

WSKAŹNIK ULISTOWIENIA LAI ROŚLINNOŚCI DRZEWIASTEJ I KRZEWIASTEJ TERENÓW PODMOKŁYCH

Jacek Leśny¹, Krzysztof Szoszkiewicz², Radosław Juszcza¹, Janusz Olejnik¹,
Tomasz Serba¹

¹Katedra Agrometeorologii, Akademia Rolnicza
ul. Piątkowska 94B, 61-691 Poznań
e-mail: jlesny@au.poznan.pl

²Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska, Akademia Rolnicza
ul. Piątkowska 94C, 61-691 Poznań

Streszczenie. Wskaźnik ulistowienia (LAI) można uznać za jeden z najważniejszych parametrów środowiskowych, ponieważ powiązany jest on z wieloma procesami ekologicznymi, które mają znaczący wpływ na wymianę energii i materii pomiędzy ekosystemem a atmosferą. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań nad wskaźnikiem ulistowienia. Pomiary LAI zostały przeprowadzone dla kilku zbiorowisk krzewiastych i drzewiastych sklasyfikowanych według systemu fitosocjologicznego. Badania nad rozwojem listowia (LAI) zostały przeprowadzone na obszarach zalewowych Warty i Wiśły a także na terenie podmokłym zlokalizowanym w Puszczy Noteckiej. Analiza wartości LAI została przeprowadzona dla jednorodnych powierzchni roślin, a także dla pojedynczych drzew i krzewów. Średnia wartość LAI pojedynczych krzewów rosnących na terenach zalewowych wynosiła 3,2 a szerokość 95% przedziałów ufności wynosiła 1,1. Wartości LAI jednorodnych powierzchni zbiorowisk krzewiastych i drzewiastych takich jak *Salicetum triandrio-viminalis* i *Salici-Populetum albae* wynosiły odpowiednio 2,0 i 1,7 z przedziałami ufności dla letnich pomiarów zbliżonymi do 1. LAI krzewów rosnących w centrum torfowiska nie przekraczało 2 a ich rozwój jest wolniejszy w porównaniu z krzewami z terenów zalewowych Warty. Niskie wartości LAI roślinności krzewiastej i drzewiastej terenów zalewowych i podmokłych pokazują, że tego typu siedliska są uboższe w składniki pokarmowe, przez co istnieją tam gorsze warunki dla rozwoju roślinności.

Słowa kluczowe: wskaźnik ulistowienia, tereny podmokłe, zbiorowiska roślinne

WSTĘP

Wskaźnik ulistowienia (LAI) jest definiowany jako stosunek sumarycznej powierzchni wszystkich liści (tylko jednej ich strony) do powierzchni gleby nad którą się znajdują. Wielkość ta dobrze odwzorowuje rozwój roślinności i jest po-

wiązana z wieloma procesami ekologicznymi takimi jak fotosynteza i ewapotranspiracja (Welles i Norman 1991, LAI-COR 1991, Leśny 2001, Pierce i Running 1988), produkcja netto (Meyers i Paw 1987) a także wzrost i plon (Bavec i Bavec 2002). Dlatego LAI ma wiele zastosowań w monitorowaniu środowiska zarówno w skali mikro jak i makro. LAI może być mierzony specjalnie w małej skali (np. dla celów mikrometeorologii) lub modelowany na dużą skalę (np. monitoring satelitarny). W niniejszej pracy przedstawione są wyniki pomiarów, które zwiększą bazę danych LAI a także pozwolą na lepsze poznanie sezonowego przebiegu LAI w polskich warunkach klimatycznych. Wskaźnik ulistowienia jest powiązany ze stanem pokrywy roślinnej a w konsekwencji jest odpowiedzialny za strukturę powierzchni czynnej w bilansie cieplnym. Im lepsza jest kondycja roślin tym większy jest strumień ciepła utajonego, a mniejszy strumień ciepła jawnego. (Olejnik 1988, 1994a, Kędziora 1999, Herbert i Jack 1998, Olejnik 1994b, 1996, Leśny i in. 2001a,b, 2002).

