

KRZYSZTOF BĘDKOWSKI, KRZYSZTOF STEREŃCZAK*

**PORÓWNANIE ZASIĘGÓW KORON DRZEW
WYZNACZONYCH NA PODSTAWIE DANYCH
SKANOWANIA LASEROWEGO
I POMIARÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH**

**COMPARISON OF CROWNS EXTENTS DERIVED
FROM LASER SCANNER DATA
AND PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENT**

Streszczenie

Opisane w niniejszym artykule badania prowadzono na 35 powierzchniach próbnych zlokalizowanych w mieszanych drzewostanach w centralnej Polsce. Porównano wielkość koron drzew wyznaczonych metodą fotogrametryczną oraz na podstawie segmentacji w numerycznym modelu warstwy koron (NMWK), opracowanym z zastosowaniem danych skanowania laserowego. Stwierdzono, że promienie koron wyznaczone fotogrametrycznie są mniejsze średnio o 0,63 m od koron określonych w segmentacji NMWK.

Słowa kluczowe: leśnictwo, skanowanie laserowe, LIDAR, fotogrametria, segmentacja, korony drzew

Abstract

The research was carried out on 35 sample plots located in mixed forest, central Poland. Crowns extents derived photogrammetrically and by segmentation of Digital Crown Models (DCM) build based on LIDAR data were compared. It was found, that difference between crown radius segmented from LIDAR data and measured photogrammetrically is equal to 0,63 m.

Keywords: forestry, laser scanning, LIDAR, photogrammetry, segmentation, tree crowns

* Dr hab. Krzysztof Będkowski, mgr inż. Krzysztof Stereńczak, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

1. Wstęp

Wyznaczenie zasobności drzewostanów, rozumianej jako wielkość zapasu drewna na pniu, jest ważnym zadaniem leśnictwa. Opracowano wiele metod służących do wyznaczenia tej wielkości. Zasobność jest funkcją różnorodnych czynników: gatunku, wieku, zwarcia, wysokości drzewostanu, pierśnicy drzew (średnica na wys. 1,3 m nad gruntem), zagęszczenia i in. Do wyznaczenia tych wielkości stosuje się najczęściej pomiary terenowe, rozwijane są jednak także metody kombinowane, w których część danych uzyskiwanych jest z zastosowaniem technik geomatycznych – głównie fotogrametrii, a ostatnio także skanowania laserowego (ang. LIDAR). Obrazy drzewostanów uzyskiwane z pułapów lotniczego i satelitarnego lub modele pokrycia terenu budowane na podstawie danych skanowania laserowego nadają się szczególnie do określania zagęszczenia drzewostanów, tj. liczby drzew rosnących na danej powierzchni. Tą drogą można także wyznaczyć wymiary koron i wysokości pojedynczych drzew i powiązać je przez zależności stochastyczne z innymi wielkościami, w tym np. zapasem drzewostanu. Zliczanie koron drzew na obrazach jest bardzo uciążliwe i z tego powodu poszukuje się sposobów jego automatyzacji. Proces wyznaczania położenia i zasięgów koron drzew, zarówno na podstawie obrazów lotniczych i satelitarnych, jak i modeli pokrycia, zwany *segmentacją*, może być realizowany z wykorzystaniem podobnie działających algorytmów. Istotne bowiem jest, że w obydwu przypadkach mamy do czynienia z pewnego rodzaju powierzchnią – jest nią model pokrycia terenu (wysokościowy) utworzony na podstawie danych skanowania laserowego lub obraz cyfrowy złożony z pikseli o różnej jasności. Na tym jednak podobieństwie się kończą. Obrazy uzyskiwane są najczęściej metodą fotograficzną, powstają wobec tego w rzucie środkowym, co powoduje, że odwzorowanie lasów jest zmienne – zależy od położenia obrazu drzew w płaszczyźnie zdjęcia. Dodatkowo duży wpływ ma kierunkowość oświetlenia słonecznego. Ponieważ promienie słoneczne padają pod określonym kątem, część koron drzew pozostaje w cieniu własnym lub cieniu rzucanym przez sąsiednie drzewa. Tych wad pozbawione są modele pokrycia warstwy koron budowane na podstawie danych skanowania laserowego, gdyż odwzorowane są w rzucie ortogonalnym i nie ma w nich efektów powodowanych przez cienie.

