

**WYKORZYSTANIE ARCHIWALNYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH
DO ODTWORZENIA PROFILU DOKUMENTACYJNEGO W REZERWACIE
PRZYRODY „CISY STAROPOLSKIE IM. LEONA WYCZÓLKOWSKIEGO”
W WIERZCHLESIE**

**USE OF ARCHIVE AERIAL PHOTOGRAPHS FOR RECONSTRUCTING
DOCUMENTARY PROFILE IN LEON WYCZOLKOWSKI NATURE RESERVE
OF THE OLD POLISH YEWS, WIERZCHLAS**

Krzysztof Będkowski, Dariusz Górski

Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria, struktura, drzewostan, rezerwat, cis

STRESZCZENIE: W latach 1957-1958 na terenie rezerwatu przyrody w Wierchlesie prowadzono badania, których celem było ustalenie stanu poszczególnych zespołów leśnych oraz pogładowe scharakteryzowanie siedlisk pod względem udziału gatunków drzew i struktury drzewostanów. Założono powierzchnię dokumentacyjną (profil) w postaci długiego i wąskiego pasa terenu, w którego granicach pomierzono położenie oraz wymiary wszystkich drzew. Wyniki przedstawiono w postaci przekrojów poziomego i pionowego. Dla terenu rezerwatu i jego okolic istnieją zdjęcia lotnicze wykonane m. in. w 1964 r. Postanowiono sprawdzić, czy materiały te można wykorzystać do przeprowadzenia analizy struktury drzewostanu na terenie całego rezerwatu. Pomiarów wykonano za pomocą cyfrowej stacji fotogrametrycznej VSD-AGH. Stwierdzono dużą zgodność rozmieszczenia drzew na powierzchni dokumentacyjnej oraz, co szczególnie istotne, pionowych profili drzewostanów. Wykazano, że istnieje możliwość dokonania wiarygodnej, retrospektywnej oceny przebiegu naturalnych procesów na całym obszarze tego wyjątkowego obiektu i w jego otulinie.

1. WSTĘP

Cis pospolity (*Taxus baccata* L.) jest symbolem ochrony gatunkowej roślin w Polsce. Mimo, iż jest naszym rodzimym gatunkiem, to jednak obecnie rzadko występuje w naturalnych zbiorowiskach leśnych. Jego większe skupiska znajdujemy niemal wyłącznie w rezerwatach. Na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 lipca 2004 r. objęty jest ochroną ścisłą.

Rezerwat przyrody „Cisy Staropolskie im. Leona Wyczółkowskiego” w Wierchlesie należy do najstarszych chronionych obiektów przyrodniczych w Polsce i Europie. Został utworzony w celu zachowania, ze względów naukowych i dydaktycznych, naturalnego stanowiska cisa pospolitego. Pierwsze wzmianki o ochronie cisów w Wierchlesie pochodzą już z 1827 r. Rezerwat wyróżnia się bogactwem zasobów przyrodniczych i interesującymi dziejami. Obiekt leży na terenie województwa kujawsko-pomorskiego, w gminie Cekcyn, w powiecie tucholskim. Powierzchnia rezerwatu wynosi 89.63 ha, w tym

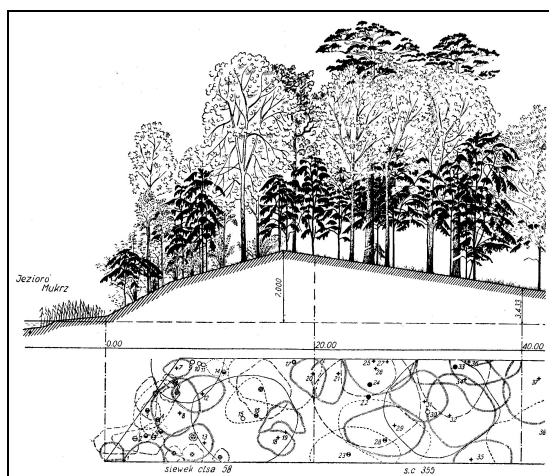
36.69 ha objętych jest ochroną ścisłą. Zakwalifikowany został jako rezerwat leśny, mimo iż ponad 70% jego powierzchni stanowią tereny wodno-błotne (jezioro Mukrz o powierzchni ok. 41.50 ha i torfowiska).

