

Inwentaryzacja pożarów lasów w Europie na podstawie obrazów satelitarnych

The inventory of forest fires in Europe from satellite images.

Monika MIERCZYK, Małgorzata MYCKE-DOMINKO

Słowa kluczowe: pożary lasów, obszary spalone, dane shape, European Forest Fire Information (EFFIS), obrazy satelitarne.
Key words: forest fires, burnt areas, shapefiles, European Forest Fire Information (EFFIS), satellite imagery.

Otrzymano: 2 stycznia 2013; **Zaakceptowano:** 17 marca 2013

Received: 2 January 2013.; **Accepted:** 17 March 2013

Satellite remote sensing has supplied many techniques for mapping the extent of the burned areas, as well as analyzing post-fire land cover changes. As a quick and low-cost method it is used for detecting and monitoring forest fires on a large scale.

This work presents a list of forest fires of the area bigger than 1000 hectares in Europe in 2011 and the main causes of this natural disaster. Following the document concerned with burnt areas issued European Forest Fire Information System (EFFIS) an analysis of the basic climatic and height characteristics impact was prepared.

To prepare a list of definite areas some considerations of method were performed. Total burnt forest areas including

broad leaves forests, coniferous, mixed forests, sclerophyllous vegetation and transitional woodland scrubs (based on the Corine legend) bigger than 1000 hectares were separated. The territories situated out of Europe were removed. As a result of the analysis the list of 17 burnt forest areas was created.

This work also shows a brief characteristics of the forest fires problem in Europe as well as an influence of the global climate change. Furthermore, there are presented planning, management and prevention tasks in the Mediterranean region in Europe, to understand the exact distribution of large scale forest fires.

Wstęp

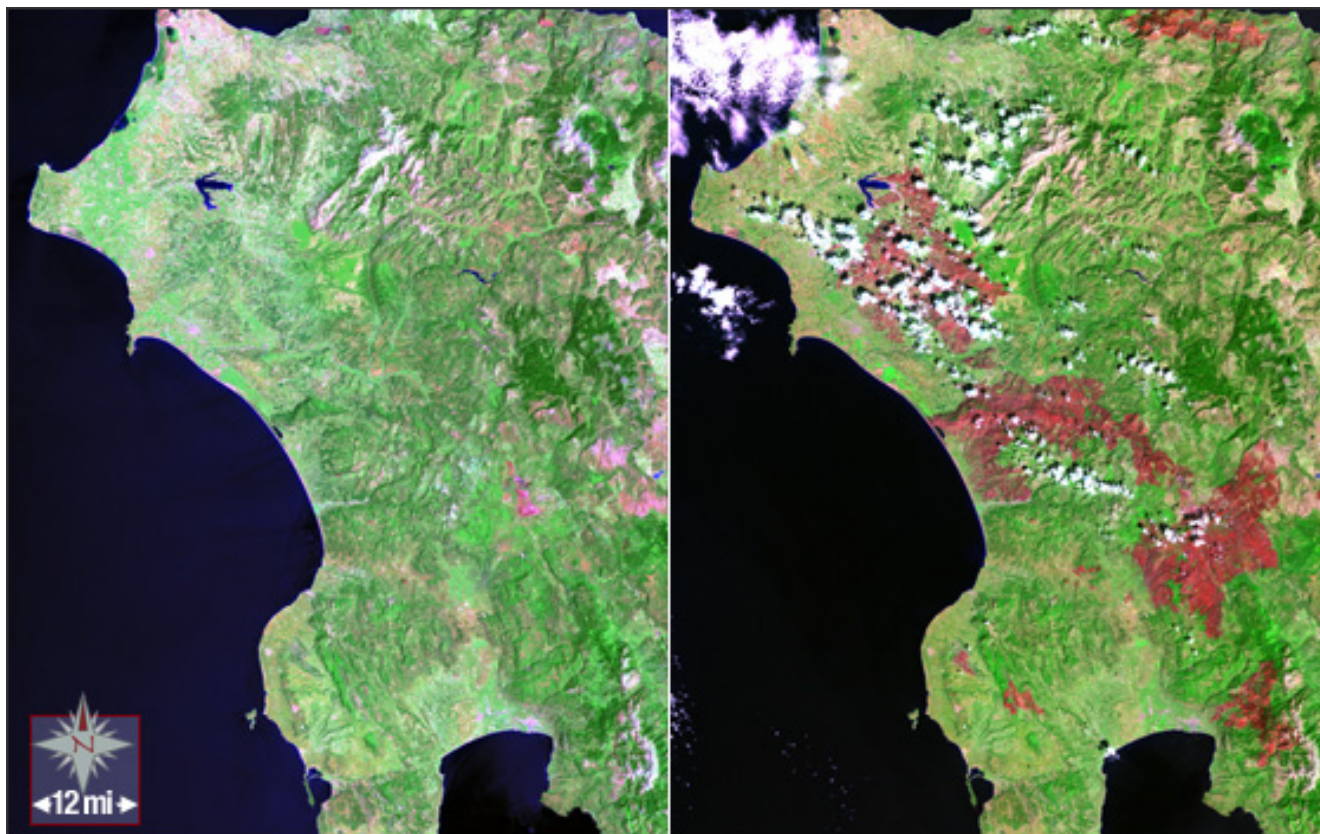
Pożary lasów są jedną z największych klęsk naturalnych występujących na całej Ziemi. Podjęcie tematyki dotyczącej inwentaryzacji pożarów lasów w Europie na podstawie obrazów satelitarnych jest zagadnieniem istotnym z punktu widzenia ochrony przeciwpożarowej obszarów leśnych. Komisja Europejska, organ Unii Europejskiej, przyjęła podział obszarów zagrożonych pożarem na tereny o wysokim i średnim stopniu ryzyka pożarowego (Lemasson, 1998). Według tych analiz obszary Europy Południowej, a szczególnie region basenu Morza Śródziemnego, są narażone na pożary w największym stopniu. Gorące, suche i wietrzne lata, łatwopalna roślinność i działalność człowieka, a także morfologia terenu sprzyjają rozprzestrzenianiu się pożarów w tym regionie.

W ciągu całego sezonu pożarowego w 2011 roku (od 25 marca do 25 października) odnotowano 17 pożarów lasów o powierzchni większej niż 1000 hektarów zlokalizowanych w obszarze Europy Południowej. Szczegółowa

charakterystyka przeprowadzona w poniższym opracowaniu obejmuje próbę analizy przyczyn występowania pożarów lasów na terenie Albanii, Bośni, Chorwacji, Czarnogóry, Grecji, Hiszpanii i Portugalii, gdzie wielkoobszarowe pożary lasów miały miejsce.

Zobrazowania satelitarne umożliwiają sporządzanie map skutków katastrof oraz klasyfikację kondycji roślinności. Obecnie teledetekcja satelitarna pozwala na stały monitoring terenów leśnych, który umożliwia opracowanie map zagrożenia pożarowego, szybkie i sprawne wykrycie ogniska pożaru, a także ocenę zniszczeń i przekształceń powierzchni terenu. Na rycinie 1 przedstawiono zdjęcia satelitarne wykonane przez satelitę Landsat 7 podczas letnich pożarów w Grecji w 2007 roku. Szczególnie przydatna do identyfikowania obszarów pożarzysk okazała się kompozycja kanałów 7 (2,09 – 2,35 μm), 4 (0,75 – 0,90 μm), 2 (0,525 – 0,605 μm).

Obserwacja Ziemi stosowana do wykrywania i badania pożarów i pożarzysk realizowana jest także przez inne satelity. Oprócz satelitów Landsat, danych obrazowych dostarczają również między innymi:



Ryc. 1. Obrazy satelitarne wykonane przez satelitę Landsat 7 (ETM+) przedstawiające obszar południowo-zachodniej Grecji przed (18 lipca 2007 roku) i po letnich pożarach (4 września 2007 roku). Kompozycja 7,4,2 (źródło: www.landsat.gsfc.nasa.gov).
 Fig. 1. Satellite images taken by Landsat 7 (ETM+) presenting south-west area of Greece before (07-18-2007) and after (09-04-2007) summer fires. Composition 7,4,2.

- * Nigeria-Sat-1 wysłany w ramach The Disaster Monitoring Constellation (DMC), konstelacji międzynarodowych mikrosatelitów (www.dmcii.com),
- * SAC-C, międzynarodowa misja kosmiczna prowadzona w ramach współpracy NASA z narodowymi agencjami kosmicznymi Argentyny, Brazylii, Francji, Danii i Włoch (www.esa.int),
- * SPOT, system satelitów wysłany przez Francuskie Centrum Badań Kosmicznych (CNES),
- * FORMOSAT, satelita obserwacyjny wysłany przez Tajwan.

Obecnie nowoczesne technologie satelitarne zobrażenia wielospektralnego połączone z analizą rzeźby terenu, charakterystyką klimatu (opady, temperatura, wilgotność powietrza, występowanie burz, prędkość i kierunek wiatru), typu roślinności oraz zurbanizowanie terenu wraz z opracowaniem odpowiednich algorytmów, prowadzą do tworzenia map zagrożenia pożarowego stosowanych w monitorowaniu zagrożeń i ochronie przeciwpożarowej. Opracowane w wyniku tych analiz procedury podczas pożarów są niezwykle ważne dla służb zarządzania kryzysowego zarówno na poziomie lokalnym, jak i ponadregionalnym.

W zasadniczej części opracowania dotyczącego rozmieszczenia powierzchni spalonych, wykorzystano obrazy satelitarne skanera wielospektralnego średniej rozdzielczości MODIS (Moderate Resolution Imaging

Spectroradiometer), umieszczonego na bliźniaczych satelitach Terra i Aqua. Spektrometr rejestruje promieniowanie elektromagnetyczne w 36 kanałach zawartych w zakresie widmowym od 405 nm do 14,39 μm o rozdzielczości przestrzennej 250 m (kanały 1-2), 500 m (kanały 3-7) i 1000 m (kanały 8-36) (www.modis.gsfc.nasa.gov). Pozyskiwane codzienne zdjęcia w rozdzielczości terenowej 250 metrów dla European Forest Fire Information System (EFFIS), pozwalają na precyzyjne wykrycie pożarów o minimalnej powierzchni 40 hektarów.

