

OCENA STANU ROŚLINNOŚCI NA ZIELONYCH ŚCIANACH Z WYKORZYSTANIEM METOD TELEDETEKCYJNYCH

Daniel Skarżyński¹, Anna Pływaczyk¹, Grzegorz Pęczkowski¹

¹ Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: anna.plywaczyk@up.wroc.pl; grzegorz.peczkowski@up.wroc.pl

STRESZCZENIE

Badania nad możliwością wykorzystania metod teledetekcyjnych w celu oceny stanu roślinności na zielonych ścianach wykonano na modelach doświadczalnych w latach 2010–2011. Analizowano dwa modele różniące się pomiędzy sobą podłożem wegetacyjnym: model retencyjny (MR I) z substratem glebowym oraz model ekonomiczny (ME II) z filcem hydroponicznym. W poszczególnych panelach posadzono rośliny reprezentujące krzewy, byliny oraz trawy. Łącznie na modelach doświadczalnych zastosowano 60 gatunków roślin dobranych w zależności od wystawy ścian. Ocena kondycji roślin wykonano na podstawie prowadzonych obserwacji terenowych oraz analizy znormalizowanego wskaźnika roślinności NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index). Stwierdzono, że roślinność na modelu retencyjnym (MR I) posiada znacznie wyższe wartości wskaźnika NDVI w porównaniu z modelem ekonomicznym (ME II). Porównanie procentowego pokrycia paneli modelu retencyjnego (MR I) i ekonomicznego (ME II) przez rośliny wykonano poprzez oddzielenie płaszczyzny tła od powierzchni roślin, ustalając jako kryterium podziału wskaźnik NDVI z przedziału od -1 do 0,2. Wykazano wyraźny kontrast pomiędzy stopniem pokrycia na badanych modelach na poszczególnych elewacjach. Na modelu retencyjnym (MR I) pokrycie paneli roślinami było znacznie większe niż na modelu ekonomicznym (ME II), gdzie rozwój roślin był ograniczony. Rozwój roślinności na modelu retencyjnym (MR I) z wykorzystaniem substratu glebowego w panelach roślinnych był prawidłowy co wskazuje na możliwość stosowania tego typu rozwiązań w warunkach klimatycznych Dolnego Śląska. Roślinność na modelu ekonomicznym (ME II) charakteryzuje gorszy rozwój w całym okresie wegetacyjnym, dlatego też nie jest on zalecany. Badania wykazały, że możliwa jest ocena stanu roślinności na zielonych ścianach z wykorzystaniem metod teledetekcyjnych bazujących na zmodyfikowanym sprzęcie fotograficznym.

Słowa kluczowe: teledetekcja, NDVI, ocena stanu roślinności, zielone ściany, pokrycie.

CONDITION OF VEGETATION ON THE GREEN WALL WITH THE USE OF REMOTE SENSING METHODS

ABSTRACT

Research on the possibility of using remote sensing methods to evaluate condition of vegetation on the green walls were performed on experimental models in 2010–2011. Two models that differ from one another with vegetation layer were analyzed: a retention model (MR I) with substrate soil and an economic model (ME II) with hydroponic felt. In the individual panels plants representing shrubs, perennials and grasses were planted. In total, on experimental models 60 plant species was applied depending on the exhibition of the walls. The evaluation of the plants condition was performed based on field observations and the analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Evaluation of vegetation condition using remote sensing methods leads to the conclusion that the vegetation on retention model (MR I) have a much higher NDVI index value compared with the economic model (ME II). The comparison of the percent coverage of panels on retention model (MR I) and economic model (ME II) by the plants was done by separating the background plane from the plant surface. As a division criterion NDVI ratio in the range from -1 to 0.2 was taken. The results showed a clear contrast between the level of plant coverage of the examined models for individual facades. On the retention model (MR I) panels plant covering was significantly higher than on an economic model (ME II) where plant growth was limited. The growth of vegetation on the retention model (MR I) using substrate soil in plant panels was normal suggesting the potential use of such solutions in the climatic conditions of Lower Silesia. Vegetation on the economic model (ME II) is characterized by a worse growth throughout the growing season, which is why it is not recommended. The study showed that it is possible to evaluate the conditions of vegetation on the green walls with the use of remote sensing methods based on a modified photographic camera.

