

TELEDETEKCYJNE NARZĘDZIA W BADANIACH ROŚLINNOŚCI WYSOKOPIENNEJ DO OCENY WARUNKÓW PRZEPŁYWU NA TERENACH ZALEWOWYCH¹

Tomasz Kałuża, Paweł Strzeński

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań struktury krzewów wierzby. Badane krzewy rosły w dolinie rzeki Barycz. W badaniach wykorzystano technikę zdjęć hemisferycznych, urządzenie LAI 2000 oraz skaning laserowy. Naziemny skaning laserowy wykonano za pomocą skanera FARO LS 880. Badania wykonano w okresie letnim 2008 r. Porównano wskaźniki oceny struktury krzewów pomierzone za pomocą obu urządzeń. Uzyskano informacje o gęstości struktury krzewów oraz udziale ulistnienia w analizie ażurowości roślin. Dane te posłużyły do oceny współczynników oporów przepływu wywołanych obecnością roślin.

Słowa kluczowe: teledetekcja, skaning laserowy

REMOTE SENSING IN RESEARCH OF HIGH-GROWING PLANTS FOR FLOW ESTIMATION IN FLOODLANDS

Abstract

Results of investigation of structure of riparian bush species have been presented in the paper. Bushes were located on Barycz river bank. Hemispherical photos, LAI 2000 and laser scanning were used to carry out investigations. Terrestrial laser scanning (TLS) were done by using of FARO LS 880. Investigations were carried out during summer period in 2008. Bush structure coefficients calculated by using both devices were compared. Moreover, concentration of bush in the riparian zone structure was estimated as well as contribution of leaves in analysis of site openness of plants was calculated. Results obtained from the analysis were used to evaluate of roughness coefficients due to vegetation.

Keywords: remote sensing, laser scanning

Wstęp

Zasadniczy wpływ na warunki przepływu w czasie powodzi posiada m.in. struktura roślinności porastającej tereny zalewowe. Stosowane obecnie metody oparte na empirycznych, stabilizowanych współczynnikach szorstkości (np. metoda Manninga) są dość powszechnie krytykowane za ich subiektywizm, pomijaną zależność od napełnienia i postać wymiarową. Zalecenia DVWK (1991) łączą, wg propozycji Pasche (1984), wyznaczanie współczynnika oporu wywołanego obecnością roślin λ_v z makro- lub mikrostrukturalnymi parametrami roślin: średnicą d_p , i średnim rozstawem a_x , roślin lub elementów krzewów. Alternatywną propozycje oceny wartości współczynnika oporu krzewów, pozwalającą na uniknięcie pracochłonnego wyznaczenia parametrów geomet-

¹ Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego: N305 078 32/2740 finansowanego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego

rycznych roślin, przedstawił Kaiser (1984). Zaproponował on ogólną charakterystykę struktury roślinności w postaci wskaźnika przesłonięcia przekroju \square p. Wskaźnik przesłonięcia przekroju przedstawia stosunek rzutu rośliny na powierzchnię przekroju poprzecznego do objętości rośliny. Podstawową metodą wyznaczania wskaźnika przesłonięcia przekroju jest bezpośredni pomiar struktury krzewów. Jednak ze względu na pracochłonność takich badań od wielu już lat rozwijane są metody teledetekcyjne oparte o zintegrowaną analizę optyczną. Zaawansowane technologie optyczne dają szansę na rozwój bardziej wiarygodnych i precyzyjnych technik pomiarowych parametrów roślinnych, które będzie można wykorzystać w obliczeniach hydraulicznych (Kałuża i Strześliński 2008).

Zmierzeniem przeprowadzonych badań było przetestowanie metod oceny struktury roślinności krzewiastej, potrzebnej do wyznaczenia charakterystyk hydraulicznych terenów zalewowych, na podstawie zdjęć hemisferycznych, pomiarów za pomocą urządzenia LAI 2000 (www.licor.com) oraz skanera FARO LS 880 (www.faro.com).