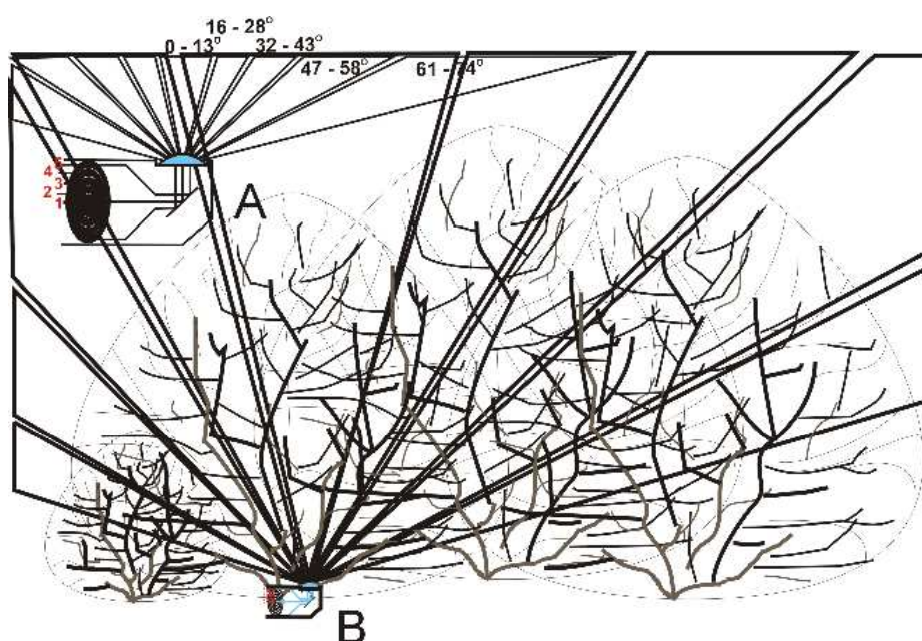
W niniejszej pracy przeanalizowano wartości LAI dla jednorodnych powierzchni roślin a także dla pojedynczych drzew i krzewów. Pomiary LAI zostały przeprowadzone dla kilku zbiorowisk krzewiastych i drzewiastych sklasyfikowanych według systemu fitosocjologicznego.

MATERIAŁY I METODY

Wskaźnik ulistowienia pokrywy roślinnej został zmierzony metodami zintegrowanej analizy optycznej, za pomocą urządzenia LAI-2000 (firma LI-COR, Lincoln, Nebraska). Przyrząd ten analizuje rozproszone promieniowanie słoneczne, które jest mierzone pod pięcioma kątami zenitalnymi jednocześnie. Wykorzystanie urządzenia mierzącego LAI metodą optyczną jest łatwe i szybkie w porównaniu z konwencjonalnymi metodami laboratoryjnymi (Lang 1986, Welles i Norman 1991, Kucharik *i in.* 1998, Leśny 2001, Kałuża *i in.* 2002). Pomiary LAI w roślinności zielnej wskazują rzeczywistą powierzchnię listowia natomiast pewien problem pojawia się w przypadku krzewów i drzew ponieważ mierzona jest nie tylko powierzchnia listowia, ale dodatkowo powierzchnia części zdrewniałych. Dlatego wyznaczenie LAI, ograniczonego jedynie do listowia, w przypadku krzewów i drzew, wymaga pomiarów latem (LAI_l) a także zimą (LAI_z) kiedy drzewa nie mają liści. Różnica pomiędzy LAI_l a LAI_z może być traktowana jako rzeczywisty wskaźnik ulistowienia (LAI).

Wskaźnik ulistowienia wyznacza się w serii pomiarów (rys. 1). Pierwszy pomiar przeprowadzany jest poza roślinnością, tak aby w polu widzenia czujnika optycznego znajdowało się wyłącznie niebo (A). Kolejne pomiary przeprowadzane są pod pokrywą roślinną (B). Ponieważ pokrywa roślinna nie jest jednorodna pomiary B wykonuje się kilkukrotnie w różnych punktach. W przypadku izolo-

wanych krzewów pomiary typu B wykonuje się w centrum rośliny nieznacznie zmieniając położenie czujnika. Używając urządzenia LAI-2000 można także wyznaczyć gęstość listowia (LAD – leaf area density), do czego konieczna jest znajomość zewnętrznych współrzędnych rośliny w układzie XOY, gdzie punkt O jest to środek krzewu (Welles i Norman 1991, LAI-COR 1991, Leśny 2001). Pomiary przy użyciu LAI-2000 są łatwe i stosunkowo szybkie, w przypadku terenów zalewowych niezbędne jest zmierzenia LAI w w większej ilości punktów niż np. na polach uprawnych, z uwagi na duże przestrzenne zróżnicowanie roślinności.



Rys. 1. Schemat pomiarów LAD_z urządzeniem LAI-2000 w grupie krzewów.

Fig. 1. Field measurements of LAD_z with the LAI-2000 instrument in a shrub grouping

Dla obszaru Warty i Puszczy Noteckiej pomiarów dokonywano jedynie dla pojedynczych krzewów tego samego gatunku, natomiast dla obszarów zalewowych Wisły pomiary wykonywano w różnych zbiorowiskach, stąd też konieczne było wykonanie klasyfikacji fitosocjologicznej i wyodrębnienie homogenicznych zbiorowisk. Roślinność w miejscach pomiarowych oznaczano metodą fitosocjologiczną wg Braun-Blanquet'a (Braun-Blanquet 1964, Matuszkiewicz 2001). Na 36 jednorodnych stanowiskach drzewiastych i krzewiastych wydzielono płyty roślinności, do zdjęć fitosocjologicznych, o powierzchni 400-899 m². Następnie w obrębie poszczególnych zdjęć oznaczono wszystkie występujące gatunki, a ich pokrycie określono stosując 7-stopniową skalę Braun-Blanquet'a (1964).