Keywords: remote sensing, NDVI, evaluation of vegetation condition, green walls, coverage.

WSTĘP

Postępujące zmniejszanie się terenów zielonych w miastach wpływa negatywnie na jakość powietrza, podwyższanie się temperatury oraz zakłóca gospodarkę wodną. Jedną z możliwości uzupełniania zieleni miejskiej jest wykorzystanie roślinnych ścian wprowadzających zieleń na elewacje budynków. Biorąc pod uwagę, iż takie realizacje są widoczne z poziomu ulicy, nie bez znaczenia jest także wartość estetyczna wykonanej zieleni. Z tego względu ważne jest zastosowanie odpowiedniej technologii, z właściwym doбором gatunkowym roślin do lokalnych warunków klimatycznych.

Jednym z głównych elementów środowiska, które mogą być monitorowane z wykorzystaniem zdalnych metod pozyskiwania informacji jest roślinność. Jest ona dobrym indykatorem wielu procesów zachodzących w przyrodzie, a wyniki badań monitoringu mają oprócz naukowego, także gospodarcze zastosowanie w ocenie potencjału bioróżnorodności danego terenu. Właściwości odbicia spektralnego przez rośliny w poszczególnych zakresach widma elektromagnetycznego zarejestrowanego na zdjęciach satelitarnych i lotniczych stanowią podstawę badań nad możliwością rozpoznania upraw roślin oraz określenia zasięgu ich występowania [Asner 1998, Białousz i Ciołkosz 2008, Jarocińska i Zagajewski 2008]. Obecnie teledetekcja zyskuje na znaczeniu, jeśli chodzi o zastosowanie w badaniach nad oceną stanu i rozwoju roślin rolniczych w ujęciu przestrzennym [Białousz i Ciołkosz 2008, Dąbrowska-Zielińska i inni 2008, Głowienka i Michałowska 2007, Kunz i in. 2008, Pontailier i in. 2003]. Wartości wskaźnika zieleni *NDVI* obliczone dla poszczególnych faz rozwoju roślin mogą między innymi służyć do określenia stanu roślin uprawnych oraz potencjalnych pól [Kozłowska i in. 2004]. Analizy wskaźników wegetacji opierają się głównie o wykorzystanie zdjęć satelitarnych w płaszczyźnie poziomej. Brak jednak szerszych badań na temat możliwości wykorzystania informacji spektralnych pozyskanych przy pomocy cyfrowych aparatów fotograficznych [Pickle 2004, Pudelko i in. 2007, Rabatel i in. 2011].

Głównym celem pracy jest ocena możliwości przystosowania cyfrowych aparatów fotograficznych do pozyskiwania multispektralnych danych przestrzennych oraz analiza informacji spektralnej, wzmocnionej dzięki wzbogaceniu kanałów

w zakresie pasma światła widzialnego (RGB) o bliską podczerwień. W analizie uwzględniono także charakterystykę wybranych systemów roślinnych ścian pod kątem pokrycia konstrukcji przez biomasę z uwzględnieniem ograniczenia kosztów związanych z wymianą roślin po sezonie zimowym.

