

Hanna SAKOWSKA*

METODA OCENY WIELKOOBSZAROWEGO ZAGROŻENIA POŻAROWEGO LASÓW W POLSCE NA PODSTAWIE PRZEWIDYWANYCH ZMIAN WILGOTNOŚCI ŚCIÓŁKI SOSNOWEJ

**A METHOD OF ASSESSING LARGE-AREA FOREST FIRE RISK IN POLAND
BASED ON PREDICTED CHANGES IN THE PINE LITTER HUMIDITY**

***Abstract.** The developed method is an extension of the capabilities of the existing forest fire risk monitoring system in Poland. The analysis of data obtained during the monitoring of fire risk in individual prognostic zones in the years 1991–2000 showed the possibility of determining the trends of changes in forest fire risk both in specific zones and throughout the country. A statistical analysis of the most flammable period of the 1990s, i.e. 1992–1996 enabled to estimate litter humidity and to predict the forest fire risk based on the anticipated meteorological conditions and relative air humidity. After the completion of the significance analysis of the impact of the studied factors on litter humidity, the formulas were developed to calculate it taking into consideration atmospheric precipitation, air humidity and air temperature.*

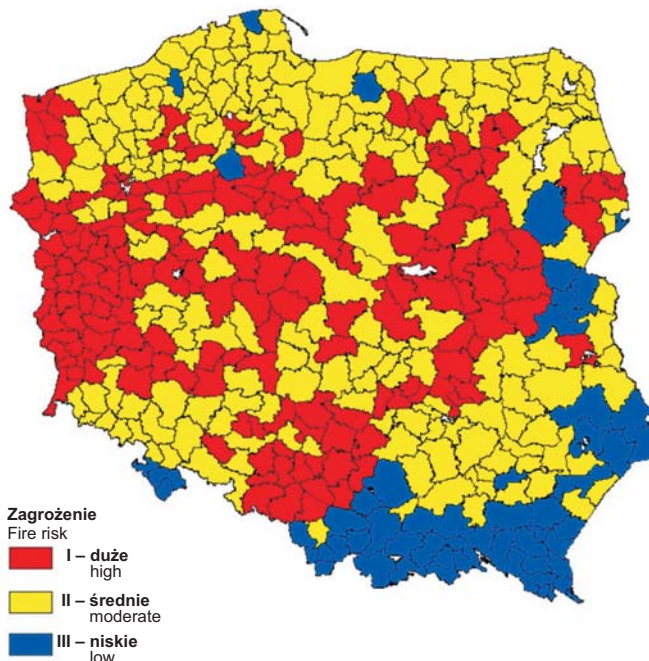
***Key words:** fire risk, forest protection, meteorological condition.*

* Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: hanna_sakowska@sggw.pl

1. WSTĘP

W Polsce w okresie międzywojennym nie było opracowań naukowych dotyczących zagrożenia pożarowego lasów. W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku wstępne prace podjął ówczesny Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny (Przedpeńska i Gałka 1968). Prace prowadzone przez PIHM nie dały pozytywnych rezultatów i dlatego nie zostały upowszechnione. Kolejne badania z tego zakresu podjął Zakład Ochrony Przeciwpożarowej Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa pod kierunkiem prof. dr. hab. Tytusa Karlikowskiego w 1964 roku i dotyczyły one głównie opracowania metod oceny zagrożenia pożarowego potencjalnego i aktualnego (Karlikowski 1975; Karlikowski i in. 1968, 1975, 1993; Santorski 1993).

Ocena potencjalnego zagrożenia pożarowego obszarów leśnych, w Polsce określana jako kategoryzacja obszarów leśnych w zależności od zagrożenia pożarowego, oparta jest na wieloskładnikowej klasyfikacji, w której wykorzystuje się: skład gatunkowy drzewostanów, wiek drzewostanów, warunki klimatyczne, położenie geograficzne (ośrodki przemysłowe, aglomeracje miejskie) oraz częstotliwość występowania pożarów w lasach państwowych w ostatnim dziesięcioleciu. Końcowym efektem tej oceny jest zaliczenie danego obszaru (np. nadleśnictwa) do jednej z trzech kategorii zagrożenia pożarowego (III kategoria – zagrożenie najniższe, II – średnie i I – najwyższe). Potencjalne zagrożenie pożarowe lasów w Polsce dotyczy ok. 83% powierzchni – 7,4 mln ha (ryc. 1).



Ryc. 1. Kategorie zagrożenia pożarowego lasów w Polsce (stan w roku 2003)

Fig. 1. Categories of forest fire risk in Poland (status as of 2003)



Ryc. 2. Podział kraju na strefy prognozowania zagrożenia pożarowego. Kolor biały – obszar nie objęty prognozą

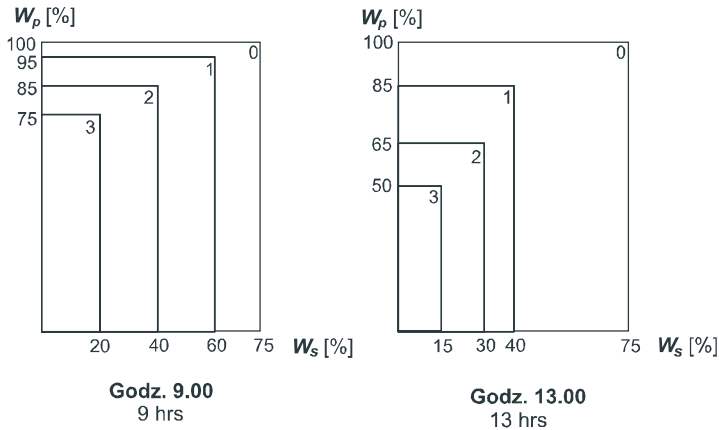
Fig. 2. Division of the country into forest fire risk prognostic zones. White colour – area not subject to forecast

Potencjalne zagrożenie pożarowe jest wynikiem równoczesnego oddziaływania wielu niekorzystnych czynników, które powodując pogorszenie stanu zdrowotnego lasów sprawiają, że stają się one bardziej podatne na powstawanie i rozprzestrzenianie się pożarów.

Równoległe z kategoryzacją zagrożenia pożarowego obszarów leśnych została wprowadzona do praktyki ocena aktualnego zagrożenia pożarowego, czyli jego codzienne monitorowanie w okresie palności, trwającym na ogół 200–240 dni w roku. Ocena ta, zwana metodą IBL (Karlikowski i in. 1975), opiera się na wynikach pomiarów wilgotności ściółki sosnowej i wilgotności względnej powietrza, korygowanych przez poprawkę opadów atmosferycznych. Lasy całej Polski podzielone są na 34 strefy prognostyczne (ryc. 2).

W strefach tych dwa razy w ciągu dnia (o godzinie 9:00 i 13:00) określany jest stopień zagrożenia pożarowego lasów (SZPL) przez pożary. Aktualnie obowiązuje skala czterostopniowa: 0 – brak zagrożenia, 1, 2, 3 – stopnie wzrastającego zagrożenia (ryc. 3).

Wypracowany w Polsce na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat system ochrony przeciwpożarowej obszarów leśnych sprawdził się, przynosząc zmniejszenie średniej wielkości powierzchni spalonej podczas jednego pożaru z 1,48 ha (lata 1976–1980) do poniżej 1 ha w latach dziewięćdziesiątych (jedynie w katastrofalnym roku 1992 średnia wielkość powierzchni spalonej podczas jednego pożaru lasu wyniosła 2,56 ha). W pierwszych czterech latach XXI wieku średnia wielkość powierzchni pożaru nie przekraczała 0,51 ha (Szczygieł i Ubysz 2004, Ubysz i in. 2000).



Ryc. 3. Progi wilgotności ściółki (W_s) i wilgotności względnej powietrza (W_p) przy określaniu stopni zagrożenia pożarowego lasów

Fig. 3. Levels of forest litter moisture (W_s) and air relative humidity (W_p) in determining fire risk levels in forests

2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem badań było opracowanie metody oceny wielkoobszarowego zagrożenia pożarowego lasów w Polsce na podstawie przewidywanych zmian wilgotności ściółki z uwzględnieniem istniejącego systemu monitorowania lasów.

Zakres badań dotyczył wpływu czynników meteorologicznych na poziom zagrożenia pożarowego lasów w skali całego kraju.

3. METODYKA PRACY

3.1. Założenia metodyczne

Założenie metodyczne pracy oparto na dążeniu do:

1) ustalenia sposobu oceny ogólnokrajowego zagrożenia pożarowego lasów w Polsce na podstawie istniejącego systemu monitorowania zagrożenia pożarowego lasu w poszczególnych strefach prognostycznych,

2) określenia przewidywanej wartości wilgotności ściółki sosnowej, a także stopnia zagrożenia pożarowego lasu na podstawie spodziewanych warunków meteorologicznych i wilgotności względnej powietrza – poprzez zbadanie zależności wilgotności ściółki od wartości czynników meteorologicznych.

Opracowana metoda prognozowania zagrożenia pożarowego lasu umożliwi w praktyce podejmowanie wcześniejszych działań organizacyjnych, zapobiegających powstaniu pożarów lub ich nadmiernemu rozprzestrzenieniu się.