Populacja cisów w rezerwacie, wg inwentaryzacji z 2005 roku, liczy 3253 drzew, w tym 397 okazów suchych. Prowadzone od szeregu lat prace naukowo-badawcze dowodzą, że liczebność cisa w rezerwacie sukcesywnie maleje. Głównym powodem tego zjawiska jest brak młodego pokolenia cisów. Za taki stan odpowiedzialnych jest prawdopodobnie kilka czynników (Pająkowski, 2005): obniżenie poziomu wód gruntowych, zbyt duże zagęszczenie cisa, nadmierne ocienienie przez inne gatunki drzew, zamieranie siewek cisa z powodu niekorzystnego środowiska glebowego, zjadanie siewek oraz zgryzanie młodych pędów przez zwierzęta, wczesnojesienne i późnowiosenne przymrozki i inne przyczyny (np. presja człowieka – pozyskiwanie kory cisa).

W latach 1957-1958 na terenie rezerwatu badania prowadził profesor Tadeusz Gieruszyński¹, a ich wyniki opublikował m. in. w „Ochronie Przyrody” w 1961 r. Autor, w celu ustalenia stanu poszczególnych zespołów leśnych oraz pogładowego scharakteryzowania siedlisk pod względem udziału gatunków drzew, struktury drzewostanów itp., założył w rezerwacie powierzchnię dokumentacyjną (profil). Wynikiem żmudnych badań są ryciny (Rys. 1) przedstawiające rzuty pionowe i poziome drzew i krzewów. Gieruszyński zakładał, że w przyszłości jego powierzchnia dokumentacyjna będzie wykorzystana do przeprowadzania kolejnych analiz i śledzenia zmian. W tym celu oznaczono przebieg pasa palikami, tak aby możliwe było odtworzenie w terenie jego położenia. Niestety, paliki uległy zniszczeniu i współcześnie dokładne położenie powierzchni badawczej nie jest znane.

Struktura przestrzenna lasów kształtowana jest w wyniku naturalnych procesów rozwojowych, a w lasach gospodarczych jest dodatkowo modyfikowana przez celowe zabiegi pielęgnacyjne. W naszych lasach procesy te prowadzą do utworzenia się charakterystycznego zwarcia drzew, które warunkuje ukształtowanie i utrzymanie korzystnych warunków mikroklimatycznych wewnątrz drzewostanów, przyczynia się do zwiększenia odporności drzewostanów na negatywne czynniki abiotyczne (wiatr, nasłonecznienie, mróz) oraz biotyczne (np. nie pozwala na powstanie warunków dogodnych do rozwoju szkodliwych owadów). Bardzo duże znaczenie dla rozwoju drzewostanu ma jego struktura pionowa. Od wielkości koron drzew oraz od ich objętości i wzajemnego położenia zależą stosunki świetlne i wilgotnościowe pod okapem drzewostanu. W koronach drzew absorbowana jest energia świetlna. Ta część ekosystemu leśnego określana jest mianem wejścia energetycznego (Mozgawa, 1985).

