

Fotogrametryczny monitoring drzewostanu dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* Liebl.) w rezerwacie „Zimna Woda” w Rogowie

Paweł Szymański, Adam Robaszkiewicz, Krzysztof Będkowski, Michał Brach, Łukasz Kwaśny

Abstrakt. W pracy omówiono wyniki obserwacji wieloletnich zmian stanu zdrowotnego drzewostanu rezerwatu dębu bezszypułkowego *Quercus petraea* Liebl., do których wykorzystano zdjęcia lotnicze i inne materiały uzyskiwane w latach 1981–2013. Analizowano historię 339 dębów, których obecność została zarejestrowana w 1981 r. w wyniku pomiarów terenowych. Mimo dużej niejednorodności zdjęć, uzyskano wiarygodne informacje o stanie zdrowotnym drzew, co zostało potwierdzone wynikami obserwacji terenowych i teledetekcyjnych prowadzonych w kolejnych latach. Stwierdzono, że w okresie objętym badaniami, na skutek zamierania ubyło 38% drzew. Luki powstające po wypadających drzewach są wypełniane przez młodsze pokolenie, a w znacznie mniejszym stopniu przez korony sąsiednich drzew starszej generacji.

Słowa kluczowe: fotogrametria, teledetekcja, rezerwat, stan zdrowotny, dąb bezszypułkowy.

Abstract. **Photogrammetric monitoring of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) stand in the reserve “Zimna Woda” in Rogów.** The paper present the results of long term observations of health changes in the sessile oak *Quercus petraea* Liebl. reserve. To do this, the aerial photographs and other materials obtained in the years 1981–2013 were used. In 1981 first field survey of 339 oaks was realized. It was the reference for further observations. Despite the high heterogeneity of images, reliable information about the state of health of the trees, was confirmed by observations made in subsequent years. It was found that during the study, about 38% of the trees disappeared due to the decay. The gaps which appeared in the reserve are more often filled by the younger generation of trees than neighboring older generation.

Key words: photogrammetry, remote sensing, reserve, state of health, sessile oak.

Wstęp

Współczesne koncepcje prowadzenia gospodarki leśnej przyjmują jako zasadę konieczność jak najlepszego wykorzystania wiedzy o naturalnych procesach zachodzących w ekosystemach leśnych. Ze względu na duże przekształcenia lasów gospodarczych, które w zasadzie niemal w całości są wytworem pracy człowieka, jedynymi miejscami pozwalającymi prowadzić dłuższe

obserwacje naturalnych zmian szeroko rozumianego stanu lasów, mogą być parki narodowe oraz rezerваты przyrody.

Badania terenowe są pracochłonne i z tego powodu zwykle ograniczone do wybranych obiektów o niedużej powierzchni. Nie bez znaczenia jest także czynnik czasu – rezultaty zakładanych obecnie doświadczeń będą dostępne dopiero po wielu latach, a starsze doświadczenia są nieliczne i często nie wykonywano na nich obserwacji uwzględniających potrzeby i metodykę obecnych badań. Z tych powodów coraz częściej poszukuje się możliwości wykorzystania innych źródeł informacji, jakimi mogą być np. archiwalne zdjęcia lotnicze.

Zdjęcia lotnicze wykonywane są w naszym kraju na szerszą skalę od połowy lat 50. XX wieku. Początkowo były to zdjęcia analogowe, najpierw czarno-białe, a od lat 80. spotyka się również barwne (w barwach naturalnych lub spektrostrefowe). W 2007 r. zaczęto stosować kamery cyfrowe. XXI wiek przyniósł także nowe źródło informacji o terenie i znajdujących się na nim obiektach w postaci technologii skanowania laserowego.