Dokonano także klasyfikacji roślinności drzewiastej i krzewiastej w celu wyodrębnienia homogenicznych zbiorowisk w oparciu o algorytm TWINSPAN. Jest to wielowymiarowa technika ordynacji pozwalająca na jednoczesną klasyfikację gatunków i zdjęć fitosocjologicznych. Zastosowano następujące opcje programu TWINSPAN: 8 stopni nasilenia, 3 poziomy podziału, maksymalna liczba gatunków wskaźnikowych – 5, oraz minimum 5 elementowe grupy. Rośliny rejestrowano w 2 warstwach biocenotycznych – wyrosniętych drzew oraz krzewów i młodych drzew.

Grupy roślinności wyodrębnione na podstawie algorytmu TWINSPAN dopasowano możliwie dokładnie do fitosocjologicznego systemu wg Braun-Blanquet'a (1964) w oparciu o Matuszkiewicza (2001).

WYNIKI

W niniejszej pracy wykorzystano pomiary wskaźnika ulistowienia wykonane na obszarach zalewowych Warty (W) i Wisły (Wi) oraz na terenie podmokłym w Puszczy Noteckiej (PN). Na obszarze zalewowym Warty mierzono kilkakrotnie LAI 25 krzewów w okresie od grudnia 1999 do lutego 2001 r. W ten sposób prześledzono roczny przebieg LAI. Na obszarze zalewowym Wisły wykonano dwie serie pomiarów, w marcu i czerwcu 2002 roku. Natomiast serię pomiarów LAI na obszarze torfowiska w Puszczy Noteckiej wykonano od kwietnia do lipca 2004 roku. Pomiary LAI krzewów na stanowiskach W i PN wykonano na wierzbie uszatej (*Salix aurita*).

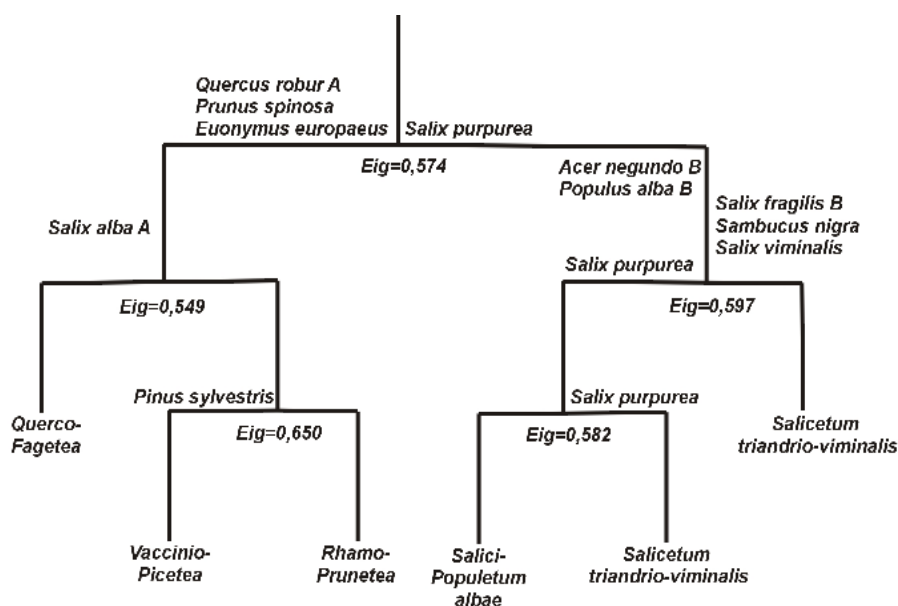
Chronologicznie jako pierwsze wykonano pomiary na obszarze zalewowym Warty dla krzewów *Salix aurita*. Badania rozpoczęto w grudniu 1999 i powtórzono kilkakrotnie do lutego 2001. Pomiary wykonywano łącznie dla 25 rosnących pojedynczo (izolowanych) krzewów. Wykorzystując zimowe pomiary (LAI_z) obliczono rzeczywistą wartość wskaźnika ulistowienia warunkowaną powierzchnią listowia. Zmierzone średnie wartości LAI wraz z połową szerokości 95% przedziałów ufności dla średniej oraz maksymalnymi i minimalnymi zanotowanymi wartościami przedstawiono w tabeli 1.

Pomiary wskaźnika ulistowienia na obszarach zalewowych Wisły przeprowadzono dwukrotnie w marcu i w czerwcu 2003 roku (rys. 3). Badania wykonano na obszarach pokrytych różnymi zbiorowiskami roślinnymi. Do opisu roślinności krzewiastej i drzewiastej wykorzystano 36 zdjęć fitosocjologicznych. Na podstawie algorytmu TWINSPAN przeprowadzono klasyfikację roślinności drzewiastej i krzewiastej oraz wydzielono dość homogeniczne grupy, które zostały zidentyfikowane jako jednostki syntaksonomiczne systemu fitosocjologicznego. Wyniki przeprowadzonej klasyfikacji roślinności przedstawiono na rysunku 2.

