

PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA ZOBRAZOWAŃ LANDSAT TM DO OCENY STANU ZAGROŻENIA POŻAROWEGO LASÓW

A CASE STUDY OF USING LANDSAT TM IMAGERY TO DETERMINE THE RISK OF FOREST FIRE

Piotr Walczykowski, Agata Orych, Joanna Łysenko

Zakład Teledetekcji i fotogrametrii, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
Wojskowa Akademia Techniczna

SŁOWA KLUCZOWE: teledetekcja, klęska żywiołowa, pożar, zobrażenia satelitarne, Landsat 5

STRESZCZENIE: Pożar lasu jest jedną z wielu klęsk żywiołowych, która może spowodować olbrzymie straty i zniszczenia na powierzchni ziemi. W przypadku zagrożenia pożarowego istotne jest szybkie działanie. W takich sytuacjach skuteczne są metody teledetekcyjne. Wykorzystanie technik satelitarnych stanowi użyteczny instrument wspomagający ocenę zagrożenia pożarowego lasów.

W ramach pracy przeanalizowano stan zagrożenia pożarowego wybranego obszaru na podstawie zdjęć satelitarnych. Obszar badań objętych analizą obejmował teren niedaleko Kuźni Raciborskiej, znajdujący się w obrębie trzech nadleśnictw: Kędzierzyn, Rudy Raciborskie i Rudziniec. W pracy przedstawione zostały metody, przy pomocy których wykonano mapę zagrożenia pożarowego.

W celu wykonania mapy zagrożenia pożarowego wykorzystane zostały metody umożliwiające określenie temperatury powierzchni Ziemi oraz operacje NDVI na zobrażeniach satelitarnych zarejestrowanych przed pożarem. Wszystkie te analizy wykonano w celu wydzielenia i oceny określonych czynników mających wpływ na zagrożenie pożarowe.

Badanie przestrzennego rozkładu poziomu temperatury powierzchni, poprzez określenie radiacyjnej temperatury roślinności, okazało się pomocne przy wyznaczaniu obszarów o różnym stopniu zagrożenia pożarowego. Jednak określenie tylko temperatury roślin nie wystarcza do oceny stresu roślin spowodowanym suszą.

Z kolei badanie przestrzennego rozkładu poziomu wilgotności ściółki, poprzez określenie stopnia pokrycia roślinności za pomocą wskaźnika NDVI, przyniosło oczekiwany efekt wyróżnienia obszarów o zróżnicowanej podatności na pożar.

Opisane metody oceny zagrożenia pożarowego pomagają w szybki sposób pozyskać informację o stanie obszaru lasu oraz przeprowadzić analizę jego zmian na zobrażeniach. W wyniku obliczonych wskaźników NDVI oraz obliczenia temperatury radiacyjnej, uzyskano mapę zagrożenia pożarowego, która może okazać się przydatna w wielu opracowaniach mających szczególnie duże znaczenie dla ochrony przeciwpożarowej, jak również dla aktualizowania i stałego sprawdzania zagrożenia pożarowego w kompleksach leśnych. Określenie stopnia takiego zagrożenia z wykorzystaniem danych satelitarnych jest jednym z przedsięwzięć podejmowanych w celu zapobiegania powstawaniu pożarów.

1. WSTĘP – ZAGROŻENIE POŻAROWE LASÓW

Pożary są głównym i jednym z najniebezpieczniejszych zagrożeń dla lasów. Ogień szybko rozprzestrzenia się po suchej ściółce doszczętnie niszcząc trwające od wieków działania przyrody. Po pożarze las odradza się przez dziesiątki lat. W okresie zagrożenia pożarowego, na obszarach lasów można zaobserwować bardzo wysokie temperatury, niską wilgotność powietrza oraz brak opadów atmosferycznych. Okres największego zagrożenia pożarowego, trwa od 1 kwietnia do 31 października (*Pieczynski*). W okresie tym często wystarczy iskra, aby spłonęło kilka, kilkanaście czy kilkadziesiąt hektarów lasu.