3.2. Sposób oceny ogólnokrajowego zagrożenia pożarowego lasów w Polsce na podstawie istniejącego systemu monitorowania zagrożenia pożarowego lasu w poszczególnych strefach prognostycznych

Wyboru sposobu oceny wielkoobszarowego zagrożenia pożarowego lasów w Polsce dokonano na podstawie analizy matematycznej danych dotyczących oceny zagrożenia pożarowego lasów w sezonach palności w okresie lat 1991–2000, pochodzących z istniejącego zbioru danych w systemie monitorowania zagrożenia pożarowego lasów w poszczególnych strefach prognostycznych z różnych lat.

Dzięki codziennemu prognozowaniu znano poziom zagrożenia pożarowego na obszarze strefy. Porównanie wartości stopnia zagrożenia pożarowego lasu z kolejnych terminów obserwacji wskazywało na tendencję zmian zagrożenia (utrzymanie się, wzrost lub zmniejszenie się) w strefie. W tej sytuacji postawiono pytanie, czy możliwe jest określenie takiej tendencji dla obszaru całej Polski. Od 1992 roku obliczano średni stopień zagrożenia pożarowego lasu, nazwany ogólnokrajowym stopniem zagrożenia pożarowego lasów dla kraju (OSZPL), na podstawie informacji o stopniach zagrożenia pożarowego lasu (SZPL) w strefach uzyskanych podczas badań wstępnych. Stopień ten porównano z liczbą pożarów, które w analizowanym okresie (dzień, miesiąc, rok, okres wieloletni) powstały. Dane dotyczące liczby pożarów pozyskiwano na bieżąco z Krajowego Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej (KG PSP). Obejmowały one wszystkie pożary na terenach leśnych, niezależnie od rodzaju ich własności.

Dane te wykorzystano do analizy zagrożenia w danym dniu (przykład 1) lub w wybranym okresie (przykład 2). Porównanie wartości stopnia zagrożenia pożarowego lasu z kolejnych terminów obserwacji informowało o tendencji zmian tego zagrożenia w kraju (wzroście, spadku lub zachowaniu poziomu aktualnego) lub na wybranym obszarze. Możliwe było też śledzenie przebiegu zagrożenia pożarowego w wybranym okresie, porównywanie wartości zagrożenia pożarowego z analizowanego okresu z wartościami przeciętnymi.

Wskaźnik OSZPL wyznaczono ze wzoru:

$$\text{OSZPL} = \frac{3n_3 + 2n_2 + n_1 + 0n_0}{n_i} \quad [1]$$

gdzie:

n_3 – liczba stref ze stopniem 3,

n_2 – liczba stref ze stopniem 2,

n_1 – liczba stref ze stopniem 1,

n_0 – liczba stref ze stopniem 0,

n_i – liczba stref, w których określono stopień zagrożenia pożarowego.

Przykład 1. Ogólnokrajowy stopień zagrożenia pożarowego lasu dla Polski (OSZPL) w danym dniu

Nr strefy	Wartość stopnia zagrożenia o godz.		Nr strefy	Wartość stopnia zagrożenia o godz.	
	9.00	13.00		9.00	13.00
1	3	3	18	0	2
2	3	3	19	2	2
3	3	3	20	2	2
4	3	3	21	1	2
5	3	3	22	0	0
6	3	3	23	3	3
7	2	3	24	2	X
8	3	1	25	1	X
9	1	1	26	2	1
10	3	3	27	3	2
11	2	X	28	3	3
12	2	3	29	3	0
13	1	2	30	0	0
14	1	1	31	1	1
15	1	1	32	1	1
16	2	2	33	1	3
17	2	2	34	1	1

X – prognoza zagrożenia pożarowego wykonywana jest tylko o godz. 9.00

W przytoczonym przykładzie wskaźnik OSZPL wyniósł 1,9 o godz. 9.00; a 2.0 o godz. 13.00. Wyliczony według wzoru [1] OSZPL dla przykładu 2 wyniósł 1,8, zarówno o godz. 9.00, jak i 13.00.

3.3. Określenie przewidywanej wartości wilgotności ściółki i stopnia zagrożenia pożarowego lasu na podstawie spodziewanych warunków meteorologicznych i wilgotności względnej powietrza

Przewidywaną wilgotność ściółki określono badając zależność statystyczną między wartościami wilgotności ściółki a czynnikami meteorologicznymi. Wilgotność ściółki jest jednym z głównych czynników decydujących o zagrożeniu pożarowym lasu. Drugim wskaźnikiem oceny zagrożenia pożarowego lasu jest wielkość wilgotności względnej powietrza. Wartość prognozowaną tego czynnika zawierają prognozy pogody, zamieszczane m.in. w internecie.

Do celów analizy statystycznej użyto danych o pożarach lasu i danych meteorologicznych z wybranych (w zależności od kompletności danych) okresów lat 1992–1996, zebranych w „Banku danych o pożarach lasu” (w posiadaniu Samodzielnej Pracowni Ochrony Przeciwopozarowej Lasu IBL) i dotyczących tylko pożarów lasu na terenach leśnych administrowanych przez Lasy Państwowe.

W przeprowadzonych badaniach statystycznych posługiwano się pakietami statystycznymi STATISTICA oraz STATGRAPHICS i stosowano:

- metodę analizy wariancji jednoczynnikowej i wieloczynnikowej,
- metodę regresji liniowej, regresji nieliniowej i regresji wielokrotnej krokowej,
- test statystyczny Tukeya oraz test χ^2 .

Przykład 2. Ogólnokrajowy stopień zagrożenia pożarowego lasu dla Polski (OSZPL) w wybranym okresie czasu – (miesiąc)

Data	Liczba stref z danym stopniem zagrożenia pożarowego o godz.:								OSZPL o godz.:	
	9.00				13.00				9.00	13.00
	0	1	2	3	0	1	2	3		
1	3	21	10	–	3	14	13	1	1,3	1,5
2	1	7	15	6	2	3	15	4	2,0	2,0
3	10	15	8	1	12	10	6	–	1,0	0,8
4	7	17	9	–	7	8	12	–	1,1	1,3
5	7	17	8	1	8	9	8	–	1,1	1,1
6	12	17	4	1	15	11	4	–	0,8	0,7
7	2	12	17	3	3	9	14	2	1,7	1,7
8	–	14	12	3	2	9	13	4	1,7	1,8
9	1	6	17	7	7	9	4	7	2,0	1,5
10	3	13	13	1	4	10	13	–	1,4	1,4
11	3	9	16	3	–	8	9	4	1,6	1,9
12	1	5	14	11	–	4	10	13	2,1	2,5
13	2	11	13	5	7	12	7	2	1,7	1,2
14	1	13	14	3	–	12	10	6	1,6	1,8
15	–	8	12	11	1	2	11	12	2,2	2,5
16	2	14	10	5	5	18	2	1	1,6	1,0
17	1	23	6	1	4	14	10	–	1,2	1,3
18	16	12	15	4	1	7	16	4	1,8	1,9
19	4	15	–	–	14	7	1	–	0,8	0,5
20	–	10	17	–	4	5	15	4	1,5	1,8
21	–	9	11	11	2	2	11	13	2,1	2,4
22	1	11	10	10	2	10	9	7	2,0	1,8
23	–	4	7	17	3	2	1	19	2,4	2,4
24	–	3	7	18	–	2	3	21	2,5	2,7
25	–	1	8	20	–	1	3	22	2,7	2,8
26	–	–	6	26	–	–	2	27	2,8	2,9
27	–	–	5	24	–	–	1	24	2,9	3,0
28	–	–	1	28	–	–	–	22	3,0	3,0
29	–	–	1	33	–	–	1	30	3,0	3,0
30	2	10	5	13	5	5	11	6	2,0	1,7
Suma	79	297	291	266	111	203	235	255	Średni 1,8	Średni 1,8

Analizy przeprowadzono celem uzyskania informacji o:

- rodzaju wpływu na wilgotność ściółki takich czynników jak: wilgotność względna powietrza, temperatura powietrza i opad atmosferyczny (przy zastosowaniu regresji liniowej wielokrotnej krokowej),
- możliwości wyróżnienia na terenie Polski makroregionów (grup jednorodnych stref prognostycznych) o zbliżonych, przeciętnych dla stref prognostycznych wartościach wilgotności ściółki i liczby pożarów lasu.

4. WYNIKI BADAŃ

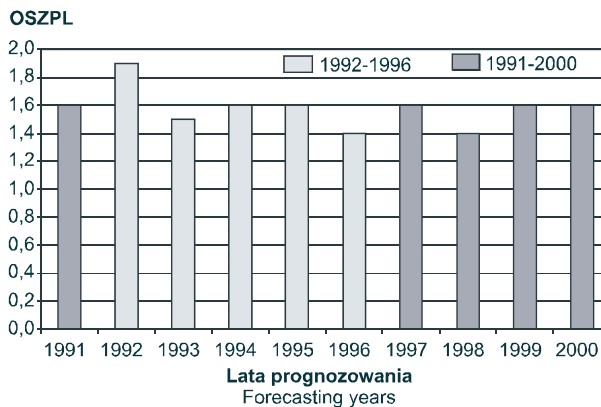
4.1. Ocena ogólnokrajowego zagrożenia pożarowego lasów w Polsce na podstawie istniejącego systemu monitorowania zagrożenia pożarowego lasu

Ostatnie dwie dekady wieku XX, a głównie lata 1992 i 1994, oceniane są jako okres, w którym wystąpił zespół ekstremalnych warunków klimatycznych (Lorenc 1995), czemu towarzyszyły częste pożary lasu. Zdaniem meteorologów i klimatologów należy się liczyć z tym, że w nadchodzących latach ekstremalne warunki pogodowe i klimatyczne będą przeważały nad tzw. przeciętnymi.