Tabela 1. Średnie wartości LAI krzewów w obszarze Warty. Oznaczenia: Data – termin pomiaru LAI – średnie LAI, +/- – połowa 95% przedziałów ufności dla średniej, Min – wartość minimalna LAI, Max – wartość maksymalna LAI

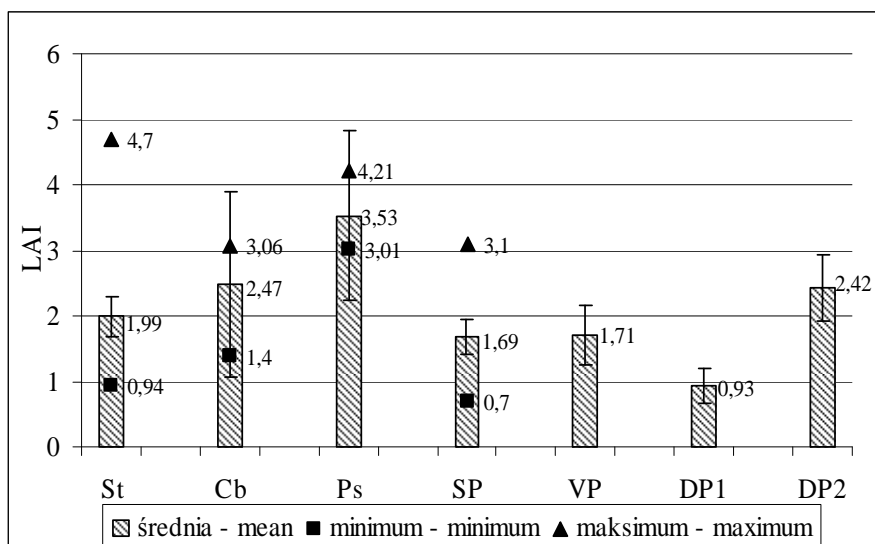
Table 1. Mean LAI values of shrub along the Warta River. Symbols: Date – date of measurement LAI – mean value of LAI, +/- – half of 95% confidence interval for mean, Min – minimum LAI values, Max – maximum LAI values

Data – Date	LAI	+/-	Min	Max
9 XII 1999	0,246	0,183	0	0,351
13 III 2000	0,148	0,141	0	0,81
16 IV 2000	3,183	0,559	1,863	5,168
5 IX 2000	2,511	0,479	0,621	3,978
29 IX 2000	1,624	0,513	0,113	3,289
19 I 2001	0,533	0,203	0	2,086
16 II 2001	0,109	0,088	0	0,778



Rys. 2. Dendrogram przedstawiający klasyfikację roślinności drzewiastej i krzewiastej, obszarów zalewowych Wisły, wydzieloną na podstawie algorytmu TWINSpan

Fig. 2. Dendrogram presenting the TWINSpan classification of woodland and scrub vegetation in the area of the Vistula River floodplain



Rys. 3. Wyniki pomiarów wartości wskaźnika ulistowienia zbiorowisk występujących roślinnych na terenach zalewowych Wisły. Najczęściej występujące zbiorowiska: St *Salicetum triandrio-viminalis*, Cb *Carpinion betuli*, Ps *Prunetalia spinosae*, SP *Salici-Populetum*. Rzadziej występujące zbiorowiska: VP *Vaccinio-Piceenion*, DP1 *Dicrano-Pinion* 1, DP2 *Dicrano-Pinion* 2. Słupki oznaczają 95% przedziały ufności dla średnich.

Fig. 3. Leaf Area Index values of the plant communities identified in the area of the Vistula River floodplain. Most common plant communities: St *Salicetum triandrio-viminalis*, Cb *Carpinion betuli*, Ps *Prunetalia spinosae*, SP *Salici-Populetum*. Less frequent plant communities: VP *Vaccinio-Piceenion*, DP1 *Dicrano-Pinion* 1, DP2 *Dicrano-Pinion* 2. Columns set confidence intervals for mean values

Pierwszy poziom wydzielony przez TWINSPAN był bardzo wyraźny (wysokie wartości własne) i wyodrębnił grupę roślinności (11 zdjęć), która odznaczała się obecnością *Quercus robur*, *Prunus spinosa* i *Euonymus europaeus*. Pośród oznaczanych zbiorowisk 3 zostały zidentyfikowane jako *Prunetalia spinosae* (klasa *Rhamo-Prunetea*), kolejne trzy jako *Fagetalia silvaticae* (*Quercio-Fagetea*) a pozostałe trzy jako *Vaccinio-Piceetea* gdzie wyróżniono *Dicrano-Pinion* (*Cladonio-Vacciniealia*) i *Vaccinio-Piceenion* (*Vaccinio-Piceetalia*). Dwa zbiorowiska uznano za niewykształcone pod względem fitosocjologicznym.

