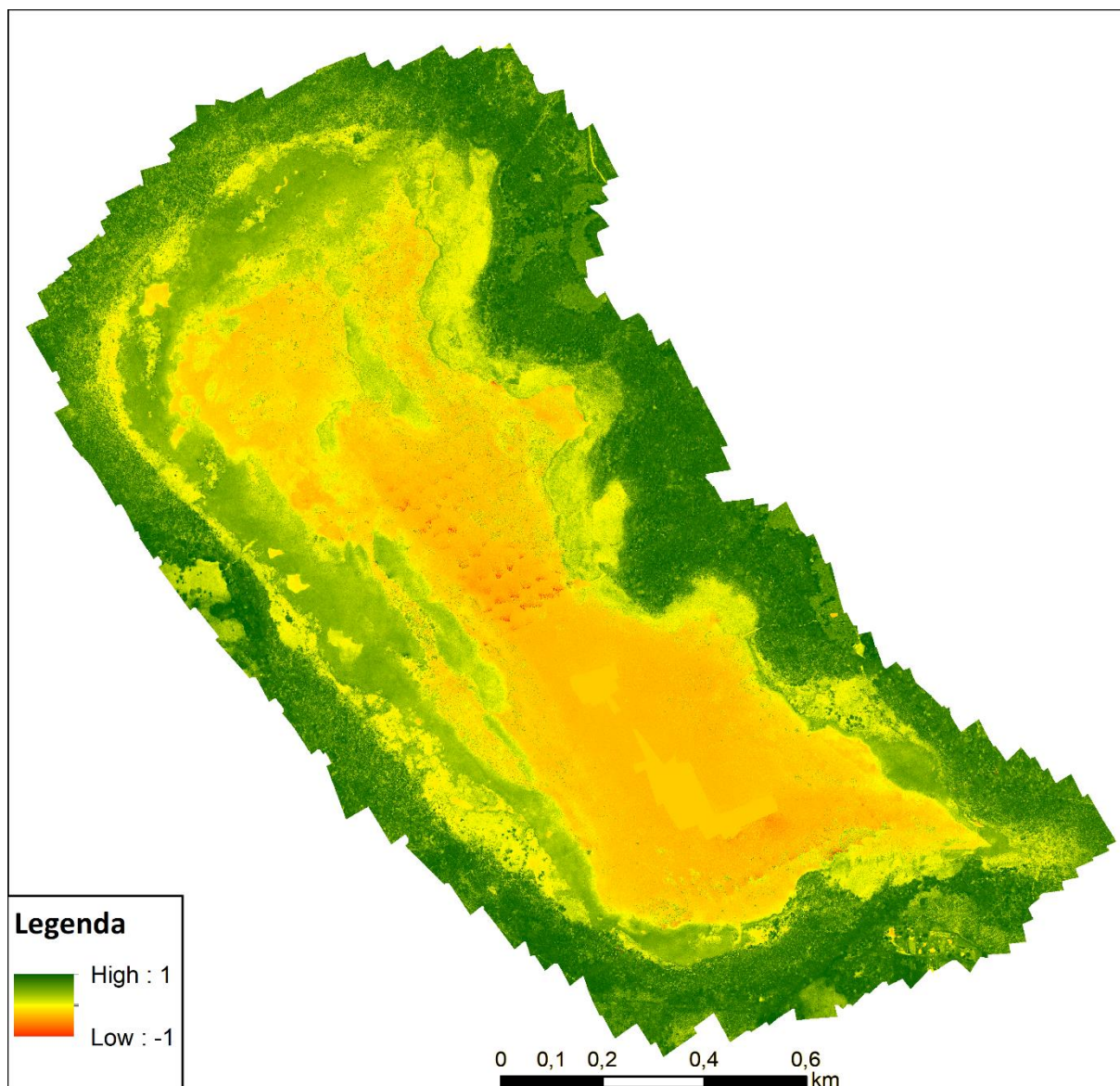
dalszych analiz. Wyniki otrzymywane z lotów składały się na pojedyncze klatki wykonywane w trakcie lotów, które następnie przy użyciu oprogramowania Agisoft, zostały „składane” do postaci surowej formy ortofotomap. Dzięki temu możliwe było przystąpienie do obserwacji widocznych zmian w porównaniu do materiałów archiwalnych.

Ryc. 9.6. Jezioro Łukie w latach 1979, 1992, 2004 oraz 11 października 2021 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych archiwalnych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii oraz danych uzyskanych w wyniku lotów

Ryc. 9.7. Jezioro Łukie na zdjęciu multispektralnym; nalot z dnia 30 maja 2022 r.

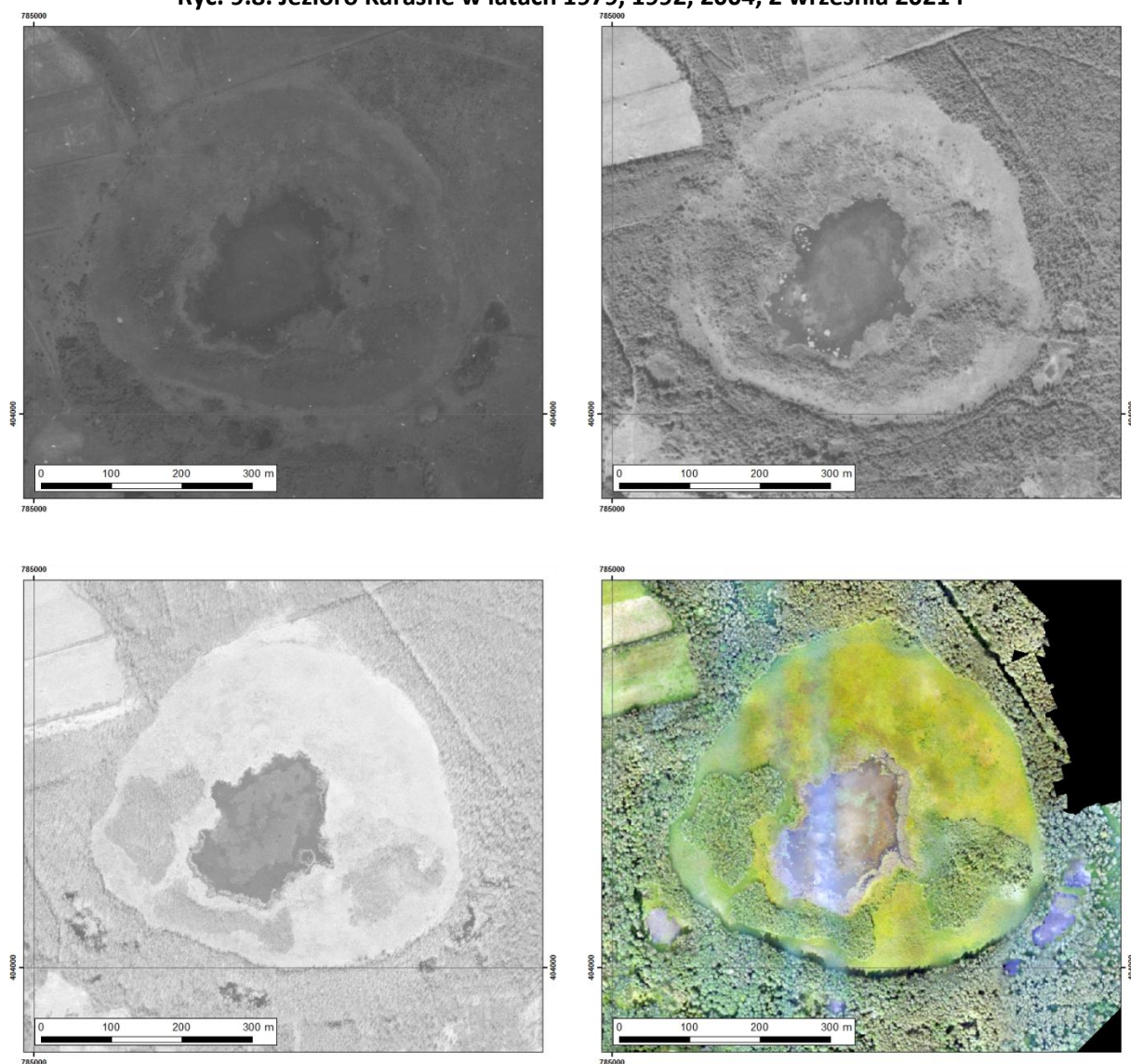


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych w wyniku lotów

Materiały archiwalne przedstawiają jezioro Łukie w stanie z 4 czerwca 1979 roku, 30 sierpnia 1992 roku oraz 3 kwietnia 2004 roku. W przypadku materiałów będących wynikami z lotów ilość danych dotyczących samego lotu jest o wiele szersza. Mianowicie w wypadku lotu z dnia 11 października 2021 roku, naloty wykonywane były począwszy od godziny 8:30 przy średnim wietrze wynoszącym 6 m/s. Pogoda tego dnia w czasie wykonywanych lotów była poprawna dla samej operacji, wystąpiło lekkie zachmurzenie oraz brak opadów. W przypadku lotu, który miał miejsce w dniu 30 maja 2022 roku, loty rozpoczęły się o godzinie 12, pogoda była podobna do warunków z dnia 11 października 2021 tj. występowało lekkie zachmurzenie,

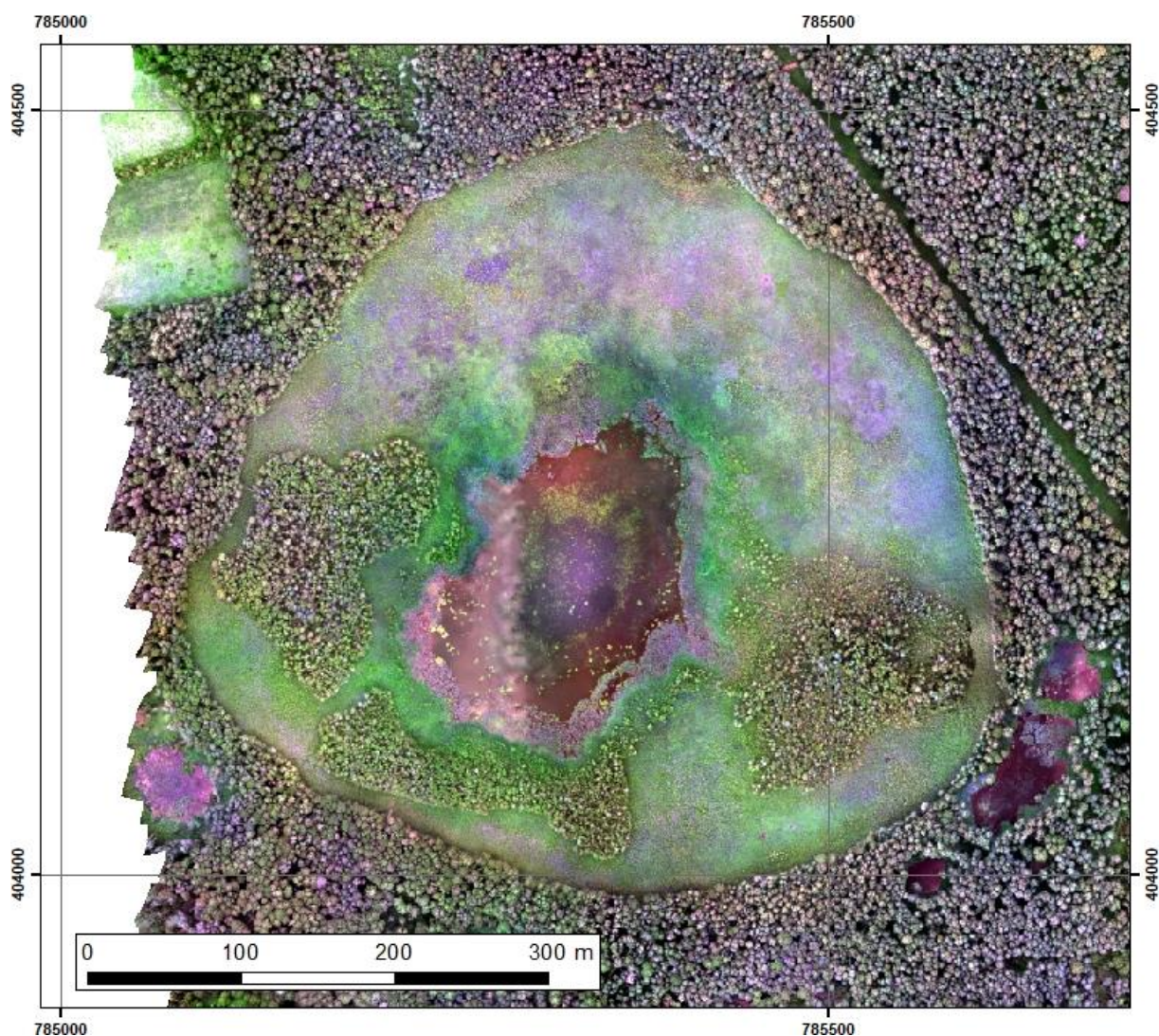
lecz z przejaśnieniami, brak opadów a średnia prędkość wiatru oscylowała przez większość lotu w granicach 6 m/s, pojawiały się jednak momentami nagłe porywy wiatru.

Ryc. 9.8. Jezioro Karaśne w latach 1979, 1992, 2004, 2 września 2021 r



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych archiwalnych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii oraz danych uzyskanych w wyniku lotów

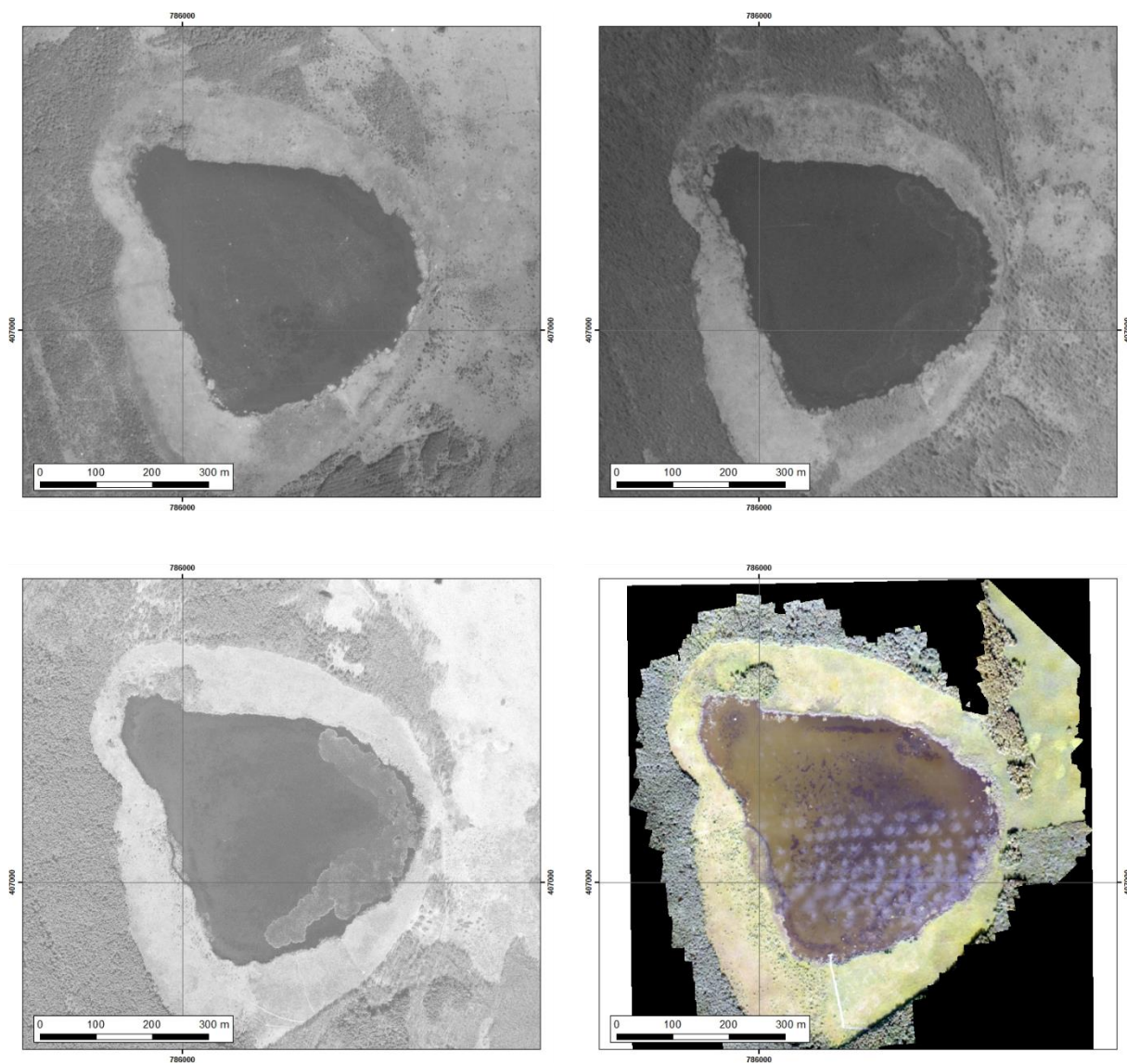
Ryc. 9.9. Jezioro Karaśne, zdjęcie multispektralne; 2 września 2021 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych w wyniku lotów

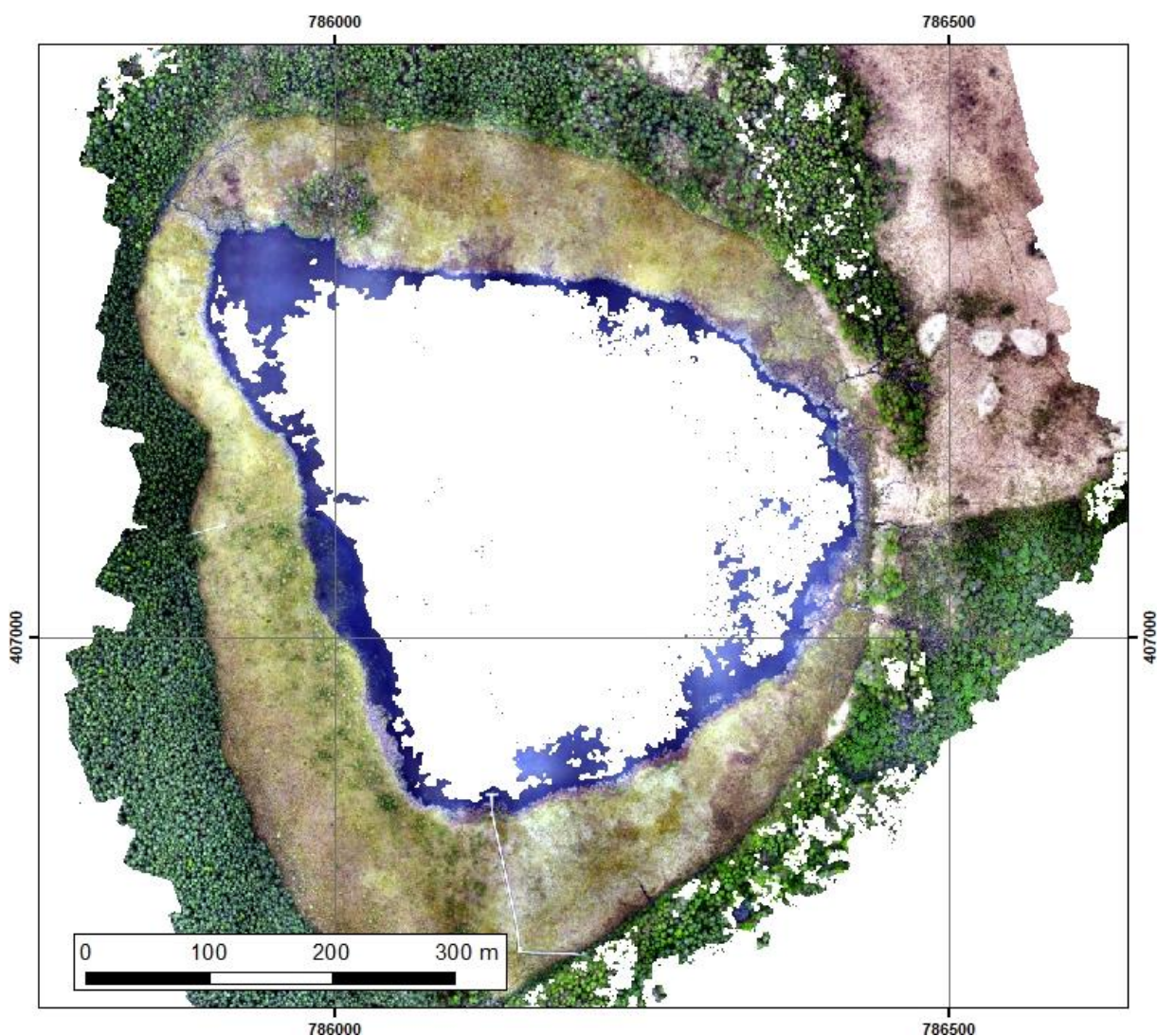
Dane archiwalne dla jeziora Karaśnego podobnie jak w wypadku jeziora Łukiego pochodziły z 4 czerwca 1979 roku, 30 sierpnia 1992 roku oraz 3 kwietnia 2004 roku. Wyniki nalotów zaś pochodziły z dnia 2 września 2021 roku oraz 22 listopada 2021 roku. W przypadku lotu z dnia 2 września, odbył się on około godziny 11. Stan pogody w trakcie lotu odznaczał się średnim zachmurzeniem z częstymi przejaśnieniami, opady w trakcie wykonywania lotów nie wystąpiły zaś sama średnia prędkość wiatru kształtowała się na poziomie około 6 m/s. W dniu 30 grudnia zaś lot rozpoczął się o godzinie 9:30 i odbywał się przy średniej prędkości wiatru na poziomie około 4,7 m/s, przy stałym zachmurzeniu i ponownie braku opadów.

Ryc. 9.10. Jezioro Moszne w latach 1979, 1992, 2004 oraz 2 września 2021 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych archiwalnych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii oraz danych uzyskanych w wyniku lotów

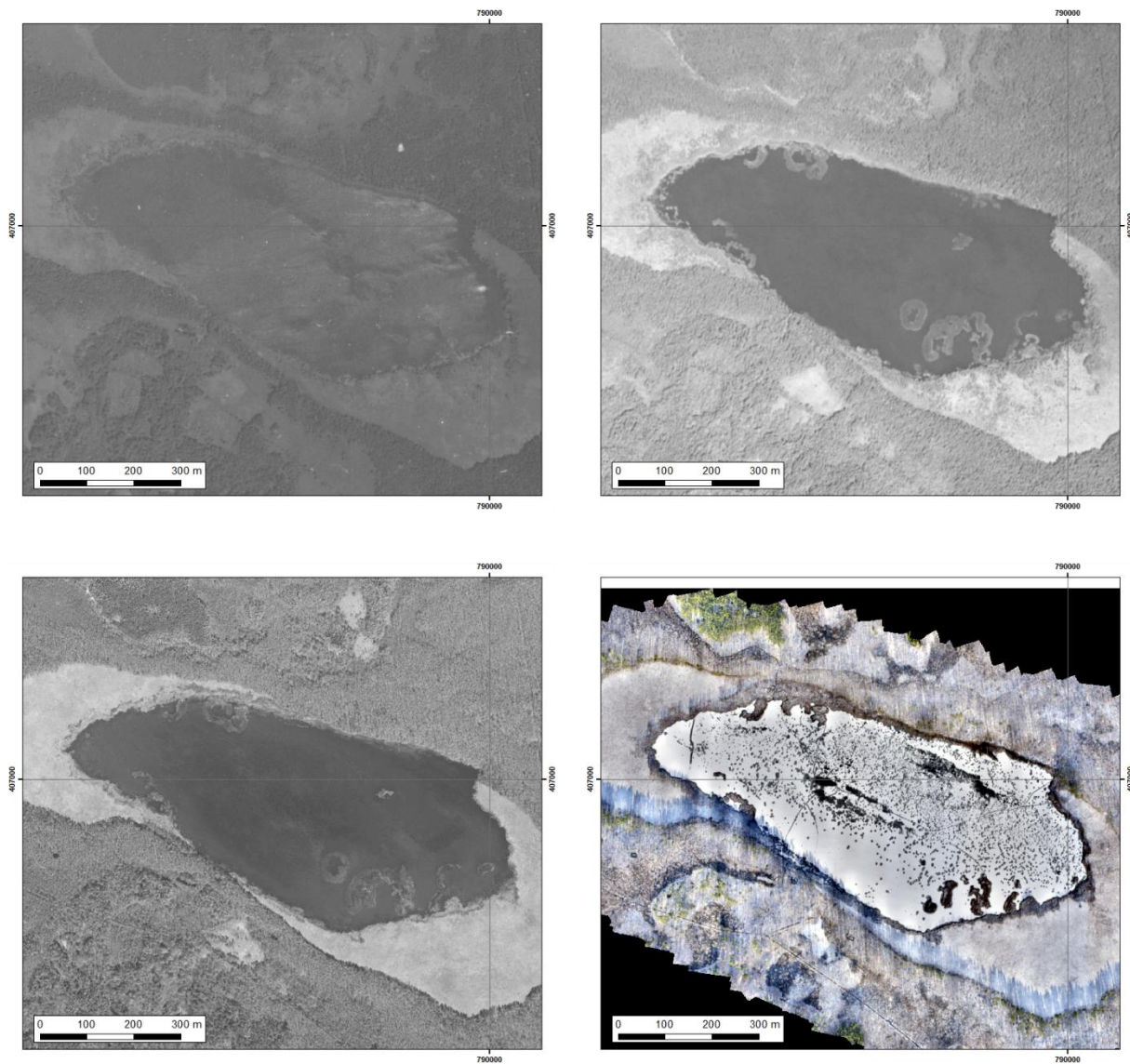
Ryc. 9.11. Jezioro Moszne; 9 maja 2022 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych w wyniku lotów

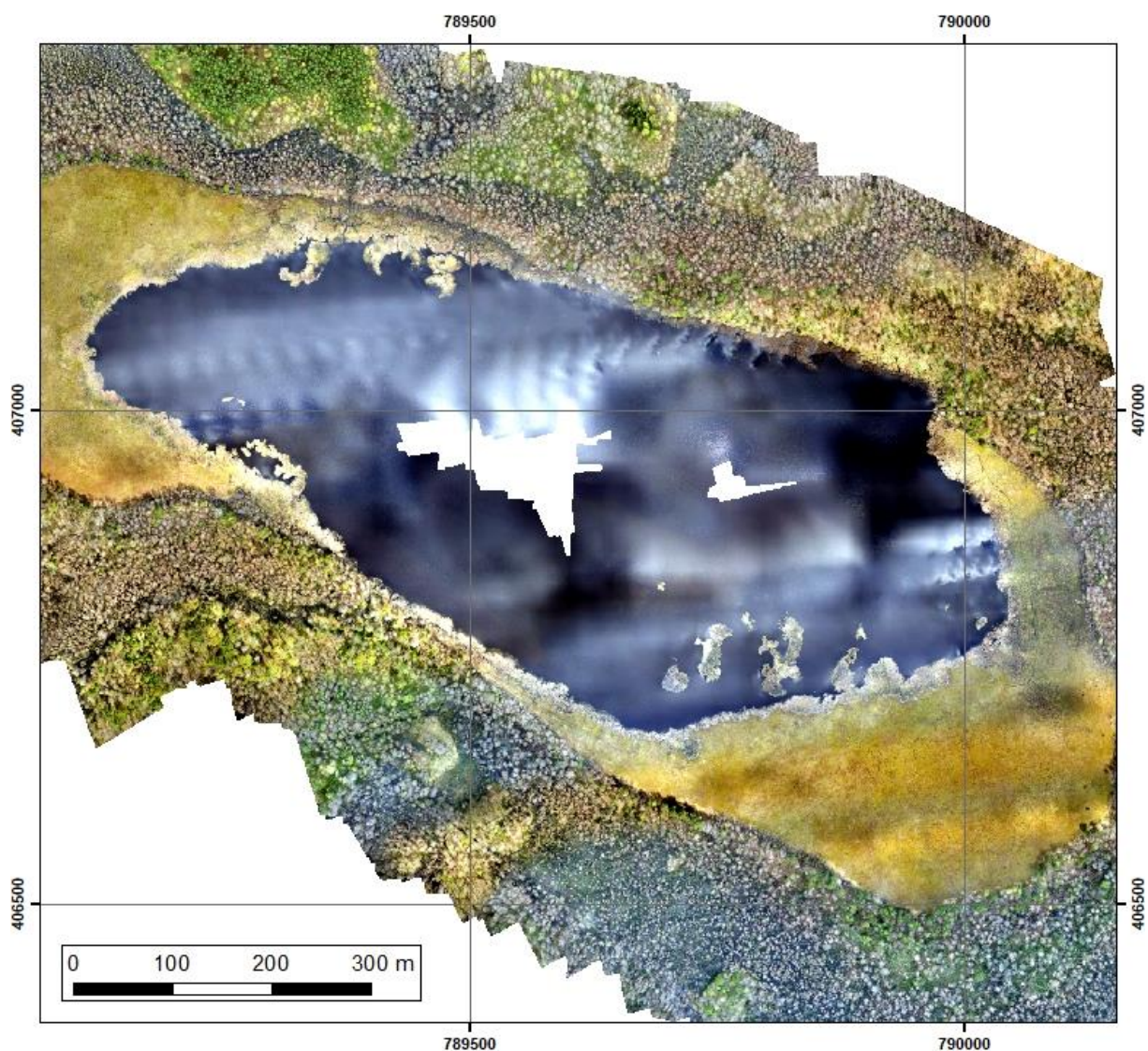
Jezioro Moszne na danych archiwalnych zostało sfotografowane 6 czerwca 1979 roku, 30 sierpnia 1992 roku oraz 3 kwietnia 2004 roku. W wypadku lotów, wykonywane były 2 września 2021 roku oraz 9 maja 2022 roku. Warunki panujące 2 września około godziny 11, kiedy wykonywany był lot odznaczały się bardzo słabym wiatrem na poziomie 1,8 m/s jak również słoneczną pogodą z rzadkim zachmurzeniem. W dniu 9 maja zaś loty wykonywane były około godziny 14 przy słabym średnim wietrze na poziomie około 4,4 m/s. Warunki pogodowe tego dnia odznaczały się zachmurzeniem.