Dane wykorzystywane do analizy zagrożenia w danym dniu lub w wybranym okresie czasu pozwoliły na porównywanie wartości OSZPL z kolejnych terminów obserwacji. Podczas prowadzenia wstępnych badań stwierdzono, że istnieje silny związek między liczbą powstających pożarów a średnim stopniem zagrożenia pożarowego lasu dla całego kraju (OSZPL) (Sakowska 1998a, b). Porównanie wartości stopnia dla kolejnych terminów obserwacji wskazało na tendencję zmian zagrożenia pożarowego lasu. Wykazano, że możliwe jest też śledzenie przebiegu zagrożenia pożarowego w wybranym okresie czasu oraz porównywanie wartości zagrożenia pożarowego z analizowanego okresu z wartościami przeciętnymi dla minionych okresów.

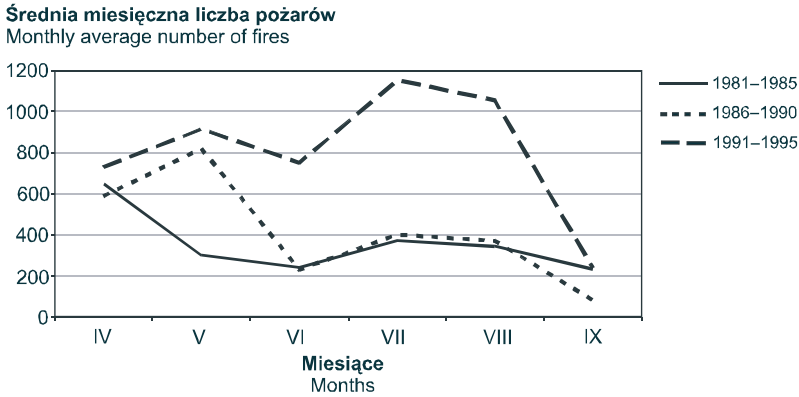
W analizie przedstawionej w tym rozdziale uwzględniono pożary lasu, które powstawały w lasach zarówno państwowych, jak i innych rodzajów własności.

W latach dziewięćdziesiątych obserwowano wysokie zagrożenie pożarowe lasów, szczególnie w latach 1992–1996 (ryc. 4). W tym okresie nastąpiło – w porównaniu z latami osiemdziesiątymi – gwałtowne zwiększenie liczby pożarów (średnia roczna liczba pożarów w sezonie palności wzrosła z 2500 do 7800), a także przesunięcie szczytu palności z miesięcy wiosennych na letnie (ryc. 5).



Ryc. 4. Ogólnokrajowy stopień zagrożenia pożarowego lasu (OSZPL) w sezonach palności z lat 1992–1996 na tle okresu wieloletniego 1991–2000

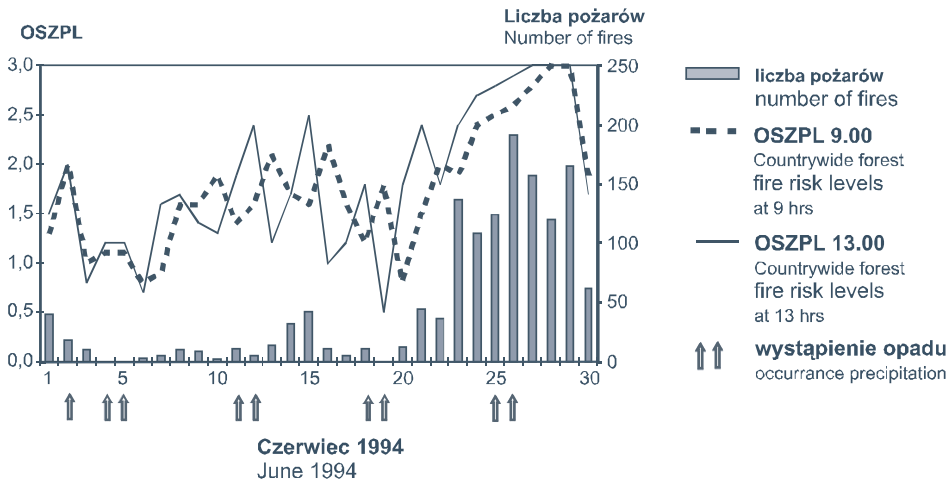
Fig. 4. Countrywide forest fire risk level (OSZPL) in the flammable period of 1992–1996 as compared with the long-term period of 1991–2000



Ryc. 5. Palność lasów w okresach pięcioletnich: 1981–1985, 1986–1990, 1991–1995
Fig. 5. Forest flammability in the five-year intervals: 1981–1985, 1986–1990, 1991–1995

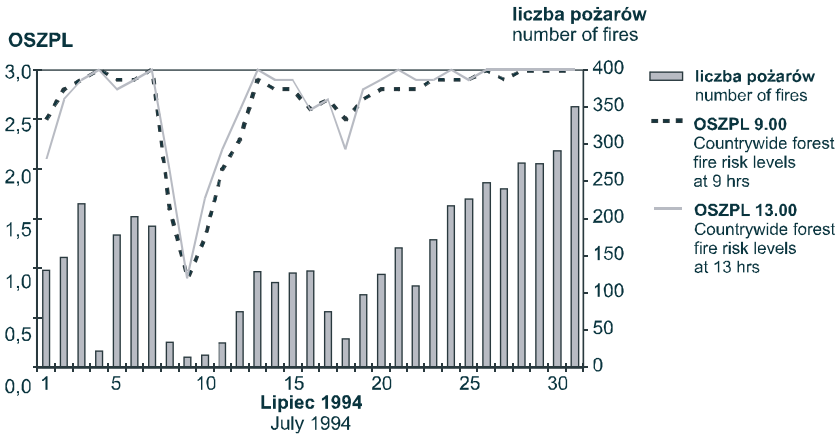
Analizując przebieg zmian wartości stopnia zagrożenia pożarowego lasu oraz liczby pożarów w poszczególnych dniach (przykład czerwiec 1994 rok) zauważono, że wzrostowi OSZPL towarzyszy zwykle wzrost liczby pożarów (ryc. 6). Nie zawsze jest to jednak zależność wprost proporcjonalna.

Zdarza się, że OSZPL rośnie, a liczba pożarów utrzymuje się na poziomie wcześniejszym. Wiadomo, że liczba pożarów zależy od pojawienia się bodźca energetycznego w lesie, a więc jest to zależność losowa (przypadkowa). Wartość OSZPL zaś jest interpretacją aktualnych czynników warunkujących powstanie pożaru i nie zawiera w sobie czynnika będącego interpretacją ryzyka antropogenicznego. Od 8 lipca 1994 r. wprowadzono zakaz wstępu do lasu niemal w



Ryc. 6. Wpływ opadu atmosferycznego na przebieg zagrożenia pożarowego lasów i powstawanie pożarów w czerwcu 1994 r.

Fig. 6. Effect of atmospheric precipitation on fire risk and fire origin in forests in June 1994



Ryc. 7. Przebieg zagrożenia pożarowego lasów i liczba powstałych pożarów w lipcu 1994 r.
Fig. 7. Fire behaviour and number of forest fires in July 1994

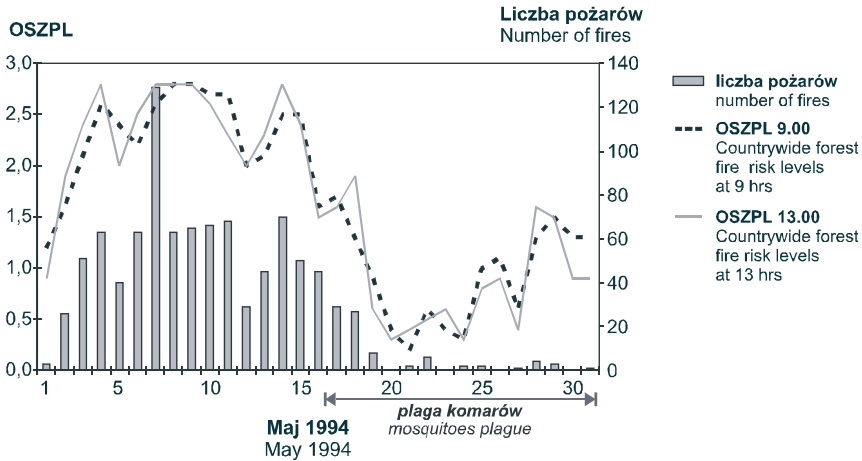
całym kraju (ryc. 7). Zakaz wstępu skuteczny był jedynie przez pierwsze 10 dni od wprowadzenia (choć wydaje się, że nałożył się tu również wpływ gwałtownych deszczy z 10 lipca). Następnie liczba pożarów osiągnęła stan z początku lipca, po czym go przekroczyła. Większość pożarów w tym okresie powstawała na skutek nieostrożnego obchodzenia się z ogniem przy prowadzeniu akcji żniwnej (dominowały przerzuty z terenów nieleśnych).

