

Analiza korelacji pomiędzy wskaźnikami stanu roślinności a wskaźnikami intensywności ognia na przykładzie pożarów leśnych w Grecji w sierpniu 2007 roku

Analysis of correlation between vegetation and fire intensity indexes: the case of forest fires occurred in Greece in 2007

Edyta WOŹNIAK

Słowa kluczowe: wskaźniki roślinne, intensywność pożaru, MODIS
Key words: *vegetation indexes, fire intensity, MODIS*

Otrzymano: 28 września 2010; **Zaakceptowano:** 31 stycznia 2011
Received: 28 September 2010; **Accepted:** 31 January 2011

Forest fires influence significantly on the natural environment, forest management and economy. Therefore, it is very important to predict the susceptibility of the object to damage caused by fire. There are a lot of vegetation indexes obtained from the satellite images which are used to forecast the fire hazard. The aim of the study is to verify which vegetation index is the most appropriate to foresee the fire intensity. The study was carried out for the fires which occurred in Greece in August 2007. The analyzed area had 190 000 ha. MODIS data were used in the study. The paper presents the results of the correlation analysis for some of vegetation indexes: NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*, NDII – *Normalized Difference Infrared Index*, NDWI – *Normalized Difference Water Index*, GVMi – *Global Vegetation Moisture Index*, SRWI

– *Simple Ratio Water Index*, SIWSI_(6,2) – *Shortwave Infrared Water Stress Index* and indexes of fire intensity: BAI – *Burned Area Index* and NBR – *Normalized Burn Ratio*. The analysis shows that the vegetation condition is only one of the many factors which control the forest fire intensity. The correlation between vegetation and fire intensity indexes varies depending mainly on weather condition; especially maximum wind speed and the content of water vapour and secondarily on the type of vegetation cover. The most suitable vegetation indexes to predict the fire intensity resulted to be the NDII and SIWSI_(6,2), which present Pearson correlation of 0,66. The correlation is usually better for the BAI fire intensity index than for the NBR. The only exception is the case of forest.

Wstęp

Pożary leśne mają wpływ na szeroko rozumiane otoczenie człowieka. Oddziałują na środowisko naturalne. Ingerują w ekosystemy oraz odbijają swe piętno na bioróżnorodności i strukturze krajobrazu. Mają wpływ w sferę gospodarczą. Wymuszają zmiany w planowanym, długoterminowym zarządzaniu zasobami leśnymi. Pożary leśne są również zagrożeniem dla zdrowia i bezpieczeństwa człowieka. Stopień oddziaływania pożaru na otoczenie zależy od wielu czynników. Do najważniejszych z nich należą: wrażliwość poszkodowanego obiektu i intensywność ognia. Trafne prognozowanie zagrożenia pożarowego pozwala na zredukowanie bądź

wyeliminowanie szkód. Bazuje ono między innymi na zdefiniowaniu stanu roślinności w celu określenia stopnia jej palności jak i potencjalnej intensywności ognia. W artykule przedstawione są wyniki prac mających na celu określenie związku pomiędzy stanem roślinności w momencie poprzedzającym pożar a intensywnością pożaru na podstawie wskaźników uzyskanych ze zdjęć satelitarnych. Znalezienie najmocniejszej zależności pomiędzy tymi wskaźnikami pozwoli na dokładniejsze modelowanie zagrożenia pożarowego.

Techniki teledetekcyjne w latach 60-tych zaczęły być wykorzystywane do monitoringu zagrożeń naturalnych. Przełomowym momentem było wystrzelenie pierwszego