Przydatność zdjęć lotniczych do pozyskiwania informacji o lasach została wykazana w licznych pracach badawczych i znalazła wyraz w stosowanych technologiach taksacji lasu, inwentaryzacji zapasu oraz oceny stanu zdrowotnego drzew i drzewostanów. Obserwacje prowadzone np. na potrzeby oceny stanu zdrowotnego najwcześniej dotyczyły gatunków iglastych, których znaczenie gospodarcze jest bardzo duże i u których zmiany chorobowe jest łatwiej zaobserwować niż u gatunków liściastych. Obserwacje te mogą dotyczyć nawet pojedynczych drzew w długim okresie, z wykorzystaniem metod stereoskopowych (Mausser 1990, Feldkötter i in. 1995, Heidingsfeld 1995). Zdjęcia lotnicze do oceny stanu zdrowotnego drzewostanów dębowych w Polsce po raz pierwszy zastosowano w 1987 r. (Barszczewski 1991). W inwentaryzacji zasobów drzewnych lasu (zapasu), dzięki możliwości wykonywania okresowych obserwacji tych samych drzew, można zwiększyć dokładność wyników lub znacznie zmniejszyć zakres prac terenowych (Gross i in. 1993). Wcześniej zwrócono także uwagę na możliwość prowadzenia za pomocą zdjęć lotniczych wieloletnich obserwacji stanu i zmian strukturalnych ekosystemów leśnych. Założono w tym celu specjalne archiwa wykonywanych cyklicznie zdjęć lotniczych, a zakres i szczegółowość prowadzonych obserwacji są bardzo duże. Münch (1994) opisuje np. wykorzystanie zdjęć lotniczych do badania relacji socjalnych, m.in. konkurencji między pojedynczymi drzewami w lesie mieszanym. Archiwalne zdjęcia lotnicze można wykorzystać w badaniach obiektów przyrodniczych do oceny zmian ich struktury przestrzennej, np. aby odtworzyć profil dokumentacyjny cenny po względem przyrodniczym miejsc (Będkowski i Górski 2007). Innym przykładem jest wykorzystanie wieloletnich materiałów do monitorowania zmian terenowych wynikających z przemieszczania się wydm nadmorskich (Michałowska i Głowienka 2007). Niezbędne jest przy takich obserwacjach usystematyzowanie podejścia do analiz, jak i integracja zgromadzonych danych. Monitoring wydm ma duże znaczenie w zachowaniu walorów przyrodniczych, np. parku narodowego, jak również w prawidłowym zaprojektowaniu obszarów z infrastrukturą przeznaczoną dla turystów (Zaczek-Peplińska 2003). Posiadając zobrazowania teledetekcyjne wykonane w dobrej rozdzielczości czasowej, z wykorzystaniem systemów rejestrujących o podobnych własnościach, jesteśmy w stanie określić dynamikę zasięgu gniazd kornikowych, przebieg sukcesji na terenie wylesień, wiatrołomów, wiatrowałów, lawinisk oraz możemy określić np. górną granicę lasu (Wężyk i Wrzodak 2005). O znaczeniu zdjęć lotniczych w takich badaniach świadczy także fakt opracowania przez specjalną grupę badawczą zajmującą się problemami interpretacji lasów – Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpretoren – kluczy interpretacyjnych służących do oceny struktury przestrzennej i bioróżnorodności lasów (Kleinschmit i Kenneweg 2004).

Cel i obiekt badań

Celem badań jest określenie stanu zdrowotnego drzew należących do tzw. pokolenia starszego drzewostanu i dynamiki jego zmian w rezerwacie „Zimna Woda” w ciągu ostatnich 32 lat. Uzyskane wyniki są punktem wyjścia do dalszych zaplanowanych badań dotyczących: (1) przebiegu naturalnych procesów rozwoju drzewostanu dębowego, (2) przyczyn postępujących zmian, (3) wzajemnego oddziaływania na siebie poszczególnych drzew, (4) skuteczności przyjętej i realizowanej w rezerwacie formy ochrony, (5) sposobu wykorzystania materiałów i metod geomatycznych do analizy struktury drzewostanów.

Tab. 1. Wykorzystane w badaniach materiały źródłowe, sposób ich opracowania oraz rodzaj uzyskanych informacji

Table 1. Source materials used, their processing and type of informations received

Rok	Rodzaj materiałów źródłowych	Sposób opracowania	Uzyskane informacje
1981	Geodezyjna inwentaryzacja terenowa	Pomiar tachimetryczny położenia drzew w drzewostanie	Współrzędne XYZ podstaw 651 drzew oraz wysokość 200 drzew
1986	Zdjęcia lotnicze czarno-białe, analogowe, wykonane w skali 1:10000	Interpretacja stanu drzew z wykorzystaniem modelu stereoskopowego	Klasyfikacja drzew do 4 klas (1 – zdrowe, 2 – zamierające, 3 – martwe, 4 – luki)
1996	Zdjęcia lotnicze w barwach naturalnych, analogowe, wykonane w skali 1:26000	jw.	jw.
2004	Zdjęcia lotnicze czarno-białe (kanał podczerwieni), analogowe, wykonane w skali 1:16000	jw.	jw.
2007	Numeryczny model wysokości drzewostanu opracowany na podstawie danych skanowania laserowego LIDAR	Interpretacja zwarcia strefy koron – detekcja luk w drzewostanie	Identyfikacja drzew, po których pozostały luki
2007	Zdjęcia lotnicze cyfrowe (kompozycja kanałów zielonego, czerwonego i podczerwieni, przypominająca zdjęcia spektrostrefowe), w rozdzielczości 15 cm	Interpretacja stanu drzew z wykorzystaniem modelu stereoskopowego	Klasyfikacja drzew do 4 klas (1 – zdrowe, 2 – zamierające, 3 – martwe, 4 – luki)
2010	Ortomozajka złożona ze zdjęć w barwach naturalnych uzyskanych za pomocą bezzałogowego statku powietrznego (rozdzielczość 10 cm)	Interpretacja stanu drzew na wyświetlonej ortomozajce	jw.
2013	Zdjęcia w barwach naturalnych uzyskane za pomocą bezzałogowego statku powietrznego (różnej rozdzielczości)	Interpretacja stanu drzew na pojedynczych zdjęciach	jw.

