

dr inż. **Ryszard SZCZYGIEŁ**,
dr inż. **Barbara UBYSZ**,
dr inż. **Józef PIWNICKI**
Samodzielna Pracownia Ochrony Przeciwpożarowej Lasu
Instytut Badawczy Leśnictwa

KRYTERIA OCENY RYZYKA ZAGROŻENIA POŻAROWEGO LASU

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę meteorologicznych warunków występowania pożarów lasu, będących obok wilgotności materiału palnego podstawowymi kryteriami oceny zagrożenia pożarowego obszarów leśnych. Badania przeprowadzono na podstawie danych o 2911 pożarach z lat 2000-2006 z terenu Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Zielonej Górze. Ich wyniki posłużą do opracowania metody oceny ryzyka zagrożenia pożarowego.

Summary

The paper depicts an analysis of meteorological conditions of forest fire occurrence, which are, along with the combustible material humidity, the basic criteria of assessment of forest areas fire danger. Research was conducted on the basis of data on 2,911 fires from the years 2000-2006 from the area of the Regional Directorate of State Forests in Zielona Góra. Its findings will be used for development of a fire danger assessment method.

1. Wstęp

Pożary lasu są jednym z głównych czynników powodujących nie tylko długotrwałe, szkodliwe zmiany w ekosystemach roślinnych, ale wpływają także na pogorszenie się warunków życiowych społeczeństwa, szczególnie w razie wystąpienia pożarów wielkoobszarowych. W skali globalnej oddziałują one na zmiany w atmosferze wskutek emisji gazów szklarniowych, powstających w wyniku spalania, co przyczynia się do powstawania efektu cieplarnianego (Cahoon, Stocks, Levine, Cofer i Person 1994, Szczygieł, Ubysz i Zawila-Niedźwiecki 2009, Narayan, Fernandes, Brusselen i Schuck 2007). Niepokojąca jest, obserwowana na świecie, w tym i w Polsce, stała tendencja wzrostu zarówno liczby pożarów, jak i powierzchni spalonej, wynikająca przede wszystkim z ocieplenia się klimatu (Szczygieł, Ubysz i Piwnicki 2007).

Zagrożenie pożarowe lasu kształtują głównie czynniki meteorologiczne, wpływając na stan wilgotności leśnych materiałów palnych, od którego zależy możliwość inicjacji procesu spalania i samorzutnego rozprzestrzeniania się ognia. Szczególną rolę w tym względzie odgrywa ściółka sosnowa (*Pinus sylvestris* L.), która z powodu składu gatunkowego lasów Polski jest podstawowym materiałem palnym. Ze względu na rozdrobnienie, strukturę, ilość, a zwłaszcza wilgotność, proces inicjacji spalania prawie wszystkich rodzajów pożarów lasu przebiega w warstwie ściółki, która jest również głównym nośnikiem propagacji ognia, podczas gdy inne typy leśnych materiałów palnych intensyfikują bądź opóźniają ten proces. Potwierdzeniem tego jest fakt występowania 86,5% wszystkich notowanych w kraju pożarów lasu na siedliskach borowych.

Poznanie wpływu warunków meteorologicznych i wilgotności leśnych materiałów palnych (przede wszystkim martwych) na zagrożenie pożarowe decyduje o właściwej ocenie ryzyka powstania pożaru i jego rozprzestrzeniania się oraz podjęciu adekwatnych do tego stopnia działań zarówno prewencyjnych, jak i ratowniczo-gaśniczych poprzez odpowiednią gotowość operacyjną oraz dysponowanie sił i środków niezbędnych do jak najszybszego ugaszenia ognia. Niniejsza praca omawia wyniki badań dotyczących meteorologicznych uwarunkowań występowania pożarów lasu, będących podstawą do opracowania kompleksowej metody oceny ryzyka powstania pożaru lasu i jego rozprzestrzeniania się, co będzie tematem pracy habilitacyjnej. Wszystkie znane metody prognozowania zagrożenia pożarowego lasu uwzględniają warunki pogodowe jako podstawowe w ocenie możliwości powstania pożaru.

Badania były prowadzone w Samodzielnej Pracowni Ochrony Przeciwożarowej Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa w ramach projektu badawczego własnego Nr 2 P06L 015 29 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

2. Stan zagadnienia w literaturze

Prognozowanie zagrożenia pożarowego lasu rozpoczęto w latach dwudziestych XX wieku. Pierwsze próby oceny ryzyka zagrożenia pożarem zmierzały do powiązania zjawiska powstawania pożaru z czynnikami meteorologicznymi i kształtowaną przez nie wilgotnością leśnych materiałów palnych. Pomimo licznych prób zdefiniowania pojęcia prognozy zagrożenia pożarowego lasu nie jest ono do dziś wystarczająco i w sposób jednoznaczny określone (Zieger i Lange 1960, Lange 1994, Wittich 1998, Silva 1998). Niektórzy autorzy widzą w niej tylko formalną ocenę czynników pogodowych stanowiących pomoc

w rozpoznaniu istniejącego zagrożenia pożarowego lasu. Inni rozumieją ją zarówno jako znajomość potencjalnej przyczyny zapalenia, jak też czynników związanych z czasem (porą roku oraz dnia i związaną z tym sytuacją pogodową) oraz miejscem (np. klasą zagrożenia pożarowego lasu). Jeszcze inni określają ją jako całe systemy oceny zagrożenia pożarem i jego rozwoju w środowisku leśnym. W literaturze przedstawiane są rozmaite podziały metod stosowanych do oceny zagrożenia pożarowego lasu, w różnym stopniu uwzględniające czynniki pogodowe. Wśród nich można wyróżnić:

1. Metody o długoterminowej (niemiecka metoda Käsego M-68 i rosyjska Nesterova), średnioterminowej (np. niemiecka metoda Baumgartnera stosowana w Bawarii) i krótkoterminowej tzw. pamięci warunków meteorologicznych (Lange 1994, Wittich 1998ab, Wiler 2000, 2007).
2. Metody empiryczne (np. metoda M-68 i Nesterova) lub półempiryczne (te ostatnie istnieją przede wszystkim w krajach o dużym nasileniu występowania pożarów lasu, jak Australia, Kanada czy USA, np. kanadyjski wskaźnik Forest Fire Weather Index).
3. Metody określające aktualne zagrożenie pożarowe lasu oraz wyprzedzające, mające rzeczywisty charakter prognostyczny (uwzględniając prognozę pogody), bądź też łączone (Langholz i Schmidt Mayer 1993, Sofronov, Volokitina, Fomina i Tartakovskaja 1994, Lex 1996, Wittich 1998a).
4. Metody proste (nie rozbudowane), podające jedynie wskaźnik zagrożenia pożarowego, lub uzupełniane innymi elementami, np. prognozą pogody na najbliższy okres (Niemcy - Lex 1996).
5. Metody systemowe oceny zagrożenia pożarowego lasu (np. amerykański National Fire Danger Rating System). Są one zbudowane na zasadzie modułów (w tym moduł uwzględniający czynniki meteorologiczne), stanowiących odpowiednie programy częściowe (Anon. 1970, 1976, Karlikowski i Szczygieł 1982, Lex 1996, Wittich 1998a, Andrews i Bevins 1998, Bosserti, Reisner, Linn, Winterkamp, Schaub i Riggan 1998, Fernandes 1998, Guarnieri, Andersen, Olampi i Chambinaud 1998, Lopes, Cruz i Viegas 1998, Wittich i Lex 2000), a wywodzące się jeszcze z idei Gisborne'a (1925, 1928), polegającej na sumowaniu ocen wielu różnych czynników wpływających na niebezpieczeństwo powstania pożaru.
6. Metody charakteryzujące się różną bezwładnością, tj. szybkością reakcji na zmiany warunków meteorologicznych (Wittich 1998a).

W ostatnich latach coraz częściej obserwuje się trend porównywania różnych metod przez poszczególne kraje, celem wyboru najbardziej optymalnej dla ich warunków przyrodniczo-ekologicznych. Najpowszechniej testowana jest metoda kanadyjska bądź jej elementy, często z pozytywnym rezultatem (np. Grecja, Francja, Portugalia, Niemcy).

System kanadyjski oceny zagrożenia pożarowego (Canadian Forest Fire Danger Rating System – CFFDRS) jest najstarszym, obok, podobnego do niego, amerykańskiego, stosowanym na świecie. Metoda opiera się na pomiarach parametrów meteorologicznych w południe (temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza, prędkości wiatru i opadu atmosferycznego). Oprócz tego na podstawie opracowanych równań obliczane są wilgotności trzech zasadniczych typów materiałów palnych: górnej warstwy pokrywy dna lasu (Fine Fuel Moisture Code – FPMC), warstwy środkowej, w postaci częściowo rozłożonej ściółki (Duff Moisture Code – DMC) oraz warstwy dolnej, w formie zbitej substancji organicznej (Drought Code – DC). Wyodrębnienie trzech warstw ściółki do oceny zagrożenia pożarem w metodzie kanadyjskiej wynika zarówno z różnej prędkości pochłaniania przez nie wilgoci, jak też ich przesychania, co powoduje odmienny wpływ tych warstw na możliwość powstania pożaru, jego charakterystykę i intensywność spalania.