z serii satelitów NOAA. Możliwość codziennej obserwacji powierzchni ziemi w paśmie widzialnym i podczerwonym umożliwiło operacyjne wykorzystanie danych satelitarnych do monitoringu środowiska. Wraz z rozwojem technologii i wzrostem dostępu do różnego typu danych pochodzących z satelitów o różnych rozdzielczościach spektralnych, terenowych i czasowych (LANDSAT, SPOT, HYPERION, MODIS itd.) konstruowano wiele empirycznych wskaźników do estymacji stanu roślinności i jej wilgotności, które następnie używane były w modelach zagrożenia pożarowego (Karlikowski, 1997, Mycke-Dominko, 2003, Ponomarev, 2003, Chuvieco et al. 2004), przyrostu biomasy, zmian klimatycznych itp. Pierwszą grupą wskaźników były wskaźniki wykorzystujące związek pomiędzy aktywnością fotosyntetyczną roślinności (zawartością chlorofilu) a wilgotnością: NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse et al. 1974), SAVI – *Soil Adjusted Vegetation Index* (Huete, 1988). Drugą grupę stanowią wskaźniki relacjonujące stress wodny z charakterystykami termicznymi roślinności: CWSI – *Crop Water Stress Index* (Jackson et al., 1981), ST – *Surface Temperature* (Jackson, 1986), WDI – *Water Deficit Index* (Moran et al., 1994), SI – *Stress Index* (Vidal et al., 1994). Trzecią, najliczniejszą grupę stanowią wskaźniki operujące w bliskiej NIR i średniej SWIR podczarwieni, w pasmach typowych dla absorpcji wody. Do tej grupy wskaźników zaliczane są: NDII – *Normalized Difference Infrared Index* (Hardisky et al., 1983), LWCI – *Leaf Water Content Index* (Hunt et al., 1987), WI – *Water Index* (Panuelas et al. 1993), NDWI – *Normalized Difference Water Index* (Gao, 1996), GVMI – *Global Vegetation Moisture Index* (Ceccato et al. 2002), SRWI – *Simple Ratio Water Index* (Zarco-Tejada et al. 2003), SIWSI_{(6,2)(5,2)} – *Shortwave Infrared Water Stress Index* (Fensholt & Sandholt, 2003).

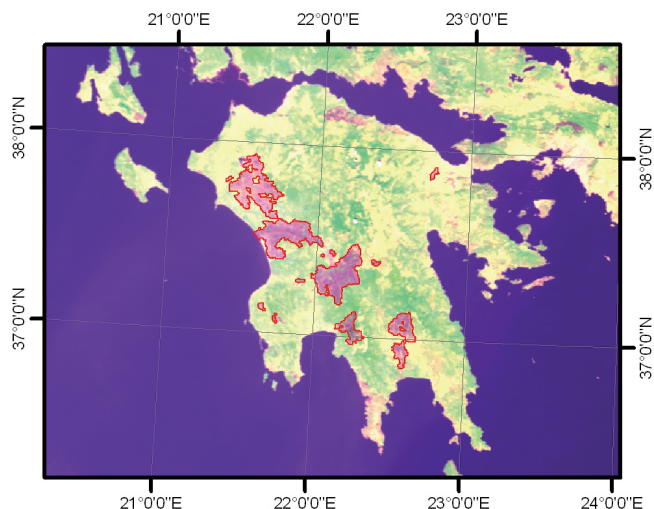
Część z wyżej wymienionych wskaźników roślinności była wykorzystywana również do określenia skutków pożaru, tj. stopnia zniszczenia szaty roślinnej (Fox et al., 2008, Altobelli et al., 2010). Skonstruowano również wskaźniki określające intensywność ognia: NBR – *Normalized Burn Ratio* (Key & Benson, 2002) oraz BAI – *Burned Area Index* (Martin et al., 2005).

W pracy zostały sprawdzone korelacje pomiędzy następującymi wskaźnikami określającymi stan roślinności: NDVI, NDII, NDWI, GVMI, SRWI, SIWSI_(6,2); a wskaźnikami określającymi intensywność ognia: NBR oraz BAI.