Rezerwat „Zimna Woda“ znajduje się na terenie uroczyska o tej samej nazwie w Leśnictwie Strzelna, Nadleśnictwa Rogów, które wchodzi w skład Leśnego Zakładu Doświadczalnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Utworzony został na mocy zarządzenia Ministra Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego z dnia 12 maja 1954 r. w celu zachowania, ze

względów naukowych i dydaktycznych, fragmentu lasu sosnowo-dębowego z dębem bezszypułkowym (*Quercus petraea* Liebl.) o cechach zespołu naturalnego, typowego dla lasów w tej części kraju. Rezerwat obejmuje obszar o łącznej powierzchni 5,83 ha.

W momencie utworzenia rezerwatu drzewa w drzewostanie rosły w luźnym zwarciu, co tłumaczy się wycięciem w przeszłości drzew o lepszej jakości. Inwentaryzacje terenowe z lat 1952, 1965, 1977 i 1994 (Zielony 1994) wykazały, że w rezerwacie ukształtował się drzewostan dwugeneracyjny, obecnie w fazie terminalnej późnej (Miścicki 1994). Pokolenie starsze to drzewa będące głównym przedmiotem ustanowionej ochrony. Pod nim oraz w lukach pojawiło się młode pokolenie, które obecnie osiągnęło wysokość drzew pokolenia starszego.

Rezerwat był obiektem licznych badań. Wyniki zachowały się w postaci dokumentacji lub prac opublikowanych w czasopismach naukowych (Zelicho 1934, Gutowski 1952, Zaręba 1965, 1968, 1979, Zielony 1994, Będkowski 2005, 2007). Dla rezerwatu wykonano zdjęcia lotnicze w latach: 1957, 1973, 1986, 1996, 2004, 2007, 2010, 2013, a w 1981 r. przeprowadzono szczegółową geodezyjną inwentaryzację terenową. W 2007 r. wykonano lotnicze skanowanie laserowe (tab. 1). Od roku 2006 w bezpośrednim sąsiedztwie Rezerwatu funkcjonuje osnowa geodezyjna pozwalająca na uszczegóławianie pomiarów drzew z zastosowaniem kombinowanej metody inwentaryzacji (Brach 2009). Obecność tak bogatego materiału stwarza możliwość prowadzenia wieloletnich obserwacji stanu i zmian drzewostanu w rezerwacie.

Metodyka badań

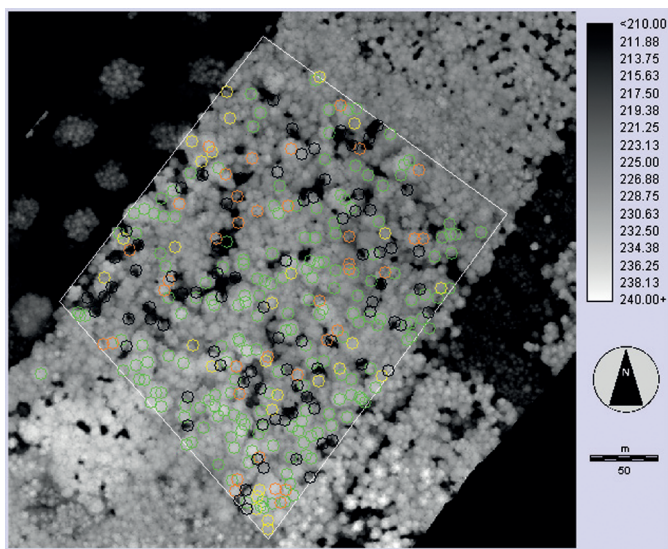
Najważniejszym materiałem wyjściowym w niniejszych badaniach są wyniki pomiarów geodezyjnych z 1981 r., opracowane przez Stankiewicza (1983). Na ich podstawie powstała dokładna mapa rezerwatu w skali 1:500, na której oznaczono położenie drzew o pierśnicy powyżej 24 cm. Pomiarom objęto wówczas drzewa wszystkich gatunków występujących w rezerwacie – wyznaczono współrzędne X, Y, Z podstaw pni 678 drzew. Dodatkowo zmierzono wysokość 200 drzew. W tej grupie znalazło się 438 dębów, z których 339 należało do starszej generacji drzewostanu. W dokumentacji brak jest niestety informacji o ich stanie zdrowotnym.