Dzięki zastosowaniu OSZPL do oceny poziomu zagrożenia pożarowego dla kraju, możliwe stało się również ustalenie kryterium bezpieczeństwa pożarowego w lasach. Poziom bezpieczeństwa pod względem pożarowym w lasach w skali kraju był określony przez stopień zagrożenia pożarowego lasu o wartości OSZPL = 1,5 (kryterium dzienne). Wzrost wartości stopnia powyżej tego poziomu oznaczał wejście w zakres zagrożenia podwyższonego, natomiast wielkość OSZPL $\geq 1,9$ świadczyła o zagrożeniu katastrofalnym, skutkującym zwiększoną liczbę pożarów szczególnie, gdy taka sytuacja trwała dłużej.

Na wzrost wartości OSZPL miał wpływ większy udział dni z trzecim stopniem zagrożenia, który określono jako wskaźnik W3D. Możliwe było też śledzenie wpływu czynnika antropogenicznego na liczbę pożarów lasu. Brak ludzi w lesie (np. podczas plagi komarów) również przyczynił się do spadku liczby pożarów, chociaż wartość OSZPL rosła. Tak było np. w maju 1994 (ryc. 8).

Wartość OSZPL, zarówno o godz. 9.00, jak i 13.00 pozwala wnioskować o stabilności pogody. Przy pogodzie stabilnej OSZPL o godzinie 9.00 jest taki sam jak o godzinie 13.00 (czerwiec 94, ryc. 6). Jeżeli natomiast przez kraj przechodzą intensywne zjawiska, takie jak burze czy gwałtowne zmiany temperatury, to obydwa stopnie mają różną wartość (lipiec 94; ryc. 7).

W latach 1992–1996 obliczano zarówno wartości OSZPL, jak i średnie wartości czynników meteorologicznych: temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. Ustalono, przy jakich wartościach granicznych wilgotności ściółki i wilgotności względnej powietrza można było spodziewać się przeciętnego, na-



Ryc. 8. Przebieg zagrożenia pożarowego lasów i liczba powstałych pożarów w maju 1994 r.

Fig. 8. Fire behaviour and number of forest fires in May 1994

silonego lub braku zagrożenia pożarowego lasu w skali całego kraju (Karlikowski i in. 1997, 1993, Przedpeńska i Gałka 1968, Sakowska 1998a). Wartości te dla 1996 roku przedstawiono w tabeli 1. Przyjęte wartości krytyczne zostały potwierdzone w analizach zagrożenia pożarowego w następnych sezonach palności. Na podstawie analiz przyjęto za wartości progowe pod względem bezpieczeństwa pożarowego w lasach następujące wielkości parametrów:

- o godz. 9.00: wilgotność ściółki >30% i wilgotność względną powietrza >70%,
- godz. 13.00: wilgotność ściółki >20% i wilgotność względną powietrza >50%.

Liczba powstających pożarów lasu znacznie wzrastała, gdy wartości krytyczne obu czynników były jednocześnie poniżej progów bezpieczeństwa.

Tabela 1. Wartości minimalne wilgotności ściółki i wilgotności względnej powietrza w poszczególnych miesiącach sezonu palności 1996 r.

Table 1. Minimal levels of litter moisture and air relative humidity in individual months of the flammable period in 1996

Godz. Hour	Parametr Parameter	Okres sezonu palności (miesiące w roku) Flammable period (months)						Sezon Period	Wartość krytyczna Critical value
		IV	V	VI	VII	VIII	IX		
9.00	Wilgotność ściółki [%] Litter humidity [%]	15	25	14	23	17	31	15	30
	Wilgotność względna powietrza [%] Air relative humidity [%]	50	65	60	64	66	50	50	70
13.00	Wilgotność ściółki [%] Litter humidity [%]	11	17	8	17	11	8	8	20
	Wilgotność względna powietrza [%] Air relative humidity [%]	30	52	40	49	44	30	30	50
	Liczba pożarów Number of fires	1111	562	1065	233	413	41	3425	×

Tabela 2. Przeciętne wartości czynników meteorologicznych dla miesięcy, w których w latach 1992–1996 liczba pożarów przekroczyła 3000

Table 2. Average values for meteorological factors in the months in which the number of fires exceeded 3000 in the years 1992–1996

Miesiąc Month	Rok Year	Temperatura powietrza o godz. 9.00	Temperatura powietrza o godz. 13.00	Opad atmosferyczny
		Air temperature at 9.00 °C	Air temperature at 13.00 °C	Atmospheric precipitation mm
VII	1992	20,4	24,7	1,9
VIII	1992	19,1	23,9	0,8
V	1993	18,6	22,3	0,8
VII	1994	23,8	27,6	0,9
VIII	1995	20,5	24,8	1,8
Wartości krytyczne Critical values		>18	>21	<2

Tabela 3. Przeciętne wartości czynników meteorologicznych dla miesięcy, w których w latach 1992–1996 liczba pożarów nie przekroczyła 1000

Table 3. Average values for meteorological factors in the months in which the number of fires exceeded 1000 in the years 1992–1996

Miesiąc Month	Rok Year	Temperatura powietrza o godz. 9.00	Temperatura powietrza o godz. 13.00	Opad atmosferyczny
		Air temperature at 9.00 °C	Air temperature at 13.00 °C	Atmospheric precipitation mm
IX	1992	13,1	16,5	4,1
VII	1993	15,9	18,1	5,3
VIII	1993	17,0	19,6	7,0
IX	1993	11,7	14,2	5,4
IV	1994	9,4	12,8	4,4
V	1994	14,7	16,9	4,3
VI	1994	16,7	20,4	2,8
IX	1995	13,9	17,5	4,8
V	1995	16,0	20,2	3,5
VII	1996	17,2	20,9	5,0
IX	1996	11,5	15,0	3,5
Wartości krytyczne Critical values		<18	<21	>2

W celu określenia wartości krytycznych temperatury powietrza i opadu atmosferycznego przeanalizowano ich wartości w miesiącach, w których liczba pożarów przekroczyła wartości 3000 w sezonach palności 1992–1996 (tab. 2). Aż w trzech miesiącach: w sierpniu 1992 r., w maju 1993 r. i w lipcu 1994 r., przeciętny dzienny opad był mniejszy od 1 mm, a w pozostałych mniejszy niż 2 mm. Przeanalizowano też wartości wyżej wymienionych czynników meteorologicznych w miesiącach, w których liczba pożarów nie przekroczyła 1000 (tab. 3).

Przyjęto, że o bezpieczeństwie pożarowym w lasach można mówić wówczas, gdy wartości parametrów wskaźnikowych są następujące:

– dla temperatury powietrza o godz. 9.00 wartości $<18^{\circ}\text{C}$, a o godz. 13.00 wartości $<21^{\circ}\text{C}$,

– dla ilości opadów atmosferycznych wartości >2 mm.

Przy temperaturze powietrza o godz. 9.00 mniejszej od 18°C , a o godz. 13.00 mniejszej niż 21°C średnia miesięczna liczba pożarów lasu w skali kraju nie przekracza 1000.

4.2. Określenie przewidywanej wartości wilgotności ściółki, a także stopnia zagrożenia pożarowego lasu na podstawie spodziewanych warunków meteorologicznych i wilgotności powietrza

Analiza statystyczna danych została wykonana na podstawie informacji o pożarach lasu i danych meteorologicznych z lat 1992–1996 zebranych w “Banku danych o pożarach lasu”. Dane te dotyczą tylko pożarów lasu na terenach leśnych administrowanych przez Lasy Państwowe.

Analizę danych rozpoczęto od wyliczenia średnich dla Polski wartości parametrów wilgotności ściółki, wilgotności względnej powietrza, temperatury powietrza i opadu atmosferycznego, po czym zbadano ich rozkład w celu transformacji do rozkładów normalnych.

Dla określenia zależności, uwzględniających liczbę pożarów, wyodrębniono sześć klas pożarowych, charakteryzujących się różną częstością występowania pożarów, wyrażoną ich dzienną liczbą:

- 0 – brak pożarów,
- 1 – jeden pożar w ciągu dnia,
- 2 – dwa pożary dziennie,
- 3 – trzy pożary dziennie,
- 4 – od czterech do pięciu pożarów dziennie,
- 5 – od sześciu do trzydziestu pożarów dziennie.

Liczniesze pożary zdarzały się stosunkowo rzadko, najczęściej powstawał jeden pożar w ciągu dnia (43%) (tab. 4).

Wykonano badania zależności częstości występowania pożarów w strefach prognostycznych. Badania testem χ^2 wykazały, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o niezależności badanych cech, czyli stref prognostycznych i klas pożarowych.