Obszar badań

Testy zostały przeprowadzone dla obszarów półwyspu Peloponez, które uległy spaleniom w dniach 16–31 sierpnia 2007 roku (ryc. 1). Powierzchnia analizowana wynosi około 190 000 ha. Spalone obszary znajdują się na wysokości od 50 do 1500 m n.p.m. Analizowany teren charakteryzuje się stokami o średnim nachyleniu 10

stopni. Teren użytkowany był przed spalaniem w następujący sposób: grunty orne – 2% powierzchni; winnice, gaje oliwne i sady – 10%; obszary rolnicze z dużym udziałem roślinności naturalnej – 38%, lasy: liściaste – 5%, iglaste – 6% i mieszane – 5%; naturalne obszary trawiaste – 23%; oraz wrzosowiska – 10%.



Ryc. 1. Obszar badań.

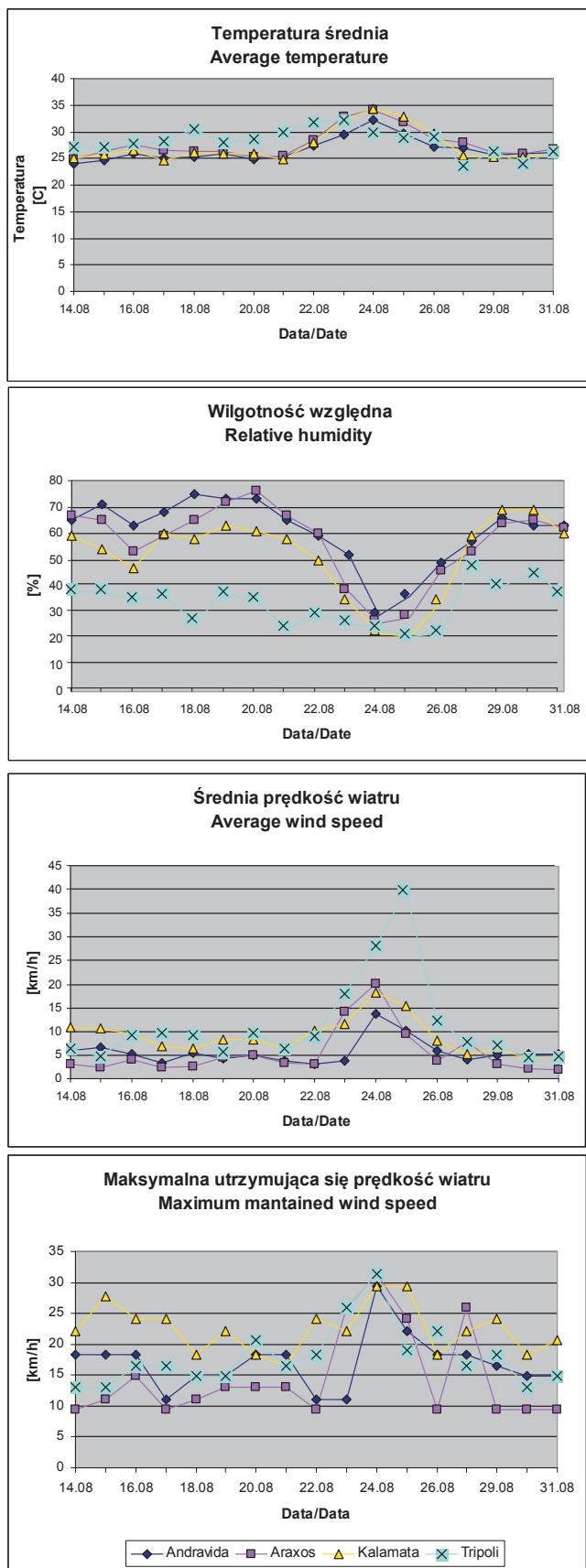
Fig. 1. Study area.

W trakcie pożarów występowały następujące warunki atmosferyczne. Średnia temperatura powietrza na badanym obszarze wynosiła od 23,6 do 34,4°C, temperatura minimalna 13,6–27,6°C, temperatura maksymalna zaś wahała się od 29 do 41 °C. Względna wilgotność powietrza wynosiła średnio 50,5%, z minimum wynoszącym 21% i maksimum – 76%. Średnia prędkość wiatru wynosiła 8 km/h, ale notowano utrzymujące się porywy wiatru o prędkości do 32 km/h. W trakcie trwania pożarów nie odnotowano opadów atmosferycznych. Ze względu na duże znaczenie warunków atmosferycznych w przebiegu i intensywności pożarów, na rycinie 2 przedstawione zostały warunki pogodowe zaobserwowane na stacjach meteorologicznych: Andravida, Araxos, Kalamata i Tripolis, w badanym okresie.