Obszar badań

Przedmiotem badań były krzewy wierzby. Badania terenowe przeprowadzono w dolinie rzeki Barycz, w okolicach miejscowości Sułów (fot. 1.). Miejsce badań zostało wybrane ze względu na rozległość samej doliny i obecność krzewów, jak i wcześniej zrealizowany dla tego obszaru (Nadleśnictwo Milicz) lotniczy skaning laserowy. Skaning lotniczy wykonany był w ramach projektu „Opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na integracji wybranych technik geomatycznych”, koordynowanego przez Wydział Leśny SGGW oraz prof. dr hab. Tomasza Zawilę-Niedźwieckiego. Autorzy artykułu pragnęli zestawić wyniki prac naziemnych z analizami lidarowymi, stąd zainteresowanie tym właśnie obszarem.

Badania obejmowały 7 krzewów wierzby szarej *Salix eleagnos* SCOP. o zróżnicowanej gęstości i wysokości. Pomiaru wykonano w dniach 14-15 lipca 2008 r., czyli w pełni sezonu wegetacyjnego, gdy na krzewach znajdowały się liście. Wybrane zostały krzewy, które pozwalały na swobodny dostęp skanera FARO LS 880 (odrzucono te, które rosły bezpośrednio nad wodą), i których nie zaciaśniały sąsiednie drzewa lub krzewy. Wymagała tego metodyka pomiarów LAI 2000 oraz zdjęć hemisferycznych (Strześliński 2006). Było to również istotne z punktu widzenia możliwości wydzielenia wybranych krzewów na zdjęciach lotniczych i lidarowych w przyszłych analizach. Każdy krzew został dokładnie pomierzony. Za pomocą łąty geodezyjnej wyznaczono jego wysokość. Wykorzystując taśmę mierniczą pomierzono także obwody na różnych wysokościach krzewów, przyjmując kolejne płaszczyzny pomiarowe co pół metra, a więc 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m itd. Pomiar LAI-2000 oraz zdjęcia hemisferyczne wykonano na wysokości: 0,5 m i 1,5 m. Skan każdego krzewu wymagał ustawienia skanera przynajmniej na trzech stanowiskach. Dla każdego krzewu stosując GPS wyznaczono jego położenie. Opracowano także dokładną dokumentację fotograficzną przebiegu badań.

Materiały i Metody Skaner FARO LS 880

Urządzeniem pozwalającym na automatyczny pomiar struktury roślinnej jest m.in. skaner naziemny. Dane pochodzące z zastosowania lidara naziemnego służyć mogą do określenia cech krzewów (np. objętości bryły krzewu, jego wysokości) oraz do budowy modeli pozwalających na uzyskanie pełniejszej informacji o krzewie (np. 3D modeli struktury krzewu). Potencjalny zestaw danych możliwych do pozyskania na powierzchni próbnej za pomocą skanera laserowego daje więc



Fot. 1. Dolina Baryczy w okolicy Sułowa
Photo 1. Barycz River Valley near Sułów



Fot. 2. Skaner naziemny FARO w trakcie badań w dolinie Baryczy
Photo 2. Scanner FARO on the inventory plot in the Barycz River Valley

znacznie większe możliwości określania cech krzewów i analizy ich struktury, niż tradycyjne pomiary naziemne. W pracach wykorzystano model LS 880 HE80 skanera laserowego firmy FARO (fot. 2). Zastosowana technologia pozwala temu skanerowi obrazować do 250 tys. punktów na sekundę, z błędem liniowym wynoszącym ± 3 mm na 25 m. W pracach terenowych w dolinie rzeki Barycz zdecydowano się na standardowe ustawienia skanera tj. na $\frac{1}{4}$ rozdzielczości, co i tak pozwala na uzyskanie imponującej liczby punktów pomiarowych w liczbie około 50000000 z jednego stanowiska pomiarowego. Czas wykonywania jednego obrotu skanera (bez opcji pozyskiwania zdjęć cyfrowych kamerą) wynosi około 7 minut w tej rozdzielczości. Model HE80 ma budowę modułową składającą się z czterech komponentów zainstalowanych na obrotowej podstawie. Są to w kolejności: moduł bazowy (podstawowy), moduł sensora, moduł sterowania lustrem oraz moduł komputera PC (Zawiła-Niedźwiecki i in. 2007).

