dr inż. Sylwester M. Grajewski[a)]*

[a)] *Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu / University of Life Sciences in Poznań*
**Autor korespondencyjny / Corresponding author: sylgraj@up.poznan.pl*

Wieloletnia zmienność pożarów lasów w wybranych 28 krajach Europy, Kanadzie i USA

Long-Term Variability of Forest Fires in Selected 28 European Countries, Canada and the USA

Многолетняя изменчивость лесных пожаров в выбранных 28 европейских странах, Канаде и США

ABSTRAKT

Cel: Zasadniczym celem artykułu jest określenie wieloletniej zmienności liczby pożarów lasów i spalonej powierzchni leśnej w wybranych 28 krajach Europy, Kanadzie i USA oraz ocena skuteczności systemów zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów w tych państwach. Celem dodatkowym jest wydzielenie grup krajów podobnych pod względem występowania pożarów lasów oraz skuteczności działania systemów zabezpieczenia przeciwpożarowego obszarów leśnych.

Wprowadzenie: Pożary lasów skutkują nie tylko wymiernymi stratami gospodarczymi, ale najczęściej powodują również poważne zmiany w ekosystemach leśnych. Tym samym przyczyniają się do pogarszania jakości życia społeczeństw. Pożarami zagrożonych jest na świecie około 40% powierzchni lasów, a w Europie ponad 60%. Dodatkowo ze względu na ocieplanie klimatu, spadek wielkości opadów atmosferycznych i wydłużanie się okresów bezdeszczowych prognozuje się, że zagrożenie pożarowe lasów będzie wzrastać, co przełoży się nie tylko na większą liczbę pożarów, ale sprzyjać będzie ich intensywnemu rozprzestrzenianiu. W tym kontekście prowadzenie na bieżąco analiz pożarów lasów nabiera szczególnego znaczenia.

Metodologia: Analizie poddano dane o liczbie pożarów lasów, spalonej powierzchni leśnej i średniej powierzchni pojedynczego pożaru dla 28 krajów europejskich, Kanady i USA. Liczbę pożarów i spaloną powierzchnię odniesiono do powierzchni lasów w poszczególnych krajach, dokonując przeliczenia wartości tych charakterystyk na 1000 ha powierzchni leśnej danego państwa. Dla będących w dyspozycji różnej długości serii danych dokonano oceny trendów za pomocą nieparametrycznego testu Manna-Kendalla. Do grupowania krajów pod względem występowania pożarów lasów oraz skuteczności systemów zabezpieczenia pożarowego obszarów leśnych w latach 1990–2015 wykorzystano hierarchiczną metodę analizy skupień z zastosowaniem euklidesowej miary odległości i metody aglomeracji Warda.

Wnioski: Przeprowadzone dla 30 krajów badania generalnie nie potwierdziły poglądów niektórych badaczy dotyczących możliwości zwiększania się liczby pożarów lasów czy też rozmiaru spalonych powierzchni leśnych w konsekwencji zmian ziemskiego klimatu. Niemniej dla niektórych państw odnotowano potwierdzone statystycznie niepokojące tendencje wzrostowe tych cech. Najniższa wartość średniej powierzchni pożaru lasu charakteryzuje Czechy, Finlandię, Niemcy, Austrię, Szwecję, Litwę, Łotwę, Polskę i Ukrainę. Uprawnia to do stwierdzenia, że w krajach tych skuteczność przeciwpożarowego zabezpieczenia obszarów leśnych jest najwyższa. Pod względem liczby pożarów i spalonej powierzchni leśnej Polska tworzy wspólną grupę z Węgrami, Turcją, Francją i Bułgarią. Hierarchiczna analiza skupień z użyciem wskaźników liniowego tempa zmian dla liczby pożarów, spalonej powierzchni i dla średniej powierzchni pożaru (wartości Sen's slope) oraz średniej powierzchni pożaru lasu skupia Polskę z Łotwą, Słowacją, Ukrainą i Białorusią obok Finlandii, Czech, Litwy, Niemiec, Szwecji i Austrii.

Słowa kluczowe: pożary lasów, liczba pożarów lasów, spalona powierzchnia leśna, trendy, zabezpieczenie przeciwpożarowe lasów
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 25.06.2017; Zrecenzowany: 26.07.2017; Opublikowany: 30.09.2017;
Artykuł został wyróżniony przez Komitet Redakcyjny;
Proszę cytować: BiTP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 46–61, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.3;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The primary aim of this paper was to determine long-term variability in the number of forest fires and burnt forest area in selected 28 European countries, Canada and the USA and to assess the effectiveness of fire protection systems in the forests of those countries. The secondary aim was to identify similarities between the analysed countries in terms of the incidence of forest fires and the effectiveness of forest fire protection systems.

Introduction: Forest fires not only cause tangible economic losses, but they also typically result in serious changes in forest ecosystems. By affecting fauna, flora and the air, among other things, they simultaneously contribute to a deterioration of living conditions. Worldwide approx. 40% forested areas are at risk of forest fires, while in Europe it is over 60%. Additionally, due to climate change, decreasing precipitation and prolonged periods with no rainfall it is forecast that fire hazard in forests is going to increase, which will not only be manifested in a greater number of fires, but will also contribute to their intensive spreading. In this context, it is crucial to conduct analyses of forest fires.

Methodology: Analyses were conducted on data concerning the number of forest fires, burnt forest areas and the mean area of a single fire in 28 European countries, Canada and the USA. The number of fires and the burnt area were compared to the total forested areas in individual countries by converting the values of these characteristics per 1000 ha forested area in a given country. Trends for the available varying lengths of data series were determined using the non-parametric Mann-Kendall test. Countries were clustered in terms of the incidence of forest fires and the effectiveness of fire protection systems in the years 1990-2015 using the hierarchical method of cluster analysis based on Euclidean distances and the Ward agglomeration method.

Conclusions: Generally, the analyses conducted in the above-mentioned 30 countries did not confirm forecasts on the increasing numbers of forest fires or burnt forest areas, which may be explained e.g. by the consequences of climate change. Nevertheless, in some countries statistically disturbing trends were observed for these characteristics. The lowest mean forest fire areas were recorded for the Czech Republic, Finland, Germany, Austria, Sweden, Lithuania, Latvia, Poland and Ukraine, which indicates that those countries had the highest effectiveness of forest fire protection measures. In terms of the number of fires and burnt forested area Poland is clustered with Hungary, Turkey, France and Bulgaria. Hierarchical cluster analysis using linear indices for changes in the number of forest fires, burnt area and mean fire area (Sen's slope) as well as mean forest fire area clustered Poland with Latvia, Slovakia, Ukraine and Belarus next to Finland, the Czech Republic, Lithuania, Germany, Sweden and Austria.

Keywords: forest fires, number of forest fires, burnt forest area, trends, forest fire protection

Type of article: original scientific article

Received: 25.06.2017; Reviewed: 26.07.2017; Published: 30.09.2017;

The article was recognised by the Editorial Committee;

Please cite as: BiTP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 46–61, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.3;

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Цель: Основная цель данной статьи заключается в определении долгосрочной изменчивости числа лесных пожаров и размеров площади сгоревшего леса в выбранных 28 европейских странах, Канаде и США, а также оценке эффективности системы противопожарной защиты лесов в этих странах. Дополнительной целью является определение групп стран с похожим числом лесных пожаров и уровнем эффективности систем противопожарной защиты лесов.

Введение: Лесные пожары приводят не только к измеримым экономическим потерям, но и, чаще всего, к серьезным изменениям лесных экосистем. Тем самым они влияют на ухудшение качества жизни общества. Пожары угрожают около 40% общей лесной площади в мире и более 60% лесной площади Европы. Кроме того, из-за глобального потепления, уменьшения объема осадков и удлиняющихся периодов их отсутствия прогнозируется возрастание угрозы лесных пожаров, что приведет не только к их увеличению, но будет способствовать интенсивному распространению пожаров. В связи с этим, особое значение приобретает текущий анализ лесных пожаров.

Методология: Были проанализированы данные о числе лесных пожаров, площади сгоревших лесов и средней площади одного пожара в 28 европейских странах, Канаде и США. Число пожаров и пострадавшая поверхность была сравнена с площадью лесов в каждой стране, полученные значения этих характеристик были пересчитаны в соотношению к 1000 га лесных площадей соответствующей страны. Тренды разных длин доступных серий данных были рассчитаны с использованием непараметрического критерия Манна-Кендалл. Для систематизации стран с точки зрения лесных пожаров и эффективности противопожарной защиты лесных территорий в 1990–2015 гг. был использован иерархический метод кластерного анализа с использованием евклидова расстояния и метода агломерации Варда.

Выводы: Исследования, проведенные для 30 стран, как правило, не подтвердили мнения некоторых ученых, что количество лесных пожаров или размер сгоревших лесных массивов может увеличиваться в результате глобального изменения климата. Однако, опасный рост этих характеристик был статистически подтверждён в некоторых странах. Наименьшие значения средней площади лесных пожаров были установлены для: Чехии, Финляндии, Германии, Австрии, Швеции, Литвы, Латвии, Польши и Украины. Эти данные позволяют сделать вывод, что в этих странах эффективность противопожарной защиты лесных участков является самой высокой. С точки зрения числа пожаров и сожженной площади лесов Польша находится в одной группе с Венгрией, Турцией, Францией и Болгарией. Иерархический анализ линейной скорости изменений числа пожаров к сгоревшей площади, а также к средней площади пожара (Sen's slope) и средней площади лесных пожаров позволяет отнести Польшу к группе с Латвией, Словакией, Украиной и Белоруссией вместе с Финляндией, Чехией, Литвой, Германией, Швецией и Австрией.

Ключевые слова: пожары лесов, число пожаров лесов, сожженная лесная поверхность, тренды, пожарная защита лесов

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 25.06.2017; Рецензирована: 26.07.2017; Опубликована: 30.09.2017;

Эту статью наградил Редакционный Совет;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 46–61, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.3;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Wstęp

Pożary lasów powodują zazwyczaj bardzo niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych. Dotykają wielu grup roślin [1] i zwierząt [2], wpływając tym samym na pogorszenie jakości życia społeczeństw [3]. Pożary lasów to również wymierne

Introduction

Forest fires usually cause highly adverse changes in forest ecosystems. They affect many groups of plants [1] and animals [2], contributing to the deterioration of living conditions [3]. Forest fires also lead to significant economic

straty gospodarcze [4]. W większości przypadków negatywne skutki pożarów nie są również obojętne dla powietrza atmosferycznego [5]. Szczególne znaczenie odgrywają w tej kwestii gazy i aerozole wydzielające się podczas spalania biomasy, ponieważ mają one znaczny udział w potęgowaniu efektu szklarniowego. Uwalniane podczas pożarów aktywne chemicznie gazy silnie wpływają na procesy zachodzące wewnątrz atmosfery [6].