Materiały i metody

W analizie wykorzystano 9 zobrażeń pochodzących z sensora MODIS Terra pozyskane w okresie od 15 sierpnia do 1 września 2007 o rozdzielczości terenowej 500m. Użyte zobrażenia są wolne od chmur. W celu analizy pokrycia terenu użyto mapę CLC CORINE Land Cover z roku 2000. Wykorzystano również dane meteorologiczne pochodzące ze stacji: Andravida, Araxos, Kalamata i Tripolis.

We wstępnej fazie opracowania wszystkie dane zostały zgeometryzowane do odwzorowania UTM strefa 34N przy użyciu elipsoidy ED50. Na podstawie zdjęcia z 31 sierpnia 2007 opracowano mapę spalonych obszarów



Ryc. 2. Warunki pogodowe zaobserwowane na stacjach meteorologicznych: Andravida, Araxos, Kalamata i Tripolis.
 Fig. 2. Weather condition observed in the meteorological stations: Andravida, Araxos, Kalamata i Tripolis.

poprzez klasyfikację nadzorowaną metodą największego prawdopodobieństwa. Używając kolejnych zdjęć wykreślono tereny ulegające spaleniowi w okresach pomiędzy poszczególnymi zdjęciami. Następnie na poszczególnych zdjęciach wymaskowano obszary przesłonięte dymem.

Na podstawie każdego kolejnego zdjęcia otrzymywano wartości dla analizowanych wskaźników roślinności przy użyciu wzorów przedstawionych w tabeli 1, oraz dla zdjęcia z dnia 31 sierpnia obliczono wartości wskaźników intensywności ognia BAI i NBR. Następnie badano korelacje zachodzące pomiędzy wskaźnikami stanu roślinności i intensywności ognia przy użyciu współczynnika korelacyjnego Pearsona. Wartości wskaźników roślinnościbrane do analizy były obliczane na podstawie obrazów bezpośrednio poprzedzających pożar lub dla pierwszych wolnych od dymu zdjęć przed pożarem. Analizę przeprowadzono dla całego zestawu danych oraz dla poszczególnych dni, dla grup form pokrycia terenu (obszary rolnicze, naturalne obszary nieleśne i lasy). W celu zbadania związku pomiędzy wskaźnikami w optymalnych warunkach przeprowadzono dodatkową analizę korelacji dla poszczególnych form pokrycia terenu w dniu 24.08.2007. Ze względu na zmienną liczbę pikseli możliwych do analizy w poszczególnych dniach lub klasach roślinności, tam gdzie było to możliwe, pobierano losową próbkę około 400 pikseli w każdej klasie. Gdy liczba pikseli przypadająca na daną klasę była mniejsza wówczas wszystkie były analizowane.

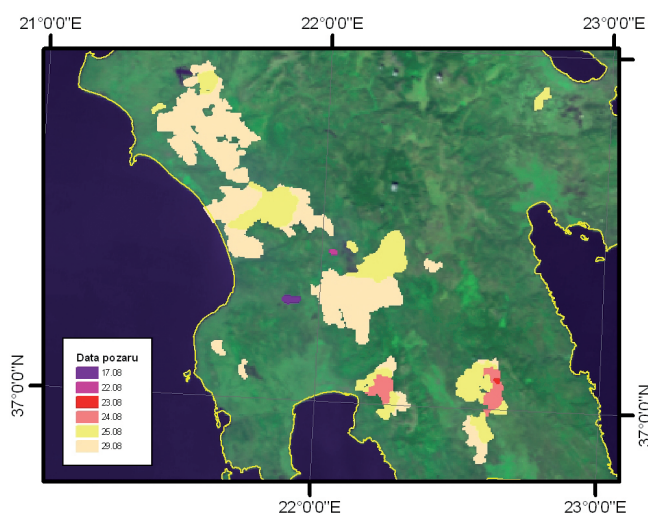
Tabela 1. Wskaźniki użyte w opracowaniu (b – kolejne kanały skanera MODIS).