Urządzenie LAI-2000

Automatyczny pomiar struktury roślinnej można wykonywać stosując m.in. urządzenie LAI-2000 firmy LI-COR. Umożliwia ono w szybki i pewny sposób oznaczać wartości LAI i LAD pokrywy roślinnej. Współczynnik ulistowienia LAI (leaf area index) definiuje się jako sumaryczny stosunek jednostronnej powierzchni wszystkich liści do powierzchni podłoża, nad którą się znajdują [m^2/m^2]. LAD (leaf area density) to współczynnik gęstości listowia, który wyraża stosunek sumarycznej powierzchni liści rośliny do objętości tej rośliny [m^2/m^3]. Wartość LAD w przypadku roślin pozbawionych liści można interpretować jako stosunek powierzchni przekroju wszystkich gałęzi krzewu do objętości bryły krzewu co jest tożsame ze wskaźnikiem przesłonięcia przekroju.

Idea pracy urządzenia LAI-2000 opiera się na ocenie intensywności penetracji pokrywy roślinnej przez rozproszone światło niebieskie. Czujnik optyczny tego urządzenia składa się z pięciu pierścieni, które określają intensywność promieniowania pod różnymi kątami widzenia jednocześnie, co pozwala na obliczenie ich powierzchni oraz ponadto umożliwia oszacowanie średniego kąta nachylenia liści. Aby zmierzyć LAD krzewu należy wykonać serię kilkunastu pomiarów. Pierwszy pomiar światła wykonujemy na zewnątrz rośliny, tak aby w polu widzenia sensora znajdowało się wyłącznie niebo (fot. 3). Kolejne pomiary wykonywane są w szacie roślinnej (fot. 4). Istotne jest

aby pomiary wykonywać przy takim samym położeniu azymutalnym urządzenia oraz na tej samej wysokości.



Fot. 3-4. Pomiary LAD krzewu za pomocą LAI-2000 w dolinie Baryczy
Photo 3-4. The LAD measurement of the bush in the Barycz River Valley