Skutki pożarów lasów można rozdzielić na ekonomiczne i ekologiczne. Skutki ekonomiczne obejmują straty bezpośrednie, które uwzględniają:

- spalone i uszkodzone drewno na pniu,
- spalone i uszkodzone drewno ścięte,
- spaloną lub uszkodzoną produkcję z użytkowania ubocznego lasu, które rozumiane jest poprzez wszystkie pozyskiwane użytki leśne nie będące drewnem,
- koszty akcji gaśniczej,
- oczyszczanie pożarzyska,
- wydatki na odnowienie powierzchni spalonej.

Dla świata przyrody pożary to wielka katastrofa ekologiczna. Pożar lasu wpływa negatywnie zarówno na atmosferę, drzewostan, pokrywą glebową oraz na świat zwierząt. W płomieniach giną chronione i cenne gatunki roślin – już przy 50°C następuje śmierć tkanek roślinnych, a podczas pożaru temperatura na powierzchni gleby dochodzi do 700°C. Uszkodzeniu ulegają rośliny dwuliścienne, ich korzenie, łodygi i liście. Zniszczona zostaje flora bakteryjna przyspieszająca rozkład resztek roślinnych i pozwalająca roślinom asymilować azot atmosferyczny.

Charakterystyka lasu sprawia, że poruszanie się po nim jest utrudnione, a odnalezienie miejsca pożaru i jego ugaszenie, bywa często bardzo czasochłonne. Dlatego ważne jest prowadzenie stałego monitoringu pożarowego i wczesne wykrywanie ognisk pożarów. Monitoring ten prowadzony jest przeważnie z wykorzystaniem specjalnie zaprojektowanych systemów wież obserwacyjnych lub wykorzystując nowoczesne techniki teledetekcyjne.

Zapobieganie pożarom jest opłacalnym i skutecznym działaniem na rzecz ograniczenia skutków pożarów lasów. Działania prewencyjne nie tylko zmniejszają koszty ochrony przeciwpożarowej i przyczyniają się do ograniczenia szkód, ale również promują zrozumienie roli i wpływu pożaru na środowisko naturalne. Zapobieganie pożarom lasów powinno odnosić się do przyczyn pożarów, w tym podpaień. (*Szczygieł*).

2. OCENA ZAGROŻENIA POŻAROWEGO

Pierwszym etapem operacji związanych z monitoringiem pożarowym lasów jest ocena zagrożenia pożarowego. Dokonuje się tego poprzez wielogodzinne patrolowanie lub obserwację z wież obserwacyjnych obszarów zagrożonych pożarem, co pozwala na uzyskanie informacji umożliwiających wczesne wykrycie oraz lokalizację pożaru. Drugim etapem jest monitorowanie sytuacji po pożarze, w tym ocena strat i zniszczeń wywołanych

przez pożar. W okresie zagrożenia pożarowego, tzn. od kwietnia do października, kiedy ma miejsce 98% pożarów leśnych, na terenie Lasów Państwowych działa system monitorowania zagrożenia pożarowego lasu. W skład tego systemu wchodzi punkty meteorologiczne, w których dokonuje się pomiarów meteorologicznych oraz wilgotności ściółki leśnej, umożliwiające określenie stopnia zagrożenia pożarowego lasu, a także obserwacje naziemne mające na celu wykrywanie pożarów leśnych (dostrzegalnie przeciwpożarowe, wieże telewizyjne, patrole naziemne korzystające z samochodów wyposażonych w radiotelefony).

Aktualny stopień zagrożenia pożarowego ustala się na podstawie wielkości parametrów:

- wilgotności ściółki w borze świeżym w drzewostanie sosnowym III klasy wieku,
- wilgotności względnej powietrza, mierzonej na wysokości 0,5 m od powierzchni zadarnionej przy ścianie drzewostanu,
- współczynnika opadowego, korygującego stopień zagrożenia w związku z punktowym pomiarem wilgotności ściółki a wielopunktowym pomiarem wilgotności powietrza i opadu.