Na podstawie obrazów satelitarnych przeprowadzono rejestrację obszarów spalonych większych niż 1000 ha powstałych w Europie Południowej w roku 2011 i obejmujących zbiorowiska leśne. Na podstawie danych meteorologicznych oraz numerycznego modelu terenu, a także oceny działalności człowieka w ochronie przeciwpożarowej, była możliwa analiza lokalizacji i wielkości pożarów lasów.

Procedury wykonane zostały w środowisku GIS (Geographic Information System). Za pomocą specjalistycznego oprogramowania ArcGIS możliwa była analiza porównawcza, w ujednoczonym układzie odniesienia, wybranych warstw graficznych odpowiadających elementom przestrzeni geograficznej.

Charakterystyki pożarów lasów w Europie Południowej

Obserwowane zmiany klimatu na Ziemi charakteryzują się między innymi podwyższeniem temperatury i zmniejszeniem wilgotności powietrza, co powoduje wzrost ryzyka pożarowego. Region basenu Morza Śródziemnego jest wyjątkowo narażony na pożary lasów, czego główną przyczyną są gorące i suche lata oraz łagodne i wilgotne zimy (Pereira, Govaerts, 2001; Philip, 2007). Tylko na tym obszarze porównując dane od 2000 do 2010 roku wielkość spalonych powierzchni leśnych waha się między około 160 tysięcy hektarów w 2008 roku do prawie 830 tysięcy hektarów w 2003 roku (www.fffis.jrc.ec.europa.eu). Naturalne przyczyny rozniecenia ognia, takie jak samozapłon czy uderzenie pioruna stanowią niewielki procent spośród wszystkich inicjacji pożarów. Głównym czynnikiem wywołującym ogień w lasach jest działalność człowieka, zarówno zamierzona, jak i przypadkowa. Źródła podają, że nawet 96% pożarów spowodowanych może być przez czynnik ludzki (Pereira, Govaerts, 2001). Świadome podpalenia mają źródło w rolnictwie, gdzie wzbogacanie ziemi w składniki mineralne pochodzące z popiołów popożarowych i powiększanie powierzchni uprawnych kosztem zbiorowisk leśnych jest wciąż istotnym zjawiskiem.

Według statystyk około 80% wszystkich pożarów wybucha pomiędzy 1 lipca a 30 września (Pereira, Govaerts, 2001), czyli w okresie wysokich temperatur i zmniejszonej ilości opadów deszczu. Gatunki roślin porastające Europę Południową, takie jak: sosny, mirty, cyprysy, wawrzyny, drzewa oliwne zawierają znaczne zawartości łatwopalnych olejków eterycznych (Kołodowski i inni, 1955), powodujących przyspieszone rozprzestrzenianie się pożarów.

Przekształcenia terenu po klęskach pożaru mają niezaprzeczalny wpływ na bioróżnorodność gatunkową lasu (Beckel, 1995). W szczególności tereny, na których występują częste susze, silne wiatry i ubogie zbiorowiska roślinne. Z tego względu wyjątkowo ważny jest rozwój i ponadnarodowy monitoring pożarów oraz przekształceń, które zachodzą na terenach już spalonych.

Metodyka

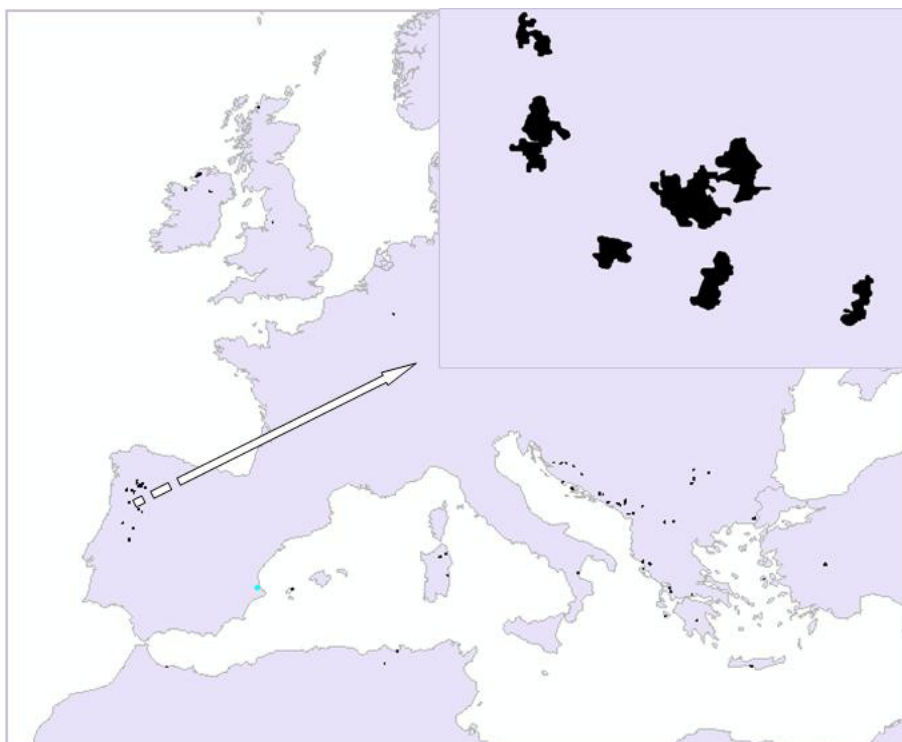
W celu przedstawienia i przeanalizowania problemu pożarów lasów zastosowane zostało ujęcie chronologiczno-przedmiotowe, to znaczy opisanie poszczególnych

pożarów ze względu na cechy pożaru z uwzględnieniem czasu jego powstania. Wyróżnione zostały cztery podstawowe kierunki analizy: wielkość obszaru spalonego, czas powstania pożaru, warunki klimatyczne oraz morfologia terenu.

Na wstępie pozyskano dane obszarów spalonych z 2011 roku dla obszaru Europy. Główne dane pochodzą z European Forest Fire Information System (EFFIS), organizacji powołanej przez jednostki Komisji Europejskiej w celu wsparcia lokalnych służb prewencyjnych w ochronie przeciwpożarowej, a także spełniającej rolę informacyjną. Na rycinie 2 przedstawiono dane wektorowe dotyczące powierzchni spalonych uzyskane z EFFIS nałożone na obrys lądów w programie ArcGIS. Początkowo warstwa zawierała 71 obszarów pożarowych na obszarze Europy i krajów sąsiadujących, takich jak: Algieria, Maroko, Turcja, czy francuski departament zamorski na wyspie Reunion. Tabela atrybutów zawierała zarówno dane dla terenów antropogenicznych, jak i naturalnych. Obrazy poligonów zostały wyznaczone dzięki codziennie pozyskiwanym zdjęciom wykonanym przez spektrometr MODIS umieszczony na satelitach Terra i Aqua w rozdzielczości przestrzennej 250 metrów.

Pierwszym etapem było wyselekcjonowanie obszarów spalonych położonych w Europie, a następnie stref leśnych ze wszystkich kategorii pokrycia terenu zaproponowanych przez EFFIS. Kategorie wydzieleń są zgodne z legendą CORINE Land Cover i przedstawione są w tabeli 1.

Kolejnym etapem było zsumowanie wartości powierzchni odpowiadającym obszarom leśnym, to znaczy lasów liściastych, iglastych, mieszanych, wiecznie



Ryc. 2. Dane dotyczące spalonych powierzchni w 2011 roku nałożone na obrys lądów w programie ArcGIS.

Fig. 2. Data concerning burnt areas in 2011 put on lands contour in ArcGIS program.

Tabela 1. Kategorie spalonych powierzchni. Według: European Forest Fire Information.

Table 1. Categories of the burnt areas (source: self-working according to EFFIS data)

Kategorie użytków wg EFFIS (oparte na legendzie CORINE-udział procentowy) <i>Land use categories according to EFFIS (based on the Corine legend-percentage)</i>
Tereny antropogeniczne <i>Artificial surfaces</i>
Tereny rolne <i>Agriculture land</i>
Lasy liściaste <i>Broad leaved forest</i>
Lasy iglaste <i>Coniferous forest</i>
Lasy mieszane <i>Mixed forest</i>
Roślinność sucholubna (śródlądowa) <i>Sclerophyllous vegetation</i>
Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian <i>Transitional woodland scrubs</i>
Inne tereny naturalne <i>Other natural lands</i>
Inne typy pokrycia terenu <i>Other land covers</i>

zielonych lasów strefy podzwrotnikowej oraz roślinności twardolistnej (kolumna forests). Na tym stadium konieczne było zdefiniowanie poszczególnych wydzielen z legendy CORINE Land Cover, gdyż wieczniezielone lasy strefy podzwrotnikowej (*Sclerophyllous vegetation*) oraz lasy i krzewy twardolistne (*Transitional woodland scrubs*) odnoszą się zarówno do lasów, jak i krzewów oraz zarośli. Po przeanalizowaniu charakterystyk, obie strefy zaliczono do zbiorowisk leśnych.

Następnie wybrano tereny o powierzchni większej niż 1000 hektarów. Tak uzyskane wyniki 17 poligonów pożarysk zilustrowano na rycinie 3, a uporządkowane dane według krajów występowania zestawiono w tabeli 2.