Tabela 4. Procentowy rozkład klas pożarowych w latach 1992–1995

Table 4. Percentage distribution of fire classes in 1992–1995

Klasy pożarowe, w których notowano pożary Fire classes in which fires were recorded	Lata Years				Średnio Average
	1992	1993	1994	1995	
1	39,5	42,5	48,1	57,2	43
2	20,6	23,5	23,4	21,2	22
3	12,2	10,7	10,6	10,7	11
4	13,8	11,9	9,9	8,1	12
5	14,0	11,4	8,0	2,8	12
Ogółem Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Liczba pożarów N^o of forest fire	2023	1076	1100	708	4907



Ryc. 9. Grupy stref prognostycznych jednorodnych pod względem występującej w nich dziennej liczby pożarów. 1 – częste pożary pojedyncze (40%), duże prawdopodobieństwo wystąpienia pożarów licznych (16%); 2 – zwykle powstaje po kilka pożarów dziennie, najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia licznych pożarów; 3 – powstaje po kilka pożarów dziennie, zdarzają się pożary liczne; 4 – często występują pożary pojedyncze oraz dwa lub trzy dziennie, możliwe pożary liczniejsze; 5 – przeważają pożary pojedyncze (57%), rzadziej dwa pożary (21%), możliwe liczne pożary; 6 – przeważają pożary pojedyncze (63%), rzadziej dwa pożary (25%), możliwe pożary liczniejsze (do sześciu dziennie); 7 – głównie pożary pojedyncze (87%), bardzo rzadko dwa pożary (13%)

Fig. 9. Prognostic zone groups homogeneous in daily number of fires. 1 – frequent single fires (40%), great likelihood of large number of fires (16%); 2 – usually several fires daily, the highest likelihood of large number of fires; 3 – several fires daily, sometimes occurrence of larger number of fires; 4 – frequent occurrence of single fires and two or three daily, possible greater number of fires; 5 – prevalence of single fires (57%), less frequently two fires (21%), possible large number of fires; 6 – prevalence of single fires (63%), less frequently two fires (25%), possible larger number of fires up to six daily; 7 – mainly single fires (87%), very rarely two fires (13%)

Na podstawie analizy rozkładów częstości występowania opisanych wyżej klas pożarowych wyodrębniono grupy stref prognostycznych, jednorodnych pod względem częstości powstawania w nich pożarów lasu. Na rycinie 9 zaprezentowano mapę grup stref prognostycznych jednorodnych pod względem dziennej liczby pożarów w nich występujących. Weryfikację wyodrębnionych grup stref prognostycznych wykonano za pomocą analizy testem χ^2 , która potwierdziła, że w strefach znajdujących się w danej grupie rozkłady klas pożarowych były takie same, a grupy stref różniły się między sobą częstością występowania klas pożarowych.

Analiza wykazała zależność między grupami stref prognostycznych i klasami pożarowymi. Różnice między rozkładem klas pożarowych w poszczególnych

Tabela 5. Grupy stref prognostycznych jednorodnych pod względem średniej wilgotności ściółki
 Table 5. Prognostic zone groups homogeneous in mean litter humidity

Strefy prognostyczne Prognostic zones		Średnia wilgotność ściółki Mean litter humidity [%]	Grupy homogeniczne Homogeneous groups				
Grupa Group	Nr stref Zone no.		1	2	3	4	5
V	4, 8, 26, 33,34	16,1	X				
VI	3, 5,10, 11, 12, 16, 19, 27, 30, 32	17,2	X				
IV	2, 15, 17, 18, 29	18,2		X			
III	1, 6, 22, 31	20,8			X		
VII	28	23,7				X	
II	7, 9, 13, 14, 20, 21, 23, 25	25,2				X	
I	24	36,5					X

grupach były istotne statystycznie. Jednak była to słaba zależność, gdyż współczynnik Cramera wynosił 0,21268.

Stwierdzono również istotne różnice między średnimi wartościami wilgotności ściółki dla tak wyodrębnionych grup stref prognostycznych (tab. 5). Testem Tukey'a wyodrębniono 5 grup jednorodnych stref pod względem średniej wilgotności ściółki. Pod względem średniej wilgotności ściółki grupa V nie różniła się istotnie od grupy VI, a grupa II od VII.

Zależność wilgotności ściółki od czynników meteorologicznych zbadano najpierw metodą regresji liniowej. Jedynie dla zależności wilgotności ściółki od opadu możliwe było wyciągnięcie wniosku o zależności liniowej. Wyliczony wzór na wilgotność ściółki w zależności od opadu atmosferycznego, określonego o godz. 9.00, wyglądał następująco:

$$W_{s9.00} = 29,9215 + 1,43496 \cdot O_{p9.00}, [\%] R^2 = 43,29 \quad [2]$$

gdzie:

$W_{s9.00}$ – wilgotność ściółki [%],

$O_{p9.00}$ – wielkość opadu atmosferycznego godz. 9.00 [mm].

Stwierdzono istnienie zależności krzywoliniowej między wilgotnością ściółki a wilgotnością względną powietrza i opadu atmosferycznego. Współczynniki determinacji wyżej wymienionych zależności okazały się wysokie i istotne. Wyniki przeprowadzonych badań dotyczących powiązań wilgotności ściółki z czynnikami meteorologicznymi przedstawiono w tabeli 6.

Zależność wilgotności ściółki od wilgotności względnej powietrza została wyrażona wzorami w tabeli 6. Analiza wykazała, że wilgotność ściółki rosła wraz ze wzrostem wilgotności względnej powietrza.

Związek między wilgotnością ściółki a temperaturą powietrza to zależność odwrotna, wilgotność ściółki malała wraz ze wzrostem temperatury powietrza.

Wilgotność ściółki gwałtownie wzrastała wraz z wystąpieniem opadu. Wartością krytyczną był opad wynoszący 3 mm.

Uzależniono wilgotność ściółki od wilgotności względnej powietrza, temperatury powietrza i opadu atmosferycznego – przy zastosowaniu regresji liniowej

Tabela 6. Zależność wilgotności ściółki od czynników meteorologicznych

Table 6. Dependence of litter humidity on meteorological factors

Czynnik meteorologiczny Meteorological factor	Godz.pomiaru Measurement hour	Zależność krzywoliniowa wilgotności ściółki od czynników meteorologicznych wyrażona wzorem Curvilinear dependence of litter humidity on meteorological factors expressed by the formula	Współczynnik determinacji Determination coefficient R^2
Temperatura powietrza Air temperature	9.00	$W_{s9.00} = 43,804 + 0,1252 \cdot T_p - 0,049 T_p^2$	25,74
	13.00	$W_{s13.00} = 49,373 - 0,9077 \cdot T_p - 0,0111 T_p^2$	36,62
Wilgotność wzgl. powietrza [%] Air relative humidity [%]	9.00	$W_{s9.00} = -4,1191 + 0,0622 W_p^{1,4676}$	41,58
	13.00	$W_{s13.00} = 0,2773 + 0,077 W_p^{1,413}$	55,74
Opad atmosferyczny [mm] Atmospheric precipitation [mm]	9.00	$W_{s9.00} = (O_{p9.00} + 0,001)^{0,114} \cdot 32,5367 + 9,835$	42,13
	13.00	$W_{s13.00} = (O_{p13.00} + 0,001)^{0,0926} \cdot 44,4165$	24,84

Tabela 7. Siła zależności wilgotności ściółki od wilgotności względnej powietrza, temperatury powietrza i opadu atmosferycznego wyrażona wielkością statystyki Durбина-Watsona i wartością współczynnika determinacji (przy zastosowaniu metody regresji wielokrotnej krokowej)
Table 7. The strength of the dependence of litter moisture on air relative humidity, air temperature and atmospheric precipitation expressed in the Durbin-Watson statistic value and determination coefficient value (using a stepwise multiple regression)

Godzina prognozowania SZPL Forecasting hour SZPL			
9.00		13.00	
wielkość statystyki Durбина-Watsona Durbin-Watson statistic value	wartość współczynnika determinacji R^2 Determination coefficient value R^2	wielkość statystyki Durбина-Watsona Durbin-Watson statistic value	wartość współczynnika determinacji R^2 Determination coefficient value R^2
1,965020	0,52101436	1,77967	0,58974319

wielokrotnej krokowej. Przyjęto, że badane czynniki meteorologiczne (wilgotność względna powietrza, temperatura powietrza i opad atmosferyczny) mają rozkład zbliżony do normalnego i wykonano analizę danych metodą regresji wielokrotnej krokowej. Badania wykonano za pomocą pakietu statystycznego STATISTICA (tab. 7).

Uzyskano następujące wzory na określanie wilgotności ściółki [%]:

$$W_{s9.00} = 28,882 + 1,567 \cdot O_{p9.00} - 0,455 \cdot T_{p9.00} - 0,222 \cdot W_{p9.00} - 0,024 \cdot O_{p9.00}^2 + 0,006 \cdot T_{p9.00}^2 + 0,004 \cdot W_{p9.00}^2 \quad [3]$$

$$W_{s13.00} = 7,238 + 1,012 \cdot O_{p13.00} - 0,512 \cdot T_{p13.00} + 0,51 \cdot W_{p13.00} - 0,001 \cdot O_{p13.00}^2 + 0,0005 \cdot T_{p13.00}^2 - 0,00047 \cdot W_{p13.00}^2 \quad [4]$$

gdzie:

- $W_{s9.00}$ – wilgotność ściółki o godz. 9.00 [%],
- $W_{s13.00}$ – wilgotność ściółki o godz. 13.00 [%],
- $O_{p9.00}$ – opad atmosferyczny o godz. 9.00 [mm],
- $O_{p13.00}$ – opad atmosferyczny o godz. 13.00 [mm],
- $W_{p9.00}$ – wilgotność względna powietrza o godz. 9.00 [%],
- $W_{p13.00}$ – wilgotność względna powietrza o godz. 13.00 [%]
- $T_{p9.00}$ – temperatura powietrza o godz. 9.00 [°C],
- $T_{p13.00}$ – temperatura powietrza o godz. 13.00 [°C].