W Europie brakuje ujednoliconego podejścia do oceny zagrożenia pożarowego lasu, stąd w poszczególnych krajach opracowuje i stosuje się różne metody. Ze względu na to, że pożary lasów i terenów niezagospodarowanych są poważnym problemem w Unii Europejskiej (szczególnie dotyczy to południa Europy), Komisja Europejska zdecydowała o stworzeniu Europejskiego Systemu Informacji o Pożarach Lasu (European Forest Fire Information System – EFFIS). Funkcjonuje w nim podsystem oceny zagrożenia pożarowego lasów Europy (European Forest Fire Risk Forecasting System – EFRFS). Podsystem ten opracowano, by zapewnić ujednoliconą platformę służącą do wdrożenia wybranych wskaźników krajowych na terenie Europy, celem posiadania wspólnego systemu odniesienia do oceny zagrożenia pożarowego, a także wspierania współpracy służb krajowych w wypadku zaistnienia pożarów transgranicznych. Dane meteorologiczne wykorzystywane w ocenie zagrożenia pożarowego pochodzą z Meteo-France, a uzyskiwane są za pomocą Modelu Cyrkulacji Globalnej (ARPEGE), opracowanego we współpracy z Europejskim Centrum Prognoz Średnioterminowych (ECMWF). Model ten zapewnia codzienne prognozy odwzorowywane na siatce EURAT 5 o rozdzielczości przestrzennej $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, co odpowiada komórkom siatki 40-50 km (Yessad 1998). W EFFIS prognozy temperatury powietrza i jego wilgotności względnej, opadów atmosferycznych, prędkości wiatru oraz nasłonecznienia wykorzystywane są do obliczania meteorologicznych wskaźników zagrożenia pożarowego

oraz do generowania map prognoz 1- i 3-dniowych. Wskaźniki meteorologiczne są odwzorowywane w pięciu klasach zagrożenia pożarowego lasów, które określane są po kalibracji każdego wskaźnika.

W Polsce problematyką prognozowania zagrożenia pożarowego lasu zaczęto się interesować dopiero w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Prace w tym zakresie zostały rozpoczęte w Zakładzie Ochrony Przeciwpożarowej Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa (Karlikowski 1981). Zmierzały one początkowo do przeanalizowania możliwości wykorzystania istniejących europejskich metod oceny zagrożenia pożarowego w warunkach polskich lasów. Próbowano także ustalić meteorologiczne kryteria oceny potencjalnego zagrożenia pożarowego lasu, na podstawie wskaźników uwilgotnienia atmosfery, które też nie przyniosły spodziewanych wyników (Przedpeńska, Gałka 1968). Te przyczyny spowodowały, że zdecydowano się na opracowanie rodzimej metody prognozowania zagrożenia pożarowego, nad którą prace prowadzono w latach 1964-1976 w Instytucie Badawczym Leśnictwa. W ich wyniku powstała metoda określania zagrożenia pożarowego, nazwana metodą IBL (Karlikowski 1981). Opierała się ona na trzech czynnikach: wilgotności ściółki sosnowej, wilgotności względnej powietrza i wielkości opadu atmosferycznego. W zależności od wartości wilgotności ściółki i wilgotności względnej powietrza ustalano stopień zagrożenia pożarowego lasu na podstawie tabeli lub wykresów, które zostały sporządzone dla dwóch terminów obserwacji, to jest na godzinę 9.00 i 13.00. W metodzie przyjęto, że pożary mogą powstawać do 60% wilgotności ściółki i do 100% wilgotności względnej powietrza. W zależności od wielkości zaistniałego opadu atmosferycznego dokonywano korekty ustalanego stopnia zagrożenia dla strefy prognostycznej (stosowanego w Lasach Państwowych, podzielonych na 34 takie strefy).

W 1993 roku dokonano modyfikacji metody IBL (Karlikowski, Santorski i Sakowska 1993), polegającej na zmianie progów wilgotności ściółki i wilgotności względnej powietrza. Zasadniczą zmianą było obniżenie progu wilgotności ściółki, przy którym istnieje zagrożenie pożarowe do wartości 40%, ale tylko dla obserwacji wykonywanej o godzinie 13.00.

Z praktyki stosowania obecnej metody wynika, że jest ona bardziej trafna przy stabilnej pogodzie. Natomiast jej trafność jest mała i zdecydowanie niewystarczająca przy zmianach pogodowych (nagłych zmianach związanych z przemieszczaniem się frontów atmosferycznych, co jest szczególnie groźne ze względu na możliwość powstawania w takich warunkach dużych pożarów lasu). Z powodu jej zbyt dużej bezwładności (reakcji na zmiany warunków atmosferycznych) odnotowywane są także pożary przy stopniu zerowym.

W metodzie aktualnie obowiązującej (Santorski 1999) przyjęto zbyt duże progi dla – podstawowego czynnika decydującego o możliwości powstania pożaru w lesie – wilgotności materiału palnego (ściółki sosnowej). Według tej metody nawet przy wilgotności ściółki wynoszącej 60% istnieje zagrożenie pożarowe. To zaś zmusza do podejmowania określonych czynności przez służby leśne i straże pożarne, podczas gdy wiadomo z badań, że próg wilgotności wynoszący 30% (Gisborne 1925, 1928, 1936ab, Stickel 1931, Ancyškin 1957, Byram 1957, Edlin 1958, Davis, Byram i Krumm 1959, Kurbatskij 1962, 1964, Anderson i Rothermel 1964, 1965, Anderson 1969, Rothermel i Anderson 1966, Rothermel 1972, Kessell 1979, Łonkiewicz 1979, Rothermel, Wilson, Morris i Sackett 1986, Frandsen 1987, Szczygieł 1988, 1989ab 1991ab, 1992abc, 1993, 1998, Furjaev 1996, Ubysz i in. 2000) jest tym, powyżej którego w normalnych warunkach nie jest możliwe powstanie ognia w lesie i jego samorzutne rozprzestrzenianie się. Obecnie stosowane rozwinięte metody prognostyczne, oprócz ustalenia zagrożenia pożarowego na bieżący dzień i dni następne, dają jednocześnie możliwość prognozowania rozprzestrzeniania się ognia w tych samych warunkach meteorologicznych, dla których sporządza się ocenę zagrożenia pożarowego.

3. Cel i metodyka badań

Celem badań było określenie meteorologicznych warunków powstawania pożarów lasu i wybór najistotniejszych z nich do opracowania metody oceny ryzyka powstania pożaru. Parametrami analizowanymi były: temperatura powietrza (T_p), wilgotność względna powietrza (W_p), zachmurzenie (Z), opad atmosferyczny (O), liczba dni bez opadu (L_{dbo}). Oprócz czynników meteorologicznych w badaniach uwzględniono wilgotność ściółki sosnowej (*P. sylvestris* L.), będącą cechą materiału palnego, na którą mają wpływ warunki pogodowe. Opracowaniu poddano pożary lasu, jakie powstały w latach 2000 – 2006 w Nadleśnictwie Krzystkowice oraz na obszarze 7. strefy prognostycznej, obejmującej teren RDLP w Zielonej Górze. Wybór miejsca przeprowadzenia badań wynikał z lokalizacji na terenie nadleśnictwa leśnej stacji meteorologicznej i punktu prognozującego zagrożenie pożarowe dla 7. strefy prognostycznej oraz zaliczenia tego obszaru do najwyższej kategorii zagrożenia pożarami, jak też ich największym występowaniem w skali kraju. Przeprowadzenie badań dla nadleśnictwa i strefy prognostycznej podyktowane było koniecznością określenia adekwatności pomiarów wykonywanych dla Nadleśnictwa Krzystkowice (29 195 ha) i ich odniesienia do obszaru całej strefy prognostycznej, obejmującej teren 10 nadleśnictw (217 585 ha). Dla poszczególnych pożarów określono

wartości każdego z analizowanych parametrów. Pozwoliło to ustalić warunki jego powstania poprzez sporządzenie dla każdego analizowanego czynnika rozkładu liczby pożarów w postaci histogramów. Jednocześnie dokonano charakterystyki meteorologicznej i stanu kształtowania się wilgotności ściółki sosnowej w sezonach palności, przyjmowanych za okres od 1 marca do 30 września.

Przeprowadzono także badania terenowe, których celem było ustalenie wpływu czynników meteorologicznych na zawartość wody w ściółce sosnowej na trzech rodzajach powierzchni: w młodniku, drągowinie oraz starodrzewiu na siedlisku boru świeżego. Doświadczenia polegały na oznaczaniu wilgotności ściółki sosnowej w dwunastogodzinnych ciągach (od godziny 8.00 do 20.00) w dwugodzinnych odstępach. Próbkę ściółki pobierano z trzech miejsc (przy pniu, w obrębie rzutu koron, w lukach między koronami) na każdej z powierzchni, a następnie je mieszano i określano ich wilgotność metodą suszarkowo-wagową. Za wynik przyjmowano średnią z trzech prób. W godzinach pobierania prób na stacji meteorologicznej, zlokalizowanej około 500 metrów od powierzchni doświadczalnych, notowano wartości analizowanych parametrów meteorologicznych. Badania zmian wilgotności ściółki prowadzono w kilkudniowych ciągach obserwacyjnych wiosną, latem i jesienią, w różnych warunkach pogodowych, obejmujących okresy bezopadowe, wystąpienia deszczu, okresy wysokich i niskich temperatur, pełnego nasłonecznienia i w dni pochmurne, starając się prześledzić zmiany wilgotności ściółki w różnych warunkach meteorologicznych.

Na podstawie opracowanych danych, z lat 1997 – 2006, zawierających informację o wartościach parametrów meteorologicznych i wilgotności ściółki sosnowej mierzonych w punkcie prognozującym zagrożenie pożarowe lasu, podjęto zadanie opisu matematycznego zależności pomiędzy czynnikami pogodowymi a stanem wilgotności materiału palnego. Celem było opracowanie równań dających możliwość prognozowania wilgotności ściółki na godziny popołudniowe, w których ryzyko powstania pożaru lasu jest największe (powstaje w tym czasie około 80% pożarów lasu). Założono, że opracowane równania matematyczne winny mieć charakter zależności regresyjnej, umożliwiając trafne prognozowanie wilgotności ściółki z maksymalną dokładnością w przedziale jej zapalności.