Pozyskiwane w latach 1986–2013 zdjęcia lotnicze i inne dane wykorzystano do obserwacji stanu i losów drzew należących do starszej generacji drzewostanu, które są podstawowym obiektem ustanowionej w 1956 r. ochrony. Materiały fotogrametryczne były bardzo różnorodne i charakteryzowały się tym samym istotnie różną przydatnością do obserwacji stanu zdrowotnego drzew. Znaczenie miały przede wszystkim rodzaj zdjęć (czarno-białe, barwne: w barwach naturalnych, spektrostrefowe) oraz ich skala (lub rozdzielczość przestrzenna – w przypadku zdjęć cyfrowych), a także pora wykonania w sezonie wegetacyjnym. Obserwacje stanu drzew na zdjęciach z lat 1986–2007 prowadzono z wykorzystaniem efektu stereoskopowego. Zdjęcia późniejsze wykonane z bezałogowego statku powietrznego, były dostępne w postaci ortomozaiki (2010 r.) lub oryginalnych zdjęć (2013 r.). Wszystkie materiały przeliczono do tego samego układu współrzędnych. Dzięki temu możliwe było wprowadzenie do modeli stereoskopowych oraz na ortomozaiki i zdjęcia, punktów pokazujących położenie drzew pomierzonych w 1981 r. (ryc. 1).

Stan zdrowotny drzew zidentyfikowanych na materiałach lotnicznych określano na podstawie oceny aparatu asymilacyjnego (stopnia defoliacji koron) i jego barwy (oczywiście tylko na zdjęciach w barwach naturalnych lub spektrostrefowych). Zupełnie inny charakter mają dane skanowania laserowego z 2007 r. Dostępne w postaci numerycznego modelu pokrycia terenu (ryc. 1), umożliwiają jedynie rozpoznanie koron drzew i luk po drzewach wypadłych. Są zatem

materiałem pomocniczym do kompozycji barwnych wykonanych z wykorzystaniem zdjęć cyfrowych uzyskanych w tym samym roku.

Drzewa zaliczono do czterech kategorii: 1 – zdrowe, 2 – z objawami chorobowymi, 3 – martwe, 4 – luki. Kategorię luk wprowadzono dla zasygnalizowania sytuacji, gdy na zdjęciu lotniczym nie można było rozpoznać stojącego drzewa martwego lub jego pozostałości, a jedynym po nim śladem była wyraźna przerwa w okapie drzewostanu. Istotnym elementem metodyki była zasada nieuwzględniania wyników z poprzednich lat, co oznacza, że klasyfikację prowadzono za każdym razem od nowa i dotyczyła ona zawsze 339 drzew.



Ryc. 1. Rozmieszczenie dębów (2013 r.): zdrowych (zielone), zamierających (żółte), martwych (czerwone) i luk po drzewach (czarne) na tle znormalizowanego modelu pokrycia terenu nDSM (2007 r.) opracowanego z wykorzystaniem danych skanowania laserowego

Fig. 1. Distribution of oaks (2013): healthy (green), dying (yellow), dead (red) and gaps (black) on a normalized digital surface model nDSM (2007) developed with the use of laser scanner data

Wyniki

Obraz zmian stanu zdrowotnego drzewostanu przedstawiono w tab. 2. Jak wspomniano, nie jest znany stan zdrowotny drzew, które były pomierzone w 1981 r. Spośród nich na podstawie zdjęć z 1986 r. tylko 285 zaliczono do klasy zdrowych, natomiast 45 do zamierających, a 3 do martwych. Stwierdzono także obecność 6 luk po drzewach. W roku wykonania następnych zdjęć (1996) z 285 drzew zaliczonych uprzednio do zdrowych, 247 nie zmieniło kategorii, 2 zaliczono do klasy zamierających, a po 36 pozostały wyłącznie luki. Z 45 drzew zaliczonych w 1986 r. do zamierających, 29 zaliczono w 1996 r. do klasy zdrowych (poprawa stanu), 9 nie zmieniło kategorii, 2 uznano za martwe, a po 5 drzewach pozostały tylko luki. W miejscu trzech drzew zaklasyfikowanych w 1986 r. jako martwe w 1996 r. były już tylko luki, natomiast w miejscu

6 luk znalaziono jedno drzewo zdrowe i 5 luk. Podobne analizy można przeprowadzić na podstawie tab. 2 dla okresów 1996–2004, 2004–2007, 2007–2010, 2010–2013.