Metodą analizy wariancji zbadano różnicę w liczbie pożarów lasu powstających w dniach świątecznych i roboczych. Hipotezę badano testem χ^2 . Na poziomie istotności $\alpha=0,05$ hipotezę o zależności liczby pożarów (wyrażonej klasami pożarowymi) od dni roboczych i świątecznych odrzucono (wyliczona wielkość $\alpha=0,81$). Mimo braku istotności statystycznej wyraźnie było widoczne, że różnice liczby pożarów w dni robocze i świąteczne mogły być znaczne. Strefy wykazujące największy – ponad 30% – wzrost liczby pożarów powstających w dni świąteczne to tereny turystyczne (strefy prognostyczne 6., 8., 16., 17., 19., 28. i 29.) lub silnie zurbanizowane (strefy 15., 22., 24., 25. i 34.). W strefach 3. i 21. nie było różnicy w częstości powstawania pożarów lasu w dni robocze i świąteczne, natomiast w strefach 5. i 30. w dni świąteczne powstawało mniej pożarów niż w dni robocze. W maju i czerwcu powstawało zdecydowanie więcej pożarów (ponad 40%) w dni wolne od pracy. Średnio – dla całego analizowanego okresu – pożary w dni świąteczne zdarzały się o 25% częściej niż w dni robocze. Przy małym zagrożeniu pożarowym w dni świąteczne następował wzrost liczby pożarów o 20%, przy wysokim zagrożeniu wzrost ten średnio wynosił ok. 50%.

Określono wartości wilgotności ściółki w dniach pożarowych oraz we wszystkich dniach sezonu palności w zależności od klasy pożarowej i strefy prognostycznej i wyróżniono, za pomocą metody analizy wariancji, makroregiony na terenie Polski – na podstawie wartości wilgotności ściółki przeciętnych dla stref prognostycznych.

Przy zastosowaniu jednoczynnikowej analizy wariancji zbadano istotność różnic między poszczególnymi wartościami średnich wilgotności ściółki w poszczególnych miesiącach sezonu palności. Na poziomie istotności $\alpha=0,05$ odrzucono hipotezę zerową o równości wilgotności ściółki w poszczególnych miesiącach, stwierdzając, że średnia wilgotność ściółki różniła się istotnie w poszczególnych miesiącach (tab. 8).

Ponadto wykonano za pomocą testu Tukey'a identyfikację grup jednorodnych pod względem wilgotności ściółki w poszczególnych miesiącach sezonu palności (tab. 9).

Zbadano również, jak kształtowała się wilgotność ściółki w sezonie palności w dni, w których powstawały pożary lasu. Im wilgotność ściółki była niższa, tym częściej zdarzały się pożary. Granicą wilgotności ściółki o godz. 9.00 dla po-

Tabela 8. Wartość wilgotności ściółki dla poszczególnych miesięcy określona przy zastosowaniu analizy wariancji jednoczynnikowej

Table 8. Litter humidity for individual months determined on the basis of the one-factor analysis of variance

Miesiąc Month	Wilgotność ściółki w obu terminach prognozowania [%] Litter humidity in both forecasting dates [%]	
	godz. 9.00	godz. 13.00
IV	34,19	27,93
V	30,34	24,15
VI	30,31	24,45
VII	27,93	21,61
VIII	28,44	22,49
IX	43,00	37,35

Tabela 9. Grupy jednorodne wśród miesięcy sezonu palności pod względem średniej wartości wilgotności ściółki

Table 9. Homogeneous groups in the months of the flammable period with regard to the mean litter humidity

Grupa jednorodna Homogeneous group	Miesiące sezonu palności jednorodne pod względem wilgotności ściółki w zależności od terminu prognozowania Flammable period months homogeneous in litter humidity in relation to the forecasting date	
	godz. 9.00	godz. 13.00
1	VII i VIII	VII i VIII
2	V i VI	V i VI
3	IV	IV
4	IX	IX

Tabela 10. Wilgotność ściółki w dniach pożarowych oraz we wszystkich dniach sezonu palności w poszczególnych miesiącach

Table 10. Litter humidity on fire days and on all days of the flammable period in individual months

Miesiąc Month	Wilgotność ściółki [%] o godzinie Litter humidity [%] at			
	9.00		13.00	
	w dni pożarowe on fire days	we wszystkich dniach sezonu on all days of the flammable period	w dni pożarowe on fire days	we wszystkich dniach sezonu on all days of the flammable period
IV	22,1	23,7	16,3	17,8
V	16,6	18,5	11,5	13,7
VI	14,9	17,7	10,6	13,0
VII	15,1	16,8	9,6	11,3
VIII	16,0	18,1	11,1	13,2
IX	21,0	26,8	17,4	21,6

Tabela 11. Wilgotność ściółki w dniach pożarowych oraz we wszystkich dniach sezonu palności w poszczególnych strefach prognostycznych

Table 11. Litter humidity on fire days and on all days of the flammable period in individual prognostic zones

Nr strefy Zone no.	Wilgotność ściółki [%] o godzinie Litter humidity [%] at				Nr strefy Zone no.	Wilgotność ściółki [%] o godzinie Litter humidity [%] at			
	9.00		13.00			9.00		13.00	
	w dni pożarowe on fire days	we wszystkich dniach on all days	w dni pożarowe on fire days	we wszystkich dniach on all days		w dni pożarowe on fire days	we wszystkich dniach on all days	w dni pożarowe on fire days	we wszystkich dniach on all days
1	21,6	20,9	15,3	16,1	17	19,3	20,5	18,2	20,0
2	15,7	17,2	11,9	13,3	18	16,4	16,4	12,3	12,7
3	11,3	14,5	9,2	12,2	19	20,5	24,3	16,3	20,8
4	13,7	14,5	10,7	11,3	21	22,2	20,9	16,9	16,7
5	12,1	16,9	14,8	15,0	22	19,5	20,0	14,5	14,9
6	20,1	20,4	15,6	15,0	24	35,2	37,5	19,2	
7		22,0		19,5	25	38,8	40,3		
8	13,1	14,1	9,7	10,3	27	18,5	20,5	16,9	20,0
10	11,2	11,8	9,7	9,9	28	22,0	25,1	16,7	19,0
12	12,4	13,5	9,7	10,5	29	21,2	21,6	16,1	16,9
13	23,8	23,5	18,0	18,7	30	13,6	16,8	8,1	11,0
14	21,4	23,6	15,4	17,4	32	13,3	16,1	10,8	11,1
15	18,1	20,1	11,8	13,3	33	18,6	20,0	13,9	13,1
16	19,3	23,7	17,8	23,6	34	18,1	20,9	13,4	12,3

wstania pożaru była wartość 25%. W dni bez pożarów średnia wilgotność ściółki wynosiła 32%, a więc była stosunkowo wysoka. O godz. 13.00 wilgotność ściółki w dni bez pożarów wynosiła średnio 26%. Granicą dla powstania pożarów o tej godzinie była wilgotność ściółki wynosząca 19%.

W dniach pożarowych najwyższa wilgotność ściółki występowała w kwietniu i we wrześniu (zarówno o godzinie 9.00, jak i 13.00), najniższa zaś w czerwcu i lipcu (tab. 10). Kolejnymi miesiącami o podobnych wilgotnościach (średnich) były maj i sierpień.

W tabeli 11 zilustrowano kształtowanie się wilgotności ściółki w poszczególnych godzinach prognozowania oraz w zależności od tego, czy w danym dniu zaistniały pożary lasu, a w tabeli 12 podano podział tych stref prognostycznych na grupy podobne pod względem wilgotności ściółki.

Analiza wariancji wykazała, że istotne były różnice średniej wilgotności ściółki w poszczególnych strefach prognostycznych. Mimo, że stwierdzono istotne różnice w wilgotności ściółki dla poszczególnych stref nie można było wyodrębnić grup homogenicznych (test Tukey'a). Spośród stref wyróżniały się jedynie strefa prognostyczna 24. i 25. Do zbadania istotności różnic średnich wilgotności ściółki użyto pakietu statystycznego STATISTICA.

