

## FOTOGRAMETRYCZNY POMIAR WYSOKOŚCI DRZEW NA OBRAZACH Z KAMERY CYFROWEJ DMC

### PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENT OF TREES' HEIGHTS USING DMC DIGITAL CAMERA IMAGES

**Krzysztof Będkowski**

Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Wydział Leśny  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

**Słowa kluczowe: fotogrametria, leśnictwo, wysokość drzew, dokładność**  
Keywords: photogrammetry, forestry, trees' height, accuracy

### Wstęp

Wysokość drzew i drzewostanów jest jedną z najważniejszych cech lasów, gdyż jest bezpośrednio związana z wielkością zapasu (biomasy) drzewostanu. Pomiar wysokości drzew w warunkach terenowych jest kłopotliwy z uwagi na trudny dostęp do drzew (brak widoczności spowodowany przesłanianiem przez inne drzewa) oraz pracochłonny. Już od najwcześniejszych lat rozwoju fotogrametrii lotniczej próbowano zastosować zdjęcia lotnicze do pomiaru wysokości drzew. Pierwsze badania prowadzili leśnicy niemieccy (Hugershoff, 1933), a dotyczyły one głównie określania zapasu. Obszerny przegląd tych prac można znaleźć u Wodery (1948), Husa i in. (1984). Opracowano wiele sposobów określania wysokości drzew i drzewostanów z wykorzystaniem pojedynczych zdjęć oraz opracowań stereoskopowych (Gieruszyński, 1948; Piekarski, 1972; 1974). Wskazano na zależność wyników od warunków technicznych (głównie rodzaju i skali zdjęć) oraz właściwości samego obiektu pomiaru – gatunki iglaste / liściaste, wielkość koron i in. Zauważono, że metody fotogrametryczne prowadzą na ogół do zaniżania wysokości drzew, gdyż obserwatorzy, z uwagi na skończoną rozdzielczość materiału fotograficznego, nie są w stanie dostrzec najwyżej położonych fragmentów wierzchołków drzew – szczególnie gatunków iglastych.

Dokładność pomiarów charakteryzowana jest za pomocą błędu względnego (wg różnych źródeł 1–10%) lub błędu średniego od  $\pm 0,35$  m do ok.  $\pm 3$  m (Będkowski, 2005). Przedstawione rezultaty uzyskano głównie na analogowych materiałach czarno-białych. Współcześnie dysponujemy znacznie lepszymi obrazami z fotogrametrycznych kamer cyfrowych. Jakość zobrazowań jest tak dobra, że w modelach stereoskopowych można obserwować dokładnie szczegóły budowy koron drzew. Realizacja prac na fotogrametrycznych stacjach cyfrowych usprawnia proces pomiaru, zapisu i przetwarzania wyników.

Pierwsze zdjęcia cyfrowe wykonane przez polską firmę fotogrametryczną dla potrzeb leśnych zarejestrowano za pomocą kamery *DMC Z/I Imaging*. Kamera umożliwia rejestrację obrazów panchromatycznych oraz wielospektralnych w czterech kanałach: trzech widzialnych i w bliskiej podczerwieni (Petrie, 2006; Kurczyński, 2007). W niniejszej pracy przedstawiono wyniki pomiarów wysokości drzew na obrazach cyfrowych zarejestrowanych tą kamerą.

## Metodyka badań

Badania przeprowadzono na poligonie doświadczalnym zlokalizowanym w okolicy uroczyska leśnego Głuchów, należącego do Leśnego Zakładu Doświadczalnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (Będkowski i in., 2008). Na otwartej przestrzeni pól wybrano dwie grupy samotnie rosnących drzew, łatwych do zidentyfikowania na materiale fotogrametrycznym.

Udział gatunków drzew w pierwszej (62 drzewa) i drugiej grupie (88 drzew) był następujący: grusza (35, 71), lipa (5, 0), brzoza (5, 2), topola (4, 0), kasztanowiec (3, 0), klon (3, 2), dąb (2, 4), olcha (2, 0), modrzew (1, 0), jarząb (1, 1), jabłoń (1, 0), czeremcha (0, 2), grochodrzew (0, 2), jesion (0, 2), sosna (0, 1), bez czarny (0, 1). Były to więc gatunki przede wszystkim liściaste, w tym raczej nie tworzące drzewostanów. Tutaj ważnym jednakże było, aby drzewa te miały rozbudowane korony obficie pokryte listowiem.