3. WYKORZYSTANIE TELEDETEKCJI DO OCENY ZAGROŻENIA POŻAROWEGO

Wśród różnych zastosowań obrazów satelitarnych z powodzeniem wykorzystuje się je do analiz związanych z przestrzenną i czasową zmiennością obszarów leśnych. Analizy tego typu dokonuje się dwukierunkowo: w celu określenia stanu zagrożenia pożarowego lasów, jak również w celu określenia skutków katastrofalnych pożarów lasów.

Teledetekcja pożarów lasów została podzielona na dwa etapy: (1) badanie obszarów zagrożonych, poprzez uzyskanie informacji umożliwiających określenie stopnia zagrożenia pożarowego oraz (2) przedstawienie skutków pożarów w celu oszacowania zniszczeń i strat, z wykorzystaniem metod wskaźnikowych. Opisane w artykule prace badawcze miały na celu przedstawienie możliwości wykorzystania danych teledetekcyjnych do oceny ryzyka wystąpienia pożarów i monitoringu na obszarach leśnych, poprzez badanie przestrzennego rozkładu poziomu wilgotności ściółki leśnej, stopnia pokrycia roślinnością oraz przestrzennego rozkładu temperatury radiacyjnej (Clark *et al*, 2007).

3.1. Materiały teledetekcyjne

Lasy w Polsce są zaliczane do najbardziej palnych w Europie Środkowej, co wiąże się zarówno z ich składem gatunkowym, wiekiem, siedliskiem, klimatem, jak i powszechną dostępnością. W ostatnich latach w Polsce systematycznie spada średnia powierzchnia pożaru, jednak zdarzają się pożary obejmujące ogromne obszary leśne. Pożar taki wystąpił 26 sierpnia 1992 na obszarze lasów w Kuźni Raciborskiej po kilkumiesięcznym okresie suszy. Główną rolę w rozwoju pożaru miały warunki atmosferyczne: temperatura powietrza sięgająca od 31°C do 38°C, wilgotność względna powietrza 15-17%, małe zachmurzenie (do trzech w dziesięciostopniowej skali) i wiatr. Według rozporządzenia w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów, zagrożenie pożarowe na

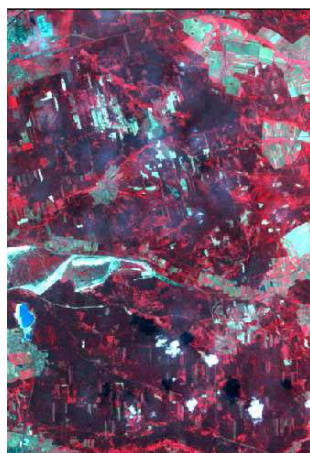
terenie Kuźni Raciborskiej przed wystąpieniem pożaru było zaliczane do I kategorii zagrożenia pożarowego.

W wykonywanych badaniach wykorzystane zostały zobrażenia wielospektralne z satelity Landsat 5 TM. Thematic Mapper (TM) satelity Landsat charakteryzuje się wielkością piksela 30×30 m, co daje obszar 900 m^2 rejestrowany przez pojedynczy element obrazu. Do badań wykorzystano wszystkie zarejestrowane przez sensor zobrażenia, zarówno z zakresu widzialnego, bliskiej podczerwieni, jak również podczerwieni termalnej pozyskane 27 lipca 1992r. Obrazy wykorzystane w pracy zostały zarejestrowane miesiąc przed pożarem.

3.2. Ocena zagrożenia pożarowego metodami teledetekcyjnymi

Pierwszym etapem pracy było ustalenie podatności analizowanego obszaru lasu na pożar poprzez zakwalifikowanie tych obszarów do odpowiedniej kategorii zagrożenia pożarowego lasu, które w trzech analizowanych nadleśnictwach kształtowane było przez następujące czynniki:

- duża ilość materiałów łatwopalnych: opadłe listowie, chrust, sucha roślinność dna lasu,
- duży udział drzewostanów w wieku 40 lat,
- przeważający udział drzewostanów iglastych – sosnowych, których igliwie zawiera olejki eteryczne odznaczające się temperaturą zapalenia około 50°C (gdy pozostałe materiały leśne mają temperaturę zapalenia $260, 300^\circ\text{C}$). Wydzielające się olejki tworzyły swojego rodzaju „mieszanki wybuchowe” i powodowały tak zwane „fuknięcia” mogące pulsacyjnie i raptownie przyspieszać prędkość frontu pożaru.
- istniejąca sieć szlaków komunikacyjnych – linia kolejowa.