Ryc. 9.12. Jezioro Długie w latach 1979, 1992, 2004 oraz 13 grudnia 2021 r



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych archiwalnych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii oraz danych uzyskanych w wyniku lotów

Ryc. 9.13. Jezioro Długie; 30 kwietnia 2022 r.

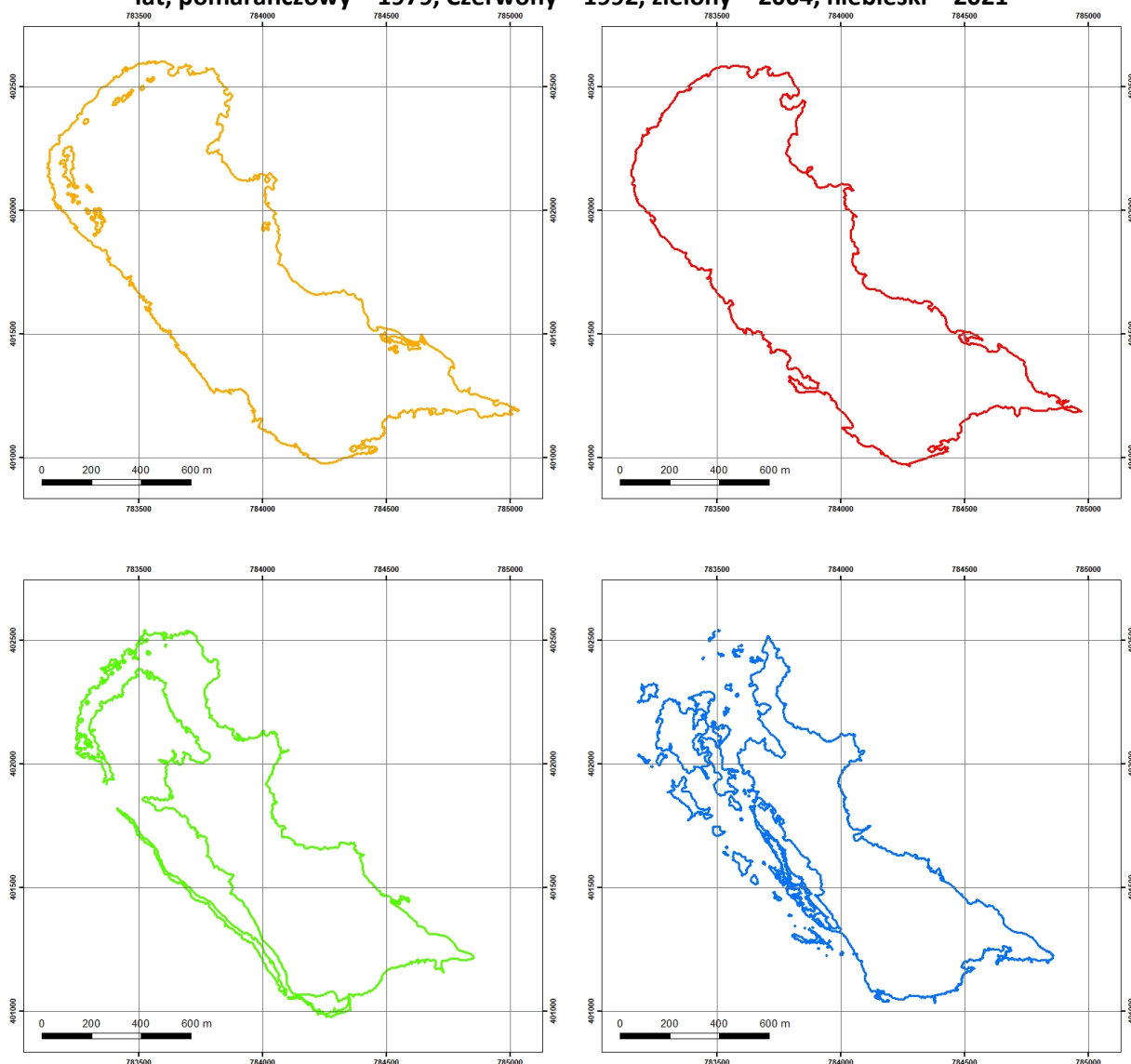


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych w wyniku lotów

Dane archiwalne dla jeziora Długiego podobnie jak większość danych pochodziła z następujących dni 4 czerwca 1979 roku, 30 sierpnia 1992 roku oraz 3 kwietnia 2004 roku. Loty przy użyciu platformy bezzałogowej odbyły się w dniach 13 grudnia 2021 roku oraz 30 kwietnia 2022 roku. W dniu 13 grudnia lot miał miejsce około godziny 10 przy słonecznej pogodzie oraz przy słabym wietrze wynoszącym około 3,6 m/s. W wypadku zaś dnia 30 kwietnia lot wykonywany był około godziny 18. Tego dnia warunki pogodowe były mniej sprzyjające do wykonania lotów z racji niskiej średniej prędkości wiatru tego dnia, która kształtowała się na poziomie 2,4 m/s jak także dużego zachmurzenia, z którym to związane było wystąpienie lekkiego opadu atmosferycznego w końcowej fazie wykonywanego lotu. Wyniki te następnie

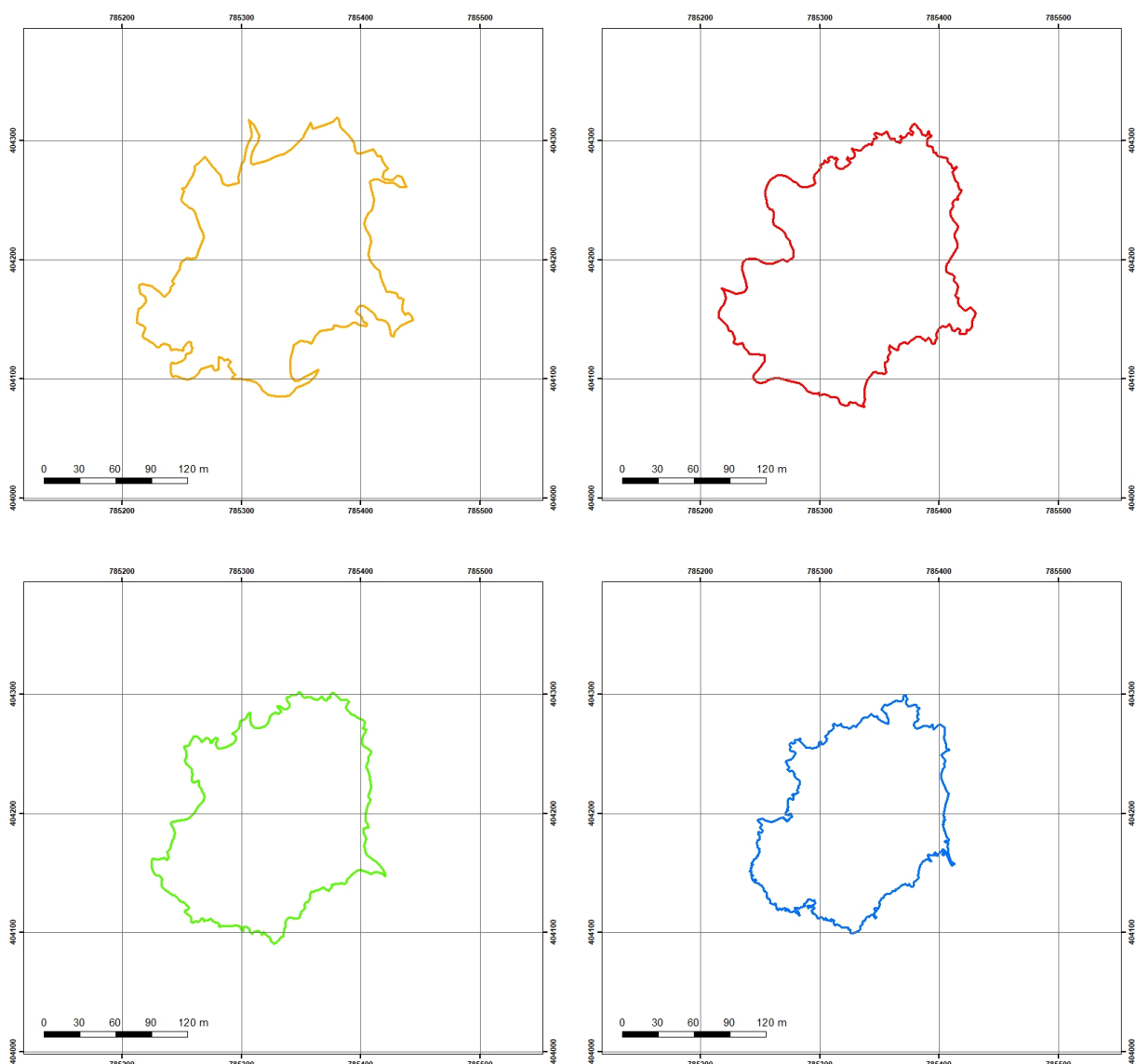
mogą być wykorzystywane do porównania stanu obecnego wybranych miejsc do poprzednich dziesięcioleci, wykorzystując wymienione już oraz ukazane na rycinach dane archiwalne pozyskane z zasobów Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii. Dane te w tym przypadku umożliwiają wizualną ocenę zmian eutrofizacji jezior. Można tego dokonać poprzez ręczne wrysowanie zasięgu tafli jeziora na danym zdjęciu w celu otrzymania poglądowych zasięgów danych jezior z danych lat w formie pliku shapefile.

Ryc. 9.14. Zmiany zasięgu tafli wody jeziora Łukie w związku z procesami eutrofizacji na przestrzeni lat; pomarańczowy – 1979, Czerwony – 1992, zielony – 2004, niebieski – 2021



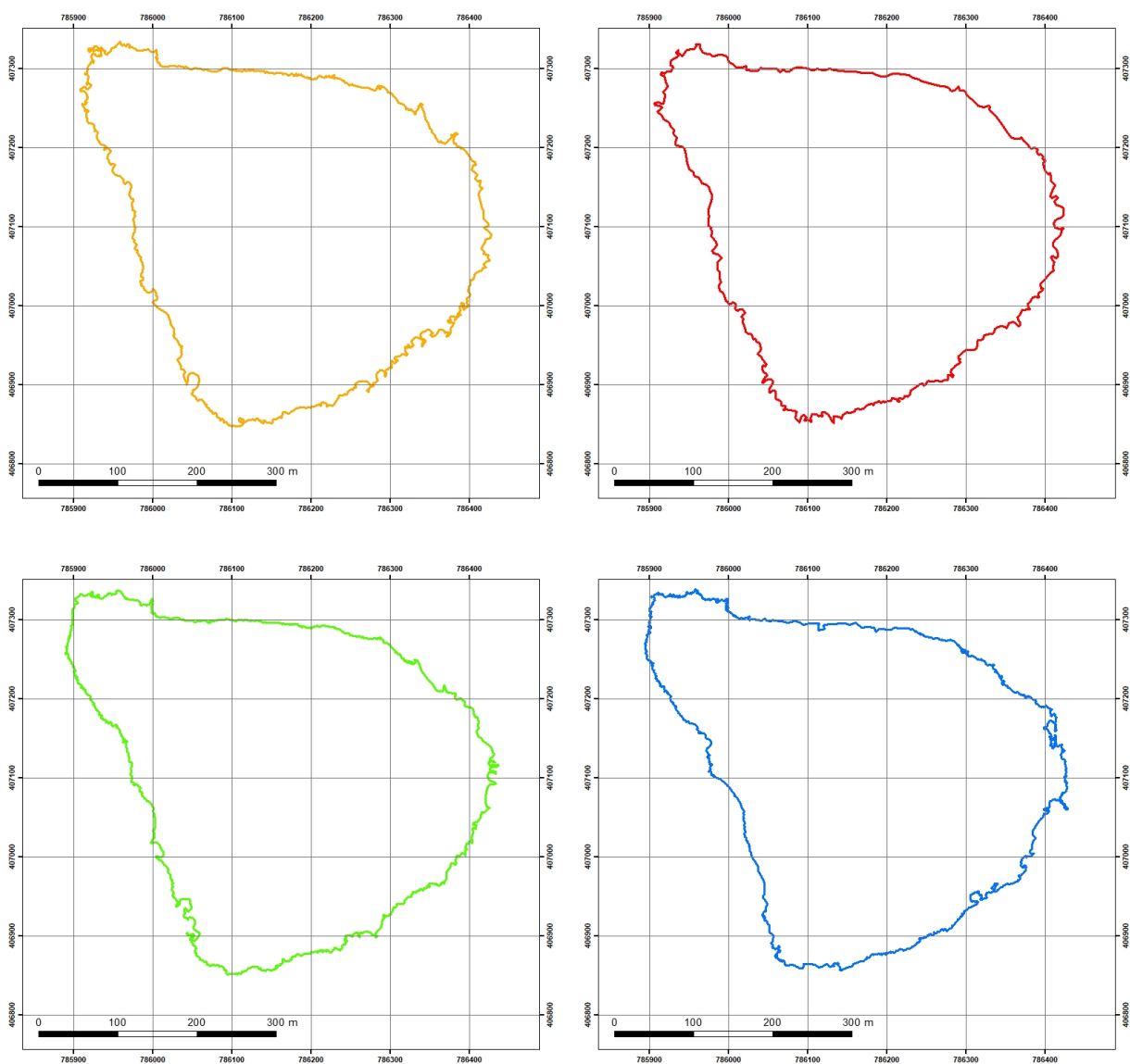
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych archiwalnych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii oraz danych uzyskanych w wyniku lotów

Ryc. 9.15. Zmiany zasięgu tafli wody jeziora Karaśne w związku z procesami eutrofizacji na przestrzeni lat; pomarańczowy – 1979, Czerwony – 1992, zielony – 2004, niebieski – 2021



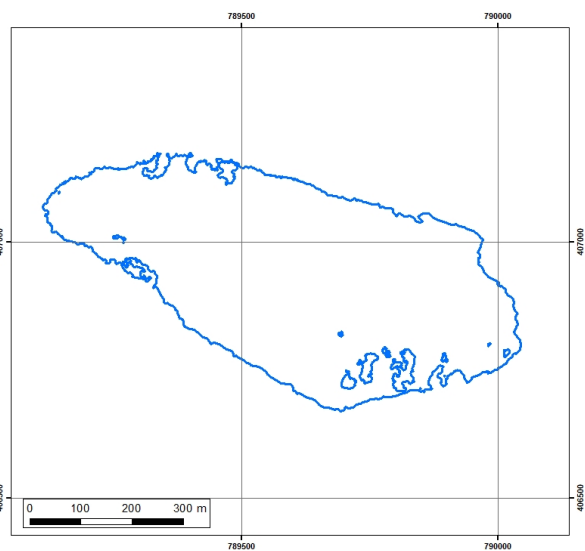
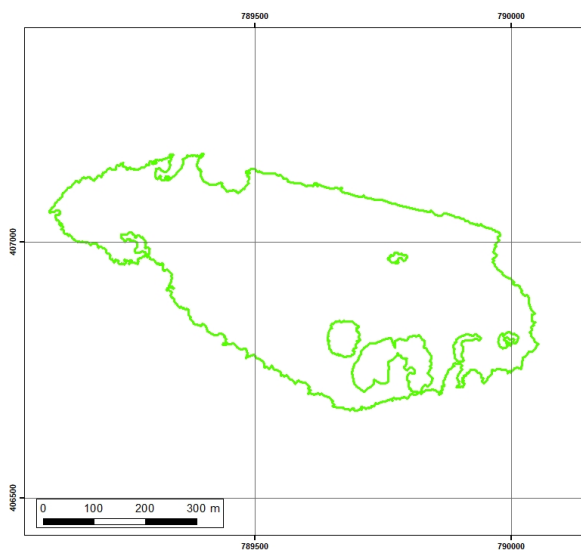
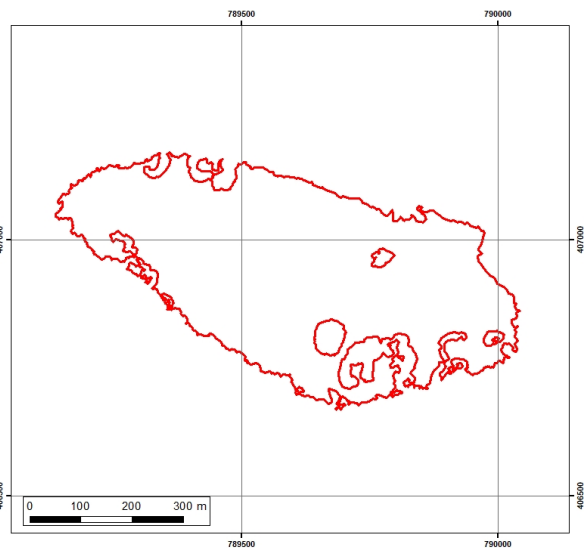
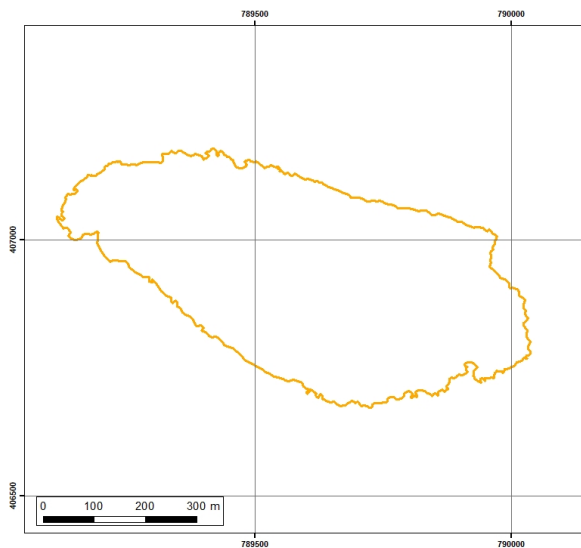
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych archiwalnych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii oraz danych uzyskanych w wyniku lotów

Ryc. 9.16. Zmiany zasięgu tafli wody jeziora Moszne w związku z procesami eutrofizacji na przestrzeni lat; pomarańczowy – 1979, Czerwony – 1992, zielony – 2004, niebieski – 2021

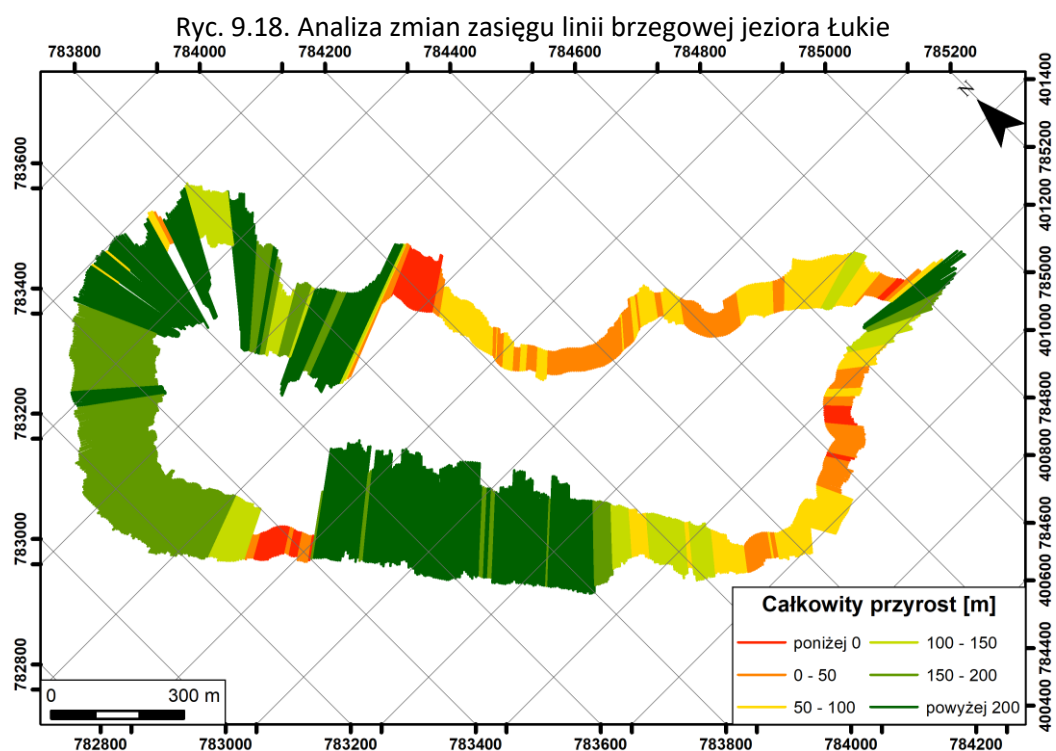


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych archiwalnych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii oraz danych uzyskanych w wyniku lotów

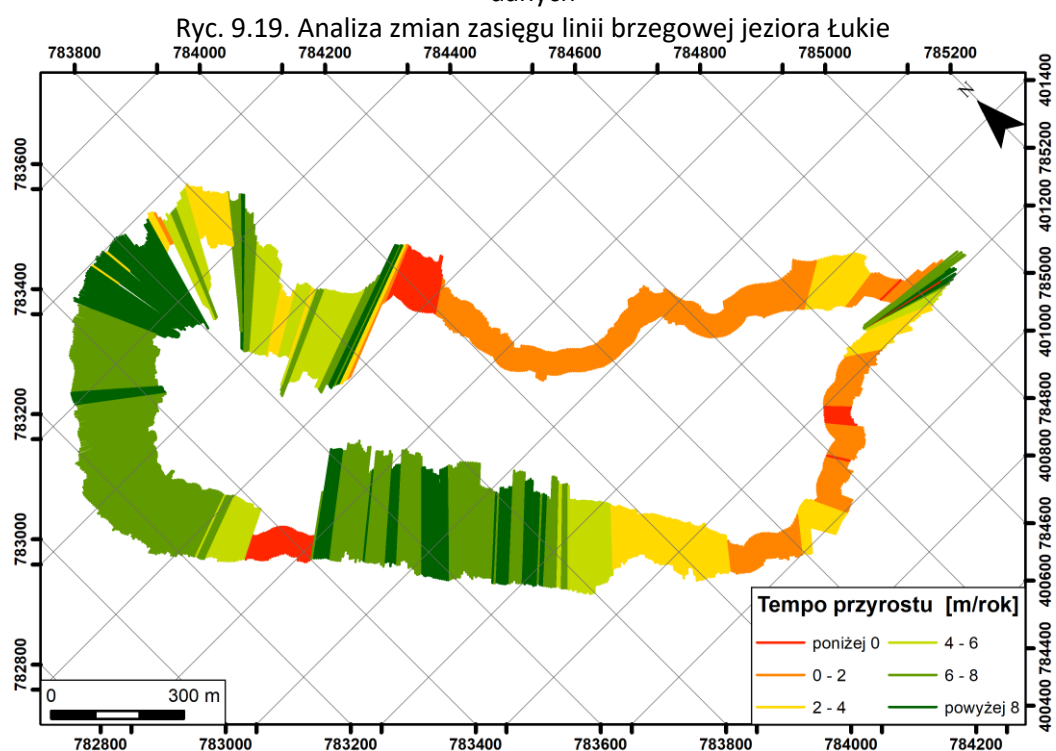
Ryc. 9.17. Zmiany zasięgu tafli wody jeziora Długie w związku z procesami eutrofizacji na przestrzeni lat; pomarańczowy – 1979, czerwony – 1992, zielony – 2004, niebieski – 2022



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych archiwalnych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii oraz danych uzyskanych w wyniku lotów