Pomiar parametrów roślinnych za pomocą zdjęć hemisferycznych

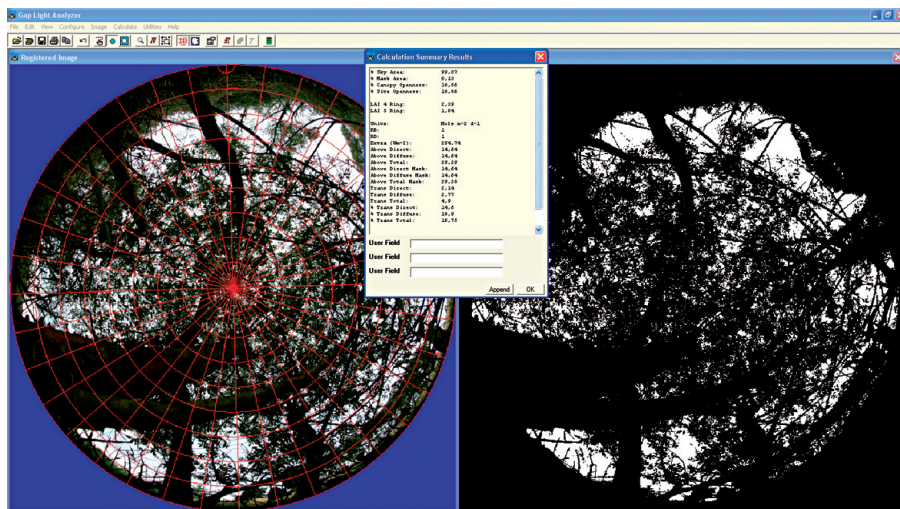
Zdjęcia hemisferyczne to najprostszy sposób pomiaru indeksu LAI oraz ażurowości roślin (Strzeliński 2006). Założenia metodyczne wykonywania zdjęć hemisferycznych wymagają rejestracji obrazu w zakresie 180° . W takim przypadku wykorzystywana jest cyfrowa lustrzanka (lub wysokiej klasy cyfrowy kompakt) z odpowiednim konwerterem, który w połączeniu z obiektywem pozwoli na uzyskanie kulistego zdjęcia z zachowaniem kąta widzenia 180° . Zdjęcia hemisferyczne najczęściej są wykonywane podczas badań związanych z opisem warunków ekologicznych roślin (lasy, uprawy rolne, sady). Ponieważ zdjęcia hemisferyczne są typowym pomiarem punktowym, statyw z aparatem umieszcza się w środku powierzchni badawczej (fot. 5). Aparat musi być ustawiony w ten sposób, aby umowna płaszczyzna obiektywu (górnej soczewki) była wypoziomowana. W efekcie analiz opartych na zdjęciach hemisferycznych można określić następujące wielkości: bezwzględną ilość światła rejestrowana na poziomach pomiarowych, strukturę krzewu, zmienność przestrzenną ulistnienia, indeks powierzchni liściowej LAI.



Fot. 5. Metoda wykonywania zdjęć hemisferycznych
Photo 5. Method of taking hemispherical photos

Wyniki i ich analiza

Do analizy rastrowych zdjęć hemisferycznych wykorzystywane zostało oprogramowanie Gap Light Analyzer (v. 2.0) (ryc. 1). W badaniach zdjęć hemisferycznych wykorzystano LAI 5 Ring (wynik obliczony dla przestrzeni pomiędzy zenitem a kątem 75°). Innym parametrem było wypełnienie przestrzeni 2D przez wierzbowe pręty czyli tzw. ażurowość korony P. Ażurowość odpowiada procentowemu wskaźnikowi wyliczanemu jako stosunek powierzchni wolnej od roślin do całkowitej powierzchni obrazu hemisferycznego.

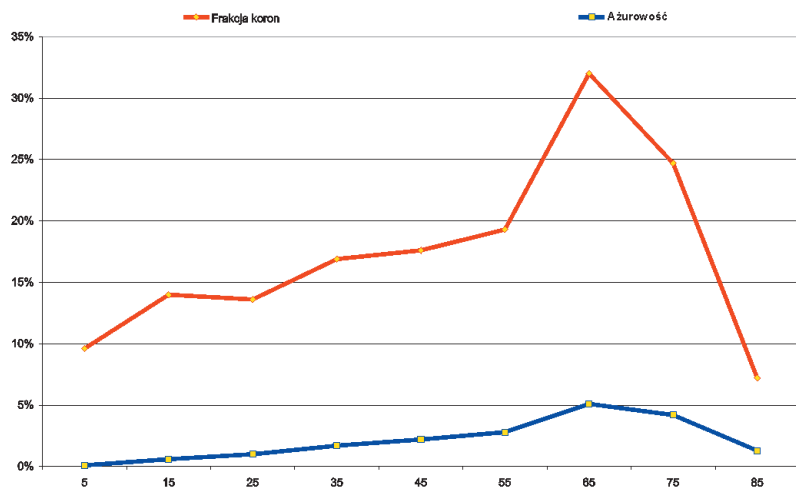


Ryc. 1. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego K1_50 w programie GLA
 Fig. 1. Example of analysis of hemispherical photograph K1_50 in GLA programme

Na ryc. 2 i ryc. 3 zaprezentowano przykład analizy zdjęcia hemisferycznego dla krzewu K1_50 przy pomiarze na wysokości 0,5 m. Ryc. 2 przedstawia udział frakcji koron i ażurowość. Natomiast na ryc. 3 pokazano wielkość całkowitego nasświetlenia.