Szacuje się, że w latach 1960–2000 rokrocznie na świecie spaleniu ulegało od 273 do 567 mln ha lasów [7], a pod koniec XX wieku nawet 608 mln ha rocznie [8]. Pożarami zagrożonych jest na świecie około 40% powierzchni lasów, w Europie ponad 60%, a w Polsce ponad 80% [9]. Biorąc pod uwagę liczbę pożarów lasów i spaloną powierzchnię leśną, Polskę wraz z Hiszpanią i Portugalią zalicza się do grupy krajów europejskich, w których pożary powstają najczęściej [10]. Dodatkowo, ze względu na ocieplanie klimatu, spadek wielkości opadów atmosferycznych i wydłużanie się okresów bezdeszczowych, prognozuje się, że zagrożenie pożarowe lasów w przyszłości będzie wzrastać [m.in. 11, 12, 13, 14]. Przełoży się to nie tylko na wzrost liczby pożarów, ale sprzyjać będzie ich intensywnemu rozprzestrzenianiu, czyli powstawaniu pożarów wielkoobszarowych [15, 16].

Podstawowym celem artykułu jest określenie wieloletniej zmienności liczby pożarów lasów i spalonej powierzchni leśnej w 28 krajach Europy, Kanadzie i USA oraz ocena skuteczności systemów zabezpieczenia przeciwpożarowego obszarów leśnych w tych państwach. Celem dodatkowym jest wydzielenie grup krajów podobnych pod względem występowania pożarów lasów oraz skuteczności działania systemów zabezpieczenia przeciwpożarowego obszarów leśnych.

Materiał i metody

Analizie poddano dane o liczbie pożarów lasów, spalonej powierzchni leśnej i średniej powierzchni pojedynczego pożaru dla 28 krajów europejskich oraz Kanady i USA (tabela 1). Liczbę pożarów i spaloną powierzchnię odniesiono do powierzchni lasów w poszczególnych krajach [17, 18], dokonując przeliczenia wartości tych charakterystyk na każde 1000 ha powierzchni leśnej.

Dla będących w dyspozycji różnej długości serii danych, od 9 (Macedonia) do 36 lat (Estonia, Francja, Grecja, Hiszpania, Irlandia, Kanada, Łotwa, Portugalia, Szwajcaria, USA, Włochy), dokonano oceny trendów za pomocą nieparametrycznego testu Manna-Kendalla [19, 20]. Test ten z powodzeniem wykorzystywany był dotąd m.in. do oceny kierunkowych zmian parametrów hydrologicznych oraz elementów klimatycznych [21, 22, 23]. Wartość statystyki S w teście Manna-Kendalla wyznaczana jest według wzoru [24]:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sign\left(x_j - x_k\right) \tag{1}$$

gdzie:

$$sign\left(x_j - x_k\right) = \begin{cases} 1\ dla\ x_j - x_k > 0 \\ 0\ dla\ x_j - x_k = 0 \\ -1\ dla\ x_j - x_k < 0 \end{cases} \tag{2}$$

losses [4]. In most cases the negative results of fires also affect the ambient air [5]. The gases and aerosols emitted during biomass combustion, which are important contributors to the greenhouse effect, are particularly significant. Chemically active gases have a strong effect on the processes taking place in the atmosphere [6].

It is estimated that in 1960–2000 from 273 to 567 million ha of forests was burnt every year [7] and by the end of the 20th century as much as 608 million ha per year [8]. Worldwide approx. 40% forested areas are at risk of fires, in Europe it is over 60% and in Poland over 80% [9]. In terms of the number of forest fires and the burnt forest area, Poland, along with Spain and Portugal, belongs to the cluster of European countries with the highest frequency of fires [10]. Additionally, due to the global warming, decreasing precipitation and prolonged periods with no rainfall it is forecast that fire hazard in forests is going to increase [i.a. 11, 12, 13, 14], which will be manifested not only in a greater number of fires, but will also contribute to their intensive spreading, i.e. the occurrence of large-area fires [15, 16].

The primary aim of this paper was to determine long-term variability in the number of forest fires and burnt forest area in 28 European countries, Canada and the USA and to assess the effectiveness of fire protection systems in the forest areas of those countries. The secondary aim was to identify similarities between the analysed countries in terms of the incidence of forest fires and the effectiveness of forest fire protection systems.

Material and methods

The analysis involved data on the number of forest fires, burnt forest area and mean fire area for 28 European countries, Canada and the USA (Table 1). The number of fires and the burnt area were compared to the total forested areas in individual countries [17, 18] by converting the values of these characteristics per 1000 ha forested area in a given country.

For the available varying lengths of data series, from 9 (Macedonia) to 36 years (Estonia, France, Greece, Spain, Ireland, Canada, Latvia, Portugal, Switzerland, the USA, Italy), an assessment of the trends was carried out using the non-parametric Mann-Kendall test [19, 20]. This test has been successfully used for the assessment of directional changes of hydrological parameters and climatic elements [21, 22, 23]. The value of the S statistic in the Mann-Kendal test is determined according to the following formula [24]:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sign\left(x_j - x_k\right) \tag{1}$$

where:

$$sign\left(x_j - x_k\right) = \begin{cases} 1\ for\ x_j - x_k > 0 \\ 0\ for\ x_j - x_k = 0 \\ -1\ for\ x_j - x_k < 0 \end{cases} \tag{2}$$

ISSN 1895-8443

x_j, x_k – wartości danych w czasie j i k,
n – długość (liczebność) zbioru danych.

Poszczególne elementy uporządkowanej serii są porównywane z poprzednimi. Początkowa wartość statystyki S Manna-Kendalla przyjmowana jest jako 0 (brak trendu). Jeśli wartość kolejnego elementu szeregu jest większa niż wartość poprzednia, to S jest zwiększany o 1. W odwrotnym wypadku, jeżeli wartość kolejnego elementu szeregu jest mniejsza niż wartość poprzednia – S jest zmniejszany o 1. W efekcie tych wyliczeń otrzymuje się ostateczną wartość S. Obliczenia wariancji S *(Var(S))* wykonano według wzoru:

$$Var(S) = \frac{n \cdot (n-1) \cdot (2n+5)}{18} \tag{3}$$

Za pomocą znormalizowanej statystyki testowej, wyznaczonej z równania (4), obliczono prawdopodobieństwo testowe p wynikające ze znormalizowanej statystyki testowej Z. Przyjmuje się, że trend jest malejący, gdy Z jest mniejsze od 0, a prawdopodobieństwo testowe p jest mniejsze niż przyjęty poziom istotności α = 0,05. Jednocześnie trend uznawany jest za rosnący, gdy Z jest większe od 0, a prawdopodobieństwo testowe p jest mniejsze niż przyjęty poziom istotności α = 0,05.

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{[(Var(S)]^{\frac{1}{2}}} \; dla\; S > 0 \\ 0 \; dla\; S = 0 \\ \dfrac{S+1}{[(Var(S)]^{\frac{1}{2}}} \; dla\; S < 0 \end{cases} \tag{4}$$

W ramach niniejszej pracy zbadano również podobieństwa krajów pod względem:

1) występowania zjawiska pożaru lasu – opisywanego liczbą pożarów lasów i spaloną powierzchnią leśną,
2) skuteczności działania systemów zabezpieczenia pożarowego obszarów leśnych – opisywanej wskaźnikami liniowego tempa zmian dla liczby pożarów lasów, spalonej powierzchni leśnej i dla powierzchni pojedynczego pożaru (tj. wartościami tzw. *Sen's slope*) oraz średnią powierzchnią pożaru lasu.

W tym celu wykorzystano hierarchiczną metodę analizy skupień z zastosowaniem euklidesowej miary odległości i metody aglomeracji Warda. Przed uruchomieniem grupowania zmniejszono zróżnicowanie długości serii danych, ograniczając je do okresu 1990–2015. Dokonano także normalizacji wartości liczby pożarów i powierzchni spalonych lasów poprzez przeliczenie ich na 1000 ha powierzchni leśnej danego kraju na podstawie informacji o lesistości państw, podawanych przez [17] i [18].

x_j, x_k – data values at times j and k,
n – data set length (size).

The individual elements of the ordered series are compared with the preceding ones. The initial value of Mann-Kendall's S statistic is assumed as 0 (no trend). If the value of the next element in the series is larger than the preceding value, then S is increased by 1. If the opposite is true, i.e. the value of the next element in the series is smaller than the preceding value, then S is decreased by 1. The final S value results from these calculations. Calculations of variance S *(Var(S))* were performed according to the following formula:

$$Var(S) = \frac{n \cdot (n-1) \cdot (2n+5)}{18} \tag{3}$$

Using the normalised test statistic determined from the equation (4), the probability value p, resulting from the normalised Z test statistic, was calculated. The trend is assumed to be decreasing if Z is lower than 0 and the probability value p is lower than the assumed significance level α = 0.05. The trend is assumed to be increasing if Z is higher than 0 and the probability value p is lower than the assumed significance level α = 0.05.

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{[(Var(S)]^{\frac{1}{2}}} \; for\; S > 0 \\ 0 \; for\; S = 0 \\ \dfrac{S+1}{[(Var(S)]^{\frac{1}{2}}} \; for\; S < 0 \end{cases} \tag{4}$$

This study also analysed similarities between country in terms of:

1) the incidence of forest fires – expressed by the number of forest fires and burnt forest area,
2) the effectiveness of forest fire protection systems – expressed by linear indices for changes in the number of forest fires, burnt forest area and mean fire area (Sen's slope value) and the mean forest fire area.

The hierarchical method of cluster analysis based on the Euclidean distances and the Ward agglomeration method was used for this purpose. Before clustering, the length variance of the data series was reduced by limiting the data to the 1990–2015 period. The values of the number of forest fires and the area of burnt forests were also normalised by expressing them per 1000 ha of a given country's forest area on the basis of information on the forest ratio of countries, provided by [17] and [18].