W celu zestawienia składowych klimatu oraz ukształtowania terenu z występowaniem pożarów uzyskano

dane ze strony internetowej <http://freegisdata.rtwilson.com/> W zakładce Geografia Fizyczna, a następnie Pogoda i Klimat dostępny jest link do strony internetowej <http://www.worldclim.org/>. Dane opracowane są na podstawie dokumentacji od roku 1950 do 2000 roku ze stacji meteorologicznych rozlokowanych na całym świecie (www.worldclim.org). Z portalu Worldclim pobrano pliki GeoTIFF z informacją o średnich opadach miesięcznych oraz średnich temperaturach miesięcznych. Na rycinach 4 i 5 zestawiono przykładowe mapy klimatyczne ilustrujące te dane. Wartości odpowiadających zmiennych pomnożone są, przez 10, co przykładowo oznacza, że temperatura 154 odnosi się do temperatury 15,4°C, analogicznie opady o wartości 118 reprezentują 11,8 mm. Taki zapis pozwala na zmniejszenie wielkości plików pobieranych ze strony internetowej. Obrazy charakteryzują się rozdzielczością przestrzenną wynoszącą 30 sekund kątowych, czyli około 1 km² (Hijmans i inni, 2005). Wszystkie uzyskane pliki sprowadzono do ujednoczonego układu odniesienia WGS-84.

Ostatnim etapem pracy było porównanie obszarów spalonych o powierzchni większej niż 1000 hektarów z ukształtowaniem terenu, co umożliwiłoby scharakteryzowanie wpływu rzeźby terenu na przebieg i charakterystykę wielkoobszarowych pożarów. W tym celu pobrano obrazy z numerycznym modelem terenu dla obszarów z analizowanymi poligonami ze strony internetowej <http://srtm.csi.cgiar.org/>, która oferuje dane pozyskane z wysoką rozdzielczością 3 sekund kątowych, czyli około 90 m². Obrazy są wynikiem misji SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) przeprowadzonej przez amerykańską agencję kosmiczną NASA (srtm.csi.cgiar.org). Na rycinie 6 przedstawiono numeryczny model terenu pozyskany przez SRTM.

Analiza występowania pożarów na podstawie obrazów satelitarnych

Według pozyskanych danych dotyczących pożarów w Europie w sezonie pożarowym 2011 roku miejsca spalone o powierzchni ponad 1000 hektarów, obejmujące

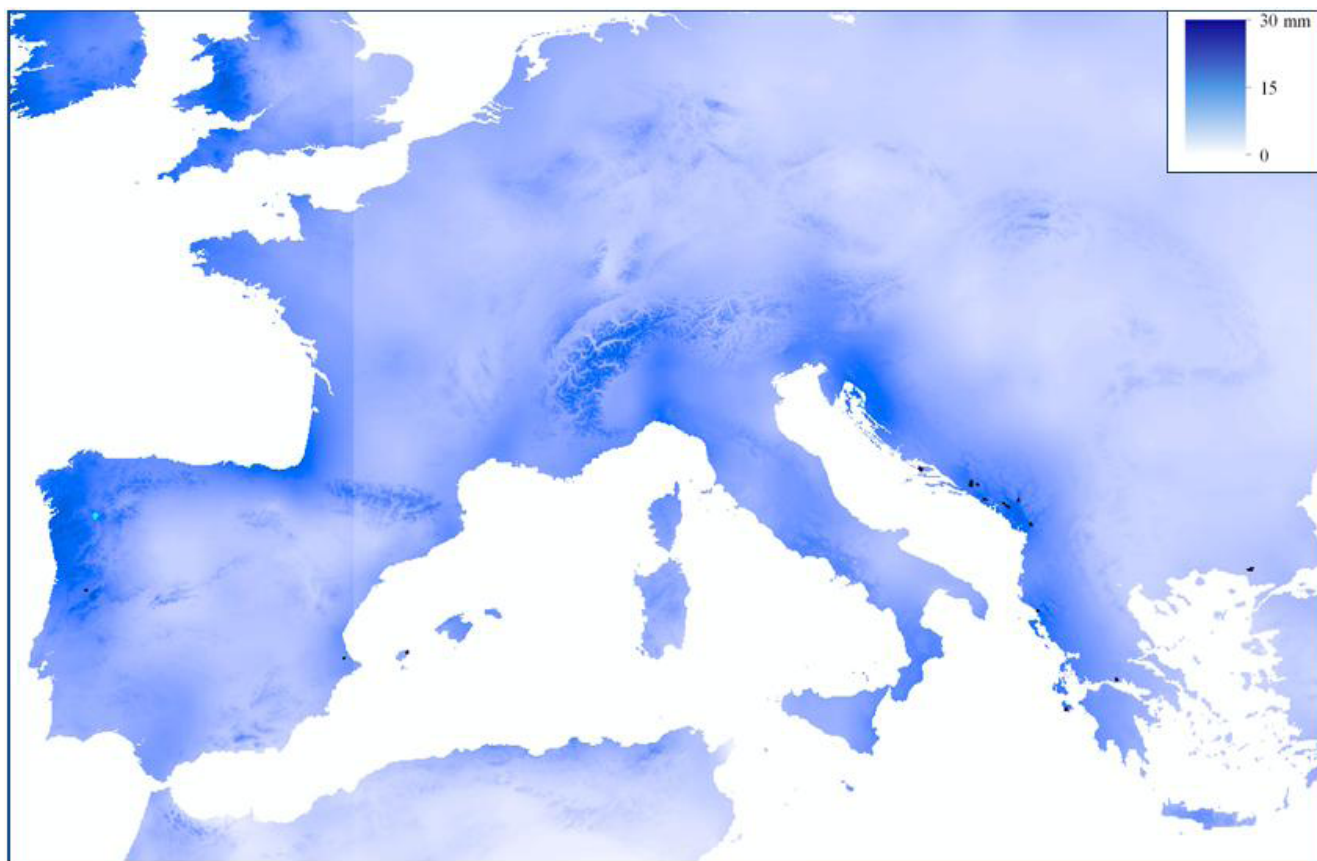


Ryc. 3. Rozmieszczenie pożarów lasów o powierzchni większej niż 1000 ha w 2011 roku.

Fig. 3. Distribution of the forest fires of area bigger than 1000 ha in 2011.

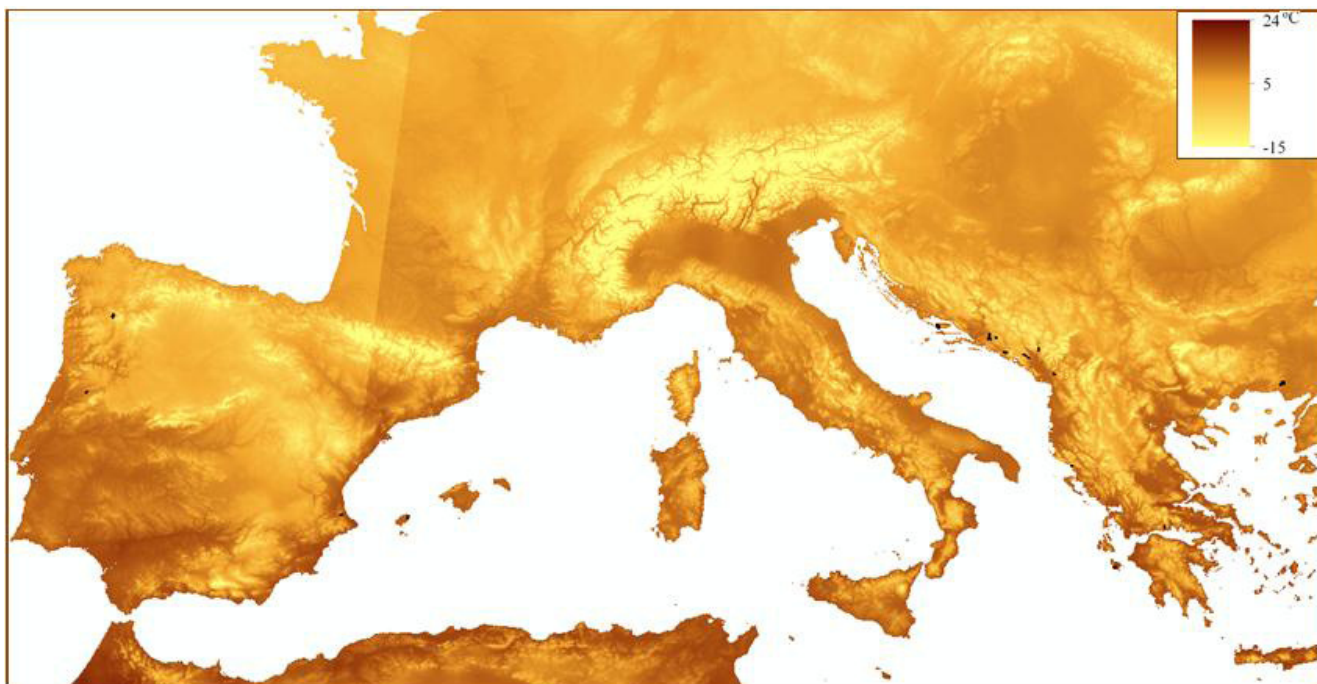
Tabela 2. Tabela atrybutów dotyczących pożarów lasów w Europie. Według: European Forest Fire Information.
 Table 2. Attributes table concerning the forest fires in Europe (according to EFFIS).

