

ANALIZA INDEKSÓW WEGETACJI LAI I FCOVER DLA WYBRANYCH OBSZARÓW ZACHODNIEGO POLESIA

Mateusz Iwo Łukowski, Bogusław Usowicz

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: m.lukowski@ipan.lublin.pl

Streszczenie. Wilgotność gleby jest jednym z kluczowych czynników wpływających na obieg wody i energii w przyrodzie. Jej globalny pomiar jest celem misji satelitarnej SMOS, mającej wystartować pod koniec 2009 roku. Dane z tej misji wymagać będą walidacji. Do tego celu służą, między innymi, przedstawione w artykule analizy indeksów wegetacyjnych LAI i fCover. Indeksy te pozwalają szacować ilość wody zawartej w warstwie roślinnej porastającej dany obszar. LAI i fCover zostały obliczone dla obszaru Zachodniego Polesia przy pomocy danych satelitarnych ze spektrometru MERIS. Do dalszej analizy zostały wybrane znacznie różniące się od siebie obszary: bagno, las, łąka i pola uprawne. Dla obszarów tych zostały obliczone średnia, mediana, odchylenie standardowe, skośność i kurtoza. Obliczenie tych miar statystycznych ma na celu porównanie wielkości otrzymywanych w skali piksela SMOS (35 km) z wielkościami w skali piksela MERIS (300 m). Statystyki dostarczyły informacji na temat roślinności porastającej badane obszary, jej struktury i zmienności. Największe LAI obserwowano w lesie, a najmniejsze na terenie pól uprawnych, po zakończonych żniwach. Największy indeks fCover obserwowany był na łące. Poszukiwano zależności pomiędzy LAI i fCover dla wybranych obszarów, co dostarczyło przesłanek do wykorzystania ich korelacji jako warunku klasyfikacji użytkowania terenu, bardzo potrzebnej w dalszej walidacji SMOS.

Słowa kluczowe: SMOS, MERIS, LAI, fCover, Polesie

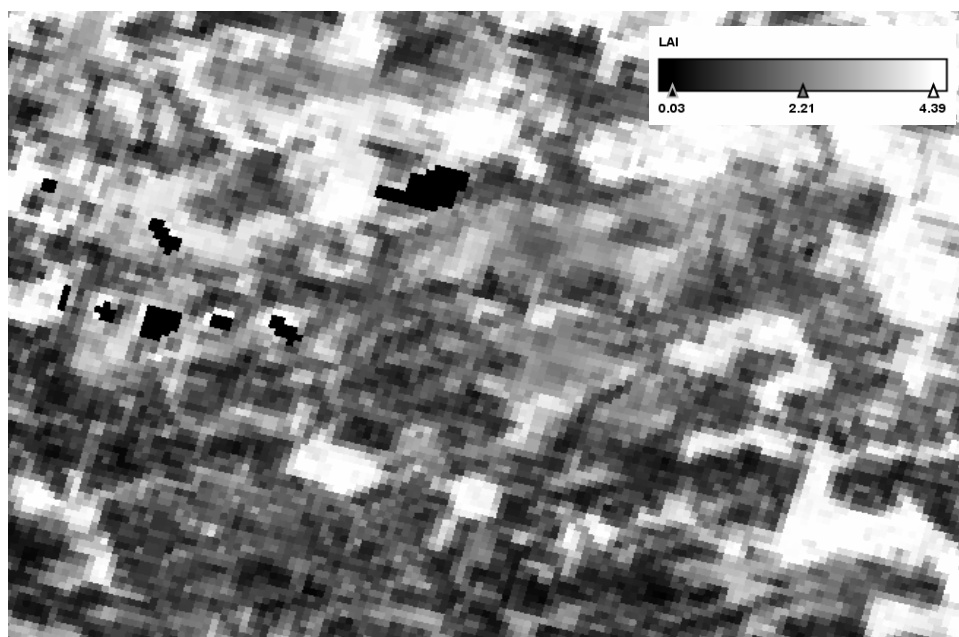
WSTĘP

Wilgotność gleby jest jednym z kluczowych czynników wpływających na obieg wody i energii w przyrodzie. Mimo to rozkłady przestrzenne i czasowe tej wielkości nie są dobrze poznane. Przyczyną jest to, że wilgotność gleby jest mierzona jedynie w skali lokalnej i najczęściej są to pomiary punktowe. Ponadto wielkość ta charakteryzuje się dużą zmiennością przestrzenną, co wymaga znacznego zagęszczenia punktów pomiarowych. Z tego powodu pomiary są bardzo czasochłonne, a estymowanie wilgotności gleby z danych punktowych do rozkła-

