

TOMASZ KAŁUŻA

Katedra Budownictwa Wodnego
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

ZASTOSOWANIE ZINTEGROWANEJ ANALIZY OPTYCZNEJ W BADANIACH STRUKTURY ROŚLINNOŚCI KRZEWIASTEJ TERENÓW ZALEWOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań struktury krzewów wikliny. Krzewy budowano sztucznie z pojedynczych gałązek wikliny. Odzwierciedlały one zmienną gęstość struktury krzewów porastających tereny zalewowe. Ocenę gęstości krzewów wykonano poprzez pomiar bezpośredni. Wykonano także zdjęcia hemisferyczne oraz badania urządzeniem LAI-2000. Wyniki analizy gęstości krzewów wskazują na możliwości wykorzystania metod optycznych w badaniach terenowych struktury zakrzaceń.

Słowa kluczowe: struktura krzewów, zdjęcia hemisferyczne, LAI, opory przepływów

Wstęp

Zalecenia DVWK (HYDRAULISCHE... 1991) łączą, według propozycji PASCHEGO (1984), wyznaczanie współczynnika oporu wywołanego obecnością roślin λ_v z makro- lub mikrostrukturalnymi parametrami roślin: średnicą d_p i średnim rozstawem a_x , a_y roślin lub elementów krzewów. Alternatywną propozycję oceny wartości współczynnika oporu krzewów, pozwalającą na uniknięcie pracochłonnego wyznaczania parametrów geometrycznych roślin, przedstawił KAISER (1984). Zaproponował on ogólną charakterystykę struktury roślinności w postaci wskaźnika przesłonięcia przekroju ω_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 są rozwijane metody oparte na zintegrowanej analizie optycznej. Zaawansowane technologie optyczne dają szansę na rozwój bardziej wiarygodnych i precyzyjnych technik pomiarowych parametrów roślinnych, które będzie można wykorzystać w obliczeniach hydraulicznych.

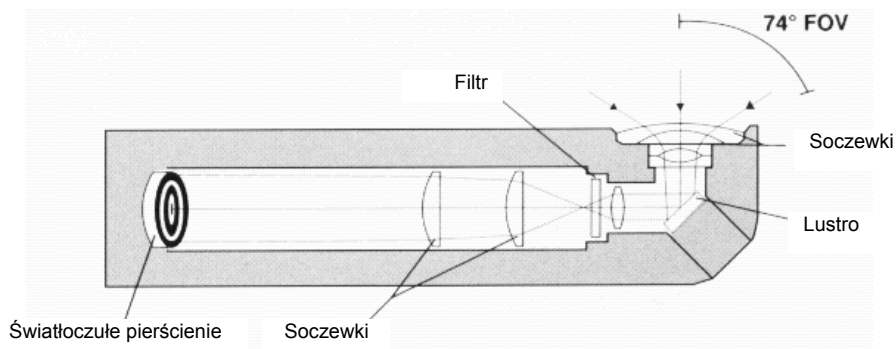
Zamierzeniem przeprowadzonych badań było przetestowanie metod oceny struktury roślinności krzewiastej, potrzebnej do wyznaczenia charakterystyk hydraulicznych terenów zalewowych, na podstawie zdjęć hemisferycznych oraz pomiarów za pomocą urządzenia LAI-2000 (KAŁUŻA i LEŚNY 2002).