Tylko oświetlona część korony jest widoczna na obrazie lotniczym i może być pomierzona fotogrametrycznie. Można przyjąć także, że tylko ta część korony może być „wykryta” przez automatyczne algorytmy segmentacji wykorzystujące obraz fotograficzny. Oczywiście jest zatem, że kontury koron drzew określone przez segmentację obrazów lotniczych będą mniejsze od tych, które zostaną wyznaczone na podstawie danych ze skanera laserowego. W niniejszym artykule podjęto próbę oceny, jak duże mogą być różnice wyników segmentacji realizowanej z wykorzystaniem tych odmiennych źródeł danych. Zagadnienie jest ważne, ponieważ zdjęcia lotnicze, mimo rozwoju techniki skanowania laserowego, nadal będą stanowiły ważne źródło informacji o lesie, w tym o zagęszczeniu drzewostanów. W szczególności nie można ich zastąpić inną techniką zbierania danych, gdy badania prowadzone są na materiałach archiwalnych.

2. Pomiary fotogrametryczne

W trybie obserwacji stereoskopowej pomierzono korony 325 drzew, które znajdowały się na 35 wybranych powierzchniach próbnych w uroczysku leśnym Głuchów (powiat

skierniewicki). Uroczysko stanowi część Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Rogowie należącego do SGGW w Warszawie. Powierzchnie próbne (łącznie 220), każda o wielkości 500 m², tworzą w uroczysku regularną sieć o wymiarach 200 × 200 m. Zostały założone w końcu lat 90. ub. wieku w celu prowadzenia wieloletnich obserwacji wzrostu drzewostanów i badań nad metodami inwentaryzacji zapasu. Zarówno położenie powierzchni próbnych, jak i części drzew oraz niektóre ich wymiary zostały wyznaczone z zastosowaniem dokładnych metod geodezyjnych.

Pomiary fotogrametryczne wykonano na stacji cyfrowej DVP (*Digital Video Plotter*), na której zainstalowano wyrównany blok zdjęć pochodzących z kamery cyfrowej DMC¹. Wykorzystano obrazy (kanał podczerwieni) wykonane w 2007 r., w środku sezonu wegetacyjnego. Rozdzielczość przestrzenna obrazów wynosiła 0,15 m. Stwierdzono [1], że dokładność strojenia fotogramów jest dobra, a wyniki pomiarów fotogrametrycznych są zgodne z pomiarami geodezyjnymi i mogą być wykorzystane w dalszych badaniach jako dane referencyjne.

Pomierzono położenie wierzchołków drzew oraz zasięgi widocznych (oświetlonych) części koron. Poligony opisujące korony prowadzono po najniżej leżących, dostępnych do pomiaru (widocznych) częściach koron. Poligony te tworzyły w trójwymiarowej przestrzeni figury nachylone w kierunku źródła oświetlenia – Słońca.

Pomiar koron drzew jest nierozdzielnie związany z procesem interpretacji obrazu. W większości przypadków nie było większych trudności ze wskazaniem poszczególnych koron drzew. Jedynie w drzewostanach młodych z małymi koronami oraz w drzewostanach złożonych z gatunków liściastych, gdzie korony często zlewają się, niezbędna była arbitralna decyzja obserwatora.

3. Opracowanie wyników skanowania laserowego

Dane z lotniczego skanowania laserowego pozyskano w dniach 2 i 3 maja 2007 r. Pokrycie poprzeczne pomiędzy pasami skanowania wyniosło 50%. Do pozyskania danych wykorzystano system Falcon II firmy TopoSys GmbH (Niemcy). Rejestrowano tzw. pierwsze i ostatnie odbicie sygnału. Dokładność sytuacyjna danych wynosi ok. 0,5 m, natomiast wysokościowa ok. 0,15 m (dane wg wykonawcy nalotu). Nalot wykonano z wysokości ok. 850 m. Na etapie projektowania przyjęto gęstość punktów skanowania wynoszącą minimum 4 pkt na 1 m². Wynikowa gęstość skanowania, m.in. ze względu na poprzeczne pokrycie szeregów, sięgała 25 pkt na 1 m².