du ciągłego może być obarczone sporym błędem. Do oceny zmian klimatu, monitorowania warunków wzrostu i rozwoju roślin, wykrywania zjawisk suszy, prawidłowego gospodarowania zasobami itd. niezbędne są pomiary rozkładów wilgotności gleby prowadzone na dużych obszarach i w sposób ciągły. Odpowiedzią na to zapotrzebowanie jest misja satelitarna SMOS (Kerr i in. 2001), której start planowany jest na koniec 2009 roku. Misja ma na celu, między innymi, określenie wilgotności gleby z pomiarów temperatury jasnościowej powierzchni Ziemi. Spodziewana dokładność pomiarów ma wynosić około 4% wilgotności objętościowej, z rozdzielczością przestrzenną około 35×35 kilometrów. Zobrazowania całej planety powtarzane będą co 2-5 dni. Tak szeroko zakrojone badania prowadzone jednym przyrządem dają nadzieję na otrzymanie spójnych wyników. Przedtem jednak otrzymane dane muszą być porównane z niezależnymi danymi środowiskowymi. Jedną z nich jest ilość wody zawartej w warstwie roślinnej porastającej dany obszar, ponieważ temperatura jasnościowa mierzona przez SMOS będzie wynikiem promieniowania pochodzącego m.in. z gleby i z warstwy roślinnej. Celowe jest więc badanie indeksów wegetacyjnych LAI i fCover (Bacour i in. 2006, Dąbrowska-Zielińska 1995, Marczewski i in. 2009). Indeks LAI (Leaf Area Index) nazywany jest również powierzchnią projekcyjną liści. LAI jest stosunkiem sumy powierzchni jednej strony liści do powierzchni terenu przez nie zajmowanego. Jest to wielkość bezwymiarowa. Powierzchnia projekcyjna liści może przyjmować wartości od 0 (dla terenów pozbawionych roślinności) do 6 (gęsty las) a nawet 8 (gęsty las deszczowy). Indeks fCover (fractional cover) jest również wielkością bezwymiarową. Związany jest ze strukturą pokrycia terenu i odzwierciedla ilość przerw w warstwie roślinnej przykrywającej daną powierzchnię. Wartość fCover waha się od 0 dla nagiej gleby do 1 dla terenów całkowicie przykrytych roślinnością. Indeks fCover jest niezależny od właściwości optycznych powierzchni liści (takich jak np. połysk) ani od warunków oświetlenia słonecznego. Zarówno LAI jak i fCover są wielkościami wrażliwymi tylko na zielone elementy roślin. Do walidacji SMOS pomocne jest poszukiwanie korelacji pomiędzy LAI i fCover w celu wyróżnienia klas pokrycia terenu. Zarówno LAI jak i fCover mogą być otrzymane przy pomocy danych ze spektrometrów satelitarnych takich jak np. MERIS (MERIS 2009). Tutaj jednak napotykamy problem skal, gdyż rozdzielczość MERIS jest znacznie lepsza (ok. 300 m) od rozdzielczości SMOS (35 km). Oznacza to, że jeden piksel SMOS zawiera w sobie wiele pikseli MERIS. Potrzebne są więc miary charakteryzujące wartości i heterogeniczność pikseli MERIS zawartych w pikselu SMOS. Mogą być to odpowiednio średnia i odchylenie standardowe. Praca przedstawia analizy indeksów LAI i fCover oraz korelacji pomiędzy nimi dla wybranych fragmentów Polesia Zachodniego.