Table 1. Indexes used in the study (b – MODIS bands).

Wskaźnik stanu roślinności Vegetation index	Wzór Equation
NDVI	$NDVI = \frac{b2 - b1}{b2 + b1}$
NDWI	$NDWI = \frac{b2 - b5}{b2 + b5}$
GVMI	$GVMI = \frac{(b2 + 0,1) - (b5 + 0,02)}{(b2 + 0,1) + (b5 + 0,02)}$
SRWI	$SRWI = \frac{b2}{b5}$
NDII	$NDII = \frac{b2 - b6}{b2 + b6}$
SIWSI _(6,2)	$SIWSI_{(6,2)} = \frac{b6 - b2}{b6 + b2}$
Wskaźnik intensywności ognia Fire intensity index	Wzór Equation
BAI	$BAI = \frac{100}{(0,08 - b2)^2 + (0,2 - b7)^2}$
NBR	$NBR = \frac{b7 - b2}{b7 + b2}$

Wyniki analizy i dyskusja

Skartowano pożaryska o łącznej powierzchni 188 235ha. Na 6-ściu z analizowanych zdjęć skartowano nowe powierzchnie spalone: 17.08 – 880ha, 22.08 – 243ha, 23.08 – 181ha, 24.08 – 10 665ha, 25.08 – 55 077ha oraz 29.08 – 121 189ha (ryc. 3).



Ryc. 3. Obszary spalone.

Fig. 3. Burnt areas.

Analizując cały zestaw danych nie znaleziono silnych związków pomiędzy wskaźnikami roślinności i intensywności ognia (tab. 2). Zauważono silniejszą zależność pomiędzy wskaźnikiem BAI i wskaźnikami roślinności niż wskaźnikiem NBR. Współczynnik korelacji dla indeksu BAI waha się od 0,2 do 0,31, a w przypadku indeksu NBR – od 0,09 do 0,16. Najwyższą korelację otrzymano dla wskaźników NDII i SIWSI_(6,2), które obliczone są przy użyciu kanałów w bliskiej i średniej podczerwieni (2 i 6 kanał MODIS). Współczynnik korelacji dla tych wskaźników wynosi 0,31. Niska zależność pomiędzy badanymi wskaźnikami świadczy o tym, że stan roślinności nie jest dominującym czynnikiem wpływającym na intensywność ognia, ale jednym z wielu czynników współdziałających w procesie.

Tabela 2. Współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami stanu roślinności i intensywności ognia dla całego zestawu danych.

Table 2. Pearson correlation coefficient obtained between vegetation and fire intensity indexes for whole dataset.

Wskaźnik intensywności ognia <i>Fire intensity index</i>	Wskaźnik stanu roślinności <i>Vegetation index</i>				
	NDVI	NDWI	NDII/ SIWSI _(6,2)	GVMI	SRWI
BAI	-0,26	-0,22	+/- 0,31	-0,20	-0,23
NBR	-0,09	-0,16	+/- 0,15	-0,13	-0,16

Ze względu na zmienne lokalne warunki atmosferyczne panujące na badanym obszarze w analizowanym

okresie korelacje pomiędzy wskaźnikami zostały obliczone dla poszczególnych dni. Wyniki analizy korelacji wskaźników w poszczególnych dniach przedstawia tabela 3.

Najlepsze korelacje uzyskano dla dnia 24.08.2007. Dzień ten odznaczał się stosunkowo jednakowymi warunkami meteorologicznymi na całym badanym obszarze. Obliczona temperatura średnia w czterech stacjach wahała się od 29,8 do 34,4°C. Wilgotność względna powietrza była bardzo niska i wynosiła 22–29%. Średnia prędkość wiatru wynosiła od 13,7 do 28,2 km/h, zaś prędkość maksymalna utrzymujących się porywów wiatru była bardzo zbliżona we wszystkich stacjach i wynosiła od 29,4 do 31,3 km/h. Wskaźnik korelacji dla poszczególnych wskaźników roślinności obliczonych dla tego dnia i dla wskaźnika intensywności ognia BAI wynosił od 0,48 (NDWI, GVMI) do 0,66 (NDII, SIWSI_(6,2)).