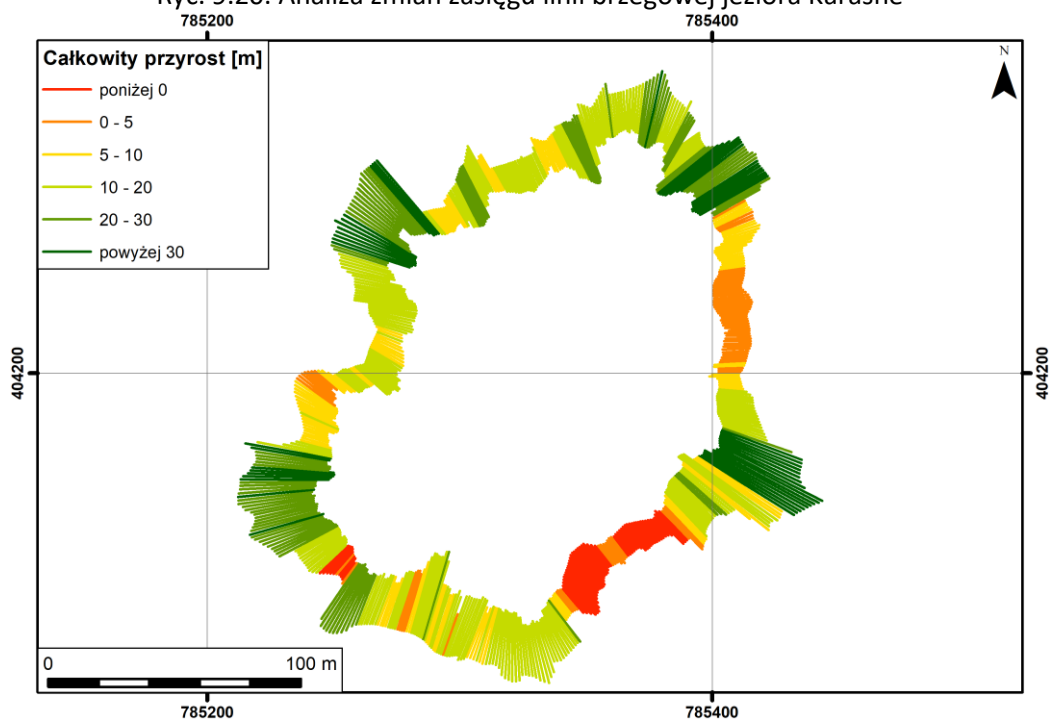


Źródło: opracowanie przy użyciu DSAS USGS (Net Shoreline Movement) na podstawie własnych danych



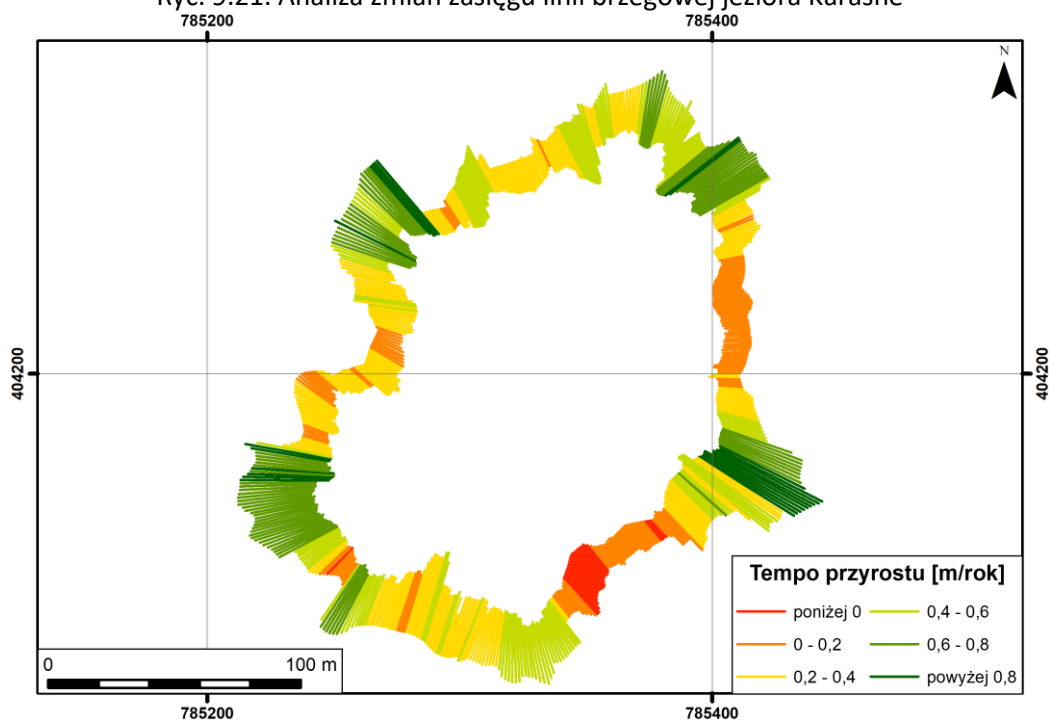
Źródło: opracowanie przy użyciu DSAS USGS (Linear regression rate) na podstawie własnych danych

Ryc. 9.20. Analiza zmian zasięgu linii brzegowej jeziora Karaśne



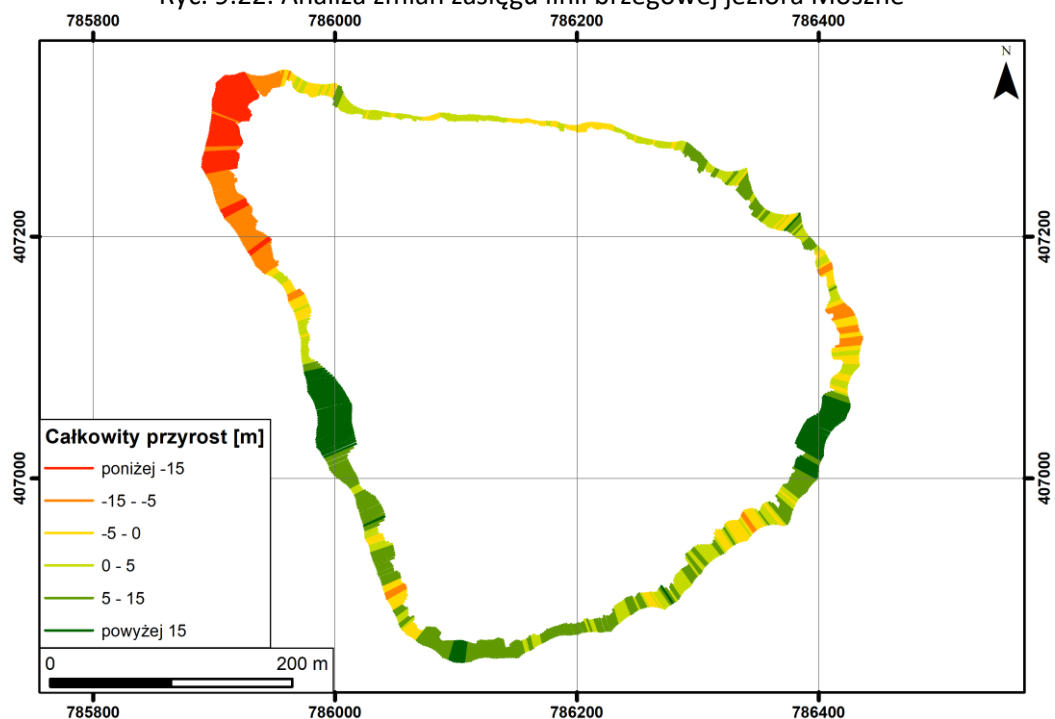
Źródło: opracowanie przy użyciu DSAS USGS (Net Shoreline Movement) na podstawie własnych danych

Ryc. 9.21. Analiza zmian zasięgu linii brzegowej jeziora Karaśne



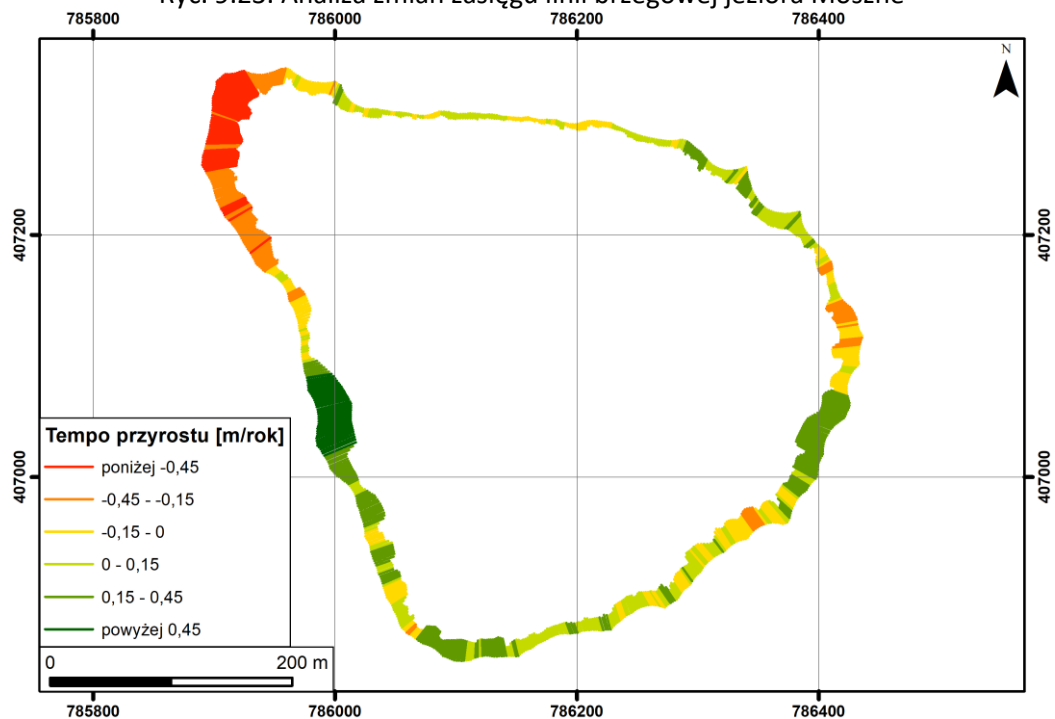
Źródło: opracowanie przy użyciu DSAS USGS (Linear regression rate) na podstawie własnych danych

Ryc. 9.22. Analiza zmian zasięgu linii brzegowej jeziora Moszne



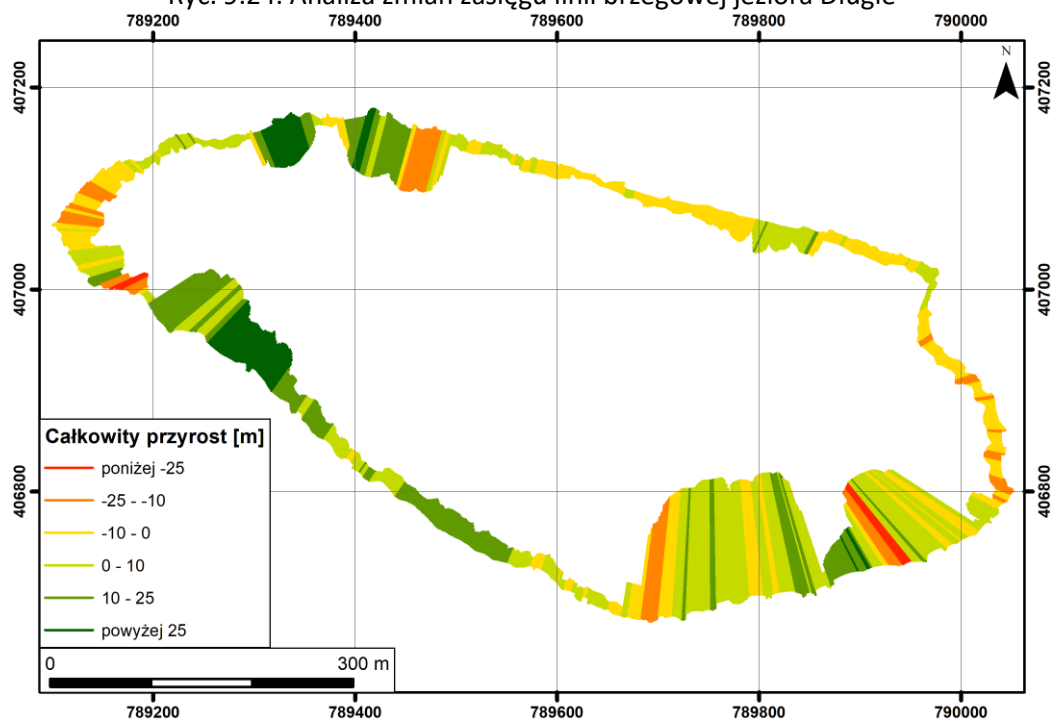
Źródło: opracowanie przy użyciu DSAS USGS (Net Shoreline Movement) na podstawie własnych danych

Ryc. 9.23. Analiza zmian zasięgu linii brzegowej jeziora Moszne



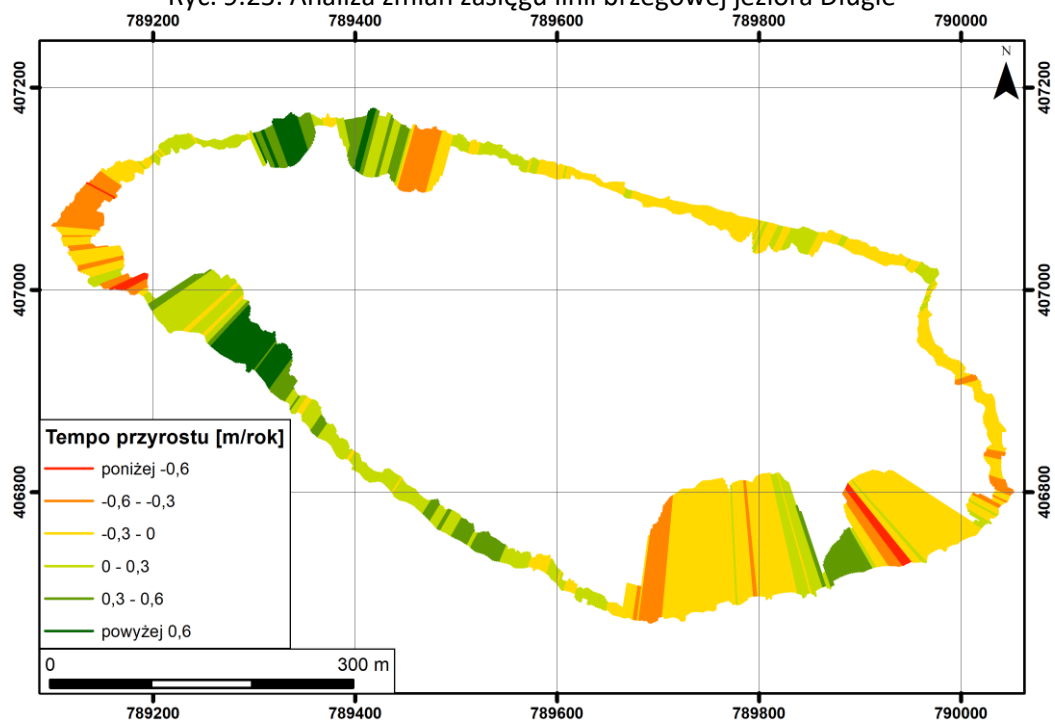
Źródło: opracowanie przy użyciu DSAS USGS (Linear regression rate) na podstawie własnych danych

Ryc. 9.24. Analiza zmian zasięgu linii brzegowej jeziora Długie



Źródło: opracowanie przy użyciu DSAS USGS (Net Shoreline Movement) na podstawie własnych danych

Ryc. 9.25. Analiza zmian zasięgu linii brzegowej jeziora Długie



Źródło: opracowanie przy użyciu DSAS USGS (Linear regression rate) na podstawie własnych danych

Dane archiwalne oraz dane z lotów posłużyły do stworzenia wymienionych jak też widocznych na rycinach plików shapefile (Ryc.9.14-17), które pozwoliły na wrysowanie zmieniających się zasięgów jezior Poleskiego Parku Narodowego. Tego typu wyniki po zestawieniu ze sobą i po wstępnej ocenie wizualnej mogły zostać wykorzystane do dalszych analiz. Zasięgi w plikach shapefile umożliwiły dokonania obliczenia powierzchni zwierciadła wody na przestrzeni lat, co dało dokładniejszy obraz zmian jakie zachodziły przy poszczególnym jeziorze. Następne możliwe było skupienie się na zmianach zasięgów linii brzegowej w kontekście całego okresu 1979-2022 oraz w kontekście tempa przyrostu w skali rocznej. Wykorzystany w tym celu Digital Shoreline Analysis System (DSAS) pozwolił na zobrazowanie zmian oraz na ukazanie kierunków, z których procesy postępują z największą bądź najmniejszą intensywnością. Jeziorami w tym wypadku, które odznaczyły się najmniejszymi zmianami były to jeziora Długie oraz Moszne (Ryc. 9.22-25). W wypadku jeziora Mosznego odznaczyła się także pewna regresja tych zmian w części północno-wschodniej jeziora. Jeziora, przy których zmiany zaś były znacznie bardziej widoczne były to jeziora Łukie oraz Karaśne (Ryc. 9.18-21), choć odnotowane zmiany miały odmienny charakter. Jezioro Karaśne wykazało bardziej jednolite zmiany zasięgu linii brzegowej, podczas gdy jezioro Łukie odznaczało się bardzo dużymi zmianami w części wschodniej oraz północno-wschodniej, podczas gdy zachodnie i południowe brzegi tego jeziora charakteryzowały się znacznie mniejszym stopniem zmian.

Przedstawienie czynników wpływających na wykonywanie lotów

Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych daje możliwość bardzo szybkiego pozyskania aktualnych danych fotogrametrycznych z danego terenu, będącego przedmiotem zainteresowań zarówno w kwestii samych badań jak i monitoringu środowiska przyrodniczego. Na platformy bezzałogowe może oddziaływać jednak wiele czynników mogących wpłynąć na samą możliwość wykonania lotu oraz mogących wpłynąć w większym lub mniejszym stopniu na jakość finalnie otrzymywanych materiałów. Grupą czynników, które najczęściej wpływały na wykonywanie badań w tym wypadku były czynniki środowiskowe, z których można wymienić chociażby deszcz, którego wystąpienie uniemożliwiało całkowicie

przeprowadzanie lotów, bądź zmuszało do przerwania lub przyspieszenia wykonywania operacji. Kontakt z jakąkolwiek formą wilgoci może wpłynąć negatywnie na elektronikę znajdującą się na pokładzie BSP, przez co odradzane jest wykonywanie lotów w czasie deszczu, po deszczu, w trakcie mgły czy rosy aby mieć pewność o poprawnym funkcjonowaniu wszystkich systemów na pokładzie platformy. Wiatr jest równie ważnym czynnikiem, który wpływa na BSP w każdym aspekcie wykonywania lotów. Idealnymi warunkami do wykonywania lotów w wypadku wykorzystywanej platformy był wiatr o prędkości ok. 5 m/s, pozwala on na bezproblemowe starty oraz lądowania, brak wiatru często powoduje trudności w wyrzuceniu platformy do startu oraz powoduje, iż przy lądowaniu platforma może wylądować w dużej odległości od wyznaczonego miejsca, podczas samego lotu jeśli platforma nie ma wystarczającego wiatru będzie musiała polegać w pełni na swoim napędzie aby zapewnić sobie nośność co może spowodować silniejsze zużycie baterii a tym samym skrócenie długości lotu. W przypadku zbyt silnego wiatru zaś, platforma może nie być w stanie wystartować, gdyż taka prędkość powoduje, iż lekki sprzęt jakim jest tego typu BSP może zostać po prostu zwiewany i może nie być w stanie manewrować przy tak silnym wietrze. Jednocześnie w trakcie lotu nagłe i silne podmuchy wiatru mogą znieść platformę z jej kursu co może skutkować brakiem zdjęć z jednej części przelotu, co następnie może przełożyć się na wystąpienie widocznych braków po złożeniu zdjęć w całość, na niektórych częściach ortofotomapy.

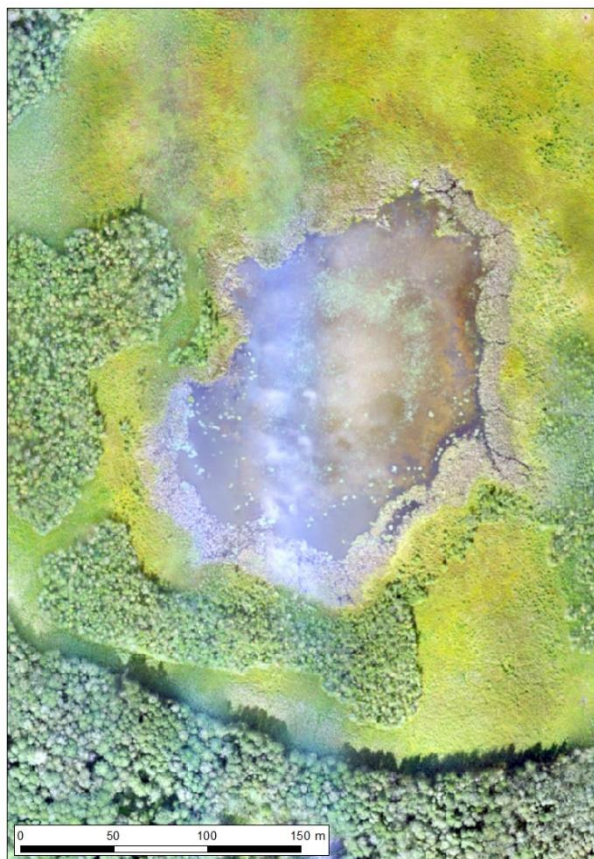
Ryc. 9.26. Braki w ciągłości ortofotomapy na przykładzie fragmentu ortofotomapy jeziora Łukie



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych w wyniku lotów

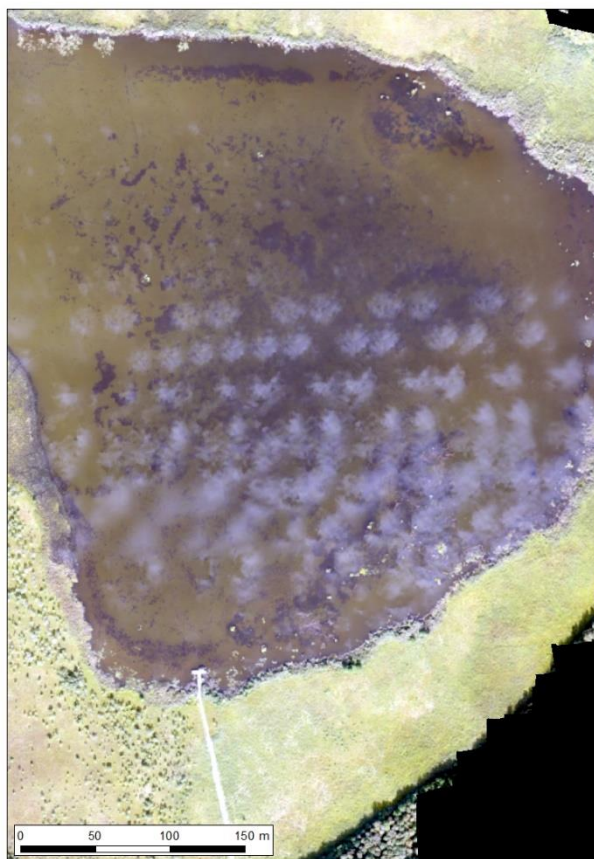
W związku z tym przy wyborze miejsca i dnia lotów trzeba zwracać dokładną uwagę na prognozowane prędkości wiatru danego dnia oraz w trakcie samych lotów mieć na uwadze wszelkie nagłe zmiany prędkości wiatru, które mogą wpłynąć na lot. Innym czynnikiem, jaki może wpłynąć na jakość samych zdjęć jest zachmurzenie. Wpływ chmur na jakość zdjęć jest ściśle powiązany z poziomem oświetlenia, jeśli aparat do zdjęć został skalibrowany pod oświetlenie podczas pochmurnego dnia to możliwość przejaśnień w trakcie lotu może powodować, iż część zdjęć będzie w jakimś stopniu prześwietlona, co może być potem widoczne na wygenerowanej ortofotomapie, w celu uniknięcia tego typu sytuacji warto rozważyć wybieranie dni, w których prognozowany jest brak zachmurzenia lub dni, w których będą występowały małe różnice w oświetleniu, które mogą zminimalizować ryzyko prześwietlenia zdjęć.

Ryc. 9.27. Przykład prześwietlenia części zdjęć na przykładzie fragmentu ortofotomapy jeziora Karaśne



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych w wyniku lotów

Ryc. 9.28. Przykład wpływu lekkiego zachmurzenia na wykonywane zdjęcia na przykładzie ortofotomapy jeziora Moszne

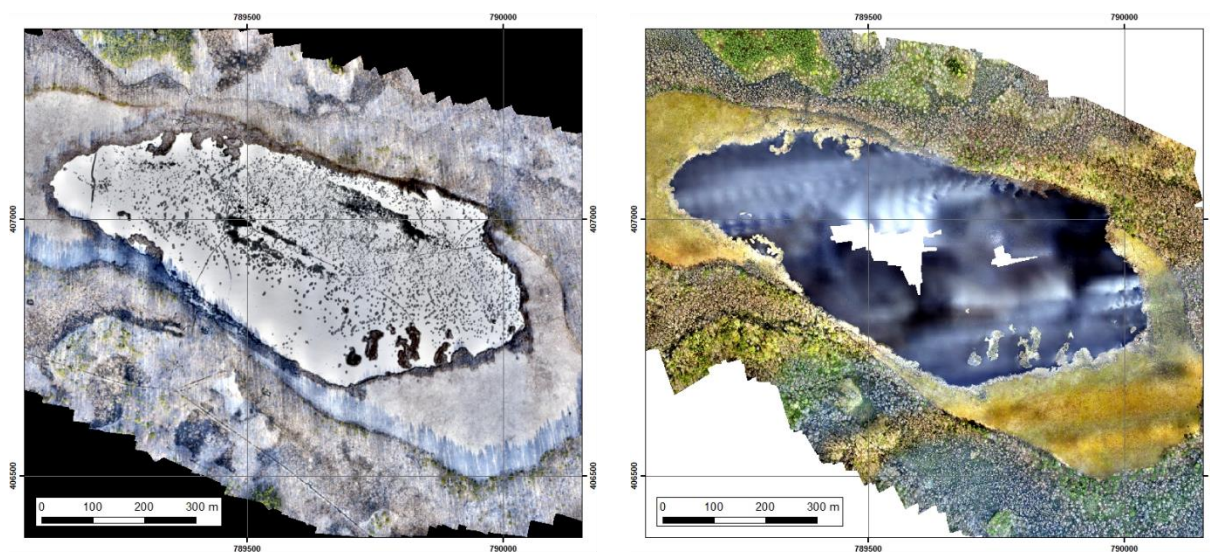


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych w wyniku lotów

Sam wpływ pory roku również obecny jest na zdjęciach, dla przykładu loty wykonywane w okresie zimowym zmniejszają możliwości monitorowania wegetacji z racji występującej w okresie zimowym pokrywy śnieżnej. TemperatURY poniżej 0 połączone z występującą pokrywą śnieżną mogą powodować także w przypadku jezior przysłonięcie tafli wody co także uniemożliwia monitorowanie jakichkolwiek procesów, które mogą zachodzić tuż pod samą taflą. Pokrywa śnieżna jednak może stanowić pewnego rodzaju materiał pomocniczy jeśli chcieć wyznaczyć rzeczywistą granicę tafli wody jeziora. Gdyż istnieje znaczny kontrast kolorystyczny pomiędzy samym brzegiem a jednolicie białą zamrznietą taflą wody. Trzeba jednak zaznaczyć, iż taka sytuacja zależy od odpowiednich warunków meteorologicznych w okresie zimowym, gdyż w wypadku obfitych opadów śniegu, które dokładnie zakryłyby obszar brzegu jeziora wraz z jego taflą tak wyrazista granica, jaką można zaobserwować na poniższej rycinie (Ryc.9.18) mogłaby nie być tak odznaczającą się. Nie mniej jednak poza tym pozytywnym akcentem loty w okresie zimowym dają więcej ograniczeń niż

powodów do wykonywania lotów w tym okresie. Poza wspomnianym brakiem roślinności pojawia się też kwestia zużycia mocy akumulatora, który to w warunkach niskich temperatur a w szczególności spadających poniżej 0°C traci moc o wiele szybciej co skutkuje mniejszymi możliwościami wykonywania lotów. Loty zaś w okresie wiosennym/letnim są znacznie bardziej sprzyjające do wykonywania lotów w celach monitoringowych, pozwalają one przy odpowiednich warunkach sfotografować w pełni zmiany związane z eutrofizacją jezior.