Tabela 1. Źródła danych o pożarach lasów
Table 1. Sources of data on forest fires

Państwo / Country	Symbol / Symbol	Okres / Period	Źródło danych /Data source
Austria	AT	1993–2015	1993–2004, 2008 [14] 2005–2007, 2009–2015 [25]
Białoruś /Belarus	BY	1990–1991 i/and 1993–2016	1990–2003 [26] 2004–2009 [27] 2010–2016 Dane z/Date from: National Statistical Committee of the Republic of Belarus (www.belstat.gov.by) [50]
Bułgaria / Bulgaria	BG	1991–2015	[25]
Chorwacja / Croatia	HR	1992–2015	[25]
Cypr / Cyprus	CY	2000–2015	[25]
Czechy / Czech Republic	CZ	1995–2015	1990–2004 [25] 2005–2015 [28]
Estonia	EE	1980–2015	1980–1999 [29] 2000–2015 [25]
Finlandia / Finland	FI	1996–2016	1996–2015 [25] 2016 [30] (tylko spalona powierzchnia/only burnt area)
Francja / France	FR	1980–2015	[25]
Grecja / Greece	GR	1980–2015	[25] (2009–2015 dane niekompletne/ incomplete data)
Hiszpania / Spain	ES	1980–2015	[25]
Irlandia / Ireland	IE	1980–2015	[31] (tylko spalona powierzchnia/only burnt area)
Kanada / Canada	CA	1980–2016	1980–1987 [32] 1988–2016 Dane z/Date from: National Forestry Database and Statistics Canada (http://nfdp.ccfm.org) [49]
Litwa / Lithuania	LT	1992–2015	[25]
Łotwa / Latvia	LV	1980–2015	[25]
Macedonia	MK	2007–2015	[25]
Niemcy / Germany	DE	1991–2015	[25]
Norwegia / Norway	NO	2001–2015	[25]
Polska /Poland	PL	1990–2015	[25]
Portugalia / Portugal	PT	1980–2015	[25]
Rumunia / Romania	RO	1990–2015	[25]
Słowacja / Slovakia	SK	1994–2015	[25]
Słowenia / Slovenia	SI	2002–2015	[25]
Stany Zjednoczone / United States	US	1980–2016	1980–2016 Dane z/Data from: U.S. National Centers for Environmental Information (www.ncdc.noaa.gov) [53]
Szwajcaria / Switzerland	CH	1980–2015	Dane z/Data from: WSL forest fire database (http://www.wsl.ch) [51]
Szwecja / Sweden	SE	1998–2015	[25]
Turcja / Turkey	TR	1990–2013	[25]
Ukraina / Ukraine	UA	1990–2015	Dane z/Data from: State Statistics Service of Ukraine (https://ukrstat.org) [52]
Węgry / Hungary	HU	1999–2015	[25]
Włochy / Italy	IT	1980–2015	[25]

Wyniki

Liczba pożarów lasu

Średnio w analizowanych krajach europejskich dochodzi corocznie do blisko 3000 pożarów lasów, podczas gdy w Ameryce Północnej (Kanada i USA) pożary zdarzają się w ujęciu bezwzględnym blisko szesnastokrotnie częściej. Przy uwzględnieniu powierzchni lasów na obu kontynentach dysproporcja ta odwraca się na niekorzyść Europy i wynosi 4,4:1 (0,6554 w Europie wobec 0,1495 na każde 1000 ha lasów w Ameryce Północnej).

Niestety Polska należy do grupy krajów, w których corocznie powstaje najwięcej pożarów lasów (tabela 2). Pod tym względem Polska plasuje się na szóstym miejscu w Europie, po Portugalii, Litwie, Słowacji, Włoszech i Cyprze. Dla zdecydowanej większości państw (19) liczba pożarów lasów wykazuje tendencję spadkową, co w 11 przypadkach potwierdzono statystycznie

Results

The number of forest fires

On average, about 3 000 forest fires occur the anaylsed countries every year, while in North America (Canada and the USA) the absolute number of fires is nearly sixteen times as high. After adjusting for the forest area on both continents, this disproportion turns unfavourably for Europe and equals to 4.4:1 (0.6554 in Europe against 0,1495 per every 1000 ha of forests in North America).

Unfortunately, Poland belongs to the cluster of countries with the highest number of forest fires per year (table 2). In this statistic Poland is sixth in Europe, behind Portugal, Latvia, Slovakia, Italy and Cyprus. In the majority of countries (19) the number of forest fires shows a downward trend, which is confirmed by statistics in 11 cases (table 2). The

 ISSN 1895-8443

(tabela 2). W grupie krajów, w których rejestruje się rosnącą liczbę pożarów, znalazły się: Austria, Portugalia, Hiszpania i Węgry (trend dodatni potwierdzony statystycznie) oraz Łotwa, Rumunia, Polska, Bułgaria, Grecja i Słowenia (trend dodatni niepotwierdzony statystycznie, tabela 2, ryc. 1). Niemniej należy zauważyć, że w przypadku Portugalii i Hiszpanii analiza krótszego przedziału czasowego (1990–2015) skutkowała co prawda nieistotnym statystycznie, ale jednak trendem ujemnym. Podobną diametralną, aczkolwiek w obu przypadkach statystycznie nieistotną, zmianę trendu zaobserwowano w przypadku Łotwy. Z kolei dla Grecji badanie krótszej serii danych skutkowało określeniem statystycznie istotnej negatywnej tendencji (tabela 2).

Spalona powierzchnia leśna

Średnio w analizowanych krajach europejskich dochodzi co roku do pożarów lasów obejmujących blisko 19000 ha powierzchni leśnej (3,91 ha na każde 1000 ha lasów), a w Ameryce Północnej pożary rokrocznie trawią ponad 2,2 mln ha lasów (6,76 ha na każde 1000 ha lasów). W Polsce w latach 1990-2015 średnio spaleniu ulegało 7504 ha lasów rocznie, tj. 0,80 ha/1000 ha lasów, co daje środkową lokatę wśród badanych krajów (tabela 3).

Statystyki dotyczące powierzchni spalonych lasów w badanych krajach wypadają jeszcze korzystniej niż dla liczby pożarów. Mianowicie aż dla 21 państw wykazano tendencję do zmniejszania się powierzchni pożarów lasów – w 12 przypadkach potwierdzoną statystycznie (tabela 3). Na tym tle bardzo pozytywnie wyróżnia się Polska, wykazując jeden z silniejszych (Z = –2,777) ujemnych trendów potwierdzonych statystycznie na poziomie α = 0,01 (ryc. 1). Tendencje wzrostowe powierzchni spalonych lasów cechują dane z USA, Łotwy i Węgier (potwierdzone statystycznie), a także z Rumunii, Austrii, Kanady, Ukrainy, Portugalii oraz Bułgarii (brak statystycznego potwierdzenia). Podobnie jak w przypadku liczby pożarów znaczenie mają długości analizowanych serii danych. Wyznaczone trendy dla Portugalii i Irlandii za skrócony okres lat 1990–2015 odwróciły się, pozostając jednakże za każdym razem statystycznie nieistotnymi, natomiast dodatnia (na poziomie α = 0,001) tendencja na Łotwie zmieniła się na przeciwną, ale już statystycznie nieistotną (tabela 3).

Powierzchnia pojedynczego pożaru lasu

W państwach europejskich średnia bezwzględna powierzchnia pojedynczego pożaru lasu wynosi 7–8 ha, podczas gdy w Ameryce Północnej równa jest 172 ha (USA 26 ha, Kanada aż 317 ha). Polska na tym tle wypada bardzo dobrze. Znajduje się w ścisłej czołówce państw, którym udaje się gasić pożary we wczesnej fazie rozwoju, minimalizując przez to straty materialne i ekologiczne. Wyprzedzają ją w tym względzie jedynie Czechy, Finlandia, Niemcy, Austria, Szwecja, Litwa i minimalnie Łotwa. Dodatkowo wartości średnich rocznych powierzchni pożaru lasu dla Polski wykazują wyraźny i istotny statystycznie trend malejący, podobnie jak w 15 innych krajach (tabela 4, ryc. 2). Dla 10 spośród nich tendencja ta została potwierdzona statystycznie, w tym również dla Polski. Trend dodatni tej cechy odnotowano w 13 państwach, z czego statystyczne jego potwierdzenie uzyskano dla USA, Łotwy, Estonii i Kanady (tabela 4). Wartość średniej powierzchni pożaru poniżej 1 ha, charakteryzująca państwa z północnej części Europy, wyraźnie wskazuje, że radzą sobie one

cluster of countries in which the number of fires has been increasing includes: Austria, Portugal, Spain and Hungary (rising trend confirmed by statistics) and Latvia, Romania, Poland, Bulgaria, Greece and Slovenia (rising trend not confirmed by statistics, table 2, fig. 1). However, it should be noted that for Portugal and Spain an analysis of a shorter time period (1990–2015) showed a downward trend, even though it was statistically insignificant. A similar diametric, but in both cases statistically insignificant change of trend was observed for Latvia. The examination of a shorter data series for Greece resulted in a statistically significant downward trend (table 2).

Burnt forest area

On average, each year in the analysed European countries forest fires cover nearly 19,000 ha of forest area (3.91 ha per 1,000 ha of forests) and in North America over 2.2 million ha (6.76 ha per 1,000 ha of forests). In 1990–2015 an average of 7,504 ha of forests was burnt in Poland, i.e. 0.80 ha/1,000 ha of forests, which is a middle position among the studied countries (table 3).

The statistics regarding the area of burnt forests in the studied countries are even more favourable than for the number of fires. For as many as 21 countries a downward trend in the forest fire area was found – statistically confirmed in 12 cases (table 3). Poland has excellent results in this field, showing one of the strongest (Z = –2.777) downward trends statistically confirmed at the level of α = 0.01 (fig. 1). Upward trends in burnt forest area were found in the USA, Latvia, Hungary (confirmed by statistics) and Romania, Austria, Canada, Ukraine, Portugal and Bulgaria (not confirmed by statistics). As with the number of fires, the lengths of the analysed data series are significant. The trends determined for Portugal and Ireland for the shortened period of 1990–2015 were reversed, while remaining statistically insignificant, whereas the positive (at the level of α = 0.001) trend in Latvia shifted to a negative, though statistically insignificant one (table 3).

Mean fire area

In European countries, the mean absolute area of a single fire is 7–8 ha, while in North America it is 172 ha (26 ha in the USA and 317 ha in Canada). Poland's results are very good in comparison. It is one of the leaders in eliminating fires at an early stage, which minimises financial and environmental losses. The only countries with better statistics in this respect are the Czech Republic, Finland, Germany, Austria, Sweden, Lithuania and, by a slight margin, Latvia. In addition, the values of mean annual forest fire areas for Poland show a clear and statistically significant downward trend, as in 15 other countries (table 4, fig. 2). For 10 of them, including Poland, this trend has been statistically confirmed. Upward trends were observed in 13 countries, and this was statistically confirmed in the USA, Latvia, Estonia and Canada (table 4). The value of mean forest fire area below 1 ha, which characterised countries in the northern part of Europe, clearly indicates that these countries are much more effective in dealing with fires, a potential result of a more

z pożarami dużo lepiej, co może wynikać ze skuteczniejszego systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego obszarów leśnych, ale niebagatelne znaczenie ma tu również czynnik klimatyczny i pogodowy, zdecydowanie mniej korzystny na południu Europy. Wyjątkiem jest tutaj Norwegia, która ze średnią 6,52 ha wyraźnie odstaje od swoich sąsiadów (tabela 4).

Skrócenie okresu analizy do lat 1990–2015 dla Estonii, Grecji i Włoch oznaczało odwrócenie wcześniej wyznaczonych tendencji, niemniej nadal nieistotnych statystycznie.

effective forest area fire protection system, but also of climate and weather conditions, which are considerably more adverse in the south of Europe. Norway is an exception here, as with the mean of 6.52 ha, it is lagging behind its neighbours (table 4).

Shortening the period of analysis to 1990–2015 for Estonia, Greece and Italy meant the reversal of the previously defined trends, although they were still statistically insignificant.