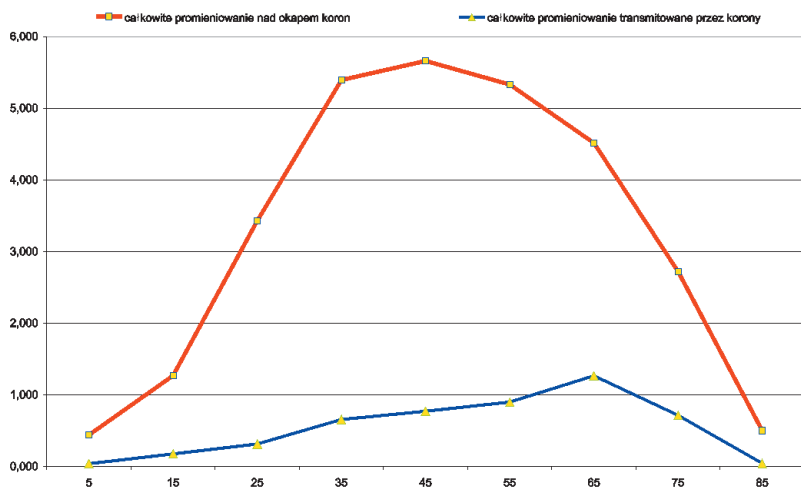
Wyniki pomiarów LAI 5 Ring na podstawie zdjęć hemisferycznych kształtowały się w granicach 0,96 (K3) – 2,11 (K7) na wysokości 0,5 m i 1,1 (K5) – 2,3 (K7) na wysokości 1,5 m. Ażurowość: 15,57% (K7) – 36,88% (K3) na wysokości 0,5 m oraz 12,38% (K7) – 31,98% (K5) na wysokości 1,5 m. Następnie porównano i określono zależność między LAI 5 Ring ze zdjęć hemisferycznych, a współczynnikiem ulistwienia LAI wyznaczonym za pomocą urządzenia z LAI – 2000 przy pomiarze na wysokościach 0,5 m i 1,5 m (ryc. 4). Wartość współczynnika LAI z LAI – 2000 kształtowała się od 0,96 (K3) – 3,8 (K6) na wysokości 0,5 m oraz 1,21 (K3) – 3,96 (K7) na wysokości 1,5 m.

Założono liniowy charakter zależności między LAI z analizy zdjęć hemisferycznych, a wartościami LAI z pomiarów urządzeniem LAI – 2000. Uzyskane wartości współczynnika korelacji $R = 0,691$ dla pomiaru na 0,5 m i $R = 0,616$ dla pomiaru na 1,5 m wskazują występowanie mocnych związków korelacyjnych. Szczególnie przy pomiarze na wysokości 0,5 m.



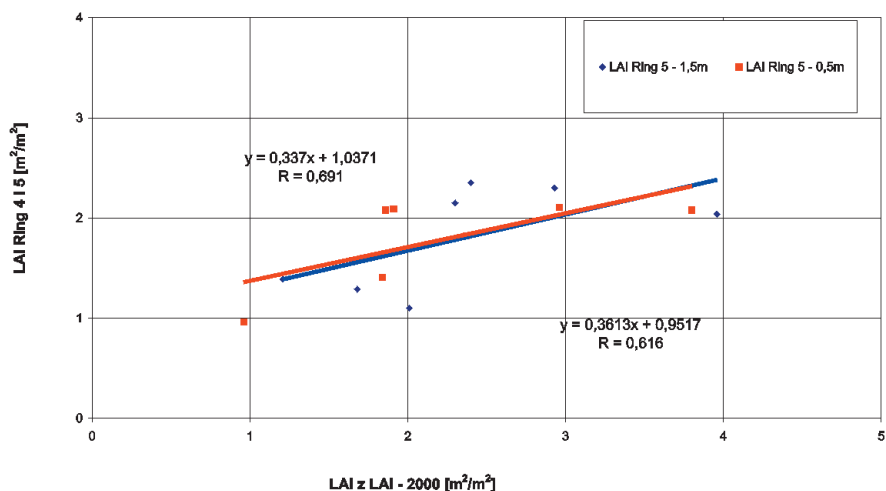
Ryc. 2. Analiza zdjęcia hemisferycznego K1_50 – udział frakcji koron (kolor czerwony) i ażurowość (kolor niebieski)