Ryc. 9.29. Jezioro Długie w okresie zimowym i wiosennym; 13 grudnia 2021, 30 kwietnia 2022



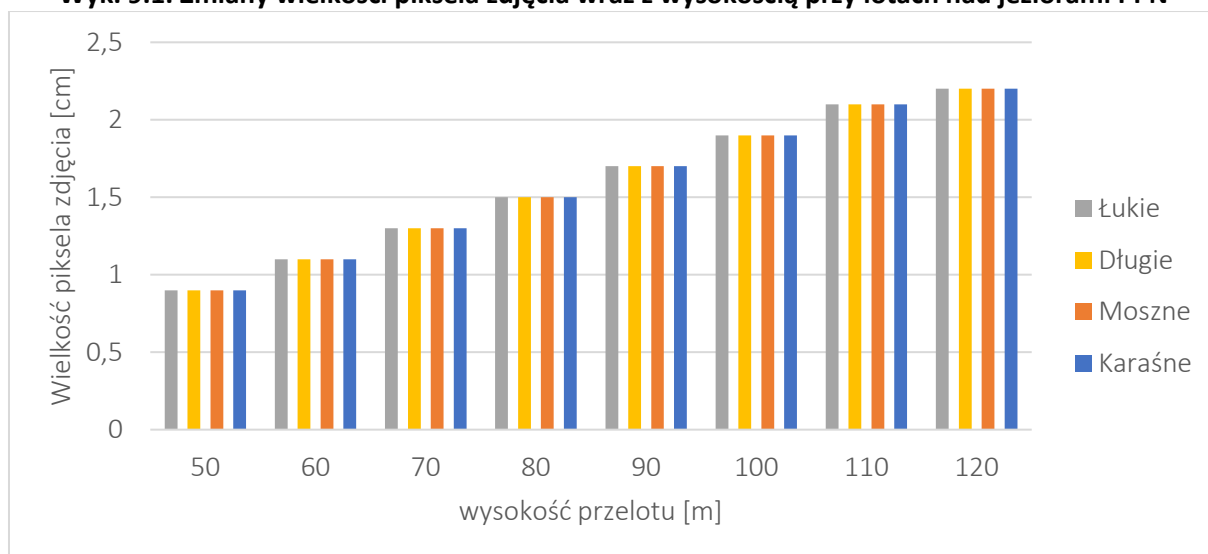
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych w wyniku lotów

Przyglądając się powyższym dwóm mapom przedstawiającym jezioro Długie w okresie zimowym oraz wiosennym, można zaobserwować pewne czynniki, związane z porą roku, które zostały wspomniane powyżej. Widoczna jest wyraźnie granica tafli wody jeziora, która to tafla została przykryta warstwą śniegu oraz lodu, ponadto można zauważyć różnice w roślinności na obu przypadkach. Gdyby nie cienie drzew w wypadku zdjęcia z okresu zimowego ciężko byłoby na pierwszy rzut oka określić czy na terenie otaczającym istnieją jakiegokolwiek zbiorowiska leśne. Tym samym zdjęcie z okresu wiosennego jest pod tym względem znacznie bardziej wyraziste i umożliwia nam określenie, w którym pojawiają się zbiorowiska leśne. Inną istotną kwestią wpływającą na loty BSP są zmiany parametru wysokości lotu oraz oddziaływanie tej zmiany na ogólną charakterystykę lotu. Jak można zaobserwować na wykresie, który dotyczy zmiany wielkości piksela zdjęcia wykonywanego podczas lotu platformy bezzałogowej (Wyk. 9.1), najbardziej optymalne byłby loty na niskich wysokościach z racji większej dokładności

zdjęć, jednak trzeba na to spojrzeć z nieco innej perspektywy a dokładniej jak loty na niskich wysokościach wpłyną na inne parametry lotu. Odnosząc się do zależności czasu oblotu danego obszaru od wysokości przelotu można zauważyć, iż lot na wysokości 50 metrów nad poziomem terenu trwałby ponad 2 razy dłużej od lotu, jaki przeprowadzany byłby na standardowej maksymalnej wysokości 120 metrów nad poziomem terenu (Wyk. 9.2). Pomocną byłaby tu kwestia prędkości lotu, jednakże platforma nie daje możliwości ustawienia stałej prędkości lotu, dzięki czemu można byłoby dokonać tego typu analizy. W czasie wykonywania zadanej misji platforma samoczynnie steruje mocą silnika w celu oszczędzania mocy akumulatora oraz w celu utrzymania w miarę stałej prędkości lotu w wypadku pojawienia się wiatru, którego oddziaływanie może wpłynąć na wzrost lub spadek prędkości lotu BSP. Innym parametrem, którego zmiana następuje wraz z wysokością jest dystans, jaki musi pokonać platforma w celu oblotu tego samego obszaru. Podobnie jak w wypadku czasu, wartości pomiędzy lotem na 50 metrach nad poziomem terenu a 120 metrami nad poziomem terenu znacznie od siebie odstają (Wyk. 9.3). Biorąc za przykład wykonanie oblotu jeziora Łukiego na wysokości 120 metrów n.p.t. platforma musi przelecieć 60,7 km, w wypadku chęci zmniejszenia wysokości lotu do 50 metrów n.p.t. dystans ten zwiększa się do 138,6 km. Trzeba liczyć się z faktem, iż zdjęcia zrobione z niższego pułapu obejmować będą mniejszy obszar, przez co na wysokości 50 metrów n.p.t. wymagane będzie wykonanie kilku przelotów do sfotografowania tego samego obszaru, który może zostać sfotografowany podczas jednego przelotu na 120 metrach n.p.t.. Warto w tym punkcie zwrócić uwagę na kwestie ilości zdjęć, jaka musi być wykonana aby pokryć dany teren z różnych wysokości. Trzymając się przykładu jeziora Łukiego, spoglądając na wykres (Wyk. 9.4) można zobaczyć ogromne różnice w ilości wykonanych zdjęć. Lot na wysokości 50 metrów n.p.t. wymaga 6 krotnie większej ilości zdjęć do pokrycia tego samego terenu co w wypadku lotu na wysokości 120 m n.p.t.. Biorąc przykład z wykresu można zobaczyć, iż na wysokości 120 metrów n.p.t. przelot obejmie wykonanie 2144 zdjęć, podczas gdy lot na wysokości 50 metrów n.p.t. spowoduje zwiększenie tej liczby do 12143 zdjęć. Obniżanie wysokości w tym wypadku traci sens, gdyż wymusza wiele międzyładowań, które objęłyby nie tylko wymiany akumulatorów ale także kart pamięci do aparatów, które w wypadku wymiany nie związanej z wymianą akumulatora powodują dodatkowe skrócenie

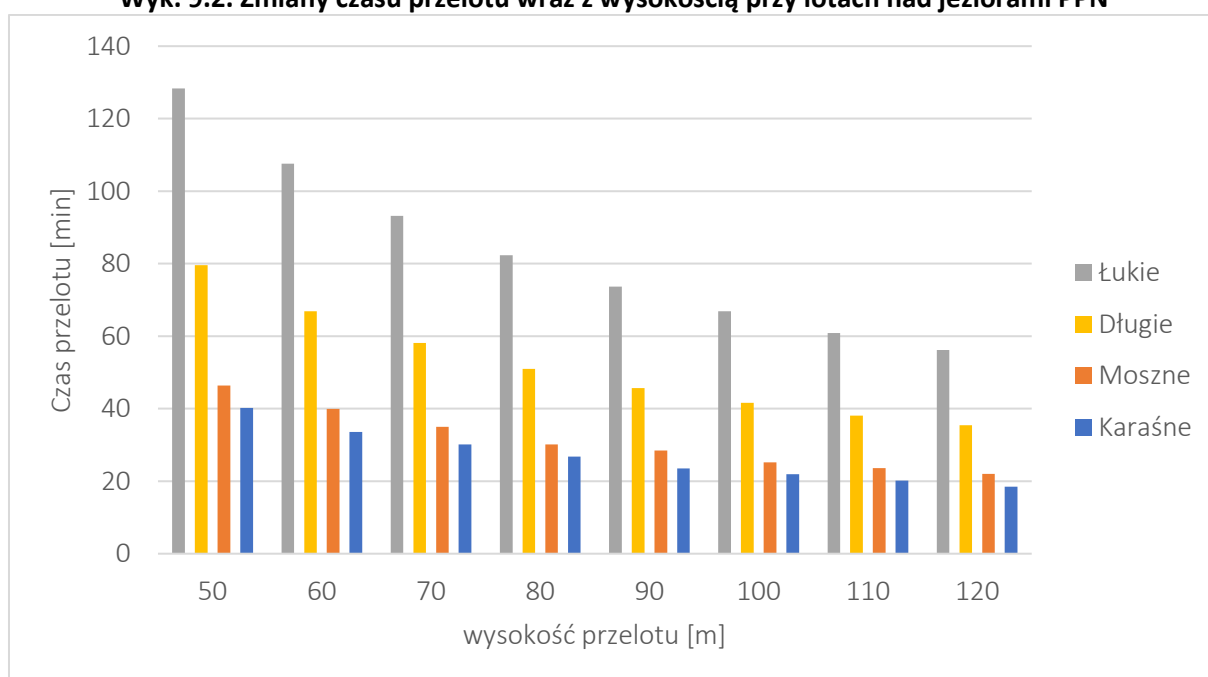
czasu lotu poprzez zużycie części mocy akumulatora na powrót lądowanie i ponowny start platformy po wymianie nośnika pamięci.

Wyk. 9.1. Zmiany wielkości piksela zdjęcia wraz z wysokością przy lotach nad jeziorami PPN



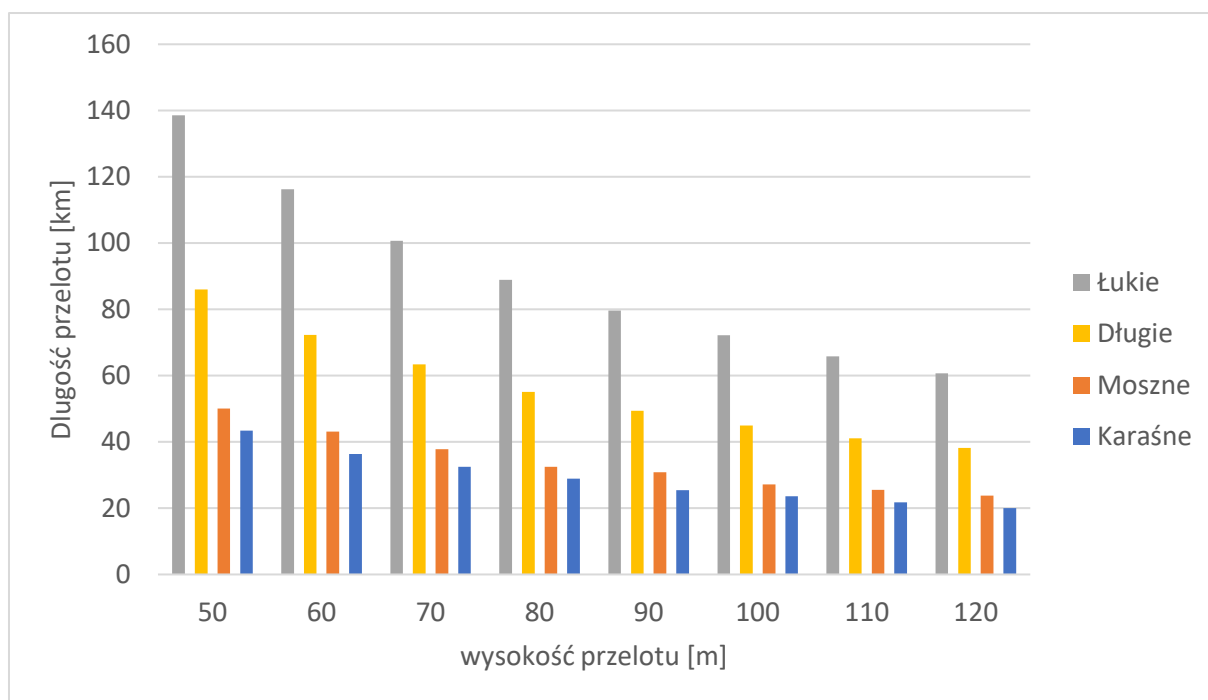
Źródło: opracowanie własne

Wyk. 9.2. Zmiany czasu przelotu wraz z wysokością przy lotach nad jeziorami PPN



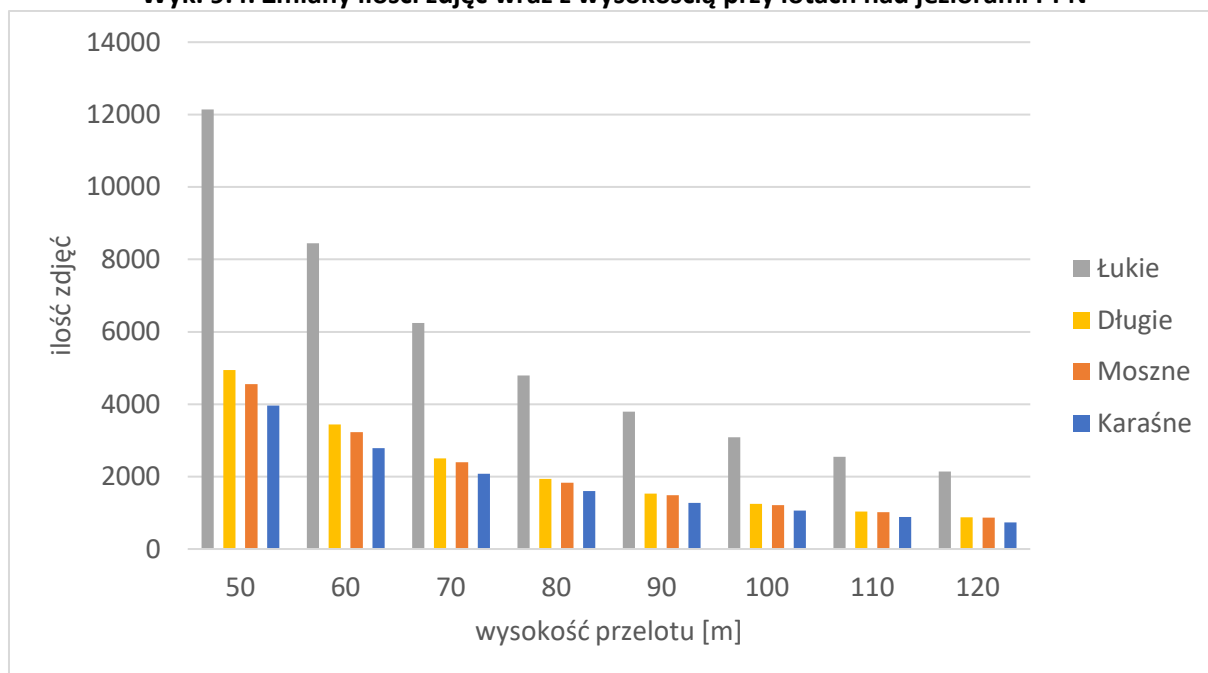
Źródło: opracowanie własne

Wyk. 9.3. Zmiany długości przelotu wraz z wysokością przy lotach nad jeziorami PPN



Źródło: opracowanie własne

Wyk. 9.4. Zmiany ilości zdjęć wraz z wysokością przy lotach nad jeziorami PPN



Źródło: opracowanie własne

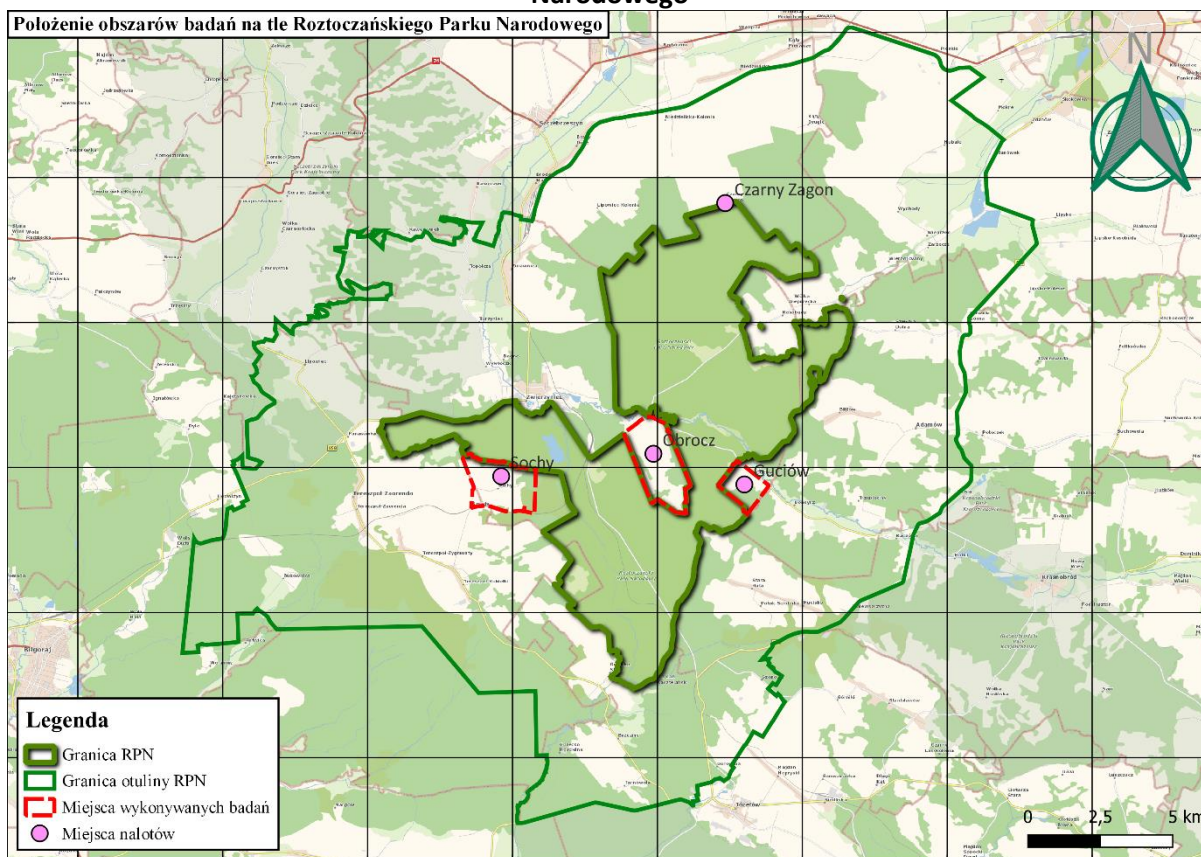
Przy wykonywaniu lotów istotną kwestią jest także zapewnienie stałej, niezakłóconej łączności satelitarnej dla BSP, która to jest dla tego typu sprzętu bardzo istotną kwestią pozwalającą zarówno pilotowi monitorować dokładne położenie platformy w danej chwili jak

i dla samej platformy stanowi część systemu nawigacji. Na jakość tego typu łączność często mogą wpływać drzewa, jeśli loty wykonywane są chociażby na obszarach cennych przyrodniczo bądź inne przeszkody. Problem ten zazwyczaj pojawia się w czasie wykonywania czynności przygotowawczych do lotu, kiedy to platforma spoczywa na ziemi a łączność może być zakłócana przez otaczającą wegetację, po starcie problem ten zazwyczaj mija z racji braku przeszkód na drodze sygnału, należy jednak o tym fakcie pamiętać i zawsze starać się aby łączność z satelitami była zawsze jak największa. Sam typ platformy bezałogowej również wpływa na wykonywanie lotów, mając porównanie dwóch platform Birdie Geo oraz eBee będącej na wyposażeniu wydziału, na których to były prowadzone badania można wypunktować tutaj wiele kwestii, których implementacja lub jej brak w danym systemie może przyspieszyć lub przedłużyć wykonanie lotu. Platforma wspomagająca miała w pełni zautomatyzowany system wykonywania czynności przygotowawczych do lotu tj. nie wymagała dokonywania ręcznego sprawdzania sprawności każdego elementu platformy przed lotem gdyż BSP wykonywał te czynności automatycznie przez co pilot mógł skupiać się na innych rzeczach i przykładowo poświęcić ten czas na inne czynności związane z lotem. Sama kwestia planowania lądowania była również znacznie bardziej zaawansowana w wypadku platformy wspomagającej, w której to wyznaczenie miejsca przez pilota ograniczało się do wybrania punktu w którym dron ma się uziemić oraz ewentualnego wybrania wycinka okręgu, który służyłby platformie za miejsce z którego może podejść do lądowania po obraniu najbardziej optymalnego kursu pod względem wiatru do lądowania. Ta sama kwestia w głównym BSP wymagała od pilota ręcznego ustawienia miejsca lądowania razem z kierunkiem z którego platforma podchodzić ma do lądowania, co posiadało swoje minusy szczególnie w sytuacjach kiedy wiatr zmieniał kierunek lub słabł przez co należało dokonywać korekt miejsca lądowania i przysyłać te informacje na żywo do urządzenia. Platforma główna górowała jednak nad platformą wspomagającą w kwestii bezpośredniej kontroli pilota nad BSP w trakcie lotu. Pomimo iż BSP wykonywał swoje loty na podstawie zaplanowanej misji w większości bez ingerencji pilota, w razie sytuacji nagłej dzięki kontrolerowi wyposażonemu w manetki do ręcznego sterowania platformą pilot może natychmiastowo reagować na wszelkie niespodziewane sytuacje bardzo łatwo zmieniając tor lotu platformy, co w wypadku platformy

wspomagającej działającej poprzez aplikacje zainstalowaną na laptopie nie dawało to możliwości tak łatwego ręcznego przejęcia kontroli nad platformą przez pilota.

Charakterystyka wykonywanych nalogów

Ryc. 9.1. Lokalizacja miejsc lotów nad wybranymi fragmentami Roztoczańskiego Parku Narodowego

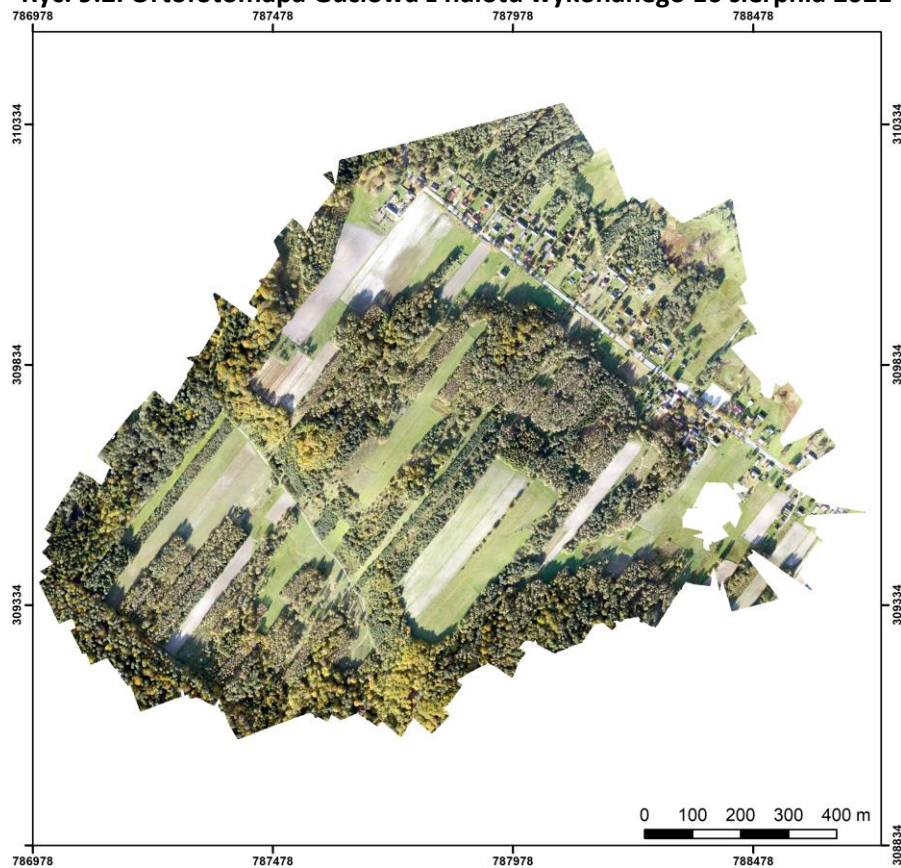


Źródło: opracowanie własne

Loty odbywały się w czterech miejscach na widocznej powyżej mapie (Ryc 9.1). Natomiast w trzech miejscach została przeprowadzona analiza sukcesji leśnej na podstawie archiwalnych zdjęć lotniczych uzyskanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii. Naloty w przypadku Roztocza nie obejmowały całych miejsc wykonywanych badań sukcesji leśnej. W tym przypadku uzupełnienia brakujących obszarów dokonywano o ortofotomape z serwisu geoportal.gov.pl.