Dla dnia 29.08.2007 obliczone wskaźniki Pearsona wskazują na brak jakichkolwiek korelacji pomiędzy wskaźnikami stanu roślinności i intensywności ognia – 0,07–0,18. Dzień ten charakteryzował się zmiennością regionalną niektórych warunków pogodowych, przede wszystkim: wilgotności względnej powietrza 40–66% i prędkości maksymalnej utrzymujących się porywów wiatru 9,4–24,1. W dniu 25.08.2007 współczynnik korelacji przyjmuje wartości pośrednie w stosunku do pozostałych dni podobnie jak zróżnicowanie warunków lokalnych.

Z powyższych danych wynika, że znaczący wpływ na intensywność ognia mają czynniki meteorologiczne: wilgotność względna powietrza i maksymalna prędkość utrzymujących się porywów wiatru. Przy dużej zmienności wymienionych czynników stan roślinności ma mniejsze znaczenie na intensywność ognia. Przy stałych warunkach wyżej wymienionych zmiennych meteorologicznych stan roślinności ma bardzo duży wpływ na intensywność ognia.

Podobnie jak w przypadku całego zestawu danych współczynnik BAI lepiej się korelował ze indeksami roślinności niż współczynnik NBR. Wyjątek stanowił jedynie dzień 17.08.2007. Niemniej jednak ilość pikseli analizowanych w danym dniu była bardzo mała.

Z analizy przeprowadzonej dla poszczególnych form pokrycia terenu wynika, że im wyższa homogeniczność klasy tym zachodzi większy związek pomiędzy wskaźnikami stanu roślinności i intensywności ognia (tab. 4). Dla obszarów rolniczych, które charakteryzują się dużym zróżnicowaniem roślinności ze względu na typ upraw jak i sposób gospodarowania, nie zachodzi korelacja – współczynnik Pearsona na poziomie 0,07–0,10 dla wskaźnika BAI i 0,00–0,10 dla NBR. Dla obszarów nieleśnych: trawiastych i wrzosowisk, które odznaczają się dużą jednorodnością wskaźnik korelacji jest najwyższy – 0,20–0,38 (BAI) i 0,07–0,16 (NBR). Najwyższą zależność wykazano dla klasy nieleśnej dla wskaźników NDII i SIWSI_(6,2) i wskaźnika intensywności ognia BAI – 0,38. Niemniej jednak znaczenie typu pokrycia powierzchni jest niewielkie mając małe znaczenie na intensywność ognia.

Tabela 3. Współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami stanu roślinności i intensywności ognia obliczony dla poszczególnych dni.

Table 3. Pearson correlation coefficient obtained between vegetation and fire intensity indexes for each day.

Data Date	Ilość pikseli Number of pixels	Wskaźnik intensywności ognia Fire intensity index	Wskaźnik stanu roślinności Vegetation index				
			NDVI	NDWI	NDII/ SIWSI _(6,2)	GVMI	SRWI
17.08.2007	27	BAI	-0,20	-0,35	+/- 0,19	-0,32	-0,35
		NBR	-0,32	-0,41	+/- 0,32	-0,39	-0,39
24.08.2007	432	BAI	-0,58	-0,48	+/- 0,66	-0,48	-0,53
		NBR	-0,33	-0,35	+/- 0,41	-0,34	-0,38
25.08.2007	419	BAI	-0,28	-0,30	+/- 0,37	-0,28	-0,32
		NBR	-0,14	-0,27	+/- 0,21	-0,23	-0,28
29.08.2007	443	BAI	-0,14	-0,07	+/- 0,18	-0,07	-0,08
		NBR	-0,02	-0,03	+/- 0,03	-0,00	-0,03

Tabela 4. Współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami stanu roślinności i intensywności ognia obliczony dla poszczególnych form pokrycia terenu.

