

SKANOWANIE LASEROWE I JEGO ZASTOSOWANIE W LEŚNICTWIE¹

LASER SCANNING AND ITS APPLICATION IN FORESTRY

Krzysztof Będkowski

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

Słowa kluczowe: skaniny laserowy, numeryczny model terenu, numeryczny model powierzchni koron

Keywords: laser scanning, digital terrain model, digital crown surface model

Wstęp

Wraz z opracowaniem i wdrożeniem do praktyki skaniny laserowego, można mówić o dokonaniu się rewolucyjnych wręcz zmian w technikach pomiaru terenu i obiektów terenowych. Duża dokładność przestrzenna, wysoki stopień automatyzacji procesu pozyskania danych i ich opracowania, praktyczne uniezależnienie od warunków atmosferycznych, możliwość wykonywania pomiarów na terenach pokrytych roślinnością, a także możliwość łączenia danych uzyskanych ze skanowania z informacją obrazową powodują, że ta nowa technika geomatyki coraz częściej uzupełnia lub wręcz zastępuje tradycyjne metody geodezyjne i fotogrametryczne, a także znacząco rozszerza obszar zastosowań teledetekcji.

Zasada działania

Skanowanie laserowe jest odpowiednikiem znanych technik radarowych, z tą jednak różnicą, że wykorzystuje promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu optycznego. W poszczególnych dziedzinach nauki i praktyki stosowane są odmienne określenia. Laser jest skrótem od *Light amplification by stimulated emission of radiation*. Znane np. w teledetekcji systemy: Lidar (*Light detection and ranging*), Ladar (*Laser detection and ranging*) Radar (*Radio detection and ranging*) pracują na tej samej zasadzie: wysyłane sygnały (impulsy), po

¹ Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003/2004 jako projekt badawczy 3 P06L 008 24 „Fotogrametryczna metoda badania stanu i zmian struktury przestrzennej drzewostanów”.

odbiciu od powierzchni terenu lub znajdujących się na nich obiektów, są rejestrowane przez odbiornik. Odległość oblicza się na podstawie upływu czasu między momentem wysłania sygnału i jego powrotu.

Światło lasera jest wąską wiązką monochromatycznych promieni, które poruszają się z prędkością o ok. 0,03% mniejszą od prędkości światła. Ta, z pozoru niewielka, różnica ma duże znaczenie praktyczne, gdyż łatwo obliczyć, że np. przy pomiarach z odległości 4 km, powoduje odchylenie wynoszące 1,2 m. Wiele czynników środowiska wpływa na pracę systemu. Jednym z nich jest promieniowanie słoneczne, które po odbiciu od powierzchni Ziemi lub składników atmosfery, jest rejestrowane przez fotodiode odbiornika jako tzw. tło. Intensywność właściwego sygnału powinna być wobec tego kilkakrotnie większa, aby zapewnić możliwość jego odróżnienia od zakłócającego tła. Ze względu na to, że maksimum promieniowania słonecznego przypada na zakres ok. 480 nm, oraz że występuje silne rozpraszanie światła widzialnego w atmosferze, w skanerach laserowych wykorzystuje się zakresy promieniowania powyżej 1000 nm. Znaczenie ma tutaj także konieczność uniknięcia ewentualnego uszkodzenia wzroku człowieka (Wagner, Ullrich, Briese 2003). Znajdujące się w atmosferze zanieczyszczenia oraz woda także zmieniają prędkość poruszania się światła. Szacuje się, że błąd pomiaru, w przeciętnych warunkach rejestracji, może z tego powodu wynosić ok. 0,02 m.