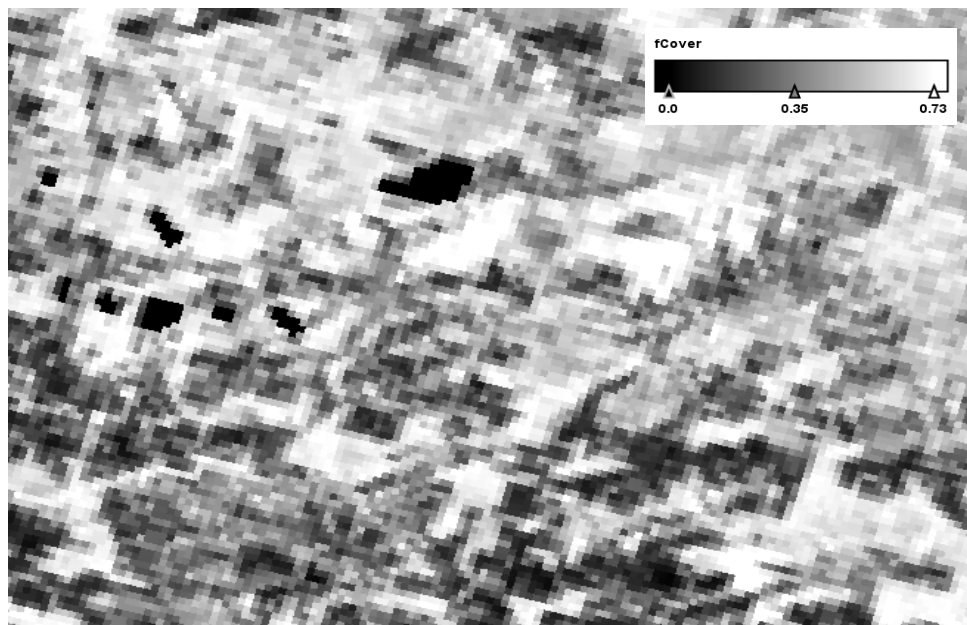
MATERIAŁ I METODY

Do badań wykorzystano fragment obrazu satelitarnego Polesia Zachodniego, obejmujący obszar szerokości geograficznych od $51,25^{\circ}$ N do $51,50^{\circ}$ N i długości geograficznych od $23,00^{\circ}$ E do $23,50^{\circ}$ E. Obraz ten został wykonany przez spektrometr satelitarny MERIS, 20 sierpnia 2008 r. w modzie FR (Full Resolution), a więc z rozdzielczością wynoszącą 260 na 300 metrów. Następnie użyto algorytmu TOA_VEG znajdującego się w programie BEAM, przeznaczonym do interpretacji zdjęć optycznych. Algorytm TOA_VEG oparty jest o sieci neuronowe i wykorzystuje trzynaście spośród piętnastu kanałów spektralnych MERIS. TOA_VEG był walidowany podczas szeroko zakrojonych badań naziemnych (Baret i in. 2006). Przy pomocy tego algorytmu dla każdego piksela badanego obrazu obliczono indeksy LAI i fCover, a następnie sporządzono ich mapy przestrzenne, przedstawione na rysunku 1 i 2. Posługując się bezpośrednią znajomością terenową badanej okolicy oraz wysokorozdzielczymi zdjęciami satelitalnymi Google Maps do dalszej analizy wybrano cztery obszary testowe (rys. 3), znacznie różniące się od siebie sposobem użytkowania i typem pokrycia terenu. Wybrano: fragment Bagna Bubnów ($23,30^{\circ}$ E, $51,36^{\circ}$ N, powierzchnia 30 pikseli), las w okolicach miejscowości Dominiczyn ($23,25^{\circ}$ E, $51,45^{\circ}$ N, 20 pikseli), fragment



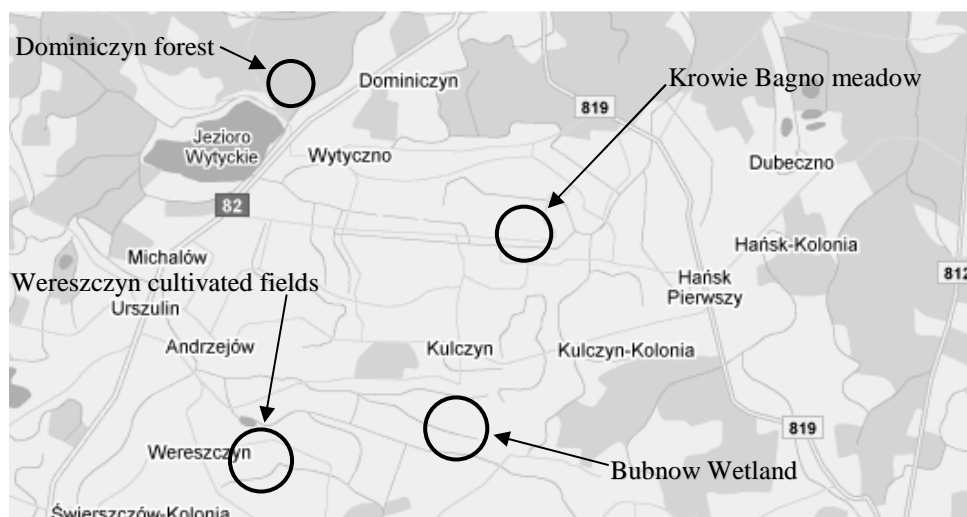
Rys. 1. LAI dla wybranego obszaru Zachodniego Polesia ($51,25^{\circ}$ – $51,50^{\circ}$ N, $23,00^{\circ}$ – $23,50^{\circ}$ E)