Tab. 2. Zmiany kategorii zdrowotnej drzew w latach 1981–2013 (strzałki oznaczają kierunek analizy)
Table 2. Changes in the trees health category in the years 1981–2013 (arrows indicate the direction of the analysis)

DATY		← 1981 r.			
↓	KOD	1	2	3	4
1986 r.	1	285			
	2	45			
	3	3			
	4	6			

DATY		← 2004 r.			
↓	KOD	1	2	3	4
2007 r.	1	180	7	1	3
	2	34	4		
	3	8	6	2	18
	4	3	5	4	64

DATY		← 1986 r.			
↓	KOD	1	2	3	4
1996 r.	1	247	29		1
	2	2	9		
	3		2		
	4	36	5	3	5

DATY		← 2007 r.			
↓	KOD	1	2	3	4
2010 r.	1	170	18	1	1
	2	16	10	1	1
	3	5	10	21	
	4			11	74

DATY		← 1996 r.			
↓	KOD	1	2	3	4
2004 r.	1	218	3		4
	2	19	2		1
	3	6	1		
	4	34	5	2	44

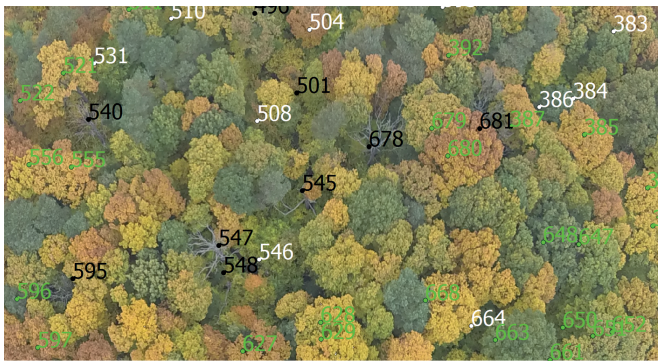
DATY		← 2010 r.			
↓	KOD	1	2	3	4
2013 r.	1	181	15		1
	2	5	4	1	1
	3	1	6	31	11
	4	3	3	4	72

Syntetyczny obraz zmian przedstawiono w tab. 3. W analizowanym okresie około 130 drzew przeszło z grupy drzew zdrowych i zamierających do grupy drzew martwych i luk po drzewach. Należy zauważyć, że stosunkowo duże ubytki liczby drzew zdrowych zaobserwowano pomiędzy latami 1996–2004 oraz 2004–2007. Od 2007 r. ustabilizowała się liczba drzew zdrowych oraz liczba luk. Pogarszał się natomiast stan drzew zamierających – przechodziły do klasy drzew martwych.

Tab. 3. Stan zdrowotny drzew drzewostanu starszej generacji, tj. drzew o pierśnicach ≥ 41 cm (w 1981 r.); liczbę drzew ustalono w wyniku interpretacji materiałów teledetekcyjnych
Table 3. Health condition of older generation forest stand, i.e. the oaks with BHD ≥ 41 cm (in 1981); the number of trees was determined by the interpretation of remote sensing materials

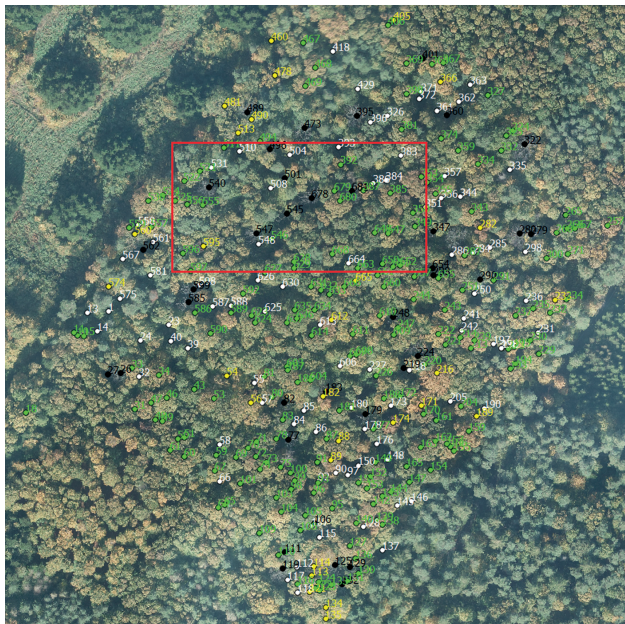
Kod	Stan zdrowotny drzew	Inwentaryzacja terenowa	Zdjęcia lotnicze czarno-białe	Zdjęcia lotnicze w barwach naturalnych	Zdjęcia lotnicze czarno-białe (kanał podzerwieni)	Skanowanie laserowe	Zdjęcia lotnicze spektroskrofowe	Ortomosaika zdjęć z bezzałogowego statku powietrznego	Nieprzetworzone zdjęcia z bezzałogowego statku powietrznego
			BW	NC	MS	LIDAR*)	CIR	UAV NC (orto)	UAV NC
		1981	1986	1996	2004	2007	2007	2010	2013
1	Zdrowe	339	285	277	225	?	191	190	197
2	Zamierające		45	11	22	?	38	28	11
3	Martwe		3	2	7	?	34	36	49
4	Luki w drzewostanie		6	49	85	80	76	85	82
	Razem	339	339	339	339	339	339	339	339