Druga grupa roślinności wydzielona na pierwszy poziomie została sklasyfikowana jako *Salicetea purpureae* (rzęd *Salicetalia purpureae* i związek *Salicion albae*). Drugi poziom algorytmu TWINSPAN wydzielił grupę 11 odrębnych zbiorowisk z których 9 zidentyfikowano jako *Salicetum triandrio-viminalis*. Trzeci

poziom TWINSPAN wyodrębnił 7 zbiorowisk *Salici-Populetum albae* oraz 6 sklasyfikowanych jako *Salicetum triandrio-viminalis*.

W wyniku analizy TWINSPAN wyodrębniono 2 główne zbiorowiska leśne sklasyfikowane jako: klasa *Quercu-Fagetea* (z wykształconymi płatami związku *Carpinion betuli*) i klasa *Vaccinio-Piceetea* (związki *Dicrano-Pinion* i *Vaccinio-Piceenion*). Duży udział drzew stwierdzono też w przypadku *Salici-Populetum albae* (klasa *Salicetea purpureae*). Typowymi zbiorowiskami krzewiastymi były *Salicetum triandrio-viminalis* (klasa *Salicetea purpureae*) i klasa *Rhamo-Prunetea* (rząd *Prunetalia spinosae*). Wynikiem fitosocjologicznej klasyfikacji drzew i krzewów jest szczegółowa systematyka przedstawiona poniżej:

Klasa: *Rhamo-Prunetea* Rivas Goday et Borja Carb. 1961

Rząd: *Prunetalia spinosae* Tx 1952

Klasa: *Quercu-Fagetea* Br.-Bl. et Tx. 1943

Rząd: *Fagetalia silvaticae* Pawł. 1928

Związek: *Carpinion betuli* Issl. 1931

Klasa: *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. 1939

Rząd: *Cladonio-Vaccinietalia* Kiell.-Lund 1967

Związek: *Dicrano-Pinion* Libb. 1933

Rząd: *Vaccinio-Piceetalia* Br.-Bl. 1939

Związek: *Vaccinio-Piceenion* Oberd. 1957

Klasa: *Salicetea purpureae* Moor 1958

Rząd: *Salicetalia purpureae* Moor 1958

Związek: *Salicion alba* Tx.1955

- *Salici-Populetum albae* Tx. 1993
- *Salicetum triandrio-viminalis* Lohm. 1952

Celowo przeprowadzono analizę roślinności o dużym zróżnicowaniu form morfologicznych (od gęstych krzewów wierzbowych do rzadkich lasów). Istotność różnic pomiędzy poszczególnymi typami roślinności potwierdzono statystycznie (ANOVA i post-hoc test Tukey'a).

Różnice pomiędzy LAD_z poszczególnych związków roślinności zostały potwierdzone statystycznie (ANOVA). Za pomocą post-hoc testu Hukey'a dowiedziono różnic pomiędzy zbiorowiskami krzewiastymi (*Rhamo-Prunetea* i *Salicetum triandrio-viminalis*) a także dla trzech innych typów roślinności z dominacją drzew.

Pomiary wskaźnika ulistowienia na terenie podmokłym w Puszczy Noteckiej wykonywano od kwietnia do sierpnia 2004 roku. Wartości LAI krzewów rosnących w centrum torfowiska i na jego obrzeżach przedstawiono w tabeli 2. Pomiarzy z 20 kwietnia traktowane były jako pomiary zimowe (LAI_z) ponieważ na wierzbach nie było wtedy jeszcze listowia.

Tabela 2. Wyniki pomiarów LAI krzewów na torfowisku w Puszczy Noteckiej w roku 2004. Oznaczenia: Data – termin pomiaru S1 – S6 krzewy, +/-S1 – +/-S6 długości przedziałów ufności dla zmierzonych wartości LAI

Table 2. LAI values of scrub vegetation on the peatland in Notecka Forests in 2004. Symbols: Date – date of measurement, S1 – S6 – scrubs, +/-S1 – +/-S6 – confidence intervals estimated for the measured values of LAI.