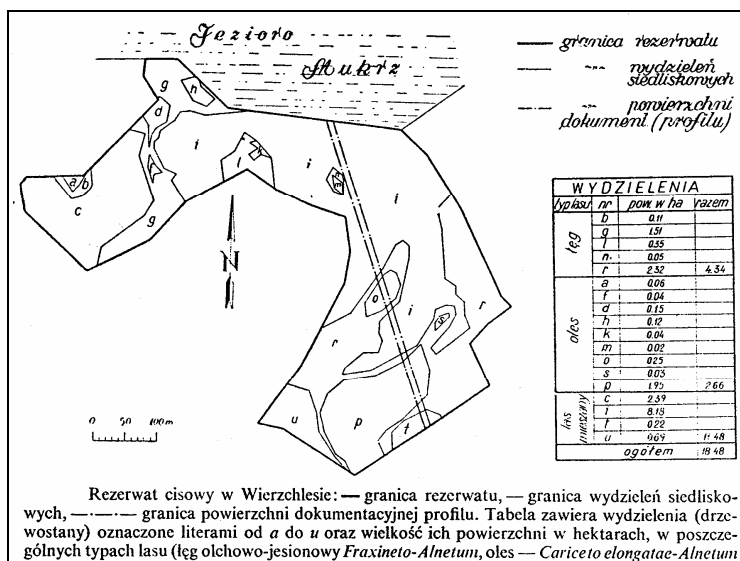
¹ Tadeusz Gieruszyński (18.06.1903 - 07.06.1963) – profesor zwyczajny dendrometrii, pierwszy dziekan Wydziału Leśnego Uniwersytetu Jagiellońskiego, organizator i kierownik Zakładu Badań Leśnych Polskiej Akademii Nauk w Krakowie (Grochowski *et al.*, 1964).



Rys. 1. Przekroje poziomy i pionowy drzewostanu w rezerwacie - fragment (Gieruszyński, 1961)

Istotnym warunkiem poprawności wnioskowania w doświadczalnictwie leśnym jest prowadzenie długotrwałych obserwacji na stałych powierzchniach doświadczalnych. Powierzchnie takie zakładano w odległych czasach, jednak do dnia dzisiejszego o wielu z nich zapomniano, a do jeszcze większej liczby nie ma już dokumentacji, bowiem zaginęła w trakcie burzliwych dziejów naszego kraju. Dostęp do koron drzew jest trudny, z tego powodu badania struktury pionowej drzewostanów wymagają stosowania specjalnych i kosztownych rozwiązań (pomosty, sunnice, dźwigi, balony). Dodatkowo podejmowaniu takich badań nie sprzyja bogactwo informacji, jakie należy zgromadzić w celu pełnego opisu struktury drzewostanu. W badaniach nad dynamiką zmian w zbiorowiskach roślinności leśnej można jednakże wykorzystać współczesne techniki fotogrametryczne, gdyż umożliwiają one poznanie stanu obiektów zarejestrowanych przed wieloma laty (Będkowski, 2005). Taką szansę dostrzeżliśmy także w przypadku rezerwatu w Wierzchlesie.

Gieruszyński wykonał profil dokumentacyjny dla stosunkowo małego fragmentu rezerwatu. Ze zrozumiałych względów dokładnymi badaniami objął wyłącznie pas terenu o szerokości 10 m, biegnący w linii prostej od jeziora Mukrz do południowej granicy rezerwatu (Rys. 2). Długość pasa, który zaprojektowano tak, aby obejmował wszystkie wyróżnione w rezerwacie siedliska, wynosiła 493.7 m (powierzchnia 0.49 ha). Pas został podzielony na 25 prostokątów o bokach 10 × 20 m, które oznaczono liczbami rzymskimi od I do XXV (skrajne prostokąty nie mają pełnych rozmiarów). W każdym prostokącie pomierzono m. in. położenie drzew, ich grubość i wysokość, długość korony, wysokość osadzenia i rzut poziomy korony. Wyniki pomiarów zostały przedstawione graficznie na 12 rycinach w dwóch rzutach – pionowym i poziomym. Ukształtowanie terenu w pasie (przekrój podłużny) widoczne jest na rzucie pionowym. Jako poziom porównawczy dla wysokości względnych terenu został przyjęty poziom wody w jeziorze Mukrz.