CHARAKTERYSTYKA MODELI DOŚWIADCZALNYCH ZIELONYCH ŚCIAN ORAZ ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Badania nad możliwością wykorzystania metod teledetekcyjnych w celu oceny stanu roślinności na zielonych ścianach wykonano na modelach doświadczalnych w latach 2010–2011 przez Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Obiekty badawcze zlokalizowano na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Wrocław Swojec. Budowa pionowego ogrodu składająca się z wolnostojących obiektów doświadczalnych wykonanych w formie konstrukcji drewnianych o wymiarach 1,5×1,5×2,5 m (dł.×sze.×wys.) oraz paneli roślinnych. Każda z elewacji została wyposażona w 9 paneli o wymiarach 33×33 cm (dł.×szer.). Powierzchnia pojedynczej doświadczalnej ściany roślinnej wynosi 1 m². W pracy analizowano dwa modele (retencyjny (MR I) i ekonomiczny (ME II)), które różnią się między sobą budową paneli roślinnych). Panele roślinne zamontowano na elewacjach względem kierunków świata. W każdym panelu roślinnym wypełnionym substratem glebowym oraz na podłożu syntetyzowanym posadzono po 5 gatunków roślin. W całym doświadczeniu zastosowano łącznie 60 gatunków roślin (w tym odmiany uprawne) reprezentujących krzewy, byliny oraz trawy.

Ogólnie dostępna fotografia cyfrowa pozwala na uzyskiwanie materiałów teledetekcyjnych w dogodnych terminach i niewielkim kosztem, w stosunku do dostępnych zdjęć satelitarnych czy lotniczych wykonywanych sprzętem fotogrametrycznym. Standardowe aparaty cyfrowe umożliwiają wykonywanie zdjęć także w płaszczyźnie pionowej, rejestrując promieniowanie w zakresie od 350 do 1100 nm. Zakres ten jest jednak ograniczony przez wbudowane filtry w celu wykonania zdjęcia jedynie w paśmie widma widzialnego. Zastosowanie jednak sprzętu dającego możliwość usunięcia filtra promieniowania podczerwonego pozwala na wykonywanie zdjęć w bliskiej pod-

czerwieni (Infrared ~700–1000 nm). Rejestracja widma fal elektromagnetycznych w aparatach cyfrowych wykorzystuje model przestrzenny barw składający się z trzech kanałów – RGB (Red, Green, Blue). Zastosowanie oprogramowania komputerowego umożliwia dodatkowo generowanie obrazów indeksów kolorów.

WYNIKI I Dyskusja

W przeprowadzonych badaniach, w celu uzyskania charakterystyk biofizycznych roślinności na zielonych ścianach, wykonano zdjęcia aparatem Canon G10 z usuniętym filtrem podczerwieni, co umożliwiło wykonanie zdjęć w bliskiej podczerwieni. Dane zostały przetworzone do rozdzielczości obrazu 8-bitowego (zakres danych 0–255). Po wykonaniu zdjęć obszar zapisu ograniczono do obrazu o wymiarach 1134×1134 pikseli, pokrywając pole o powierzchni 1×1 m roślinnej ściany. Pomiarów wykonywano w dwóch sesjach pomiarowych pomiędzy godziną 9:00 a 16:00 w miesiącach: sierpniu i listopadzie 2010 i 2011 roku. Do kalibracji radiometrycznej zdjęć pozyskanych w terenie wykorzystano 18% wzorcową kartę odbicia natężenia promieniowania firmy Nikon, którą sfotografowano wraz z obszarem roślinnej ściany. Parametry ekspozycji (prysłony, czasu migawki oraz ISO) dobrano tak, aby nie nasycić wartości koloru na karcie wzorcowej [Murphy i in. 2004].

Połączenie informacji z kilku kanałów spektralnych, biorąc pod uwagę zwłaszcza kanał podczerwieni (*IR*), umożliwiło uzyskanie informacji o parametrach rośliny, zawartości chlorofilu w liściach, a tym samym badanie ich stanu. W doświadczeniu wykorzystano materiał fotograficzny opracowany przy wykorzystaniu oprogramowania ArcGis, w którym została wykonana kompilacja kanałów czerwonego (*RED*) i bliskiej podczerwieni (*NIR*), celem uzyskania indeksów wegetacji [Jarocińska i Zagajewski 2008].

