

**Małgorzata Mycke-Dominko**  
**Olga Slinkina**

## **OCENA PODATNOŚCI LASU NA POŻAR NA PODSTAWIE OBRAZÓW SATELITARNYCH NOAA-AVHRR**

*Streszczenie.* W referacie omówione zostanie ustalenie kategorii zagrożenia pożarowego lasu dla wszystkich kompleksów leśnych, zarówno lasów państwowych, jak i prywatnych na podstawie obrazów satelitarnych NOAA AVHRR.

*Klasyfikację przeprowadzono głównie w oparciu o uzyskane wskaźniki NDVI oraz wartości temperatury radiacyjnej. Uwzględniono również dane meteorologiczne zbierane przez stacje naziemne jak i statystykę występowania pożarów. Wszystkie te informacje pozwoliły one na uzyskanie wartości progowych, które posłużyły do określenia trzech klas kategorii zagrożenia pożarowego lasu, które okazały się zgodnymi z klasami wyznaczonymi metodą tradycyjną.*

### **Wprowadzenie**

Standardowa kategoryzacja zagrożenia pożarowego lasu, która jest opracowywana w sposób tradycyjny uwzględnia warunki przyrodniczo leśne, średnie liczby występowania pożarów, warunki klimatyczne - określone współczynnikiem Sielaninowa - oraz wskaźniki zanieczyszczenia powietrza emisjami przemysłowymi. Jest to metoda pracochłonna i dlatego prowadzone są na świecie badania opierające się na danych satelitarnych. Istnieje szereg opracowań wykorzystujących informacje uzyskane z satelitów Landsat i NOAA. Obrazy z satelity NOAA są szczególnie przydatne do opracowań małoskalowych, dla dużych obszarów. Ponadto są one odbierane kilka razy dziennie więc dają możliwość przeanalizowania danych dla całego okresu palnego w ciągu jednego roku, jak i wielolecia. Ze względu na ich stosunkowo łatwą dostępność dla użytkownika są one szczególnie ważne w badaniach. W Instytucie Badawczym Leśnictwa w ramach tematu stażowego zleconego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej podjęto się, przy współpracy stypendystki z Instytutu Leśnego im. V.N. Sukačeva w Krasnojarsku (Rosja), przeprowadzenia badań na tych właśnie obrazach.

### **Metodyka pracy**

W pracy podjęto się ustalenia, na podstawie informacji uzyskanych bezpośrednio z obrazu satelitarnego NOAA/AVHRR, podatności lasu na pożar poprzez zakwalifikowanie tych obszarów do odpowiedniej kategorii zagrożenia pożarowego lasu. Najistotniejszym elementem jest określenie poziomu wilgoci, zawartej w drzewostanie. Kondycję drzewostanu określają pod względem jego uwilgocenia takie wskaźniki, jak NDVI i TNDVI. W pracy podjęto się analizy

wskaźnika NDVI, jak również podjęto próbę wyróżnienia i podzielenia na kategorie zagrożenia pożarowego lasu.

Do analizy wybrano cztery obrazy z 2002 roku, odebrane przez stację odbiorczą Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie. Prace badawcze zostały przeprowadzone na obszarze Nadleśnictwa Dobieszyn, dla którego istnieje mapa cyfrowa wraz z bazą danych, jaka była potrzebna dla tego rodzaju opracowania. Obrazy wybrano dla okresu wegetacyjnego kwiecień-wrzesień przyjmując, że wyniki uzyskane na ich podstawie dadzą informacje na temat warunków palności lasu na tym obszarze. Ocenę palności sklasyfikowano w 3 klasach, klasyfikację przeprowadzono głównie w oparciu o uzyskane wskaźniki NDVI oraz wartości temperatury radiacyjnej. Uwzględniono również dane meteorologiczne zbierane przez stacje naziemne, jak i statystykę występowania pożarów. Wszystkie te informacje pozwoliły na uzyskanie wartości progowych, które posłużyły do określenia trzech klas kategorii zagrożenia pożarowego lasu, które są zgodne z klasami wyznaczonymi metodą tradycyjną.