Tabela 2. Wyniki analizy liczby pożarów lasów przeliczonej na 1000 ha powierzchni leśnej

Table 2. Results of analyses of forest fires converted into 1000 ha forest area

Państwo/ Country	Okres/Period	n	$\bar{x}$	Zakres/Range	SD	Z	p	Trend
AT	1993–2015	23	0,0645	0,0039 ÷ 0,2466	0,0714	3,275	0,001	↗***
BG	1991–2015	25	0,1403	0,0191 ÷ 0,4473	0,1080	0,210	0,417	↗
BY	1990–2016	21	0,1637	0,0315 ÷ 0,5257	0,1286	–3,171	0,001	↘***
CA	1980–2016	37	0,0228	0,0136 ÷ 0,0322	0,0050	–3,518	0,000	↘***
CA	1990–2016	27	0,0215	0,0136 ÷ 0,0308	0,0048	–2,710	0,003	↘**
CH	1980–2015	36	0,0679	0,0279 ÷ 0,1994	0,0351	–0,368	0,356	↘
CH	1990–2015	26	0,0705	0,0367 ÷ 0,1994	0,0383	–1,103	0,135	↘
CY	2000–2015	16	0,9894	0,3937 ÷ 2,4725	0,5838	–3,827	0,000	↘***
CZ	1995–2015	21	0,4165	0,1762 ÷ 0,9609	0,2056	–0,574	0,283	↘
DE	1991–2015	25	0,1000	0,0376 ÷ 0,2638	0,0569	–3,573	0,000	↘***
EE	1980–2015	36	0,0637	0,0022 ÷ 0,1608	0,0451	–3,093	0,001	↘***
EE	1990–2015	26	0,0619	0,0022 ÷ 0,1608	0,0500	–3,373	0,000	↘***
ES	1980–2015	36	0,8119	0,2601 ÷ 1,4023	0,3108	2,111	0,017	↗*
ES	1990–2015	26	0,9255	0,5305 ÷ 1,4023	0,2557	–1,543	0,061	↘
FI	1996–2016	21	0,0591	0,0167 ÷ 0,1371	0,0284	–0,513	0,304	↘
FR	1980–2015	36	0,2787	0,1308 ÷ 0,4712	0,0772	–2,356	0,009	↘**
FR	1990–2015	26	0,2748	0,1308 ÷ 0,4712	0,0795	–2,513	0,006	↘**
GR	1980–2015	36	0,3790	0,1307 ÷ 0,6615	0,1353	0,163	0,435	↗
GR	1990–2015	26	0,4002	0,1307 ÷ 0,6615	0,1494	–2,336	0,010	↘**
HR	1992–2015	24	0,1440	0,0224 ÷ 0,3673	0,0823	–1,714	0,043	↘*
HU	1999–2015	17	0,3394	0,0469 ÷ 1,2841	0,3370	2,101	0,018	↗*
IT	1980–2015	36	0,9947	0,3158 ÷ 2,0075	0,3848	–4,400	0,000	↘***
IT	1990–2015	26	0,8985	0,3158 ÷ 1,5748	0,3565	–4,100	0,000	↘***
LT	1992–2015	24	2,5518	0,3716 ÷ 7,3211	2,0020	–3,275	0,001	↘***
LV	1980–2015	36	0,1902	0,0483 ÷ 0,5748	0,1271	1,376	0,084	↗
LV	1990–2015	26	0,2226	0,0483 ÷ 0,5748	0,1346	–1,102	0,135	↘
MK	2007–2015	9	0,3110	0,0628 ÷ 0,6603	0,2473	–1,564	0,059	↘
NO	2001–2015	15	0,0091	0,0020 ÷ 0,0176	0,0053	–2,672	0,004	↘**
PL	**1990–2015**	**26**	**0,9165**	**0,3739 ÷ 1,8110**	**0,3317**	**0,353**	**0,362**	↗
PT	1980–2015	36	5,7303	0,7382 ÷ 11,2181	3,0532	3,037	0,001	↗***
PT	1990–2015	26	7,0421	2,2209 ÷ 11,2181	2,3566	–0,661	0,254	↘
RO	1990–2015	26	0,0304	0,0050 ÷ 0,1328	0,0316	1,190	0,117	↗
SE	1998–2015	18	0,1580	0,0788 ÷ 0,2950	0,0515	–1,591	0,056	↘
SI	2002–2015	14	0,0785	0,0256 ÷ 0,1795	0,0429	0,109	0,456	↗
SK	1994–2015	22	2,1368	0,6546 ÷ 5,4433	1,3027	–2,285	0,011	↘*
TR	1990–2013	24	0,2910	0,1121 ÷ 2,0000	0,4032	–0,372	0,355	↘
UA	1990–2015	26	0,4078	0,1153 ÷ 0,7659	0,1737	–0,970	0,166	↘
US	1980–2016	37	0,2762	0,0603 ÷ 0,8245	0,1499	–1,478	0,070	↘
US	1990–2016	27	0,2488	0,1573 ÷ 0,3187	0,0397	–1,501	0,067	↘

n – liczba lat objętych analizą, $\bar{x}$ – średnia, SD – odchylenie standardowe, Z – Z-testowe, p – prawdopodobieństwo testowe *p*, ↗ lub ↘ – trend dodatni lub ujemny nieistotny statystycznie, ↗ lub ↘ – trend dodatni lub ujemny istotny statystycznie na poziomie α = 0,05 (*), α = 0,01 (**) lub α = 0,001 (***)
n – number of analysed years, $\bar{x}$ – mean, SD – standard deviation, Z – Z-test, p – probability, ↗ or ↘ – non-significant positive or negative trend, ↗ or ↘ – positive or negative trend statistically significant at α = 0.05 (*), α = 0.01 (**) or α = 0.001 (***)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

ISSN 1895-8443

Tabela 3. Wyniki analizy powierzchni spalonych lasów przeliczonej 1000 ha powierzchni leśnej
Table 3. Results of analyses of burnt forest areas converted into 1000 ha forest area

Państwo/ Country	Okres/Period	n	$\bar{x}$	Zakres/Range	SD	Z	p	Trend
AT	1993–2015	23	0,0201	0,0015 ÷ 0,0693	0,0177	1,215	0,1122	↗
BG	1991–2015	25	2,5087	0,1337 ÷ 15,016	3,5633	0,257	0,3986	↗
BY	1990–2016	22	0,3459	0,0085 ÷ 2,3643	0,6445	−2,143	0,0161	↘*
CA	1980–2016	37	7,0972	1,7986 ÷ 21,7059	5,4190	1,059	0,1447	↗
CA	1990–2016	27	7,0116	1,7986 ÷ 20,3722	4,8723	1,084	0,1392	↗
CH	1980–2015	36	0,2965	0,0164 ÷ 1,7436	0,4170	−3,582	0,0002	↘***
CH	1990–2015	26	0,2375	0,0164 ÷ 1,4926	0,3850	−2,204	0,0138	↘*
CY	2000–2015	16	14,3569	3,7753 ÷ 46,5200	11,0407	−1,936	0,0264	↘*
CZ	1995–2015	21	0,1757	0,0322 ÷ 0,7659	0,1757	−1,148	0,1255	↘
DE	1991–2015	25	0,0624	0,0105 ÷ 0,4298	0,0843	−3,271	0,0005	↘***
EE	1980–2015	36	0,1963	0,0013 ÷ 1,3871	0,3060	−0,041	0,4837	↘
EE	1990–2015	26	0,2538	0,0013 ÷ 1,3871	0,3442	−1,763	0,0389	↘*
ES	1980–2015	36	8,9365	2,5367 ÷ 26,3046	5,8870	−3,364	0,0004	↘***
ES	1990–2015	26	7,2618	2,5367 ÷ 23,7614	4,5260	−1,719	0,0428	↘*
FI	1996–2016	21	0,0246	0,0039 ÷ 0,0728	0,0162	−0,302	0,3813	↘
FR	1980–2015	36	1,4599	0,2124 ÷ 4,4479	1,2066	−3,555	0,0002	↘***
FR	1990–2015	26	1,1350	0,2124 ÷ 4,3133	1,0075	−2,557	0,0053	↘**
GR	1980–2015	36	11,6383	0,9011 ÷ 57,836	11,5902	−1,430	0,0763	↘
GR	1990–2015	26	10,9493	0,9011 ÷ 57,836	12,6111	−0,882	0,1890	↘
HR	1992–2015	24	6,8337	0,0978 ÷ 35,4688	7,6084	−1,860	0,0314	↘*
HU	1999–2015	17	1,6429	0,1194 ÷ 6,7556	1,7083	2,430	0,0075	↗**
IE	1980–2015	36	0,6365	0,0608 ÷ 2,0268	0,5441	−0,327	0,3719	↘
IE	1990–2015	26	0,5957	0,0608 ÷ 2,0268	0,5293	0,485	0,3139	↗
IT	1980–2015	36	11,5093	3,1275 ÷ 24,723	6,4221	−3,855	0,0001	↘***
IT	1990–2015	26	9,8484	3,1275 ÷ 24,4949	5,9047	−2,689	0,0036	↘**
LT	1992–2015	24	1,3966	0,0917 ÷ 5,5000	1,2844	−2,307	0,0105	↘*
LV	1980–2015	36	0,2183	0,0110 ÷ 2,5066	0,4418	3,119	0,0009	↗***
LV	1990–2015	26	0,2929	0,0206 ÷ 2,5066	0,5023	−0,309	0,3788	↘
MK	2007–2015	9	8,2840	0,7463 ÷ 33,0785	10,8304	−1,147	0,1257	↘
NO	2001–2015	15	0,0710	0,0039 ÷ 0,3161	0,0950	−1,188	0,1175	↘
PL	**1990–2015**	**26**	**0,7953**	**0,1366 ÷ 4,6375**	**0,9038**	**−2,777**	**0,0027**	↘**
PT	1980–2015	36	33,2777	5,4191 ÷ 133,7878	26,0173	0,667	0,2523	↗
PT	1990–2015	26	37,1949	5,4191 ÷ 133,7878	28,8734	−0,882	0,1890	↘
RO	1990–2015	26	0,1606	0,0099 ÷ 0,9655	0,2204	1,234	0,1085	↗
SE	1998–2015	18	0,0955	0,015 ÷ 0,5224	0,1220	−0,455	0,3247	↘
SI	2002–2015	14	0,3459	0,0144 ÷ 1,6827	0,5025	−1,971	0,0244	↘*
SK	1999–2015	17	2,8166	0,6082 ÷ 8,6753	2,3527	−1,237	0,1081	↘
TR	1990–2013	24	0,9362	0,2362 ÷ 3,1925	0,7325	−1,761	0,0391	↘*
UA	1990–2015	26	0,5253	0,0433 ÷ 1,5056	0,4407	0,793	0,2137	↗
US	1980–2016	37	6,4148	1,5366 ÷ 13,5477	3,5802	3,597	0,0002	↗***
US	1990–2016	27	7,3125	1,7792 ÷ 13,5477	3,6356	2,710	0,0034	↗**

n – liczba lat objętych analizą, $\bar{x}$ – średnia, SD – odchylenie standardowe, Z – Z-testowe, p – prawdopodobieństwo testowe *p*, ↗ lub ↘ – trend dodatni lub ujemny nieistotny statystycznie, ↗ lub ↘ – trend dodatni lub ujemny istotny statystycznie na poziomie α = 0,05 (*), α = 0,01 (**) lub α = 0,001 (***)
n – number of analysed years, $\bar{x}$ – mean, SD – standard deviation, Z – Z-test, p – probability, ↗ or ↘ – non-significant positive or negative trend, ↗ or ↘ – positive or negative trend statistically significant at α = 0.05 (*), α = 0.01 (**) or α = 0.001 (***)