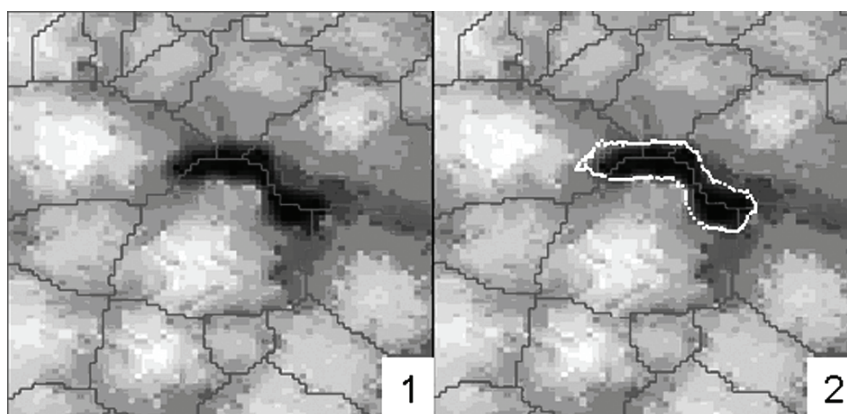
Numeryczne modele terenu (NMT) oraz pokrycia terenu (tutaj modele warstwy koron, NMWK) generowano za pomocą programu TreesVis [5]. W pierwszej kolejności tworzony jest raster o wielkości pola podstawowego zależnego od gęstości punktów skanowania. Filtracja NMT i NMWK² wykonywana jest w drugim etapie na podstawie wcześniej stworzonych rastrów. Podstawą algorytmu interpolującego jest teoria tzw. aktywnego konturu.

Dla obu modeli stosowany jest ten sam algorytm, z tym że w zależności od generowanego modelu inna wartość (maksymalna lub minimalna) jest zachowywana w dodatkowo tworzonej warstwie. Mówiąc o wartościach minimalnych i maksymalnych, mamy

¹ Obrazy wykonała firma MGGP Aero Sp. z o.o., Tarnów (zob. Geodeta 8, 2007).

² Filtracja jest niezbędna, gdyż liczba punktów skanowania przekracza znacznie liczbę punktów znajdujących się w wynikowej siatce interpolowanych modeli.

na myśli wartości rzędnych „Z” przypisane do punktów skanowania przypadających na jedno pole podstawowe rastra. Każdy punkt ma przypisaną wartość „siły”, z jaką „przyciąga” on powierzchnię rastra. Efektem działania algorytmów jest powierzchnia, która nie przyjmuje wartości minimalnych i maksymalnych dla danego terenu, gdyż z racji działania „sił” wartości skrajne są nieznacznie wygładzane. Utworzony NMWK zawsze wykazuje wartości wysokości drzew mniejsze od rzeczywistych.



Rys. 1. Segmentacja koron z wykorzystaniem danych skanera laserowego: 1 – określenie zasięgów koron, 2 – odrzucenie obszarów z wartościami w pikselach leżącymi poniżej przyjętego progu

Fig. 1. Detecting crowns with LIDAR data: 1 – crowns delineation, 2 – excluding non-crowns, i.e. pixels with values below threshold

Segmentacja koron na podstawie NMWK realizowana jest za pomocą algorytmu „pouring” [2–4], w którym stosowane są filtry Gaussa. Postać filtrów zależy od wysokości drzewostanu. Odrzucane są fragmenty modelu, które opisują powierzchnię terenu. W wyznaczonych segmentach określone są minimalna i maksymalna wartość rzędnej NMWK. Dalsze przetworzenia prowadzą do odrzucenia wszystkich oczek rastra NMWK, których rzędna jest mniejsza niż $\frac{1}{2}$ wysokości drzewostanu. Pozostałe fragmenty NMWK są uważane za powierzchnię opisującą kształt koron drzew (rys. 1).