Material i metody

Pomiar parametrów roślinnych za pomocą urządzenia LAI-2000

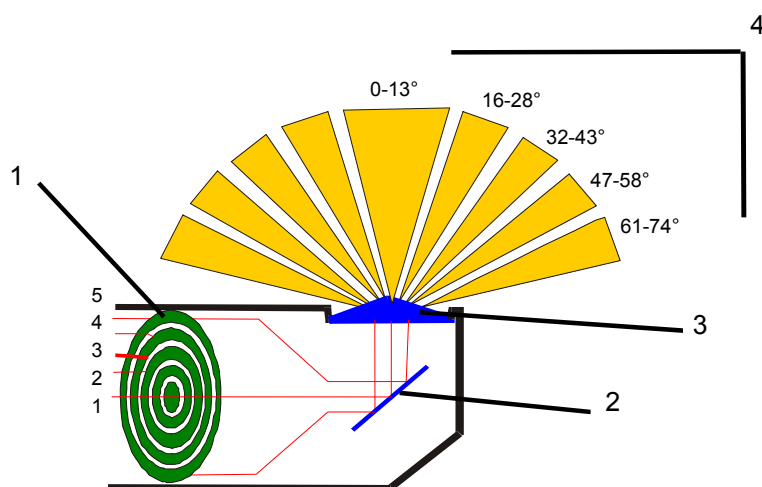
Urządzeniem optycznym pozwalającym na automatyczny pomiar struktury roślinnej jest m.in. urządzenie LAI-2000 firmy LI-COR. Umożliwia ono oznaczenie w szybki i pewny sposób wartości współczynników LAI i LAD pokrywy roślinnej. Współczynnik ulistowienia LAI (*leaf area index*) definiuje się jako sumaryczny stosunek jednostronnej powierzchni wszystkich liści do powierzchni podłoża, nad którą się znajdują. LAD (*leaf area density*) to współczynnik gęstości listowia, który wyraża stosunek sumarycznej powierzchni liści rośliny do objętości tej rośliny. 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 (ω_p).

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 (rys. 1), które określają intensywność promieniowania pod różnymi kątami widzenia jednocześnie, co pozwala na obliczenie ich powierzchni oraz ponadto umożliwia oszacowanie średniego kąta nachylenia liści (rys. 2). Aby oszacować LAD krzewu, należy wykonać serię kilkunastu pomiarów. Pierwszy pomiar światła wykonujemy na zewnątrz rośliny, tak aby w polu widzenia sensora znajdowało się wyłącznie niebo. Kolejne pomiary są wykonywane w szacie roślinnej. Istotne jest, aby pomiary wykonywać przy takim samym położeniu azymutalnym urządzenia oraz na tej samej wysokości. Dane pomiarowe uzupełnione informacjami o rozmiarach krzewu (w postaci współrzędnych x i y) analizuje się za pomocą programu FV2000, który pozwala na wyliczenie wartości LAD dla całej objętości krzewu.



Rys. 1. Sensor optyczny urządzenia LAI-2000

Fig. 1. The LAI-2000 optical sensor



Rys. 2. Schemat sensora pomiarowego urządzenia LAI-2000: 1 – światłoczułe pierścienie, 2 – lustro, 3 – szerokokątny obiektyw, 4 – zakresy widzenia poszczególnych pierścieni

Fig. 2. Schema of optical sensor the LAI-2000 Plant Canopy Analyser: 1 – optical detectors, 2 – mirror, 3 – “fish eye” lenses, 4 – nominal angular coverage

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 (rys. 3). Aparat musi być ustawiony w ten sposób, aby umowna płaszczyzna obiektywu (górnej soczewki) była wypoziomowana.

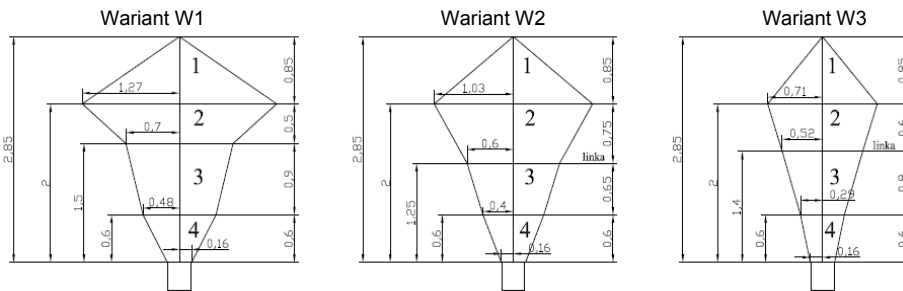
W efekcie analiz opartych na zdjęciach hemisferycznych można określić następujące wielkości: bezwzględną ilość światła rejestrowaną na poziomach pomiarowych, strukturę zwarcia koron, zmienność przestrzenną ulistnienia okapu drzewostanu, indeks powierzchni liściowej LAI, ogólną charakterystykę koron, wysokość oraz pierśnicę dla drzew znajdujących się najbliżej środka kadru.