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Tabela 4. Wyniki analizy średniej powierzchni pożaru lasu

Table 4. Results of analyses of mean forest fire area

Państwo/Country	Okres/Period	n	$\bar{x}$	Zakres/Range	SD	Z	p	Trend
AT	1993–2015	23	0,5603	0,0640 ÷ 1,9553	0,4815	−1,900	0,0286	↘*
BG	1991–2015	25	13,4424	2,9750 ÷ 33,5708	9,2526	0,160	0,4351	↗
BY	1990–2016	21	1,3527	0,2044 ÷ 13,9138	2,9213	0,150	0,4400	↗
CA	1980–2016	37	317,2099	80,7971 ÷ 884,7086	225,9652	2,130	0,0165	↗*
CA	1990–2016	27	334,9847	80,7971 ÷ 884,7086	225,2784	2,210	0,0136	↗*
CH	1980–2015	36	3,6820	0,3277 ÷ 20,2447	4,0830	−4,210	0,0000	↘***
CH	1990–2015	26	2,5269	0,3277 ÷ 11,2751	2,9454	−2,510	0,0060	↘**
CY	2000–2015	16	16,0499	5,5012 ÷ 40,3874	10,3711	0,590	0,2792	↗
CZ	1995–2015	21	0,3932	0,1381 ÷ 1,4377	0,2818	−0,630	0,2630	↘
DE	1991–2015	25	0,5053	0,2078 ÷ 1,6295	0,2886	−1,940	0,0263	↘*
EE	1980–2015	36	2,7863	0,3156 ÷ 18,0282	3,6595	2,170	0,0152	↗*
EE	1990–2015	26	3,5510	0,6000 ÷ 18,0282	4,0604	−0,570	0,2833	↘
ES	1980–2015	36	12,9459	3,5665 ÷ 39,5878	10,0680	−3,800	0,0001	↘***
ES	1990–2015	26	7,9356	3,5665 ÷ 22,7189	4,7077	−0,260	0,3957	↘
FI	1996–2016	21	0,3954	0,1919 ÷ 0,7230	0,1341	0,290	0,4639	↗
FR	1980–2015	36	4,9177	1,6230 ÷ 12,3491	3,3063	−3,500	0,0002	↘***
FR	1990–2015	26	3,8960	1,6230 ÷ 12,3491	2,5957	−2,200	0,0138	↘*
GR	1980–2015	36	29,7839	2,4222 ÷ 113,8346	23,5364	−1,430	0,0763	↘
GR	1990–2015	26	26,0928	2,4222 ÷ 113,8346	24,0667	0,260	0,3957	↗
HR	1992–2015	24	38,3948	4,3721 ÷ 96,5595	21,5351	−1,960	0,0250	↘*
HU	1999–2015	17	5,7727	1,9667 ÷ 23,54	5,1491	1,280	0,1008	↗
IT	1980–2015	36	11,3077	5,9835 ÷ 26,7318	4,1980	−1,240	0,1076	↘
IT	1990–2015	26	10,6497	5,9835 ÷ 21,4051	3,5776	0,040	0,4824	↗
LT	1992–2015	24	0,5982	0,1514 ÷ 2,0673	0,4942	−0,120	0,4506	↘
LV	1980–2015	36	0,8101	0,1055 ÷ 5,5709	0,9847	3,750	0,0001	↗***
LV	1990–2015	26	1,0340	0,3067 ÷ 5,5709	1,0806	0,480	0,3139	↗
MK	2007–2015	9	20,5475	7,4444 ÷ 50,0997	13,2453	−0,310	0,3772	↘
NO	2001–2015	15	6,5252	0,9832 ÷ 18,678	6,1166	0,200	0,4215	↗
PL	**1990–2015**	**26**	**0,8142**	**0,2640 ÷ 3,6899**	**0,6847**	**−4,320**	**0,0000**	↘***
PT	1980–2015	36	7,0141	1,2467 ÷ 18,8382	4,9944	−3,060	0,0011	↘**
PT	1990–2015	26	5,2805	1,2467 ÷ 16,2522	3,7103	−0,440	0,3297	↘
RO	1990–2015	26	4,3081	1,8378 ÷ 9,0095	1,8403	1,410	0,0792	↗
SE	1998–2015	18	0,5727	0,1686 ÷ 3,353	0,7537	−0,150	0,4398	↘
SI	2002–2015	14	3,5050	0,5143 ÷ 12,6786	3,5947	−1,860	0,0313	↘*
SK	1999–2015	17	1,4008	0,6484 ÷ 3,2553	0,5616	1,110	0,1330	↗
TR	1990–2013	24	5,1622	1,7824 ÷ 13,934	3,3315	−2,700	0,0034	↘**
UA	1990–2015	26	1,3294	0,3172 ÷ 6,8787	1,3673	0,930	0,1773	↗
US	1980–2016	37	26,0461	5,5162 ÷ 60,1239	14,7933	4,250	0,0000	↗***
US	1990–2016	27	29,8291	6,6398 ÷ 60,1239	14,9880	3,250	0,0006	↗***

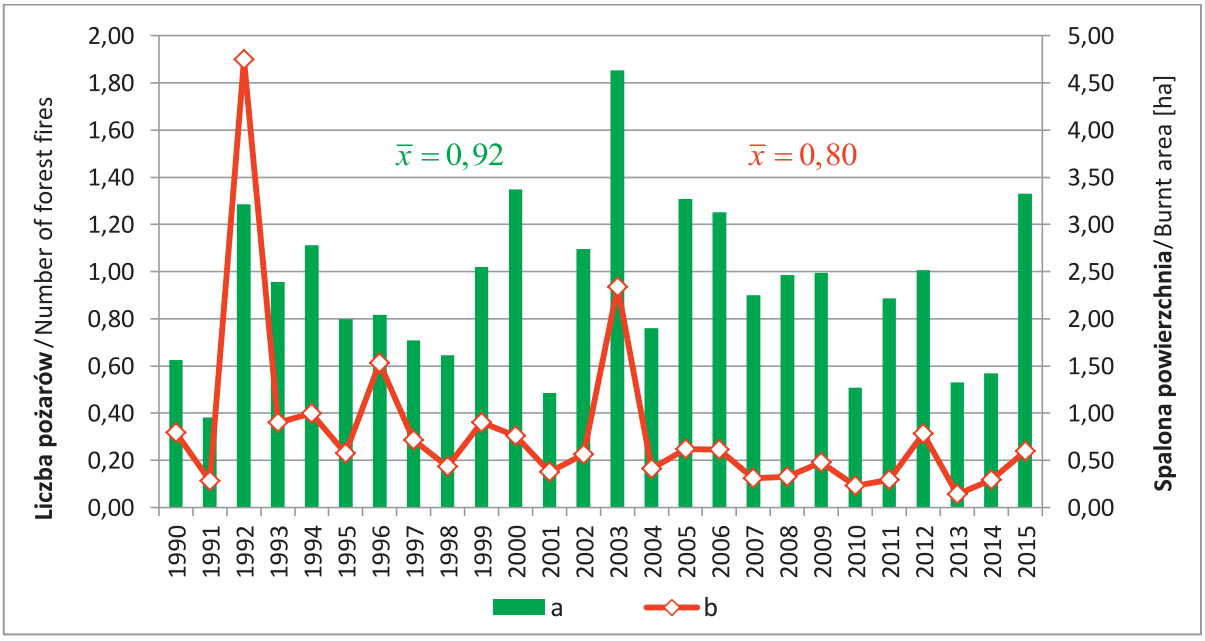
n – liczba lat objętych analizą, $\bar{x}$ – średnia, SD – odchylenie standardowe, Z – Z-testowe, p – prawdopodobieństwo testowe *p*, ↗ lub ↘ – trend dodatni lub ujemny nieistotny statystycznie, ↗ lub ↘ – trend dodatni lub ujemny istotny statystycznie na poziomie α = 0,05 (*), α = 0,01 (**) lub α = 0,001 (***)

n – number of analysed years, $\bar{x}$ – mean, SD – standard deviation, Z – Z-test, p – probability, ↗ or ↘ – non-significant positive or negative trend, ↗ or ↘ – positive or negative trend statistically significant at α = 0.05 (*), α = 0.01 (**) or α = 0.001 (***)

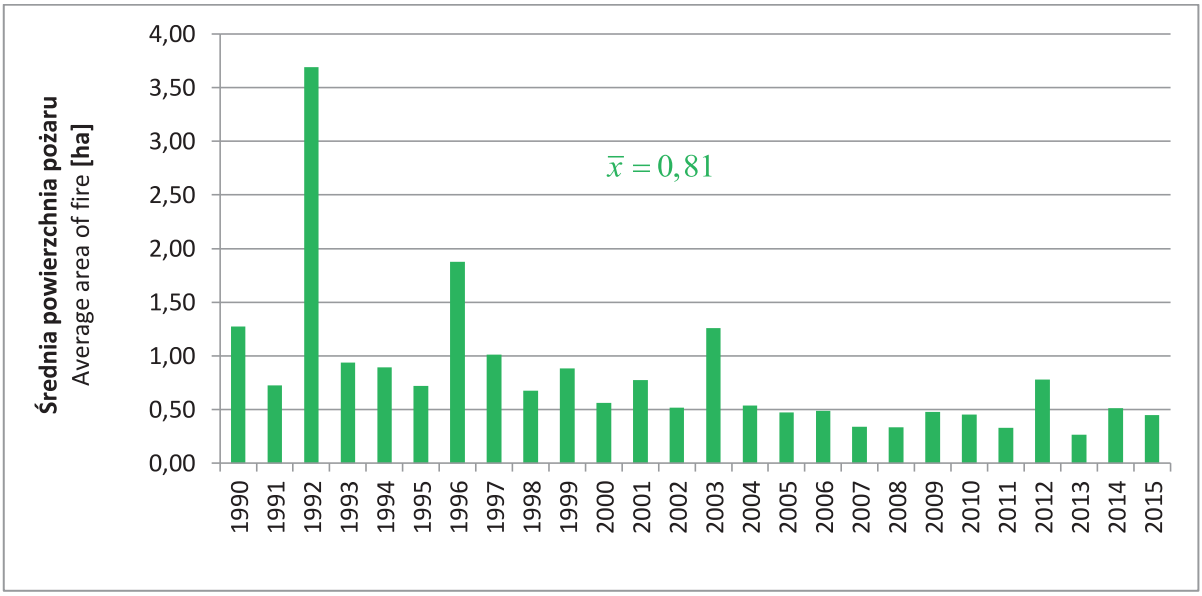
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