### **Charakterystyka materiałów teledetekcyjnych**

Wybrano cztery obrazy, pozyskane w dniach bezchmurnej pogody pozyskane przez satelitę NOAA 16 radiometrem AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Skaner AVHRR zapisuje dane w pięciu zakresach /kanałach/ widma elektromagnetycznego:

- kanał 1 w zakresie 0,58 – 0,68  $\mu\text{m}$ ,
- kanał 2 w zakresie 0,725 – 1,1  $\mu\text{m}$ ,
- kanał 3 w zakresie 1,58 – 1,64  $\mu\text{m}$ ,
- kanał 4 w zakresie 10,3 – 11,3  $\mu\text{m}$ ,
- kanał 5 w zakresie 11,5 – 12,5  $\mu\text{m}$ .

Po odpowiednim przetworzeniu kanały 1 – 3 pokazują rzeczywistą wartość albedo w skali 1-100%, a kanały 4 - 5 rzeczywistą wartość temperatury powierzchni w stopniach Kelvina.

Do opracowania wybrano zdjęcia z roku 2002 roku, które charakteryzowały się bardzo małym zachmurzeniem. Były to obrazy z maja, lipca, sierpnia i września. Na zdjęciu z września było niewielkie zachmurzenie, które udało się w procesie przetwarzania obrazu usunąć. Wszystkie obrazy wykonane zostały we wczesnych godzinach popołudniowych (pomiędzy godziną 13-tą a 14-tą). Rozdzielczość przestrzenna obrazów wynosi 1,1x1,1 km i w tym wymiarze jest zapisany piksel /najmniejszy zarejestrowany element obrazu/. Dane te są zapisane w formacie 16 – bitowym. Obrazy zostały poddane korekcji geometrycznej do odwzorowania stożkowego Albersa. Aby mogły być analizowane wraz z mapą numeryczną Nadleśnictwa Dobieszyn zostały zgeometryzowane do układu współrzędnych „1942”.

Obrazy satelitarne były przetwarzane w programie ERDAS IMAGINE 8.4, w którym również dokonano analiz poszczególnych kanałów spektralnych. Analiza danych przestrzennych była przeprowadzona w programie ARC VIEW 3.2

### **Materiały kartograficzne wykorzystane w opracowaniu**

W opracowaniu, a szczególnie przy geometryzacji obrazu satelitarnego w celu nadania mu cech kartometrycznych, wykorzystano dla tego obszaru mapy topograficzne w układzie współrzędnych 1942 w skali 1: 25 000 wydane przez Sztab Generalny WP w 1994 r.

Szczególnie przydatną mapą podczas analiz, mających na celu inwentaryzację kompleksów leśnych, była mapa numeryczna Nadleśnictwa Dobieszyn wykonana w ZOPL IBL w 2000 r. Zawiera ona bowiem bogatą treść informacji o wszystkich wydzieleniach leśnych w nadleśnictwie i stanowi bogate źródło informacji o lesie (między innymi zawiera następujące warstwy: podział administracyjny, siedlisko, gatunek, wiek, wysokość). Również do niej przypisane są dane odnośnie tematyki pożarowej (ilość, powierzchnia pożarów, wyznaczenie miejsca pożaru na podstawie dwóch azymutów, jak i najkrótszy dojazd do miejsca pożaru). Mapa ta funkcjonuje w programie Arc View 3.2.

### **Analiza obrazów satelitarnych**

Przeanalizowano zdjęcia z 4 maja, 12 lipca, 21 sierpnia i z 9 września 2002 roku. Obrazy te swoim zasięgiem pokrywają całą Polskę z tym, że orbita satelity przecinała południkowo centralną Polskę. Z obszaru tego wycięto obszar Nadleśnictwa Dobieszyn.

Prace przebiegały w kilku etapach.