Rys. 3. Metoda wykonywania zdjęć hemisferycznych
Fig. 3. Method of taking hemispherical photos

Pomiary struktury krzewów

Testujące badania struktury krzewów wykonano na sztucznym modelu rośliny. Krzewy budowano z pojedynczych gałązek wikliny. Gałązki wikliny w liczbie 30 zostały dokładnie pomierzone. Długość każdego pręta rozwidlenia gałązki zmierzono za pomocą taśmy pomiarowej, a średnice (górną i dolną) określono suwmiarką cyfrową. Opisanie gałązki były mocowane do podstawki w ten sposób, że umieszczano je w ponumerowanych otworach. Pozwalało to na powtarzalność prowadzonych badań. W badaniach przyjęto pięć wariantów liczby gałązek: A – 30 szt., B – 25 szt., C – 20 szt., D – 15 szt. i E – 10 szt. Dodatkowo zróżnicowano objętość krzewów (rys. 4). Przyjęto trzy warianty objętości krzewów: $W1 = 4,21 \text{ m}^3$, $W2 = 3,22 \text{ m}^3$ i $W3 = 1,69 \text{ m}^3$. W sumie uzyskano 15 różnych wariantów gęstości krzewów. Objętość $W1$ odpowiadała naturalnej objętości krzewu (gałązki rozmieszczone swobodnie), a objętości $W2$ i $W3$



Rys. 4. Warianty objętości krzewów
Fig. 4. Variants of bushes volume

uzyskano poprzez zagęszczenie (ścieśnienie) gałązek żyłką. W pierwszym etapie wykonano bezpośrednie pomiary krzewów. Na tej podstawie określono gęstości krzewów wyrażone wartością wskaźnika przesłonięcia przekroju ω_p :

$$\omega_p = \frac{A_p}{V_p}$$

gdzie: A_p – pole rzutu rośliny na powierzchnię przekroju poprzecznego: $A_p = \Sigma(d_p l \cdot l_i)$ (m^2), V_p – objętość krzewu (m^3), d_p – średnica gałązki (m), l – długość gałązki (m).

W tabeli 1 zestawiono wartości wskaźnika przesłonięcia przekroju ω_p dla wszystkich wariantów badań. Maksymalna uzyskana wartość wskaźnika przesłonięcia przekroju wynosiła $0,53 \text{ m}^2/\text{m}^3$ dla wariantu nr 3, natomiast minimalna wartość wynosiła $0,07 \text{ m}^2/\text{m}^3$ dla wariantu nr 13.

Tabela 1. Zestawienie wariantów gęstości krzewów
Table 1. Statement of alternatives of bushes volume

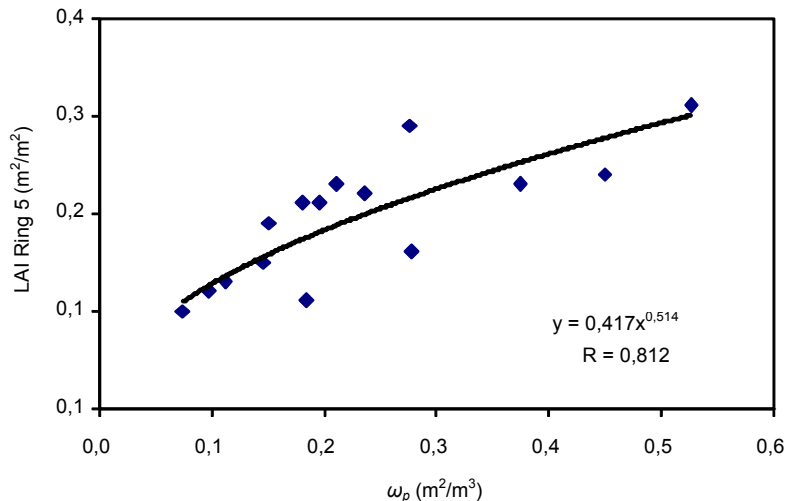
Lp.	Objętość krzewu	Liczba gałązek	ω_p (m^2/m^3)
1	W1	A	0,211
2	W2	A	0,276
3	W3	A	0,525
4	W1	B	0,180
5	W2	B	0,235
6	W3	B	0,449
7	W1	C	0,150
8	W2	C	0,196
9	W3	C	0,373
10	W1	D	0,111
11	W2	D	0,145
12	W3	D	0,277
13	W1	E	0,074
14	W2	E	0,096
15	W3	E	0,184