Data Date	LAIz/l krzewów w centrum shrubs in central area						LAIz/l krzewów na obrzeżach shrubs in peripheral areas					
	S1	S2	S3	+/-S1	+/-S2	+/-S3	S4	S5	S6	+/-S4	+/-S5	+/-S6
20.IV	1.15	1.04	0.98	0.41	0.76	0.95	1.09	1.11	0.7	0.19	0.51	0.72
12.V	1.26	1.4	2.39	0.67	0.82	0.51	2.64	2.39	2.59	0.57	1.90	1.17
22.VI	2.5	2.48	2.5	0.72	0.15	0.41	5.28	4.63	4.03	1.08	1.34	1.49
23.VII	2.66	3.38	2.88	0.31	0.41	0.77	4.45	6.36	5.27	0.41	0.67	1.08
18.VIII	2.81	3.14	3.06	0.67	1.8	0.72	4.05	5.23	5.05	0.46	0.36	1.23

DYSKUSJA

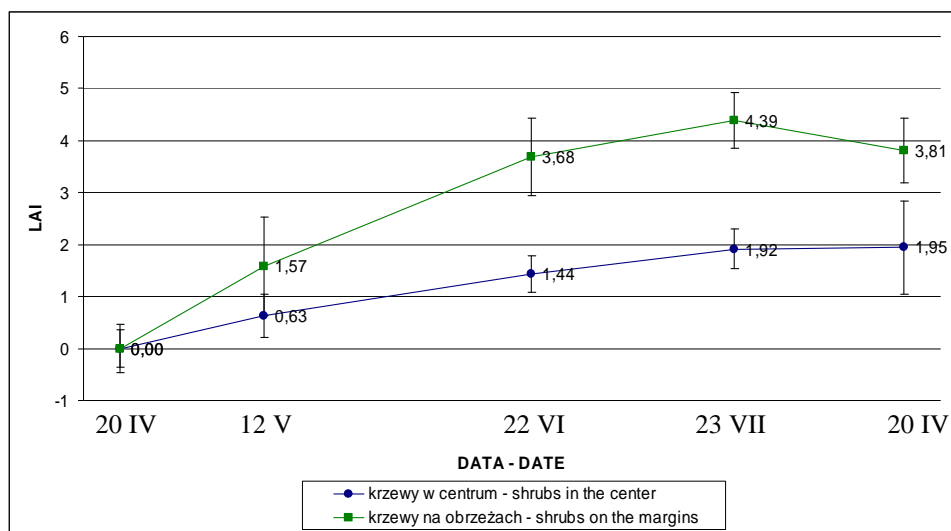
Pomiary wskaźnika ulistowienia w dolinie Warty były powtarzane kilkakrotnie, co pozwoliło dokładnie poznać sezonowy przebieg tej wielkości. Maksymalna średnia wartość, zanotowana w czerwcu, wyniosła 3,2 przy czym 95% przedział ufności dla tej wartości zawierał się w granicach od 2,6 do 3,7. Ekstremalne zanotowane wartości znacznie jednak przekraczały granice przedziału ufności i wyniosły od 1,9 do 5,2 (tab. 1). Należy podkreślić, że wszystkie mierzone rośliny to krzewy rosnące pojedynczo a gleba badanego obszaru to głównie aluwialne piaski, miejscami podmokła. Pomimo to nie zaobserwowano znaczących różnic pomiędzy wartościami LAI krzewów rosnących na terenach bardziej lub mniej podmokłych (deniwelacje powierzchni gruntu pomiędzy roślinami nie przekraczały 1 metra). Niewielki zakres przedziału ufności sugeruje, że wartość zbliżona do 3 dobrze oddaje LAI tego typu roślinności.

Pośród pomiarów w obszarze zalewowym Wisły najwyższe średnie LAI zanotowano dla zbiorowisk *Prunetalia spinosae* i *Carpinion betuli communities* (rys. 3). Jednak zbiorowiska te nie występują zbyt licznie, stąd niewielka liczba punktów pomiarowych i w efekcie szeroki przedział ufności dla średniej. Najczęściej występującymi zbiorowiskami były *Salicetum triandrio-viminalis* i *Salici-Populetum albae*, które miały LAI zdecydowanie niższy, odpowiednio 1,99 i 1,69. Szerokość 95% przedziałów ufności w obu przypadkach zbliżona była do 0,3. Dla wartości średnich

przedziały ufności zostały obliczone jako średnia arytmetyczna z przedziałów ufności pomiarów letniego i zimowego. Dużo mniejsze wartości LAI w obszarze zalewowym Warty wynikały z faktu, że pomiary na Wiśle wykonywane były na homogenicznych powierzchniach. Jeden typ roślinności pokrywał duże obszary terenu. Ten typ zbiorowiska jest charakterystyczny dla obszarów zalewowych Wisły, a w zasadzie nie występuje nad Wartą. Zbiorowiska zaznaczone na rysunku 3 jako V, VI, VII, wystąpiły tylko pojedynczo w badanym odcinku Wisły. Duża różnica pomiędzy *Dicrano-Pinion* 1 a D-P 2 jest rezultatem różnego charakteru tych dwu lasów. Drugi miał większy udział roślinności liściastej, stąd niewielka różnica w wynikach zimowych (LAI_z) i znacząca różnica latem (LAI_l). Wskaźnik ulistowienia zbiorowiska *Vaccinio-Piceenion* był stosunkowo niski, ale ten typ roślinności wystąpił tylko raz, na granicy obszaru zalewowego i wymaga on bardziej szczegółowych badań w przyszłości.