Table 4. Pearson correlation coefficient obtained between vegetation and fire intensity indexes for each land cover form.

Pokrycie terenu Land cover	Ilość pikseli Number of pixels	Wskaźnik intensywności ognia Fire intensity index	Wskaźnik stanu roślinności Vegetation index				
			NDVI	NDWI	NDII/ SIWSI _(6,2)	GVMI	SRWI
Obszary rolnicze	415	BAI	-0,07	-0,10	+/- 0,08	-0,08	-0,10
		NBR	-0,07	-0,10	+/- 0,00	-0,05	-0,09
Obszary naturalne nieleśne	403	BAI	-0,31	-0,22	+/- 0,38	-0,20	-0,23
		NBR	-0,11	-0,10	+/- 0,16	-0,07	-0,11
Obszary leśne	413	BAI	-0,27	-0,25	+/- 0,33	-0,26	-0,27
		NBR	-0,14	-0,18	+/- 0,17	-0,16	-0,19

Tabela 5. Współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami stanu roślinności i intensywności ognia obliczony dla poszczególnych form pokrycia terenu w dniu 24.08.2007.

Table 5. Pearson correlation coefficient obtained between vegetation and fire intensity indexes for each land cover form on August the 24th, 2007.

Pokrycie terenu Land cover	Ilość pikseli Number of pixels	Wskaźnik intensywności ognia Fire intensity index	Wskaźnik stanu roślinności Vegetation index				
			NDVI	NDWI	NDII/ SIWSI _(6,2)	GVMI	SRWI
Obszary rolnicze	72	BAI	-0,71	-0,25	+/- 0,77	-0,32	-0,29
		NBR	-0,34	-0,19	+/- 0,37	-0,24	-0,19
Obszary naturalne nieleśne	228	BAI	-0,48	-0,41	+/- 0,48	-0,47	-0,41
		NBR	-0,22	-0,24	+/- 0,27	-0,18	-0,26
Obszary leśne	134	BAI	-0,21	-0,07	+/- 0,34	-0,01	-0,03
		NBR	-0,45	-0,38	+/- 0,60	-0,41	-0,42

Tabela 5 przedstawia wyniki analizy przeprowadzonej dla poszczególnych form pokrycia terenu przy użyciu danych z dnia 24.08.2007. Dla obszarów naturalnych nieleśnych wszystkie wskaźniki roślinności mają podobną korelację ze wskaźnikiem BAI – 0,41–0,48. Zaskakujące są wyniki otrzymane dla obszarów leśnych. Dla indeksu BAI zachodzi korelacja tylko ze wskaźnikami NDII i SIWSI_(6,2) na poziomie 0,34, indeks NBR zaś prezentuje większą zależność na poziomie od 0,38 dla NDWI do 0,60 dla NDII i SIWSI_(6,2). Jest to jeden z nielicznych przypadków gdzie wskaźnik ten osiąga lepszą korelację niż wskaźnik BAI.

Wnioski

Z powyższych analiz wynika, że stan roślinności jest jednym z wielu czynników wpływających na przebieg i intensywność pożarów leśnych. Przy jednorodnych lokalnych warunkach atmosferycznych może być to czynnik dominujący. Dla celów modelowania zagrożenia pożarowego, mając na uwadze określenie możliwych strat w roślinności, najbardziej uzasadnione jest użycie wskaźników roślinności wykorzystujących informację zawartą w kanałach bliskiej i średniej podczerwieni – NDII i SIWSI_(6,2). Wartość współczynnika korelacji Pearsona

dla tych indeksów osiąga nawet 0,66 w jednorodnych warunkach atmosferycznych, co wskazuje na dość silny związek pomiędzy badanymi wskaźnikami. Przy małym zróżnicowaniu przestrzennym stanów pogodowych, wszystkie wskaźniki roślinne wykazują dość silną korelację ze wskaźnikiem BAI (0,48–0,66), ale niższą ze wskaźnikiem NBR (0,33–0,41). W sytuacji dużych różnic regionalnych w wilgotności powietrza i maksymalnej utrzymującej się prędkości wiatru korelacja zupełnie zanika (BAI – 0,18, NBR – 0,03).

