

**Kampania informacyjna**  
**pt. „Ogień w lesie a przyroda – podniesienie świadomości**  
**mieszkańców terenów wiejskich w zakresie zapobiegania**  
**pożarom lasów”**

**WARUNKI KSZTAŁTUJĄCE POWSTAWANIE**  
**I ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ POŻARÓW LASU**

**Opracował:**  
**doc. dr hab. Ryszard Szczygieł**

Warszawa 20 września 2010 r.



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Instrumentu Finansowego LIFE+ oraz  
Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Wstęp .....	3
1. Warunki meteorologiczne powstawania pożarów lasu.....	5
1.1. Temperatura powietrza.....	5
1.2. Wilgotność względna powietrza .....	5
1.3. Opad atmosferyczny.....	6
1.4. Zachmurzenie .....	6
1.5. Wilgotność ściółki.....	6
2. Bodźce energetyczne .....	18
3. Leśne materiały palne .....	21
4. Czynniki kształtujące rozprzestrzenianie się pożaru lasu.....	25
4.1. Wiatr.....	25
4.2. Wilgotność względna powietrza .....	27
4.3. Wilgotność materiału palnego.....	28
4.4. Ilość palnej biomasy.....	29
4.5. Warunki drzewostanowe .....	30
4.6. Rzeźba terenu .....	31
4.7. Ilość wydzielanego ciepła .....	32
5. Podsumowanie .....	34
Literatura.....	35

## Wstęp

Na duże zagrożenie polskich lasów wpływają zarówno warunki abiotyczne, biotyczne, jak i antropogeniczne występujące na terenie kraju. Jest ono wynikiem równoczesnego oddziaływania wielu niekorzystnych czynników, które powodując pogorszenie stanu zdrowotnego lasów, sprawiają, że stają się one bardziej podatne na powstawanie i łatwiejsze rozprzestrzenianie się pożarów.

Zagrożenia abiotyczne wynikają głównie z geograficznego położenia Polski znajdującej się na terenie ścierającego się oddziaływania klimatu morskiego i kontynentalnego. Anomalie pogodowe z tym związane wyrażają się częstszym występowaniem ekstremalnych temperatur powietrza, opadów atmosferycznych i wiatrów. Na kondycję lasów niekorzystnie oddziałują stałe czynniki kształtujące bilans wodny, takie jak deficyt opadów czy powtarzające się długotrwałe susze podczas sezonu wegetacyjnego, prowadzące do obniżania się poziomu wód gruntowych. Efektem tego jest występowanie niskiej wilgotności na rozległych obszarach kraju, prowadzące między innymi do procesu stepowienia. Większość polskich lasów znajduje się na ubogich piaszczystych glebach charakteryzujących się wysoką przepuszczalnością wód opadowych.

Nie do przecenienia jest również wpływ innych klęsk żywiołowych, będących skutkiem zmian klimatycznych, na podatność lasów na pożar, czego przykładem może być przejście huraganu w rejonie Pizsa 4 lipca 2002 roku, który radykalnie zmienił (zarówno aktualne, jak i na wiele następnych lat) zagrożenie pożarowe na tych obszarach. Wynikało ono z niespotykanego dotąd nagromadzenia materiału palnego na znacznej powierzchni, o bardzo dużym obciążeniu ogniowym i wyjątkowo niekorzystnej, pod względem pirolologicznym, luźnej struktury przestrzennej sprzyjających łatwiejszemu powstawaniu pożarów o zwiększonej dynamice ich rozprzestrzeniania się.

Wśród zagrożeń biotycznych dotyczących polskich lasów i rzutujących na zagrożenie pożarowe to masowe pojawianie się w nich szkodników owadzich, chorób infekcyjnych, co nie pozostaje bez negatywnego wpływu na ich kondycję. Jednak decydującą rolę w kwestii zagrożenia pożarowego (spośród czynników biotycznych)

odgrywają istniejące w Polsce warunki siedliskowo-drzewostanowe. Przeważające u nas gatunki iglaste (76,2% powierzchni) są szczególnie narażone na pożar, a w tym drzewostany z sosną jako gatunkiem panującym stanowią 68,9%. W Polsce przeważają drzewostany młodsze, które są podatniejsze na pożary. W drzewostanach w wieku do 60 lat powstaje blisko 65% pożarów. Lasy w Polsce występują w zasadzie na terenach o najsłabszych glebach i charakteryzują się znacznym udziałem najuboższych typów siedliskowych, tj. siedlisk borowych, z jednowiekowymi monokulturami sosnowymi. Sprzyjają one znacznemu nagromadzeniu się materiałów palnych i łatwemu tworzeniu się martwej pokrywy gleby.