*) Za pomocą danych skanowania laserowego LIDAR można wykrywać wyłącznie luki (zmiany struktury wysokościowej drzewostanu)



Ryc. 2. Odzworowanie koron dębów na zdjęciu pozyskanym za pomocą bezzałogowego statku powietrznego (stan w październiku 2013 r.); kolory: zielony – zdrowe (kod 1), czarny – martwe (kod 3), białe – luka (kod 4) (fot. P. Szymański)

*Fig. 2. Crowns of sessile oak trees (*Quercus petraea* Liebl.) (as in October 2013 r.) on an image acquired by unmanned aerial vehicle; colors: green – healthy (code 1), black – dead (code 3), white – gap (code 4)*



Ryc. 3. Rozmieszczenie dębów (stan w 2010 r.) na ortomozaice wykonanej za pomocą zdjęć uzyskanych z bezzałogowego statku powietrznego; kolory: zielony – zdrowe (kod 1), żółty – zamierające (kod 2), czarny – martwe (kod 3), białe – luka (kod 4); czerwona ramka oznacza obszar pokazany na ryc. 2

Fig. 3. Distribution of oaks (as in 2010) on an orthomosaic made by an unmanned aerial vehicle; colors: green – healthy (code 1), yellow – dying (code 2), black – dead (code 3), white – gap (code 4); red frame means the area shown in fig. 2

Podczas wykonywania obserwacji na zdjęciach stwierdzono, że drzewa sąsiadujące z drzewami martwymi nie wykazują wyraźnej reakcji przyrostowej, tj. nie rozbudowują swoich koron w celu wykorzystania zwolnionej przestrzeni. Wypełnianie się luk wynika natomiast ze wzrostu młodego pokolenia. Drzewa zamierające i martwe tworzą skupiska (ryc. 3), co sugeruje, że przyczyną ich wypadania z drzewostanu mogą być czynniki działające ogniskowo, np. choroby powodowane przez grzyby infekujące system korzeniowy drzew. Należy zauważyć także, że drzewa nienależące do analizowanej grupy 339 drzew starszej generacji zasadniczo nie zmieniły swojego stanu zdrowotnego – pozostawały w klasie drzew zdrowych.

Dyskusja wyników

Wykorzystane w badaniach materiały charakteryzowały się różną przydatnością do analizy historii poszczególnych drzew. Wynika to z własności samych zdjęć (rodzaj, skala, rozdzielczość przestrzenna, jakość fotograficzna) oraz pory dnia i roku, w których zdjęcia były wykonane. Najlepszymi do określania stanu zdrowotnego drzew były zdjęcia cyfrowe wykonywane od 2007 r. Pogorszenie się stanu drzew jest widoczne w postaci rozrzedzenia koron i zmiany ich barwy. Zdjęcia z 2007 r. umożliwiły także ujawnienie pozostałości wielu drzew martwych w lukach, wcześniej niewidocznych – wskazują na to wyniki klasyfikacji pojedynczych drzew w latach 2004 i 2007. Dane skanowania laserowego (2007 r.) ułatwiają detekcję koron drzew i luk w drzewostanie (ryc. 1). Mimo bardzo dużego zróżnicowania posiadanego materiału wykonana ocena wydaje się dobrze odzwierciedlać zmiany stanu drzew w latach 1986–2013.