Fig. 2. Analysis of hemispherical photograph K1_50 – share of gap fraction (red) and sky fraction (blue)



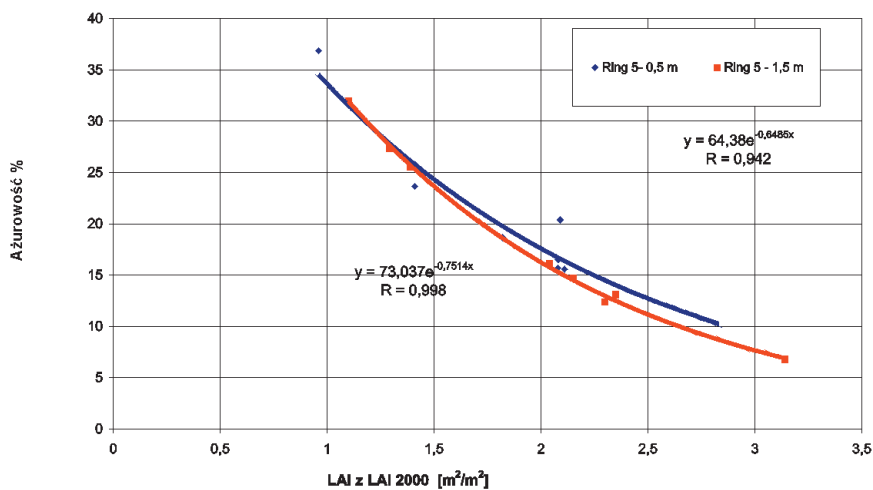
Ryc. 3. Analiza zdjęcia hemisferycznego K1_50 – wielkość całkowitego promieniowania nad okapem koron (kolor czerwony) oraz całkowitego promieniowania przenikającego przez korony (kolor niebieski)

Fig. 3. Analysis of hemispherical photograph K1_50 – total radiation above crown canopy (red) and total radiation filtered through crowns (blue)



Ryc. 4. Zależność między LAI 5 Ring ze zdjęć hemisferycznych, a LAI z LAI – 2000 dla różnych wysokości pomiaru

Fig. 4. Relationship between LAI 5 Ring from hemispherical photographs and LAI from LAI-2000 for different heights of measurements



Ryc. 5. Zależność między ażurowością dla 5 Ring ze zdjęć hemisferycznych, a LAI z LAI – 2000 dla różnych wysokości pomiaru

Fig. 5. Relationship between sky fraction for 5 Ring from hemispherical photographs and LAI from LAI-2000 for different heights of measurements