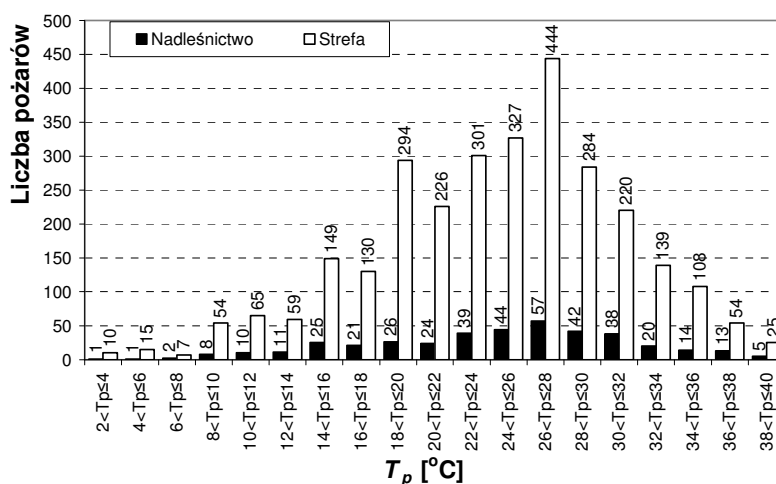
4. Wyniki badań

4.1. Warunki powstawania pożarów lasu

Badań dotyczących warunków meteorologicznych wystąpienia pożarów lasu dokonano dla 1397 dni w sezonach palności w latach 2000 – 2006, kiedy powstało 401 pożarów w Nadleśnictwie Krzystkowie i 2911 pożarów w całej 7. strefie prognostycznej.

4.1.1. Temperatura powietrza

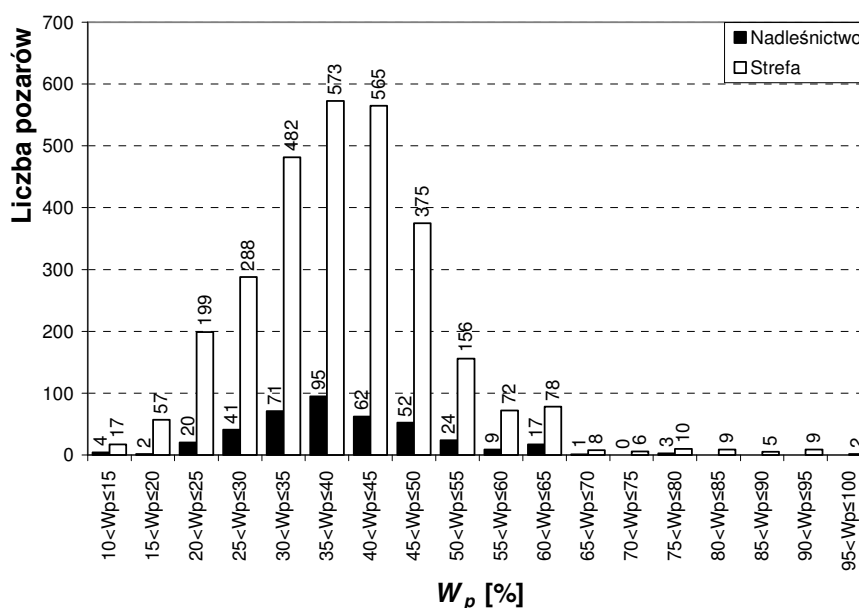
Rozkład ilościowy i procentowy pożarów powstałych na terenie Nadleśnictwa i strefy prognostycznej przedstawiono na rycinie 1. Z histogramu wynika, że pożary powstawały w przedziale temperatur od 2°C do 40°C. Najwięcej pożarów zarówno w nadleśnictwie, jak i w strefie prognostycznej odnotowano w przedziale temperatur 26 – 28°C (14,21% na terenie Nadleśnictwa i 15,39% na obszarze strefy). Natomiast najmniej pożarów powstało w niskich przedziałach temperatur od 2°C do 8°C i przy ekstremalnych temperaturach rzędu 38 – 40°C. Były to pożary suchych traw w okresie wczesnej wiosny. Niskie temperatury charakterystyczne są dla początku sezonu palności i podobnie, jak temperatury wysokie (powyżej 30°C), notowane przede wszystkim latem, występowały dość rzadko. Zdecydowana większość pożarów powstała w zakresie temperatur od 14 do 30°C. Na terenie Nadleśnictwa w tym przedziale powstało 69,32% wszystkich pożarów, a w strefie 74,08%.



Ryc. 1. Rozkład liczby pożarów w Nadleśnictwie Krzystkowie i 7. strefie prognostycznej w zależności od temperatury powietrza (T_p)

4.1.2. Wilgotność względna powietrza

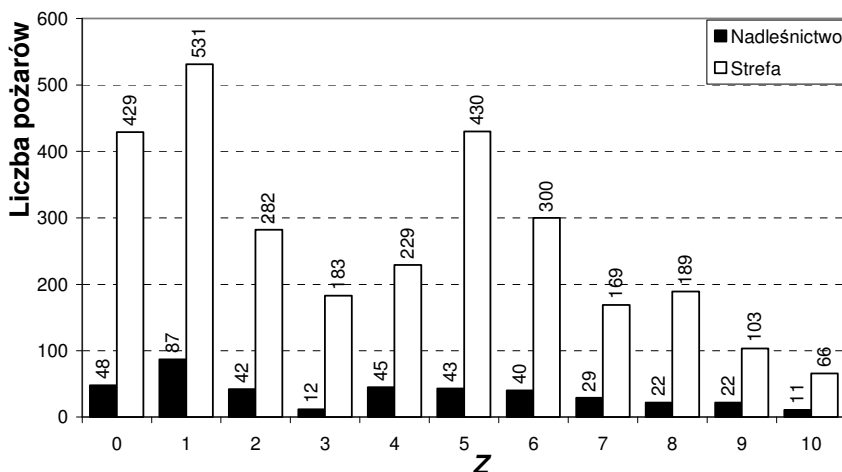
Rozkład występowania pożarów lasu w zależności od wilgotności względnej powietrza przedstawiono na rycinie 2. Pożary w Nadleśnictwie występowały w zakresie wilgotności powietrza wynoszącej od 10 do 80%, a w strefie prognostycznej od 10 do 100%. Najmniej pożarów powstawało w bardzo niskich (10 – 20%) i wysokich przedziałach wilgotności względnej powietrza (powyżej 65%). Podobnie, jak i dla temperatury powietrza, takie zakresy są charakterystyczne dla początku sezonu zagrożenia pożarowego lasu oraz okresów dłużej utrzymujących się susz i nie występowały często. Najwięcej pożarów w Nadleśnictwie powstało przy wilgotności względnej powietrza 35 – 40% (23,69% pożarów) i podobnie w strefie, gdzie nastąpiło niewielkie przesunięcie zakresu przedziału do 45% (39,54% wszystkich analizowanych pożarów). Nasilenie występowania pożarów lasu zarówno w Nadleśnictwie (75,82%), jak i w strefie (74,64%) przypadło dla wilgotności względnej powietrza wynoszącej od 30 do 55%.



Ryc. 2. Rozkład liczby pożarów w Nadleśnictwie Krzystkowie i 7. strefie prognostycznej w zależności od wilgotności względnej powietrza (W_p)

4.1.3. Zachmurzenie

Występowanie pożarów lasu w zależności od zachmurzenia¹ przedstawiono na rycinie 3. Najwięcej pożarów wystąpiło, gdy zachmurzenie było małe i wynosiło 1 (tj. 1/10 pokrycia nieba), zarówno w Nadleśnictwie - 87 pożarów (21,70%), jak i w strefie prognostycznej - 531 (18,45% ogółu pożarów). Natomiast najmniej pożarów powstało przy pełnym zachmurzeniu (10). W nadleśnictwie wybuchło ich 11 (2,74%), a w strefie 66 (2,27%). Przy zachmurzeniu małym powstała blisko połowa wszystkich pożarów bez względu na wielkość obszaru objętego analizą. Natomiast przy zachmurzeniu określanym jako duże powstało najmniej pożarów - w Nadleśnictwie 55 (13,72%), a w strefie 358 (12,3%).



Ryc. 3. Rozkład liczby pożarów w Nadleśnictwie Krzystkowie i 7. strefie prognostycznej w zależności od zachmurzenia (Z)

4.1.4. Opad atmosferyczny

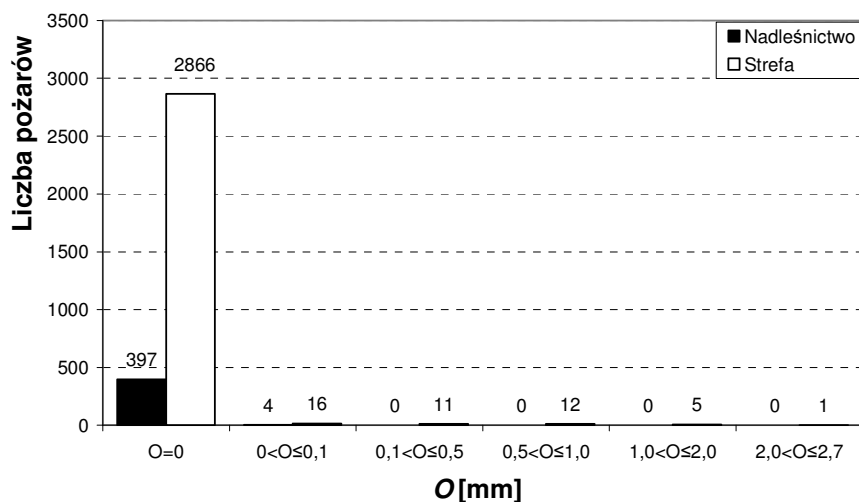
Wpływ opadu atmosferycznego na powstawanie pożarów analizowano na podstawie:

- jego wielkości z terminu obserwacji najbliższej godzinie wystąpienia pożaru,
- sumy opadów w dniu powstania pożaru (O_s),
- liczby dni bez opadu do dnia, w którym wybuchł pożar.