Pierwszym z nich było obliczenie znormalizowanego różnicowego wskaźnika roślinności NDVI dla wszystkich obrazów. Wskaźnik ten został wyliczony tylko dla obszarów leśnych, które znajdują się na numerycznej mapie tego nadleśnictwa. Różne zjawiska - a są to między innymi rozpraszanie promieniowania odbitego od badanego obiektu przez składniki atmosfery, absorpcja promieniowania przez aerozole, ozon, parę wodną - powodują zmianę wartości NDVI. Wpływ ma też położenie słońca w momencie rejestracji obrazu. Największe wartości NDVI występują przy zenitalnym położeniu Słońca. Dlatego też do opracowania wybrano zdjęcia wykonane w przybliżeniu o jednej godzinie (wczesnym popołudniem), z tego powodu zdjęcia te są lepsze od wykonanych w godzinach rannych, gdyż nie obserwuje się wtedy zamglenia powodującego podwyższenie temperatury radiacyjnej.

Znormalizowany różnicowy wskaźnik roślinności określany skrótem NDVI /Normalized Difference Vegetation Index/ wyraża się wzorem:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR}-\text{R}}{\text{IR}+\text{R}}$$

gdzie:

**R** – wartość odbicia promieniowania w kanale 1 /0,58 – 0,68  $\mu\text{m}$ /

**IR** - wartość odbicia promieniowania w kanale 2 /0,725 – 1,1 μm/

Wskaźnik ten wykazuje ścisły związek z masą zieloną. Bujna zielona roślinność, a w tym obszary leśne, będą miały wyższe wartości NDVI niż mocno wysuszona roślinność. Analizowanie wartości NDVI w czasie, pozwala na określenie dynamiki zmian wielkości masy zielonej. Zależności te były szczegółowo badane już od kilkunastu lat, również w badaniach zagrożenia pożarowego lasu. Wskaźnik ten jest także najlepszy w określaniu zawartości chlorofilu, pokazuje również stres roślin w przypadku przesuszenia, w czym istotne jest jeszcze uwzględnienie temperatury, jak i ilości opadów.

Związki NDVI ze zjawiskami pożarów były badane na obszarach lasów borealnych. Kierunek ten rozwinął się potem szczególnie w Rosji i Kanadzie (Kasischke 1977, Ponomarev 2003). Na związki NDVI z występowaniem pożarów zwrócono uwagę również w lasach basenu Morza Śródziemnego (González 1977). Badania nad powiązaniem NDVI z temperaturą powierzchniową w ustalaniu wskaźnika zagrożenia pożarowego były zapoczątkowane we Francji (Prosper-Laget) i one zainspirowały wykonanie obecnego opracowania, poprzedzonego wcześniej - wykonanym w IBL (Karlikowski 1977).

Dla każdego obrazu utworzono mapy NDVI (rys.1). Wartości od 0,1 do 1,0 podzielono na 18 klas i przeanalizowano te wartości dla poszczególnych gatunków. Ze względu na dużą rozdzielczość pixela, 1,1x1,1 km, trudno było jednoznacznie zidentyfikować jednorodne, zarówno pod względem gatunku, jak i wieku, kompleksy leśne. Drzewostany sosnowe, które tworzą na tym terenie najbardziej zwarte kompleksy podzielono na 3 klasy wiekowe:

1. drzewostan sosnowy w wieku do 30 lat,
2. drzewostan sosnowy w wieku 31 - 60 lat,
3. drzewostan sosnowy w wieku powyżej 60 lat.

Najwyższe wartości NDVI dla wszystkich klas wystąpiły w lipcu (1-0,521, 2-0,526, 3-0,541), najniższe we wrześniu (1-0,273, 2-0,268, 3-0,286). Wartości NDVI dla obrazów z maja (1-0,410, 2-0,363, 3-0,410) i sierpnia (1-0,389, 2-0,417, 3-0,385) były zbliżone. Nieco wyższymi wartościami NDVI na wszystkich obrazach wyróżniał się drzewostan liściasty. Zależności względem terminów były identyczne jak w przypadku drzewostanów sosnowych, to znaczy najwyższa wartość NDVI była w lipcu (0,585), najniższa we wrześniu (0,337). W maju i w sierpniu wystąpiły odpowiednio 0,467 i 0,451.