Pomiary fotogrametryczne wykonano na cyfrowej stacji fotogrametrycznej *DVP 5.0*. Zastosowano kanał podczerwony obrazów. Rozdzielczość terenowa (wielkość piksela) wynosiła 0,15 m. Obrazy pochodziły z nalogu zrealizowanego w dwóch terminach – w lipcu i sierpniu 2007 r. – z wysokości ok. 1500 m nad terenem. Aerotriangulację bloku obrazów wykonano w oparciu o fotopunkty pochodzące z mapy topograficznej (dokładność  $m_h = \pm 0,4$  m) oraz istniejącej ortofotomapy (piksel 0,2 m,  $m_{xy} = \pm 0,4$  m). Ortofotomapę wykonała firma MGGP Aero Sp. z o.o. na podstawie modelu DSM uzyskanego przez skanowanie laserowe. Sigma0 dla bloku wyniosła 2,8  $\mu\text{m}$ , a średnie błędy wpasowania w fotopunkty  $m_x = \pm 0,305$  m,  $m_y = \pm 0,324$  m,  $m_h = \pm 0,294$  m. Maksymalne odchyłki na fotopunktach wyniosły  $m_x = \pm 0,650$  m,  $m_y = \pm 0,562$  m,  $m_h = \pm 0,626$  m.

Dla celów doświadczenia pomierzono fotogrametrycznie położenie punktów zidentyfikowanych jako wierzchołki i podstawy drzew (na poziomie terenu obok drzew). Pomiary te wykonano w dwóch seriach dla pierwszego zbioru drzew oraz w jednej serii dla zbioru drugiego.

Zebrany materiał opracowano w celu określenia dokładności fotogrametrycznego pomiaru elementów niezbędnych do określenia wysokości drzew – rzędnej wierzchołka oraz rzędnej terenu, związku pomiędzy wysokością drzew określoną fotogrametrycznie i metodami naziemnymi oraz dokładności fotogrametrycznego pomiaru wysokości drzew.

Wysokość drzewa można określić jako różnicę rzędnych wierzchołka  $Z_w$  i podstawy  $Z_p$ :

$$h_f = Z_w - Z_p$$

Błąd średni tak wyznaczonej wysokości obliczymy na podstawie wyników podwójnego pomiaru (pary spostrzeżeń) rzędnych  $Z_w$  i  $Z_p$ :

$$m_{hf} = \pm \sqrt{m_{Zw}^2 + m_{Zp}^2}$$

gdzie:

$$m_{Z_w} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z'_w - Z''_w)^2}{2n}}$$

$$m_{Z_p} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z'_p - Z''_p)^2}{2n}}$$

$Z'_w, Z''_w, Z'_p, Z''_p$  – rzędne wierzchołków i podstaw drzew z pierwszej i drugiej serii pomiarów.

Otrzymano odpowiednio:  $m_{Z_w} = \pm 0,33$  m,  $m_{Z_p} = \pm 0,33$  m,  $m_{h_f} = \pm 0,47$  m. Wielkości te charakteryzują powtarzalność wykonanych przez obserwatora ustawień znacznika pomiarowego.

Właściwą miarą dokładności fotogrametrycznego pomiaru wysokości drzew mogą być jedynie wielkości obliczone na podstawie błędów prawdziwych. W tym celu niezbędne jest porównanie wyników pomiarów fotogrametrycznych z rzeczywistymi wysokościami drzew, uzyskanymi w trakcie pomiaru terenowego. Pomiaru terenowe w pierwszej grupie drzew wykonano za pomocą wysokościomierza *SUUNTO PM-5/1520P*, który jest powszechnie stosowany w leśnictwie przy określaniu wysokości drzewostanów w ramach prac urządzania lasu. Wysokość każdego z drzew zmierzono tylko raz.

Na podstawie pomiarów pierwszej grupy drzew utworzono odpowiednie różnice wysokości uzyskanych z pomiaru fotogrametrycznego (oddzielnie dla każdej serii) oraz pomiaru terenowego wysokościomierzem *SUUNTO*:

$$\Delta h' = h'_f - h_{SUUNTO}$$

$$\Delta h'' = h''_f - h_{SUUNTO}$$

a na ich podstawie wartość średnią różnic (błąd systematyczny):

$$\sigma' = \frac{\sum \Delta h'}{n} = +0,37 \quad [\text{m}]$$

$$\sigma'' = \frac{\sum \Delta h''}{n} = +0,43 \quad [\text{m}]$$

oraz po usunięciu wpływu czynnika systematycznego, błędy średnie:

$$m'_h = \sqrt{\frac{\sum (\Delta h' - \sigma')^2}{n}} = \pm 1,04 \quad [\text{m}]$$

$$m''_h = \sqrt{\frac{\sum (\Delta h'' - \sigma'')^2}{n}} = \pm 1,03 \quad [\text{m}]$$