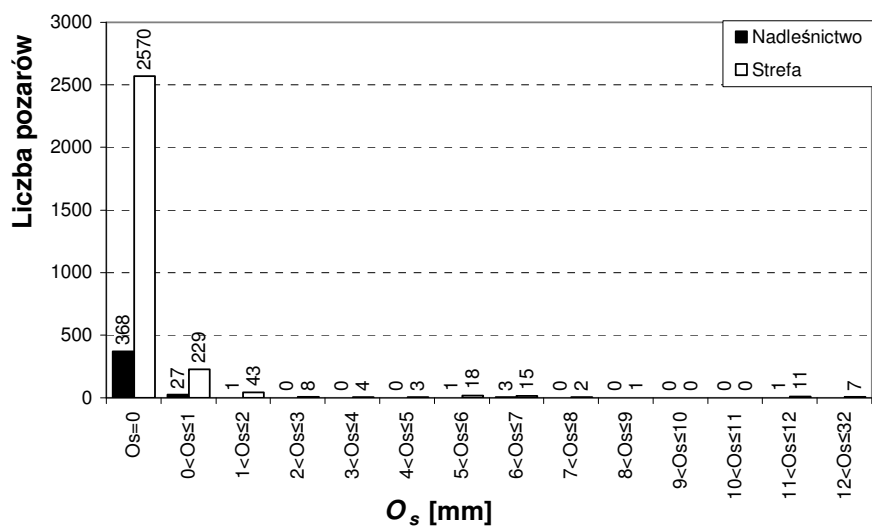
Wyniki badań zaprezentowano na rycinach 4 - 6. Z analizy wynika, że około 99% wszystkich pożarów (odpowiednio: w Nadleśnictwie – 397, w strefie – 2866) powstało, gdy nie

¹ Zachmurzenie na leśnych stacjach meteorologicznych było określane w dziesięciostopniowej skali pokrycia nieba chmurami. Zachmurzenie określa się jako małe, gdy stopień pokrycia nieba wynosi od 0 do 3, umiarkowane, gdy od 4 do 7 i duże - przy pokryciu od 8 do 10.

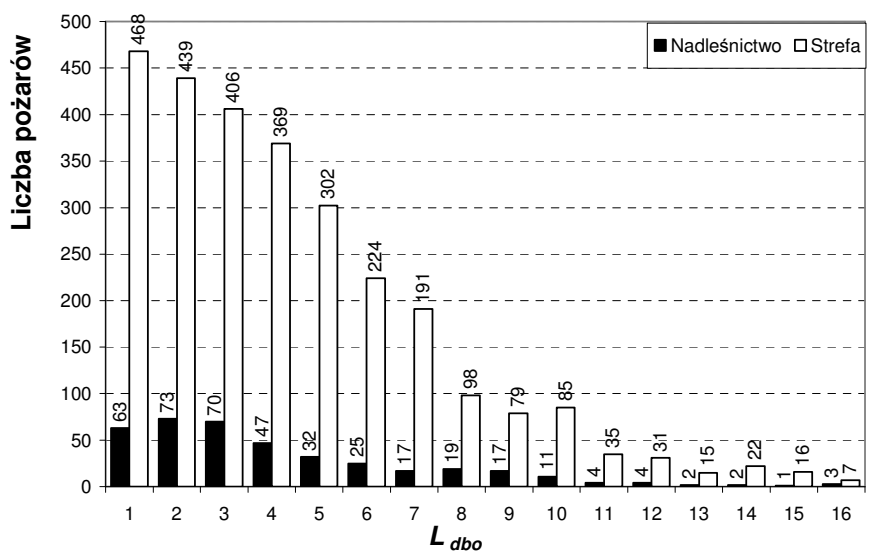
odnotowano opadu w godzinie obserwacji wykonywanej na stacji meteorologicznej najbliższej powstaniu pożaru. Cztery pożary powstały w Nadleśnictwie przy opadzie 0,1 mm (w strefie było ich 16), mierzonym na stacji meteorologicznej, co praktycznie nie powoduje zmian wilgotności pokrywy dna lasu i nie przeciwdziała możliwości inicjacji spalania. W strefie prognostycznej odnotowano też 1% pożarów, gdy opad był większy niż 0,1 mm, co zważywszy na wielkość strefy i to, że opad był mierzony w Krzystkowicach, a więc często daleko od miejsca powstania pożaru, uzasadnia pominięcie takich wypadków. Pozwala to na stwierdzenie, że pożary powstawały wówczas, gdy bezpośrednio (do kilku godzin) przed nimi nie było opadów deszczu.



Ryc. 4. Rozkład liczby pożarów w Nadleśnictwie Krzystkowice i 7. strefie prognostycznej w zależności od opadu atmosferycznego (O)



Ryc. 5. Rozkład liczby pożarów w Nadleśnictwie Krzystkowie i 7. strefie prognostycznej w zależności od sumy opadów atmosferycznych (O_s)



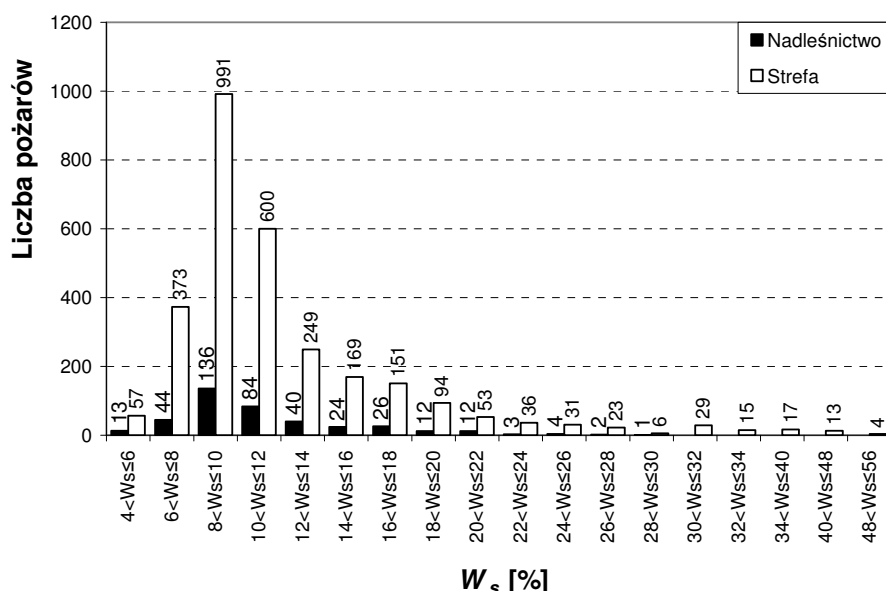
Ryc. 6. Rozkład liczby pożarów w Nadleśnictwie Krzystkowie i 7. strefie prognostycznej w zależności od liczby dni bez opadu atmosferycznego (L_{dbo})

Określając z kolei wpływ sumy opadów, jakie wystąpiły w dniu powstania pożaru, należy stwierdzić, że podobnie jak to opisano wyżej, zdecydowana większość pożarów wybuchła, gdy nie było takich opadów. W Nadleśnictwie było to 368 pożarów (91,77%), a w strefie prognostycznej 2570 pożarów (88,29%). Przy opadzie wielkości do 1 mm, mierzonego na powierzchni otwartej, w Nadleśnictwie powstało 27 pożarów (6,73%), w strefie zaś 229 (7,87%). Tylko 1,5% (Nadleśnictwo) i 3,75% (strefa) spośród wszystkich pożarów powstało, gdy opad dochodził nawet do 32 mm. Świadczy to o tym, że pomiary opadu, który radykalnie wpływa na możliwość powstania ognia w lesie, nie były adekwatne dla obszaru całej strefy prognostycznej, szczególnie przy przechodzeniu frontów burzowych. Dokładna analiza pożarów powstałych na terenie Nadleśnictwa wykazała, że nieliczne pożary, jakie odnotowano, zaistniały przed wystąpieniem opadu.

Najwięcej pożarów powstało w okresie jednego lub dwóch dni od wystąpienia opadu, gdy jego wysokość nie przekraczała 1 mm. Im opad był większy tym liczba dni bezopadowych do momentu wystąpienia pożaru była większa. Mniejsza liczba pożarów przy długich okresach bez deszczu wynikała tylko z tego powodu, że te okresy były rzadkie i trwały najdłużej 16 dni.

4.1.5. Wilgotność ściółki

Wilgotność ściółki sosnowej (*P. sylvestris* L.), ze względu na skład gatunkowy lasów Polski, decyduje o możliwości powstania pożaru, o ile w lesie pojawią się bodźce energetyczne zdolne zainicjować proces spalania. W analizie rozkładu liczby pożarów, w zależności od wilgotności ściółki, wykorzystano dane z punktu prognostycznego, w którym mierzone były jej wartości. Wyniki przedstawia rycina 7.



Ryc. 7. Rozkład liczby pożarów w Nadleśnictwie Krzystkowie i 7. strefie prognostycznej w zależności od wilgotności ściółki (W_s)

Prawie 34% wszystkich analizowanych pożarów powstało, kiedy wilgotność ściółki wynosiła od 8 do 10%. W tym przedziale wilgotności materiału palnego w Nadleśnictwie powstało 136, a w strefie prognostycznej 991 pożarów lasu. W zakresie do 20% wilgotności ściółki w Nadleśnictwie powstało 379 pożarów (94,51%), w strefie zaś 2684, co stanowiło 92,02% wszystkich wypadków. Wraz ze wzrostem wilgotności ściółki malała liczba pożarów. Powyżej wartości 30% wilgotności ściółki nie odnotowano pożarów na terenie Nadleśnictwa, co należy uznać za wartość progową, powyżej której niemożliwe jest powstanie pożaru od standardowych bodźców energetycznych i samorzutne rozprzestrzenianie się ognia. Potwierdzają to dane innych badań, zarówno krajowych, jak i zagranicznych. Natomiast na obszarze strefy prognostycznej powyżej tej wartości progowej powstały 84 pożary (2,68%), co uwidacznia, że mierzone wartości wilgotności ściółki w punkcie prognostycznym nie zawsze są trafne w odniesieniu do całej strefy prognostycznej. Trafność ta jest tym większa im dotyczy mniejszego obszaru, dla którego określane są warunki możliwości powstania pożaru lasu. Ta nieadekwatność wynika przede wszystkim z nierównomierności przestrzennego rozkładu opadów atmosferycznych, co ma decydujący wpływ na stan wilgotności leśnych materiałów

palnych. Z przeprowadzonych badań wynika, że temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza i zachmurzenie odznaczały się stabilnością na większym obszarze. Mierzone one były na leśnej stacji meteorologicznej i w punkcie progностycznym (zlokalizowanych na terenie Nadleśnictwa) i okazały się adekwatne także dla całej strefy progностycznej, o czym świadczą takie same lub bardzo zbliżone zakresy wartości tych parametrów, przy których pożary powstawały. Podobnie, zarówno na terenie Nadleśnictwa, jak i strefy progностycznej, odnotowano najwięcej i najmniej pożarów lasu w zbliżonych przedziałach wartości meteorologicznych. Opad atmosferyczny i wilgotność ściółki okazały się parametrami, które szczególnie przy niestabilnej pogodzie, nie były w pełni adekwatne dla strefy progностycznej, stąd też różnice w warunkach wystąpienia pożarów w Nadleśnictwie w porównaniu ze strefą. Jest to istotne dla trafności oceny ryzyka zagrożenia pożarowego i określenia wielkości obszaru objętego prognozowaniem.

Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$) w wielkości średnich opadów (od godz. 13.00 do 8.00, od 8.00 do 13.00 oraz dobowych), średnim zachmurzeniu o godz. 8.00 w analizowanych miesiącach i latach, ponadto w wilgotności ściółki o godz. 13.00 w badanych latach. Pozostałe analizowane czynniki meteorologiczne, tj. temperatura i wilgotność powietrza, zachmurzenie o godz. 13.00, liczba dni bez opadów oraz wilgotność ściółki różniły się istotnie w poszczególnych miesiącach i latach.

4.1.6. Charakterystyka meteorologiczna dni, w których wystąpiły pożary na tle sezonów palności

W celu pełniejszego scharakteryzowania wpływu poszczególnych czynników meteorologicznych oraz wilgotności ściółki na powstawanie pożarów przeprowadzono badania wartości średnich tych parametrów w dniach, w których pożary wystąpiły oraz w sezonach palności lasu, przyjmowanych w Polsce jako okres od 1 marca do 30 września. Wyniki analizy dały także podstawę do opracowania założeń do metody oceny ryzyka powstania pożaru, w której wartości parametrów meteorologicznych i wilgotności ściółki określałyby stopień zagrożenia pożarowego lasu. Badania oparto na rocznych wykazach spostrzeżeń meteorologicznych ze leśnej stacji meteorologicznej i danych z punktu progностycznego w Nadleśnictwie Krzystkowie. Wyniki przedstawia tabela 3. Według danych w niej zawartych średnie wartości badanych parametrów dla dni, w których powstały pożary zdecydowanie różnią się od tych dla sezonu palności. W tym okresie średnia dzienna temperatura powietrza wynosiła 14,3°C, wilgotność względna powietrza – 72%, zachmurzenie – 6, opad atmosferyczny – 1,7 mm, a wilgotność ściółki - 30%. W dniach, w których powstały pożary na terenie Nadleśnictwa,

średnia temperatura powietrza wynosiła 24,5°C, wilgotność względna powietrza – 40%, zachmurzenie – 4, opad – 0 mm, a wilgotność ściółki – 12%. Wartości średnie powyższych parametrów dla strefy prognostycznej w dniach z pożarami były inne, jak widać z tabeli, ale zbliżone. Wartości parametrów dla dni z pożarami przyjęto za charakteryzujące górną granicę tak zwanej „pogody pożarowej” (zdecydowano się na przyjęcie tych wartości dla obszaru Nadleśnictwa, jako bardziej dokładnych). Natomiast wartości średnie dla sezonów palności określiły jej dolny przedział. Na podstawie wartości tych dwóch przedziałów oraz histogramów frekwencyjnych ustalono liczbę i procent pożarów powstałych w tych warunkach, a także liczbę dni, podczas których panowały takie warunki. Wyniki przedstawiono w tabeli 4. W górnym przedziale „pogody pożarowej” powstała zdecydowana większość pożarów lasu, z tym że największy wpływ miała wilgotność ściółki, gdyż przy jej wartości wynoszącej 12% i mniej powstało 277 pożarów lasu (69,08%). Przy pozostałych czynnikach meteorologicznych powstała taka sama liczba pożarów. Zdecydowany wpływ wilgotności ściółki na liczbę pożarów lasu widać w dolnym przedziale warunków charakteryzujących powstawanie pożarów, kiedy jej wartość wynosi 30%. W takich warunkach nie odnotowano pożarów lasu, ponieważ ściółka osiągnęła wartość progową, przy której inicjacja spalania jest niemożliwa. Uzasadnia to, że wilgotność materiału palnego powinna być zasadniczym kryterium oceny ryzyka zagrożenia pożarowego, a czynniki meteorologiczne winny stanowić uzupełnienie, gdyż mają one wpływ na stan wilgotności leśnych materiałów palnych.

Tabela 1.

**Średnie wartości czynników meteorologicznych i wilgotności ściółki w sezonach palności oraz w okresie występowania pożarów
w Nadleśnictwie Krzystkowie i na terenie 7. strefy prognostycznej w latach 2000-2006**

Lp.	Rodzaj parametru	Wartość średnia dla	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Okres
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2000-2006
1.	Temperatura powietrza ($T_{p_{sr}}$)	sezonu w strefie 7.	14,7	14,0	14,6	14,6	14,1	14,2	14,0	14,3
2.		dni z pożarami w Nadleśnictwie	26,1	24,8	25,9	23,1	21,4	23,8	28,5	24,5
3.		dni z pożarami w strefie 7.	23,6	23,6	24,2	21,7	21,9	22,4	25,7	23,2
4.	Wilgotność względna powietrza ($W_{p_{sr}}$)	sezonu w strefie 7.	74	77	74	67	71	71	70	72
5.		dni z pożarami w Nadleśnictwie	40	44	43	41	45	39	31	40
6.		dni z pożarami w strefie 7.	45	48	47	45	46	46	38	45
7.	Zachmurzenie (Z_{sr})	sezonu w strefie 7.	6	7	6	5	6	5	6	6
8.		dni z pożarami w Nadleśnictwie	4	6	3	4	5	3	3	4
9.		dni z pożarami w strefie 7.	4	5	4	4	5	4	4	4
10.	Średni dzienny opad atmosferyczny (O_{sr})	sezonu w strefie 7.	1,8	2,1	1,8	1,2	1,6	1,6	1,9	1,7
11.		dni z pożarami w Nadleśnictwie	0	0	0	0	0	0	0	0
12.		dni z pożarami w strefie 7.	0,03	0,01	0,01	0,01	0	0,02	0,05	0,02
13.	Wilgotność ściółki ($W_{s_{sr}}$)	sezonu w strefie 7.	33	36	27	23	25	25	22	30
14.		dni z pożarami w Nadleśnictwie	12	13	12	13	13	10	11	12
15.		dni z pożarami w strefie 7.	16	16	15	15	16	14	14	15
16.	Liczba pożarów ($L_{p_{sr}}$)	Nadleśnictwa	43	16	69	138	52	38	45	401
17.		strefy 7.	347	279	239	757	380	382	527	2911
18.	Liczba dni z pożarami (L_{dp})	Nadleśnictwa	24	12	34	66	31	28	29	224
18.		strefy 7.	90	75	79	145	108	106	118	721
19.	Liczba dni bez pożarów (L_{dtp})	Nadleśnictwa	180	180	176	144	169	170	154	1173
20.		strefy 7.	114	117	131	65	92	92	65	676

Tabela 2.

Rozkład liczbowy i procentowy pożarów w określonych przedziałach wartości poszczególnych czynników meteorologicznych

Lp.	Czynnik meteorologiczny	Rodzaj parametru	Wartości parametrów		
1.	Temperatura powietrza (T_p)	przedział wartości temperatury powietrza [°C]	$T_p \leq 14^2$	$14 < T_p < 24$	$T_p \geq 24$
2.		liczba (procent) pożarów w określonym przedziale wartości T_p	33 (8,23%)	135 (33,67%)	233 (58,11%)
3.		liczba dni w określonym przedziale wartości T_p	274	700	423
4.		częstość występowania pożarów w określonym przedziale wartości T_p	0,12	0,19	0,55
5.	Wilgotność względna powietrza (W_p)	przedział wartości wilgotności względnej powietrza [%]	$W_p \geq 72$	$40 < W_p < 72$	$W_p \leq 40$
6.		liczba (procent) pożarów w określonym przedziale wartości W_p	3 (0,75%)	165 (41,15%)	233 (58,10%)
7.		liczba dni w określonym przedziale wartości W_p	272	830	295
8.		częstość występowania pożarów w określonym przedziale wartości W_p	0,01	0,20	0,79
9.	Zachmurzenie (Z)	przedział wartości zachmurzenia [bezwymiarowe]	8 - 10	5 - 7	0 - 4
10.		liczba (procent) pożarów w określonym przedziale wartości Z	55 (13,72%)	112 (27,93%)	234 (58,35%)
11.		liczba dni w określonym przedziale wartości Z	510	475	412
12.		częstość występowania pożarów w określonym przedziale wartości Z	0,11	0,23	0,57
13.	Wilgotność ściółki (W_s)	przedział wartości wilgotności ściółki [%]	$W_s \geq 30$	$12 < W_s < 30$	$W_s \leq 12$
14.		liczba (procent) pożarów w określonym przedziale wartości W_s	0 (0%)	124 (30,92%)	277 (69,08%)
15.		liczba dni w określonym przedziale wartości W_s	540	444	413
16.		częstość występowania pożarów w określonym przedziale wartości W_s	0	0,28	0,67

² Wartości temperatur zaokrąglono do pełnych stopni.

4.2. Wpływ czynników meteorologicznych na wilgotność ściółki

Analizę wpływu czynników meteorologicznych na wilgotność ściółki oparto na doświadczeniach wykonanych w okresie 75 dni, w siedmiu terminach pomiarów, co daje łącznie 525 obserwacji dla każdego rodzaju powierzchni (młodnik³, drągowina⁴, starodrzew⁵). Do oceny wpływu poszczególnych czynników meteorologicznych na wilgotność ściółki zastosowano metodę korelacji jednoczynnikowej. Zestawienie współczynników korelacji pomiędzy poszczególnymi parametrami w zależności od rodzaju powierzchni i godziny obserwacji przedstawiono w tabeli 5. Sporządzono także dla badanych czynników wykresy ich średniego przebiegu w ciągu dnia.