ISSN 1895-8443



Rycina 1. Średnia roczna liczba pożarów (a) i spalona powierzchnia (b) przeliczona na 1000 ha powierzchni leśnej w Polsce w latach 1990–2015
Figure 1. Annual average number of forest fires (a) and burnt area (b) converted into 1000 ha of forest areas in Poland in 1990–2015
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Rycina 2. Średnia powierzchnia pożaru lasu w Polsce w latach 1990–2015
Figure 2. Mean area affected by forest fire in Poland in 1990–2015
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Grupowania hierarchiczne

Analiza skupień 29 państw pod względem liczby pożarów lasów i spalonej powierzchni leśnej w latach 1990–2015 pozwoliła podzielić badane kraje na 5 zasadniczych grup, przy czym

Hierarchical clustering

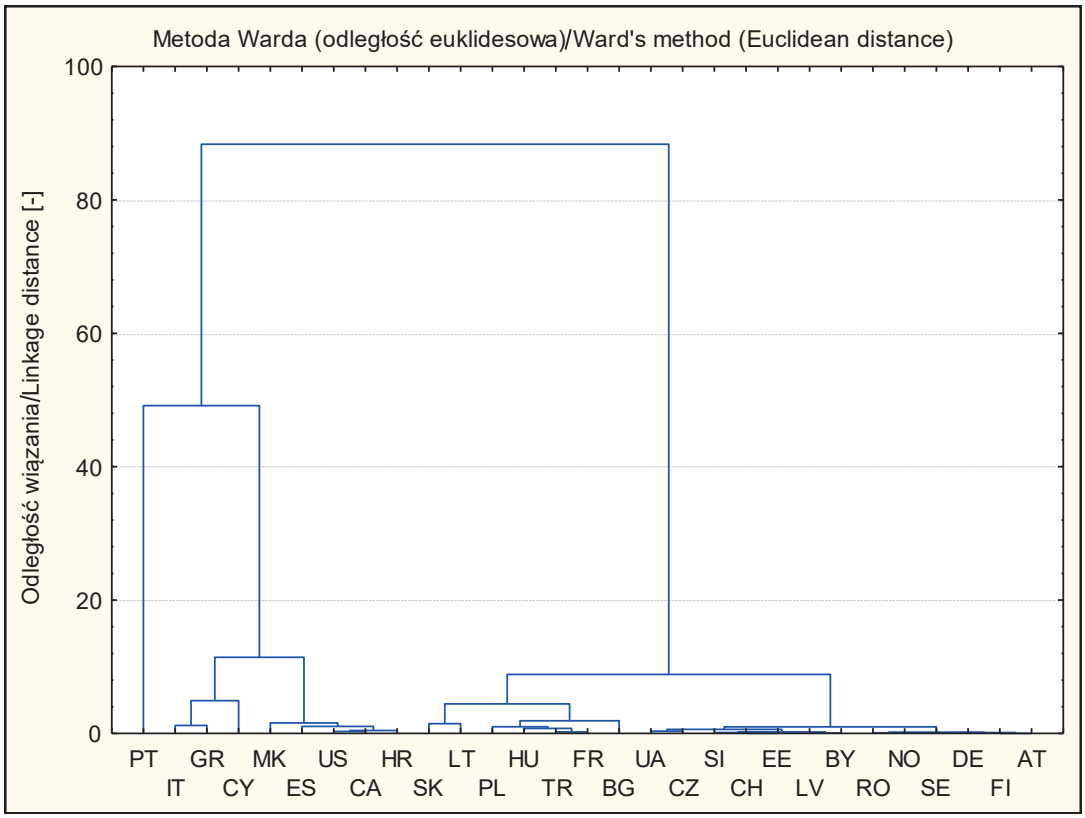
The cluster analysis of 29 countries with regard to the number of forest fires and burnt forest area in 1990–2015 made it possible to divide the analysed countries into 5 basic clusters,

najbardziej od pozostałych dystansują się Portugalia oraz Grecja, Cypr, Macedonia, Hiszpania, Stany Zjednoczone, Kanada i Chorwacja (ryc. 3). Państwa te charakteryzują wysokie wartości spalonych powierzchni leśnych oraz liczby pożarów lasów (tabele 2 i 3). Polska największe podobieństwo wykazała do Węgier, Turcji, Francji i Bułgarii. Nieco bardziej odbiega od Litwy i Słowacji (ryc. 3).

Z grupowania państw opisywanych wskaźnikami liniowego tempa zmian liczby pożarów lasów, spalonej powierzchni leśnej i powierzchni pojedynczego pożaru (wartości Sen's slope) oraz średniej powierzchni pożaru wyłączono Kanadę, ze względu na zbyt duże różnice w wartościach statystyk pożarowych w porównaniu do innych państw. Różnice te skutkowałyby zakłóceniem budowy dendrogramu. W wyniku analizy wyodrębniono 4 zasadnicze skupienia. Polskę zgrupowano z Łotwą, Słowacją, Ukrainą i Białorusią obok Finlandii, Czech, Litwy, Niemiec, Szwecji i Austrii (ryc. 4). W tej ocenie w największej odległości od pozostałych skupiły się USA, Grecja, Chorwacja, Macedonia, Cypr i Bułgaria.

in which Portugal, Greece, Cyprus, Macedonia, Spain, the USA, Canada and Croatia were lagging behind the most (fig. 3). Those countries are characterised by high values of burnt forest areas and numbers of forest fires (tables 2 and 3). Poland was the most similar to Hungary, Turkey, France and Bulgaria. It showed slightly more differences in relation to Lithuania and Slovakia (fig. 3).

Canada was excluded from clustering with the said countries using the linear indices for changes in the number of forest fires, burnt forest area and mean fire area (Sen's slope) as well as mean forest fire area, due to excessive differences in the values of fire statistics in comparison with other countries. These differences would interfere with creating the dendrogram structure. 4 basic clusters were isolated in the analysis. Poland was clustered with Latvia, Slovakia, Ukraine and Belarus, next to Finland, the Czech Republic, Lithuania, Germany, Sweden and Austria (fig. 4). In this assessment, the USA, Greece, Croatia, Macedonia, Cyprus and Bulgaria were lagging behind the most.



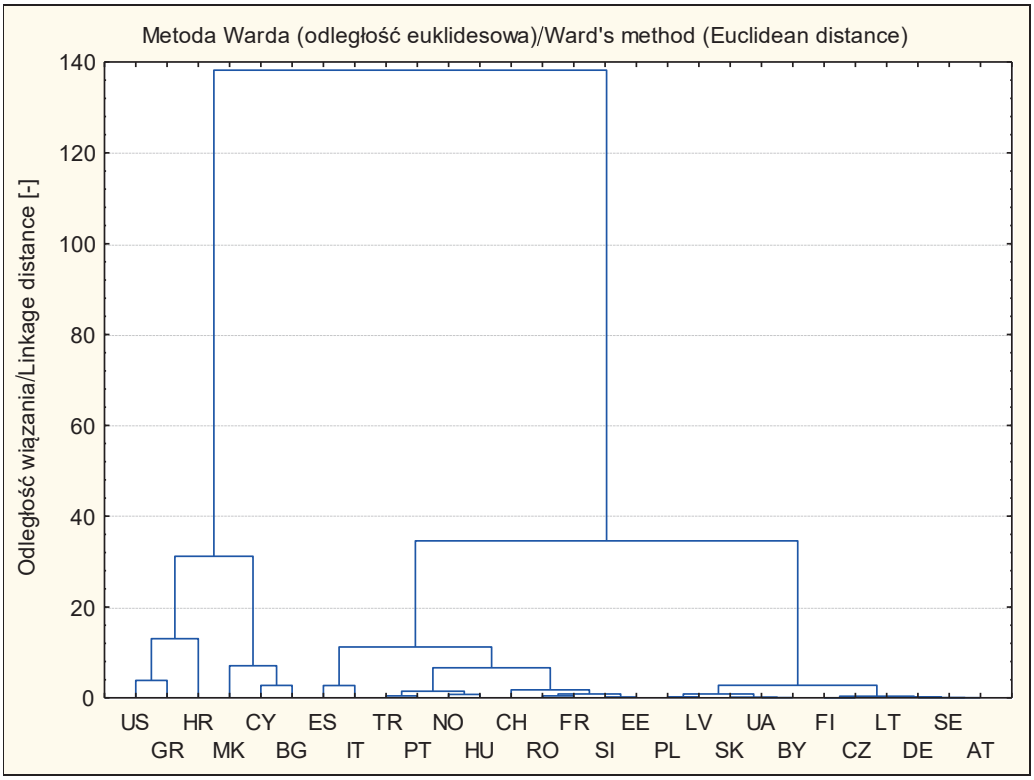
Rycina 3. Grupowanie hierarchiczne 29 krajów pod względem liczby pożarów lasów i spalonej powierzchni leśnej dla lat 1990–2015 (oznaczenia państw jak w tabeli 1)

Figure 3. Hierarchical clustering of 29 countries in terms of the number of forest fires and burnt forest area in the years 1990–2015 (countries denoted as in table 1)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

 ISSN 1895-8443



Rycina 4. Grupowanie hierarchiczne 28 krajów Europy i USA pod względem szybkości zmian liczby pożarów lasów, spalonej powierzchni leśnej i średniej powierzchni pożaru (wartości Sen's slope testu Manna-Kendalla) oraz średniej powierzchni pożaru lasu dla lat 1990-2015 (oznaczenia państw jak w tabeli 1)

Figure 4. Hierarchical clustering of 28 European countries and the USA in terms of the rate of change in the number of forest fires, burnt area and mean fire area (Sen's slope in the Mann-Kendall test) and mean fire area in the years 1990-2015 (countries denoted as in table 1)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Podsumowanie

Przewidywane zmiany klimatu w XXI wieku prawdopodobnie spowodują zwiększone ryzyko pożarów nie tylko w basenie Morza Śródziemnego, ale także w innych częściach Europy i świata. Przeprowadzone przez M. Dury i in. [33] symulacje prognozują znaczny wzrost częstości i intensywności pożarów w Europie Środkowej do 60°N, a zwłaszcza w zachodniej Francji, Polsce, Rumunii, w centralnej Rosji i na Ukrainie. Tylko Skandynawia i północna Rosja nie będą musiały stawić czoła zwiększającemu się zagrożeniu pożarowemu. W regionach podatnych na pożar oczekuje się wzrostu temperatury powietrza i zmniejszenia opadów półrocza letniego, chociaż istnieją pewne wątpliwości co do dokładnego wzorca zmiany opadów [33].