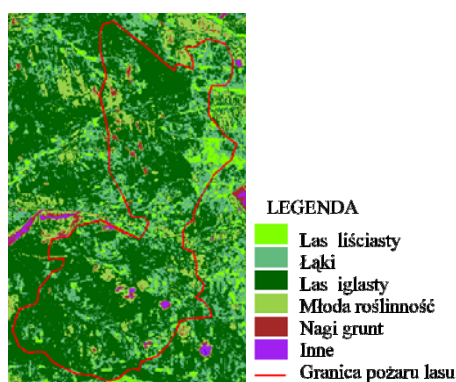
Rys. 1. Fragment zobrażenia satelitarnego przedstawiającego fragment analizowanego obszaru, kompozycja CIR (*Colour Infrared*)

Z uwagi na to, że jednym z wielu czynników wpływających na możliwość powstania pożaru jest wilgotność ściółki leśnej, praktyczna ocena stanu zagrożenia pożarowego opierała się na analizie wskaźników wegetacyjnych przedstawiających zawartość wody w roślinności. Biorąc pod uwagę również pozostałe czynniki, jakimi są: wilgotność względna powietrza i współczynnik opadowy, przystąpiono do próby określenia stopnia zagrożenia na analizowanych obszarach nadleśnictw na pozyskanym obrazowaniu satelitarnym, przedstawionym na rysunku 1.

Najistotniejszym elementem było określenie poziomu wilgoci zawartej w drzewostanie. Kondycję roślinności pod względem uwilgotnienia określono wykorzystując wskaźnik NDVI. Podjęto próbę wyróżnienia i podzielenia analizowanego obszaru na stopnie zagrożenia pożarowego lasu, na podstawie analizy wskaźnika NDVI oraz mapy temperatury powierzchni tego obszaru.

3.3.1. Indeks wegetacyjny NDVI – określenie poziomu wilgoci, jako głównego czynnika zagrożenia pożarowego

Głównym etapem pracy podczas wyróżniania obszarów zagrożonych pożarem było obliczenie NDVI dla pozyskanego obrazowania. Wskaźnik ten został wyliczony tylko dla obszarów, które znajdują się na terenie nadleśnictw analizowanego pożarzyska. Zmianę wartości NDVI powodują różne zjawiska, a są to między innymi: rozpraszanie promieniowania odbitego od badanego obiektu przez składniki atmosfery oraz absorpcja promieniowania przez aerozole. Aby zminimalizować wpływ tych czynników, wszystkie analizy wykonane zostały na obrazowaniach poddanych wcześniejszej korekcji atmosferycznej oraz wstępnemu przetwarzaniu, tak więc nawet niewielkie zachmurzenie występujące na obrazowaniu w bardzo niewielkim stopniu wpłynęły na uzyskane wyniki.



Rys. 2. Wstępna analiza pokrycia terenu na podstawie wskaźnika NDVI analizowanego obszaru

Obszary porośnięte lasem liściastym i obszary łąk charakteryzowały się wysokimi wartościami DN dla otrzymanego obrazu NDVI ze względu na ich stosunkowo wysoki współczynnik odbicia w bliskiej podczerwieni i niski współczynnik w zakresie widzialnym. Przeciwnie jest w przypadku obszarów wód i gołej gleby. Mają one wyższy współczynnik odbicia w świetle widzialnym niż w podczerwonym.

Na mapie przedstawiającej wartości NDVI opracowanej na podstawie danych z satelity Landsat wyróżnione zostały klasy, które zgrubnie odzwierciedlają aktualne pokrycie badanego obszaru.