W kolejnym etapie przeanalizowano temperaturę radiacyjną powierzchni drzewostanów w poszczególnych terminach. Temperatura radiacyjna, jaką rejestruje skaner, została skorygowana ze względu na wpływ atmosfery według wzoru: (Karlikowski 1997):

$$TS = T4 + 2,68(T4 - T5) - 0,4$$

gdzie:

TS – temperatura radiacyjna,

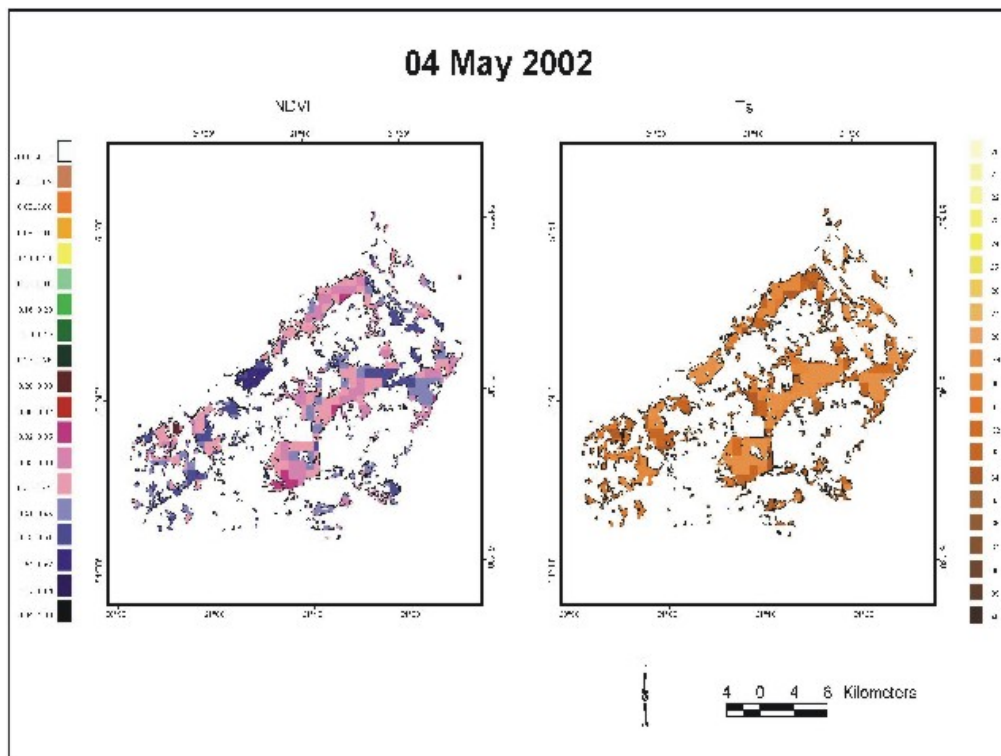
T4 – temperatura radiometryczna obliczona dla kanału spektralnego 4,

T5 – temperatura radiometryczna obliczona dla kanału spektralnego 5.

Średnie wartości temperatury radiacyjnej dla drzewostanu sosnowego w analizowanych terminach były zbliżone, w lipcu wynosiły - 28,94<sup>0</sup>C, w sierpniu - 29,17<sup>0</sup>C, zaś we wrześniu - 29,14<sup>0</sup>C. Natomiast najwyższa była w maju, 30,53<sup>0</sup>C. W

klasach wiekowych najniższa wartość wystąpiła w klasie 31-60 lat. W przypadku drzewostanu liściastego wartości temperatury radiacyjnej nie różniły się istotnie i wynosiły średnio: w maju - 29,75<sup>0</sup>C, w lipcu - 28,67<sup>0</sup>C, w sierpniu - 29,17<sup>0</sup>C i we wrześniu 29,83<sup>0</sup>C.