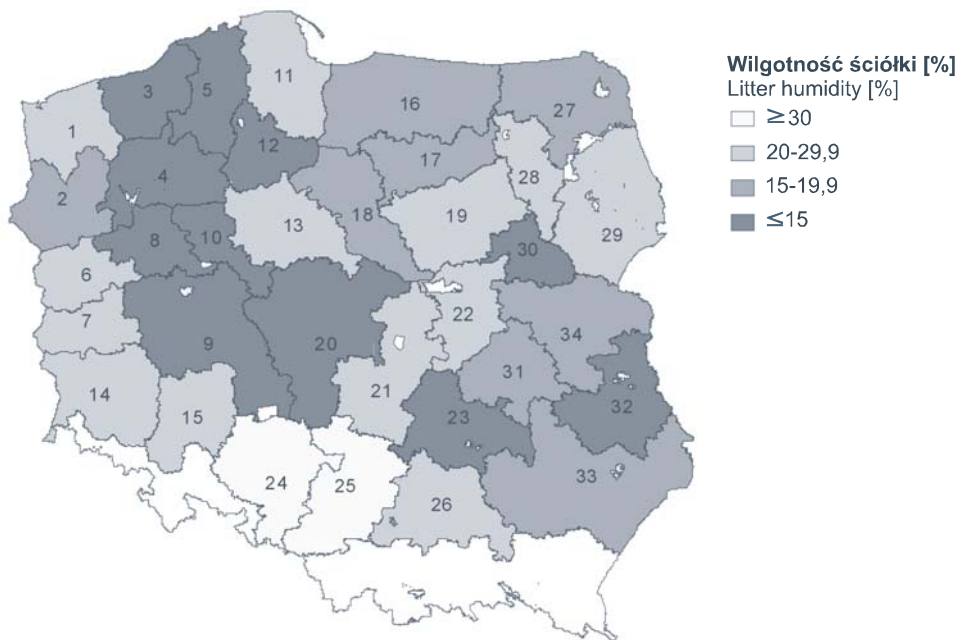
Tabela 12. Grupy stref prognostycznych podobnych pod względem wilgotności ściółki w dniach pożarowych

Table 12. Groups of prognostic zones similar in litter humidity on fire days

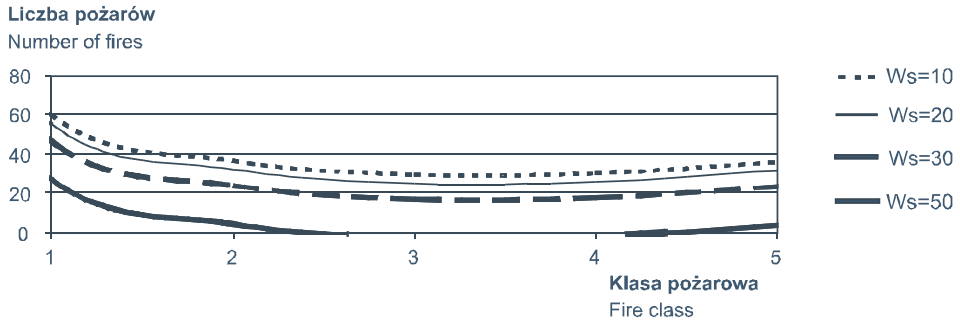
Grupa stref Zone group	Numery stref prognostycznych Zone group no.	Wilgotność ściółki w dniach pożarowych o godz. 9.00 Litter humidity on fire days at 9.00
I	1., 6., 7., 13., 14., 15., 19., 21., 22., 28., 29.	$20\% < W_s \leq 30\%$
II	3., 4., 5., 8., 10., 12., 30., 32.	$W_s \leq 15\%$
III	2., 16., 17., 18., 27., 33., 34.	$15\% < W_s \leq 20\%$
IV	24., 25.	$W_s > 30\%$

Opracowano mapę grup stref prognostycznych podobnych pod względem wartości średnich wilgotności ściółki w dniach pożarowych (ryc. 10).

Najniższa ($\leq 15\%$) wilgotność ściółki – w dniach pożarowych – występowała w strefach prognostycznych 3., 4., 5., 8., 10., 12., 30. i 32., najwyższa ($> 30\%$) zaś w strefach 24. i 25. Do przedstawionych grup stref prognostycznych przyporządkowano również te strefy prognostyczne, które ze względu na brak pełnych danych nie mogły być rozpatrywane w statystycznej analizie ich jednorodności. I tak dodatkowo do I grupy zaliczono strefę 9., 20., i 23; do II grupy – strefę 31., do III grupy – strefę 26 i 11.



Ryc. 10. Mapa grup stref prognostycznych podobnych pod względem średniej wilgotności ściółki
Fig. 10. The map of prognostic zone groups similar in mean litter humidity



Ryc. 11. Liczba pożarów w klasach w zależności od wilgotności ściółki (W_s)

Fig. 11. Number of fires in classes in relation to litter humidity (W_s)

Określono rozkład częstości powstawania pożarów lasu w zależności od wilgotności ściółki. Istnieje zależność między liczbą pożarów (γ) a klasą pożarową (klasa) i wilgotnością ściółki o godz. 9.00 (W_s). Zależność tę, zbadaną przy zastosowaniu regresji wielokrotnej krokowej, przedstawia wzór:

$$\gamma = 199,004 - 1,06254 \cdot W_s + 43,6551 \cdot \text{klasa} - 124,884 \cdot \frac{1}{W_s} - 160,103 \cdot \text{klasa} \quad [5]$$

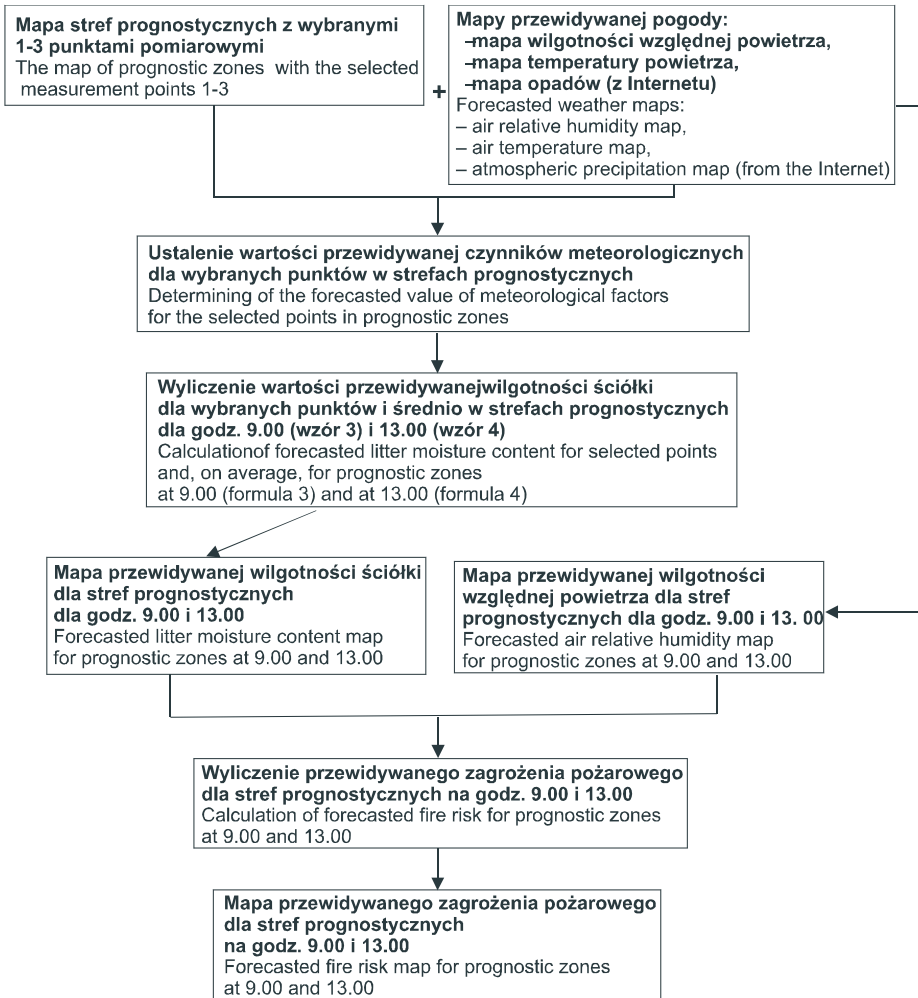
gdzie *klasa* przybiera wartości od 0 do 4.

Jest to silna zależność (współczynnik determinacji $R^2 = 70\%$). Analiza wykresu (ryc. 11) obrazującego tę zależność dla wybranych wartości wilgotności ściółki (10, 20 i 50%) wykazuje, że liczne pożary najczęściej powstają przy wilgotności 10 i 20%, rzadziej przy wilgotności 30%. Gdy ściółka ma ok. 50% wilgotności najczęściej powstają pożary pojedyncze lub dwa pożary dziennie.

5. PODSUMOWANIE

Przygotowywanie ogólnokrajowej prognozy zagrożenia pożarowego lasu na dzień następny odbywa się na podstawie prognozowanych wartości temperatury, wilgotności względnej powietrza oraz wielkości opadu atmosferycznego. Do opracowania takiej prognozy należy przede wszystkim określić przewidywaną wilgotność ściółki leśnej na podstawie wymienionych czynników. Do tego celu można wykorzystać wzory (3 i 4) uzyskane w wyniku analiz statystycznych.