Mimo że wielu zagadnień dotyczących pożarów lasów wciąż nie udało się wyjaśnić, dzięki intensyfikacji badań nad tym zjawiskiem można coraz dokładniej poznawać rządzące nim mechanizmy. Ogólny pogląd na to, że klimat decyduje o corocznej powierzchni spalonych lasów sugeruje, że w następstwie jego ocieplenia pożary stały się i będą nadal stawać się coraz częstszym zjawiskiem [34–37]. Wpływ klimatu na częstość pożarów okazuje się jednak bardziej skomplikowany – zmienny przestrzennie i czasowo [38, 39, 40]. Na przykład przypuszcza się, że we wschodniej części Alp przyczyną sezonowych anomalii w występowaniu poża-

Summary

The climate changes predicted for the 21st century will probably contribute to a higher risk of fires not only in the Mediterranean Basin, but also in other parts of Europe and the world. The simulations prepared by M. Dury et al. [33] predict a significant increase in the frequency and intensity of fires in Central Europe up to 60°N, especially in western France, Poland, Romania, central Russia and Ukraine. Only Scandinavia and northern Russia will not have to deal with higher fire risks. Higher air temperatures and lower precipitation in the summer half-year are expected in regions susceptible to fires, although there is some doubt as to the exact pattern of precipitation changes [33].

Intensified studies of forest fires contribute to increasingly detailed knowledge about the mechanisms behind this phenomenon, although many issues have not been fully explained yet. The general view that climate determines the annual burnt forest area suggests that the global warming has made and will continue to make fires an increasingly frequent occurrence [34–37]. However, the impact of climate on the frequency of fires appears more complex and involves spatial and temporal variations [38, 39, 40]. For example, it is surmised that the seasonal forest fire anomalies in the eastern Alps are

rów lasów jest nie tylko sam opad, ale również kombinacja okresów suszy i wyższych temperatur [41]. Pomimo że pogoda i klimat nie są jedynymi mechanizmami wpływającymi na powstawanie pożarów lasów, określają one warunki inicjowania pożaru i jego rozprzestrzenianie po wystąpieniu zapłonu. Pozostają także kluczowymi czynnikami do wyjaśnienia przestrzennej i czasowej zmienności pożarów we wszystkich skalach [42].

Dysponując dokładniejszymi, wieloletnimi statystykami, można analizować zmienność zagrożenia pożarowego i występowania pożarów w aspekcie warunków pogodowych, odnosząc je, np. do pór roku, miesięcy, dni czy regionów geograficznych, precyzyjnie ustalając, jakich przemian jesteśmy świadkami i czego możemy spodziewać się w przyszłości [39, 41]. Na przykład amerykańskie badania J.R. Marlon i in. [43] dowodzą, że obecnie znajdujemy się w cyklicznie pojawiającym się na Ziemi okresie nazwanym *fire deficit*, współcześnie będącym konsekwencją nie tylko niższych temperatur w przeszłości, ale również skutkiem działalności człowieka i ekologicznych efektów jego wysokiej aktywności przeciwpożarowej. Bazując wyłącznie na danych dotyczących pożarów, uznali oni, że rozmiar powierzchni spalonych w XIX i XX wieku nie był anomalny. Jednakże zwracają również uwagę na to, iż pomimo braku niezwykłości w poziomie spalania biomasy, jest on wyraźnie pozbawiony równowagi z obecnym klimatem.

Przeprowadzone w ramach niniejszej pracy badania dla 30 krajów generalnie nie potwierdziły poglądów dotyczących prognoz zwiększania się liczby pożarów lasów i rozmiaru spalonych powierzchni leśnych jako konsekwencji zmian klimatycznych [11–16]. Niemniej dla niektórych państw odnotowano potwierdzone statystycznie niepokojące trendy rosnące tych cech.

Nagromadzenie materiałów palnych w poprzednich latach [43] w połączeniu ze wzrostem temperatury i częstości występowania susz [44] stanowić będzie duże wyzwanie dla systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych obszarów leśnych. Póki co najwyższa ich skuteczność, opisywana niską wartością średniej powierzchni pożaru lasu, odnotowana została w krajach Europy Środkowej i Północnej. Należy jednakże pamiętać, że zazwyczaj charakteryzują się one niższym stopniem zagrożenia pożarowego, a wiarygodność użytego wskaźnika zależy od jakości zgromadzonych danych. W statystykach pożarów lasów występują problemy z właściwą rejestracją pożarów o najmniejszej powierzchni – do 1 ha [41, 45].

Przewidywanie występowania pożarów w nadchodzących dziesięcioleciach wymaga, oprócz badań nad klimatem, pełnej wiedzy o aspektach społeczno-ekonomicznych mających wpływ na pożary i ich gaszenie [41, 42, 46, 47, 48]. Ponadto w przypadku szacowania przyszłych warunków pożarowych należy opracować prognozy ekologiczne, związane ze zmianami w strukturze lasów i dominujących gatunków drzew. Wszechstronność tego problemu podkreśla znaczenie interdyscyplinarnych badań nad pożarami lasów [42].

not caused only by precipitation, but also a combination of drought and high temperature periods [41]. Although weather and climate are not the only mechanisms contributing to the occurrence of forest fires, they determine the conditions of fire initiation and propagation. They also remain the key factors in explaining the spatial and temporal variability of fires in all scales [42].

Equipped with more precise, multi-year statistics, we can analyse the variability of fire threats and fire occurrence in the aspect of weather conditions, with reference to e.g. seasons, months, days or geographical regions, while precisely determining the changes witnessed and what is to be expected in the future [39, 41]. For example, the US study of J.R. Marlon et al. [43] proves that we are currently going through a global cycle known as the *fire deficit*, which results not only from lower temperatures in the past, but also from human activity and the environmental effects of the measures taken to prevent fires. Taking data on fires as the only basis for research, the scientists determined that the burnt area in the 19th and 20th centuries was not anomalous. However, they also point out that despite the ordinary level of burnt biomass, it is also clearly not as high as the current climate would suggest.

The studies of 30 countries conducted as part of this study generally did not confirm the view that the number of forest fires and burnt area are increasing as a result of climate change [11–16]. Nevertheless, in some countries statistically disturbing trends were observed for these characteristics.

The concentration of combustible material in the previous years [43], combined with increased temperatures and more frequent droughts [44], will pose a significant challenge for the fire protection systems of forest areas. So far, the most effective systems, as seen in the low values of mean forest fire area, were observed in the countries of Central and Northern Europe. It should be noted, though, that these countries usually deal with a lower fire hazard and that the reliability of the indicator used depends on the quality of collected data. Forest fire statistics show problems with the correct recording of lowest-area fires of up to 1 ha [41, 45].

To predict the incidence of fires in the coming decades, in addition to climate studies, we need a thorough knowledge of the socio-economic aspects influencing fires and fire-fighting activities [41, 42, 46, 47, 48]. Furthermore, to estimate the future fire conditions we need ecological forecasts focusing on the changes in forest structure and the dominant tree species. The extensive nature of this problem emphasises the significance of interdisciplinary research on forest fires [42].

Wnioski

1. Wyniki przeprowadzonych badań nie potwierdziły poglądów o możliwości zwiększania się liczby pożarów lasów i rozmiaru spalonych powierzchni leśnych w konsekwencji

Conclusions

1. The results of the studies did not confirm the opinions that the number of forest fires and the burnt forest area were potentially increasing due to climate change,

ISSN 1895-8443

zmian ziemskiego klimatu, gdyż dla większości analizowanych krajów tendencje dla obu tych cech są malejące.

2. Pomimo zmian klimatycznych badane państwa dobrze radzą sobie z pożarami lasów, czego dowodem może być fakt, iż tylko w 4 przypadkach (USA, Łotwy, Estonii i Kanady) statystycznie potwierdzono dodatni trend dla średniej powierzchni pożaru lasu. Świadczy to o wysokiej skuteczności krajowych systemów zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów.
3. Niska wartość średniej powierzchni pojedynczego pożaru lasu pozwala zaliczyć Polskę, razem z Czechami, Finlandią, Niemcami, Austrią, Szwecją, Litwą i Łotwą, do grupy państw, w których skuteczność przeciwpożarowego zabezpieczenia obszarów leśnych jest najwyższa w Europie.
4. Cechą wyróżniającą Polskę na tle wyżej wymienionych krajów jest odnotowana najsilniejsza tendencja spadkowa średniej powierzchni pojedynczego pożaru, która pozwala przypuszczać, iż proces doskonalenia przeciwpożarowego systemu zabezpieczenia polskich lasów jeszcze się nie zakończył.
5. Pod względem liczby pożarów oraz spalonej powierzchni Polska tworzy wspólną grupę z Węgrami, Turcją, Francją i Bułgarią oraz Litwą i Słowacją.
6. Grupowanie z użyciem wskaźników liniowego tempa zmian liczby pożarów, spalonej powierzchni i średniej powierzchni pożaru (wartości *Sen's slope*) oraz średniej powierzchni pożaru lasu skupia Polskę obok Łotwy, Słowacji, Ukrainy i Białorusi, a także Finlandii, Czech, Litwy, Niemiec, Szwecji i Austrii. W tej ocenie w największej odległości od pozostałych państw skupiały się USA, Grecja, Chorwacja, Macedonia, Cypr i Bułgaria.
7. Fundamentem wiarygodności prowadzonych tego typu badań są długie i poprawnie utworzone serie danych, stąd należy dołożyć wszelkich starań, aby jak największa liczba państw zbierała informacje o pożarach lasów w sposób konsekwentny i ujednolicony.

because in most analysed countries, downward trends were identified for both indices.

2. Despite the climate change, the studied countries have had some success in fighting forest fires, which is evidenced by the fact that only in 4 cases (the US, Latvia, Estonia and Canada) an upward trend in the mean forest fire area was statistically confirmed. This proves the high efficiency of national forest fire protection systems.
3. The low value of the mean fire area places Poland alongside the Czech Republic, Finland, Germany, Austria, Sweden, Lithuania and Latvia in the cluster of countries in which the effectiveness of forest area fire protection is the highest in Europe.
4. Poland stands out against the above-mentioned countries, having the strongest downward trend in the mean forest fire area observed, which leads to the conclusion that the process of improving the fire protection system of Polish forests is still ongoing.
5. In terms of the number of fires and burnt forested area Poland is clustered with Hungary, Turkey, France and Bulgaria, as well as Lithuania and Slovakia.
6. Clustering using linear indices for changes in the number of forest fires, burnt area and mean fire area (Sen's slope) as well as mean forest fire area, places Poland next to Latvia, Slovakia, Ukraine and Belarus, Finland, the Czech Republic, Lithuania, Germany, Sweden and Austria. In this assessment, the US, Greece, Croatia, Macedonia, Cyprus and Bulgaria were lagging behind the most.
7. Long and correctly generated data series are needed to ensure the reliability of such research, which is why all effort should be made for as many countries as possible to collect information on forest fires in a consistent and unified manner.

Literatura/Literature

[1] Brown J.K., Smith J.K. (eds.), *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora*, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 2. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station 2000, 1–257.