Największe zależności pomiędzy wartościami NDVI a TS wystąpiły dla drzewostanu sosnowego w maju i w sierpniu. Analiza liczby pożarów i wartości NDVI nie wykazała zależności. Natomiast wykazuje się ścisły związek pomiędzy liczbą pożarów a wartością TP. Współczynnik korelacji wyniósł 0,95.



Rys.1 Mapa wskaźnika NDVI i TS Nadleśnictwa Dobieszyn wykonana na podstawie obrazu satelitarnego z 4 maja 2002 roku

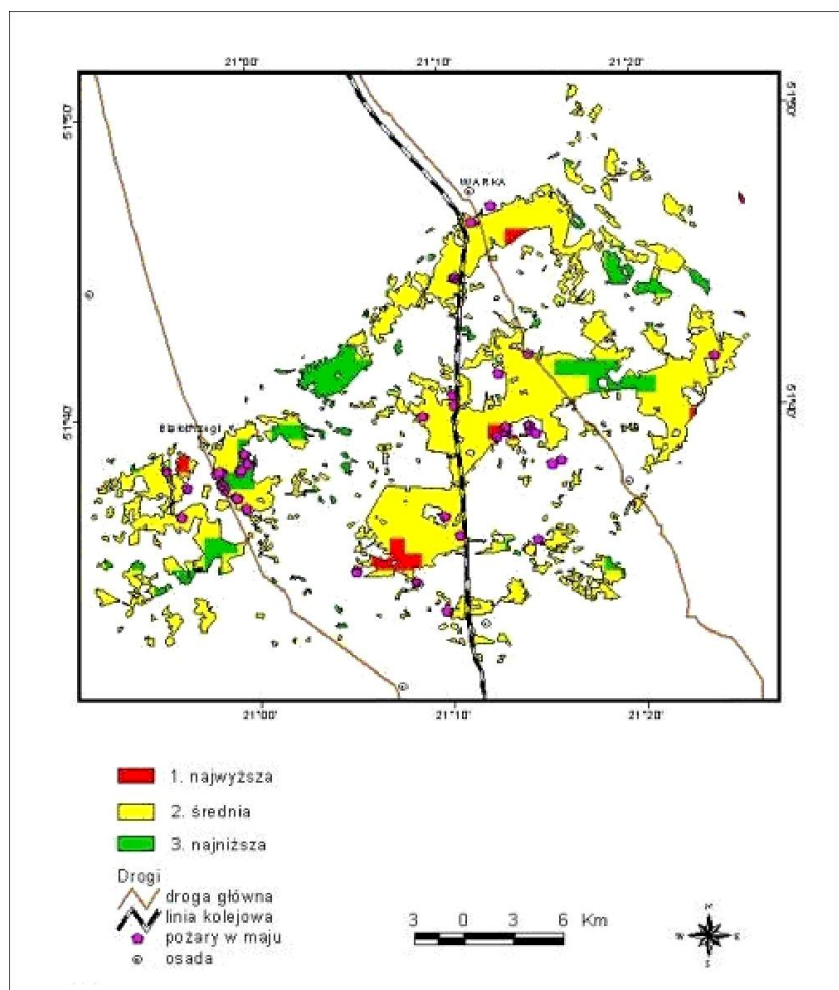
W opracowaniu zastosowano iteracyjną samoorganizującą się technikę analizy danych ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) – metodę przypisania pikseli do klastrów. Plikami danych wejściowymi w tej procedurze były warstwy rastrowe wskaźników NDVI i TS. Założono wyróżnienie trzech klastrów i każdy piksel został przypisany do tego klastra, którego środek był położony najbliżej. Końcowym efektem było przypisanie klastrów stopnia podatności na pożar. Powstały trzy klasy:

1. najwyższa podatność lasu na pożar,
2. średnia podatność lasu na pożar,
3. najmniejsza podatność lasu na pożar.