Literatura

- Altobelli, A., Sgambati, A., Bader, F., Fior, G., Magajna, B., Ferrazzo, L., Braut, R., Urrutia, P., Ganis, P., Orlando, S., 2010, Using gvGIS's Remote Sensing Extension forest fire monitoring. *GEOInformatics*, 13 (3), 44–47
- Chuvieco, E., Cocero, D., Riano, D., Mrtin, P., Martinez-Veg, J., de la Riva, J., Perez, F., 2004, Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. *Remote Sensing of Environment*, 92, 322–331
- Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., Tarantola, S., 2002, Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1. Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment*, 82, 198–207.
- Fensholt, R., Sandholt, I., 2003, Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. *Remote Sensing of Environment*, 87, 111–121.
- Fox, D.M., Maselli, F., Carrega, P., 2008, Using SPOT images and field data sampling to map burn severity and vegetation factors affecting post forest fire erosion risk. *Catena* 75, 326–335.
- Gao, B.C., 1996, NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257–266.
- Hardyski, M.A., Lemas, V., Smart, R.M., 1983, The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral reflectance of spartina alternifolia canopies. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 49, 77–83.
- Huete, A.R., 1988, A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295–309.
- Hunt, E.R., Rock, B.N., Nobel, P.S., 1987, Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 22, 429–435.
- Jackson, R.D., Idso, S. B., Reginato, R. J., & Pinter, P. J., 1981, Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17, 1133–1138.
- Jackson, R.D., 1986, Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. *Annual Review of Phytopathology*, 24, 265–286.
- Karlikowski, T., 1997, Wykorzystanie zdjęć satelitarnych NOAA-AUHRR do wspomaganie oceny zagrożenia pożarowego lasu. *Prace IBL*, 829, 3–72.
- Key, C., Bensos, N., 2002, *Landscape assessment, in fire effects monitoring (FireMon) and inventory protocol: Integration of standardized field data collection techniques and sampling desing with remote sensing to assess fire effects*. NPS-USGS National Burn Severity Mapping Project.
- Martin, M.P., Gomez, I., Chuvieco, E. 2005, Performance of a burned-area index (BAIm) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data. *Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment*. (J. Riva, Pérez-Cabello, F. y Chuvieco, E., Eds.). Paris, Universidad de Zaragoza, GOFIC GOLD, EARSeL: 193–198.
- Mycke-Dominko, M., 2003, Teledetekcyjna metoda klasyfikacji zagrożenia pożarowego lasu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 13
- Panuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L., 1993, The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1887–1905.
- Ponomarev, E., 2003, Technologia sporządzania codziennych ocen zagrożenia pożarowego z wykorzystaniem satelitarnej teledetekcji w Regionie Krasnojarskim (Syberia Wschodnia, Rosja). *Prace IBL* 4, 5–18.
- Rouse, J.W., Haas, R.W., Schell, J.A., Deering, D.H., Harlan, J.C., 1974, *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation*. NASA/GSFC, Greenbelt, MD, USA.
- Vidal, A., Pinglo, F., Durand, H., Devaux-Ros, C., & Maillet, A., 1994, Evaluation of a temporal fire risk index in mediterranean forests from NOAA thermal IR. *Remote Sensing of Environment*, 49, 296–303.
- Zarco-Tejada, P.L.J., Rueda, C.A., Ustin, S.L., 2003, Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. *Remote Sensing of Environment*, 85, 109–124.



Mgr Edyta Woźniak jest absolwentką Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Ukończyła specjalizacje: Sedymetologia i Geoekologia. Obecnie doktorantka w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji WGSR UW. Zajmuje się modelowaniem zagrożeń naturalnych.
Email: edyta_wozniak@hotmail.com