Najistotniejszymi czynnikami wpływającymi na stan zagrożenia pożarowego lasu są:

1. warunki meteorologiczne, w tym przede wszystkim: temperatura powietrza, wilgotność powietrza, wilgotność względna powietrza, opad atmosferyczny, zachmurzenie, promieniowanie słoneczne;
2. wilgotność pokrywy gleby, szczególnie jej martwych składników, na która wpływ mają warunki meteorologiczne;
3. możliwość pojawienia się bodźców energetycznych zdolnych do inicjacji pożaru;
4. rodzaj leśnych materiałów palnych; skład gatunkowy, wiek drzewostanu, obciążenie ogniowe (ilość biomasy przeliczona na jednostkę powierzchni wyrażona w  $\text{kg/m}^2$  lub  $\text{t/ha}$ ), struktura, skład chemiczny i właściwości fizyczne (zdolność nasiąkania i przesychania materiału).

## **1. Warunki meteorologiczne powstawania pożarów lasu**

Warunki meteorologiczne decydują o zagrożeniu pożarowym lasu. Występowanie pożarów lasu, w zależności od nich i wilgotności ściółki analizowano na podstawie danych ze stref prognozowania zagrożenia pożarowego obejmujących omawiane województwa z godziny 9<sup>00</sup> i 13<sup>00</sup>. Dla każdego z analizowanych czynników został sporządzony rozkład występowania pożarów w postaci histogramu frekwencyjnego i skumulowanego. Ich wyniki przedstawiono poniżej.

### ***1.1. Temperatura powietrza***

Rozkład procentowy występowania pożarów lasu, w zależności od temperatury powietrza przed południem (9<sup>00</sup>-13<sup>00</sup>) i po południu (po godz. 13<sup>00</sup> przedstawiono na rycinach 1 i 2. Pożary powstawały przy zakresie temperatur powietrza od 2°C do 40°C. Najwięcej pożarów przed południem wystąpiło przy temperaturze 22°C (12,9%), a po południu, gdy temperatura wynosiła 28°C (12,4%). Natomiast najmniej pożarów powstało zarówno przy temperaturach niskich do 8°C i wysokich powyżej 30°C (rano) i 38°C (po południu). Niskie temperatury charakterystyczne są dla początku sezonu palności i podobnie, jak temperatury wysokie, notowane przede wszystkim latem, występowały dość rzadko. Zdecydowana większość pożarów przedpołudniowych powstawała w zakresie temperatur 12-28°C, a po południu 16-34°C. W przedziałach tych temperatur powietrza występowało odpowiednio 84 i 89% ogółu pożarów lasu.

### ***1.2. Wilgotność względna powietrza***

Rozkład procentowy występowania pożarów lasu w zależności od wilgotności względnej powietrza prezentują ryciny 3 i 4. Pożary notowano od 18 do 98% wilgotności powietrza. Najmniej pożarów powstawało w dolnym i górnym zakresie wilgotności powietrza, co jak i w przypadku temperatury powietrza jest charakterystyczne dla początku sezonu zagrożenia pożarowego lasu oraz okresów dłużej utrzymujących się susz, a te nie występowały często. Najwięcej pożarów przed południem powstawało przy wilgotności względnej powietrza od 43 do 73% (78% pożarów), a po południu w przedziale od 23 do 53% - 85% ogółu pożarów lasu.

### **1.3. Opad atmosferyczny**

Na rycinach 5 i 6 przedstawiono procentowe występowanie pożarów lasu w zależności od wielkości dobowej opadu atmosferycznego mierzonego o godzinie 9<sup>00</sup> i 13<sup>00</sup>. Z analizowanych parametrów meteorologicznych opad najbardziej radykalnie wpływał na możliwość wystąpienia pożaru. 90% wszystkich pożarów (przed południem) i 94% (po południu) powstało w dni bezopadowe. Przy opadzie śladowym wynoszącym do 1 mm procent pożarów wzrastał odpowiednio do 96 i 98%. Wraz z dalszym wzrostem wielkości opadu liczba pożarów zdecydowanie malała, chociaż notowano pojedyncze pożary nawet przy opadzie 10 mm. Wynikało to z tego, że strefy prognostyczne, które analizowano są duże i nie zawsze opad mierzony punktowo faktycznie wystąpił na obszarze całej strefy. Im opad był większy, tym liczba dni bezopadowych do momentu wystąpienia pożaru lasu była większa.