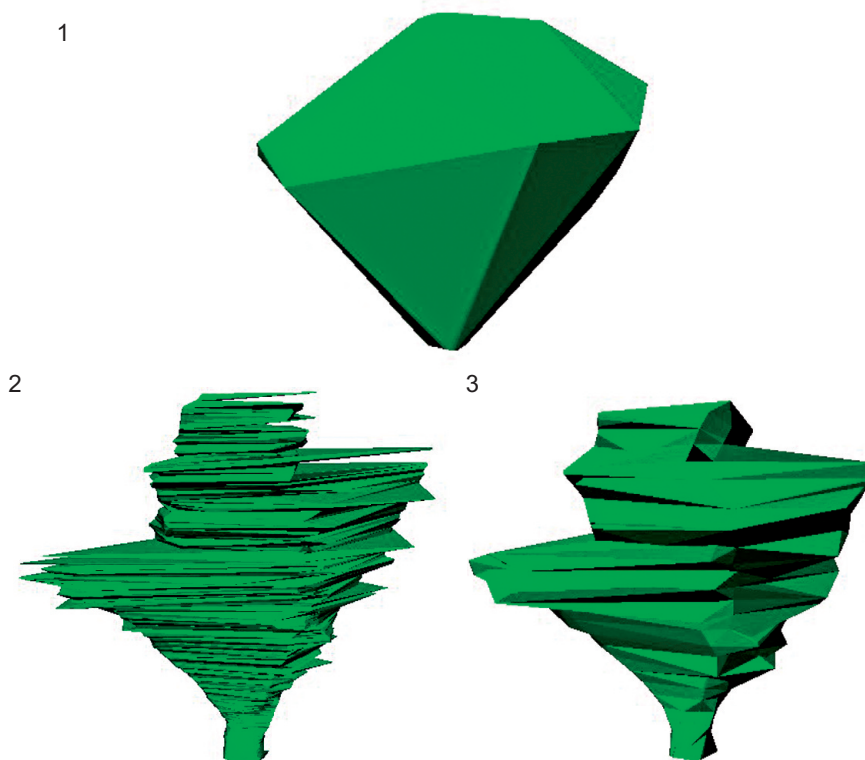
Podobną analizę wykonano w odniesieniu do wartości ażurowości krzewów uzyskanej ze zdjęć hemisferycznych, a wartościami LAI z pomiarów urządzeniem LAI – 2000 (ryc. 5). Mocne związki korelacyjne równe $R = 0,942$ dla wysokości pomiaru 0,5 m i $R = 0,998$ dla pomiaru na 1,5 m uzyskano przy założeniu zależności wykładniczej. W tym przypadku wysokość pomiaru jest w zasadzie nieistotna.

Wykonanie skanowania krzewów w okresie wegetacyjnym spowodowało konieczność analizy tych skanów jako bryły wypukłej (Tymków 2009). Bryła ta zbudowana jest z trzech typów obiektów geometrycznych: wierzchołków, krawędzi oraz zamkniętych powierzchni wypukłych. Algorytm tworzenia otoczki wypukłej w przestrzeni wielowymiarowej jest złożonym zagadnieniem. Zastosowanie wspomnianego algorytmu do budowy modelu 3D geometrii krzewu na podstawie danych lidarowych prezentuje ryc. 7. Analizując ryc. 7-1 zauważyć można, że w przypadku rozpatrywanych modeli krzewu zastosowanie jednoetapowego tworzenia otoczki prowadzi do powstania bryły w znacznym stopniu różniącej się geometrią od rzeczywistej bryły krzewy.



Ryc. 6. Obraz intensywności punktów w centrum – skanowany krzew
Fig. 6. Points intensity in the center – scanned shrub

Aby uzyskać lepsze dopasowanie do niewypukłych fragmentów otoczki rośliny, Tymków (2009) zaproponował wariant wieloetapowy tworzenia bryły na podstawie podziału chmury punktów na segmenty o wspólnych krawędziach styku. Każdy z segmentów tworzony jest jako samodzielna otoczka wypukła, lecz ich połączenie nie spełnia warunku wypukłości jako całość. Podział chmury dokonywany jest płaszczyznami równoległymi do płaszczyzny XY. Parametrem metody wymagającym do ustalenia na wstępie jest grubość segmentów (odległość pomiędzy poszczególnymi płaszczyznami podziału).