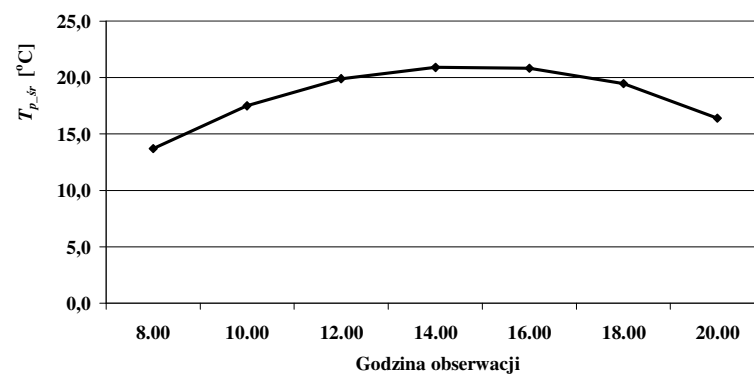
4.2.1. Temperatura powietrza

Z badań wynika, że wraz ze wzrostem temperatury powietrza malała wilgotność ściółki. Związek temperatury powietrza z wilgotnością ściółki był wysoki, gdyż współczynnik korelacji R dla wszystkich godzin obserwacji wynosił od $-0,572$ do $-0,598$ i był prawie jednakowy bez względu na rodzaj powierzchni. Maksymalną korelację pomiędzy wilgotnością ściółki i temperatury powietrza, wynoszącą $-0,670$, odnotowano w starodrzewiu o godzinie 14.00. Zbliżone do tej wartości były również korelacje dla drągowiny (też o godzinie 14.00) i dla młodnika, w którym ten związek był najsilniejszy w południe. Wartości minimalne współczynnik korelacji przyjął o godzinie 8.00 dla wszystkich trzech rodzajów powierzchni. Przebieg średniej temperatury w ciągu dnia przedstawiono na rycinie 8. Najniższe temperatury powietrza obserwowano rano (minimalna zanotowana temperatura wyniosła $2,7^{\circ}\text{C}$), a najwyższe o godzinie 14.00 (maksymalna wyniosła 35°C).

³ Drzewostan w wieku do 20 lat.

⁴ Drzewostan w wieku 41-60 lat.

⁵ Drzewostan w wieku powyżej 80 lat.



Ryc. 8. Wartości średniej temperatury ($T_{p, sr}$) powietrza w dwunastogodzinnych ciągach obserwacji

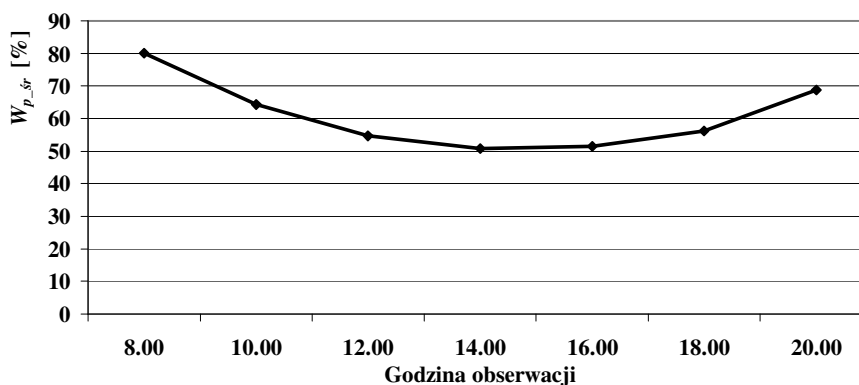
Tabela 3.

Zestawienie współczynników korelacji czynników meteorologicznych i wilgotności ściółki w zależności od rodzaju powierzchni i godziny obserwacji

Parametr meteorologiczny	Rodzaj drzewostanu	Współczynnik korelacji o godzinie							Współczynnik korelacji dla wszystkich godzin obserwacji
		8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	
Temperatura powietrza	młodnik	-0,436	-0,620	-0,646	-0,638	-0,552	-0,594	-0,556	-0,597
	drągowina	-0,431	-0,606	-0,631	-0,640	-0,595	-0,600	-0,554	-0,572
	starodrzew	-0,459	-0,619	-0,608	-0,670	-0,553	-0,603	-0,565	-0,598
Wilgotność względna powietrza	młodnik	0,556	0,777	0,843	0,837	0,811	0,739	0,750	0,706
	drągowina	0,512	0,758	0,804	0,793	0,765	0,694	0,732	0,672
	starodrzew	0,581	0,770	0,741	0,780	0,773	0,735	0,738	0,735
Zachmurzenie	młodnik	0,465	0,564	0,552	0,590	0,488	0,537	0,383	0,423
	drągowina	0,399	0,554	0,558	0,593	0,521	0,474	0,342	0,404
	starodrzew	0,438	0,553	0,527	0,546	0,450	0,500	0,351	0,420
Opad atmosferyczny	młodnik	0,454	0,403	0,434	0,516	0,691	0,532	0,121	0,271
	drągowina	0,455	0,355	0,364	0,449	0,622	0,474	0,114	0,246
	starodrzew	0,435	0,327	0,258	0,446	0,608	0,479	0,129	0,272

4.2.2. Wilgotność względna powietrza

Spadek wilgotności względnej powietrza powodował zmniejszanie się wilgotności ściółki. Zależność pomiędzy nimi była wysoka, o czym świadczy wartość współczynnika korelacji R wynosząca od 0,672 (dragowina) do 0,735 (starodrzew). Największą zależność pomiędzy badanymi czynnikami notowano o godzinie 12.00 w młodniku (0,843), w drągowinie (0,804), a w starodrzewiu o godzinie 14.00 (0,780). Najmniejszy związek zachodził o godzinie 8.00 dla wszystkich rodzajów powierzchni. Wilgotność względna powietrza wahała się od 22 do 99%. Średnią wilgotność względną powietrza w godzinach obserwacji przedstawia rycina 9. Najwyższe wilgotności względne powietrza występowały o godzinie 8.00 (zakres od 43 do 98%), a najniższe o godzinie 16.00 (zakres od 22 do 98%).

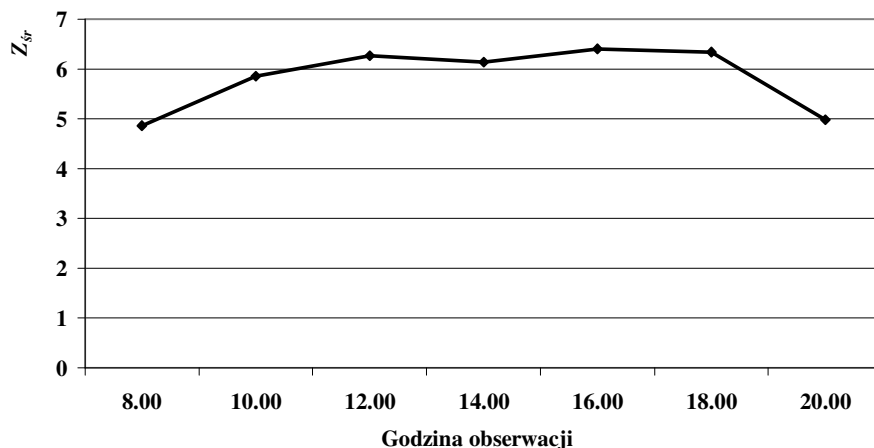


Ryc. 9. Wartości średniej wilgotności względnej powietrza (W_{p_sr}) w dwunastogodzinnych ciągach obserwacji

4.2.3. Zachmurzenie

Zależność pomiędzy zachmurzeniem a wilgotnością ściółki okazała się przeciętna, ponieważ współczynnik korelacji dla całego dnia wynosił od 0,404 (dragowina) do 0,423 (młodnik). Największy wpływ na stan wilgotności ściółki zachmurzenie miało o godzinie 14.00, gdyż współczynnik korelacji przyjął wartości maksymalne bez względu na rodzaj powierzchni. Wynosił on od 0,546 w starodrzewiu do 0,593 w drągowinie. Najmniejszy wpływ na wilgotność ściółki zachmurzenie miało wieczorem o godzinie 20.00 w każdym rodzaju drzewostanu, odwrotnie zatem jak wcześniej omawiane temperatura i wilgotność względna powietrza. Wykres średniego kształtowania się zachmurzenia przedstawia rycina

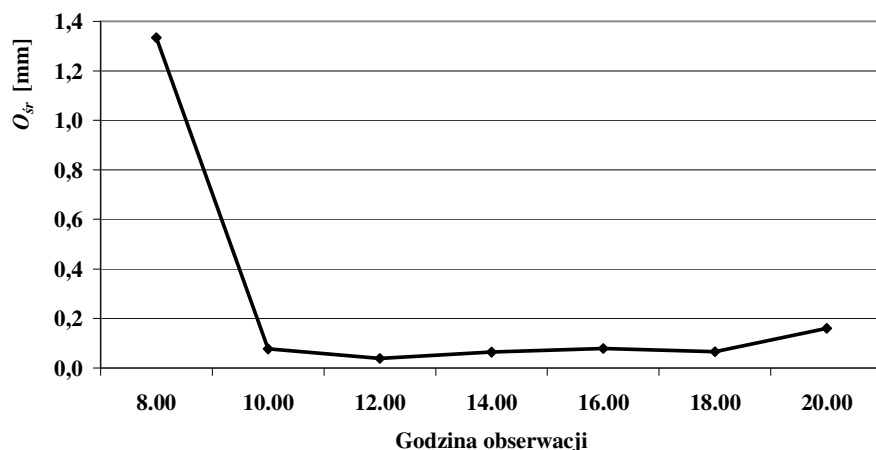
10. Widać z niego, że średnie zachmurzenie było stabilne, bo przebiegało w granicach od 5 do 6 stopni pokrycia nieba. Natomiast w trakcie badań notowano wszystkie wartości, jakie ono może przyjmować w dziesięciostopniowej skali.