Sposób odbicia promieniowania laserowego zależy od charakteru powierzchni obiektów terenowych, a także ich struktury wewnętrznej. W przypadku roślinności, rejestrowane mogą być tzw. pierwsze impulsy (ang. *first pulse*) odbite od warstwy koron, następnie dalsze – odbite od konarów i pni drzew, aż do impulsów odbitych od powierzchni Ziemi (*last pulse*). Istnieją skanery, które pozwalają na odróżnienie poszczególnych impulsów, jednakże występują tutaj pewne granice uwarunkowane technicznie. Aby urządzenie rejestrujące mogło poprawnie oddzielić sygnały, konieczne jest zachowanie minimalnego odstępu czasowego pomiędzy rejestrowanymi impulsami. Odstęp ten może wynosić np. 10 ns. W tym czasie impuls pokonuje odcinek równy w przybliżeniu ok. 3 m ($300\,000\text{ km/s} \times 10\text{ ns}$). Wynika z tego, że np. w przypadku pokrycia terenu przez niską roślinność ($h < 1,5\text{ m}$), nie można odróżnić pierwszego impulsu, odbitego przez wierzchołki roślin, od ostatnich impulsów odbitych od powierzchni Ziemi (Kraus 2003). Nie wszystkie wysyłane impulsy powracają do urządzenia odbiorczego. Promieniowanie laserowe podlega niekiedy odbiciu lustrzanemu (od gładkich powierzchni, np. dachów samochodów), może też być całkowicie pochłonięte (wody). Szczególnie silnie pochłaniane są impulsy laserowe padające prostopadle do powierzchni lustra wody. Odbite kierunkowo impulsy mogą natrafić dalej na inne obiekty, od których zostaną następnie odbite w różnych kierunkach. Wyznaczone na podstawie takich impulsów odległości są obarczone znacznymi błędami.

Skanery

Stosowane obecnie komercyjnie skanery pracują na podstawie pomiaru czasu przebiegu impulsów promieniowania laserowego. Dane techniczne typowych urządzeń podano w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne typowych skanerów laserowych (Wagner, Ullrich, Briese 2003 – nieco zmienione)

Charakterystyka	Typowe wartości dla systemów komercyjnych	LVIS – Laser Vegetation Imaging Sensor*
Długość fali	1,04–1,06 μm (0,8–1,55 μm)	1,064 μm
Czas trwania sygnału	5–10 ns	10 ns
Energia impulsu	100 μJ	5 mJ
Zapis sygnału	pierwszy / ostatni sygnał	500 tys. próbek/s
Kąt rozwarcia promienia laserowego (IFOV)	0,2–2 mrad	8 mrad
Kąt skanowania (FOV)	7–40°	7°
Wysokość lotu	500–3000 m	< 10 km
Rozdzielczość terenowa (wielkość plamki laserowej)	0,2–2 m	1–80 m

* Eksperymentalny skaner NASA. Rejestruje nie tylko czas nadejścia pierwszego i ostatniego impulsu, ale także dokładnie kształt całego powracającego sygnału. Uzyskane dane pozwalają na utworzenie specyficznego „spektrum odbicia”, które przynosi informacje o strukturze przestrzennej obiektów terenowych.

Istotne znaczenie mają informacje dotyczące dokładności wykonywanych za pomocą skanerów pomiarów. Kompletny system składa się z właściwego skanera, pokładowego GPS oraz inercyjnego układu pozycjonowania samolotu IMU (*inertial measurement unit*). Pomiar GPS są wykonywane równocześnie na stacji naziemnej. Kraus (2003) podaje m.in. następujące wartości dla skanera ALS40 (*Airborne Laser Scanner*) firmy Leica Geosystems

- długość fali 1064 nm (bliska podczerwień)
- maksymalna wysokość lotu 6000 m (3000 m)
- częstotliwość skanowania 26 Hz
- kąt skanowania (FOV) 35–75°
- kąt rozwarcia promienia laserowego (IFOV) 0,33 mrad
- rozdzielczość terenowa (wielkość plamki laserowej) 33 cm (przy wysokości lotu 1 km)
100 cm (przy wysokości lotu 3 km)
- dokładność wyznaczania wysokości $\pm 17 \div \pm 47$ cm (w zależności od kąta skanowania FOV oraz wysokości lotu)
- dokładność wyznaczania położenia $\pm 17 \div \pm 75$ cm (w zależności od kąta skanowania FOV oraz wysokości lotu)

W literaturze krajowej, zastosowania skanerów lotniczych były omawiane już stosunkowo wcześniej (zob. np. Kurczyński 1999). Dane techniczne dotyczące skanerów ALTM (*Airborne Laser Terrain Mapper*), wykorzystywanych przez niemiecką firmę Hansa Luftbild, we współpracy z TopScan, podaje np. Zein (2002). Tematyka ta weszła także sygmalnie do treści podręczników akademickich (np. Kurczyński, Preuss 2000; Bernasik 2003).

Gęstość skanowania powierzchni terenu może być różna. Wiązka promieniowania laserowego „omiata” teren prostopadle do kierunku lotu z dużą częstotliwością. Na przykład przy prędkości samolotu 70 m/s i częstotliwości skanowania równej 26 Hz, odstęp skanowanych linii wynosi 2,7 m. Pojedyncze punkty pomierzone w skaningu laserowym są odle-

głe od siebie o 0,5÷3 m, a urządzenia odbiorcze muszą mieć zdolność zapisania bardzo dużych zbiorów danych – w ciągu 12 godzin lotu trzeba zarejestrować 1,2 miliarda punktów (Kraus 2003).