Fig. 1. LAI map of sub-area of Western Polesie ($51,25^{\circ}$ – $51,50^{\circ}$ N, $23,00^{\circ}$ – $23,50^{\circ}$ E)



Rys. 2. fCover dla wybranego obszaru Zachodniego Polesia ($51,25^{\circ} - 51,50^{\circ}$ N, $23,00^{\circ} - 23,50^{\circ}$ E)

Fig. 2. fCover map of sub-area of Western Polesie ($51,25^{\circ} - 51,50^{\circ}$ N, $23,00^{\circ} - 23,50^{\circ}$ E)



Rys. 3. Obszary testowe (mapa zaczerpnięta z maps.google.com z własnymi zmianami)

Fig. 3. Test sites (map from maps.google.com edited by authors)

łąki Krowie Bagno (23,34° E, 51,40° N, 30 pikseli), oraz zespół pól uprawnych w okolicach miejscowości Wereszczyn (23,22° E, 51,35° N, 71 pikseli). Dla obszarów tych obliczono podstawowe statystyki indeksów LAI i fCover: średnią, medianę, odchylenie standardowe, skośność i kurtozę. W dalszym etapie poszukiwano korelacji pomiędzy LAI i fCover dla każdego piksela badanego obrazu. Obliczono również współczynniki determinacji R^2 dla korelacji liniowej wielkości LAI i fCover.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średnia, mediana, odchylenie standardowe, skośność i kurtoza indeksu LAI obliczona dla wybranych obszarów zostały przedstawione w tabeli 1. Dla każdego z czterech obszarów średnia jest podobna do mediany. Skośność dla bagna Bubnów i pól w okolicach Wereszczyna jest niewielka, nieco większa zaś dla lasu i łąki Krowie Bagno. Tak więc można przyjąć, że wielkość LAI na obszarze badanych terenów jest w przybliżeniu opisana rozkładem normalnym. Kurtoza dla lasu jest dodatnia, co wskazuje, że rozkład LAI na tym obszarze jest wyostżony. Dla pozostałych obszarów kurtoza jest ujemna, a więc rozkład jest spłaszczony. Największy średni indeks LAI = 4,56 był obserwowany na terenie lasu w okolicy miejscowości Dominiczyn. Wynik jest podobny do obliczonego dla obszarów leśnych Kampinoskiego Parku Narodowego (Marczewski i in. 2009). Jest to spo-

Tabela 1. Statystyki LAI dla badanych obszarów
Table 1. LAI statistics for considered areas

Statystyka Statistic	Bagno Bubnów Wetland	Las Dominiczyn forest	Łąka Krowie Bagno Krowie Bagno meadow	Pola Wereszczyn Wereszczyn cultivated fields
Średnia Mean	2,53	4,56	2,98	1,35
Mediana Median	2,52	4,56	3,35	1,36
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,31	0,09	0,84	0,53
Skośność Skewness	-0,05	0,76	-0,92	0,33
Kurtoza Kurtosis	-1,03	1,42	-0,66	-0,54