4. Porównanie zasięgów koron wyznaczonych na podstawie danych skanowania laserowego i pomiarów fotogrametrycznych

Wyznaczone w wyniku przetwarzania danych skanowania laserowego i pomiarów fotogrametrycznych zasięgi koron różnią się wielkością (rys. 2). Różna jest także liczba wyznaczonych koron. W dalszej analizie uwzględniono jedynie te korony, które jednoznacznie zidentyfikowano w danych z obydwu źródeł.

Obliczono³ pola powierzchni rzutów koron na płaszczyznę poziomą – P_{LIDAR} i P_{foto} , a następnie promienie kół równoważnych, czyli o polach powierzchni odpowiadających wielkości powierzchni rzutów koron drzew (tab. 1)

³ Wykorzystano warstwy wektorowe i odpowiednie funkcje pakietu ArcGIS i in.

$$R_{\text{LIDAR}} = \sqrt{\frac{P_{\text{LIDAR}}}{\Pi}} \quad (1)$$

$$R_{\text{foto}} = \sqrt{\frac{P_{\text{foto}}}{\Pi}} \quad (2)$$

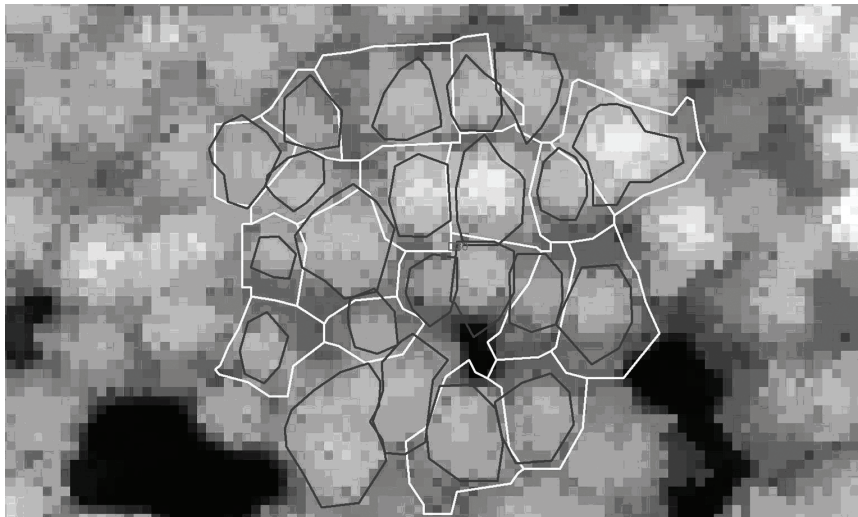
Stopień, w jakim zanizane są wielkości koron w trakcie pomiarów fotogrametrycznych, określają różnice pól powierzchni $dP = P_{\text{foto}} - P_{\text{LIDAR}}$ i promieni $dR = R_{\text{foto}} - R_{\text{LIDAR}}$ oraz ich średnie i parametry rozkładów statystycznych

$$\overline{dP} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{foto}} - P_{\text{LIDAR}})}{N} \quad (3)$$

$$\overline{dR} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{\text{foto}} - R_{\text{LIDAR}})}{N} \quad (4)$$

gdzie:

- \overline{dP} , \overline{dR} – przeciętna różnica pól powierzchni rzutów koron oraz promieni kół równoważnych,
- P_{foto} , R_{foto} – powierzchnia i promień korony wyznaczone na podstawie danych fotogrametrycznych,
- P_{LIDAR} , R_{LIDAR} – powierzchnia i promień korony ustalone w wyniku segmentacji NMWK,
- N – liczba drzew.