Na dokładność wyznaczenia wysokości mają wpływ przede wszystkim dokładność laserowego pomiaru odległości oraz dokładność wyznaczenia położenia odbiornika GPS, znajdującego się na pokładzie samolotu. Obydwa te czynniki są w niewielkim stopniu uzależnione od wysokości lotu. Znaczenie natomiast mają: zakłócający wpływ atmosfery oraz pogarszanie się rozdzielczości terenowej, wynikające ze wzrostu wielkości plamki laserowej. Dokładność położenia zależy od dokładności pomiaru GPS, dokładności wyznaczania pozycji samolotu (układ IMU) oraz dokładności pomiaru kąta wychylenia promienia laserowego. Ostatnie dwa źródła błędów wpływają na znaczący spadek dokładności położenia wraz ze wzrostem wysokości lotu.

Atutem skanowania laserowego jest duża liczba pomierzonych punktów. W zależności od celu, buduje się numeryczne modele: wysokościowe (DEM – *digital elevation model*), terenu (DTM – *digital terrain model*), powierzchni pokrycia (DSM – *digital surface model*), znormalizowane modele pokrycia (nDSM), modele sytuacyjne, topograficzne itp. Zadanie budowy modelu na podstawie wyników pomiarów skanowania laserowego jest trudne, ponieważ nie wiadomo, jakie obiekty zostały pomierzone oraz w jakich miejscach (np. korony drzew, pnie, czy dno lasu?). Nawet niewielkie powierzchnie, na przykład linie energetyczne, mogą dawać wyraźne echo. Ponieważ punkty zawierają wyłącznie informację geometryczną, niezbędne jest wykonanie ich klasyfikacji – np. oddzielenie punktów leżących na powierzchni terenu od punktów położonych na obiektach (drzewach, budynkach itp.). To zadanie, nazywane filtracją, może być zrealizowane za pomocą różnych złożonych algorytmów. Pfeifer (2003) opisuje wiele metod filtracji, przy czym szczególną uwagę zwraca na trzy: progresywnego zagęszczania modelu TIN, filtracji morfologicznej oraz szybkiej interpolacji. Szczegółowe opisy tych metod interpolacji podaje Kraus (2003). Procedury te mają przede wszystkim na celu uzyskanie danych dotyczących punktów lub powierzchni związanych z terenem. W niektórych zastosowaniach niezbędne jest jednak zbudowanie modeli pokrycia terenu, tj. uwzględniających budynki lub roślinność.

Skanowanie laserowe pokrywy roślinnej

Przy przetwarzaniu danych dotyczących terenów leśnych, należy brać pod uwagę wspomnianą wcześniej właściwość częściowego odbijania się impulsów laserowych od koron, konarów, pni i niżej położonych krzewów oraz dna lasu. Interpolowana na tej podstawie powierzchnia przebiega miejscami przez korony, miejscami po powierzchni terenu, ewentualnie na pewnej wysokości nad terenem. Znaczenie ma wybór odpowiedniego trybu pomiarów – mogą być rejestrowane pierwsze lub ostatnie impulsy (tzn. odległość do powierzchni koron lub do dna lasu). Uzyskiwane wyniki zależą także od gęstości pokrywy roślinnej oraz pory wykonania pomiarów (aspekt fenologiczny). W przypadku upraw rolnych, różnice stanu dojrzałości roślin na sąsiadujących ze sobą polach mogą wyrażać się w różnicach wysokości na uzyskanym modelu powierzchni. Możliwość zarejestrowania kształtu pojedynczych drzew i krzewów zależy przede wszystkim od gęstości punktów pomiarowych. Poprzez odpowiedni dobór parametrów sterujących, wspomniane wcześniej algorytmy fil-

tracji mogą być tak zmodyfikowane, że uzyskiwane modele będą opisywać pokrycie terenu, które na obszarach pozbawionych roślinności i niezabudowanych będzie odpowiadać powierzchni Ziemi, natomiast w lesie – warstwie koron drzew.