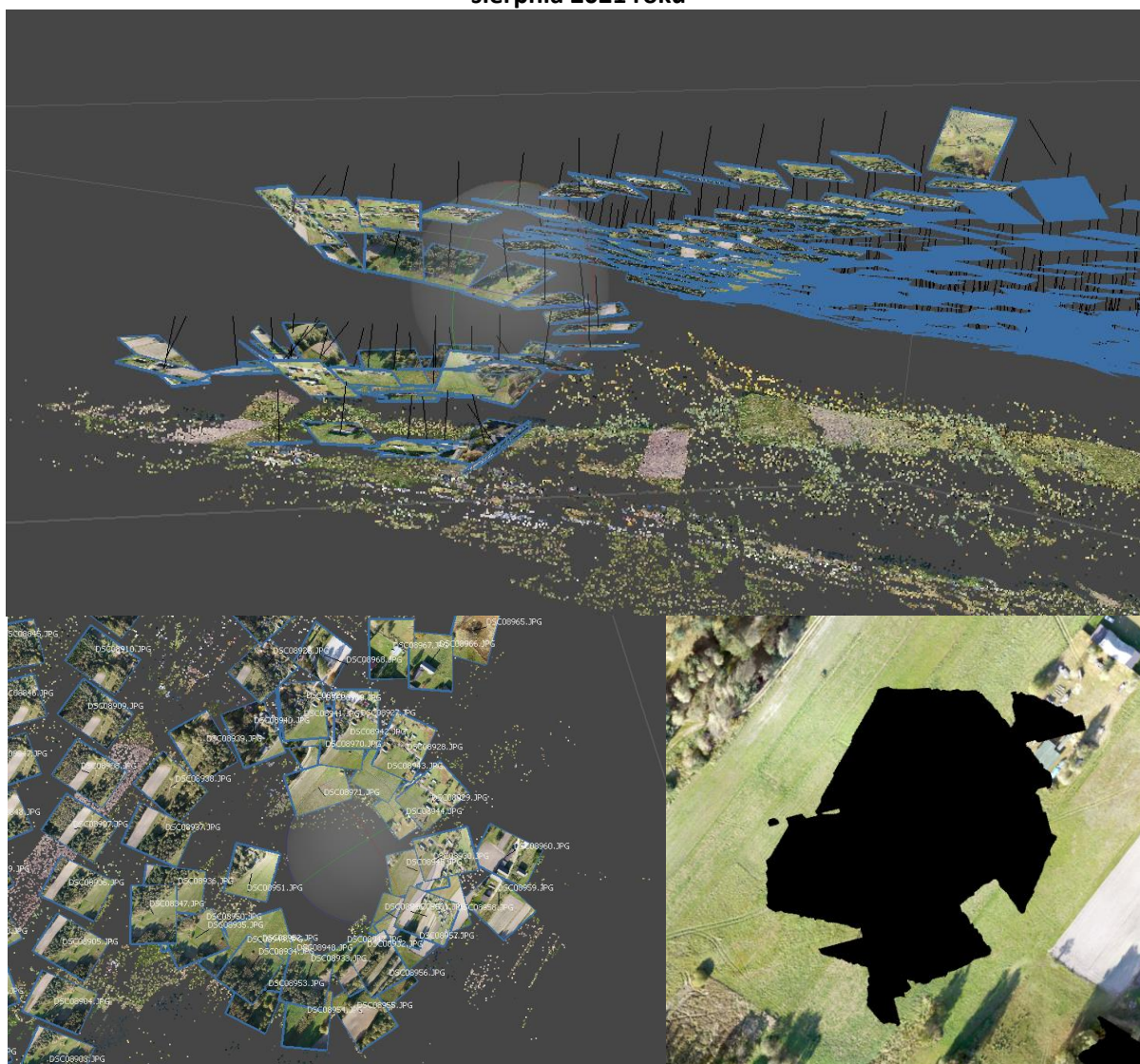
Guciów

Ryc. 9.2. Ortofotomapa Guciowa z nalogu wykonanego 16 sierpnia 2021



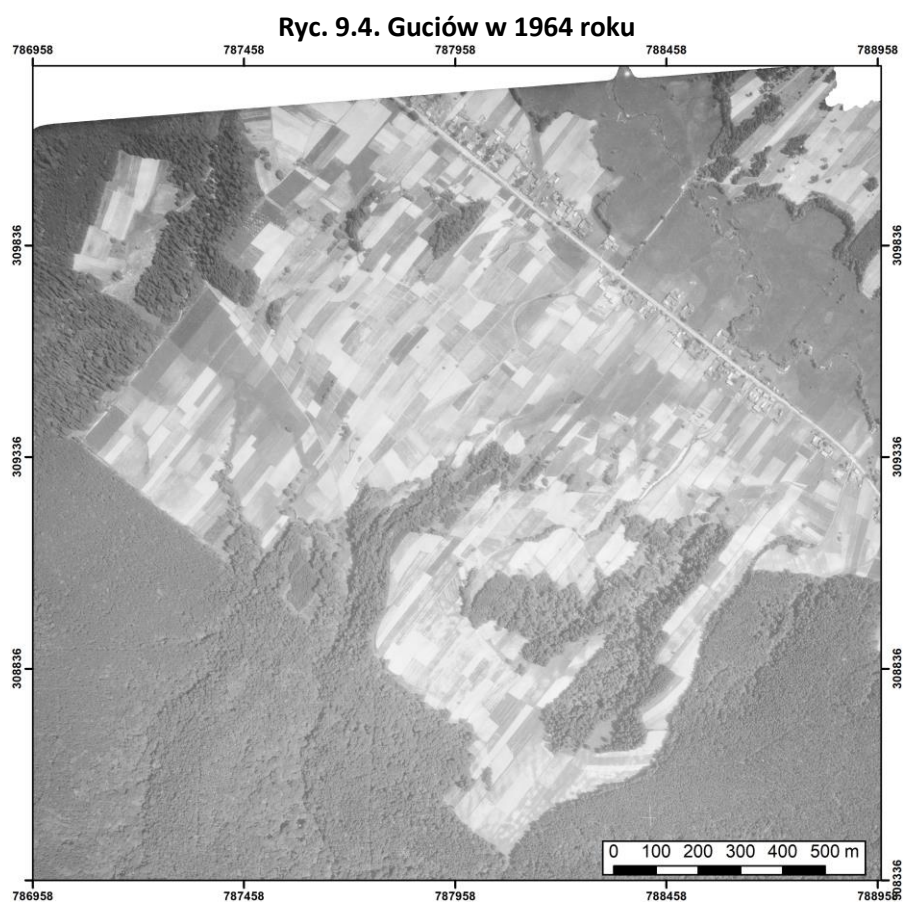
Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9. 3. Zrzuty ekranu z programu Agisoft PhotoScan oraz fragment ortofotomapy Guciowa z 16 sierpnia 2021 roku

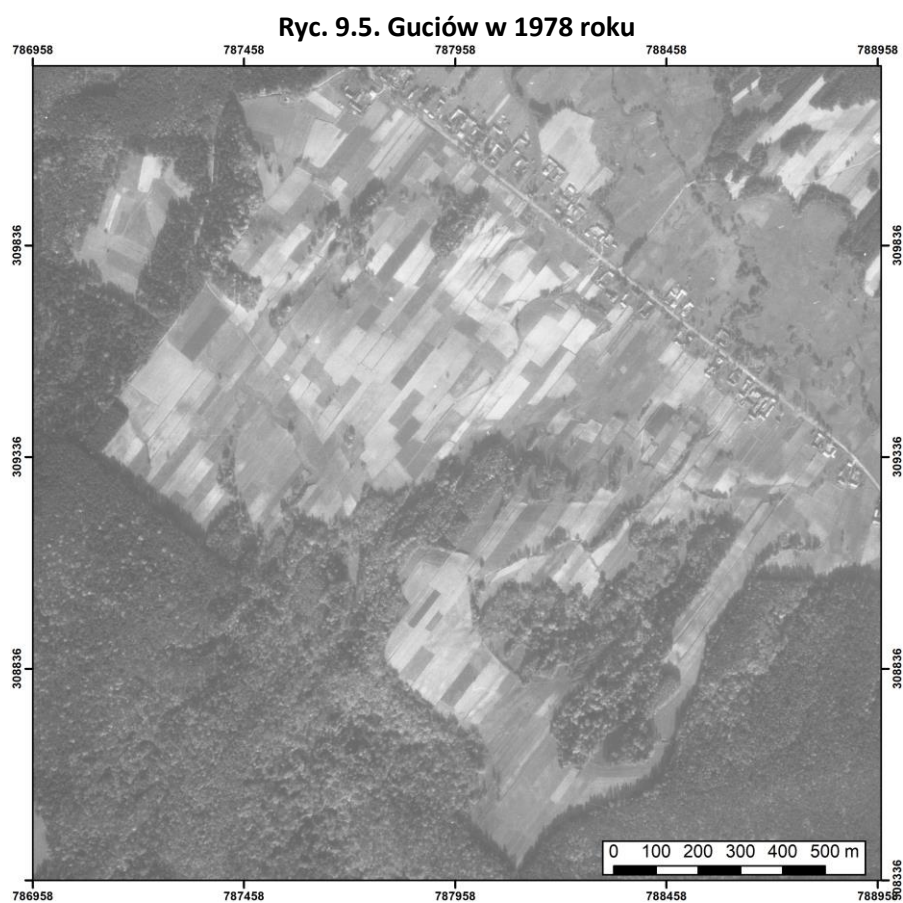


Źródło: opracowanie własne

Przy przygotowaniu lotu należy zadbać o przygotowanie odpowiedniego toru startu. Na ortofotomapie Guciowa widoczna jest dziura, która jest pozostałością po torze startu bezzałogowego statku powietrznego. Doskonale jest to widoczne w Agisoft Metashape, gdzie po historii wykonanych zdjęć jest widoczny tor lotu drona (Ryc. 9.3).

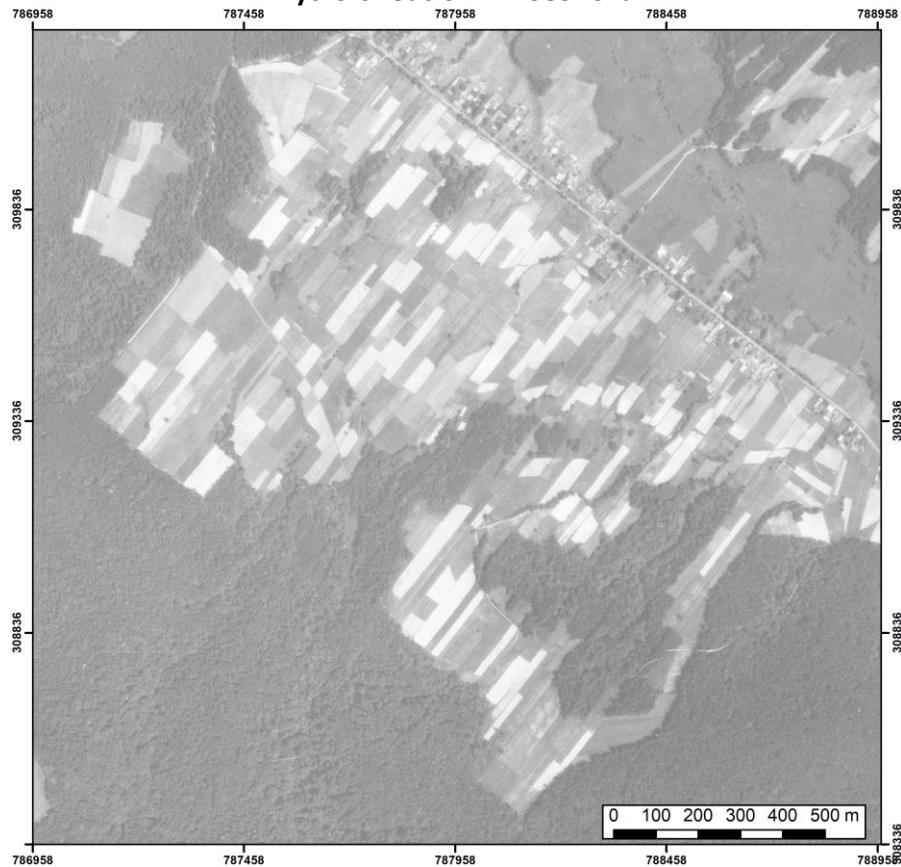


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii



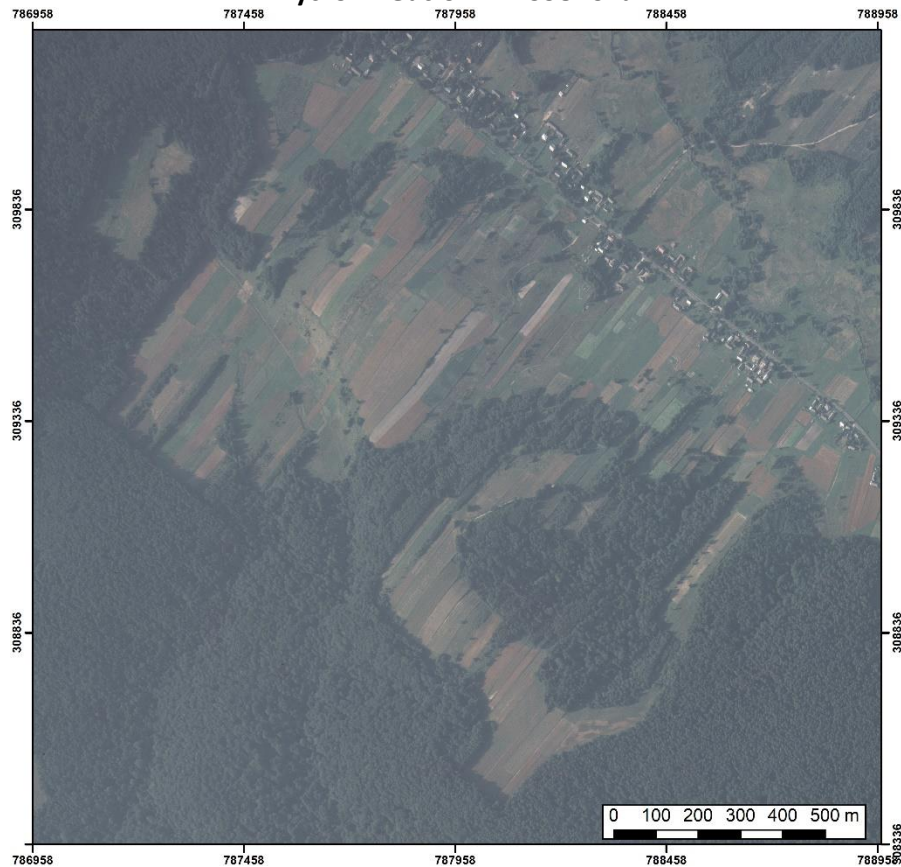
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

Ryc. 9.6. Guciów w 1983 roku



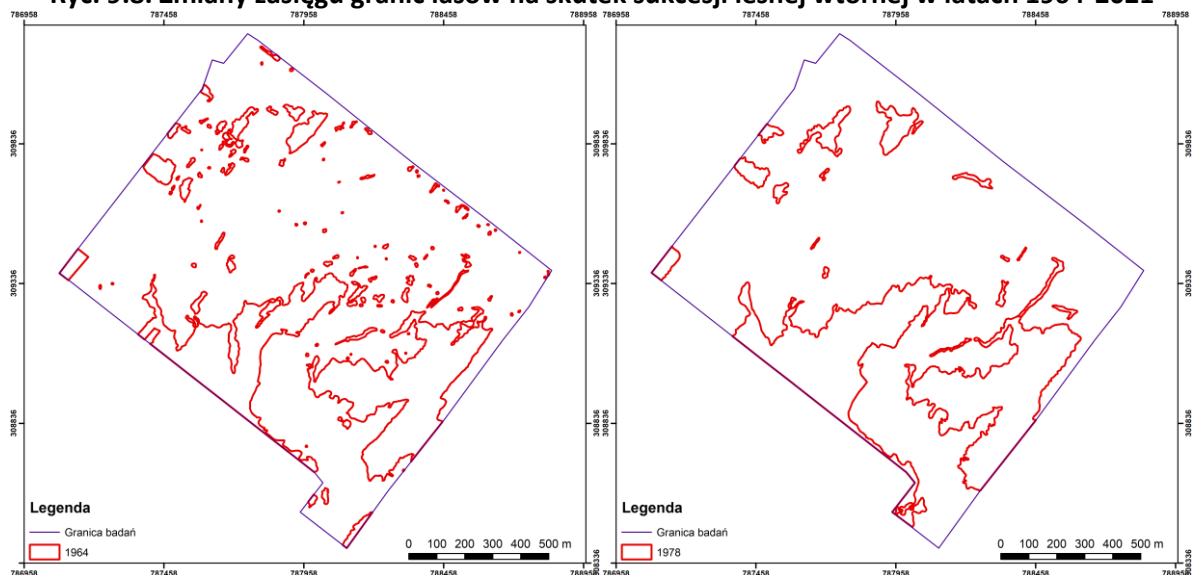
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

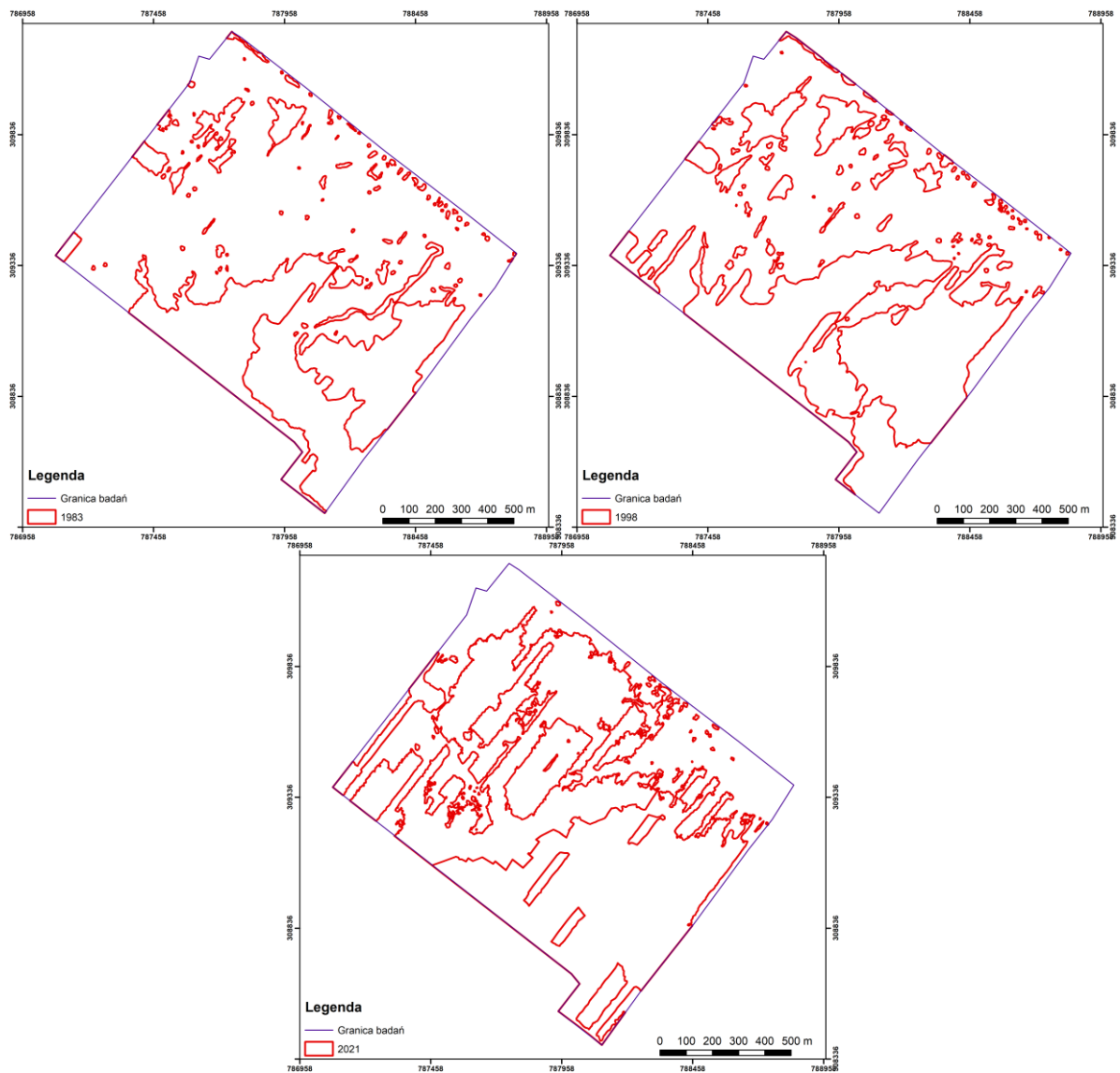
Ryc. 9.7. Guciów w 1998 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

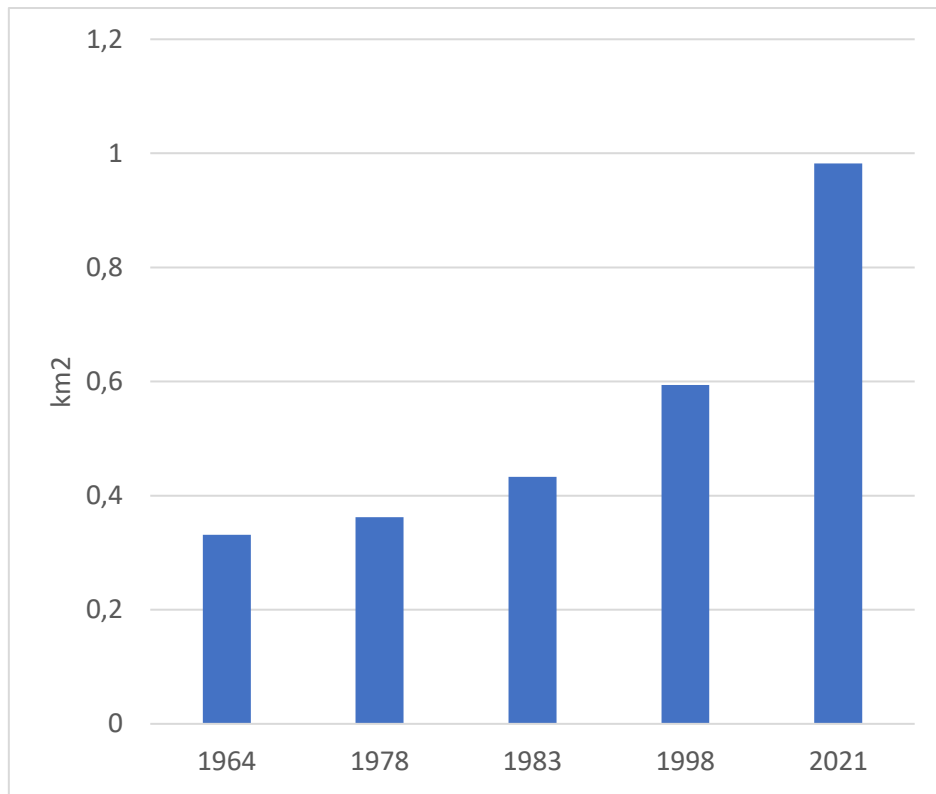
Ryc. 9.8. Zmiany zasięgu granic lasów na skutek sukcesji leśnej wtórnej w latach 1964-2021





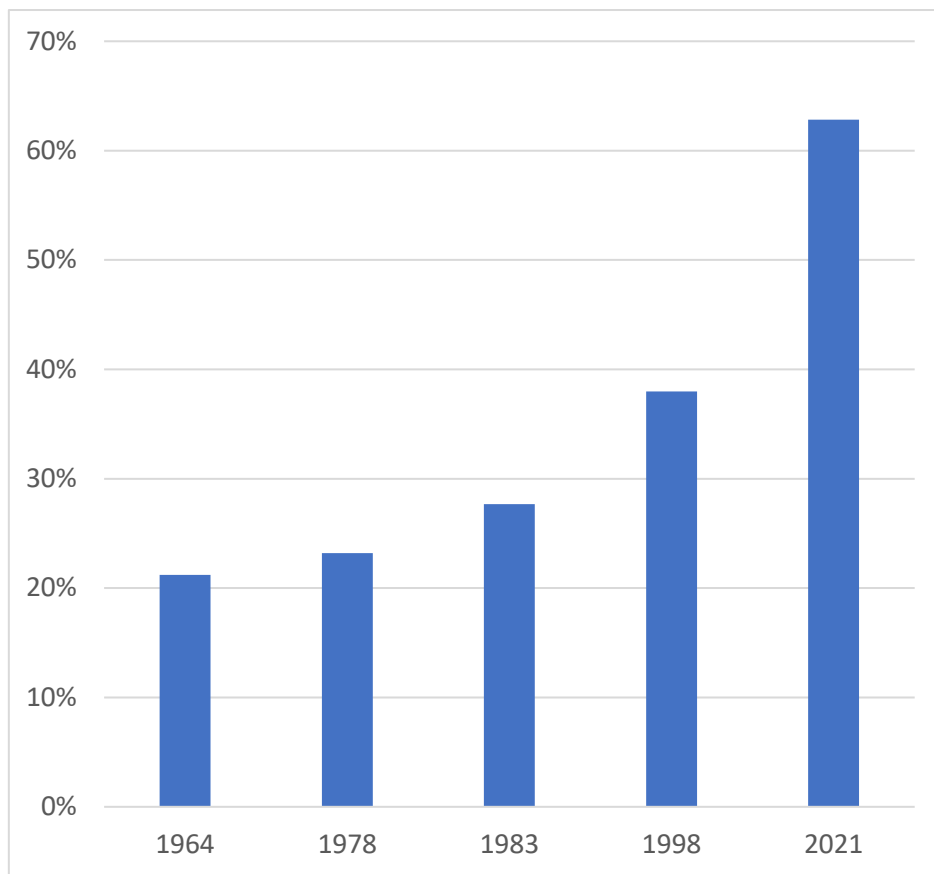
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

Wykres 9.1. Zmiany powierzchni lasu na przestrzeni lat na badanej powierzchni w Guciowie



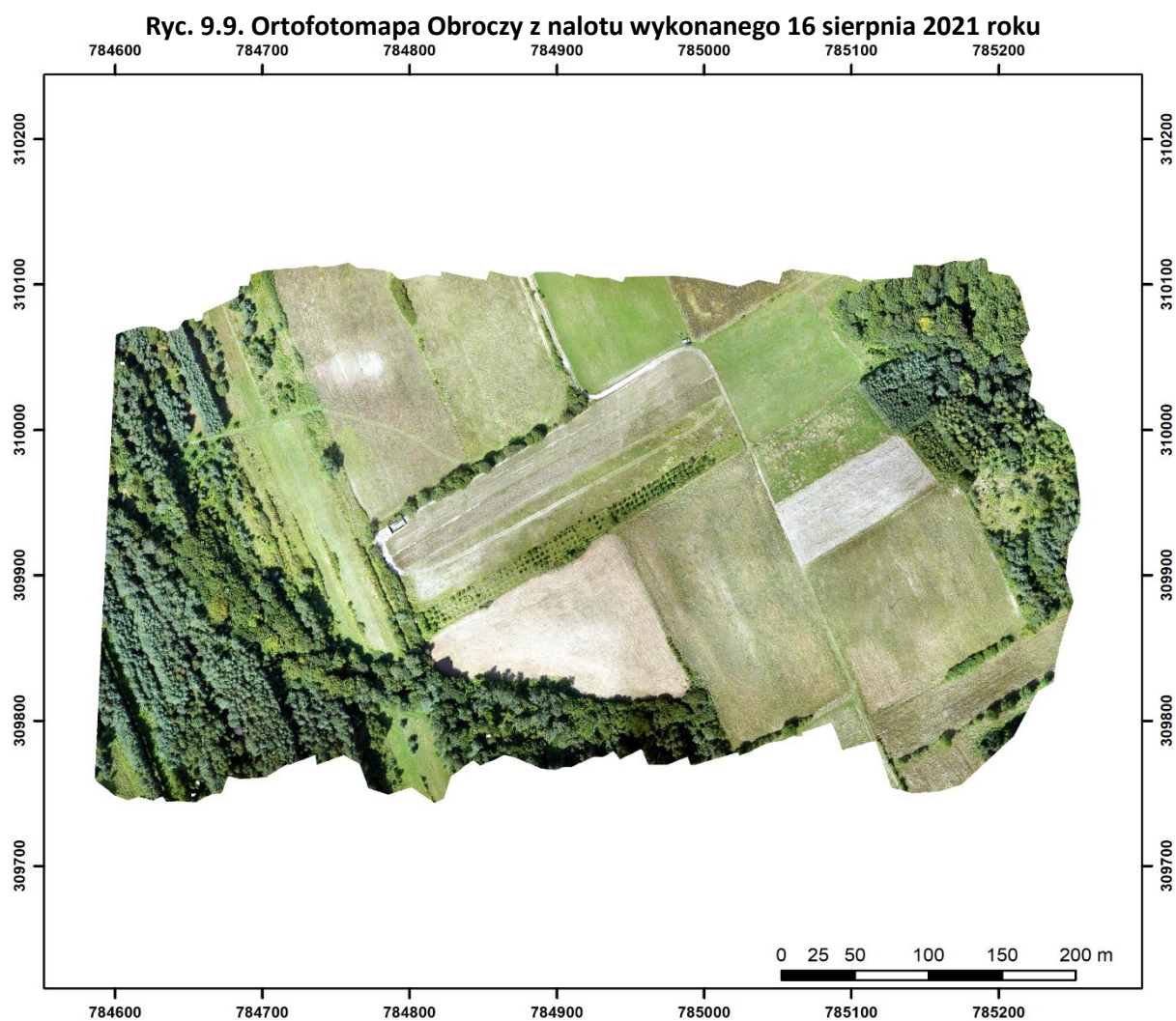
Źródło: opracowanie własne

Wykres 9.2. Zmiana procentowania powierzchni lasu na przestrzeni lat na tle badanej powierzchni w Guciowie