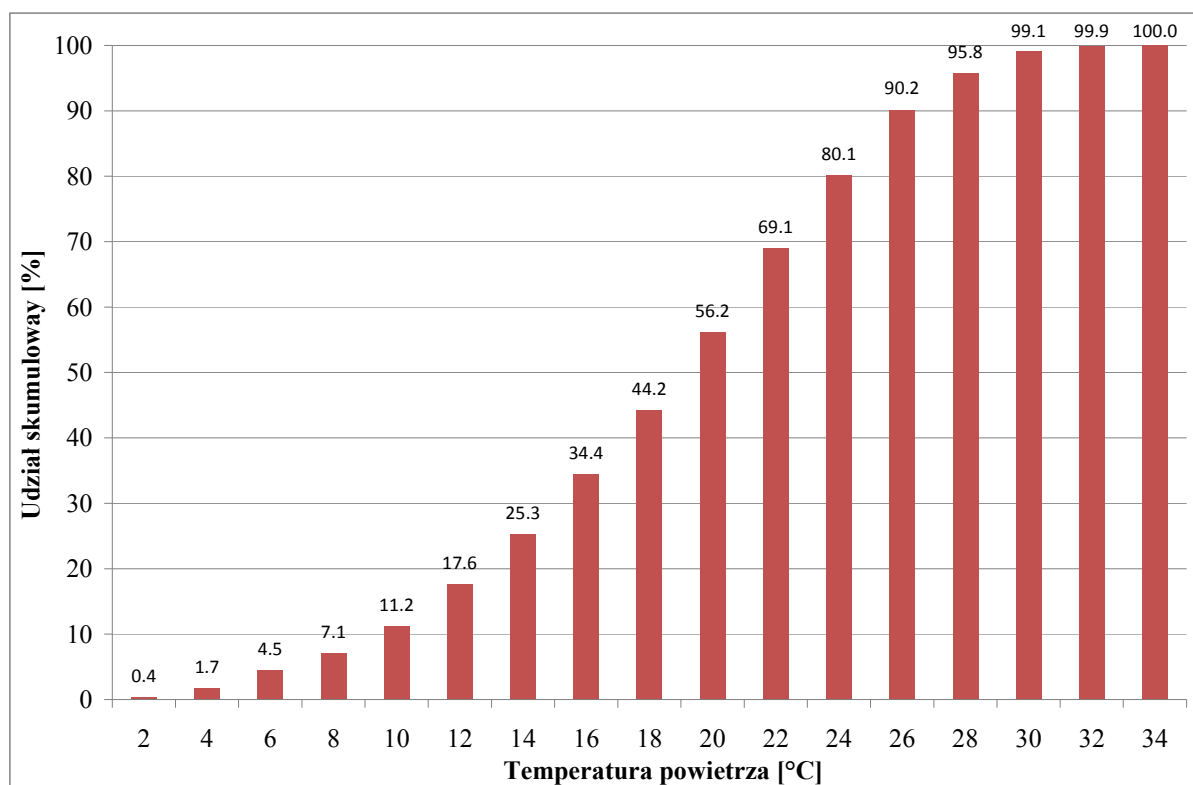
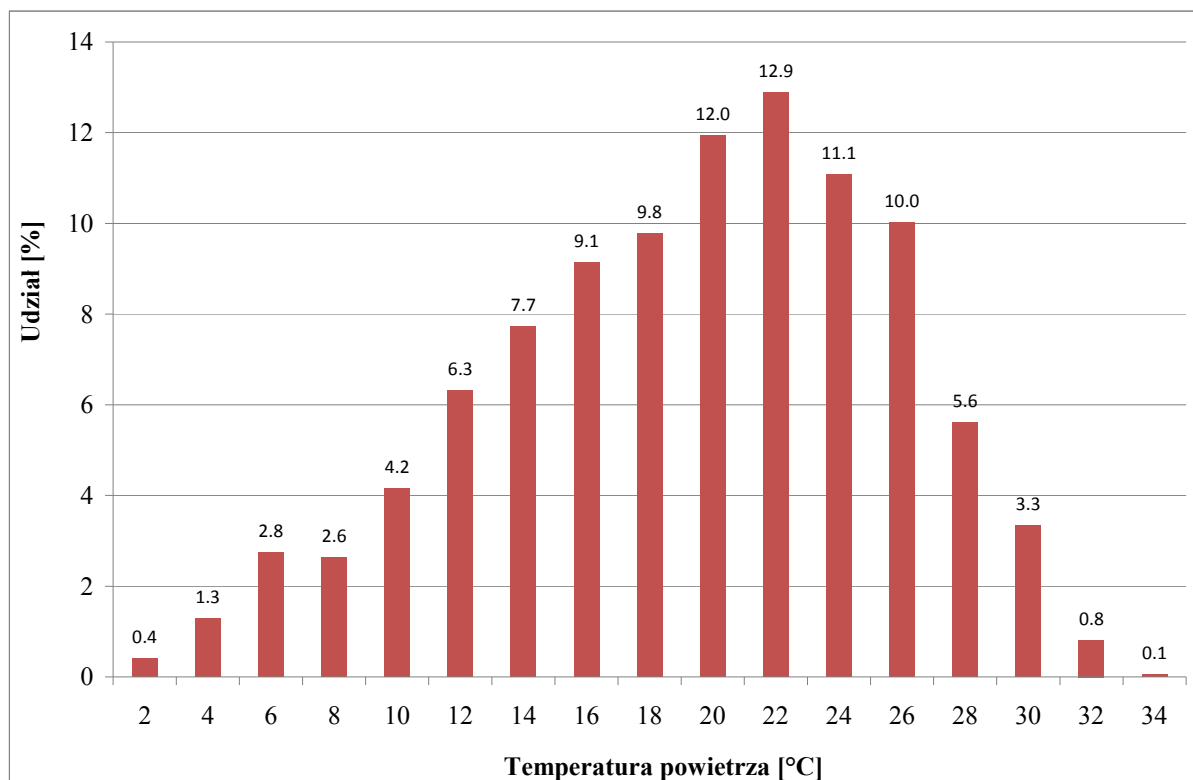
### **1.4. Zachmurzenie**