[2] Smith J.K. (ed.), L. Lyon J.L., Huff M.H., Hooper R.G., Telfer E.S., Schreiner D.S., *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna*, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 1. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station 2000, 1–83.

[3] Szczygieł R., *Wielkoobszarowe pożary lasów w Polsce*, BiTP Vol. 25 Issue 1, 2012, pp. 67–78.

[4] Piwnicki J., Szczygieł R., Ubysz B., Analiza ekonomiczna funkcjonowania ochrony przeciwpożarowej lasu z podziałem na zadania obligatoryjne i dodatkowe (zalecenia dla praktyki leśnej), Warszawa 2005, 1–24.

[5] Sandberg D.V., Ottmar R.D., Peterson J.L., Core J., *Wildland fire on ecosystems: effects of fire on air*, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 5. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station 2002, 1–79.

[6] Trofimova N.V., Suchinin A.I., *Ocena zanieczyszczenia środowiska emisjami dymowymi z pożarów lasu na podstawie danych satelitarnych*, „Leśne Prace Badawcze" 2005, 3, 7–15.

[7] Schultz M.G., Heil A., Hoelzemann J.J., Spessa A., Thonicke K., Goldammer J.G., Held A.C., Pereira J.M.C., van het Bolscher M., *Global wildland fire emissions from 1960 to 2000*, "Global Biogeochemical Cycles" 2008, 22 (2).

[8] Mouillot F., Field C.B., *Fire history and the global carbon budget: a 1°×1° fire history reconstruction for the 20th century*, "Global Change Biology" 2005, 11, 398–420.

[9] Zarzycki J., *Bezpieczeństwo pożarowe lasów w powiecie – cz. 1.*, „Przegląd Pożarniczy" 2012, 2, 26–29.

[10] Kwiatkowski M., Szczygieł R., *System zabezpieczenia przeciwpożarowego obszarów leśnych*, „Zabezpieczenia" 2013, 4, 16–19.

[11] Szczygieł R., Ubysz B., Piwnicki J., *Impact from global warming on the occurrence of forest fires in Poland*, [in:] *Proceedings of the 4th International Wildland Fire Conference*, Seville 13–17 May, 2007.

[12] Grajewski S., *Potencjalny wpływ zmian klimatycznych na gospodarkę leśną centralnej Wielkopolski*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich" 2010, 14, 109–123.

[13] Wąs M., Grajewski S., *Zmienność parametrów klimatycznych i ich wpływ na gospodarkę leśną Nadleśnictwa Kaliska*, „Zarządzanie Ochroną Przyrody w Lasach" 2011, 5, 132–153.

[14] Müller M.M., Vacik H., Valese E., *Anomalies of the Austrian forest fire regime in comparison with other Alpine countries: a research note*, "Forests" 2015, 6(4), 903–913.

[15] Goldammer J.G., Nikolov N., Climate change and forest fires risk. Proceedings of the European and Mediterranean Workshop, Climate change impact on water-related and marine risks, Murcia (Spain), 26-27 October, 2009.

[16] Spracklen D.V., Mickley L.J., Logan J.A., Hudman R.C., Yevich R., Flannigan M.D., *Westerling A.L. Impacts of climate change from 2000 to 2050 on wildfire activity and carbonaceous aerosol concentrations in the Western United States*, "Journal of Geophysical Research" 2009, 114(D2030).

[17] Forest Europe 2015: State of Europe's Forests, Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Forest Europe Liaison Unit, Madrid 2015, 1–312.

[18] World Development Indicators, http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.K2, [dostęp: 30.04.2017].

[19] Hamed K.H., Rao A.R., *A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data*, "Journal of Hydrology" 1998, 204(1–4), 182–196.

[20] Węglarczyk S., *Statystyka w inżynierii środowiska*, Wydawnictwo PK, Kraków 2010, 1–375.

[21] Yue S., Pilon P., Cavadias G., *Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series*, "Journal of Hydrology" 2002, 259(1–4), 254–271.

[22] Yue S., Wang C.Y., *The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series*, "Water Resour. Manag." 2004, 18, 201–218.

[23] Banasik K., Hejduk L., Hejduk A., Kaznowska E., Banasik J., Byczkowski A., *Wieloletnia zmienność odpływu z małej zlewni rzecznej w regionie Puszczy Kozienickiej*, „Sylwan" 2013, 157 (8), 578–586.

[24] Krysztofiak-Kaniewska A., Miler A.T., Ziemblińska K., Wróbel M., *Trend analysis of changes in soil moisture from the different depths in the Martew Forestry*, "Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich", 2016, IV(1), 1157–1167.

[25] San-Miguel-Ayanz J., Durrant T., Boca R., Libertà G., Boccacci F., Di Leo M., López Pérez J., Schulte E., Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2015. Joint report of JRC and Directorate-General Environment, EUR 28158 EN, 2016.

[26] FRA 2010/019 Country Report. Belarus. Global Forest Resources Assessment, Country Reports, Belarus. Forestry Department Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 2010, 1–50.

[27] Sinelnikov A., *Belarus – preparedness for the fire season 2010*, "International Forest Fire News (IFFN)" 2010, 40, 58–60.

[28] Vonásek V., Lukeš P. Statistická ročenka 2015, Požární ochrana. Integrovaný záchranný system. Hasičský záchranný sbor ČR. Česká republika, Ministerstvo vnitra-generální ředitelství, Hasičského záchranného sboru České republiky, Praha 2016, 1–43.

[29] Aastaraamat Mets 2014. Keskkonnaagentuur, Tallinn 2016, 1–225,

[30] Vainio T., E-mail information from Mr. Taito Vainio, Project Manager, Ministerial Adviser, Ministry of the Interior, Department for Rescue Services, Finland 2017.

[31] Ireland's Forests – Annual Statistics 2016. Annual Forest Sector Statistic. The Forest Service of the Department of Agriculture, Food and the Marine, 2016, 1–61

[32] Ramsey G.S., Higgins D.G., Canadian Forest Fire Statistics 1980 and Canadian Forest Fire Statistics 1981, 1982, 1983, 1984–1987, Canadian Forest Service and National Forestry Database, 2017.

[33] Dury M., Hambuckers A., Warnant P., Henrot A., Favre E., Ouberdous M., François L., *Responses of European forest ecosystems to 21st century climate: assessing changes in interannual variability and fire intensity*, "iForest" 2011, 4, 82–99.

[34] Gillett N.P., Weaver A.J., Zwiers F.W., Flannigan M.D., *Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires*, "Geophysical Research Letters" 2004, L18211, 31.

[35] Flannigan M.D., Logan K.A., Amiro B.D., Skinner W.R., Stocks B.J., *Future area burned in Canada*, "Climatic Change", 2005, 72, 1–16.

[36] Soja A.J., Tchebakova N.M., French N.H.F., Flannigan M.D., Shugart H.H., Stocks B.J., Sukhinin A.I., Parfenova E.I., Chapin F.S.III, Stackhouse P.W.J., *Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations*, "Global and Planetary Change" 2007, 56, 274–296.

[37] Brotons L., Aquilué N., de Cáceres M., Fortin M.J., Fall A., *How Fire History, Fire Suppression Practices and Climate Change Affect Wildfire Regimes in Mediterranean Landscapes*, "PLoS ONE" 2013, 8, e62392.

[38] Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M., *Implications of changing climate for global wildland fire*, "International Journal of Wildland Fire" 2009, 18, 483–507.

[39] Wallenius T.H., Pennanen J., Burton P.J., *Long-term decreasing trend in forest fires in Northwestern Canada*, "Ecosphere" 2011, 2(5), art53.

[40] Mäkelä H.M., Laapas M., Venäläinen A., *Long-term temporal changes in the occurrence of a high forest fire danger in Finland*, "Nat. Hazards Earth Syst. Sci." 2012, 12, 2591–2601.

[41] Valese E., Conedera M., Held A.C., Ascoli D., Fire, humans and landscape in the European Alpine region during the Holocene, "Anthropocene" 2014, 6, 63–74.

[42] Venäläinen A., Korhonen N., Hyvärinen O., Koutsias N., Xystrakis F., Urbieta I.R., Moreno J.M., *Temporal variations and change in forest fire danger in Europe for 1960–2012*, "Nat. Hazards Earth Syst. Sci." 2014, 14, 1477–1490.

[43] Marlon J.R., Bartlein P.J., Gavin D.G., Long C.J., Anderson R.S., Briles C.E., Brown K.J., Colombaroli D., Hallett D.J., Power M.J., Scharf E.A., Walsh M.K., *Long-term perspective on wildfires in the western USA*, "PNAS" 2012, E535–E543.

[44] IPCC. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri R.K. and Meyer L.A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland 2014, 1–151.

[45] Turco M., Bedia J., Di Liberto F., Fiorucci P., von Hardenberg J., Koutsias N., Llasat M-C., Xystrakis F., Provenzale A., *Decreasing Fires in Mediterranean Europe*, "PLoS One" 2016, 11(3), e0150663.

[46] Arndt N., Vacik H., Koch V., Arpaci A., Gossow H., *Modeling human-caused forest fire ignition for assessing forest fire danger in Austria*, "iForest" 2013, 6, 315–325.

[47] Arpaci A., Malowerschnig B., Sass O., Vacik H., *Using multi variate data mining techniques for estimating fire susceptibility of Tyrolean forests*, "Appl. Geogr." 2014, 53, 258–270.

[48] Ruffault J., Mouillot F., *How a new fire-suppression policy can abruptly reshape the fire-weather relationship*, "Ecosphere", 2015, 6: art199.

[49] http://nfdp.ccfm.org [dostęp: 2.02.2017].

[50] http://www.belstat.gov.by [dostęp: 30.04.2017].

[51] http://www.wsl.ch [dostęp: 18.05.2016].

[52] https://ukrstat.org [dostęp: 30.04.2017].

[53] https://www.ncdc.noaa.gov [dostęp: 30.04.2017].

 ISSN 1895-8443

DR INŻ. SYLWESTER MAREK GRAJEWSKI – absolwent Wydziału Leśnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, adiunkt w Katedrze Inżynierii Leśnej UP w Poznaniu. Zainteresowania zawodowe koncentrują się na problematyce szeroko pojętych technicznych elementów ochrony lasu. W ostatnich latach szczególnym zainteresowaniem obdarzył leśne sieci drogowe, w tym dojazdy pożarowe i ich dostosowanie do wymogów pojazdów gaśniczych współcześnie wykorzystywanych przez jednostki straży pożarnych. Autor i współautor ponad 110 publikacji.

SYLWESTER MAREK GRAJEWSKI, PH.D. ENG. – graduate of the Faculty of Forestry of the Poznań University of Life Sciences (UP), assistant professor at the Department of Forest Engineering of UP in Poznań. His professional interests include various technical elements of forest protection. In recent years he focused primarily on forest road networks, including fire-department access roads and their adjustment to the requirements of fire engines currently used by fire departments. He authored and co-authored more than 110 publications.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania: Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza" – typ zadania: stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji finansowane w ramach umowy 935/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.