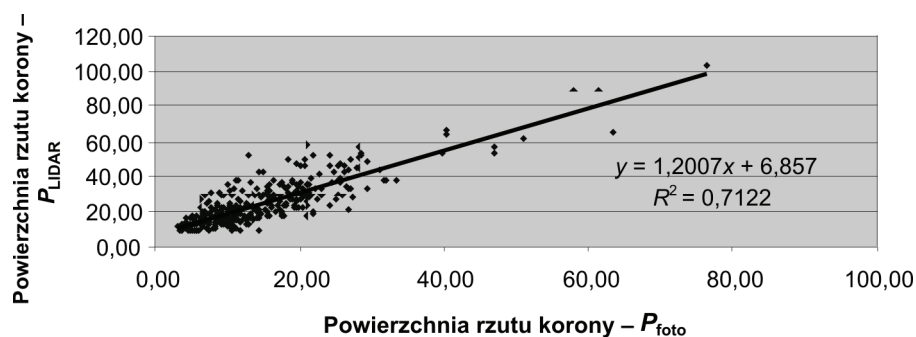
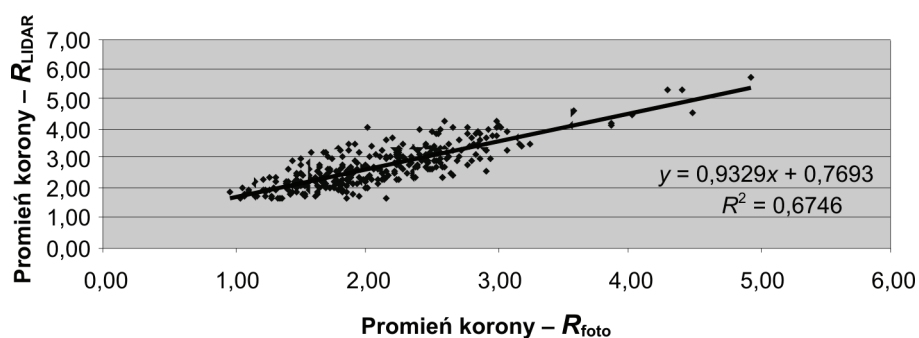


Rys. 2. Zasięgi koron wyznaczone fotogrametrycznie (ciemne linie) i na podstawie danych skanowania laserowego (LIDAR)

Fig. 2. Crowns extends from photogrammetric measurement (dark lines) and LIDAR data segmentation

Charakterystyki rozkładów różnic pól powierzchni i różnic promieni koron

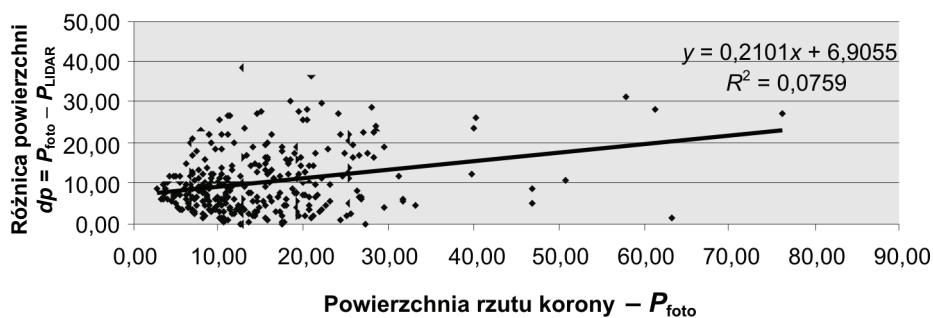
Parametr	Różnice pól powierzchni $dP = P_{\text{foto}} - P_{\text{LIDAR}} [\text{m}^2]$	Różnice promieni $dR = R_{\text{foto}} - R_{\text{LIDAR}} [\text{m}]$
Średnia	$\overline{dP} = -9,88$	$\overline{dR} = -0,63$
Minimum	$dP_{\text{min.}} = -38,58$	$dR_{\text{min.}} = -2,03$
Maksimum	$dP_{\text{max.}} = +6,14$	$dR_{\text{max.}} = +0,46$
Odchylenie standardowe	$\delta_{dP} = 7,60$	$\delta_{dP} = 0,40$

Rys. 3. Związek między powierzchnią rzutu korony [m^2] wyznaczoną fotogrametrycznie i na podstawie danych skanowania laserowego (LIDAR)Fig. 3. Correlation between crown area (orthogonal projection [m^2]) measured photogrammetrically and using LIDAR data

Rys. 4. Związek między promieniem korony [m] wyznaczonym fotogrametrycznie i na podstawie danych skanowania laserowego (LIDAR)