3.3.2. Temperatura radiacyjna - opracowanie mapy temperatury powierzchni ziemi

Do wyznaczenia temperatury radiacyjnej powierzchni analizowanego obszaru posłużono się kanałem termalnym (kanał 6) o rozdzielczości przestrzennej wynoszącej 120m, obejmującym zakres promieniowania podczerwieni termalnej 10.40 – 12.50 μm . W chwili rejestracji, nad analizowanym obszarem brak było zachmurzenia, które mogłoby uniemożliwić interpretację zdjęcia termalnego.

Pierwszym etapem podczas opracowywania mapy temperatury radiacyjnej, była konwersja zarejestrowanych przez detektor satelity wartości cyfrowych DN na luminancję spektralną L_λ kanału termalnego. Konwersja została przeprowadzona na podstawie poniższego wzoru (Wojkowski, 2009).

$$L_\lambda = L_{\min} + (L_{\max} - L_{\min}) * \frac{DN}{255} \quad (1)$$

gdzie:

L_λ – luminancja spektralna zarejestrowana przez sensor satelity ($W * m^{-2} * Sr^{-1} * \mu m^{-1}$)

L_{\min} , L_{\max} – minimalna i maksymalna luminancja spektralna wyznaczona dla detektorów ($W * m^{-2} * Sr^{-1} * \mu m^{-1}$)

Minimalna luminancja spektralna (L_{\min}) wyznaczona dla detektorów w kanale termalnym wynosi 1.238 ($W * m^{-2} * Sr^{-1} * \mu m^{-1}$), natomiast maksymalna luminancja spektralna (L_{\max}) wyznaczona w kanale termalnym wynosi 15.600 ($W * m^{-2} * Sr^{-1} * \mu m^{-1}$).

Zarejestrowana luminancja spektralna L_λ została następnie przeliczona na wartości temperatury radiacyjnej T (NASA).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

gdzie:

K_1 i K_2 – stałe kalibracyjne

$$K_1 = \frac{2\pi c^2}{\lambda^5} \left(\frac{W}{m^2 * sr * \mu m} \right)$$

$$K_2 = \frac{h * c}{k * \lambda} (K)$$

k – stała Boltzman'a $1.380 * 10^{-23}$ (K^{-1})

h – stała Planck'a $6.626 * 10^{-34}$ ($J*s$)

c – prędkość światła $2.998 * 10^8$ (ms^{-1})

λ – długość fali (μm)

Obliczenia zostały przeprowadzone na podstawie równania, dla którego stałe kalibracyjne (K_1 i K_2) wyniosły kolejno:

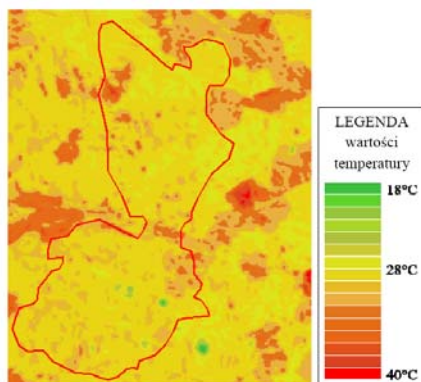
$$K_1 = 607.76 \left(\frac{W}{m^2 * sr * \mu m} \right) \quad (3)$$

$$K_2 = 1260.56(K)$$

Obliczona temperatura z jednostek Kelwina (K), została przeliczona na jednostki $^{\circ}C$ na podstawie wzoru:

$$^{\circ}C = K - 273.15 \quad (4)$$

Przy wykonywaniu mapy temperatury radiacyjnej wysokich temperatur wykorzystane zostały kolory w odcieniach czerwonego, pomarańczowego oraz żółtego, natomiast do przedstawienia obszarów o niskiej temperaturze użyto kolory w odcieniach zielonego. Wynikowy efekt obliczeń, w postaci mapy przestrzennego rozkładu temperatury radiacyjnej powierzchni badanego obszaru przedstawiono na rysunku 3. Na mapie, każdemu pikselowi reprezentującemu powierzchnię $120 m \times 120 m$ odpowiada konkretna wartość temperatury radiacyjnej wyrażona w $^{\circ}C$.