Data pożaru <i>Fire Date</i>	Powierzchnia spalonego lasu <i>Forest area (ha)</i>	Nazwa miejsca <i>Place_name</i>	Region <i>Province</i>	Kraj <i>Country</i>	Powierzchnia całego pożaru <i>Total area (ha)</i>	Las liściasty <i>Broad leaf (%)</i>	Las iglasty <i>Coniferous (%)</i>	Las mieszany <i>Mixed forest (%)</i>	Roślinność śródziemnomorska <i>Sclerophyl (%)</i>	Lasy i krzewy w stanie zmian <i>Transition (%)</i>	Wszystkie lasy <i>All forests (%)</i>
2011-08-26	1005	Dimos Lidorkioy	Fokida	Greece	1549	0,00	3,15	0,00	38,98	13,47	55,60
2011-07-13	1006	Not Available	Not Available	Croatia	1424	0,00	0,00	0,00	83,87	13,41	97,28
2011-09-11	1032	Not Available	Not Available	Montenegro	1034	24,10	0,00	0,00	0,00	55,81	79,91
2011-09-09	1045	Not Available	Not Available	Bosnia	5407	3,47	0,00	0,00	0,00	90,03	93,50
2011-07-28	1063	Senhorim	Dao-Lafoes	Portugal	1324	0,91	6,96	0,00	0,00	72,39	80,26
2011-08-10	1074	Not Available	Not Available	Albania	1476	9,19	0,00	0,00	63,58	0,00	72,77
2011-08-24	1080	Not Available	Not Available	Montenegro	6245	33,73	0,00	0,00	0,00	58,18	91,91
2011-09-13	1132	Not Available	Not Available	Montenegro	1673	35,69	0,00	0,00	0,00	30,49	66,18
2011-05-26	1237	Sant Joan de Labritja	Eivissa y Formentera	Spain	1175	0,00	69,70	0,00	0,00	17,14	86,84
2011-08-24	1258	Not Available	Not Available	Albania	4207	40,04	0,00	0,00	0,00	35,14	75,18
2011-08-25	1341	Dimos Artemision	Zakynthos	Greece	2369	0,00	2,74	3,42	47,07	3,37	56,60
2011-04-09	1439	Almiserat	Valencia / Valencia	Spain	1808	0,00	2,70	0,00	79,27	10,95	92,92
2011-10-14	2090	Maceda	Ourense	Spain	3044	19,33	8,81	0,00	0,00	55,08	83,22
2011-08-25	2492	Not Available	Not Available	Spain	1118	2,60	0,00	0,00	20,93	35,71	59,24
2011-08-26	2753	Not Available	Not Available	Bosnia	1292	8,32	0,00	3,18	46,79	32,14	90,43
2011-07-14	3772	Milna	Splitsko-dalmatinska zupanija	Croatia	1711	4,29	12,02	0,00	5,32	48,13	69,76
2011-08-24	5175	Dimos Tycheroy	Evros	Greece	2511	0,43	0,00	77,17	5,11	0,16	82,87



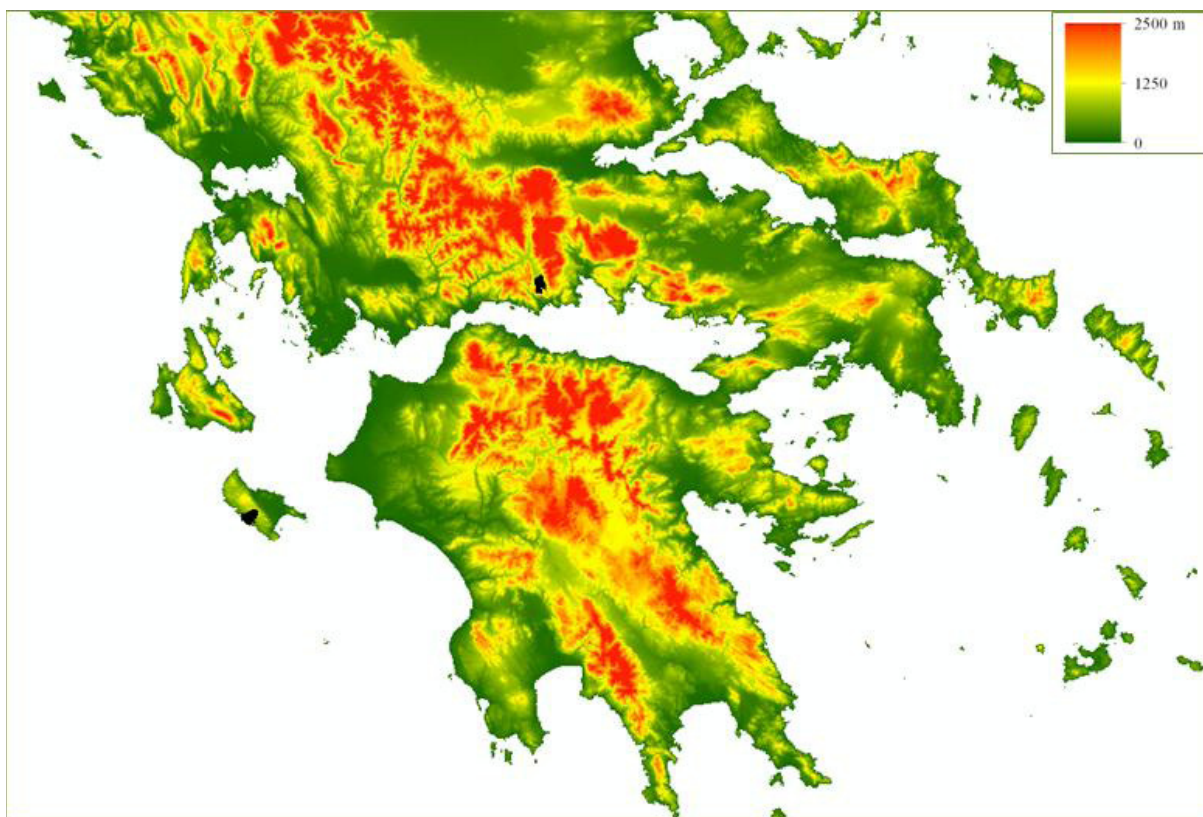
Ryc. 4. Przykładowy obraz mapy klimatycznej przedstawiającej średnie miesięczne opady na kontynencie europejskim w październiku 2011 roku.

Fig. 4. Example image of climatic map presenting average monthly precipitation in Europe in October 2011.

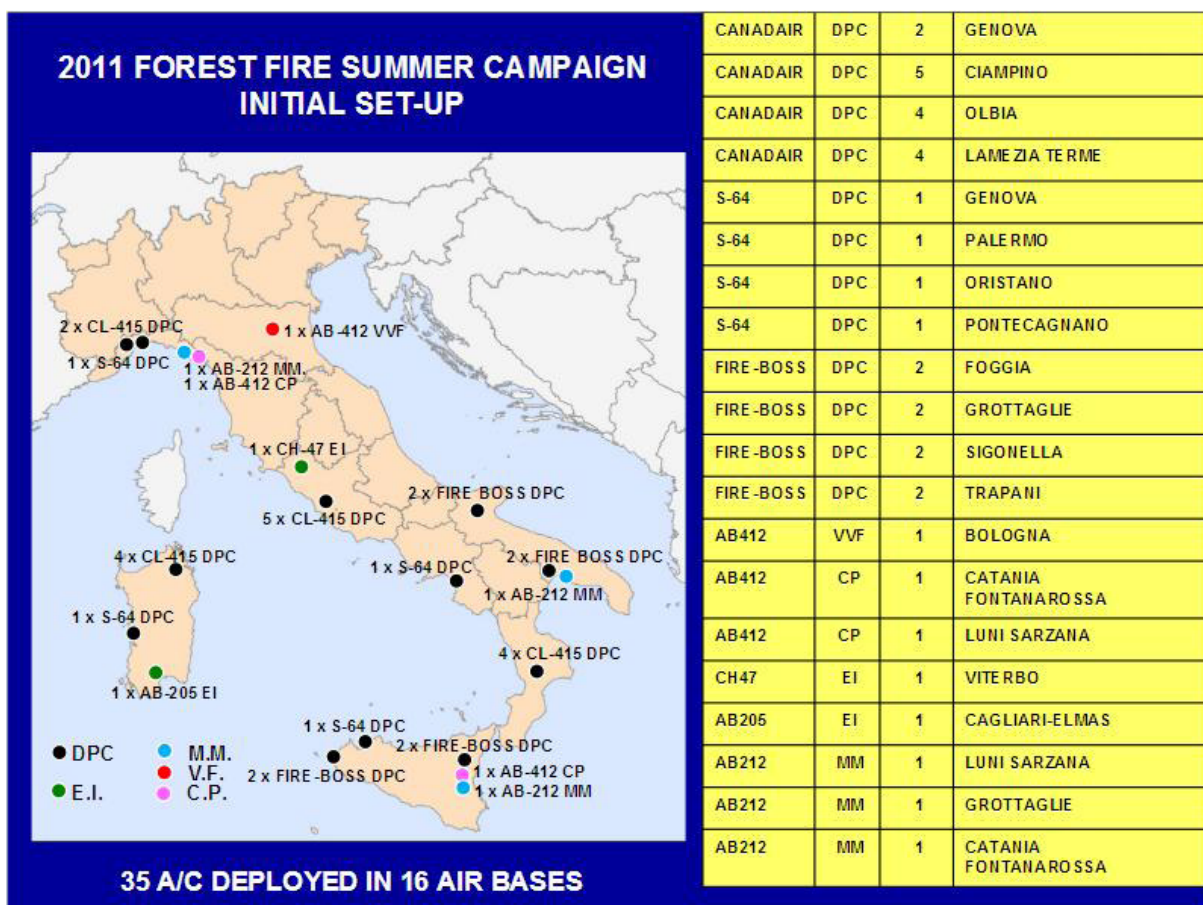


Ryc. 5. Przykładowy obraz mapy klimatycznej przedstawiającej średnią miesięczną temperaturę kontynentu w kwietniu 2011 roku.

Fig. 5. Example image of climatic map presenting average monthly temperature in Europe in April 2011.



Ryc. 6. Numeryczny model terenu Półwyspu Bałkańskiego.
 Fig. 6. Digital Terrain Model of Balkan Peninsula.



Ryc. 7. Rozmieszczenie baz dowodzenia Włoskich Sił Lotniczych podczas sezonu pożarowego (Sanfilippo, 2011).
 Fig. 7. Distribution of the headquarters of Italian Air Force during the fire season.

zbiorowiska leśne wystąpiły na terenie Albanii, Bośni, Chorwacji, Czarnogóry, Grecji, Hiszpanii i Portugalii. Najczęściej wielkoobszarowe pożary lasów miały miejsce w Chorwacji, Czarnogórze, Grecji i Hiszpanii (po 3 obszary). Wśród wyżej wymienionych państw objętych pożarami wielkoobszarowymi brakuje Francji i Włoch, które posiadają zbliżony zarówno klimat, ogólną powierzchnię lasów, jak i lesistość do pozostałych krajów śródziemnomorskich (Raport MPOLE¹ Stan Lasów Europy 2007). W krajach tych od kilku lat prowadzone są specjalne programy przeciwpożarowe. W ostatnim czasie w wyniku realizacji europejskiego programu The Community Mechanism for Civil Protection (Mechanizmu Wspólnotowego Ochrony Ludności), rozpoczęto kompleksową ochronę przeciwpożarową na Korsyce i Sardynii, które ze względu na wyjątkowo suchy i surowy klimat notowały corocznie duże straty po pożarach (www.europa.eu). Dodatkowo we Włoszech działa system zarządzania kryzysowego wspierany przez Włoskie Siły Lotnicze, który na terenie kraju oraz w innych krajach europejskich (między innymi w Albanii, Grecji i Portugalii) skutecznie niesie pomoc w warunkach dużego zagrożenia pożarowego. Na rycinie 7 zaprezentowane są bazy dowodzenia Włoskich Sił Lotniczych podczas sezonu pożarowego.