W analizach wykorzystano znormalizowany wskaźnik roślinności *NDVI* (ang. Normalized Difference Vegetation Index), który oblicza się na podstawie wartości odbicia w kanałach czerwonym i podczerwonym. Analizowany indeks jest znormalizowany, przyjmuje więc wartości od -1 do 1. Typowy zakres dla roślinności to wartości w granicach od 0,2 do 1,0. Roślinność w dobrym stanie kondycyjnym osiąga wskaźnik wynoszący od 0,6 do 0,8, reprezentując wigor rośliny pod

kątem zawartości chlorofilu i struktur komórkowych [Uzdzička i in. 2012]. Wskaźniki *NDVI* obliczone zostały według wzoru, wskazując na efektywność fotosyntetyczną roślin w stosunku do zmian warunków atmosferycznych:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} [-]$$

gdzie: *NDVI* – znormalizowany wskaźnik zieleni (ang. Normalized Difference Vegetation Index),

NIR – odbicie światła w paśmie bliskiej podczerwieni,

RED – odbicie światła w paśmie czerwieni.

Wynikowe zobrazowania wskaźnika *NDVI* odczytano w programie ArcGis, tworząc także obrazy charakteryzujące procent pokrycia roślinnością. Otrzymane wyniki wskazują na znaczne zróżnicowanie kondycji roślin, jak i przeprowadzanego procesu fotosyntezy, w zależności od wystawy oraz modelu zielonej ściany. Model retencyjny (MR I) charakteryzuje się standardowym przebiegiem wskaźnika *NDVI* uzyskując wyższe wartości w okresie letnim, a niższe pod koniec okresu wegetacyjnego. Znacznie mniejsze zróżnicowanie wartości indeksu zaobserwowano na modelu ekonomicznym (ME II), uzyskując jednostki odpowiadające dolnej granicy *NDVI*, wskazujące na bardzo słaby wzrost roślin. Wysokie dodatnie wartości *NDVI* w miesiącu sierpniu otrzymano na modelu retencyjnym (MR I) na wszystkich wystawach uzyskując maksymalną wartość 0,53 na elewacji wschodniej w roku 2010. Na modelu ekonomicznym (ME II) natomiast najwyższą wartość wskaźnika wynoszącą 0,25 uzyskano w sierpniu 2010 na wystawie zachodniej (tab. 1).

Na modelu retencyjnym (MR I) największe zróżnicowanie *NDVI* odnotowano na wystawie południowej, gdzie różnica (ΔR) wartości pomiędzy miesiącem sierpniem i listopadem w poszczególnych latach wyniosła 0,28 (2010 r.) i 0,31 (2011 r.). Najmniejsze różnice w okresie wegetacyjnym natomiast odnotowano na wystawie północnej, gdzie zmiany *NDVI* wynoszą 0,12 i 0,06 w poszczególnych latach badawczych. W analizie przebieg zmienności *NDVI* na modelu ekonomicznym (ME II) najwyraźniej zauważalny jest natomiast na wystawie zachodniej, gdzie redukcja wskaźnika wynosi 0,19 i 0,1. Na pozostałych elewacjach wartość ta wynosi od 0,02 do 0,08 wskazując na niski poziom kondycji roślin w całym okresie wegetacji (tab. 1).