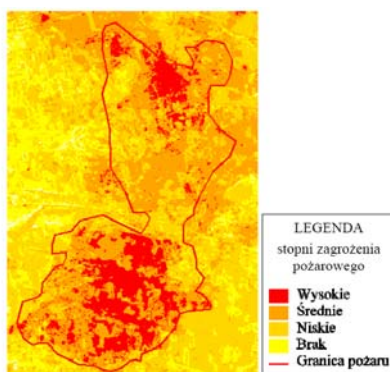
Rys. 3. Mapa temperatury radiacyjnej przedstawiona w stopniach Celsjusza

W kolejnym etapie przeanalizowano temperaturę radiacyjną na badanym obszarze. Na uzyskanej mapie można zauważyć wyraźne obszary o stosunkowo niskich temperaturach ($<24^{\circ}C$). Są to zakłócenia obrazu temperatury radiacyjnej powierzchni ziemi spowodowane pojawieniem się z tym miejscu pojedynczych chmur. Widoczne jest również duże zróżnicowanie przestrzenne temperatury radiacyjnej analizowanego obszaru. Różnica między najcieplejszą a najchłodniejszą powierzchnią analizowanego obszaru wynosi $12^{\circ}C$.

Takie kontrasty termiczne mogą wynikać z różnorodności typów użytkowania terenu i rodzaju pokrycia terenu. Wartości temperatury radiacyjnej dla drzewostanu sosnowego były wyższe na terenie, na którym wystąpił pożar niż na obszarze położonym na wschód od analizowanego pożarzyska. W przypadku obszarów łąk wartości temperatury radiacyjnej były wyższe i wahały się od 26°C do 34°C.

Porównując mapę temperatury radiacyjnej z mapą wskaźnika NDVI, można zauważyć pewne zależności. Obszary zabudowane (nie pokryte roślinnością) charakteryzują się niskimi wartościami wskaźnika NDVI i względnie wysokimi temperaturami radiacyjnymi. W przypadku użytków zielonych i zbiorowisk leśnych, wysokim wartościom NDVI odpowiadały relatywnie niższe temperatury. Nałożenie uzyskanych map, czyli mapy operacji NDVI i rozkładu współczynnika temperatury radiacyjnej, pozwoliło na utworzenie wypadkowej mapy, która uwzględnia podatność tego terenu na pożar. Na tej podstawie zdecydowano się sklasyfikować wszystkie kompleksy leśne analizowanego obszaru na trzy stopnie, które odpowiadają kategoriom zagrożenia pożarowego lasu:

- Stopień wysoki – najwyższa kategoria zagrożenia pożarowego lasu,
- Stopień średni – średnia kategoria zagrożenia pożarowego lasu,
- Stopień niski – niska kategoria zagrożenia pożarowego lasu.



Rys. 4. Wynikowa mapa zagrożenia pożarowego

Klasyfikację przeprowadzono głównie w oparciu o uzyskane wskaźniki NDVI oraz wartości temperatury radiacyjnej. W opracowaniu zastosowano metodę ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) przypisania pikseli do klastrów. Plikami danych wejściowymi w tej procedurze były warstwy rastrowe wskaźników NDVI i temperatury radiacyjnej. Założono wyróżnienie trzech klastrów i każdy piksel został przypisany do klastra, którego środek był położony w najmniejszej odległości spektralnej do badanego piksela. Końcowym efektem było przypisanie klastrów stopnia podatności na pożar. Dane meteorologiczne zbierane przez stacje naziemne, jak i udział drzewostanów sosnowych na danym terenie zostały wykorzystane do wizualnej weryfikacji wstępnych wyników klasyfikacji. Informacje te pozwoliły na uzyskanie wartości progowych, które posłużyły do określenia trzech stopni zagrożenia pożarowego lasu, przedstawionych na mapie zagrożenia pożarowego (rys. 4).