Prawie połowa (40%) pożarów lasów powstała gdy zachmurzenie było małe – rycina 7. Przy zachmurzeniu średnim wystąpiło prawie 33%, a przy dużym tylko 18% analizowanych pożarów.

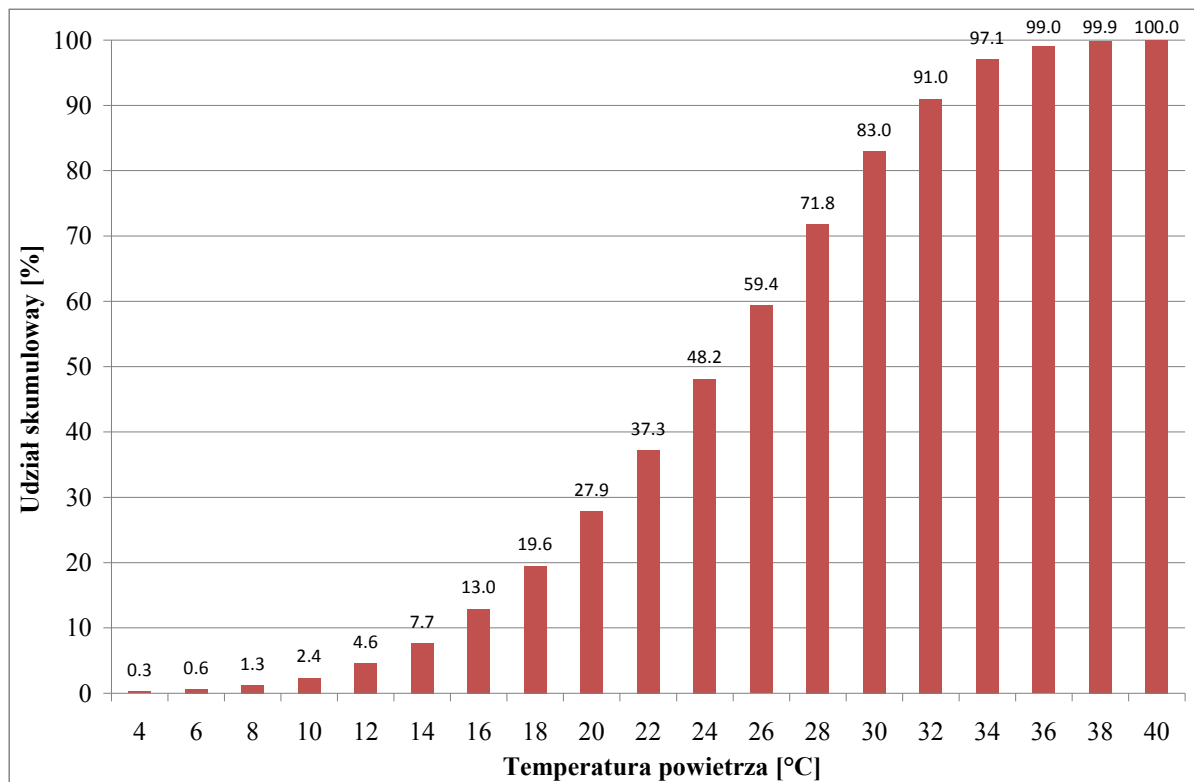