Źródło: opracowanie własne

Obrocz



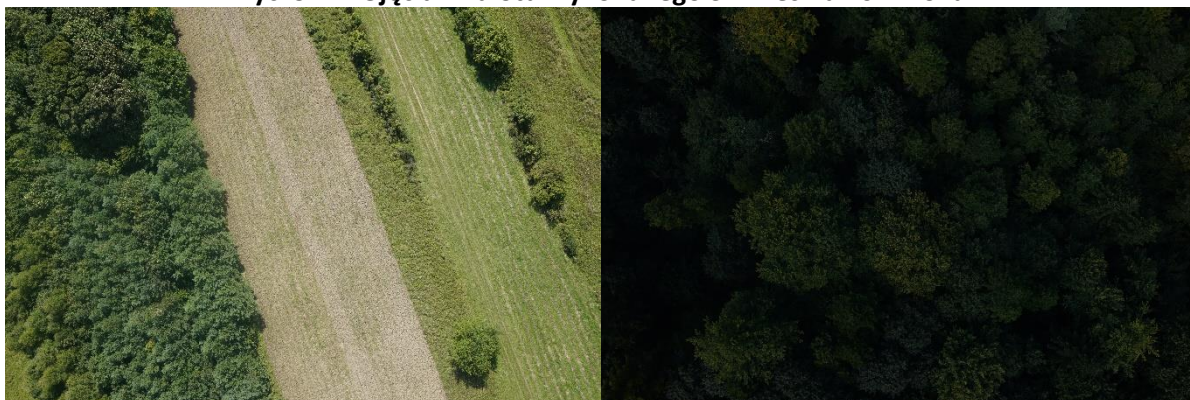
Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.10. Ortofotomapa Obroczy z nalogu wykonanego 3 września 2021 roku



Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.11. Ujęcia z nalogu wykonanego 3 września 2021 roku



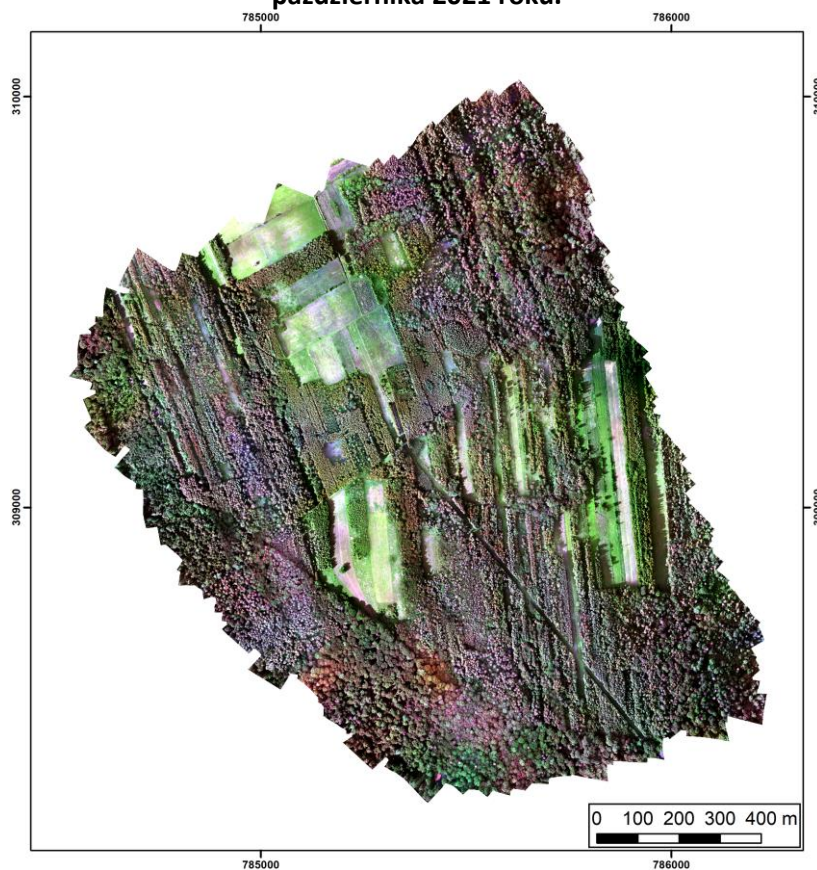
Źródło: opracowanie własne

Na widocznej ortofotomapie (Ryc 9.10) widoczna jest siatka topograficzna z błędnymi układami współrzędnymi fragmentu Guciowa. Wynika to z braku nadawania współrzędnych

geograficznych podczas wykonywania lotu poszczególnym zdjęciom. Oprogramowanie Agisoft PhotoScan ma możliwość „składania” ortofotomap bez georeferencji zdjęć, ale jest to dłuższy proces poprzez porównywanie zdjęć i ich podobieństwa. Wpływ wiatru porusza drzewami i na zdjęciach takie samo drzewo znajduje się w nieco innej pozycji. Przez to programy do przetwarzania danych z mniejszą dokładnością dopasowują zdjęcia lotniczej. Widoczna ortofotomapa (Ryc. 9.10) jest stworzona z małej ilości poskładanych zdjęć.

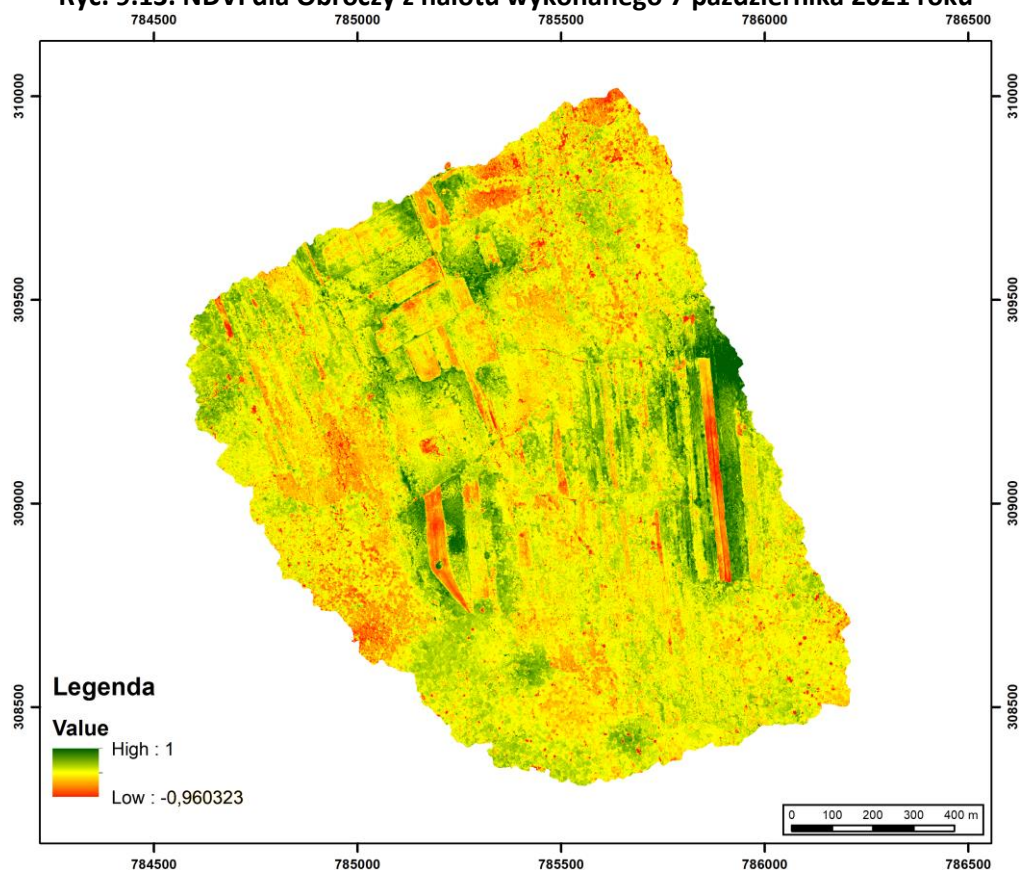
Na zdjęciu (Ryc. 9.11) po prawej widoczny jest wpływ zachmurzenia na jakość wykonywanych zdjęć. Zdjęcie na skutek zasłonięcia przez chmurę słońca jest bardzo przyciemnione i niewiele widać co na nim się znajduje. Na złożonej ortofotomapie (Ryc. 9.10) z nalogu widoczne są przyciemnione miejsca przez zachmurzenie.

Ryc. 9.12. Ortofotomapa Obroczy na podstawie multispekralnego z nalogu wykonanego 7 października 2021 roku.



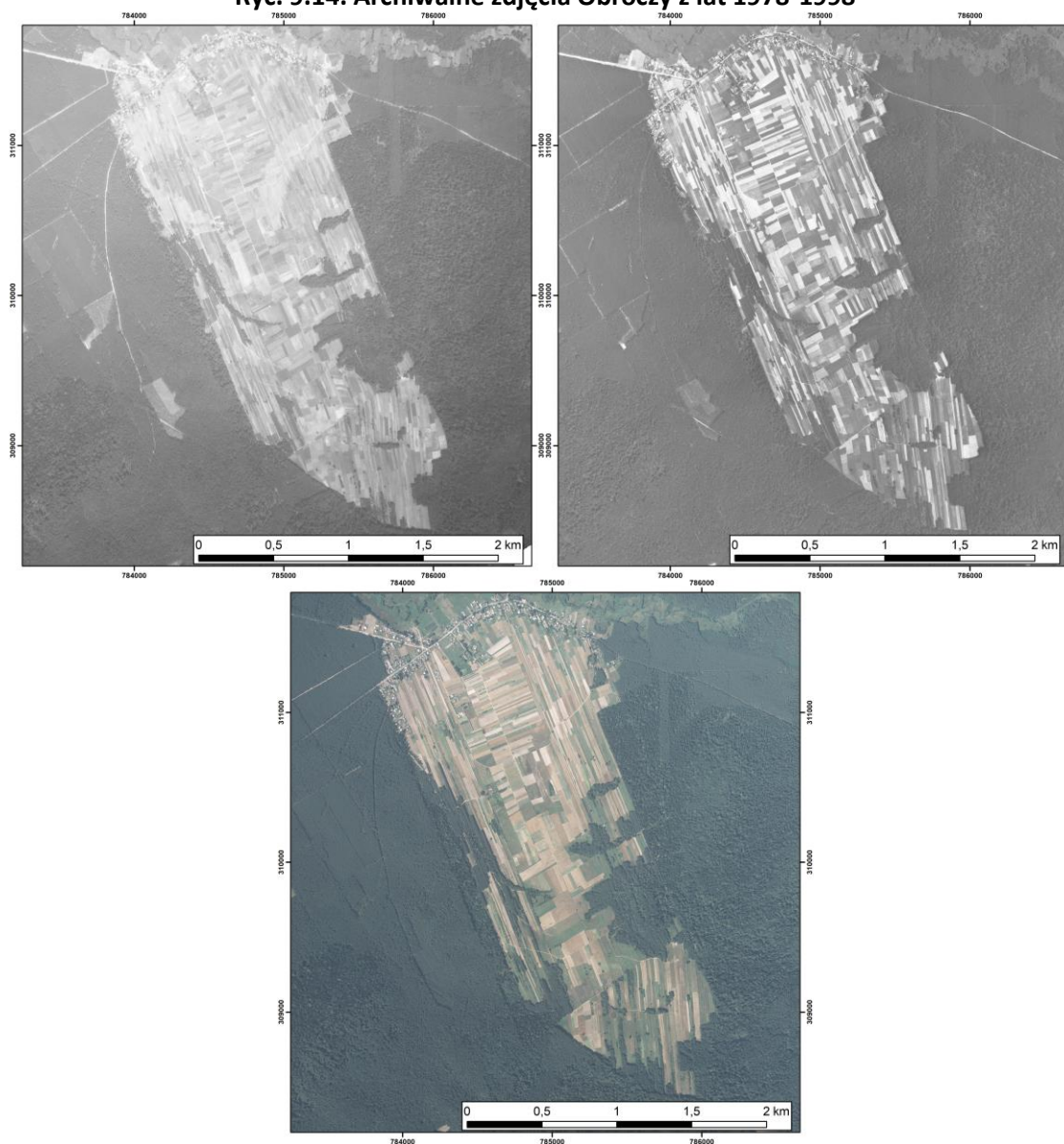
Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.13. NDVI dla Obroczy z nalotu wykonanego 7 października 2021 roku



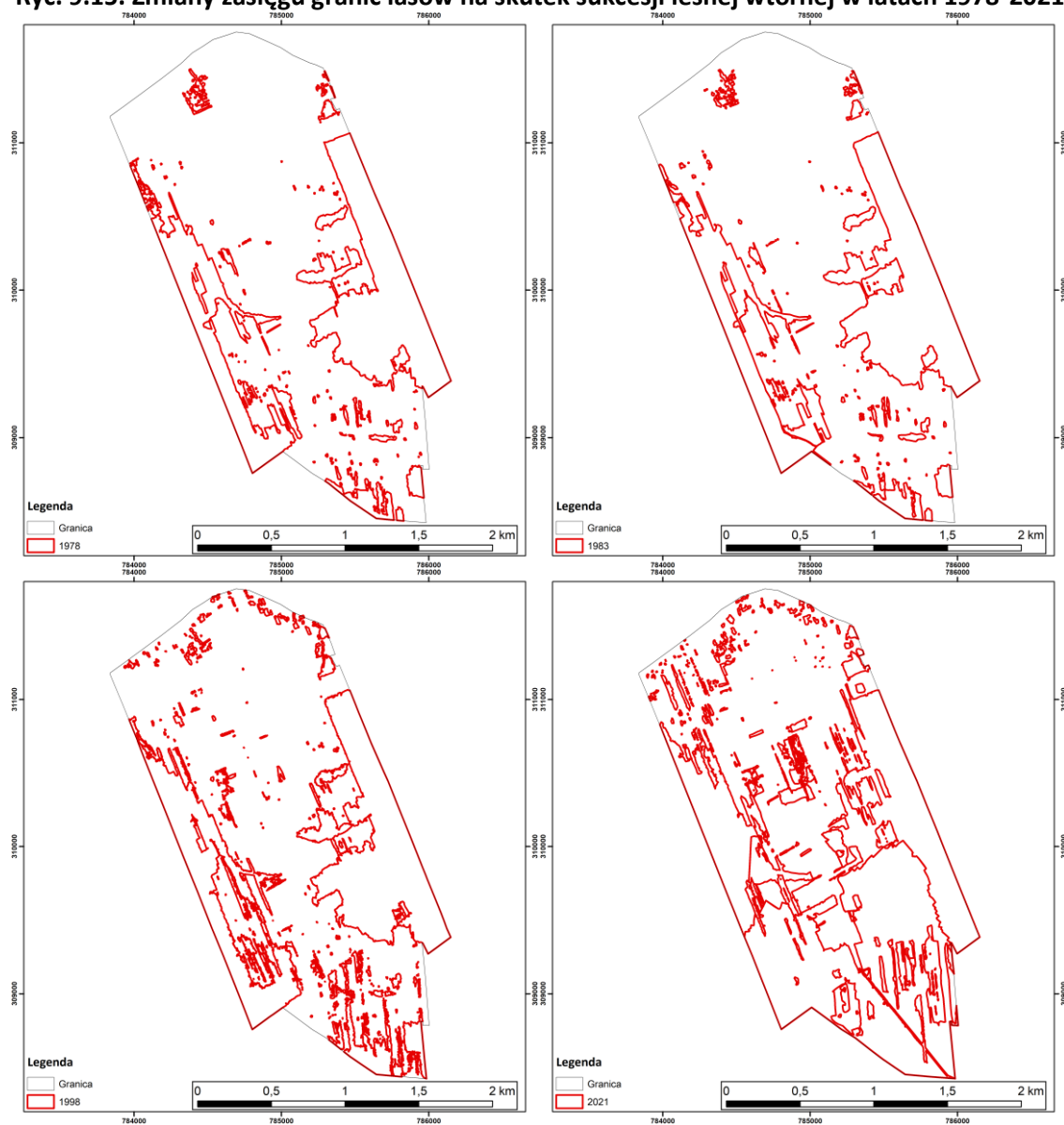
Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.14. Archiwalne zdjęcia Obroczy z lat 1978-1998



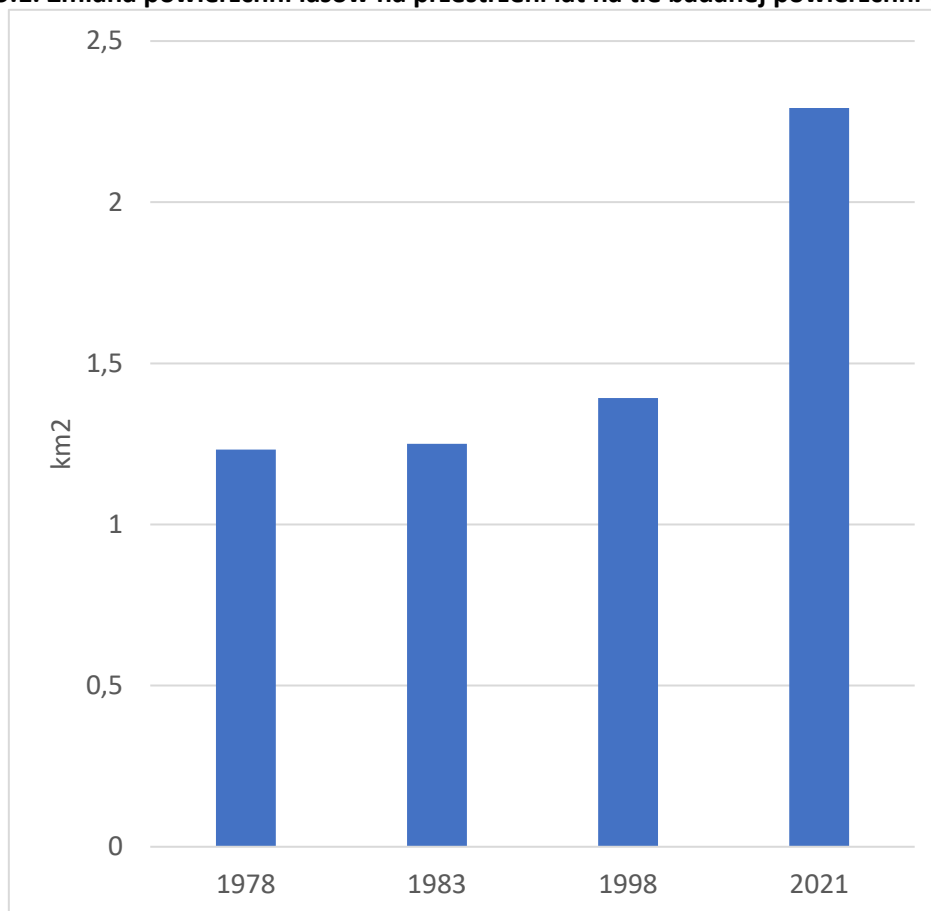
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

Ryc. 9.15. Zmiany zasięgu granic lasów na skutek sukcesji leśnej wtórnej w latach 1978-2021



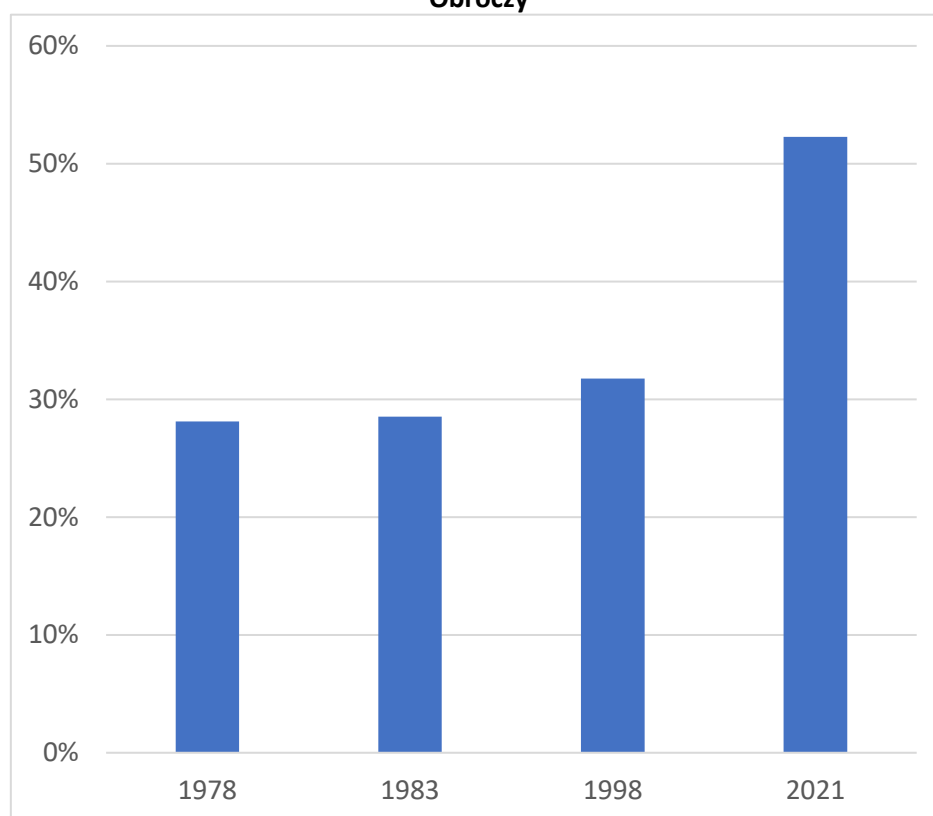
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

Wykres 9.1. Zmiana powierzchni lasów na przestrzeni lat na tle badanej powierzchni w Obroczy



Źródło: opracowanie własne

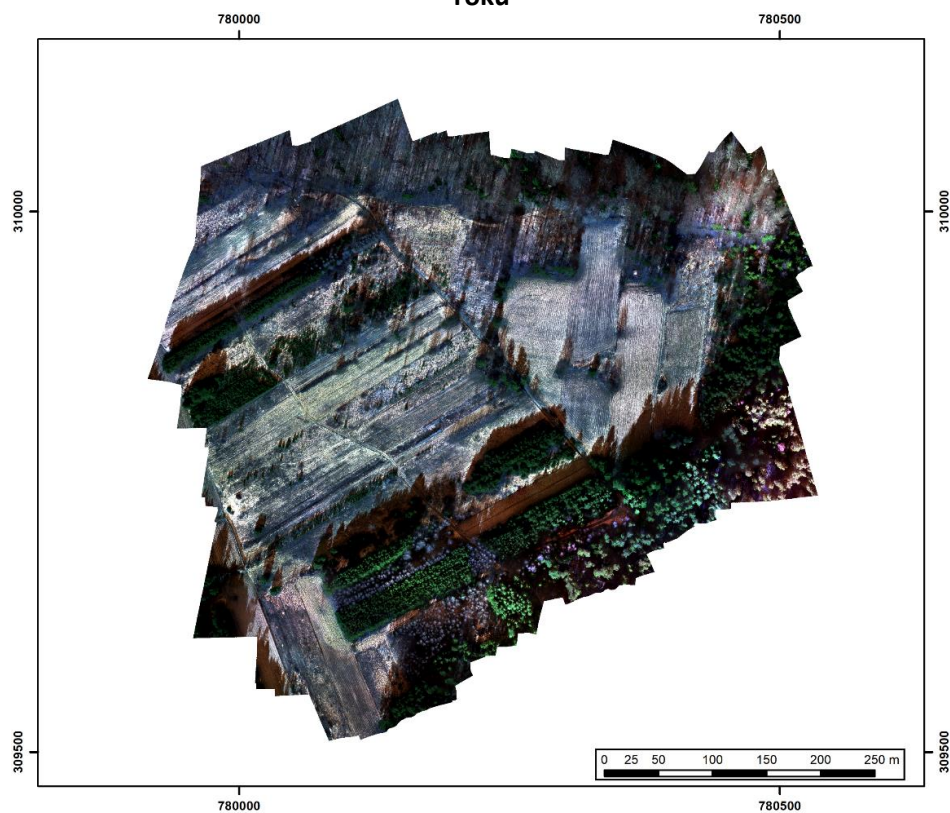
Wykres 9.2. Zmiana procentowa powierzchni leśnej na przestrzeni lat na badanej powierzchni w Obroczy



Źródło: opracowanie własne

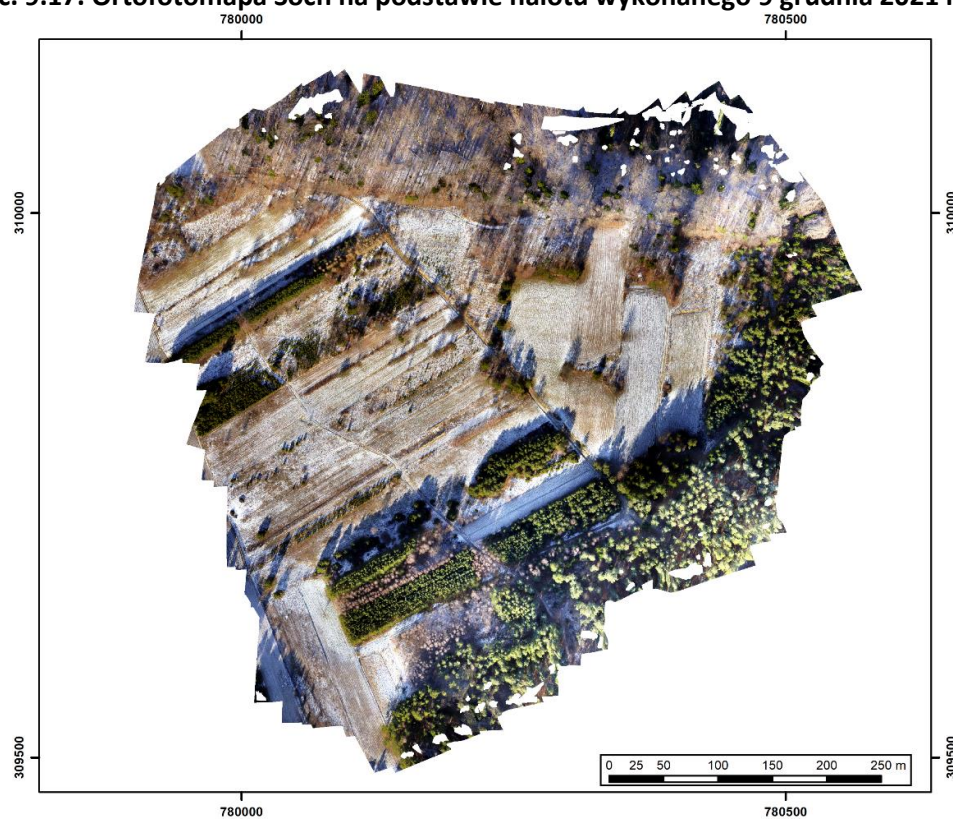
Sochy

Ryc. 9.16. Ortofotomapa Soch na podstawie multispekralnego z nalogu wykonanego 9 grudnia 2021 roku