Logiczne zmiany stanu poszczególnych drzew w drzewostanie wyrażają się ich przechodzeniem kolejno od kategorii 1 do 4 (tab. 2). Możliwe jest także poprawienie kondycji (przejście z kat. 2 do 1), natomiast inne zmiany klasyfikacji są efektem błędów wynikających z trudności przyporządkowania koron drzew do punktów reprezentujących poszczególne drzewa według pomiarów z 1981 r. Trudności te wynikają z radialnych przesunięć obiektów odwzorowanych w rzucie środkowym, w jakim są wykonane zdjęcia, ponadto zdjęcia z różnych lat wykonano z innych punktów w przestrzeni, sam proces przygotowywania zdjęć do obserwacji stereoskopowej charakteryzuje się określoną dokładnością, a obiekt zmienia się na skutek wzrostu wszystkich drzew. Część drzew jest pochylonych, więc ich podstawy mogą być poza rzutami koron. Nie można także wykluczyć ewentualnych błędów na mapie rezerwatu z 1981 r. Pewien wpływ na integralność spostrzeżeń mógł mieć fakt, że monitoring stanu zdrowotnego był prowadzony przez dwóch obserwatorów. Ponadto szczególnie trudną była interpretacja stanu drzew na zdjęciach wykonanych w okresach jesiennych (2010, 2013), gdyż zmiany fizjologicznego stanu drzew, wynikające z ich przygotowywania się do okresu zimowego, mogły zacierać obraz objawów chorobowych. Mimo tych trudności jedynie niewielka liczba obserwacji może być uznanych za błędne lub wątpliwe.

Zmiany, które były widoczne w koronach drzewach, w większości przypadków pozwalały na stwierdzenie rozpoczęcia procesu prowadzącego do zamierania drzew. Niekiedy były to krótkotrwałe i odwracalne przypadki, jednak zwykle zaobserwowane przebarwienia aparatu asymilacyjnego zwiastowały przyszłą zmianę kategorii zdrowotnej. Drzewa klasyfikowane jako zamierające, w niedługim czasie szybciej gubiły liście niż inne osobniki, przerzedzały koronę i na końcu stawały się martwe. Były to obserwacje z kilku okresów badawczych. Zmiany w rezerwacie miały niejednokrotnie charakter dynamiczny. Dane drzewo już w następnym rejestrowanym okresie mogło być martwe, a w kolejnym pozostała po nim tylko luka. Zaobserwowano,

że mimo powstałej luki drzewa sąsiadujące nie próbują wykorzystać nowej przestrzeni do powiększenia swojej korony, a co za tym idzie – powierzchni asymilacyjnej. Drzewa te nie posiadają już dużej siły witalnej, dlatego ustępują miejsca nowemu pokoleniu dębów.

W stosunkowo krótkim czasie w rezerwacie „Zimna Woda” ubyłoby ok. 1/3 drzew będących głównym przedmiotem ochrony. Tempo zamierania jest więc znaczne (ok. 5 drzew na rok). Stan drzew starszej generacji pogorszył się szczególnie w latach 2010–2013. Mimo to pozostało ich jeszcze ok. 210, w tym 190 w dobrej kondycji. Dopiero w 2013 r. zaobserwowano zamieranie dębów należących do młodej generacji (2 przypadki).

Dla zwiększenia wiarygodności wykonanych obserwacji warto dokonać weryfikacji posiadanych materiałów kartograficznych poprzez wykonanie dokładnych pomiarów geodezyjnych w terenie. Należy równolegle gromadzić cyklicznie materiały teledetekcyjne, tak aby zachować ciągłość obserwacji, a tym samym wzbogacać rozdzielczość czasową posiadanych materiałów. Wskazaniem jest także podjęcie studiów nad bezpośrednimi przyczynami zamierania dębów.