Analizowane tereny popożarowe zarejestrowane zostały od 9 kwietnia do 14 października 2011 roku. Powierzchnie pożarów zawierały się w granicach od 1006 do 5175 hektarów. Warto zaznaczyć, że zasięgi na obrazie satelitarnym pojedynczych pożarzysk były większe, ponieważ obejmowały również inne strefy niż zbiorowiska leśne. Przykładowo, największy analizowany pożar lasu o areale 5175 hektarów zajmował w rzeczywistości obszar 6245 hektarów, w tym około 11% jego powierzchni stanowiły grunty orne.

Jako pierwszy z wielkoobszarowych pożarów miał miejsce w Walencji w Hiszpanii dnia 13 kwietnia, a jego powierzchnia wynosiła w przybliżeniu 1440 hektarów. Niemal cały spalony poligon stanowiły lasy i krzewy śródziemnomorskie. Niecałe dwa miesiące później, zarejestrowano kolejne pożarzysko o areale około 1240 hektarów w Hiszpanii, na Ibizie. Pożar pochłonął 993 hektary lasów iglastych.

Kolejne dwa obszary spalone zdokumentowano w lipcu w dwóch różnych regionach Chorwacji. Pierwszy z nich o areale 1006 hektarów, objął swym zasięgiem głównie roślinność śródziemnomorską. Na wyspie Brač, w środkowej Dalmacji miał miejsce drugi pożar o powierzchni 3772 hektarów, z czego ponad 2600 hektarów to były lasy i krzewy w stanie zmian. Pod koniec lipca odnotowano pożar na zachodnim wybrzeżu Półwyspu Iberyjskiego w Portugalii, który miał powierzchnię 1063 hektarów i niemal w całości pochłonął lasy i krzewy twardolistne w stanie zmian.

Najwięcej, bo aż 8 pożarów wybuchło w sierpniu, w tym 7 z nich między 24 a 26 sierpnia. Wszystkie sierpniowe obszary spalone znajdowały się na Półwy-

spie Bałkańskim i łącznie zajęły 16178 hektarów. Najbardziej ucierpiały zbiorowiska roślinności sucholubnej i lasów mieszanych. Były to najbardziej katastrofalne w skutkach pożary w Europie. Największy z nich, miał miejsce w Grecji, niedaleko granicy z Turcją, a jego powierzchnia wynosiła 5175 hektarów, z czego spłonęło wtedy niemal 4820 hektarów lasu mieszanego.

Kolejne miejsca spalone odnotowane we wrześniu zlokalizowane były w Bośni i Czarnogórze. Każdy z nich miał około 1000 hektarów i zajęły głównie powierzchnie lasów w stanie zmian oraz lasów liściastych.

Ostatni pożar zadokumentowano 14 października w Hiszpanii, miał rozmiar ponad 2000 hektarów, a niemal 2/3 jego powierzchni stanowiły lasy i krzewy w stanie zmian.

Wszystkie analizowane pożary i ich podstawowe parametry zestawiono w tabeli 3.

Analizy klimatyczne

Podstawowe założenie w analizach klimatycznych polegało na określeniu najistotniejszych charakterystyk meteorologicznych pozwalających na zbadanie wpływu klimatu na potencjalne występowanie pożarów. Udostępnione dokumentacje średnich miesięcznych temperatur powietrza oraz opadów deszczu z okresu 50 lat, to znaczy od 1950 do 2000 roku, umożliwiały wiarygodną analizę danych.

Kraje śródziemnomorskie leżą w strefie klimatów podzwrotnikowych typu morskiego, pośredniego i kontynentalnego (Atlas Świata. Strefy klimatyczne wg W. Okołowicza). Klimat taki charakteryzuje się średnią temperaturą najchłodniejszego miesiąca od około +10°C i powyżej w klimatach morskich do 0°C i poniżej w klimatach kontynentalnych suchych. Opady pojawiają się głównie lub wyłącznie w półroczu chłodnym.

Tabela 4 zawiera dane meteorologiczne dotyczące analizowanych obszarów pożarów lasów, które odczytano z map klimatycznych.

Powyższa tabela jest potwierdzeniem makroskalowej charakterystyki stref klimatycznych. Wpływ na przebieg temperatur i opadów na danych obszarach miał również topoklimat, na który wpływają czynniki takie jak rzeźba powierzchni ziemi (formy rzeźby, wysokość względna), ekspozycja terenu (insolacja), lokalne systemy cyrkulacyjne (wiatry zboczowe, bryza) oraz pokrywa roślinna (Kozuchowski, 2007). Z powodu braku szczegółowych danych nie jest możliwa precyzyjna analiza z odpowiednim algorytmem pozwalającym na dokładne porównanie występowania pożarów ze składowymi klimatu.

Największa gęstość rozmieszczenia wielkoobszarowych pożarów lasów w Europie wystąpiła na Półwyspie Bałkańskim, a dokładniej na jego zachodnim wybrzeżu. Rycina 8 prezentuje średnie opady w sierpniu na północno-zachodnim wybrzeżu Półwyspu Bałkańskiego. Opady w pobliżu pożarów lasów osiągają niskie wartości i zaznaczone są jaśniejszym kolorem niebieskim

¹ Ministerialny Proces Ochrony Lasów w Europie

Tabela 3. Pożary lasów w Europie o powierzchni większej niż 1000 ha w 2011 roku.
 Table 3. Forest fires of the area bigger than 1000 ha in Europe in 2011.

L.p. No	Data pożaru Fire date	Nazwa miejsca Place name	Region Region	Kraj Country	Powierzchnia całego pożaru Total area of fires (ha)	Powierzchnia pożarów lasów Forest fire area (%)	Powierzchnia pożarów lasów Forest fire area (ha)	Las liściasty Broad leaved forest (ha)	Las iglasty Coniferous forest (ha)	Las mieszany Mixed forest (ha)	Roślinność śródlądowa Mediterranean vegetation (ha)	Lasy i krzewy w stanie zmian Transitional woodland scrubs (ha)
1	2011-04-09	bd	Walencja	Hiszpania Spain	1549	92,9	1439,3	0,0	41,8	0,0	1227,9	169,6
2	2011-05-26	Sant Joan de Labritja	Ibiza i Formentera	Hiszpania Spain	1424	86,8	1236,6	0,0	992,5	0,0	0,0	244,1
3	2011-07-13	bd	bd	Chorwacja Croatia	1034	97,3	1005,9	0,0	0,0	0,0	867,2	138,7
4	2011-07-14	Milna	Splitsko-dalmatinska zupanija	Chorwacja Croatia	5407	69,8	3771,9	232,0	649,9	0,0	287,7	2602,4
5	2011-07-28	Senhorim	Dao-Lafoes	Portugalia Portugal	1324	80,3	1062,6	12,0	92,2	0,0	0,0	958,4
6	2011-08-10	bd	bd	Albania Albania	1476	72,8	1074,1	135,6	0,0	0,0	938,4	0,0
7	2011-08-24	Dimos Tycheroy	Evros	Grecja Greece	6245	82,9	5175,2	26,9	0,0	4819,3	319,1	10,0
8	2011-08-24	bd	bd	Albania Albania	1673	75,2	1257,8	669,9	0,0	0,0	0,0	587,9
9	2011-08-24	bd	bd	Czarnogóra Montenegro	1175	91,9	1079,9	396,3	0,0	0,0	0,0	683,6
10	2011-08-25	bd	bd	Chorwacja Croatia	4207	59,2	2492,2	0,0	64,9	81,0	1115,1	79,8
11	2011-08-25	Dimos Artemision	Zakynthos	Grecja Greece	2369	56,6	1340,9	109,4	0,0	0,0	880,5	1502,3
12	2011-08-26	Dimos Lidorikioy	Fokida	Grecja	1808	55,6	1005,2	0,0	57,0	0,0	704,8	243,5
13	2011-08-26	bd	bd	Bosnia Bosnia	3044	90,4	2752,7	253,3	0,0	96,8	1424,3	978,3
14	2011-09-09	bd	bd	Bośnia Bosnis	1118	93,5	1045,3	38,8	0,0	0,0	0,0	1006,5
15	2011-09-11	bd	bd	Czarnogóra Montenegro	1292	79,9	1032,4	311,4	0,0	0,0	0,0	721,1
16	2011-09-13	bd	bd	Czarnogóra Montenegro	1711	66,2	1132,3	610,7	0,0	0,0	0,0	521,7
17	2011-10-14	Maceda	Ourense	Hiszpania Spain	2511	83,2	2089,7	485,4	221,2	0,0	0,0	1383,1
					Suma:		29994,2	3281,5	2119,5	4997,1	7765,0	11831,1

bd – brak danych

Tabela 4. Analizowane dane dotyczące pożarów lasów wraz z podstawowymi charakterystykami klimatycznymi.
 Table 4. Analyzed data concerning the forest fires with the basic climatic characteristics.