Związek pomiędzy wysokościami drzew pomierzonymi fotogrametrycznie i za pomocą wysokościomierza pokazano na rysunku 1. Zauważyć należy, że na uzyskane wyniki ma wpływ, oprócz dokładności pomiaru fotogrametrycznego, także dokładność terenowego pomiaru wysokości za pomocą wysokościomierza *SUUNTO*. Sama dokładność odczytu na skali przyrządu wynosi 0,25 m. Oprócz błędów przypadkowych możliwe jest wystąpienie błędu systematycznego. Jego wielkość zależy od sposobu prowadzenia pomiaru przez obserwatora, np. identyfikacji celu, tj. wierzchołka i podstawy drzewa, sposobu trzymania przyrządu i innych czynników.

Na tym etapie doświadczenia nie dysponowano danymi umożliwiającymi określenie dokładności pomiarów wysokości drzew wykonanych w terenie wysokościomierzem *SUUNTO*. W celu wyjaśnienia wątpliwości dotyczących dokładności pomiaru fotogrametrycznego i terenowego, zdecydowano się na pomiar drugiej grupy drzew. Było to konieczne, ponieważ pomiary fotogrametryczne miały duże znaczenie w dalszych analizach prowadzonych w ramach realizowanego projektu (Będkowski i in., 2008), w którym zaplanowano, że uzyskiwane tą drogą dane będą używane jako referencyjne w analizach dotyczących obszarów zalesionych. W grę wchodził pomiar położenia i wysokości dużej liczby drzew w drzewostanach (Stereńczak, Będkowski, Weinacker, 2008; Będkowski i Stereńczak, 2008). Drugą przyczyną powtórzenia pomiaru był fakt, iż w pierwszej grupie drzew wysokości określone fotogrametrycznie były średnio o 0,37 m i 0,43 m wyższe od wyników pomiarów terenowych, uzyskano więc wynik, który odbiega zupełnie od danych z literatury.

Drugą grupę drzew pomierzono za pomocą ręcznego dalmierza laserowego *LaserAce 300* firmy MDL. Obliczono różnice między wysokościami uzyskanymi z pomiaru fotogrametrycznego oraz pomiaru terenowego:

$$\Delta h = h_f - h_{ACE}$$

a na ich podstawie wartość średnią różnic (błąd systematyczny):

$$\sigma = \frac{\sum \Delta h}{n} = +0,17 \text{ [m]}$$

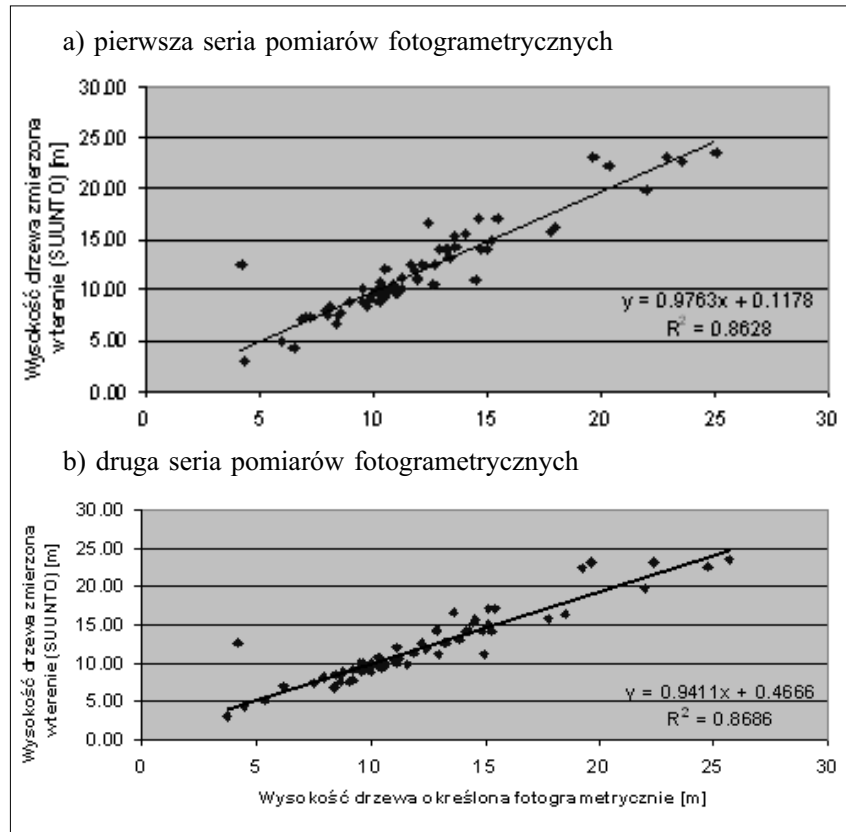
oraz błąd średni:

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum (\Delta h - \sigma)^2}{n}} = \pm 0,56 \text{ [m]}$$

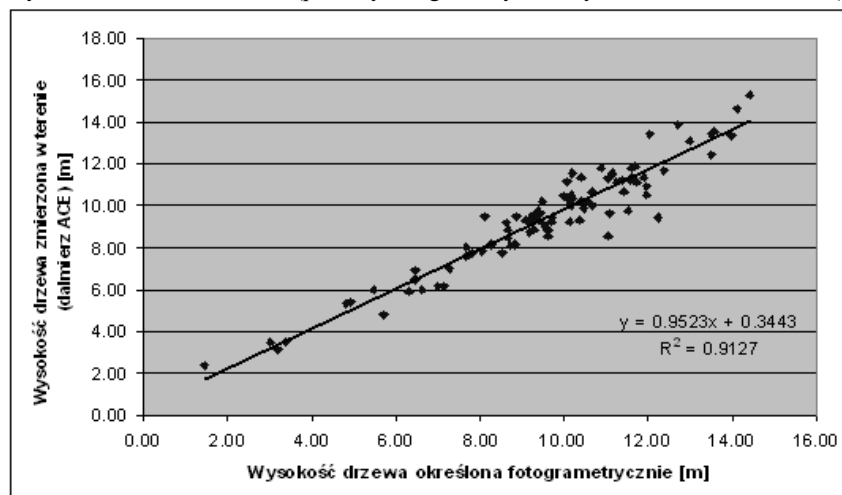
Związek pomiędzy wysokościami drzew pomierzonymi fotogrametrycznie i za pomocą dalmierza *LaserAce 300* pokazano na rysunku 2.

## Omówienie wyników i wnioski

Fotogrametryczny pomiar wysokości drzew z wykorzystaniem obrazów cyfrowych z kamery *DMC Z/I Imaging* dostarczył stosunkowo dobre wyniki. Wprawdzie w pierwszej grupie drzew uzyskano błędy średnie rzędu  $\pm 1$  m, lecz w drugiej wielkość ta spadła do  $\pm 0,56$  m. Wartość ta odbiega o rząd wielkości od podawanego przez Kurczyńskiego (2007) błędu  $m_h = \pm 0,05\%H$  ( $H$  = wysokość lotu). Zauważenia warta jest nieduża wartość błędów syste-



Rys. 1. Korelacja wysokości drzew pomierzonych fotogrametrycznie i za pomocą wysokościomierza *SUUNTO* (pomiarzy fotogrametryczne wykonano w dwóch seriach)



Rys. 2. Korelacja wysokości drzew pomierzonych fotogrametrycznie i za pomocą dalmierza *LaserAce 300*

matycznych – w pierwszej grupie drzew otrzymano +0,37 m i +0,43 m, a w drugiej +0,17 m. Błędy systematyczne miały dodatni znak, co oznacza, że wysokości drzew określone fotogrametrycznie były większe od wielkości przyjętych za prawdziwe. Wynik ten wskazuje, że przy zastosowaniu obrazów cyfrowych o dużej rozdzielczości nie ma obawy zaniżania pomiaru wysokości drzew.

Przyjmowane za prawdziwe (referencyjne) wysokości drzew ustalano w oparciu o pomiar przyrządami o skończonej dokładności (dokładność pomiaru wysokościomierzem *LaserACE 300*  $m_h = \pm 0,36 \div 0,55$  m), co jest nie bez znaczenia dla uzyskiwanych wyników analizy. Gorsze wyniki uzyskuje się prawdopodobnie korzystając z wysokościomierza *SUUNTO*. Przy pomiarze obydwoma przyrządami mogą także występować błędy systematyczne związane ze sposobem użycia przyrządów przez osobę wykonującą pomiar, choć cytowane tutaj wyniki badań Ociepki (2008) nie potwierdzają tego przypuszczenia. Zagadnienie wymaga przeprowadzenia dodatkowych pomiarów i analiz. Natomiast w samym pomiarze fotogrametrycznym należy się liczyć z indywidualnymi różnicami w umiejętności obserwacji stereoskopowej i pomiaru trudnych obiektów, jakimi są drzewa. Doświadczenie dotyczyło w zasadzie gatunków liściastych, niezbędne jest sprawdzenie dokładności pomiaru wysokości drzew o smukłych koronach – świerków, jodeł, modrzewi.