Na torfowisku w Puszczy Noteckiej (PN) dla krzewów wierzby mierzono LAI kilkakrotnie w ciągu sezonu wegetacyjnego. Wybrano krzewy rosnące w centrum torfowiska oraz na jego obrzeżach. Wyniki z wyznaczonymi przedziałami ufności przedstawione są w tabeli 2. Początkowe wartości LAI są podobne dla obydwu stanowisk, jednak później w sezonie wegetacyjnym wartości LAI są zdecydowanie wyższe dla krzewów z pogranicza torfowiska. Przebieg sezonowy średnich wartości LAI krzewów został przedstawiony na rysunku 4. Jako granice przedziału ufności dla każdej ze średnich wartości, przyjęto najszerszy przedział dla wartości LAI pojedynczego krzewu, z których wyznaczano średnią. Wartość wskaźnika ulistowienia krzewów z torfowiska jest ponad dwukrotnie mniejsza niż innych. Niewielkie zróżnicowanie wyników LAI oraz wyznaczonych przedziałów ufności pokazują, że możliwość pomyłki jest niewielka.

Na podstawie pomiarów LAI, a także na podstawie poczynionych obserwacji widać, że wegetacja terenów podmokłych jest opóźniona w stosunku do wegetacji na obszarach zalewowych. Wartości wskaźnika ulistowienia zielonych liści (bez gałęzi), były najwyższe w przypadku krzewów rosnących na obrzeżach torfowiska. Było to najprawdopodobniej powodowane dopływem substancji odżywczych z terenów uprawnych. Średnie LAI dla tych roślin przekroczyło 4. Niższą wartość, około 3, miały krzewy rosnące pojedynczo na terenie zalewowym Warty, czyli na glebach ubogich w składniki odżywcze i okresowo zalewanych. Porównując zbiorowiska *Salicetum triandrio-viminalis* i *Salici-Populetum albae*, które przeważają na obszarach zalewowych Wisły z wartościami LAI krzewów z głębi torfowiska, widać, że w obydwu przypadkach wskaźnik ulistowienia przyjmuje wartość niespełna 2, a roślinność zaczyna rozwijać się później gdy siedlisko jest podmokłe.



Rys. 4. Przebieg średnich wartości wskaźnika ulistwienia (LAI) krzewów w obszarze PN rosnących w centrum torfowiska oraz na obrzeżu w roku 2004. Słupki oznaczają 95% przedziały ufności dla średnich. Jako szerokości przedziałów ufności dla średnich przyjęto maksymalne wartości tych przedziałów w kolejnych terminach pomiarów (tabela 2)

Fig. 4. Changes of mean values of canopy index (LAI) for shrubs in the area PN growing in the center of wetland and margins in 2004. Width of the confidence intervals for mean values is based on the largest values of these intervals in the subsequent measurement periods (Table 2)

WNIOSKI

1. Na obszarach zalewowych krzewy rosnące pojedynczo mają wyższe wartości LAI niż jednolite zakrzewienia czy zbiorowiska drzewiaste. Średnia wartość LAI krzewów rosnących pojedynczo wynosi 3,2 podczas gdy jednolite zakrzewienia i zbiorowiska drzewiaste takie jak *Salicetum triandrio-viminalis* i *Salici-Populetum albae* mają LAI odpowiednio 2,0 i 1,7.

2. Rozwój krzewów rosnących w centrum terenu podmokłego jest wolniejszy w czasie sezonu wegetacyjnego w porównaniu z krzewami rosnącymi na terenach zalewowych Warty. LAI krzewów rosnących w głębi torfowiska jest niskie i nie przekracza 2.

3. Siedliska obszarów zalewowych przy rzekach i terenów podmokłych zapewniają gorsze warunki do rozwoju roślinności, co generalnie powoduje niższe wartości LAI zbiorowisk krzewiastych i drzewiastych na tych obszarach.

4. Na terenach o wysokim uwilgotnieniu gleby to nie zawartość wody decyduje o wartościach LAI lecz dostępność składników pokarmowych.

5. Różnice w strukturze zbiorowisk na terenach zalewowych Wisły i Warty przekładają się bezpośrednio na różnice w wartościach wskaźnika ulistowienia.