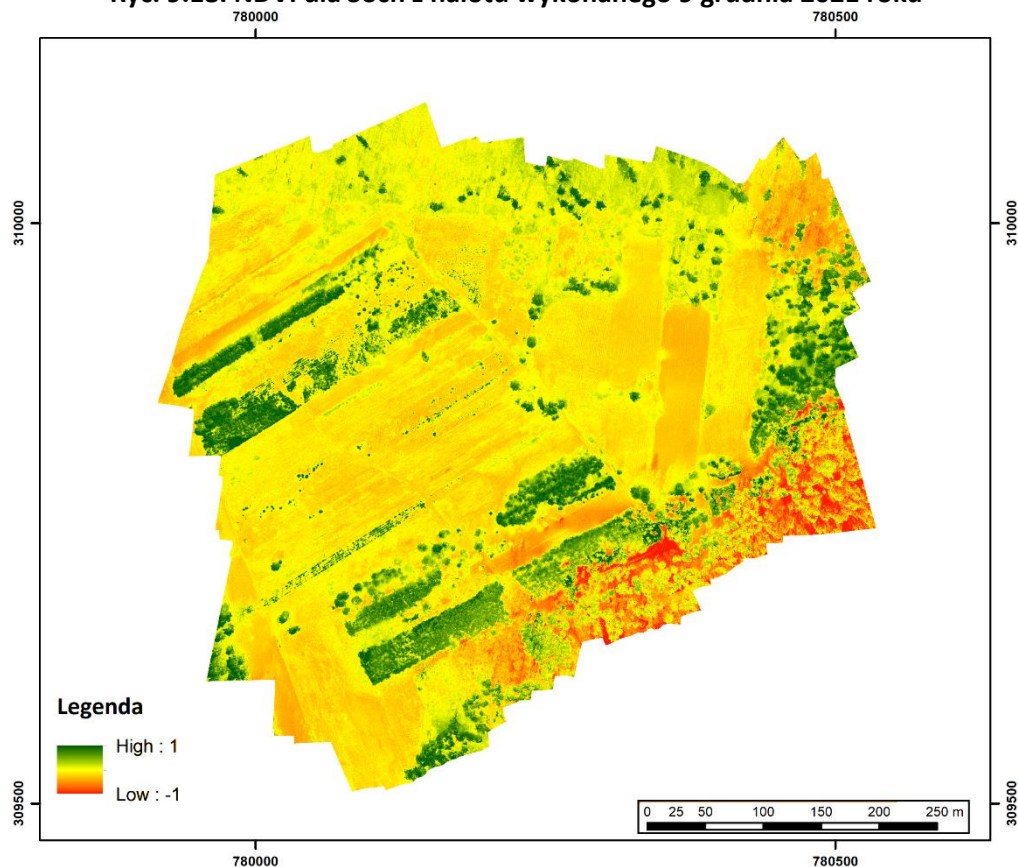
Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.17. Ortofotomapa Soch na podstawie nalogu wykonanego 9 grudnia 2021 roku



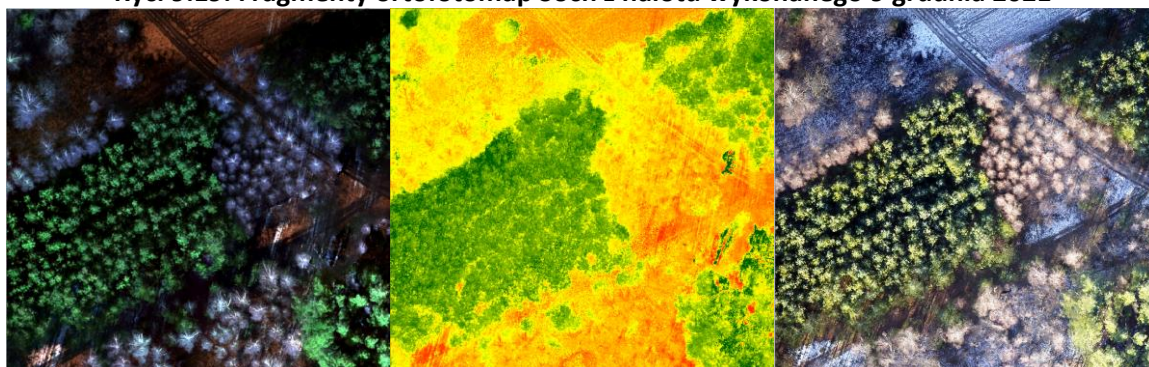
Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.18. NDVI dla Soch z nalogu wykonanego 9 grudnia 2021 roku



Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.19. Fragmenty ortofotomap Soch z nalogu wykonanego 9 grudnia 2021

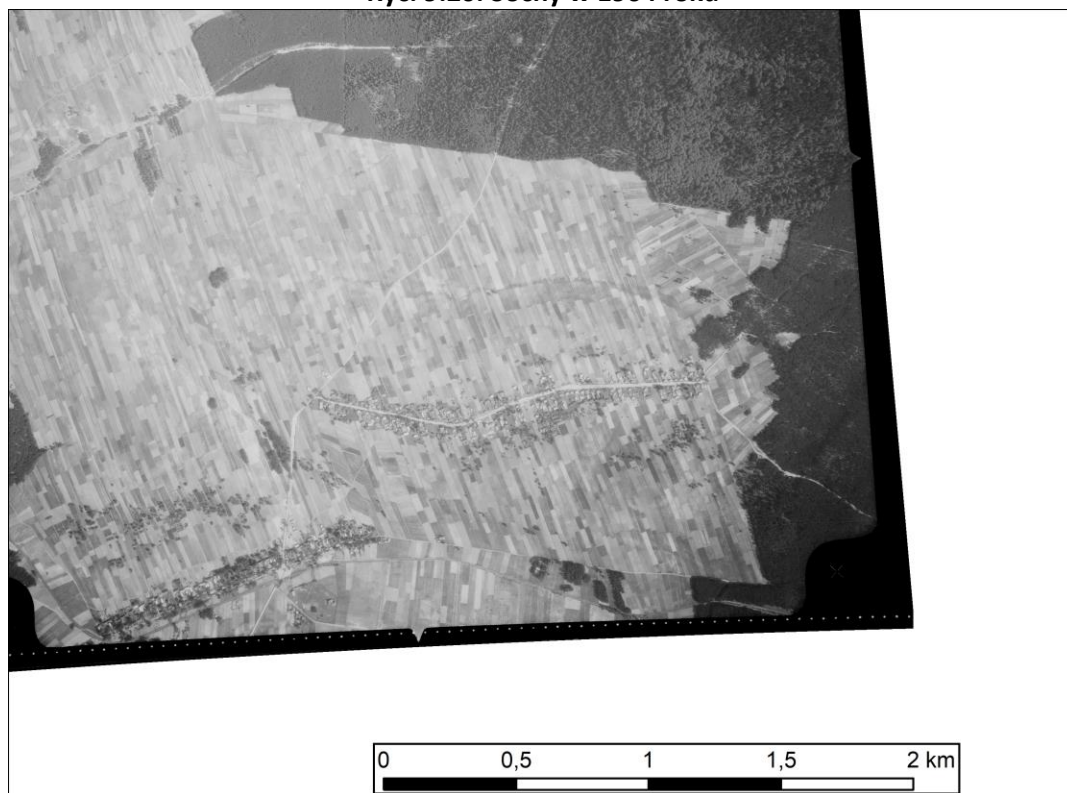


Źródło: opracowanie własne

Na trzech fragmentach ortofotomap (Ryc 9.19) widoczny jest fragment lasu, gdzie na zobrazowaniu multispektralnym i obliczeniu wskaźnika NDVI. Można zauważyć, że wysoka kondycja drzew jest tylko dla niektórych fragmentów. Wynika to z wykonania nalogu w zimie

podczas braku wegetacji u drzew liściastych, które są przedstawione jako rośliny o niskiej kondycji. Dlatego takich badań nie należy wykonywać podczas najmniejszej wegetacji roślin.

Ryc. 9.20. Sochy w 1964 roku



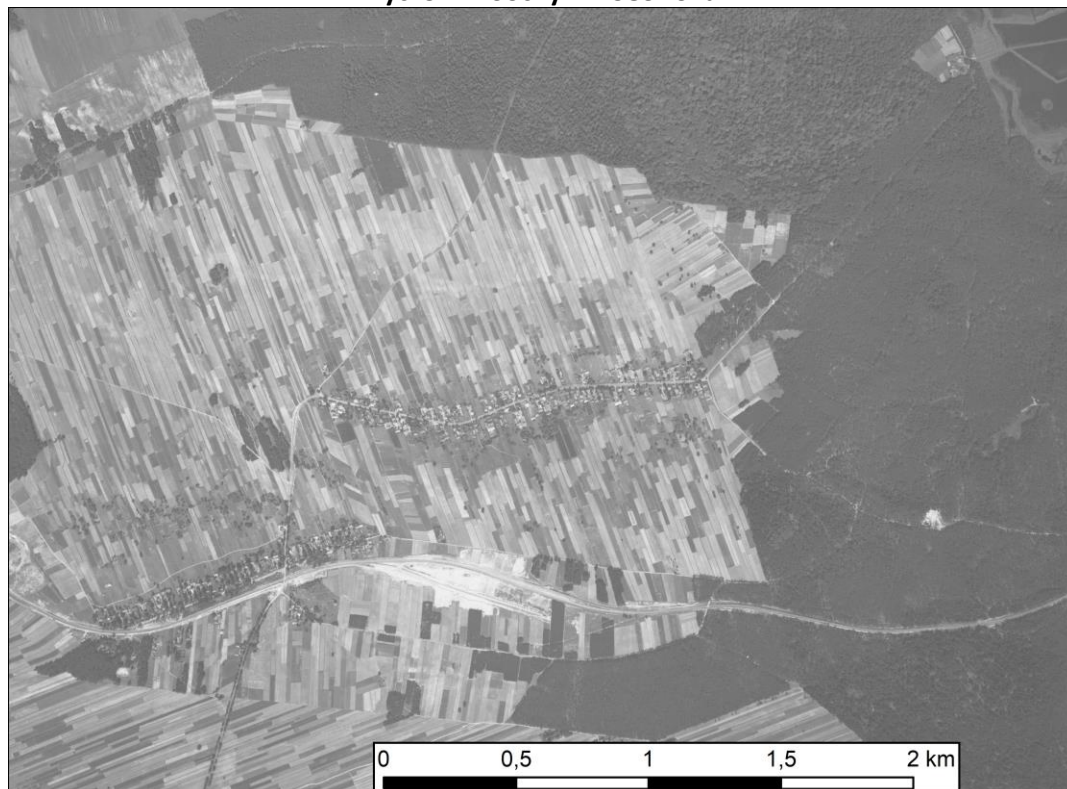
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

Ryc. 9.21. Sochy w 1978 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

Ryc. 9.22. Sochy w 1983 roku



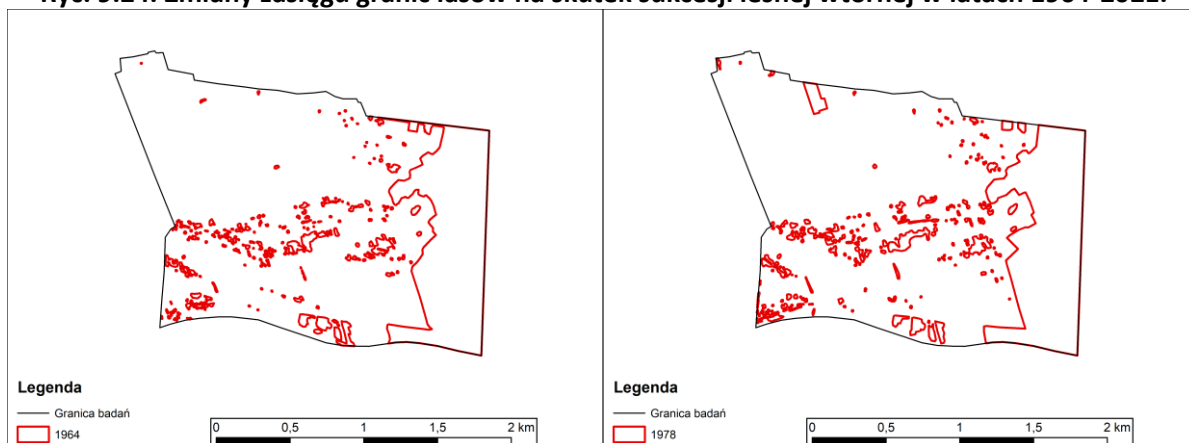
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

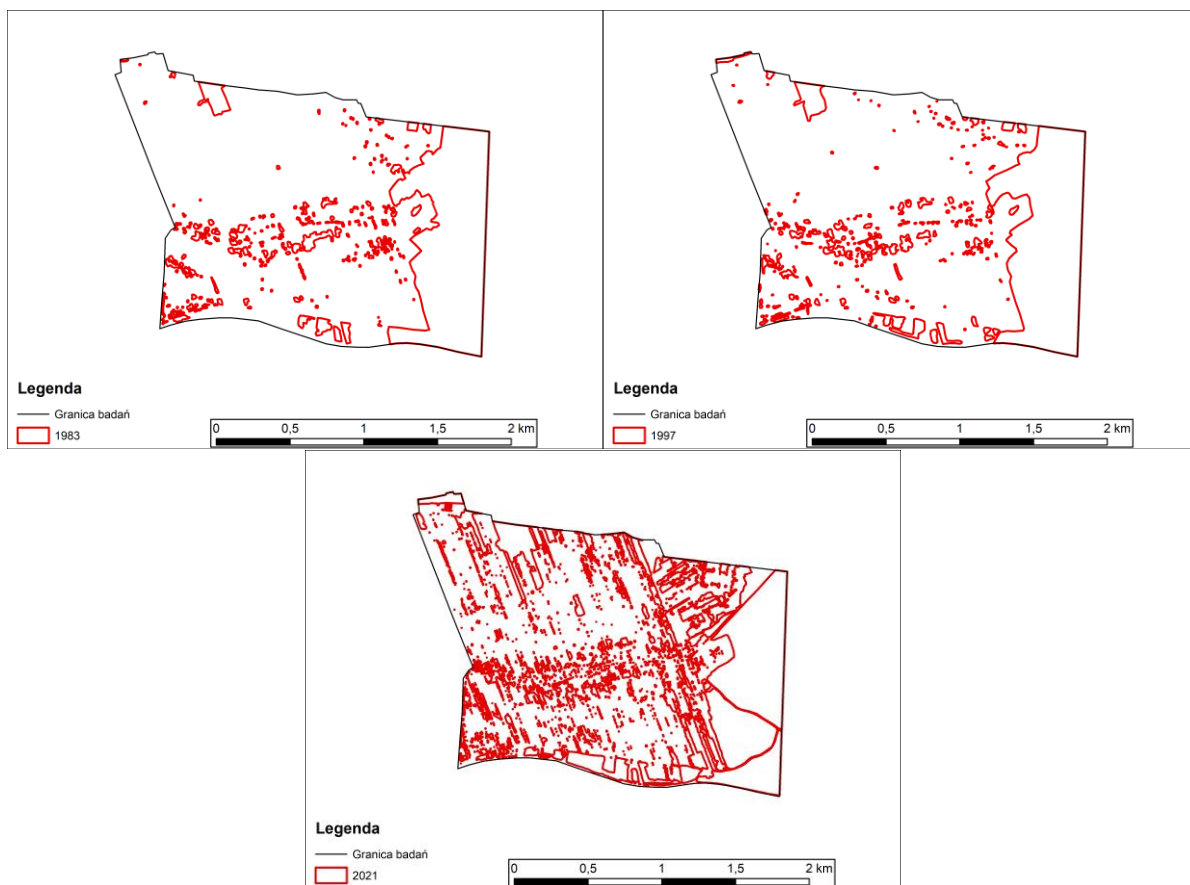
Ryc. 9.23. Sochy w 1997 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

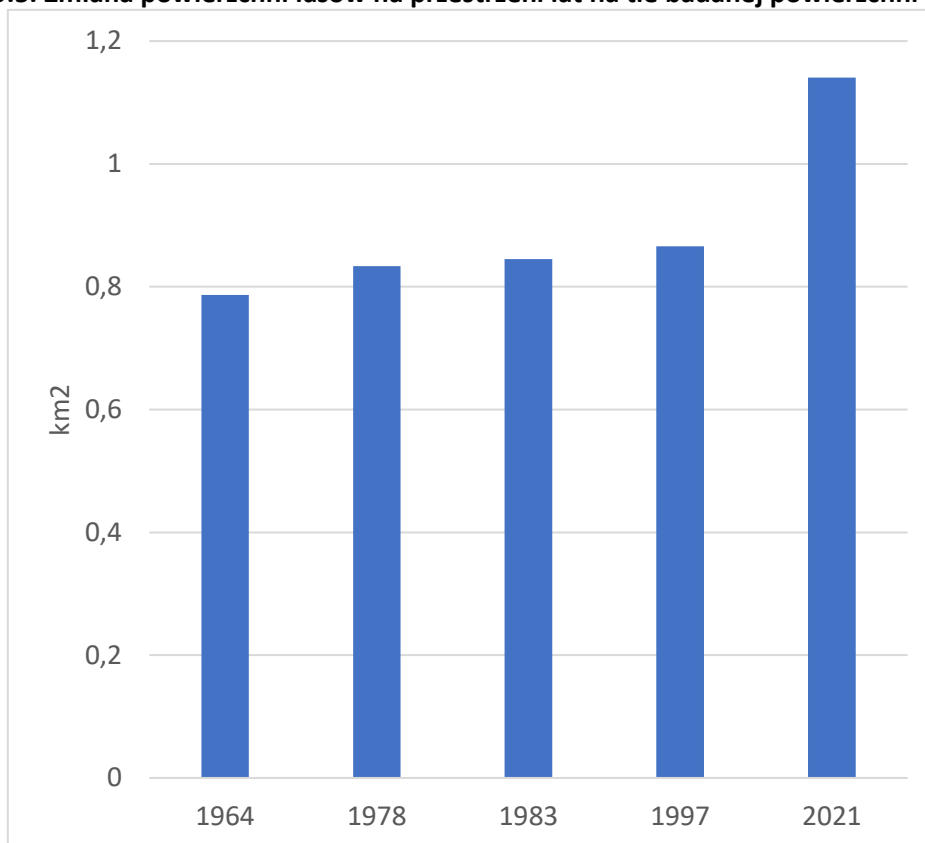
Ryc. 9.24. Zmiany zasięgu granic lasów na skutek sukcesji leśnej wtórnej w latach 1964-2021.





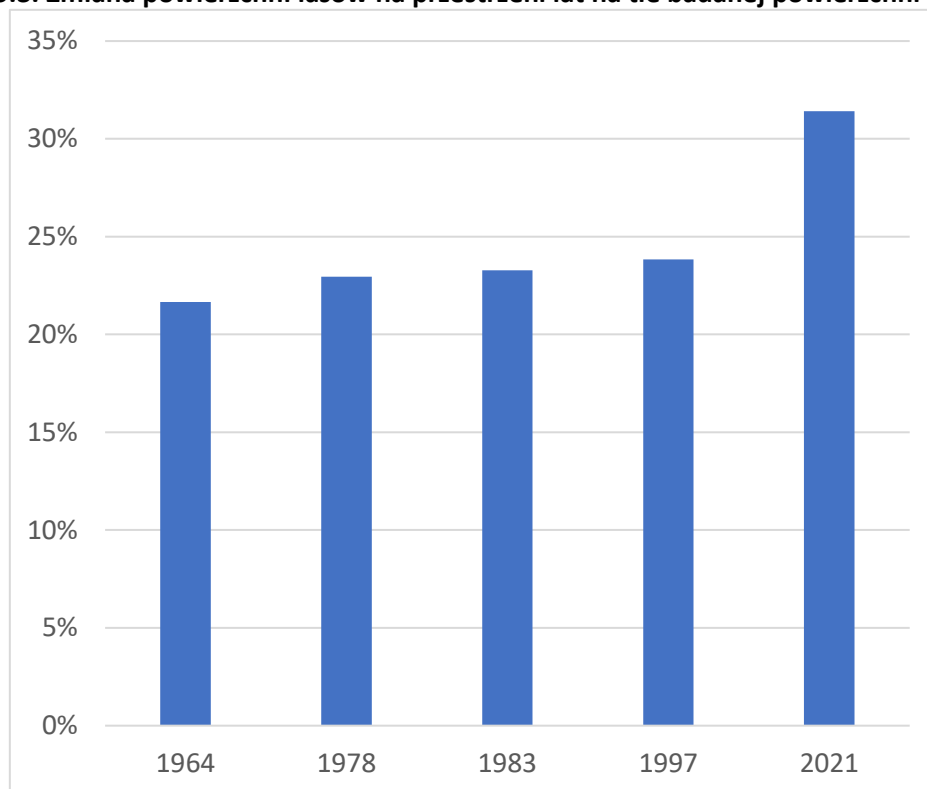
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii

Wykres 9.5. Zmiana powierzchni lasów na przestrzeni lat na tle badanej powierzchni w Sochach



Źródło: opracowanie własne

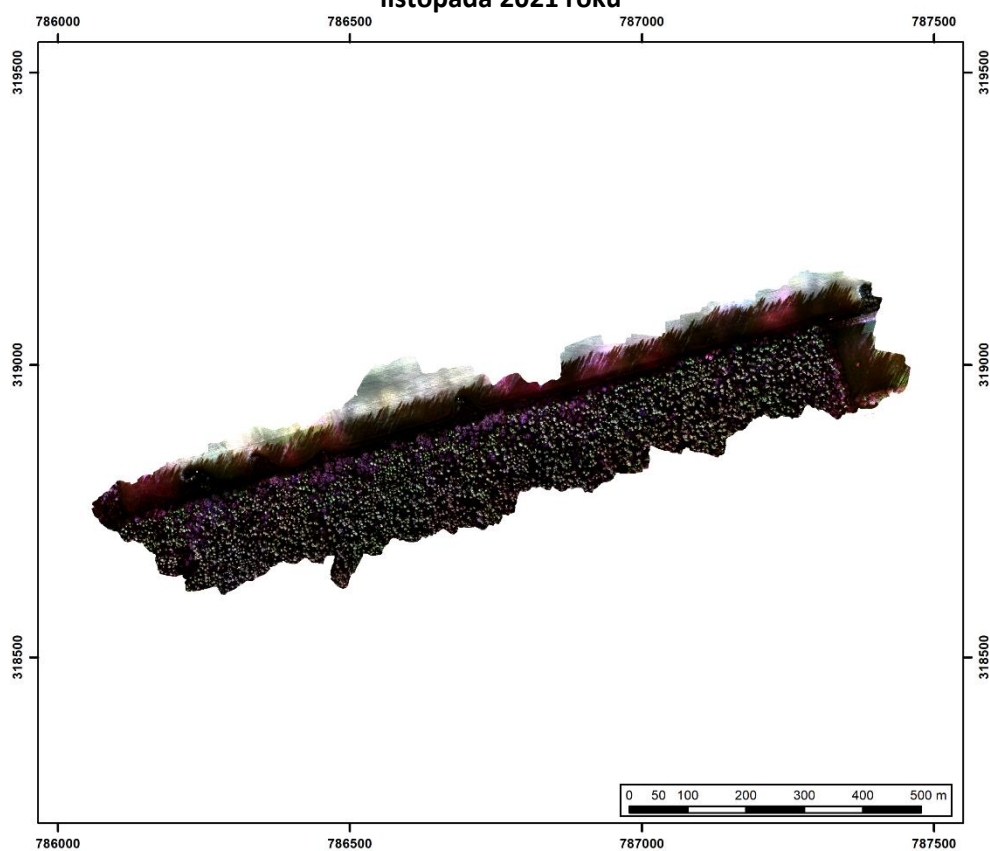
Wykres 9.3. Zmiana powierzchni lasów na przestrzeni lat na tle badanej powierzchni w Sochach



Źródło: opracowanie własne

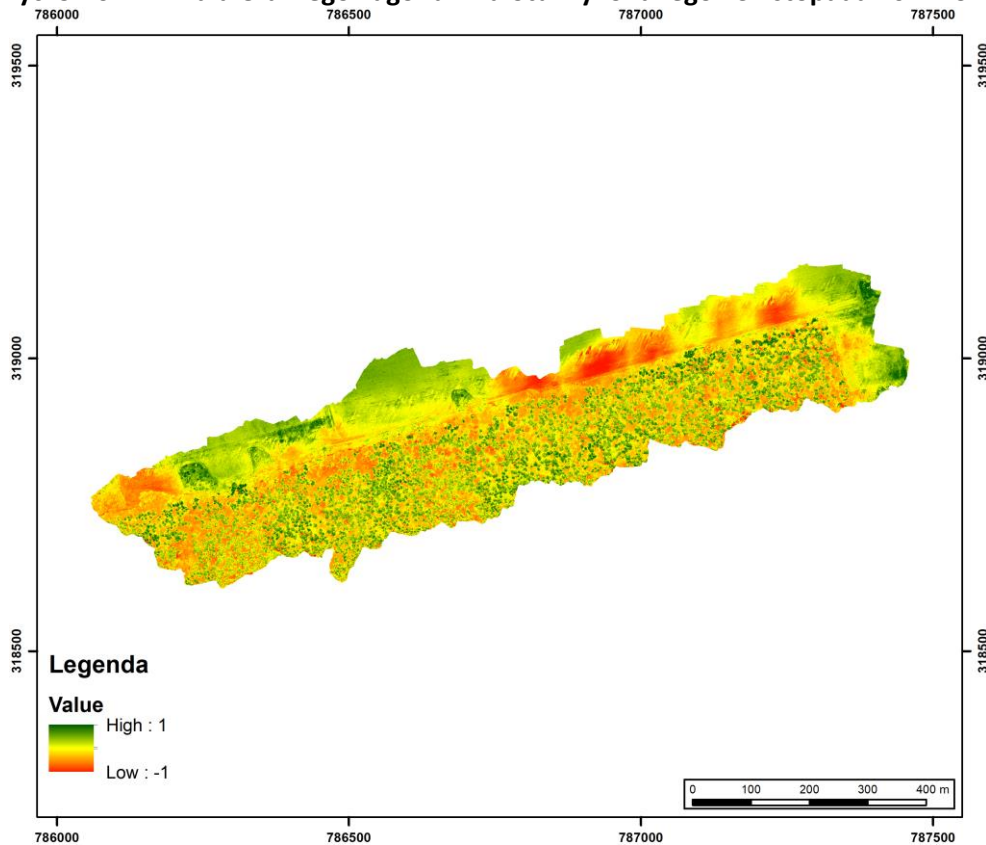
Czarny Zagon

Ryc. 9.25. Ortofotomapa Czarnego Zagonu na podstawie multispekralnego z nalogu wykonanego 23 listopada 2021 roku



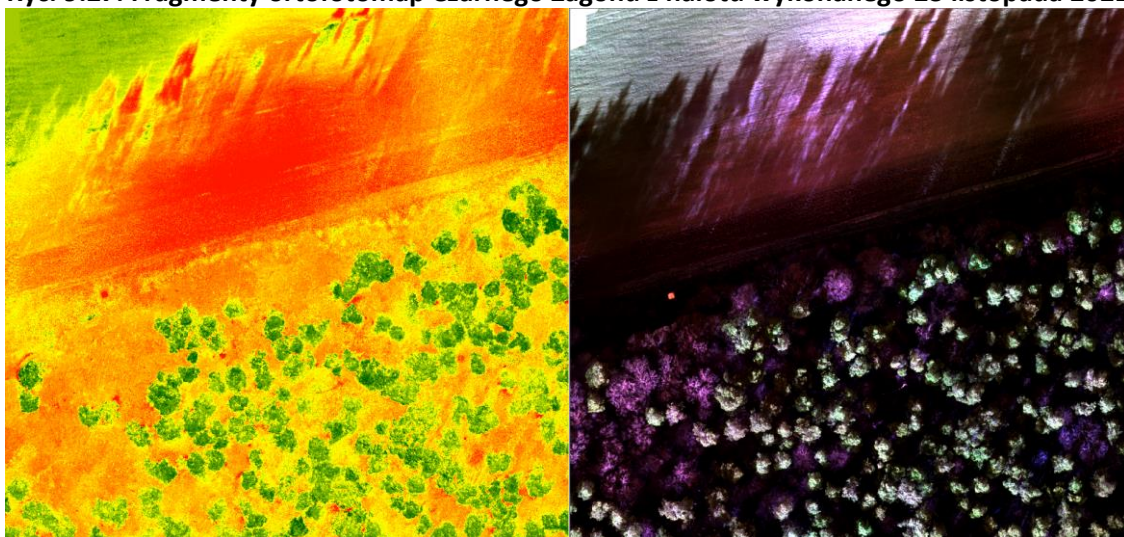
Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.26. NDVI dla Czarnego Zagonu z nalogu wykonanego 23 listopada 2021 roku



Źródło: opracowanie własne

Ryc. 9.27. Fragmenty ortofotomap Czarnego Zagonu z nalogu wykonanego 23 listopada 2021



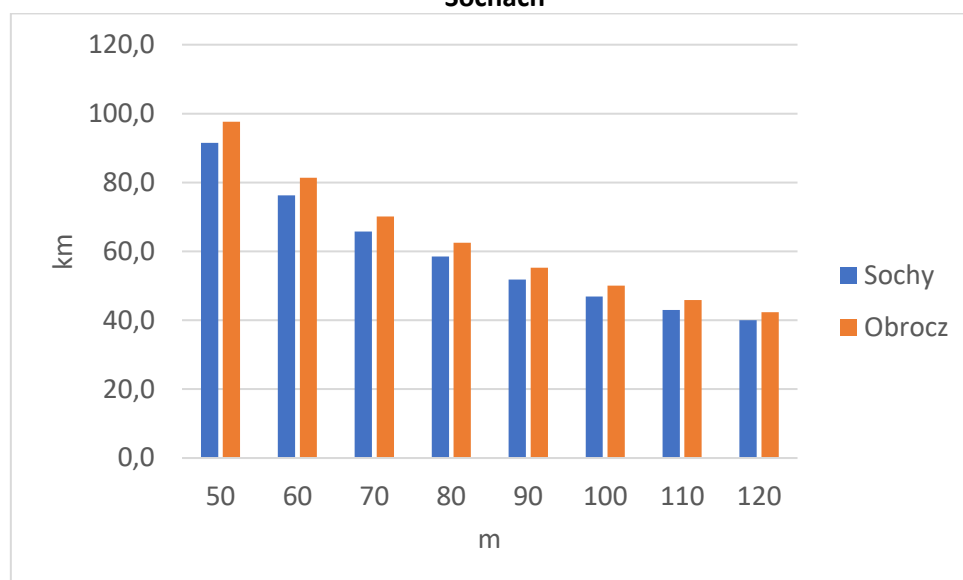
Źródło: opracowanie własne

Na przedstawionych fragmentach ortofotomapy Czarnego Zagonu (Ryc. 9.1) widoczny jest cień rzucany przez drzewa na sąsiadujące pole. Ma to odzwierciedlenie w wyniku

obliczenia wskaźnika NDVI w tym miejscu, gdzie widoczny jest wpływ cienia na zakłamanie wyniku. Wykonywanie nalołów powinno się wykonywać w czasie, gdy długość cienia jest najmniejsza.