Do wykonania zdjęć hemisferycznych wykorzystano aparat cyfrowy typu SLR (lustrzanka) – Canon EOS 5D (matryca 12 MP) z obiektywem Sigma 8 mm f/3.5 DG EX FISH EYE. Zestaw taki daje możliwość otrzymania obrazu hemisferycznego (wertkalny kąt rejestracji – 180°). W celu wyeliminowania wpływu środowiska zewnętrznego zdjęcia hemisferyczne wykonano w specjalnie przygotowanym namiocie z białego płótna ustawionego w hali oświetlonej rozproszonym światłem jarzeniowym. Aparat został umieszczony na statywie i wypoziomowany. Górna krawędź obiektywu znajdowała się około 50 cm nad pniem, w którym mocowano pręty wierzbowe. W trakcie pomiarów kolejnych wariantów umieszczony na statywie aparat pozostawał w tej samej pozycji.

W analizie zdjęć hemisferycznych (STRZELIŃSKI 2006) zastosowano oprogramowanie Gap Light Analyzer v. 2,0. 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. Ażurowość badanych krzewów wynosiła od 67% – W3 do 80% – W15. Natomiast wartości LAI 5 Ring zmieniały się od 0,10 – W13 do 0,31 – W3.

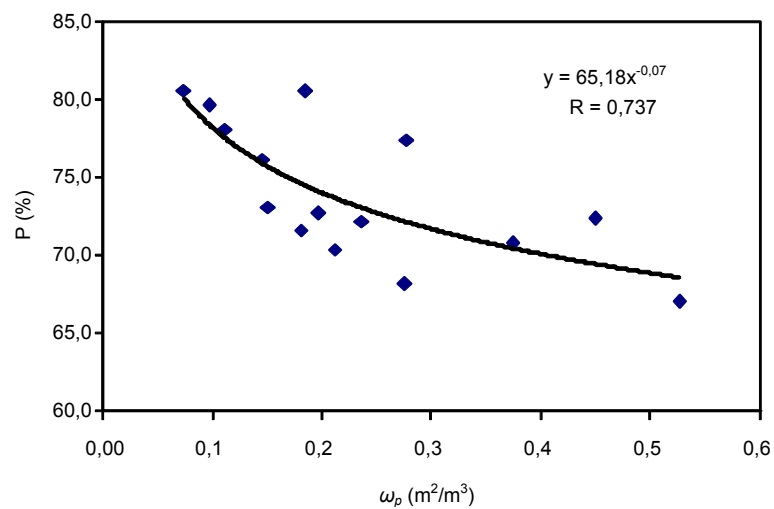
Zestawiając wyniki oceny gęstości krzewów testowych uzyskane metodą badań bezpośrednich oraz wynikające z opracowania zdjęć hemisferycznych, poszukiwano związków korelacyjnych między nimi. W analizach wykorzystano wszystkie warianty, nie grupując wyników dla trzech różnych objętości krzewów (KAŁUŻA i STRZELIŃSKI 2008). Na rysunku 5 przedstawiono zależność między wskaźnikiem przesłonięcia przekroju a wartością wskaźnika LAI 5 Ring. W tym przypadku uzyskano potęgową zależność między tymi wielkościami. Współczynnik korelacji $R = 0,812$ wskazuje na istnienie istotnej zależności analizowanych wielkości. Przeanalizowano także zależność między wskaźnikiem przesłonięcia przekroju a ażurowością krzewów (rys. 6). W tym przypadku zgodnie z oczekiwaniami wzrostowi ażurowości odpowiadał spadek wartości wskaźnika przesłonięcia przekroju. Również w tym przypadku uzyskano zależność potęgową między tymi wielkościami. Wyznaczona wartość współczynnika korelacji wskazuje na istnienie istotnej zależności analizowanych wielkości: $R = 0,737$.