Literatura

- Barszczewski W. 1991. Próba oceny zdrowotnego stanu drzewostanów dębowych w Nadleśnictwie Krotoszyn w oparciu o spektrostrefowe zdjęcia lotnicze. Symposium Naukowe „60-lecie Polskiego Towarzystwa Fotogrametrycznego”, Warszawa 22–24 maja, cz. III: 7–12.
- Będkowski K. 2005. Fotogrametryczna metoda oceny stanu i zmian wysokościowej struktury warstwy koron w drzewostanach. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Będkowski K. 2008. Zmiany struktury przestrzennej drzewostanu dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* Liebl.) rezerwatu „Zimna Woda” w latach 1957–2007 w świetle pomiarów fotogrametrycznych. [W:] Mazur S., Tracz H. (red.), VIII Symposium Ochrony Ekosystemów Leśnych „Zagrożenia ekosystemów leśnych przez człowieka. Rozpoznanie – monitoring – przeciwdziałanie”, Rogów 15–17 listopada 2007 r. Wyd. SGGW, Warszawa: 335–343.
- Będkowski K., Górski D. 2007. Wykorzystanie archiwalnych zdjęć lotniczych do odtworzenia profilu dokumentacyjnego w rezerwacie przyrody „Cisy Staropolskie im. Leona Wyczółkowskiego” w Wierchlesie. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 17A: 23–32.
- Brach M. 2009. Pomiar położenia środka drzewa z wykorzystaniem tachimetru elektronicznego. *Sylvan* 153 (4): 231–239.
- Feldkötter C., Henjes M., Lucaschewski I. 1995. Analytische Auswertung einer CIR–Luftbildzeitreihe zum Nachweis von Veränderungen der Vitalitäts– und Wachstumsparameter eines Fichten–Kalkungsversuchs. [in:] Beisch T., Akça A., Komp K.U.: *Fernerkundung und Geo–Informationssysteme in der Ökologie der Landoberfläche*, Göttingen: 49–62.
- Głownienka E, Michałowska K. 2007. Możliwość monitorowania zmian środowiska z użyciem narzędzi GIS na przykładzie Słowińskiego Parku Narodowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 17A: 241–249.
- Gross C.P., Münch D., Duvenhorst J. 1993. Monitoring als Inventuraufgabe in der Forstwirtschaft. *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung* 6: 223–229.
- Gutowski J. 1952. Rezerwaty dębowy i jodłowy w lasach Rogowa ze stanowiska fitosocjologii. Zakład Botaniki Leśnej, SGGW w Warszawie (maszynopis).

- Heidingsfeld N. 1995. Verbesserte Einsatzmöglichkeiten von Luftbildern bei der Waldzustandserhebungen. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 2: 88–90.
- Kleinschmit B., Kenneweg H. 2004. Unbestechlich objektiv. Auf den Spuren von Strukturen im Wald. *GeoBit* 1/2: 20–22.
- Mausser H. 1990. Analytische Stereoauswertegeräte bei der Kronenzustandserhebung. *Österreichische Forstzeitung* 12: 39–41.
- Michałowska K., Głowienka E. 2007. Integracja i przetwarzanie danych wieloczasowych w środowisku GIS. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 17B: 485–494.
- Miścicki S. 1994. Naturalne fazy rozwojowe drzewostanów – podstawa taksacji leśnych rezerwatów przyrody. *Sylvan* 4: 29–39.
- Münch D. 1994. Struktur- und Entwicklungsanalysen in Naturwaldreservaten aus Luftbildzeitreihen. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 11: 594–597.
- Stankiewicz W. 1983. Mapa numeryczna rezerwatu „Zimna Woda”. Katedra Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej, SGGW w Warszawie (maszynopis).
- Wężyk P., Wrzodak J. 2005. Integracja technik geomatycznych w badaniach przyrodniczych na przykładzie kartowania szaty roślinnej tatr Wysokich. *Roczniki Geomatyki, T. III, z. 4*: 208–220.
- Zaczek-Peplińska J. 2003. Rozwój metod prezentacji wyników monitorowania ruchu wydym (na przykładzie Mierzei Iębskiej). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 13A: 285–292.
- Zaręba R. 1965. Plan gospodarczy rezerwatu częściowego „Zimna Woda” na okres gospodarczy od 1.IX.1966 do 30.IX.1975 r. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Leśny Zakład Doświadczalny w Rogowie.
- Zaręba R. 1968. Rezerwaty Zimna Woda i Doliska w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie. *Zeszyty Naukowe SGGW, Leśnictwo* 10: 55–73.
- Zaręba R. 1979. Plan gospodarczy rezerwatu częściowego „Zimna Woda” na okres gospodarczy od 1.I.1980 do 31.XII.1989 r. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Leśny Zakład Doświadczalny w Rogowie.
- Zelicho J.T. 1934. Badania nad dębem szypułkowym w leśnictwie Rogów – Strzelna. Katedra Hodowli Lasu SGGW (maszynopis).
- Zielony R. 1994. Plan ochrony częściowego rezerwatu przyrody Zimna Woda na okres 1995.01.01–2009.12.31. Leśny Zakład Doświadczalny Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Nadleśnictwo Rogów.

**Paweł Szymański, Adam Robaszekiewicz, Krzysztof Będkowski,
Michał Brach, Łukasz Kwaśny**

Katedra Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa,
Wydział Leśny Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
p.szymanski@wl.sggw.pl
adam.robaszekiewicz@o2.pl
krzysztof.bedkowski@wl.sggw.pl
michal.brach@wl.sggw.pl
lukasz.kwasny@wl.sggw.pl