L.p. No	Data pożaru Fire time	Kraj Country	Powierzchnia spalonych lasów Forest fire area (ha)	Średnie miesięczne tem- peratury powietrza Monthly average of air temperature (°C)	Średnie miesięczne opady Monthly average of pre- cipitate (mm)
1	2011-04-09	Hiszpania Spain	1439,3	13-15	3-4
2	2011-05-26	Hiszpania Spain	1236,6	16-18	3-4
3	2011-07-13	Chorwacja Croatia	1005,9	22-25	4-5
4	2011-07-14	Chorwacja Croatia	3771,9	23-25	3-4
5	2011-07-28	Portugalia Portugal	1062,6	22-23	1
6	2011-08-10	Albania Albania	1074,1	19-23	3-4
7	2011-08-24	Grecja Greece	5175,2	22-24	1-2
8	2011-08-24	Albania Albania	1257,8	19-23	6
9	2011-08-24	Czarnogóra Montenegro	1079,9	18-21	7
10	2011-08-25	Chorwacja Croatia	2492,2	19-23	6
11	2011-08-25	Grecja Greece	1340,9	24-26	1
12	2011-08-26	Grecja Greece	1005,2	20-24	1-2
13	2011-08-26	Bośnia Bosnia	2752,7	17-22	5-6
14	2011-09-09	Bośnia Bosnia	1045,3	15-16	9
15	2011-09-11	Czarnogóra Montenegro	1032,4	14-17	10
16	2011-09-13	Czarnogóra Montenegro	1132,3	14-21	10-11
17	2011-10-14	Hiszpania Spain	2089,7	9-12	10-12

względem otaczających ciemniejszych obszarów, gdzie opady są większe.

Analiza ukształtowania terenu

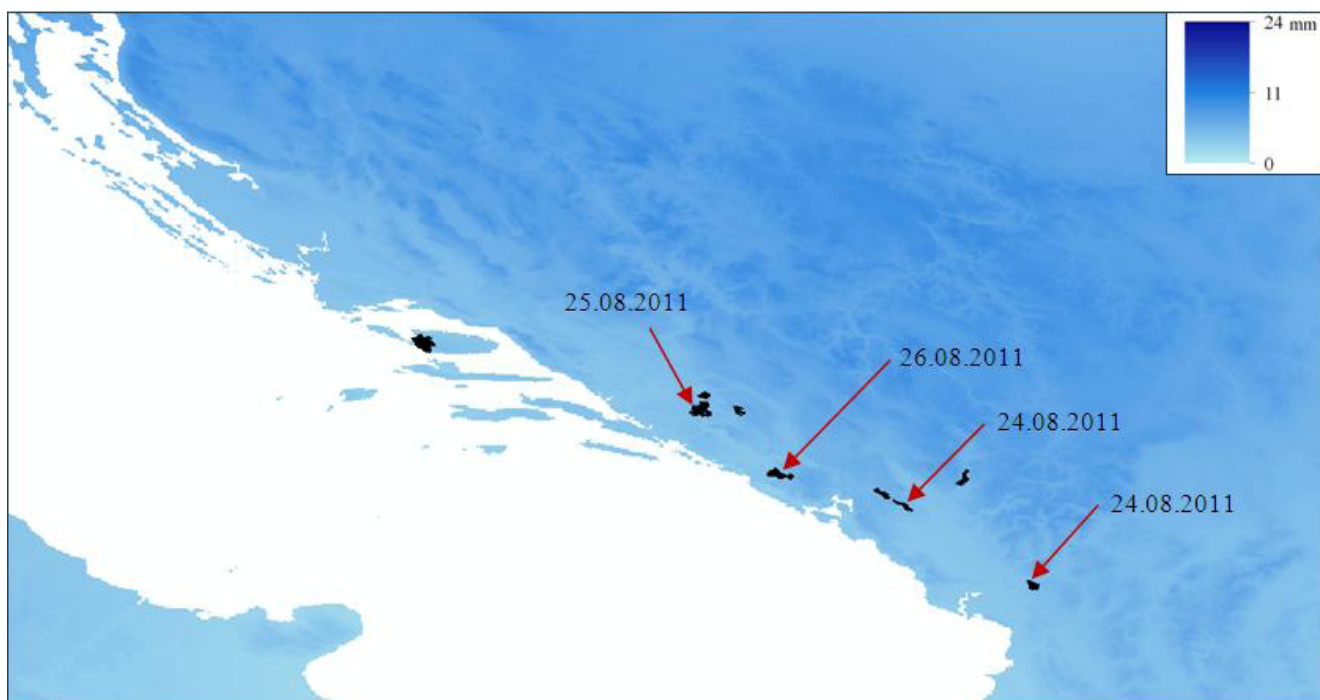
Badane obszary zlokalizowane są nie dalej niż 100 kilometrów od wybrzeża, gdzie wieją intensywne wiatry szybko rozprzestrzeniające ogień. Na rycinie 10 ilustrującej przykładowy obszar o największym zagęszczeniu pożarów lasów w sezonie pożarowym 2011 roku można zaobserwować, że koncentracja obszarów spalonych ma miejsce na obszarach nizinnych, w dolinach lub na stokach. Wysokości bezwzględne wahają się od 0 do 1420 m n.p.m. Deniwelacje stoków z obszarami spalonymi przyjmują wartości od 280 do ponad 1300 m wysokości względnej mierzonej od najniższej do najwyższej położonych miejsc występowania pożaru. Blisko 65%

badanych obszarów nie przekracza 600 m wysokości względnej i usytuowanych jest przede wszystkim na ciepłych i suchych stokach południowo-zachodnich. Trzy analizowane pożary lasów wystąpiły na wyspach - Ibizie w Hiszpanii, Zakintos w Grecji i największej wyspie chorwackiej Brač. Pożary wystąpiły w pobliżu miejscowości turystycznych, dodatkowo spotęgowane zostały przez upały i silne wiatry.

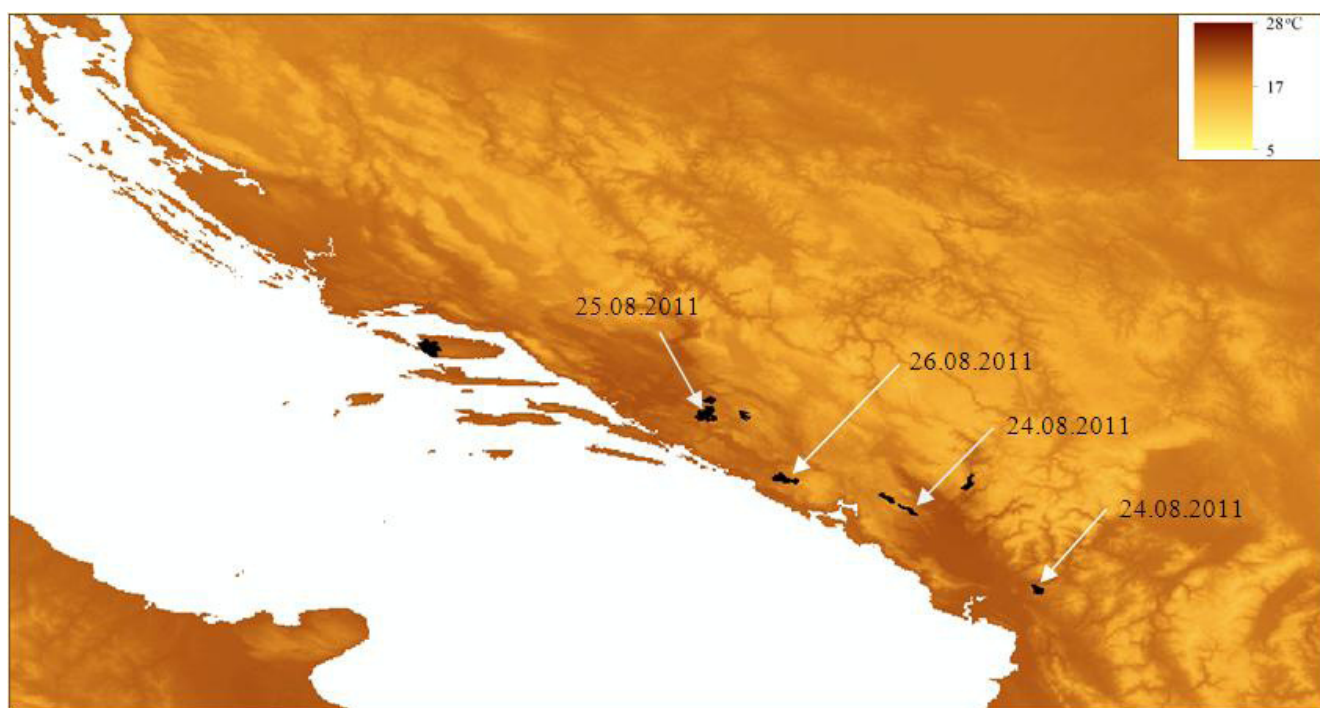
Analizy wysokościowe pożarów lasów w 2011 roku zestawione są w tabeli 5.

Podsumowanie

Analizowane w pracy dane satelitarne badanych obszarów umożliwiły wykonanie zestawienia wielkoobszarowych pożarów lasów w Europie w sezonie pożarowym 2011 roku. Przeprowadzone analizy pod-



Ryc. 8. Opady na północno-zachodnim wybrzeżu Półwyspu Bałkańskiego w sierpniu 2011 roku.
 Fig. 8. Precipitation on the north-west coast of Balkan Peninsula in August 2011.



Ryc. 9. Temperatury powietrza na północno-zachodnim wybrzeżu Półwyspu Bałkańskiego w sierpniu 2011 roku.
 Fig. 9. Air temperature on the north-west coast of Balkan Peninsula in August 2011.

stawowych charakterystyk klimatycznych oraz wysokościowych wykazały ich wpływ na rozmieszczenie i przebieg pożarów odnotowanych w Europie. W celu określenia prawdopodobnych naturalnych przyczyn wystąpienia ognisk pożarów należałoby dodatkowo uwzględnić między innymi precyzyjne dane topoklimatyczne, aktualną wilgotność powietrza, występowanie burz z wyładowaniami elektrycznym, a także wskaź-

niki kondycji roślin, jak na przykład wskaźnik NDVI. Kompleksowe porównanie wymienionych danych pozwoli na określenie podatności środowiska na występowanie pożarów, a następnie na sporządzenie map ryzyka pożarowego.