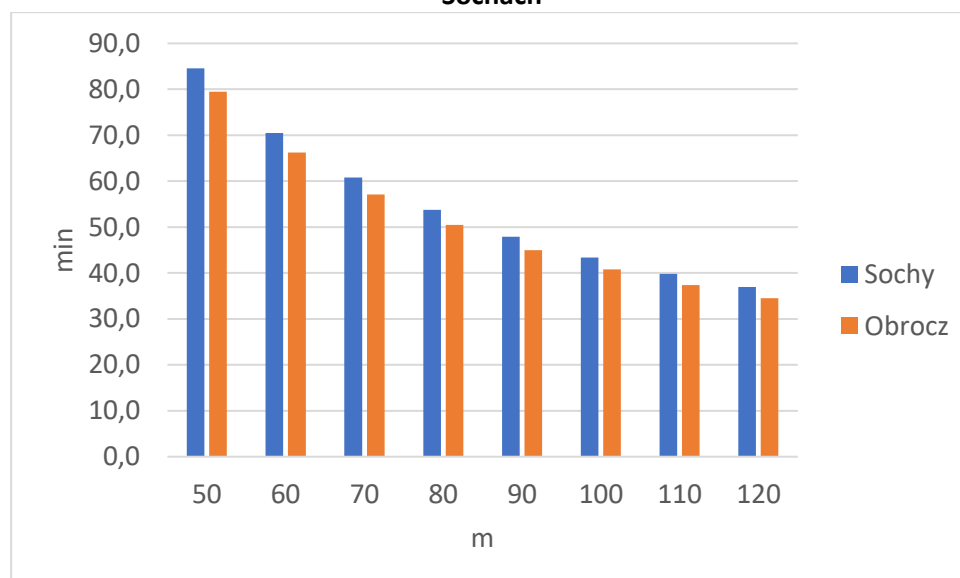
Wpływ wysokości nalołu

Wykres 9.7. Długość przelotu bezzałogowego statku powietrznego na tle wysokości w Obroczy i Sochach



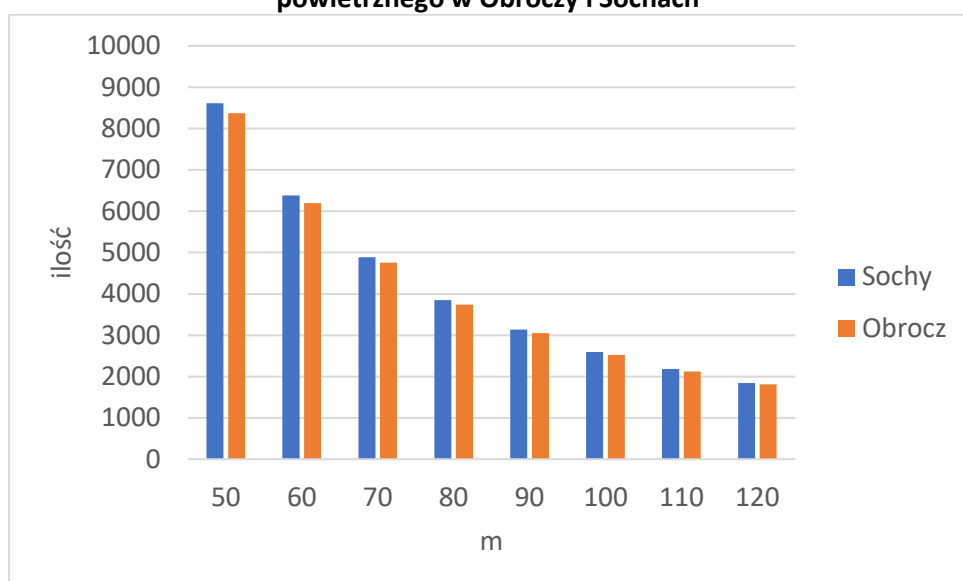
Źródło: opracowanie własne

Wykres 9.8. Czas lotu na tle wysokości przelotu bezzałogowego statku powietrznego w Obroczy i Sochach



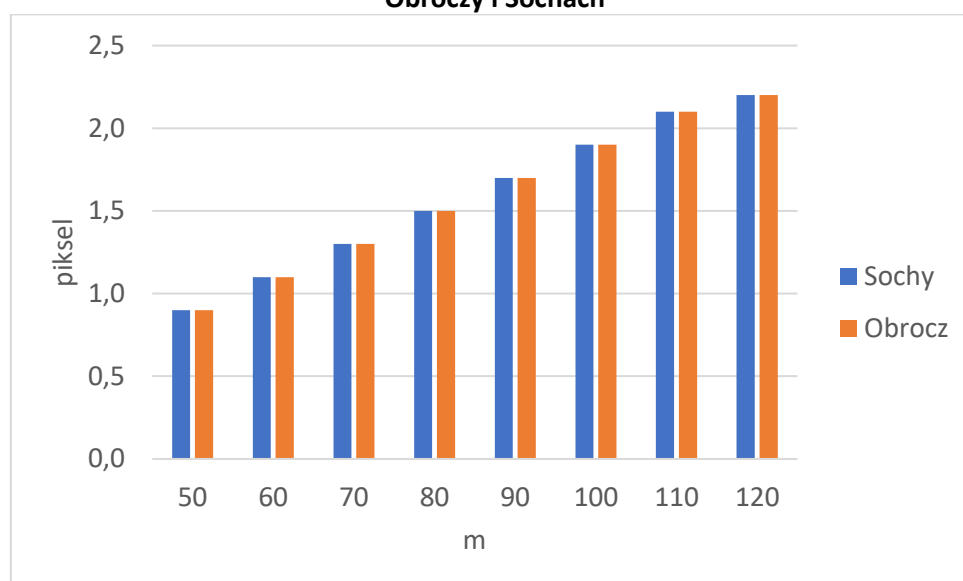
Źródło: opracowanie własne

Wykres 9.9. Liczba wykonywanych zdjęć na tle wysokości przelotu bezałogowego statku powietrznego w Obroczy i Sochach



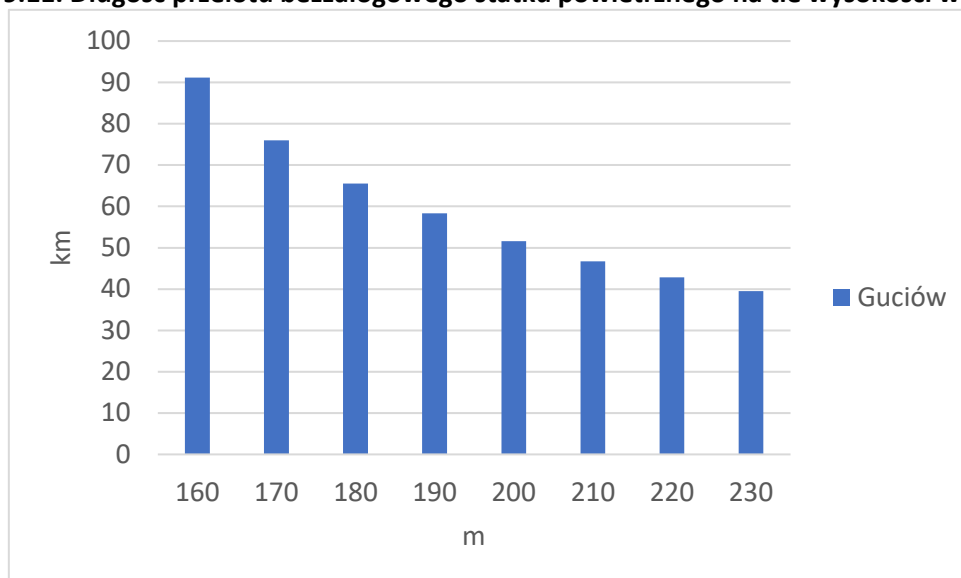
Źródło: opracowanie własne

Wykres 9.10. Rozmiar piksela na tle wysokości przelotu bezałogowego statku powietrznego w Obroczy i Sochach



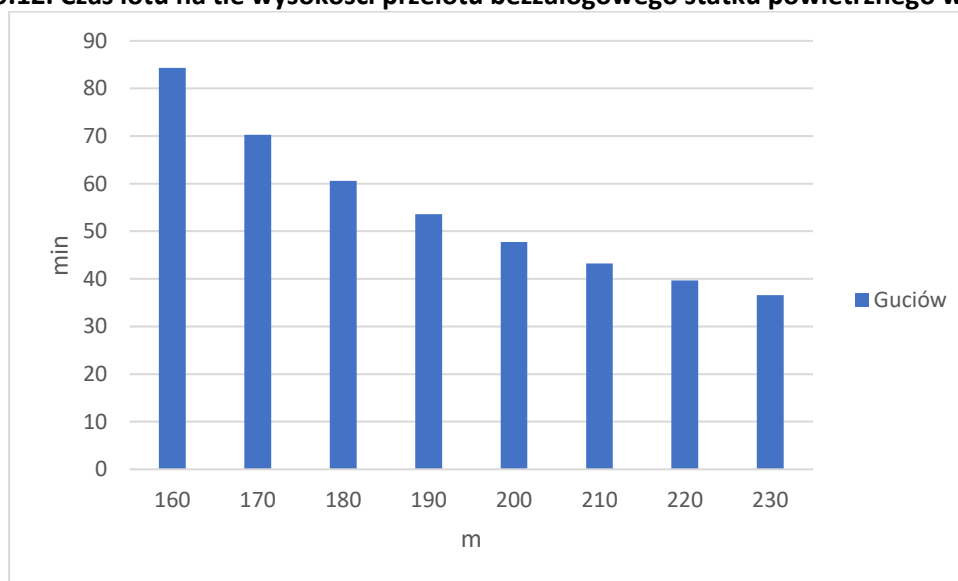
Źródło: opracowanie własne

Wykres 9.11. Długość przelotu bezzałogowego statku powietrznego na tle wysokości w Guciowie



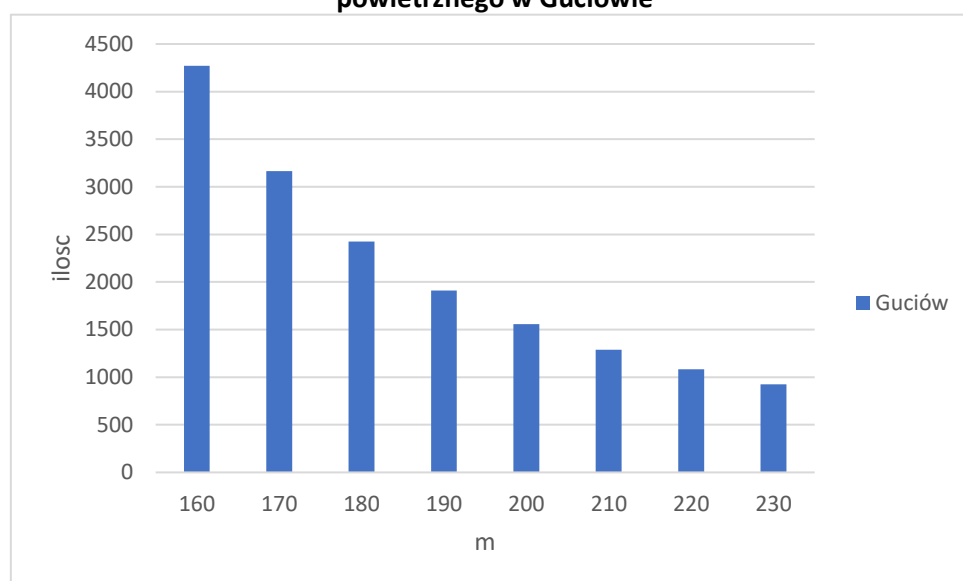
Źródło: opracowanie własne

Wykres 9.12. Czas lotu na tle wysokości przelotu bezzałogowego statku powietrznego w Guciowie



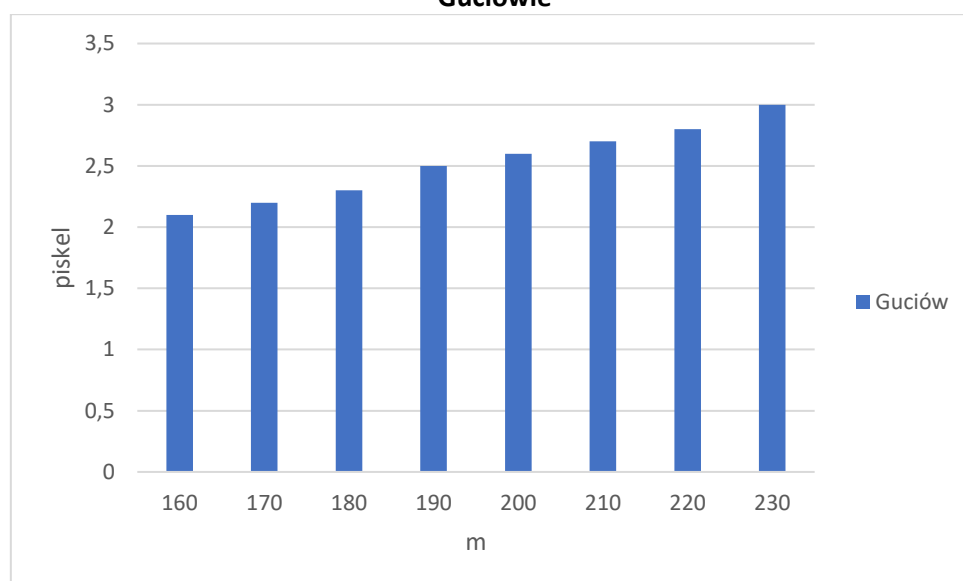
Źródło: opracowanie własne

Wykres 9.13. Liczba wykonywanych zdjęć na tle wysokości przelotu bezzałogowego statku powietrznego w Guciowie



Źródło: opracowanie własne

Wykres 9. 14. Rozmiar piksela na tle wysokości przelotu bezzałogowego statku powietrznego w Guciowie



Źródło: opracowanie własne

W przypadku Guciowa naloty były wykonywane na wyższym pułapie z powodu wysokich deniwelacji terenu, które stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa bezzałogowego statku powietrznego.

Podsumowanie

Widoczna analiza potwierdza postępującą ekspansję lasów na badanych obszarach. Dla każdego przypadku tempo sukcesji leśnej wyraźnie przyspieszyło w ostatnim dwudziestoleciu. Przedstawiona metoda może być pomocna w badaniu wtórnej sukcesji leśnej. Zobrazowania multispektralne umożliwiają badanie za pomocą wskaźnika wskaźników wegetacji stan rozwojowy oraz kondycję roślin. Należy dodać, że wykonywanie nalotów ma swoje ograniczenia co do okresu roku w jakim należy ich dokonywać. Najgorszym okresem do wykonywania zobrazowań multispektralnych jest okres zimowy przez brak wegetacji roślinności. Najlepszą porą do nalotów jest podczas najwyższego położenia słońca na niebie, co powoduje najkrótszą odległość padania cieni. Na podstawie doświadczeń można stwierdzić, że wykonywanie nalotów ma parę zależności. Są to:

- wraz z mniejszą wysokością wzrasta ilość wykonywanych zdjęć;
- wraz z mniejszą wysokością wzrasta długość przelotu bezzałogowego statku powietrznego;
- wraz z mniejszą wysokością wzrasta czas przelotu bezzałogowego statku powietrznego;
- wraz z mniejszą wysokością wzrasta rozdzielczość piksela.

Oprogramowanie Agisoft Photoscan do tworzenia ortofotomap jest proste w obsłudze oraz posiada intuicyjny interfejs, który pozwala na sprawne użytkowanie przy obróce danych.

Algorytm

Czynniki meteorologiczne wpływające na jakość pozyskiwanych danych teledetekcyjnych z niskiego pułapu (UAV):

1. Niska (poniżej 0°C) i wysoka (powyżej 25°C) temperatura powietrza nie wpływa znacznie na kondycję baterii litowo-jonowe, co nie przekłada się na długość wykonywanych misji (na podstawie własnych obserwacji).
2. Wykonywanie misji z użyciem stałopłatu przy prędkości wiatru powyżej 10 m/s (dane z serwisu ICM) nie pozwala na bezpieczne wykonywanie misji (na podstawie własnych obserwacji).
3. Miesiące z największą średnią sumą opadów atmosferycznych w RPN to maj do przełom czerwca i lipca, w PPN od maja do sierpnia (na podstawie analizy danych meteorologicznych).
4. Wykorzystywany stałopłat bez przeszkód wykonywał misję w deszczu lekkim (do 2,5 mm/h) i umiarkowanym (do 7,5 mm/h) (własne obserwacje).
5. Najlepsze warunki do wykonywania misji z użyciem UAV pod względem średniej prędkości wiatru nad obszarem PPN od pełni wiosny (maj) do wczesnej jesieni (koniec września) a nad obszarem RPN od wczesnej wiosny (połowa kwietnia) do jesieni (październik) (na podstawie analizy danych meteorologicznych).
6. Najgorsze warunki do wykonywania misji z użyciem UAV pod względem średniej prędkości wiatru nad obszarem PPN i RPN od jesieni (październik) do przedwiośnia (marzec).
7. Najlepsze warunki do wykonywania zdjęć z użyciem UAV pod względem zachmurzenia są w sytuacji stałych warunków zachmurzenia (pełne zachmurzenie lub jego brak) w trakcie wykonywania misji.
8. W sytuacji wykonywania misji nad jeziorami w słoneczne dni e tafli wody mogą odbijać się pojedyncze chmury.
9. Najdogodniejsze warunki na wykonywanie zdjęć z wykorzystaniem UAV mają miejsce podczas występowania chmur z piętra wysokiego (od 5-13 km) i niektórych chmur z piętra średniego (altostratus)(na podstawie własnych obserwacji).

10. Najdogodniejsze warunki na wykonywanie zdjęć z wykorzystaniem UAV pod względem liczby dni z opadem śniegu nad obszarem RPN od kwietnia do października a PPN od maja do września. Śnieg widoczny na zdjęciach multispektralnych uniemożliwia wykonanie analizy wegetacji.

Czynniki związane z intensywnością wegetacji wpływające na jakość pozyskiwanych danych teledetekcyjnych z niskiego pułapu (UAV):

1. Na obszarach PPN i RPN do połowy kwietnia (do około 25.IV) nie występują liście na drzewach.
2. W przypadku drzew iglastych najlepszym okres do monitorowania ich kondycji jest czas od połowy lutego do połowy kwietnia. Okres ten związany jest brakiem aktywności wegetacji w niskim piętrze lasu – runo leśne.
3. Najwyższe wartości współczynnika LAI występują od drugiej połowy czerwca do końca pierwszej połowy sierpnia.
4. Na podstawie wybranych gatunków roślin najlepszym okresem do monitoringu flory Poleskiego Parku Narodowego przypada na miesiące letnie (czerwiec, lipiec, sierpień). W przypadku Roztoczańskiego Parku Narodowego okres monitoringu jest rozmieszczony na przestrzeni niemal całego roku, pomijając jednak w większości miesiące zimowe.
5. Najbardziej odpowiedni czas na obserwacje roślin wyznaczono pod koniec lub w samym środku ich kwitnienia.
6. W celu monitoringu lasów oraz struktury runa leśnego, badania najlepiej przeprowadzać od połowy lutego, kiedy nie ma pokrywy śnieżnej, do pierwszej połowy kwietnia, gdyż nie występują jeszcze liście na drzewach.

Czynniki wpływające na reakcję ptaków w czasie wykonywania nalogów z niskiego pułapu (UAV):

1. Należy stosować platformy o napędzie elektrycznym - silniki elektryczne generują mniejszy hałas od silników spalinowych.

2. Drony wielowirnikowe wywołują najmniejsze zainteresowanie ptactwa ze względu na swój kształt, brak podobieństwa do jakiegokolwiek drapieżnika.
3. Jeśli sytuacja tego wymaga (np. ze względu na dużą przestrzeń objętą badaniem), należy stosować stałopłaty w jak najmniejszym stopniu przypominające sylwetkę ptaków drapieżnych.
4. Właściwe jest zachowanie największej możliwej wysokości nad powierzchnią terenu. Dla stałopłatów bezpieczna wysokość to ok. 80 - 90 m, natomiast dla wielowirnikowców – powyżej 60 m. W celu osiągnięcia kompromisu pomiędzy wysokością a jakością uzyskanego obrazu, można stosować teleobiektywy (o większej ogniskowej obiektywu).
5. Nie zaleca się gwałtownych zmian parametrów lotu, tj. prędkości i wysokości, co przypomina zachowanie ptaków drapieżnych podczas ataku. Najlepsze wyniki dają naloty z prędkością do 10 km/h z jak najniższym kątem opadania – nie należy wykonywać prostopadłego nalotu w kierunku obserwowanych osobników. Generalnie, miejsce startu powinno znajdować się nie bliżej niż 100 m od najbliższego siedliska ptaków lub zaobserwowanego osobnika.
6. Ze względu na brak wystarczających informacji nt. wpływu UAV na sukces lęgowy, warto dostosować termin nalotów do okresu lęgowego ptaków –szczególnie istotnych gatunków dla wybranego terenu. Zarówno dla Poleskiego i Roztoczańskiego Parku Narodowego, najbardziej wrażliwym terminem jest okres od kwietnia do sierpnia.
7. W celu uzyskania najlepszych wyników, naloty monitoringowe należy przeprowadzać przede wszystkim w stosunku do ptaków dużych i średnich oraz takich, które odznaczają się wysokim kontrastem w stosunku do otoczenia.

Parametry lotu stałopłatu wpływające na jakość pozyskiwanych danych teledetekcyjnych z niskiego pułapu (UAV):

1. Brak jest możliwości zmiany prędkości lotu w przypadku wykorzystywania stałopłatów. Prędkość lotu dostosowywana jest automatycznie do prędkości wiatru. Brak

możliwości zmiany prędkości lotu służy zapewnieniu optymalnych warunków do wykonywania zdjęć fotogrametrycznych.

2. Istnieje możliwość modyfikacji parametru wysokości lotu, którego zmiana niesie ze sobą skutki w postaci wpłynięcia na efektywność wykonywanego lotu. Zmiana pułapu lotu na niższy skutkuje znacznym zwiększeniem ilości wykonywanych zdjęć w trakcie przelotu. Co zaś następnie skutkuje szybszym zapełnieniem nośnika pamięci oraz wydłuża czas postprocessingu wszystkich zdjęć.
3. Modyfikacja parametru wysokości wpływa także bezpośrednio na czas jaki jest potrzebny do wykonania pełnego oblotu danego terenu, jak i równocześnie na odległość jaką musi pokonać BSP. Zwiększenie czasu lotu spowodowane obniżeniem pułapu wiąże się z wykorzystaniem większej ilości baterii na loty nad jednym terenem a co za tym idzie wyeliminowaniu potencjalnej możliwości wykonania nalotów nad innym terenem tego samego dnia.
4. Zmiany wysokości lotu wpływają pozytywnie na zmiany wielkości piksela powodując iż wykonywane zdjęcia są znacznie bardziej dokładne, jest to jednak dokonane kosztem negatywnego wpływu na inne elementy lotu, przez co loty na niższych wysokościach nad dużymi połaciami terenu stają się mało efektywne.
5. Geotagowanie zdjęć wpływa na jakość złożonej ortofotomapy , może spowodować, że obszar, który zostanie wygenerowany jest zniekształcony oraz nie posiada georeferencji. Przez to o wiele ciężiej jest wykorzystanie otrzymanych ortofotomap w programach GIS-owych. Wymagane jest przeprowadzenie czasochłonnej czynności georeferencji mapy. Brak geotagowania również wpływa negatywnie na długość obróbki danych.
6. Oprogramowanie – łatwość składania, itp. wymaga poświęcenia dużej ilości czasu na zapoznanie się z działaniem danego oprogramowania i jak również ze specjalistycznym słownictwem. Oprogramowanie wymaga mocnych parametrów odnośnie posiadanego komputera czy laptopa, w przeciwnym przypadku praca staje się bardzo czasochłonna w pracy nad obróbką czy analizą danych.

7. Najlepszą porą zdjęć na wykonywanie nalotów jest moment górowania słońca w ciągu dnia. Wtedy długość cieni jest najkrótsza co umożliwia lepszą jakość zdjęć i interpretacje wyników.