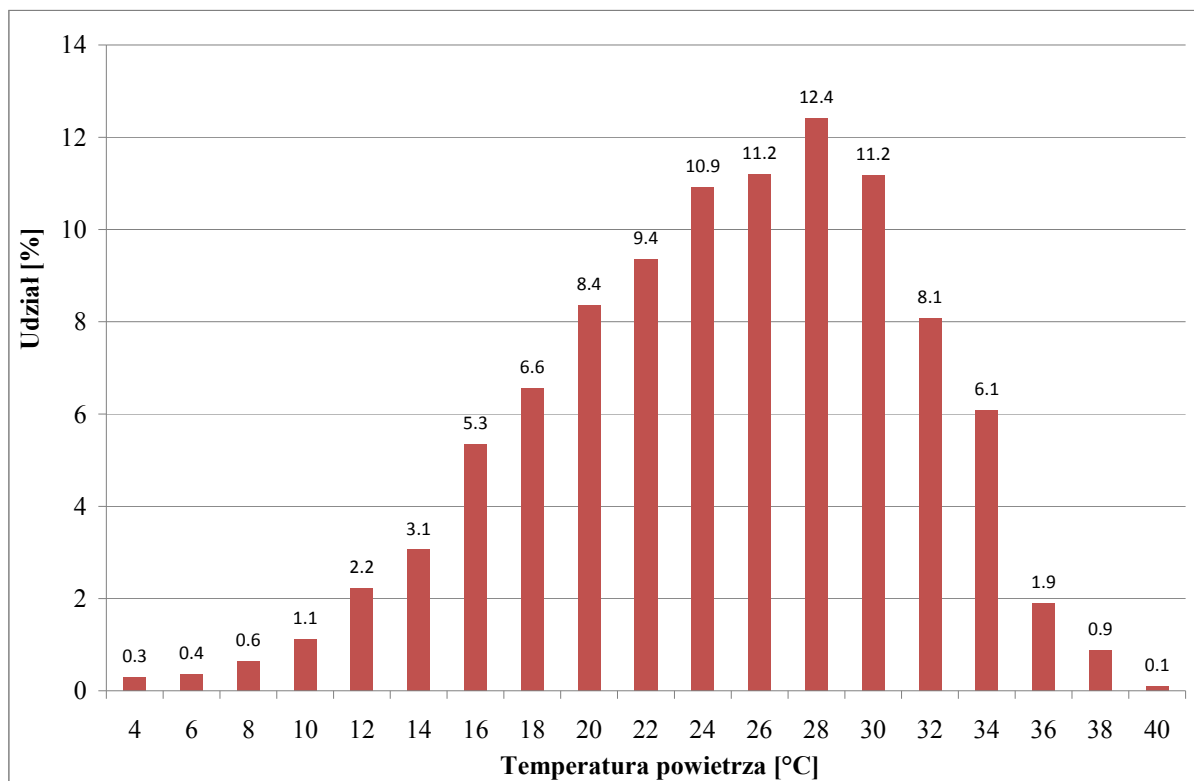
### **1.5. Wilgotność ściółki**

W przeważającej części polskich lasów, ze względu na ich skład gatunkowy, o możliwości powstania pożaru decyduje wilgotność ściółki sosnowej.