Analizy klimatyczne, które polegały na zestawieniu średnich miesięcznych temperatur powietrza oraz średnich miesięcznych opadów potwierdzają jedynie wystę-

Tabela 5. Analizowane dane dotyczące pożarów lasów wraz z charakterystykami wysokościowymi.
 Table 5. Analyzed data concerning the forest fires with the basic height characteristics.

L.p. No	Data pożaru Fire time	Kraj Country	Powierzchnia spalonych lasów Forest fire area (ha)	Przybliżone wartości wysokości nad pozio- mem morza Approximate height value above sea level (m n.p.m.)	Przybliżone wartości wysokości względnych Approximate relative height value (m)
1	2011-04-09	Hiszpania Spain	1439,3	150-550	400
2	2011-05-26	Hiszpania Spain	1236,6	20-350	330
3	2011-07-13	Chorwacja Croatia	1005,9	100-500	400
4	2011-07-14	Chorwacja Croatia	3771,9	0-500	500
5	2011-07-28	Portugalia Portugal	1062,6	170-450	280
6	2011-08-10	Albania Albania	1074,1	210-1100	890
7	2011-08-24	Grecja Greece	5175,2	100-400	300
8	2011-08-24	Albania Albania	1257,8	200-950	750
9	2011-08-24	Czarnogóra Montenegro	1079,9	500-1050	550
10	2011-08-25	Chorwacja Croatia	2492,2	260-940	680
11	2011-08-25	Grecja Greece	1340,9	10-600	590
12	2011-08-26	Grecja Greece	1005,2	440-1140	700
13	2011-08-26	Bośnia Bosnia	2752,7	300-1250	950
14	2011-09-09	Bośnia Bosnia	1045,3	620-1080	460
15	2011-09-11	Czarnogóra Montenegro	1032,4	650-1140	490
16	2011-09-13	Czarnogóra Montenegro	1132,3	110-1420	1310
17	2011-10-14	Hiszpania Spain	2089,7	700-1200	500

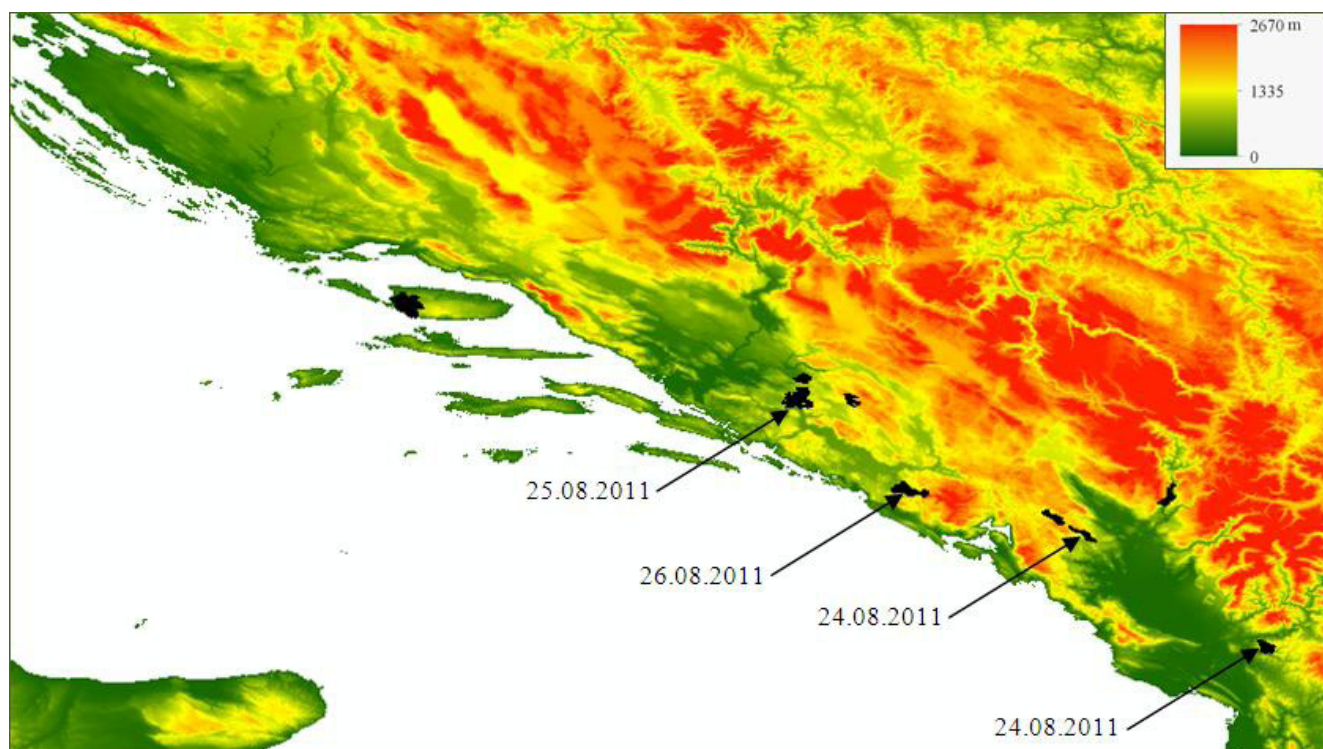
powanie makroklimatu badanego obszaru. Są to dane charakterystyczne dla strefy klimatu śródziemnomorskiego. W zależności od miesiąca, średnie temperatury miesięczne wahały się między 9°C (październik) do 26°C (sierpień). Najniższe opady miesięczne odnotowano w lipcu i wynosiły 1 mm, natomiast najwyższe opady deszczu o wartości 12 mm wystąpiły w chłodnym półroczu, w październiku.

Porównanie rozmieszczenia pożarów lasów i ukształtowania rzeźby terenu pozwoliło na sformułowanie kilku wniosków. Po pierwsze, wszystkie analizowane obszary spalone położone są do 100 km od brzegu morza, gdzie występują silne wiatry powodujące szybkie rozprzestrzenianie się pożarów. Wpływ charakterystyk wysokościowych na lokalizację pożarów nie jest jednoznaczny. Część z badanych obszarów występuje na terenach nizinnych, najczęściej bardzo blisko brzegu morza lub

w dolinach. Inne z nich zajmują stoki o dużych deniwelacjach, w większości położone na południowo-zachodniej stronie wzniesień na podłożu suchym wynikającym z dużego nasłonecznienia.

Wielkoobszarowe pożary lasów w Europie w 2011 roku objęły powierzchnię prawie 30000 hektarów, z czego niemal 12000 hektarów stanowiły lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian (transitional woodland scrubs, wg legendy Corine Land Cover).

Określenie prawdopodobnych przyczyn występowania wielkoobszarowych pożarów lasów w Europie Południowej tylko na podstawie wybranych podstawowych danych dotyczących klimatu oraz ukształtowania terenu nie jest możliwe. Uwzględnienie rozszerzonych danych klimatycznych oraz dodatkowych informacji o topografii terenu umożliwi opracowanie bardziej wiarygodnych map ryzyka pożarów. Tym niemniej, jak wynika z li-



Ryc. 10. Ukształtowanie powierzchni terenu północno-zachodniego wybrzeża Półwyspu Bałkańskiego.
 Fig. 10. Terrain of the north-west coast of Balkan Peninsula in 2011.

temperatury pożarowej, główną przyczyną powstawania pożarów jest czynnik ludzki.

Działalność człowieka, zarówno świadoma, jak i niezamierzona stanowi istotny problem zagrożenia pożarowego na całym kontynencie europejskim, a także na świecie. Zakres ochrony przeciwpożarowej i system szybkiego reagowania służb pożarniczych zależy od monitoringu stref o wysokim ryzyku pożarowym, który zapewnia wczesne wykrycie pożaru. Duża gęstość sieci osadniczej pomaga w szybkiej reakcji na pojawienie się ognia, jednocześnie przyczyniając się do wzmożonego występowania pożarów lasów w miejscach rekreacyjnych i turystycznych.

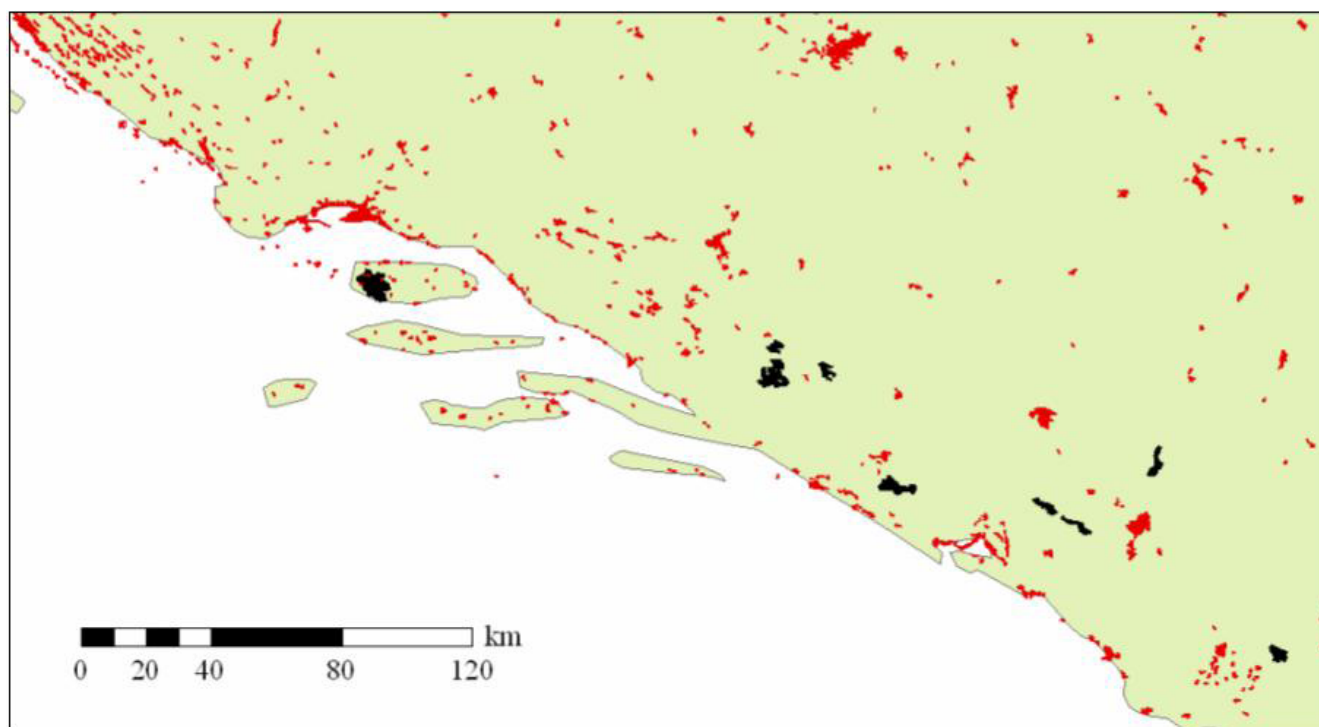
Tereny, na których wystąpił pożar znajdują się w bliskiej odległości do obszarów zurbanizowanych. Większość z nich dzieli dystans do 10 kilometrów od skupisk ludzkich. Część pożarów występuje w pobliżu dużych aglomeracji, jak na przykład pożar nr 1 (Tabela 3) zlokalizowany jest około 50 kilometrów od Walencji. Na rycinie 11 przedstawiono rozmieszczenie obszarów zurbanizowanych (Urban Morphological Zones), które znajdują się w pobliżu pożarów.