Dalsza analiza wyników badań dotyczyła zależności między indeksami LAI i LAD otrzymanymi z pomiaru LAI-2000 oraz wartościami wskaźnika przesłonięcia przekroju traktowanymi jako pomiar referencyjny. Na rysunku 7 przedstawiono potęgową zależność między wartością LAI 5 Ring z LAI-2000 oraz wskaźnikiem ω_p . Uzyskano nieco

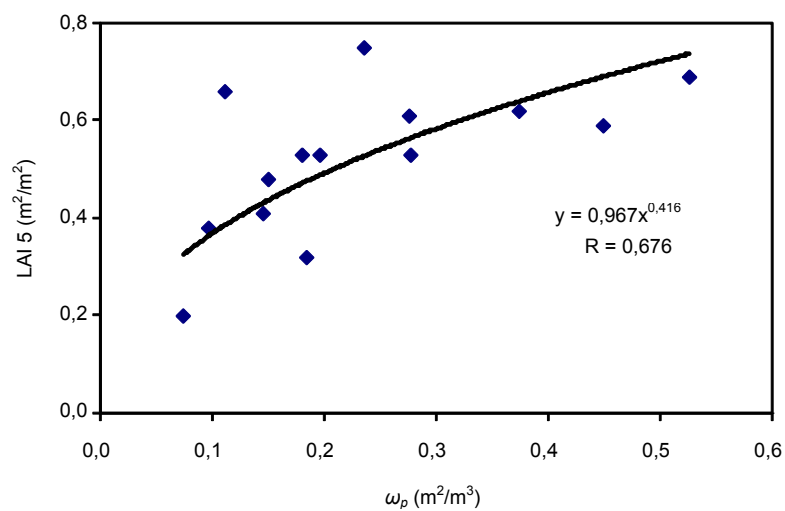


Rys. 5. Zależność między wskaźnikiem przesłonięcia przekroju ω_p a wartością LAI 5 Ring

Fig. 5. Relationship between cross-section covering coefficient ω_p and LAI 5 Ring value



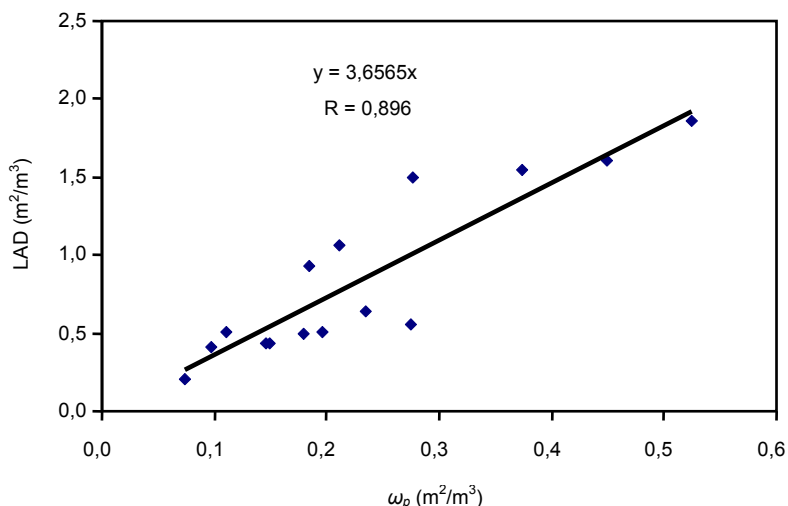
Rys. 6. Zależność między wskaźnikiem przesłonięcia przekroju ω_p a ażurowością krzewów P
 Fig. 6. Relationship between cross-section covering coefficient ω_p and open-work of bushes P



Rys. 7. Zależność między wskaźnikiem przesłonięcia przekroju ω_p a wartością LAI 5
 Fig. 7. Relationship between cross-section covering coefficient ω_p and LAI 5 value

gorszą korelację ($R = 0,676$) niż między wskaźnikiem przesłonięcia przekroju ω_p a wartością LAI 5 Ring z analizy zdjęcia hemisferycznego (rys. 5).