Ryc. 10. Wartości średniego zachmurzenia (Z_{sr}) w dwunastogodzinnych ciągach obserwacji

4.2.4. Opad atmosferyczny

Opad atmosferyczny miał najmniejszy wpływ na wilgotność ściółki spośród wszystkich analizowanych czynników meteorologicznych. Współczynnik korelacji dla wszystkich godzin obserwacji wynosił od 0,246 (drągowina) do 0,272 w starodrzewiu. Największą korelację zaobserwowano o godzinie 16.00 (od 0,608 do 0,691), a najmniejszą o godzinie 20.00 (od 0,114 do 0,129) na wszystkich powierzchniach. Największy średni opad wystąpił rano, najmniejszy zaś w południe, co przedstawia rycina 11. Maksymalny opad w czasie prowadzonych doświadczeń wyniósł 28,1 mm. Wyjaśnienia wymaga przyczyna paradoksalnie słabego związku opadu z wilgotnością ściółki, chociaż bezsprzecznie opad jest tym czynnikiem, który w sposób bezpośredni i najszybciej wpływa na stan wilgotności leśnych materiałów palnych. Wynika to przede wszystkim z tego, że opad do pewnej granicy



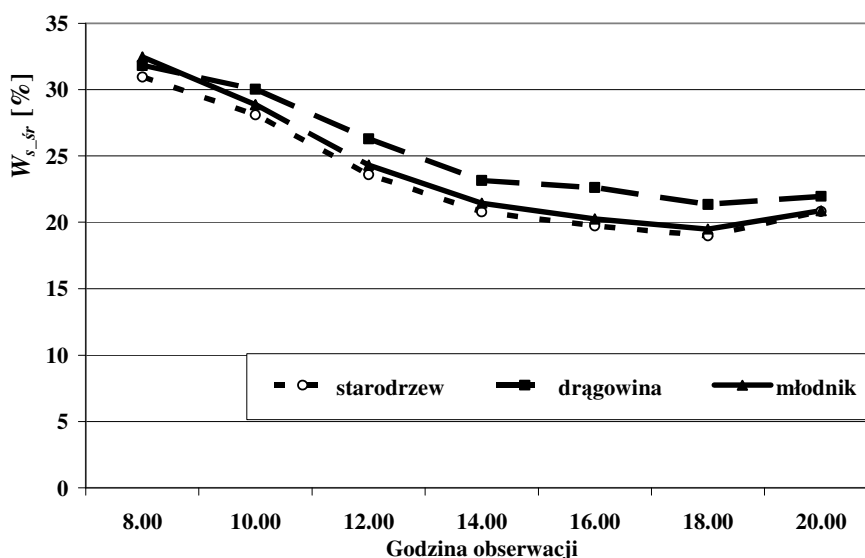
Ryc. 11. Wartości średniego opadu atmosferycznego (O_{sr}) w dwunastogodzinnych ciągach obserwacji

(wynosi ona od 1 do 3 mm i zależy od początkowego stanu wilgotności ściółki w chwili wystąpienia opadu) wpływa wprost proporcjonalnie na zmianę zawartości wody w ściółce, która może osiągnąć stan maksymalnego uwilgocenia, wynoszący około 70%. Natomiast po przekroczeniu tej granicy bez względu na wielkość opadu nie powoduje on praktycznie żadnych dalszych zmian w wilgotności ściółki. Dlatego analiza wpływu opadu na jej wilgotność w całym zakresie notowanych wartości opadu nie jest w stanie w pełni i w sposób właściwy, z punktu widzenia analizy korelacji jednoczynnikowej, opisać tę zależność.

Z przeprowadzonych badań wynika, że największy wpływ na wilgotność ściółki miała wilgotność względna powietrza, następnie temperatura powietrza, zachmurzenie i opad. W szczegółowych analizach pominięto wiatr, ponieważ nie miał on wpływu na stan wilgotności pokrywy ściółkowej. Współczynnik korelacji dla tego związku był na poziomie 0,09.

4.2.5. Wilgotność ściółki a rodzaj drzewostanu

Przebieg średniej wilgotności ściółki był zbliżony we wszystkich trzech rodzajach drzewostanu, co ilustruje rycina 12. Ocena istotności różnic pomiędzy wilgotnością ściółki w starodrzewiu (*s*), drągowinie (*d*) i młodniku (*m*), przeprowadzona metodą testu



Ryc. 12. Wartości średnich wilgotności ściółki w zależności od rodzaju drzewostanu w dwunastogodzinnych ciągach obserwacji ($W_{s,śr}$)

Kołmogorowa - Smirnowa wykazała brak istotnych różnic o godzinie 8.00, 10.00 i 20.00. Różnice wystąpiły pomiędzy młodnikiem i drągowiną oraz starodrzewiem i drągowiną w pozostałych porach obserwacji, co przedstawiono w tabeli 6. Różnice nie wystąpiły pomiędzy starodrzewiem a młodnikiem. Przeprowadzone badania wykazały, że najszybciej uwidaczniał się wpływ oddziaływania czynników meteorologicznych na spadek wilgotności pokrywy ściółkowej w starodrzewiu i młodniku, a wolniej reagowała ściółka w drągowinie. Wytłumaczeniem tego jest zapewne to, że starodrzew odznacza się mniejszym zwarcie, co powoduje większe nasłonecznienie i szybsze przesuszenie ściółki. Mniejsze zwarcie wpływa też na łatwiejsze docieranie opadu do dna lasu i szybszą zmianę wilgotności ściółki, ale także później na szybsze odparowywanie z niej wody. Natomiast młodnik, odznaczający się niską wysokością drzew, pełnym zwarcie koron i występującą małą cyrkulacją powietrza, powoduje, że temperatura wewnątrz niego jest wyższa w porównaniu ze starszymi drzewostanami, na co ma też wpływ silne nasłonecznienie. To wpływa na kształtowanie się niższego poziomu wilgotności pokrywy ściółkowej w tym rodzaju drzewostanu.

Potwierdzeniem większej podatności młodników i starodrzewiu na pożary jest fakt większej częstotliwości występowania pożarów w tych rodzajach lasu.

Tabela 4.

Istotność różnic pomiędzy wilgotnością ściółki w starodrzewiu (s), drągowinie (d) i młodniku (m) określona na podstawie testu *Kołmogorowa-Smirnowa*

Godzina obserwacji	Porównanie grup ⁶	Wartość statystyki (D)	Liczebność grupy 1. (N1)	Liczebność grupy 2. (N2)	Wartość krytyczna statystyki D przy poziomie istotności 0,05 ($D_{0,05}$)
12.00	d-m	0,2207	77	77	0,2192
14.00	d-m	0,2337	77	77	0,2192
16.00	s-d	0,2337	77	77	0,2192
	d-m	0,2337	77	77	0,2192
18.00	s-d	0,2266	75	75	0,2221
	d-m	0,2266	75	75	0,2221

5. Podsumowanie

1. Występowanie pożarów lasu związane jest ściśle z warunkami pogodowymi, które określają przede wszystkim temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, a następnie zachmurzenie i opad atmosferyczny. Czynniki te wpływają na stan wilgotności pokrywy ściółkowej, który decyduje o możliwości powstania pożaru lasu.
2. Wilgotność ściółki wynosząca 30% jest progiem granicznym, powyżej którego powstanie pożaru w lesie od standardowych bodźców energetycznych i jego samorzutne rozprzestrzenianie się jest niemożliwe.
3. Stan tzw. „pogody pożarowej”, kiedy powstaje około 60% pożarów lasu, charakteryzują: wilgotność ściółki wynosząca $\leq 12\%$, temperatura powietrza $\geq 24^{\circ}\text{C}$, wilgotność względna powietrza $\leq 40\%$, zachmurzenie ≤ 4 i opad atmosferyczny równy zeru.

⁶ s – starodrzew, d – drągowina, m - młodnik

4. Największy wpływ na wilgotność ściółki miała wilgotność względna powietrza, następnie temperatura powietrza, a w dalszej kolejności zachmurzenie i opad atmosferyczny. Parametry te (z wyjątkiem opadu) powinny zostać uwzględnione w opracowywanym modelu zależności pomiędzy nimi a wilgotnością ściółki, który pozwoliłby z zadowalającą trafnością prognozować jej wartość na godziny popołudniowe, gdy powstaje najczęściej pożarów lasu.
5. Wilgotność ściółki, temperatura i wilgotność względna powietrza, zachmurzenie i opad atmosferyczny są zasadniczymi elementami, które powinny być uwzględnione w ocenie ryzyka zagrożenia pożarowego lasu.

Literatura

1. Anderson H. E. 1969, Heat transfer and fire spread. U.S. Forest Serv. Res. Pap. INT-69,
2. Anderson H. E., Rothermel 1964, Influence of moisture and wind upon the characteristics of free-burning fires. Tenth Symp. Int. on Combust. Proc., Cambridge, England. 10 pp,
3. Anderson H. E., Rothermel 1965, Influence of moisture and wind upon the characteristics of free-burning fires. Tenth Symp. (Int.) on Combust., pp. 1009-1019, Pittsburgh: The Combustion Institute,
4. Ancyškin S. P. 1957, Protivpožarnja ochrana lesa, Goslebumizdat, Moskva – Leningrad,
5. Andrews P. L., Bevins C. D. 1998, Update and Expansion of the Behave Fire Behaviour Prediction System, Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research and 14th Conference on Fire Forest Meteorology, Luso - Coimbra - Portugal 16 – 20th November 1998, pp. 733-740,
6. Anon. 1970, Canadian Forest Fire Weather Index 1970, Forest Fire Research Institute, Department of the Environment, Canadian Forestry Service, Ottawa,
7. Anon. 1976, Canadian Forest Fire Weather Index 1976, Forest Fire Research Institute, Department of the Environment, Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report,
8. Bossert J. E., Reisner J. M., Linn R. R., Winterkamp J. L., Schaub R. and Riggan P. J. 1998, Validation of Coupled Atmosphere-Fire Behaviour Models, Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research and 14th Conference on Fire Forest Meteorology, Luso - Coimbra - Portugal 16 – 20th November 1998, pp. 647-659,
9. Byram G. M. 1957, Some principles of combustion and their significance in forest fire behaviour. Fire Control Notes N^o 2,
10. Cahoon Jr. D. R., Stocks B. J., Levine J. S., Cofer III W. R., Person J. M. 1994, Satellite analysis of severe 1987 forest fires in northern China and southeastern Sibiria, J. of Geophysical Research, Vol. 99, No. D9, September 20, p. 18,627-18638.