wodowane obecnością w lesie wielu pięter roślinności, a więc suma powierzchni elementów zielonych roślin przypadająca na jednostkę powierzchni jest duża. Dla obszaru lasu obserwowano najmniejsze odchylenie standardowe LAI (0,09), co świadczy o tym, że roślinność we wszystkich badanych dwudziestu pikselach jest podobnego typu. Najmniejsza średnia LAI spośród badanych obszarów obserwowana była na terenie zespołu pól uprawnych w pobliżu miejscowości Wereszczyn. Omawiane zdjęcie satelitarne zostało wykonane 20 sierpnia 2008 roku, a więc już po terminie zbioru roślin dla większości obserwowanych pól uprawnych. Ponadto obszar ten jest heterogeniczny, zawiera obszary zabudowane i drogi, a więc obiekty zupełnie pozbawionych roślinności ($LAI \approx 0$). Oba te czynniki powodują niską wartość $LAI = 1,35$. O niejednorodności tego obszaru świadczy również dość wysoka wartość odchylenia standardowego (0,53). Średnie LAI dla Bagna Bubnów i łąki Krowie Bagno są na podobnym poziomie i wynoszą odpowiednio 2,53 i 2,98. Jednak na terenie Krowiego Bagna obserwowane jest największe z obliczonych odchylenie standardowe (0,84), co świadczy o dużej różnorodności szaty roślinnej porastającej ten obszar.

Średnia, mediana, odchylenie standardowe, skośność i kurtoza indeksu fCover obliczona dla wybranych obszarów zostały przedstawione w tabeli 2. Dla każdego z obszarów średnia jest podobna do mediany. Skośność dla pól i bagna Bubnów jest niewielka, trochę większa zaś dla pól w okolicach Wereszczyna i lasu. Indeks fCover na obszarach bagna i pól opisany jest rozkładem spłaszczonym (kurtoza ujemna), a na obszarze lasu wyostrzonym (dodatnia kurtoza). Można przyjąć, że wielkość fCover na obszarze badanych terenów jest, podobnie jak LAI, opisana rozkładem normalnym. Największa średnia wartość fCover = 0,73 obserwowana była na łące Krowie Bagno. Oznacza to, że roślinność jest tam bardzo zagęszczona i pozostawia małą powierzchnię odkrytej gleby. Tak gruba warstwa roślin, jak w lesie w okolicach miejscowości Dominiczyn pokrywa glebę słabiej (fCover = 0,59) niż roślinność łąkowa Krowiego Bagna. Podobne wyniki obserwowano dla łąk i lasów Kampinoskiego Parku Narodowego (Marczewski i in. 2009). Może to być spowodowane pokryciem ściółki leśnej przez pozbawione chlorofilu, opadłe liście, które dla indeksu fCover jawią się jako naga gleba z fCover ≈ 0 . Jak już wspomniano, badany obszar pól uprawnych w pobliżu Wereszczyna zawiera obiekty mieszkalne i drogi, a pola uprawne po odbytych żniwach prawie całkowicie pozbawione były roślinności, stąd niski indeks pokrycia tego obszaru roślinami zielonymi (fCover = 0,35). Indeks fCover dla Bagna Bubnów (0,57) był na podobnym poziomie jak w badanym lesie. Na Bagnie Bubnów roślinność jest dużo niższa niż w lesie, więc skoro ma podobny indeks fCover to musi być bardziej zagęszczona, jednak nie tak bardzo jak na badanej łące Krowie Bagno. Bagno Bubnów i las w okolicach Dominiczyna mają małe wartości odchylenia standardowego dla fCover (odpowiednio 0,06 i 0,03), co wskazuje na jednorodność

struktury roślin pokrywających te obszary (oczywiście w skali rozdzielczości badanego zdjęcia satelitarnego, tzn. 260 na 300 metrów). Wartość odchylenia standardowego indeksu fCover dla Krowiego Bagna i zespołu pól uprawnych jest dość duża (odpowiednio 0,19 i 0,15), co potwierdza wysuniętą wcześniej hipotezę o niejednorodności pokrycia terenu tych obszarów.

Tabela 2. Statystyki fCover dla badanych obszarów

Table 2. fCover statistics for considered areas

Statystyka Statistic	Bagno Bubnów Bubnow Wetland	Las Dominiczyn Dominiczyn forest	Łąka Krowie Bagno Krowie Bagno meadow	Pola Wereszczyn Wereszczyn cultivated fields
Średnia Mean	0,57	0,59	0,73	0,35
Mediana Median	0,58	0,58	0,83	0,36
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,06	0,03	0,19	0,15
Skośność Skewness	0,03	0,93	-1,23	0,15
Kurtoza Kurtosis	-1,13	1,32	0,00	-1,06

W tabeli 3 przedstawiono współczynniki determinacji obliczone dla korelacji liniowej pomiędzy LAI i fCover dla każdego z czterech badanych obszarów.