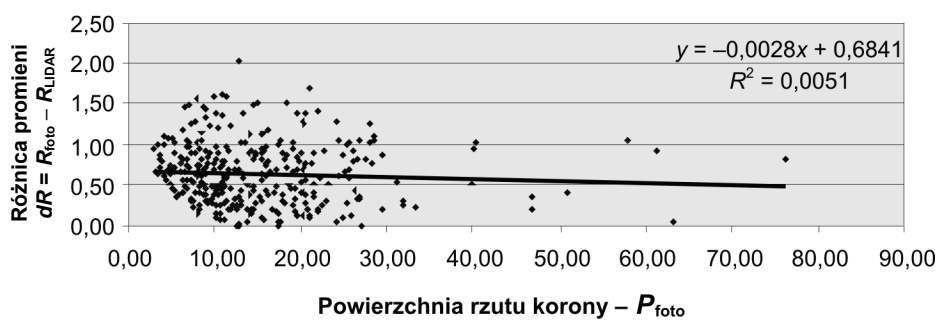
Fig. 4. Correlation between crown radius [m] measured photogrammetrically and using LIDAR data

Sprawdzono zależności pomiędzy charakterystykami koron drzew wyznaczonymi fotogrametrycznie i na podstawie danych skanowania laserowego. Porównano wielkości pól powierzchni rzutów koron i ich promienie ze sobą oraz z różnicami pól powierzchni i różnicami promieni. Związki między wyznaczonymi wielkościami pokazano na rys. 3–6.



Rys. 5. Związek między powierzchnią rzutu korony [m²] wyznaczoną fotogrametrycznie i różnicą powierzchni dP [m²]

Fig. 5. Correlation between crown area (orthogonal projection from photogrammetry [m²]) and crown area difference dP [m²]



Rys. 6. Związek między powierzchnią rzutu korony [m²] wyznaczoną fotogrametrycznie i różnicą promieni dR [m]

Fig. 6. Correlation between crown area (orthogonal projection from photogrammetry [m²]) and crown radius difference dR [m]

5. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że wymiary koron drzew (pole powierzchni oraz promienie) określone metodą fotogrametryczną i w trybie segmentacji na modelu NMWK, uzyskanym z danych skanowania laserowego (LIDAR), są ze sobą związane korelacyjnie. Korony pomierzone fotogrametrycznie mają pole powierzchni i promienie mniejsze od koron wyznaczonych z danych skanowania laserowego. Różnica promieni koron dR (średnio – 0,63 m) oraz różnica pól powierzchni koron dP (średnio – 9,88 m²) nie wykazują związku tak z wielkością, jak i z promieniem korony wyznaczonymi fotogrametrycznie (niskie współczynniki R^2 , rys. 5 i 6).

W doświadczeniu ustalono, w jakim stopniu różnią się wyniki segmentacji koron uzyskane przez pomiar fotogrametryczny oraz na podstawie danych skanowania laserowego. Nie przesądzono jednak o poprawności porównywanych metod. Takie stwierdzenie będzie możliwe po porównaniu wyników z dokładnymi pomiarami terenowymi wielkości koron drzew.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań, które uzyskano w ramach projektu 2 P06L 02229 „Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie”, finansowanego w latach 2005–2007 przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ze środków na naukę.

Literatura

- [1] 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., *Zastosowanie lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w analizie struktury przestrzennej i funkcjonowania lasów w krajobrazie*, Raport końcowy projektu badawczego 2 P06L 02229, Katedra Urządzenia Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie, Warszawa 2008.
- [2] Diederhagen O., Koch B., Weinacker H., Schütt C., *Combining LIDAR and GIS data for the extraction of forest inventory parameters*, Proc. of the Scandlaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests, 2003, 156-164.
- [3] Heurich M., Schadeck S., Weinacker H., Krzystek P., *Forest parameters derivation DTM/DSM generated from LIDAR and digital modular camera (DMC)*, XX ISPRS Congress, Istanbul 2004.
- [4] Koch B., Heyder U., Straub Ch., Weinacker H., *3D data for forest and environment planning*, Workshop on 3D remote Sensing in Forestry, Wien, Austria 2006.
- [5] Weinacker H., Koch B., Weinacker R., *TREESVIS: a Software System for Simultaneous 3D-Real-Time Visualisation of DTM, DSM, Laser Raw Data, Multi-spectral Data, Simple Tree and Building Models*, Proceedings of the ISPRS working group VIII/2, Freiburg, October 3–6 2004.