Ryc. 7. Model 3D geometrii krzewu wygenerowany na bazie algorytmu znajdowania otoczki wypukłej dla wszystkich punktów pomiarowych (1). Wizualizacja bryły krzewu przy zastosowaniu grubości segmentu 2 cm (2) i 10 cm (3)

Fig. 7. 3D model of shrub geometry generated on the basis of algorithm for finding of convex border for all measurement points (1). Visualization of shrub lump with thickness of segment of 2 cm (2) and 10 cm (3)

W procesie modelowania kluczowym zadaniem jest dobór optymalnej grubości segmentu. Dla segmentów o grubości ok. 0,5 cm uzyskano objętość najbardziej zbliżoną do objętości uzyskanej drogą pomiarów ręcznych. Ryc. 7-2 i 7-3 prezentuje wizualizacje bryły krzewu przy zastosowaniu grubości segmentu 2 cm i 10 cm.

Podsumowanie

Przedstawione w pracy wyniki badań wskazują na możliwość wykorzystania nowych narzędzi pomiarowych opartych na nowoczesnych technikach geomatycznych w badaniach warunków przepływu na terenach zalewowych. Zastosowanie zintegrowanej analizy optycznej w badanych krzewów stanowić może nową jakość w ocenie mikrostrukturalnych uwarunkowań oporów ruchu wywołanych roślinnością koryta wielkiej wody. Wyniki badań gęstości krzewów posłużyły do prze-

testowania metod opartych o analizę zdjęć hemisferycznych oraz pomiar za pomocą urządzenia LAI-2000. Wykonane badania testowe dla 7 różnych krzewów pozwoliły na sformułowanie następujących uwag i spostrzeżeń:

- W pracy wykazano, że zdjęcia hemisferyczne mogą posłużyć do oceny wskaźnika przesłonięcia przekroju, w oparciu o związki korelacyjne ze wskaźnikiem LAI 5 Ring oraz ażurowością P. Metoda ta może zostać uznana jako prawidłowa przy ocenie struktury roślinności.
- Stwierdzono również brak wpływu wysokości pomiaru na jakość związków korelacyjnych.
- Budowa numerycznego modelu bryły krzewu w oparciu o dane ze skaningu naziemnego wymaga doprecyzowania grubości segmentów (płastrów), z których budowana jest bryła. Wpływa to znacząco na dokładność wyników.

Literatura

- DVWK. 1991. Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. DVWK-Merkblätter 220 zur Wasserwirtschaft. Verlag Paul Parey.
- Kaiser W. 1984. Fließwiderstandsverhalten in Gerinnen mit durchströmten Ufergehölzen. Wasserbau - Mitteilungen der TH Darmstadt.
- Kałuza T., Strzeliński P. 2008. Wykorzystanie zdjęć hemisferycznych w badaniach struktury roślinności krzewiastej terenów zalewowych. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, nr 7/2008: 233-242.
- Pasche E. 1984. Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und die Möglichkeiten ihrer mathematischen Erfassung. Mitt. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen, Heft 52, Aachen.
- Strzeliński P. 2006. Zastosowanie zdjęć hemisferycznych w badaniach ekosystemów leśnych. Roczniki Geomatyki, tom IV, zeszyt 2, s. 103-112.
- Tymków P. 2009. Ocena parametrów geometrycznych roślinności krzewiastej na podstawie danych naziemnego skaningu laserowego. Raport z badań realizowanych w ramach grantu N305 078 32/2740 w okresie VII 2008-II 2009, maszynopis Katedry Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
- Zawiła-Niedźwiecki T., Strzeliński P., Wencel A., Chirrek M. 2007. Laserowy skaner naziemny w badaniach ekosystemów leśnych. (W:) Medyńska-Gulij B., Kaczmarek L. (red.). Informacja geograficzna w kształtowaniu i ochronie środowiska przyrodniczego. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 197-207.

Tomasz Kałuza

Katedra Budownictwa Wodnego
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
kaltom@gmx.net

Paweł Strzeliński

Katedra Urządzenia Lasu
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
strzelin@up.poznan.pl