11. Davis K. P., Byram E. M., Krumm W. R. 1959, Forest fire: control and use. McGraw-Hill Co., New York, Toronto, London, 584 pp,
12. Edlin H. L. 1958, Forest fire: What burns and when? Quart. J. Forest N° 4,
13. Fernandes P.M. 1998, Fire Spread Modelling in Portuguese Shrubland, p. 611-628.
14. Frandsen W. H., 1987, The influence of moisture and mineral soil on the combustion limits of smoldering forest duff. Can. J. For. N° 12 pp. 1540-1544,
15. Furjaev V. V. 1996, Rol' požarov v processe lesoobrazovanija. Sibirskaja Izd. Firma "Nauka" Novosibirsk,
16. Gisborne H. T. 1925, Using weather forecasts for predicting forest-fire danger. Mon. Wea. Rev. 53, 58-60,
17. Gisborne H. T. 1928, Measuring forest fire danger in northern Idaho. U.S. Dept. Agr. Misc. Pub. 29, 64 pp,
18. Gisborne H. T. 1936a, Measuring fire weather and forest inflammability. U.S. Dept. Agr. Cir. 398,
19. Gisborne H. T. 1936b, The principles of measuring forest fire danger. Jour. Forestr., 34.: 786-793,
20. Guarnieri F., Andersen C. K., Olampi S. and Chambinaud N. 1998, Firelab, Towards a Problem Solving Environment to Support Forest Fire Behaviour Modelling, Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research and 14th Conference on Fire Forest Meteorology, Luso - Coimbra - Portugal 16 – 20th November 1998, pp. 483-496,
21. Karlikowski T. 1981, Prognozowanie zagrożenia pożarowego lasu metodą IBL, Prace IBL nr 578 s. 3-72,
22. Karlikowski T., Szczygieł R. 1982, Kryteria oceny zagrożenia pożarowego lasów w wybranych krajach. Biul. Inf. Tech. KG PSP Nauka i Technika nr 3 s. 3-11,
23. Karlikowski T., Santorski Z., Sakowska H. i Walczak D. 1993, Nowelizacja stopni wskaźnika zagrożenia pożarowego lasu (WZPL), sprawozdanie IBL, maszynopis, Warszawa,
24. Kessell S. R. 1979, Gradient Modelling. Resource and Fire Management. Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin, 432 pp,
25. Kurbatskij N. P. 1962, Technika i taktyka tušenija lesnych požarov. Goslezbumizdat, Moskva,
26. Kurbatskij N. P. 1964, Problema lesnych požarov. W: Vozniknonenije lesnych požarov.[red. N. P. Kurbatskij Izd. Nauka, Moskva, s. 5-60,
27. Lange S. 1994, Waldbrandprognose in Deutschland, Der Wald Jg 44, Nr 5, s. 172 –174,
28. Langholz H., Schmidt Mayer E. 1993, Meteorologische Verfahren zur Abschätzung des Waldbrandrisikos, AFZ Nr 8, S. 394 –396,
29. Lex P. 1996, Bekämpfung von Waldbränden, Moorbränden, Heidebränden, Rotes Heft 26 (4. Auflage), Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 161 S,

30. Lopes A. M. G., Cruz M. G., Viegas D. X. 1998, Firestation – and Integrated System for the Simulation of Wind Flow and Fire Spread over Complex Topography, Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research and 14th Conference on Fire Forest Meteorology, Luso - Coimbra - Portugal 16 – 20th November 1998, pp.741-754,
31. Łonkiewicz b. 1979, Wpływ składu pokrywy gleby leśnej na powstawanie i rozprzestrzenianie się pożarów leśnych w warunkach siedlisk boru suchego i boru świeżego. Rozpr. doktor. Inst. Bad. Leś., Warszawa,
32. Narayan C., Fernandes P. M., Brusselen J. van, Schuck A. 2007, Potential for CO₂ emissions mitigation in Europe through prescribed burning in the context of the Kyoto Protocol. For. Ecol. Manage., 251, 3: 164–173,
33. Przedpeńska M. i Gałka S. 1968, Meteorologiczne kryteria oceny potencjalnego zagrożenia pożarowego lasów. Mat. Konf. Ochr. Ppoż. Lasu, Zielona Góra, s. 96-111,
34. Rothermel R. C., Anderson H. E. 1966, Fire spread characteristics determined in the laboratory. U.S. Forest Serv. Res. Pap. INT-30, 34 pp,
35. Rothermel R. C. 1972, A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. U.S. Dep. Forest Serv. Agr. Res. Pap. INT-115, Intermt. For. and Range Exp. Station. Ogden Utah, 40 pp,
36. Rothermel R. C., Wilson R. A., Morris G. A., Sackett S. S. 1986, Modelling moisture content of fine dead wildland fuels: input to the BEHAVE fire prediction system. USDA Fo. Serv. Res. Note INT-359,
37. Santorski Z. 1999, Prognozowanie zagrożenia pożarowego lasów. Metoda IBL. Biblioteczka Leśniczego z. 112, s.1-11, SiłTL, DGLP, Warszawa,
38. Silva F. R. Y. 1998, Local Evaluation of the Forest Fires Risk through Danger Indices, Application to the Forest Regions of Andalusia. Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research and 14th Conference on Fire Forest Meteorology, Luso - Coimbra - Portugal 16 – 20th November 1998, pp. 1071-1084,
39. Sofronov M. A., Volokitina A. V., Fomina O. A. i Tartakovskaja T. M. 1994, Ocena i prognorizowanie pożarnej opasności na osnove kart rastitelných gorjučich materjalov i meteoprognozov, Les. Choz. nr 2 s. 36-38,
40. Stickel P. W. 1931, The measurement and interpretation of forest fire weather in the western Adirondacks. State Univ. N.Y., Coll. Forestry, Bul. 34,
41. Szczygieł R. 1988, Forest litter burning in pine stands – laboratory and fields studies. International Workshop on Prescribed Burning, Francja, Avignon 1988,
42. Szczygieł R. 1989, Laboratoryjne badania procesu spalania pokrywy ściółkowej *Pinus sylvestris* L. Biul. Inf. Tech. Nauka i Tech. Poż. nr 3 s. 72-84,
43. Szczygieł R. 1989b, Rozprzestrzenianie się pożaru pokrywy gleby leśnej – próba modelowania. Rozpr. doktor. Inst. Bad. Leś. Warszawa,

44. Szczygieł R. 1991a, The influence of the weather factors fire risk. Seminar on Forest Fire Prevention, Land Use and People. ECE/FAO/ILO. Athens, Greece, published by the: Ministry of Agriculture Secretariat General Forests and Natural Environment.
45. Szczygieł R. 1991b, Warunki meteorologiczne a pożary lasu. Zeszyty Naukowe SGSP nr 1(8),
46. Szczygieł R. 1991c, A model of fire forest. 10^{ème} Congres Forestier Mondial, Proceedings actas No. 2 Paris,
47. Szczygieł R. 1992a, Model pożaru lasu, Notatnik Naukowy IBL, nr 1,
48. Szczygieł R. 1992b, Modelowanie pożarów leśnych. Przegląd Pożarniczy nr 5, s. 12-13,
49. Szczygieł R. 1992c, Ochrona przeciwpożarowa lasów na świecie, Przegląd Pożarniczy nr 6, s. 12,
50. Szczygieł R. 1993, O modelu - raz jeszcze. Przegląd Pożarniczy nr 3, s. 11-12,
51. Szczygieł R. 1998, A Model of Forest Fire. Proceedings of Symposium CTIF "Firefighting Analysis and Risk Coverage" 1998, Lisabon,
52. Szczygieł R., Ubysz B., Piwnicki J. 2007, Impact of global warming on the occurrence of forest fire in Poland. Proceedings of the 4th International Wildland Fire Conference, 13-17 May 2007, Seville (Spain),
53. Szczygieł R., Ubysz B., Zawila-Niedźwiecki T., 2009, Spatial and temporal trends in distribution of forest fires in Central and Eastern Europe [W:] Development in Environmental Science 8. Wildland Fires and Air Pollution (eds: A. Bytnerowicz, M. Arbaugh, C. Andersen, A. Riebau), Elsevier. Amsterdam – Boston – Heidelberg – London – New York – Oxford – Paris – San Diego – San Francisco – Singapore – Sydney –Tokyo,
54. Ubysz B. i in. 2000, System ostrzegania i alarmowania o pożarach leśnych, sprawozdanie Inst. Bad. Leś., maszynopis, Warszawa,
55. Wiler K. 2000, Ochrona lasów przed pożarami, S.A. PSP Poznań,
56. Wiler K. 2007, Ochrona lasów przed pożarami. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa,
57. Wittich K.-P. 1998a, Waldbrandverfahren-Vorhersage des Deutschen Wetterdienstes, AFZ/Der Wald Nr 6, S. 321 – 324,
58. Wittich K.-P. 1998b, Waldbrandverfahren-Vorhersage. Teil I: Streufeuchtemodell. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, DWD intern Nr. 70, Beiträge zur Agrarmeteorologie, 2, 19,
59. Wittich K.-P., Lex P. 2000, Klimatologische Untersuchung der monatlichen Waldbrände Niedersachsens in den Jahren 1988-1998. Forstarchiv 71. J. S. 135 –142.
60. Yessad K., 1998, Caracteristiques d'ARPEGE operationnel et d'autres modeles. Report. Météofrance,
61. Zieger E., Lange S. 1960, Beiträge zur Waldbrand-Prognose, Archiv für Forstwesen B. 9 H. 2 s. 97-108.