Rys. 2. Mapa rezerwatu z zaznaczonym profilem (Gieruszyński, 1961)

Ustalono, że dla terenu rezerwatu i jego okolic istnieją zdjęcia lotnicze wykonane w latach 1964, 1975, 1984, 1987, 1996 oraz 2005. Wstępna ocena treści tych materiałów pozwala stwierdzić, że są one doskonałą dokumentacją do badań nad stanem i tendencjami rozwojowymi ekosystemów w samym rezerwacie, jak i w jego otulinie. Dzięki odnalezieniu tych materiałów oraz opisu badań wykonanych przez Gieruszyńskiego, powstała unikatowa szansa na przeprowadzenie doświadczenia, którego celem była ocena przydatności archiwalnych materiałów fotogrametrycznych do analizy pionowej budowy drzewostanów i dynamiki jej zmian. Dodatkową motywacją do realizacji tego zadania był fakt, że prof. Gieruszyński jest autorem pierwszego w Polsce podręcznika do fotogrametrii leśnej „Zastosowanie fotogrametrii przy urządzaniu gospodarstw leśnych” (1948). Poprzez niniejszą publikację pragniemy przywrócić osobę Profesora pamięci szerokiego grona osób zajmujących się fotogrametrią.

2. METODYKA BADAŃ

W badaniach wykorzystaliśmy jedną parę stereoskopową zdjęć lotniczych czarno-białych, w formacie 18 × 18 cm, które zostały wykonane kamerą o ogniskowej 210.29 mm, z wysokości około 2600 m. Skala zdjęć wynosiła ok. 1:12 500. Szereg fotogrametryczny był zorientowany w kierunku wschód-zachód. Nalot wykonano w dniu 21 maja 1964 r., sześć lat po zakończeniu badań prowadzonych przez Gieruszyńskiego. Zdjęcia skanowano za pomocą skanera Epson Expression 10000 XL przy rozdzielczości geometrycznej 1300 dpi. Wielkość piksela, w miarach terenowych wynosiła około 0.24 m × 0.24 m.

Stereoskopową parę zdjęć lotniczych opracowano za pomocą Video Stereo Digitizera. W procesie orientacji absolutnej wykorzystano 6 fotopunktów, które zidentyfikowano na

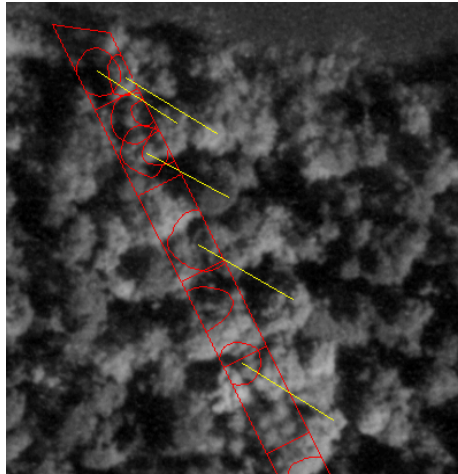
zdjęciach oraz na mapie topograficznej (1:10 000, układ współrzędnych geodezyjnych „1965”). Uzyskano następujące wartości błędów średnich: $m_x = 2.9185$ m, $m_y = 3.1704$ m, $m_z = 1.9308$ m. Błąd średniokwadratowy punktu w układzie odniesienia wyniósł $m_{P(X,Y,Z)} = 4.7220$ m. Na postać cyfrową zamieniono także opracowane przez Gieruszyńskiego oryginały rysunków powierzchni dokumentacyjnej oraz mapę rezerwatu. Zastosowano skaner biurowy HP ScanJet, rozdzielczość geometryczną ustalono na 600 dpi.

Podstawowym celem prac na tym etapie było wniesienie zasięgu profilu dokumentacyjnego do uzyskanego modelu stereoskopowego. W tym celu obrazy rastrowe rysunków z publikacji prof. Gieruszyńskiego przetransformowano do jednolitego układu współrzędnych. Wpasowanie rysunków przeprowadzono w oparciu o punkty, którym nadano współrzędne wynikające z wymiarów i położenia poszczególnych prostokątów (I - XXV). Przyjęto lokalny układ współrzędnych, którego osie X, Y oparto na bokach powierzchni dokumentacyjnej. Podobnie postąpiono z rycinami przedstawiającymi profile pionowe drzewostanów. Tutaj niezbędne do wpasowania dane odczytano z zapisanych na rysunkach odciętych oraz rzędnych terenu odniesionych do poziomu jeziora Mukrz. Dzięki takim zabiegom możliwe było wykonanie digitalizacji, w jednolitym układzie współrzędnych, zarówno zasięgów koron drzew na przekrojach poziomych, jak i struktury pionowej drzewostanu na przekrojach pionowych. Na obydwu przekrojach digitalizowano zasięgi koron wyłącznie najwyższych drzew, tj. tych, które spodziewano się zaobserwować na zdjęciach. Dodatkowo zdigitalizowano granice powierzchni dokumentacyjnej, ukształtowanie terenu w osi pasa profilu oraz poziom porównawczy dla wysokości względnych na profilu (poziom lustro wody w jeziorze).