Tabela 3. Współczynniki determinacji (R^2) dla korelacji liniowej LAI i fCover

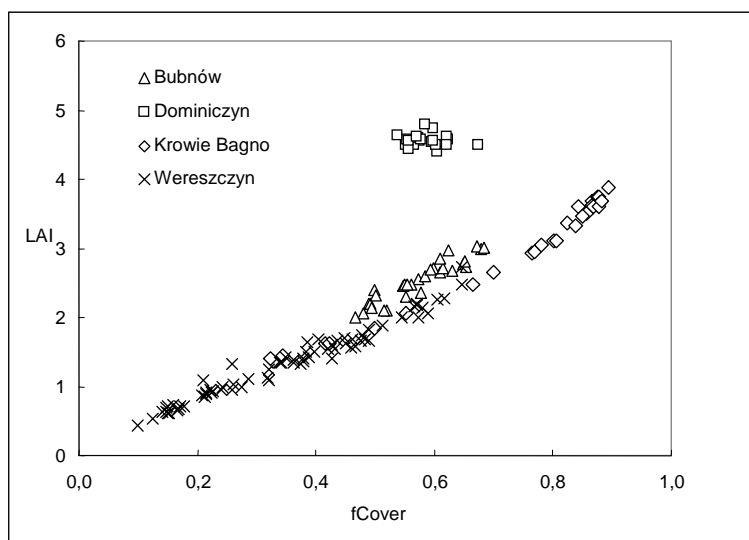
Table 3. Determination coefficients (R^2) of linear correlation between LAI and fCover

Bagno Bubnów Bubnow Wetland	Las Dominiczyn Dominiczyn forest	Łąka Krowie Bagno Krowie Bagno meadow	Pola Wereszczyn Wereszczyn cultivated fields
0,88	0,01	0,98	0,97

Korelacja pomiędzy LAI i fCover dla obszaru Bagna Bubnów jest dobra ($R^2 = 0,88$), a dla łąki Krowie Bagno i pól w okolicach Wereszczyna bardzo dobra (R^2 odpowiednio 0,98 i 0,97). Oznacza to, że dla tych trzech obszarów wzrost fCover, czyli pokrycia terenu, silnie związany jest ze wzrostem sumy

powierzchni liści (LAI). Natomiast dla obszaru lasu w okolicach Dominiczyna korelacji pomiędzy LAI i fCover brak ($R^2 = 0,01$).

Na rysunku 4 przedstawiono wykres LAI w zależności od fCover. Każdy punkt na wykresie odpowiada pojedynczemu pikselowi wybranych czterech obszarów testowych badanego zdjęcia. Takie zobrazowanie ma na celu wykazanie różnic pomiędzy różnymi typami użytkowania terenu przy pomocy badania zależności pomiędzy LAI i fCover. Spośród wszystkich przedstawionych punktów bardzo wyraźnie wyróżniają się te należące do obszaru leśnego przy miejscowości Dominiczyn oraz obszaru Bagna Bubnów. Zespoły punktów należące do łąki Krowie Bagno oraz pól uprawnych w okolicach miejscowości Wereszczyn zachodzą nieco na siebie, jednak różnice pomiędzy grupami są nadal na tyle wyraźne, że da się wyróżnić jako oddzielne klasy użytkowania terenu. Do określenia warunków klasyfikacji terenu potrzeba jednak kolejnych badań nad zdjęciami satelitarnymi wykonanymi o różnych porach roku.



Rys. 4. Zależność LAI od fCover dla obszarów testowych

Fig. 4. LAI versus fCover for test sites

WNIOSKI

Z analizy średnich i odchyłeń standardowych indeksów LAI i fCover wyciągnięto wnioski odnośnie roślinności porastającej badane obszary, jej struktury i zmienności na wybranych terenach:

1. Na obszarze lasu zaobserwowano największą wartość LAI, przy jednoczesnym małym rozrzucie tej wielkości pomiędzy poszczególnymi badanymi pikselami oraz brak korelacji pomiędzy LAI i fCover.