Tabela 1. Średnia wartość oraz różnica (ΔR) wskaźnika NDVI na modelach retencyjnym – (MR I) i ekonomicznym – (ME II) dla wybranych miesięcy w roku 2010 i 2011 na wystawie południowej S, północnej N, wschodniej E i zachodniej W

NDVI [-1;1]								
Data	Wystawa							
	S		N		E		W	
	MR I	ME II	MR I	ME II	MR I	ME II	MR I	ME II
8.2010	0,51	0,15	0,32	0,13	0,53	0,13	0,42	0,25
11.2010	0,23	0,07	0,20	0,09	0,18	0,08	0,30	0,06
ΔR	0,28	0,08	0,12	0,04	0,35	0,05	0,12	0,19
8.2011	0,45	0,13	0,31	0,11	0,32	0,11	0,38	0,20
11.2011	0,14	0,09	0,25	0,04	0,16	0,09	0,23	0,10
ΔR	0,31	0,04	0,06	0,07	0,16	0,02	0,15	0,1

Binaryzacja (obrazy w tonacji biało-czarnej) otrzymanych zobrazowań biofizycznych roślin dla wybranych dni roku 2010 i 2011 pozwoliła na określenie procentowego pokrycia powierzchni zielonych ścian roślinnością. W celu oddzielenia roślin od tła ustalono kryterium podziału uwzględniające wskaźnik *NDVI*, przyjmujący wartości od -1 do 1. Dla tła na poszczególnych obrazach wybrano wartości pikseli z przedziału od -1 do 0,2, pozwalając na wyodrębnienie pokrywy roślinnej. Analiza wykazała wyraźny kontrast pomiędzy stopniem pokrycia badanych modeli na poszczególnych elewacjach. Na modelu retencyjnym (MR I) pokrycie paneli roślinami było duże i wynosiło w zależności od wystawy średnio od 71 do 99%. Na modelu ekonomicznym (ME II) rozwój roślin był ograniczony, co skutkowało pokryciem paneli w granicach od 41% do 64% (tab. 2).

W analizowanym okresie badań rośliny na modelu ekonomicznym (II) z zastosowaniem filcu hydroponicznego charakteryzowały się ograniczonym przyrostem, i tym samym odsłonięciem konstrukcji paneli roślinnych. Ze względu na użyty materiał osłaniający filc w kolorze czarnym, kontrast widoczny przy bezpośredniej