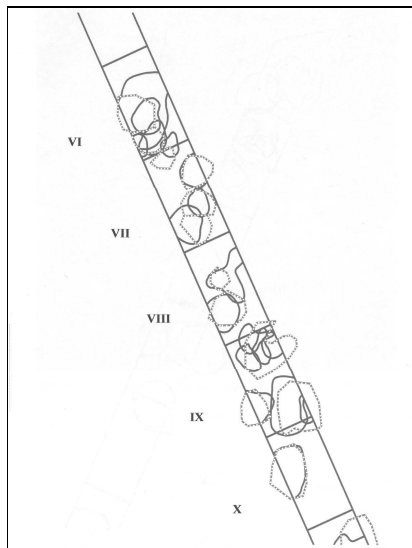
Granice rezerwatu pokazane w pracy prof. Gieruszyńskiego nie obejmują współczesnego obszaru objętego ochroną rezerwatową, ale tylko tzw. „wyspę cisową” o powierzchni około 18.50 ha. Mapę tą przetransformowano do układu współrzędnych mapy topograficznej (i modelu stereoskopowego VSD). Wykorzystano w tym celu punkty dostosowania leżące na granicy obiektu – te, które można było zidentyfikować na mapie rezerwatu oraz na referencyjnej mapie topograficznej. Ostatnim etapem przygotowania danych była transformacja warstwy wektorowej przekroju dokumentacyjnego do układu współrzędnych modelu stereoskopowego. Spodziewaliśmy się tutaj dużych trudności, ponieważ dla tak długiego i wąskiego obiektu dysponowaliśmy tylko czterema punktami dostosowania o małej wiarygodności.

Po wprowadzeniu wszystkich warstw wektorowych do modelu stereoskopowego (jako warstwy 2D) stwierdzono, że kontur rezerwatu nie pokrywa się dokładnie z jego obrazem fotograficznym. Nie można było także jednoznacznie wskazać na obrazie fotograficznym drzew, które by odpowiadały zdigitalizowanym zasięgom rzutów koron. Rezultat ten wskazuje na to, że położenie profilu na mapie Gieruszyńskiego było oznaczone niedokładnie. Poprzez żmudne porównanie treści warstw wektorowych z obrazem fotograficznym ustalono, że profil dokumentacyjny należy przesunąć o ok. 20 m i nieznacznie obrócić w modelu stereoskopowym (Rys. 3).

Najważniejszą częścią doświadczenia było wykonanie w systemie VSD pomiarów zasięgów koron i wysokości drzew na profilu dokumentacyjnym i porównanie wyników z danymi Gieruszyńskiego. Kontury koron drzew wykreślone pod VSD pokrywają się w dużym stopniu z rysunkami archiwalnymi (Rys. 4).