Dyskusja

Dotychczasowe prace w dziedzinie wykrywania, monitoringu i inwentaryzacji pożarów lasów mają szeroki zakres dokonań. Przewidywanie prawdopodobnych ognisk pożarów oraz kierunków ich rozprzestrzeniania są głównym czynnikiem potrzeby integracji ponadnarodowych satelitarnych danych pożarowych.

Coroczne raporty Forest Fire In Europe wykonywane od 2000 roku dla Wspólnego Centrum Badawczego (Joint Research Centre) oparte są na danych EFFIS. Każdy z nich wspiera narodowe jednostki pożarnicze w Europie w przewidywaniu, zarządzaniu i reagowaniu pożarowym. Raporty te uwzględniają wartość powierzchni spalonej, a także rodzaj nawierzchni pochłoniętej przez pożar w danym kraju. Prowadzone są na podstawie danych od 1980 do 2010 roku dla obszaru Europy z wyróżnieniem pięciu najbardziej dotkniętych państw: Portugalii, Hiszpanii, Francji, Włoch i Grecji. W 2011 roku nie stwierdzono wielkoobszarowych pożarów lasów na terenie Francji i Włoch, natomiast zarejestrowano je w Albanii, Bośni, Chorwacji, Czarnogórze. Fakt ten można interpretować jako nieregularność w stosunku do wielu lat obserwacji pożarów lasów w Europie oraz jako poprawę jakości prewencji i interwencji przeciwpożarowych w wysoko rozwiniętych krajach Unii Europejskiej.

Teledetekcja satelitarna pozwala na szybkie i niedrogo wykrywanie pożarów lasów w czasie rzeczywistym. Przy użyciu zobrażeń satelitarnych pozyskiwanych nawet, co 1 minutę (amerykański satelita GOES 15) służby pożarnicze mogą sprawnie przeprowadzać akcje ratunkowe. Działania te wspomóc można za pomocą map zagrożenia pożarowego, które wykonuje się uwzględniając przede wszystkim dane meteorologiczne. Włoscy naukowcy z Międzyuniwersyteckiego Centrum Badań nad Monitorowaniem Środowiska (Centro di Ricerca Interuniversitario in Monitoraggio Ambientale) oraz z Instytutu Metodologicznego Analiz Środowiskowych Narodowej Rady Naukowej Włoch (L'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale del Consiglio



Ryc. 11. Rozmieszczenie obszarów zurbanizowanych (kolor czerwony) w pobliżu pożarysk (kolor czarny) w regionie północno-zachodniego wybrzeża Półwyspu Bałkańskiego.

Fig. 11. Distribution of urban areas (red colour) located near the burnt areas (black colour) in the north-west coast of Balkan Peninsula.

Nazionale delle Ricerche) podjęli się oceny zagrożenia pożarowego we Włoszech, na podstawie szczegółowych danych dla regionu Kalabrii z lat 1998-2003 (Fiorucci i inni, 2005). Do interpretacji wyników wykorzystali oni zmienne klimatyczne, takie jak 3 godzinny opad skumulowany, temperatura powietrza oraz kierunek i prędkość wiatru. Podstawowym analizowanym parametrem był wskaźnik NDVI powstały przy zastosowaniu satelitarnych danych pozyskanych przez SPOT-Vegetation. Klasyfikacja włoskich autorów wzbogacona została danymi pomocniczymi: numerycznym modelem terenu oraz mapami pokrycia terenu Corine.

Wyniki analiz uzyskanych w pracy inwentaryzującej wielkoobszarowe pożary lasów w Europie potwierdzają wnioski stwierdzone we wspomnianym włoskim opracowaniu. Wiarygodna ocena zagrożenia pożarowego możliwa jest przy uwzględnieniu zarówno licznych danych meteorologicznych, jak i innych danych pomocniczych.

Dotychczasowe rezultaty analiz pożarowych prowadzą do klasyfikacji powierzchni leśnych pod kątem licznych cech. Wskaźniki meteorologiczne powinny rozpatrywać zarówno temperaturę powietrza i punktu rosy, wielkość opadów długo i krótkotrwałych, jak i kierunek i prędkość wiatru. Niezbędne jest również uwzględnienie dodatkowych danych, między innymi wskaźników wegetacji roślin, numerycznego modelu terenu, nachylenia i nasłonecznienia oraz pokrycia powierzchni.

Literatura

- Beckel L., 1995, *Satellite Remote Sensing Forest Atlas of Europe*. tł. na ang. J. Wilkie, E. Basel, K. Ritter, Wyd. Jestus Perthes, Gotha, ss. 12-13, 22, 72, 82-89.
- Ciołkosz A., Bielecka E., 2005, *Pokrycie terenu w Polsce. Bazy danych Corine Land Cover*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Fiorucci P., Gaetani F., Lanorte A., Lasaponara R., 2005, Remote Sensing technology coupled with meteorological forecast data wildland fire danger assessment. *Materiały konferencyjne 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment*, Saragossa, ss. 119-123.
- Hijmans R. J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A., 2005, Very high resolution interpolated climate surfaces for global land area. *International Journal of Climatology*, 25, ss. 1965-1978.
- Kołodowski M., Wysocka-Rumińska A., Tałałaj S., Wiszniewski J., 1955, *Rośliny olejkowe i olejki naturalne*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Kozuchowski K. (red.), 2007, *Meteorologia i klimatologia*. Wyd. PWN, Warszawa, ss. 232-245.
- Lemasson M., 1998, *Požary lasów w Unii Europejskiej. Program Wspólnoty w zakresie ochrony przeciwpożarowej lasów*. Pierwsza Bałtycka Konferencja na temat Pożarów Lasów, ss. 136-143.
- Naumienko T. (red.), 1962, *Atlas Świata. Strefy klimatyczne*. Polskie Zakłady Kartograficzne, Warszawa.
- Pereira J., Govaerts Y., 2001, *Potential Fire Applications from MSG/SEVIRI Observations*. Raport EUMETSAT, Lizbona.
- Philip S., 2007, *Active fire detection using remote sensing based polar-orbiting and geostationary observations: an approach towards near real-time fire monitoring*. Praca magisterska

pod kierunkiem dr Ir. Kees de Bie, University of Twente, Faculty of Geo-information Science and Earth Observation, Enschede.

Sanfilippo G., 2011, *Aerial Forest Fire Management in Italy*. Materiały konferencyjne The 11th Balkan conference, Balkan Spectrum: from Light to Color, Moskwa.

Sanfilippo G., 2011, *Italian Forest Fire Preparedness for Summer 2011*. Materiały konferencyjne Wildland Fire Conference, Bruksela.

Raport MPOLE Stan Lasów Europy 2007. Materiały naukowe Konferencji Ministerialnego Procesu Ochrony Lasów w Europie (MPOLE).

Raport nr 11 Forest Fire In Europe 2010. Dyrektorat Generalny ds. Środowiska Wspólnego Centrum Badawczego (Joint Research Centre).

<http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/blog/archives/category/fire-detection/>; dostęp: maj 2012.

<http://effis.jrc.ec.europa.eu/about>; dostęp: kwiecień 2012.

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/09/1190&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=en>, komunikaty prasowe serwisu informacyjnego Unii Europejskiej; dostęp: maj 2012.

<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>; dostęp: maj 2012.

<http://srtm.csi.cgiar.org/>; dostęp: maj 2012.

<http://www.dmcii.com>; dostęp: maj 2012.

<http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>; dostęp: maj 2012.

http://www.esa.int/esaEO/SEMESYB1S6F_index_0.html; dostęp: maj 2012.

<http://www.wessex.ac.uk/12-conferences.html>; dostęp: kwiecień 2012.

<http://www.worldclim.org/current>; dostęp: maj 2012.



Dr Małgorzata Mycke-Dominko – adiunkt w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Studia magisterskie ukończyła jako specjalista kartograf. Zainteresowania zawodowe odnoszą się do problematyki miejskiej oraz zagadnień pożarów lasu. Pracowała również w Instytucie Badawczym Leśnictwa. E-mail: dominkom@uw.edu.pl



Monika Mierczyk, ukończyła studia I stopnia na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Swoje zainteresowania koncentruje na zastosowaniu teledetekcji do badań środowiskowych. Obecnie zajmuje się przetwarzaniem danych hiperspektralnych i ich zastosowaniem do identyfikacji skał i minerałów Karkonoszy.

E-mail: m.mierczyk@student.uw.edu.pl