Rieger i in. (1999) oraz Kraus i Rieger (1999) – obydwaj źródła za Pfeiferem (2003) – opisują interesujący przykład opracowania wyników skanowania laserowego dla celów leśnych: numeryczny model terenu zbudowano na podstawie pomiarów wykonanych w okresie zimowym, natomiast warstwę koron aproksymowano z danych uzyskanych w okresie letnim (rejestrowano tzw. pierwszy impuls). Model różnicowy, tj. znormalizowany (nDSM), jest wówczas zapisem wysokości drzewostanu.

Ze środków Unii Europejskiej sfinansowano międzynarodowy projekt HIGH-SCAN, w ramach którego przeprowadzono badania przydatności skaningu laserowego do pozyskiwania informacji na poziomie szczegółowości odpowiadającym pojedynczym drzewom (Ziegler, Schardt, Konrad 2000; Hyypä, Schardt i in. 2001). Założono, że dane ze skaningu oraz dodatkowo z wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych, powinny umożliwić określenie wielkości charakteryzujących drzewostany: zapas [m^3/ha], skład gatunkowy, średnia wysokość drzew, zwarcie drzewostanu, pierśnicowe pole przekroju, struktura klas wieku, typ gleby, powierzchnia koron drzew, granice drzewostanów. Zastosowano lotniczy skaner laserowy TopoSys-1, który w ciągu sekundy generuje 83 000 impulsów, co odpowiada gęstości skanowania ok. 4 punktów na 1 m^2 (przy wysokości lotu 800 m).

Charakterystyka zastosowanego skanera Laserscanner TopoSys-1 (wybór):

- częstotliwość pulsacji skanera: 83 000 Hz
- pole (ką) widzenia: $\pm 7,1^\circ$
- gęstość punktów pomiaru: 4–5 na 1 m^2 przy wysokości lotu 800 m
- szerokość skanowanego pasa: 200 m (przy $h = 800 \text{ m}$)
- dokładność wyznaczenia położenia: $x, y < 1,0 \text{ m}$
- dokładność wyznaczenia wysokości (WGS84): $z < 0,15 \text{ m}$.

Równoległe ze skanowaniem rejestrowano położenie samolotu za pomocą systemów GPS oraz LINS (*Laser Inertial Navigation System*). Dla poprawienia dokładności, obserwacje GPS prowadzono także na stałej stacji naziemnej, zlokalizowanej w pobliżu obszaru badań. Dane ze skanowania wykorzystano do budowy numerycznego modelu terenu (DTM) oraz numerycznego modelu koron (DCM – *Digital Crown Model*). Numeryczny model wysokości drzew (DTHM – *Digital Tree Height Model*) określono jako różnicę rzędnych zapisanych w modelu DCM oraz DTM. Podstawę porównań stanowiły dokładne pomiary geodezyjne ukształtowania terenu oraz warstwy koron. Stwierdzono, że otrzymany numeryczny model terenu, w zależności od zastosowanej metody interpolacji, był obciążony błędem systematycznym wynoszącym ok. 10–40 cm, natomiast błąd średni nie przekraczał 40 cm.

Przyjęto, że wielkości opisujące drzewostany będą wyprowadzane na podstawie charakterystyk pojedynczych drzew: położenia, wysokości, gatunku, powierzchni koron. Podstawowym problemem jest odpowiednie automatyczne rozróżnienie koron drzew. Proces ten jest nazywany segmentacją i może być realizowany za pomocą różnych algorytmów. Należy zlokalizować poszczególne korony oraz wyznaczyć ich granice. Identyfikacji koron można dokonać, poszukując lokalnych maksimum w numerycznym modelu warstwy koron. Model ten należy wstępnie poddać wygładzaniu (filtracji dolnoprzepustowej), gdyż w przeciwnym razie może być wykazana obecność zbyt wielu drzew. Z kolei zbyt mocne filtrowanie prowadzi do zlewania się obrazów koron. Testom poddano trzy algorytmy segmentacji, wyniki kontrolowano za pomocą geodezyjnych pomiarów kształtu 197 losowo