Rys. 3. Wektory przesunięcia profilu dokumentacyjnego na zdjęciu lotniczym

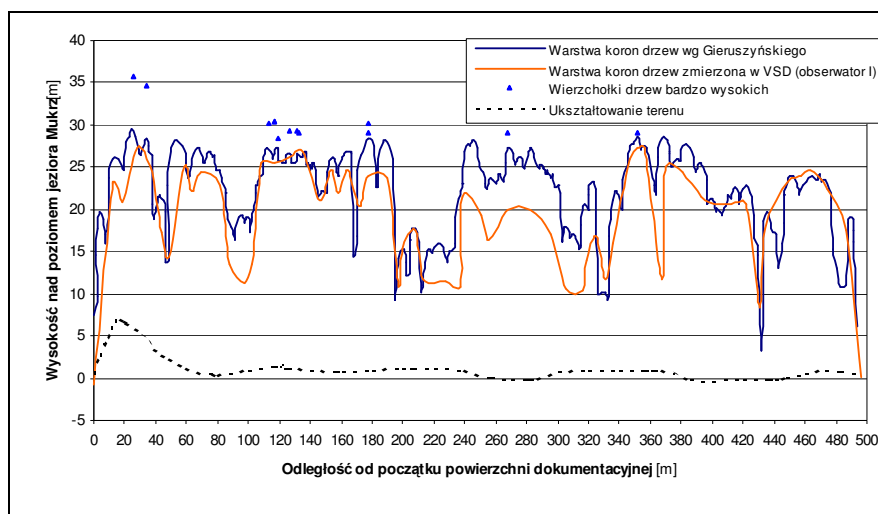


Rys. 4. Zasięgi koron drzew wyznaczone na podstawie pomiarów terenowych (linia ciągła) i fotogrametrycznych (linia przerywana)

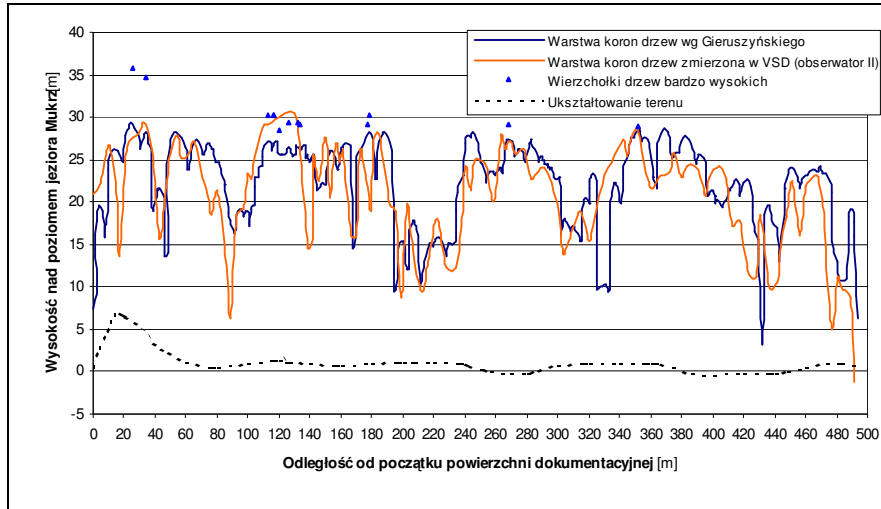
Pomiary wysokości drzew przeprowadziło niezależnie dwóch obserwatorów wzdłuż linii biegnącej po środku profilu dokumentacyjnego. Znaczek pomiarowy umieszczano tak, aby oddać kształt powierzchni warstwy koron, wraz z ewentualnymi lukami sięgającymi w głąb drzewostanu. Dla celów porównawczych uzyskane wyniki (rzędne wysokościowe

koron drzew) odniesiono do poziomu lustra jeziora Mukrz. Przekroje zarejestrowane przez pierwszego (Rys. 5) i drugiego obserwatora (Rys. 6) w ogólnym zarysie oddają strukturę pionową drzewostanu. Wyraźna jest tendencja zaniżania wysokości drzew przez pierwszego obserwatora.