Przeprowadzone badania wykazały, że pomiar fotogrametryczny na obrazach cyfrowych oraz pomiary w terenie dostarczają danych o podobnym poziomie dokładności. Uzyskane fotogrametrycznie dane mogą być używane w badaniach nad rozwojem lasów i w praktyce urządzania lasu.

### Literatura

- Będkowski K., 2005: Fotogrametryczna metoda oceny stanu i zmian wysokościowej struktury warstwy koron w drzewostanach. *Rozprawy Naukowe i Monografie* 299. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Będkowski K., Adamczyk J., Brach M., Gzowski P., Karaszkiewicz W., Krawczyk A., Marmol U., Mikrut S., Miścicki S., Morańda M., Olenderek H., Stereńczak K., Stępniewski P., Walo J., Zawadka R., 2008: Raport końcowy projektu badawczego 2 P06L 02229 Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie. Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie.
- Będkowski K., Stereńczak K., 2008: Porównanie zasięgów koron drzew wyznaczonych na podstawie danych skanowania laserowego i pomiarów fotogrametrycznych *Czasopismo Techniczne M*, Politechnika Krakowska (w druku), s. 16-24.
- Gieruszyński T., 1948: Zastosowanie fotogrametrii przy urządzaniu gospodarstw leśnych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Hugershoff R., 1933: Die photogrammetrische Vorratsermittlung. *Tharandter Forstl. Jahrbuch* 84, pp. 159-166.
- Huss J., Akça A., Hildebrandt G., Kenneweg H., Peerenboom H.G., Rhody B., 1984: Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Herbert Wichmann Verlag. München.
- Kurczyński Z., 2007: Techniczne, organizacyjne i ekonomiczne uwarunkowania wprowadzenia lotniczej kamery cyfrowej do produkcji. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 17b, s. 437-450.
- Ociepka S., 2008: Określanie wysokości drzew stojących na podstawie numerycznego modelu pokrycia terenu i modelu terenu opracowanych z wykorzystaniem wyników lotniczego skanowania laserowego. Praca końcowa w Studium Podyplomowym "Zastosowanie Systemów Informacji Przestrzennej w Leśnictwie i Ochronie Przyrody". Wydział Leśny SGGW w Warszawie (maszynopis).
- Petrie G., 2006: Further Advances in Airborne Digital Imaging. Several New Imagers Introduced at ASPRS. *Geoinformatics* 5, pp. 16-23.
- Piekarski E., 1972: Czynniki wpływające na dokładność określania wysokości drzew stereoskopowymi przyrządami fotogrametrycznymi. *Zeszyty Naukowe SGGW, Leśnictwo* 17, s. 135-153.

- Piekarski E., 1974: Niektóre fotogrametryczne metody określania wysokości drzew i drzewostanów. *Sylvan* 8, s. 46-53.
- Stereńczak K., Będkowski K., Weinacker H., 2008: Accuracy of crown segmentation and estimation of selected trees and forest stand parameters in order to resolution of used DSM and nDSM models generated from dense small footprint LIDA data. ISPRS Congress, Beijing, China, Commission VI, WG VI/5, 5 p.
- Wodera H., 1948: Die Holzmassenermittlung nach Luftbildern. *Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung* 59, pp. 109-112, 123-126.

#### **Abstract**

*This paper deals with the accuracy of photogrammetric measurement of trees' heights using images acquired with the use of DMC Z/I imaging camera. The images were acquired from approx. 1500m altitude, their ground resolution was 0.15 m. Achieved results were compared with true field data, collected by means of clinometer SUUNTO and LaserAce 300 instrument (range-finder). Two groups of trees were analyzed. Both the systematic errors  $\sigma$  (bias) and random errors  $m_r$  were relatively low, so the accuracy of photogrammetric trees' height measurement can be recognized as satisfactory. The research proved that it is possible to collect data about vertical forest structure with good accuracy using DMC images.*

dr hab. inż. Krzysztof Będkowski  
Krzysztof.Bedkowski@wl.sggw.pl  
tel.+4822 593 82 22