rozmieszczonych drzew – świerków, modrzewi oraz 7 innych gatunków drzew iglastych. Odsetek poprawnie wyróżnionych koron zawierał się w granicach 40÷50%. Korony pozostałych drzew zlewały się z innymi lub były w ogóle pominięte. Porównano także powierzchnię rzutów koron 78 świerków z powierzchnią wyznaczoną na podstawie wyników segmentacji. Stwierdzono, że powierzchnia koron jest zawyżana – w dwóch analizowanych algorytmach przeciętnie o 5 oraz 12 m². Przy wyznaczaniu charakterystyk drzewostanów stwierdzono, że poszczególne wielkości są obarczone błędami wynoszącymi: 2,3 m (błąd średniej wysokości drzewostanu), 1,9 m²/ha (błąd średni pierśnicowego pola przekroju), 16,5 m³/ha (błąd średni zapasu). Błędy procentowe wynosiły odpowiednio: 13,6%, 9,6%, 9,5%. Po zsumowaniu miąższości pojedynczych drzew i porównaniu jej z miąższością określoną na podstawie pomiarów terenowych stwierdzono, że jest niższa od rzeczywistej o ok. 3,3%. Można stąd wyciągnąć wniosek, że błąd segmentacji koron drzew, jest kompensowany na poziomie drzewostanu. Dalsze badania wykazały, że im więcej zlewało się w procesie segmentacji koron drzew, tym bardziej zaniżana była miąższość drzewostanu (określana przez sumowanie miąższości pojedynczych drzew), w porównaniu do danych kontrolnych.

Przedmiotem zainteresowania był także wpływ na uzyskiwane wyniki gęstości skanowania. Analizowano modele budowane na podstawie 1, 4 i powyżej 10 punktów pomiarowych na 1 m². Zauważono, że wszystkie wielkości: miąższość strzały drzewa, pierśnicowe pole przekroju drzewostanu oraz wysokość drzew wyznaczono z większym błędem przy gęstości skanowania 4 punktów na 1 m² niż przy gęstości równej 1 punkt na 1 m². Najlepsze rezultaty otrzymano po zwiększeniu gęstości powyżej 10 punktów na 1 m². Ten zaskakujący wynik wymaga sprawdzenia w dalszych badaniach.

Przeprowadzone w ramach eksperymentu HIGH-SCAN badania dotyczyły gatunków iglastych. Sprawą otwartą jest jednakże, czy można będzie zastosować powyższe algorytmy w przypadku drzewostanów liściastych lub mieszanych. Autorzy spodziewają się, że jedynie grupy drzew będzie można tym sposobem rozpoznawać. Proponują zastosowanie obrazów skanerowych RGB (kanały widzialne oraz podczerwień), wykonywanych jednocześnie z pomiarem laserowym, które po odpowiedniej kalibracji oraz przetworzeniu (klasyfikacji) pozwolą rozpoznawać gatunki drzew.

Nowy paradygmat

Paradygmat, to sposób (wzór) myślenia, który jest właściwy dla danej dyscypliny. Wraz z pojawieniem się techniki skanowania laserowego można mówić o dokonaniu się tak istotnych zmian w technice pomiarów, które można określić jako nowy paradygmat (Kraus 2002). W fotogrametrii wyróżnikami dotychczasowego paradygmatu były:

- rekonstrukcja obiektów w przestrzeni 3D za pomocą co najmniej dwóch obrazów,
- pasywny charakter systemu rejestracji obrazów.

Paradygmat skanowania laserowego określimy natomiast następująco:

- rekonstrukcja obiektów w przestrzeni 3D za pomocą co najmniej jednego obrazu,
- aktywny charakter systemu rejestracji obrazów.

Zamiast wiązek promieni mamy wiązkę wektorów (kierunek i odległość). Istnieje także możliwość połączenia fotogrametrii i skanowania laserowego.

Zalety skanowania laserowego w stosunku do fotogrametrii (tab. 2):

- możliwość rekonstrukcji obiektów także za pomocą pojedynczego promienia (ważne na obszarach leśnych),
- dogodny pomiar obiektów, których obrazy są pozbawione tekstury (np. rozległych jednorodnych upraw rolnych),
- niezależnienie od warunków atmosferycznych.

Tabela 2

Fotogrametria	Skaning laserowy
Duża rozdzielczość przestrzenna (rzędu dm, cm)	Niska rozdzielczość przestrzenna (0,25 punktu / m ²)
Niska dokładność wysokościowa (0,08% wysokości lotu)	Wysoka dokładność wysokościowa
Duże uzależnienie od warunków atmosferycznych	Małe uzależnienie ze względu na stosowanie bliskiej podczzerwieni
Zakłócający wpływ cienia w pomiarach obszarów zurbanizowanych i leśnych	Obszary oświetlone i zacienione są jednakowo "widoczne" dla skanera laserowego

Zakończenie

Skanowanie laserowe to nie tylko pomiary z poziomu lotniczego. Istnieją liczne zastosowania w obszarze tzw. fotogrametrii bliskiego zasięgu: naziemnej inwentaryzacji budynków, pomników, dzieł sztuki, itp. Skanowanie laserowe z ekstremalnie małych odległości zajmuje się pomiarami szczegółów obiektów o wielkości porównywalnej do niedużych zabawek. Obraz skanerowy jest łączony bardzo często z obrazem zdejmowanym za pomocą aparatów cyfrowych. Doświadczenia z zastosowaniem skanera CYRAX 2500 do inwentaryzacji wnętrza budowli monumentalnych omawia w literaturze polskiej m.in. Studencki (2003).