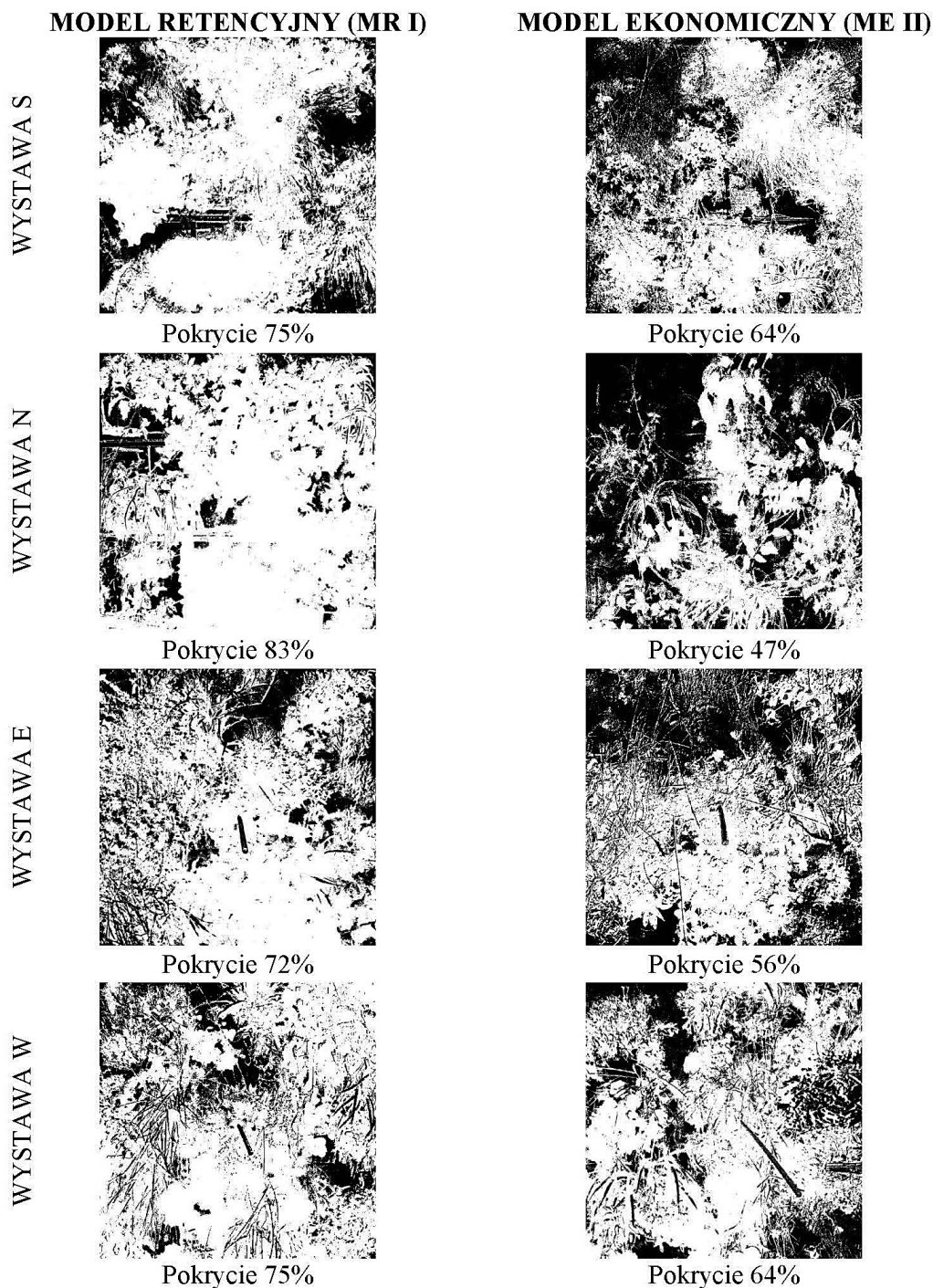
obserwacji w terenie, nie zawsze jest zauważalny na kolorowej fotografii. Jednakże zastosowanie technik cyfrowych pozwoliło na procentowe określenie pokrycia paneli przez rośliny poprzez oddzielenie sztucznego tła od rośliny (rys. 1).

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania wykazały, że możliwa jest ocena kondycji roślin na podstawie uzyskanego wskaźnika biofizycznego roślin *NDVI* (ang. Normalized Difference Vegetation Index) przy pomocy ogólnie dostępnego sprzętu fotograficznego z usuniętym filtrem blokującym pasmo promieniowania podczerwonego.
2. Uzyskany w analizach wskaźnik *NDVI* ze zdjęć cyfrowych, może być alternatywą dla wskaźników obliczonych z danych pozyskanych ze zdjęć wielospektralnych, pozyskanych przy pomocy specjalistycznej aparatury. Metoda ta może być także przydatna przy ocenie kondycji zastosowanych gatunków na większych powierzchniach roślinnych ścian w płaszczyźnie pionowej.

Tabela 2. Pokrycie roślinnością paneli roślinnych na modelach retencyjnym (MR I) i ekonomicznym (ME II) dla wybranych miesięcy w roku 2010 i 2011 na wystawie południowej S, północnej N, wschodniej E i zachodniej W

Pokrycie [%]								
Data	Wystawa							
	S		N		E		W	
	MR I	ME II	MR I	ME II	MR I	ME II	MR I	ME II
8.2010	92	41	95	49	94	50	99	51
11.2010	79	55	72	50	83	47	85	42
8.2011	72	56	83	47	75	64	75	64
11.2011	75	59	84	45	71	54	80	49



Rys. 1. Stopień pokrycia roślinnością paneli roślinnych na modelu retencyjnym (MR I) i ekonomicznym (ME II) w miesiącu sierpniu roku 2011

3. Prowadzona bezpośrednia obserwacja oraz analiza wskaźnika *NDVI* wykazała, że prawidłowy rozwój roślin przebiegał na modelu retencyjnym (MR I), uzyskując dodatnie wartości *NDVI* w miesiącu sierpniu na wszystkich wystawach. Maksymalną wartość wynoszącą 0,53 uzyskano w 2010 r. na elewacji wschodniej. Na modelu ekonomicznym (ME II) notowano niski poziom kondycji roślin w całym

okresie wegetacji otrzymując najwyższą wartość wskaźnika na wystawie zachodniej wynoszącą 0,25 w miesiącu sierpniu 2010 r.