4. WNIOSKI

W celu zwiększenia walorów interpretacyjnych wynikowej mapy Stopni Zagrożenia Pożarowego, możliwe jest wykorzystanie dodatkowych elementów GIS, np. wektor granic Nadleśnictw, na terenie których znajduje się analizowany obszar. Takie opracowanie może być przykładem zastosowania zobrażeń satelitarnych w ochronie przeciwpożarowej lasu. Wskaźnik NDVI oraz temperatura radiacyjna mogą być wystarczające aby przeprowadzić klasyfikację stanu zagrożenia. Tak przedstawioną metodę wyróżniania kategorii zagrożenia pożarowego obszaru lasu można wspomóc danymi dotyczącymi: zagrożenia pożarowego uzyskanych ze stacji naziemnych, informacji o przeważającym udziale drzewostanów iglastych (bardziej palnych) oraz istniejącej infrastruktury.

Przeprowadzone działania mogą składać się na metodę ciągłego aktualizowania i monitoringu nadanych kategorii zagrożenia pożarowego w kompleksach leśnych. Dodatkowo, z uwagi na to, że las jest ciągle zmieniającym się elementem środowiska geograficznego, wykonywanie tego typu procedur co 10 lat pozwoliłoby na szacowanie obciążeń ogniowych badanych terenów.

5. LITERATURA

Szczygieł R. Skutki pożarów lasu i działania prewencyjne, materiały dostępne na stronie internetowej, <http://www.ogienwlesie.lasy.gov.pl/>.

Clark, J, Bobbe T., Using remote sensing to map and monitor fire damage in forest ecosystems. In „Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern - Remote Sensing and GIS Approaches, 2007.

Wojkowski Jakub. 2009. Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie promieniowania pochłoniętego na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego. Prądnik.Prace Muz.Szafera (19(2009)): 169 – 180

Piotr Pieczyński , Co każdy powinien wiedzieć o zagrożeniu pożarowym lasu, <http://www.wigry.win.pl>

NASA, Landsat 7 Science Data Sers Handbook, <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>

A CASE STUDY OF USING LANDSAT TM IMAGERY TO DETERMINE THE RISK OF FOREST FIRE

KEY WORDS: remote sensing, natural disaster, fire, satellite imagery, Landsat 5

Summary

Forest fires are one of many natural disasters which can cause huge loses and damage to the environment. When dealing with such fires, a quick response is crucial. Remote sensing methods can be very helpful in such situations. Satellite images can be a useful tool in classifying the risk of forest fires occurring.

In our research we set out to categorize the risk of forest fires of a chosen area based on satellite imagery. The area of interest was located close Kuźnia Raciboska, in the vicinity of the Kędzierzyn, Rudy Raciborskie and Rudziec forest inspectorates. During the research a number of methods, used to develop a risk map of forest fires, were presented.

Two methods were used in order to generate risk maps of forest fires: determining the surface temperature and calculating the NDVI from satellite images from before the fires. These operations were conducted in order to incorporate different factors which have an impact on the potential risk of fire.

Determining the spatial distribution of the surface temperature, by determining the radiation temperature of the vegetation was very useful in identifying different levels of fire hazard risk. However, using only this one parameter is not sufficient as it does not incorporate plan stress caused by very low humidity (drought).

Determining the spatial distribution of the forest bed, by calculating the intensity of vegetation using the NDVI algorithm, allowed for a more precise conclusion of areas which are more or less at risk of forest fires.

The described methods of determining the risk of forest fires can be helpful in rapidly acquiring information about the forest's condition as well as enabling the possibility of analysing any changes which had occurred within the forest due to such natural disasters. As a result of calculating the NDVI and radiation temperature, it is possible to obtain a fire risk map which can be useful for many purposes such as fire risk management systems. Determining the level of fire risk using satellite data is one of the most efficient methods of preventing such natural disasters from occurring.

Dane autorów:

Dr inż. Piotr Walczykowski
e-mail: pwalczykowski@wat.edu.pl
telefon: 22 683 90 21

Mgr inż. Agata Orych
e-mail: aorych@wat.edu.pl
telefon: 22 683 90 26