2. Zespół pól uprawnych w okolicach miejscowości Wereszczyn charakteryzował się najmniejszymi otrzymanymi indeksami LAI i fCover oraz bardzo dobrą korelacją pomiędzy nimi.

3. Na terenie Krowiego Bagna obserwowane było największe z odchyień standardowych LAI, co świadczy o dużym rozrzucie wartości badanych pikseli, spowodowanym różnorodnością szaty roślinnej porastającej ten obszar. Łąka Krowie Bagno charakteryzowała się największym obliczonym indeksem fCover, co świadczy, że roślinność jest tam najbardziej zagęszczona.

4. Podczas badań zależności LAI od fCover, znaleziono, że sposób korelacji tych indeksów może służyć w przyszłości do klasyfikacji terenu, tak potrzebnej w procesie walidacji SMOS. Opracowanie precyzyjnych warunków klasyfikacji wymaga jednak dalszych badań, przede wszystkim użycia większej ilości zdjęć satelitarnych pochodzących z różnych pór roku.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują dr Wojciechowi Marczewskiemu z Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie za merytoryczne dyskusje, które przyczyniły się do powstania artykułu.

Wykorzystane zdjęcie satelitarne i część finansowania pracy pochodzi z programu ESA – PECS (Porozumienia o Europejskim Państwie Współpracującym między Rządem Rzeczypospolitej Polskiej a Europejską Agencją Kosmiczną) „SWEX/R (Soil, Water and Energy Exchange/Research)” No. 98084.

PIŚMIENICTWO

- Bacour C., Baret F., Beal D., Weiss M., Pavageau K., 2006. Neural network estimation of LAI, fAPAR, fCover and LAIx Cab, from top of canopy MERIS reflectance data: Principles and validation. *Remote Sensing of Environment*, 105, 313-325.
- Baret F., Pavageau K., Weiss M., Moreno J., Berthelot B., Gonzalez M. C., 2006. Report on the validation of MERIS TOA_VEG land products. http://www.brockmann-consult.de/beam/software/plugins/toaveg-1.1.0/Valid_MERIS_TOA_VEG_03_06.pdf.
- Dąbrowska-Zielińska K., 1995. Szacowanie ewapotranspiracji wilgotności gleb i masy zielonej łąk na podstawie zdjęć satelitarnych NOAA. *Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN*, nr 165.
- Kerr Y.H., Waldteufel P., Wigneron J-P., Martinuzzi J-M., Font J., Berzer M., 2001. Soil Moisture Retrieval from Space: The Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) Mission. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(8), 1729-1735.

Marczewski W., Zawadzki J. J., Przeździecki K., Szymankiewicz K., 2009. Soil Moisture Monitoring at the Kampinoski National Park, Poland, for Validating SMOS. <http://swex.cbk.waw.pl/>
MERIS 2009. <http://envisat.esa.int/instruments/meris/>

ANALYSIS OF VEGETATION INDEXES LAI AND FCOVER FOR SELECTED AREAS OF WESTERN POLESIE

Mateusz Iwo Łukowski, Bogusław Usowicz

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: m.lukowski@ipan.lublin.pl

Abstract. Soil moisture is one of the key factors which influence the water and energy cycle of Earth. Global measurement of soil moisture is the mission goal of the SMOS satellite which is scheduled to be launched in late 2009. Data from this mission need to be validated. For this purpose two vegetation indexes, LAI and fCover, were investigated in the study presented in this paper. Those indexes allow estimation of water bound in plant layers. LAI and fCover were computed for the Western Polesie region from MERIS spectrometer satellite data. For further analysis four different areas were chosen: wetland, forest, meadow and cultivated fields. For these areas mean value, median, standard deviation, skewness and kurtosis were computed. Those statistical measures were computed to compare variables obtained in SMOS pixel scale (35 km) and MERIS scale (300 m). The statistics provided information about vegetation covering the investigated regions, its structure and diversity. The biggest LAI value was observed in the forest, while the smallest was observed on the cultivated fields, after harvest. The biggest fCover index was observed on the meadow. For the chosen areas the relation between LAI and fCover was sought and its interdependence is going to be used in land cover classification, which would be very helpful in further SMOS validation.

Keywords: SMOS, MERIS, LAI, fCover, Polesie