PIŚMIENNICTWO

- Bavec F. i Bavec M., 2002. Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yield of early maturing maize cultivars (FAO 100-400). *European Journal of Agronomy*, 16, 151-159.
- Braun-Blanquet J., 1964. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Wien, New York: Springer.
- Herbert M.T., Jack S.B., 1998. Leaf area index and site water balance of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) across a precipitation gradient in East Texas. *Forest Ecology and Management*, 105, 273-282.
- Kałuża T., Leśny J., 2002. Niestrukturalna ocena struktury krzewów w aspekcie obliczeń przepustowości terenów zalewowych. Bliskie naturze kształtowanie dolin rzecznych, *Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej*, Sarbinowo, Wyd. Ucz. Pol. Koszalińskiej, 129-132.
- Kędziora A., 1999. *Podstawy Agrometeorologii* Poznań, PWRiL.
- Kucharik C.J., Norman J.M., Gower S.T., 1998. Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91, 69-88.
- LAI-COR Corporation, 1991. LAI-2000 Plant canopy analyzer: Instruction manual. Lincoln, NE, Li-Cor.
- Lang A.R.G., 1986. Leaf area and average leaf angle from transmittance of direct sunlight. *Aust. J. Bot.*, 34, 349-355.
- Leśny J., 2001. Metody oceny wartości LAD i LAI za pomocą urządzenia LAI-200. IV Krajowa Konferencja nt. "Mikroklimat i parowanie terenowe". Wyd. AR Poznań, 33-38.
- Leśny J., Chojnicki B.H., Olejnik J., 2002. Ocena bilansu cieplnego wybranych powierzchni czynnych metodą Bowena. *Melior. i Inż. Środ. Rocz. AR w Poznaniu*, (342) 23, 349-354
- Leśny J., Kałuża T., Chojnicki B.H., 2003. Teledetekcyjna analiza struktury roślinności terenów zalewowych wybranych odcinków Wisły środkowej. W: *Problemy Hydrotechniki, Współczesne podstawy planowania i projektowania w inżynierii i gospodarce wodnej*. Wrocław, Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, 200-210.
- Leśny J., Olejnik J., Chojnicki B.H., Kędziora A., Eulenstein F., 2001a. Automatyczny system pomiarowy do badania struktury bilansu cieplnego – od cechowania do prac polowych. *Acta Agrophysica*, 57, 57-67.
- Leśny J., Olejnik J., Chojnicki B.H., Eulenstein F., 2001b. System pomiarowy do badania strumieni masy i energii metodą kowariancji wirów. *Acta Agrophysica*, 57, 69-75.
- Matuszkiewicz W., 2001. *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*. Warszawa, PWN.
- Meyers T.P., Paw U.K.T., 1987. Modelling the plant canopy micrometeorology with higher-order closure principles. *Agric. and Forest Meteorology*, 41, 143-163.
- Olejnik J., 1988. The empirical method of estimating mean daily and mean ten-day values of latent and sensible-heat near the ground. *J. Appl. Meteorol.*, 12, 1358-1369.
- Olejnik J., 1994a. Metody oceny składowych bilansu cieplnego w badaniach nad środowiskiem. *Rocz. AR Poznań*, (268) 15, 229-243.
- Olejnik J., 1994b. Projekt kompleksowego monitoringu środowiska leśnego "BOREAS" (in polish). *Przegląd Geofizyczny*, (39), 4, 375-383.
- Olejnik J., 1996. Modelowanie badania struktury bilansu cieplnego i wodnego zlewni w obecnych i przyszłych warunkach klimatycznych. *Rozpr. Nauk.* 268, Poznań, *Rocz. AR w Poznaniu*.

- Pierce L.L., Running S.W., 1988. Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. *Ecology*, 69, 1762-1767.
- Welles J.M., Norman J.M., 1991. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal* 83, 818-825.

LEAF AREA INDEX OF WOOD AND SHRUB VEGETATION OF WETLAND AREAS

*Jacek Leśny*¹, *Krzysztof Szoszkiewicz*², *Radostaw Juszcza*¹, *Janusz Olejnik*¹,
*Tomasz Serba*¹

¹Department of Agrometeorology, Agricultural University, ul. Piątkowska 94B, 61-691 Poznań
e-mail: jlesny@au.poznan.pl

²Department of Ecology and Environmental Protection, Agricultural University
ul. Piątkowska 94C, 61-691 Poznań

Abstract. Leaf Area Index (LAI) is one of the most important environmental parameters because it reflects a range of ecological processes which have a significant influence on energy and mass exchange between any ecosystem and the atmosphere. In this paper some results of LAI measurement are presented. LAI measurements were carried out for various shrub and wood plant communities which were classified phytosociologically. Measurements of foliage development (LAI) were carried out on the area of the floodplain of the Warta River and the Vistula River, as well as on the wetland located in the Notecka Forests. Analyses of LAI values were conducted for homogenous vegetation types, as well as for isolated trees and shrubs. The mean value of the measured LAI of shrubs growing separately in the flooded zone was 3.2 and the width of the 95% confidence interval was 1.1. LAI values of uniform shrub and wood communities such as *Salicetum triandrio-viminalis* and *Salici-Populetum albae* were estimated as 2.0 and 1.7, respectively, with confidence intervals for summer estimates close to 1. LAI of shrubs growing in the center of peatland does not exceed 2, and its development is slower compared with shrubs in the Warta River floodplain. Low LAI values for shrub and wood vegetation of the flooded plain and wetlands shows that these types of habitat provide inferior conditions for the development of vegetation.

Keywords: leaf area index, wetland, plant communities