Na rycinach 8 i 9 zaprezentowano zależność występowania pożarów od wilgotności ściółki sosnowej przed południem i po południu. Pożary powstawały od 6 do 40% wilgotności ściółki, przy czym najwięcej powstało ich przed południem, gdy wilgotność wynosiła 12-14%, a po południu, gdy była na poziomie 10-12%. Wystąpiło wtedy odpowiednio 36% i 40% wszystkich pożarów lasu. Do progowej wartości 30% wilgotności ściółki, gdy możliwe jest powstanie pożaru lasu powstało przed południem 96%, a po południu 97% pożarów. Fakt wystąpienia pożarów powyżej wartości progowej wynikał z podobnej sytuacji związanej z wielkością stref prognostycznych, jak w przypadku opadu atmosferycznego. Te dwa parametry mają charakter bardziej lokalny niż temperatura i wilgotność powietrza, które są bardziej stabilne, nawet w przypadku większych obszarów.

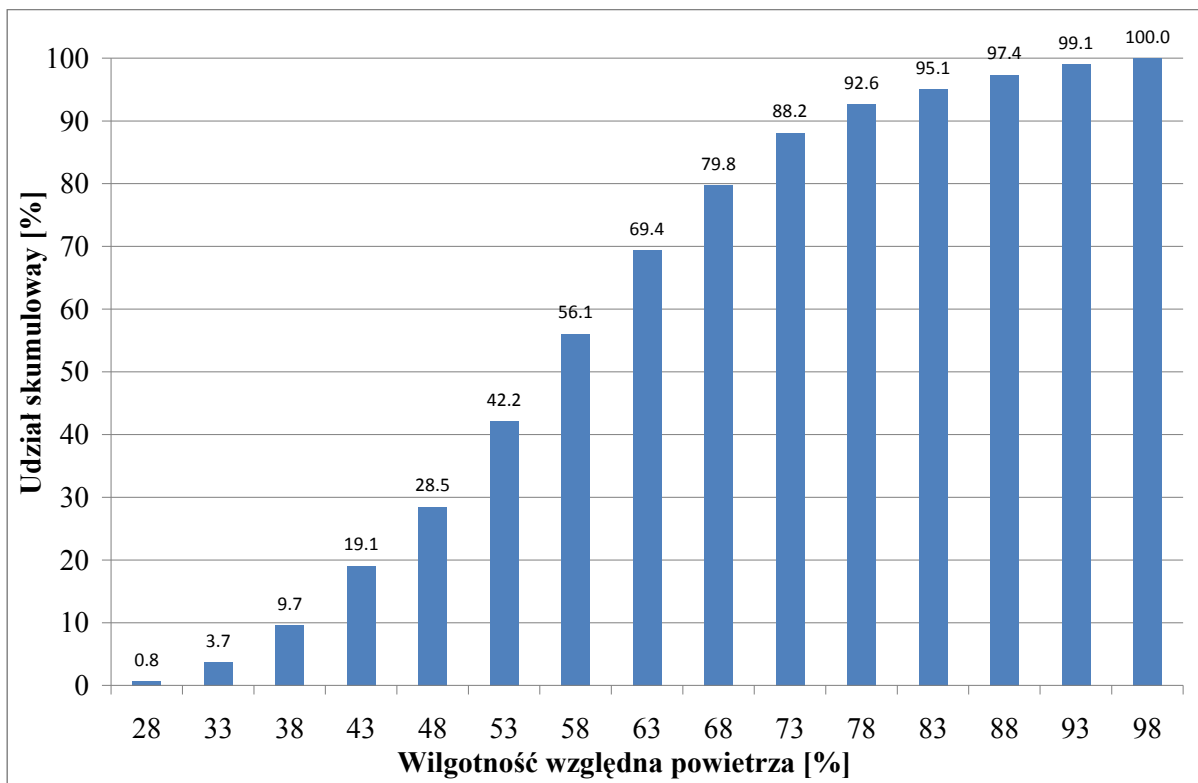
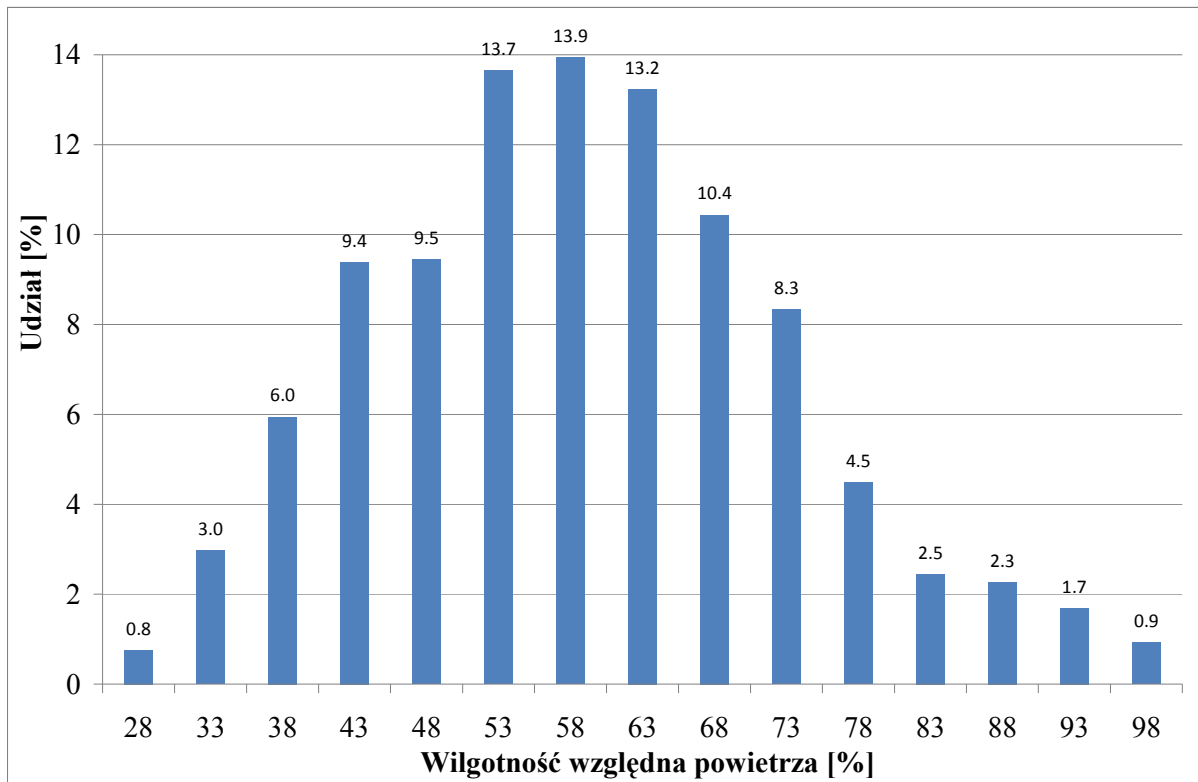