4. Największe pokrycie paneli roślinnością wynoszące od 71 do 99% stwierdzono na modelu retencyjnym (MR I). Na modelu ekonomicznym (ME II) pokrycie było gorsze w całym okresie prowadzonych obserwacji na wszystkich elewacjach i wynosiło od 41 do 64%.

5. Przeprowadzone badania wykazały, że w warunkach klimatycznych terenów nizinnych Dolnego Śląska możliwe jest wykonanie zewnętrznych roślinnych ścian z wykorzystaniem substratu glebowego w podłożu wegetacyjnym. Natomiast systemy wykorzystujące filc hydroponiczny nie sprawdziły się w analizowanych warunkach klimatycznych.

LITERATURA

- Asner G.P. 1998. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 64, 234–253.
- Białousz S., Ciołkosz A. 2008. Zastosowania teledetekcji satelitarnej w badaniach środowiska w Polsce. *Nauka Polska*, nr 3.
- Jarocińska A., Zagajewski B. 2008. Korelacje naziemnych i lotniczych teledetekcyjnych wskaźników roślinności dla zlewni Bystrzanki. *Teledetekcja Środowiska*, 40, 100–124.
- Dąbrowska-Zielińska K., Ciołkosz A., Budzyńska M. 2008. Monitorowanie wzrostu i plonowania zbóż metodami teledetekcji. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, nr 4, 45–54.
- Głowienka E., Michałowska K. 2007. Możliwość monitorowania zmian środowiska z użyciem narzędzi GIS na przykładzie Słowińskiego Parku Narodowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 17, 241–250.
- Kunz M., Nienartowicz A., Mizgalska M. 2008. Przestrzenne rozmieszczenie wrzosowisk w Zaborskim Parku Krajobrazowym. *Teledetekcja środowiska*, Warszawa.
- Pontailier J.Y., Hymus G.J., Drake B.G. 2003. Estimation of leaf area index using ground-based remote sensed NDVI measurements: Validation and comparison with two indirect techniques. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 26, 381–387.
- Kozłowska T., Kosiński K., Kwiecień R., Ziaja W. 2004. Zastosowanie wskaźnika NDVI do wyróżniania łąk o różnym poziomie użytkowania i uwilgotnienia. *Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie*, 4(1), 201–218.
- Pickle J. 2004. Making NDVI Images using the Sony F717 “Nightshot” digital camera and IR filters and software created for interpreting digital images. *Museum of Science*.
- Pudełko R., Kozyra J., Mizak K. 2007. Zastosowanie fotografii CIR w badaniach rolno-środowiskowych. *Fragmenta Agronomica*.
- Rabatel G., Gorretta N., Labbé S. 2011. Getting NDVI spectral bands from a single standard RGB digital camera: A methodological approach. *La Laguna, Spain*, 333–342.
- Murphy R.J., Tolhurst T., Chapman M.G., Underwood A.J. 2004. Estimation of surface chlorophyll on an exposed mudflat using digital colour-infrared (CIR) photography. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 59, 625–638.
- Uździecka B., Juszcak R., Sakowska K., Olejnik J. 2012. Związek pomiędzy wskaźnikiem LAI a spektralnymi wskaźnikami roślinności na przykładzie wybranych gatunkach roślin uprawnych. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*, 12, z. 2(38), 283–311.