Przeanalizowano również zależność między wskaźnikiem przesłonięcia przekroju ω_p wyliczonym z pomiaru bezpośredniego i wartością LAD otrzymaną z pomiaru urządzeniem LAI-2000 (rys. 8). Zależność ta przy współczynniku korelacji $R = 0,896$ wskazuje na bardziej ściśle związki niż w przypadku analizy zdjęć hemisferycznych.



Rys. 8. Zależność między wskaźnikiem przesłonięcia przekroju ω_p a wartością LAD

Fig. 8. Relationship between cross-section covering coefficient ω_p and LAD value

Podsumowanie

Przedstawione w pracy wyniki badań wskazują na możliwość wyznaczenia wskaźnika przesłonięcia przekroju krzewów na podstawie ich zintegrowanej analizy optycznej. Wyniki badań gęstości krzewów posłużyły do przetestowania metod opartych na analizie zdjęć hemisferycznych oraz pomiarze za pomocą urządzenia LAI-2000. Badania testowe wykonane dla 15 różnych wariantów gęstości struktury krzewów pozwoliły na sformułowanie następujących uwag i spostrzeżeń:

1. Zdjęcia hemisferyczne mogą posłużyć do oceny wskaźnika przesłonięcia przekroju ω_p , na podstawie związków korelacyjnych ze wskaźnikiem LAI 5 Ring oraz azurowością P. Metoda ta może zostać uznana za prawidłową w ocenie struktury roślinności.

2. Stwierdzono dobrą współzależność między wskaźnikiem przesłonięcia przekroju z metody bezpośredniej a wartością LAD z LAI-2000. Uzyskano przy tym większą wartość korelacji niż w przypadku analizy zdjęć hemisferycznych.

Literatura

- HYDRAULISCHE Berechnung von Fließgewässern. 1991. DVWK Merkbl. 220.
- KAISER W., 1984. Fliesswiderstandsverhalten in Gerinnen mit durchströmten Ufergehölzonen. *Wasserb.-Mitt. Inst. Wasserb. Konstrukt. Wasserb. Wasserwirtsch. Techn. Hochsch. Darmst.* 23.
- KALUŻA T., LEŚNY J., 2002. Ocena struktury roślinności krzewiastej jako podstawa do obliczeń przepustowości terenów zalewowych. *Rocz. AR Pozn.* 338, *Melior. Inż. Środ.* 22: 31-38.
- KALUŻA T., STRZELIŃSKI P., 2008. Wykorzystanie zdjęć hemisferycznych w badaniach struktury roślinności krzewiastej terenów zalewowych. W: *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich.* Uniwersytet Rolniczy w Krakowie: 233-242.
- PASCHE E., 1984. Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und die Möglichkeiten ihrer mathematischen Erfassung. *Mitt. Inst. Wasserb. Wasserwirtsch. RWTH, Aachen* 52.
- STRZELIŃSKI P., 2006. Zastosowanie zdjęć hemisferycznych w badaniach ekosystemów leśnych. *Rocz. Geomat.* 4, 2: 103-112.

USING OF INTEGRATED OPTICAL METHOD IN RESEARCH OF BUSHES STRUCTURE IN FLOOD PLAINS

Summary. The results of the investigation of the structure of purple willow have been presented in the paper. Bushes were created manually and consisted a set of single branches of purple willow. It allowed to represent variability of bushes structure growing on flood plains. Evaluation of bushes concentration was done by direct measurements. Hemispherical photos and LAI were also done. The results coming from the analysis of concentration of bushes indicate a possibility of using optical method in field investigations of bushes structure.

Key words: bushes structure, hemispherical photos, roughness coefficients

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Tomasz Kałuża, Katedra Budownictwa Wodnego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94 A, 60-649 Poznań, Poland, e-mail: kaltom@gmx.net

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

10.07.2009

Do cytowania – For citation:

*Kałuża T., 2009. Zastosowanie zintegrowanej analizy optycznej w badaniach struktury roślinności krzewiastej terenów zalewowych. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #86.*