Na tej podstawie wykonano 4 mapy podatności lasu na pożar. W maju prawie na całym obszarze występowała klasa 2, w lipcu dominowała klasa 3, w sierpniu 2, we wrześniu 1.

W końcowym etapie przeanalizowano przestrzenny rozkład pożarów, jakie miały miejsce w 2002 roku. Analiza rozmieszczenia, wielkości i ilości pożarów pozwoliła dopiero na podjęcie ostatecznej decyzji o zakwalifikowaniu poszczególnych kompleksów leśnych do odpowiednich kategorii zagrożenia pożarowego lasu.

Rezultatem tego postępowania jest mapa kategorii zagrożenia pożarowego lasu dla kompleksów leśnych Nadleśnictwa



Rys.2 Mapa kategorii zagrożenia pożarowego lasu w maju dla Nadleśnictwa Dobieszyn

Na mapę tę można nałożyć granice leśnictw, aby uzyskać dane odnoszące się do poszczególnych leśnictw.

## **Wnioski**

Obrazy zarejestrowane przez satelitę NOAA AVHRR, głównie ze względu na swoją łatwą dostępność i częste pozyskiwanie informacji, są dla wielu zastosowań bardzo dobrym źródłem danych. Niniejsze opracowanie jest przykładem zastosowania tych obrazów w ochronie przeciwpożarowej lasu. Przedstawiono tu metodę wyróżniania kategorii zagrożenia pożarowego lasu, wykonaną w zasadzie tylko o obrazy satelitarne. Okazało się, że wskaźnik NDVI oraz temperatura radiacyjna lasów wystarczy, aby w skali nadleśnictwa móc przeprowadzić tego rodzaju klasyfikację. Dane uzyskane z obserwacji naziemnych były pomocne w pracy, jednakże nie były niezbędne. Przeprowadzona w ten sposób klasyfikacja lasów pod względem ich podatności na pożar jest wypadkową wielu czynników, zarówno wynikających z właściwości środowiska geograficznego jak i czynników oddziałujących na to środowisko. Te wszystkie właściwości i zależności znajdują odzwierciedlenie w odbiciu spektralnym. Zdjęcia z NOAA w skali regionu czy kraju umożliwiają sklasyfikowanie kompleksów leśnych w trzy kategorie pod względem zagrożenia pożarowego lasu. Istotnym jest, że tą metodą można co pewien czas sprawdzać i aktualizować kategorie zagrożenia pożarowego w kompleksach leśnych.

## **Literatura**

González – Alonso F., Cuevas J.,M., Casanova J.L., Calle A., Illera P., 1977, A forest fire risk assessment using NOAA AVHRR images in Valencia area, eastern Spain. *International Journal of Remote Sensing*, vol.18, no.10.

Karlikowski T., Dąbrowska-Zielińska K., Zawila-Niedźwiecki T., Santorski Z., Sakowska H., Janowska M., 1997, Wykorzystanie zdjęć satelitarnych NOAA-AVHRR do wspomaganie oceny zagrożenia pożarowego lasu. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria A*. Warszawa.

Kasischke E.,S., French N.,H.,F., 1997, Constraints on using AVHRR composite index imagery to study patterns of vegetation cover in boreal forests. *International Journal of Remote Sensing*, vol.18, no.11.

Ponomarev E., 2003, Operatywna ocena zagrożenia pożarowego lasów na podstawie danych satelitarnych. *Praca doktorska /po rosyjsku/ Instytut Leśny im. W.N.Sukačova w Krasnojarsku*.

Prosper-Laget Valérie, Douguédroit Annick, Guinot Jean-Pierre. 1998, A Satellite Index of Risk of Forest Occurrence in Summer in the Mediterranean Area. *International Journal Wildland Fire* 8 (4).

Sukhinin A.I., McRae D.J., Ponomarev E.I., 2002, Assessment of a Forest Fire Danger Index for Russia Using NOAA Information. *Spring Meeting of American Geophysical Union*. Washington, D.C.

Recenzował: dr inż. Katarzyna Osińska-Skotak