Także w leśnictwie dostrzeżono możliwości, jakie daje skaner laserowy w inwentaryzacji drzewostanów na powierzchniach próbnych. Ten kierunek badań bardzo szybko się rozwija. Zainteresowanych Czytelników odsyłam do materiałów konferencji *Laser Inventory Systems for Environmental Assessment* (NATSCAN), 3-6 października 2004 r. Uniwersytet we Freiburgu, Breisgau, Niemcy, opublikowanych w internecie na stronie <http://www.natscan.de>.

Literatura

- Bernasik J., 2003: Elementy fotogrametrii i teledetekcji. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, AGH Kraków.
- Hyypä J., Schardt M., Haggrén H., Koch B., Lohr U., Scherrer H.U., Paananen R., Luukkonen H., Ziegler M., Hyypä H., Pyysalo U., Friedländer H., Uuttera J., Wagner S., Inkinen M., Wimmer A., Kukko A., Ahokas E., Karjalainen M., 2001: HIGH-SCAN: The first european-wide attempt to derive single-tree information from laserscanner data. *The Photogrammetric Journal of Finland*, vol. 17, No. 2: 58-68.
- Kraus K., 2002: Laser-Scanning – ein Paradigma-Wechsel in der Photogrammetrie. *Mensuration, Photogrammétrie, Génie rural* 10.
- Kraus K., 2003: *Photogrammetrie. Band 1: Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen*. Walter de Gruyter Verlag, Berlin.
- Kurczyński Z. (1999): DTM inaczej. Lotniczy skaner laserowy – nowa technologia pozyskiwania danych o rzeźbie terenu. *Geodeta* 2.

- Kurczyński, Preuss, 2000: Podstawy fotogrametrii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Pfeifer N., 2003: Oberflächenmodelle aus Laserdaten. *Vermessung & Geoinformation* 91(4): 243-252.
- Studencki M., 2003: Rzeźbienie laserem. Skaner laserowy CYRAX 2500. *Geodeta* 6.
- Wagner W., Ullrich A., Briese C., 2003: Der Laserstrahl und seine Interaktion mit der Erdoberfläche. *Vermessung & Geoinformation* 91(4): 223-235.
- Zein T., 2002: Skanowanie terenu laserem lotniczym. *Geodeta* 12(91): 38-40.
- Ziegler M., Schardt M., Konrad H., 2000: Einsatzmöglichkeiten von Laserscannerdaten für die Forstinventur – Laserscanning for forest inventory. [W:] Žihlavník Š., Scheer L. (ed.): *Application of Remote Sensing in Forestry*. Zvolen: 57-64.

Summary

In view of high spatial accuracy, high degree of automation in the process of data acquisition and data processing, practical independence on weather conditions, and possibility to make measurements in the areas covered by flora, laser scanning more and more often supplements or even replaces traditional geodetic and photogrammetric methods, and significantly broadens the scope of application of remote sensing.

The way of reflection of laser radiation depends on the nature of surface of land objects and on their internal structure. In the case of flora, so called first pulse reflected from tree crowns may be registered then further pulses – reflected from branches and trunks of trees to the last pulse reflected from the earth surface. Even small surfaces, for instance power lines, may give a distinct echo. As signal contain also geometric information, it is necessary to classify it, e.g to distinguish points on the land surface from points situated on objects (trees, buildings etc.). This task, called filtration, may be performed by means of various algorithms.

Within the framework of HIGH-SCAN project (Ziegler, Schardt, Konrad 2000; Hyypä, Schardt and others 2001) financed by the European Union, research on usefulness of laser scanning was performed in order to obtain information characterizing tree stands: timber volume [cu.m/hectare], tree species proportion, mean tree height, stand density, basal area, structure of age classes, soil type, crown area, stand boundaries. The calculation of stand attributes for a single stand is based on the measurement of the location, species and crown locations of every single tree.

The results obtained prove a real possibility to use laser scanning in forestry to make inventory of stands.

Dr Krzysztof Będkowski
Krzysztof.Będkowski@wl.sggw.waw.pl