Ze względu na formę, w jakiej dostępne są prognozy meteorologiczne, oraz przeznaczenie przygotowanej prognozy zagrożenia pożarowego lasu na dzień następny powinna ona być opracowywana dla całości kraju, przy czym za podstawową jednostkę można przyjąć teren jednej strefy prognostycznej lub tereny grup prognostycznych jednorodnych pod względem średniej wartości wilgotności ściółki. Proponuje się przyjąć opracowywanie jednej prognozy dla każdego dnia. Na



Ryc. 12. Proponowana metoda prognozowania zagrożenia pożarowego lasów dla Polski

Fig. 12. The proposed method for predicting the forest fire risk in Poland

rycinie 12 przedstawiono schemat proponowanego sposobu prognozowania zagrożenia pożarowego lasu w skali makro.

Pierwszym etapem przygotowania prognozy zagrożenia pożarowego lasu na dzień następny powinno być ustalenie przewidywanej wilgotności ściółki. W tym celu z otrzymanych prognoz należy określić dla poszczególnych stref prognostycznych (lub grupy stref) przewidywane wartości temperatur, wilgotności względnej powietrza oraz wielkości opadu atmosferycznego. Dane takie można uzyskać na przykład z numerycznej prognozy pogody opracowywanej przez Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego, dostępnej codziennie na jego stronie internetowej.

Aby ustalić wielkość przewidywanej wartości wilgotności ściółki w strefach, należy z prognozowanej pogody odczytać uśrednioną wartość przewidywanej wilgotności względnej powietrza, temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na godz. 9.00 i 13.00 w strefach prognostycznych. W tym celu konieczne jest wyedytowanie map przewidywanych wartości parametrów meteorologicznych i stwierdzenie, ile – w ramach danej strefy prognostycznej (lub grupy stref jednorodnych) – wartości danego czynnika występuje.

Następnie, posługując się wzorami 3 i 4, należy wyliczyć przewidywaną wartość wilgotności ściółki. Na podstawie przewidywanej (prognozowanej) wartości wilgotności względnej powietrza i wilgotności ściółki należy ustalić wielkość przewidywanego zagrożenia pożarowego dla poszczególnych stref prognostycznych (lub grupy stref jednorodnych). Uzyskane w ten sposób informacje można następnie przedstawić w formie mapy prognozowanego (przewidywanego) zagrożenia pożarowego lasów na następną dobę: na godz. 9.00 i 13.00.

6. WNIOSKI I ZALECENIA

1. Opracowana metoda wyliczania wielkości ogólnokrajowego stopnia zagrożenia pożarowego lasu (OSZPL) może służyć do oceny wielkoobszarowego zagrożenia pożarowego lasów w Polsce (z wykorzystaniem istniejącego systemu monitorowania zagrożenia pożarowego lasu w poszczególnych strefach prognostycznych).

2. Poziom bezpieczeństwa pod względem pożarowym w lasach w danym dniu w skali kraju określa wartość wskaźnika OSZPL $< 1,5$.

3. Wartości charakteryzujące bezpieczeństwo pod względem pożarowym w lasach są następujące:

– określane o godz. 9.00: wilgotność ściółki $> 30\%$, wilgotność względna powietrza $> 70\%$, temperatura powietrza $< 18^{\circ}\text{C}$,

– określane o godz. 13.00: wilgotność ściółki $> 20\%$, wilgotność względna powietrza $> 50\%$, temperatura powietrza $< 21^{\circ}\text{C}$,

4. Średni dzienny opad atmosferyczny > 2 mm zwiększa bezpieczeństwo pod względem pożarowym w lasach.

5. W celu określenia SZPL dla poszczególnych stref należy wzory [3] i [4] uzyskane na wilgotność ściółki powiązać z numerycznymi prognozami meteorologicznymi. Wartości względnej wilgotności powietrza można przyjąć z prognoz podawanych w internecie.

6. Proponuje się przyjąć metodę prognozowania zagrożenia pożarowego dla stref prognostycznych przedstawioną schematycznie na rycinie 12.

A METHOD OF ASSESSING LARGE-AREA FOREST FIRE RISK IN POLAND BASED ON PREDICTED CHANGES IN THE PINE LITTER HUMIDITY

Summary

The aim of the study was an attempt to develop a method for the evaluation of large-area forest fire risk in Poland based on predicted changes in the pine litter humidity. Statistical analyses were applied to the data obtained from all over Poland (34 so-called prognostic zones) relating to the most flammable period of the 1990s (1992–1996).

The methodical assumptions of the study were:

1. To develop methods for evaluating the countrywide forest fire risk in Poland using the existing fire risk monitoring system in forests in individual prognostic zones,
2. To estimate the pine litter humidity, as well as to predict the forest fire risk based on the anticipated meteorological conditions and relative air humidity through the analysis of interactions between litter moisture and meteorological factors.

The analysis of data obtained during the monitoring of fire risk in individual prognostic zones has shown the possibility of:

- Determining the trend of changes in forest fire risk not only in a given zone but also throughout the country as compared with previous periods (through the calculation of the national degree of fire risk),
- Determining the level of ‘fire safety’ in forests on the basis of both the fire risk index and meteorological factors (air humidity, air temperature and atmospheric precipitation), as well as on litter humidity.

The formulas were developed to estimate the humidity in forest litter under the anticipated meteorological conditions. The model was developed for predicting the next-day risk of forest fires in Poland.

$$W_{s9.00} = 28,882 + 1,567 \cdot O_{p9.00} - 0,455 \cdot T_{p9.00} - 0,222 \cdot W_{p9.00} - 0,024 \cdot O_{p9.00}^2 - 0,006 \cdot T_{p9.00}^2 + 0,004 \cdot W_{p9.00}^2 \quad (\%) \quad [3]$$

$$W_{s13.00} = 7,238 + 1,012 \cdot O_{p13.00} - 0,512 \cdot T_{p13.00} + 0,51 \cdot W_{p13.00} - 0,001 \cdot O_{p13.00}^2 + 0,0005 \cdot T_{p13.00}^2 - 0,00047 \cdot W_{p13.00}^2 \quad (\%) \quad [4]$$

$W_{s9.00}$ – litter humidity at 9.00 [%],

$W_{s13.00}$ – litter humidity at 13.00 [%],

$O_{p9.00}$ – atmospheric precipitation at 9.00 [mm],

$O_{p13.00}$ – atmospheric precipitation at 13.00 [mm],

$W_{p9.00}$ – air relative humidity at 9.00 [%],

$W_{p13.00}$ – air relative humidity at 13.00 [%],

$T_{p9.00}$ – air temperature at 9.00 [°C],

$T_{p13.00}$ – air temperature at 13.00 [°C].

The way of using the elaborated formulae in everyday practice in Polish forestry for prognosing “the next day” fire risk level was prepared.

(transl. K. M.)

LITERATURA

- Karlikowski T i in. 1968: Ocena przydatności metod prognozowania stanu zagrożenia pożarowego lasu w latach 1965-1966. Prace Inst. Bad. Leś., 365: 3-72.
- Karlikowski T. 1975: Pożary lasu. PWRiL.
- Karlikowski T i in. 1975: Badanie i ustalenie kryteriów oceny zagrożenia pożarowego lasu w oparciu o warunki meteorologiczne i skład gatunkowy drzewostanu. Dok. IBL, maszynopis.
- Karlikowski T., Dąbrowska Zielińska K., Zawiła-Niedźwiecki T, Gruszczynska M., Santorski Z., Sakowska H., Janowska M. 1997: The use of NOAA-AVHRR images for forest fire risk assessment. Prace Inst. Bad. Leś., A, 829: 1-72.
- Karlikowski T., Santorski Z., Sakowska H., Walczak D. 1993: Doskonalenie metod prognozowania i alarmowania (łącznie) w ochronie przeciwpożarowej lasu. Nowelizacja stopni wskaźnika zagrożenia pożarowego lasu. Dok. IBL, maszynopis, Warszawa.
- Lorenc H. i in. 1995: Tendencje zmian wybranych elementów klimatu i wód gruntowych w ostatnim 30-leciu w Polsce. Dok. IMiGW wykonana dla IBL, maszynopis, Warszawa.
- Przedpełska W., Gałka S. 1968: Meteorologiczne kryteria oceny potencjalnego zagrożenia pożarowego. Materiały z Ogólnokrajowej Narady Naukowo-Technicznej nt. Ochrony Przeciwpożarowej Lasów w Polsce, Zielona Góra, 96-111.
- Sakowska H. 1998: Proposal on amendments to criteria concerning risk to forest fire. Materiały z Pierwszej Bałtyckiej Konferencji nt. Pożarów Lasu, 188-198.
- Sakowska H. 1998: A Survey of Fire Threat to Polish Forest During 1991-1997. Coimbra – Portugal 16–20.11.1998, 3rd International Conference on Forest Fire Research and 14th Conferences on Fire Forest Meteorology, Conference Proceedings, Luso – Coimbra – Portugal 16–20th November 1998, 241-252.
- Santorski Z. 1993: Rejonizacja zagrożenia pożarowego lasów w Polsce. Maszynopis pracy doktorskiej wykonanej w IBL, Warszawa.
- Szczygieł R., Ubysz B. 2004: Opracowanie wniosku do Unii Europejskiej o zmianę klasyfikacji obszarów leśnych Polski do wysokiego stopnia ryzyka pożaru lasów. Dok. IBL, maszynopis, Warszawa.
- Ubysz B i in. 2000: System ostrzegania i alarmowania o pożarach leśnych. Dok. IBL, maszynopis.