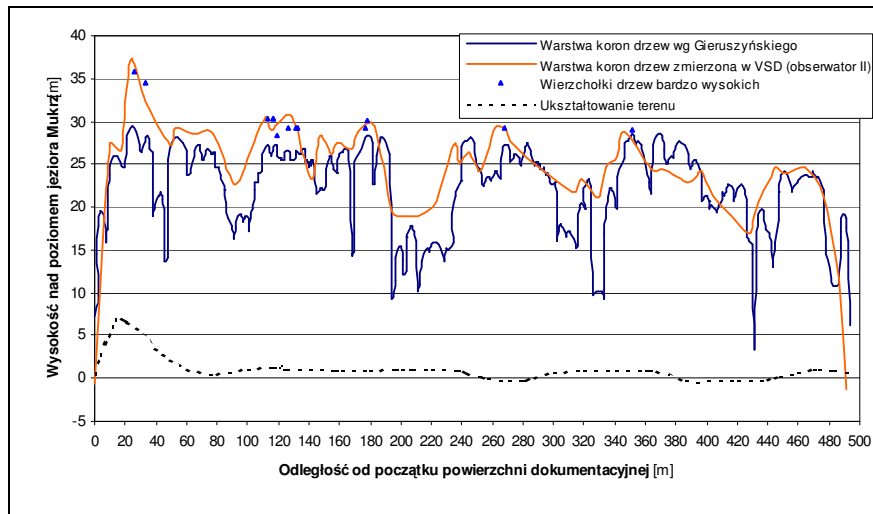
W tym miejscu należy zauważyć, że Gieruszyński przedstawił najwyższe drzewa, jak sam określił „ze względów rysunkowych”, z zaniżoną wysokością. Dotyczyło to szczególnie sosen, co na Jego rysunkach zaznaczone jest symbolem przerwane konturu pnia drzewa – tuż nad gruntem. Rzeczywiste wysokości dla tych drzew podane zostały w tabeli. Nanieśliśmy je na uzyskane profile jako pojedyncze punkty. Innym ważnym spostrzeżeniem jest to, że rysunki są obrazem drzewostanu ze stosunkowo szerokiego pasa – 10 m. Pokazane drzewa nie muszą znajdować się w osi profilu, a więc mogły być pominięte podczas pomiaru fotogrametrycznego. Powtórny pomiar wysokości drzew w modelu stereoskopowym potwierdził to przypuszczenie. Tym razem obserwator II, z większym doświadczeniem zawodowym, wykonał pomiar profilu drzewostanu wzdłuż linii łamanej, poprowadzonej wewnątrz granic powierzchni dokumentacyjnej, jednak posuwając się po koronach najwyższych drzew. W wyniku tak przeprowadzonego pomiaru uzyskano rysunek (Rys. 7), dobrze oddający wysokości najwyższych drzew znajdujących się w pasie profilu dokumentacyjnego, zmniejszyła się jednak „głębokość” luk w drzewostanie.



Rys. 5. Porównanie profili drzewostanu - pomiar fotogrametryczny wykonano w osi profilu (obserwator I zaniżał wysokości drzew)



Rys. 6. Porównanie profili drzewostanu - pomiar fotogrametryczny wykonano w osi profilu (obserwator II)



Rys. 7. Porównanie profili drzewostanu (obserwator II - pomiar koron najwyższych drzew)

3. WNIOSKI

Powierzchnia dokumentacyjna założona przez prof. Gieruszyńskiego jest cennym obiektem badań przyrodniczych. Została założona 60 lat temu w rezerwacie, który jest jednym z najstarszych chronionych obiektów przyrodniczych w Europie (w 2007 roku przypada 180. rocznica ochrony stanowiska cisów w Wierchlesie). Omówione w niniejszej pracy doświadczenie wykazało, że archiwalne zdjęcia lotnicze są materiałem, który z powodzeniem można wykorzystać w badaniach obiektów przyrodniczych do oceny stanu i zmian ich struktury przestrzennej. Mimo znacznych utrudnień, wynikających z postaci dostępnych danych, uzyskano dużą zgodność rozmieszczenia drzew na powierzchni dokumentacyjnej oraz, co szczególnie istotne, pionowych profili drzewostanów. Istniejące różnice między profilami można wytłumaczyć zmianami, jakie zaszły w obrębie drzewostanu w czasie między wykonaniem pomiarów terenowych i fotogrametrycznych. Inny był także sposób wykonania profili – podczas prac terenowych zaznaczono na profilu pionowym wszystkie drzewa z pasa szerokości 10 m, dlatego przy pomiarze fotogrametrycznym prowadzonym dokładnie w osi profilu pominięto niektóre drzewa lub zarejestrowano je ze zmienioną wysokością. Trzeci profil, przeprowadzony wzdłuż linii łamanej po koronach najwyższych drzew, jest najbardziej zbliżony do profilu wykonanego w terenie. Różnice stwierdzone pomiędzy obydwoma obserwatorami wykazują, że las, a szczególnie korony drzew są trudnym obiektem pomiaru fotogrametrycznego. Obydwaj obserwatorzy borykali się z problemem zaniżania wysokości drzew.

Uzyskane wyniki wskazują, że dzięki dostępności archiwalnych materiałów fotogrametrycznych, istnieje możliwość dokonania wiarygodnej, retrospektywnej oceny przebiegu naturalnych procesów na całym obszarze tego wyjątkowego obiektu i w jego otulinie. Warto rozważyć możliwość wykorzystania w tym celu numerycznych modeli pokrycia terenu, które można budować za pomocą metod korelacji obrazów. Współczesną strukturę rezerwatu można zarejestrować za pomocą systemów lotniczego i naziemnego skanowania laserowego.

Autorzy dziękują Towarzystwu Przyjaciół Dolnej Wisły w Świeciu za udostępnienie zdjęć lotniczych.

4. LITERATURA

- Będkowski K., 2005. Fotogrametryczna metoda oceny stanu i zmian wysokościowej struktury warstwy koron w drzewostanach. *Rozprawy Naukowe i Monografie*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Gieruszyński T., 1948. Zastosowanie fotogrametrii przy urządzaniu gospodarstw leśnych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Gieruszyński T., 1961. Struktura i dynamika rozwojowa drzewostanów rezerwatu cisowego w Wierchlesie. *Ochrona Przyrody*, R. 27: 41-90.
- Grochowski J., Krzysik F., Fabijanowski J., 1964. Tadeusz Gieruszyński (1903-1963). Jego życie, dorobek naukowy i działalność. *Sylwan* 6: 35-43.

Mozgawa J., 1985. Metodologiczne podstawy wykorzystania fotointerpretacji do modelowania systemowego w drzewostanach. *Rozprawy Naukowe i Monografie*, Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa.

Pająkowski J. (red.), 2005. Rezerwat Przyrody „Cisy Staropolskie im. Leona Wyczółkowskiego” w Wierzchlesie. Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły, Świecie.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 lipca 2004 r. w sprawie gatunków dziko występujących roślin objętych ochroną. Dz. U. z dnia 28 lipca 2004 r., nr 168, poz. 1764.

**USE OF ARCHIVE AERIAL PHOTOGRAPHS FOR RECONSTRUCTING
DOCUMENTARY PROFILE IN LEON WYCZOLKOWSKI NATURE RESERVE
OF THE OLD POLISH YEWS, WIERZCHLAS**

KEY WORDS: photogrammetry, structure, forest stand, nature reserve, yew

SUMMARY: Between 1957-1958, elaborate research was conducted in the Leon Wyczolkowski Nature Reserve of Old Polish Yews, Wierzchlas. The objective of the study was to document the current condition of forest associations, and to provide the image of the stand's spatial 3D structure. A profile was established in a form of a long and narrow strip. Both, the location and dimensions of every tree and shrub were registered inside. Collected data were presented in a form of vertical and horizontal cross-sections of the forest stand. Seven years later (in 1964), the aerial survey was performed there, from which the black & white photographs were found. We decided to check whether it would be possible to use them to reconstruct the spatial structure of nature reserve's forest. For this purpose, a Video-Stereo-Digitizer and a digital photogrammetric station were used. The study proved close similarity between the forest structure registered photogrammetrically and that registered by field survey. The profiles compared matched also each other well. With the photogrammetric measurements, it is also possible to perform a reliable analysis of natural processes in the entire area of this nature reserve and its surroundings.

Dr hab. Krzysztof Będkowski
e-mail: Krzysztof.Bedkowski@wl.sggw.pl
telefon: (22) 5938222
fax: (22) 5938207

Inż. Dariusz Górski
e-mail: darekgorski@o2.pl
telefon: (22) 5938222
fax: (22) 5938207