Rycina 1. Występowanie pożarów lasów pomiędzy godziną 9 a 13 w zależności od temperatury powietrza o godzinie 9

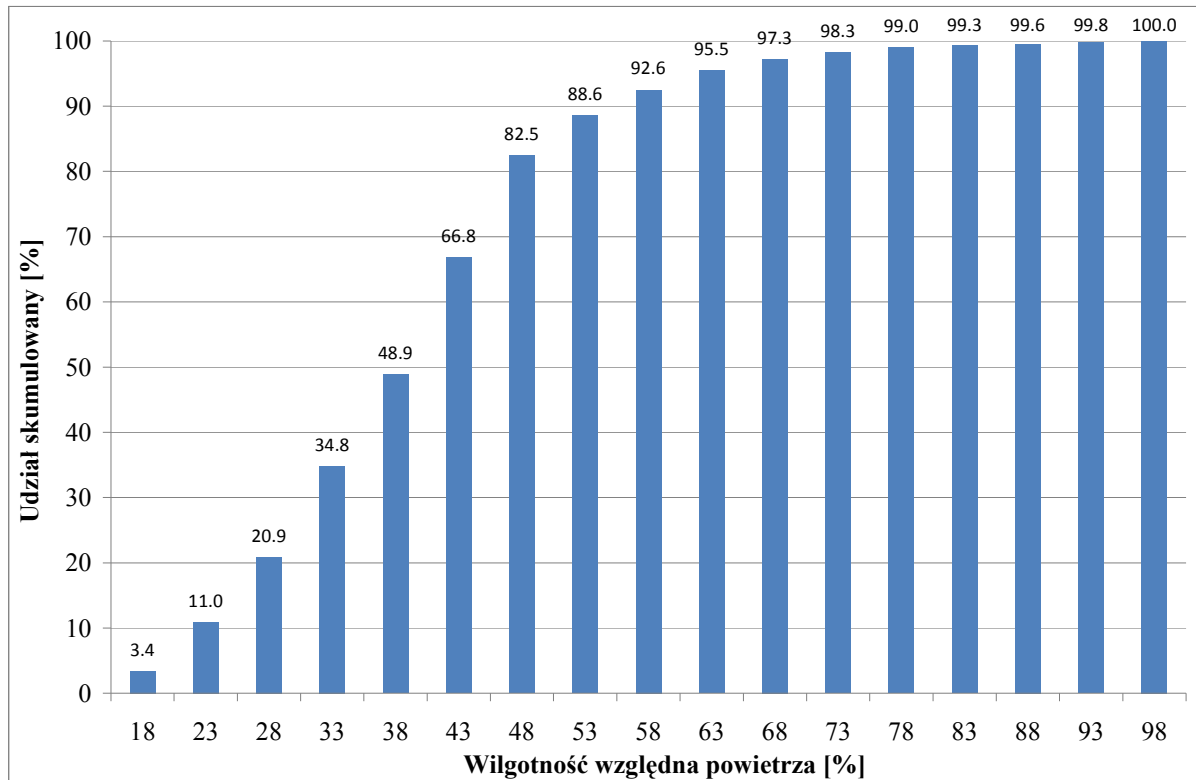
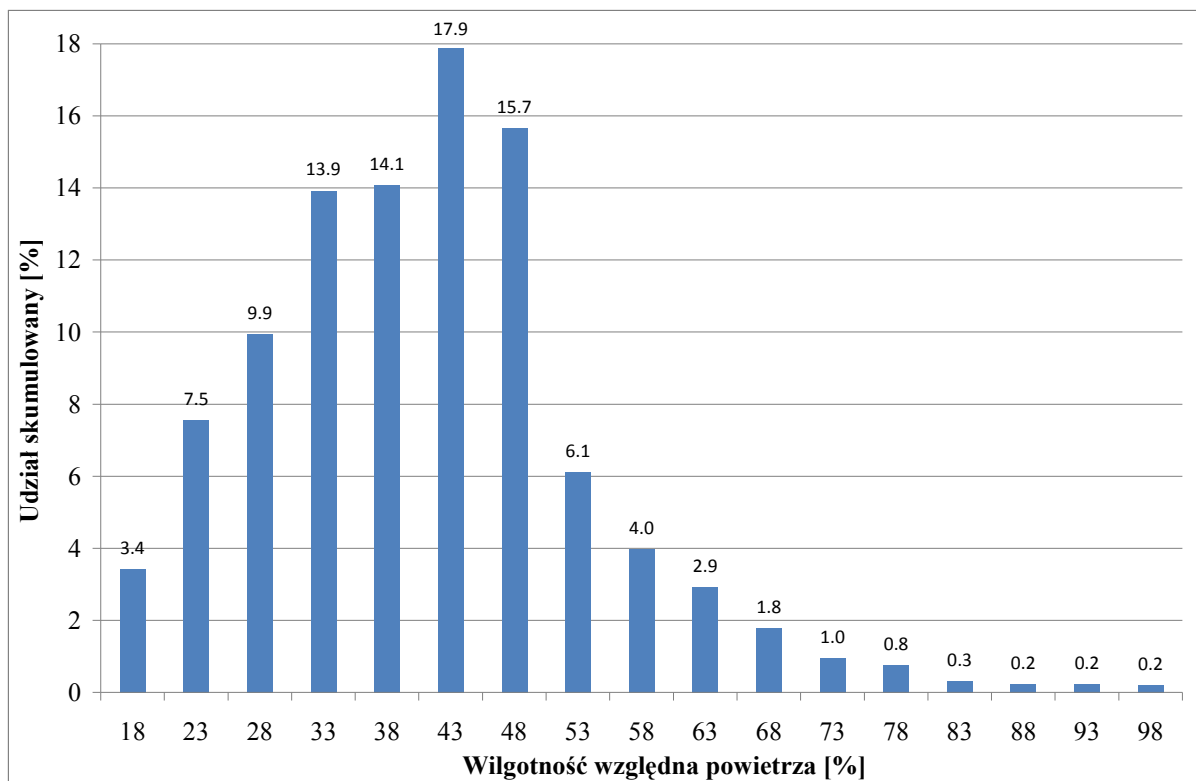


Rycina 2. Występowanie pożarów lasów po godzinie 13 w zależności od temperatury powietrza o godzinie 13

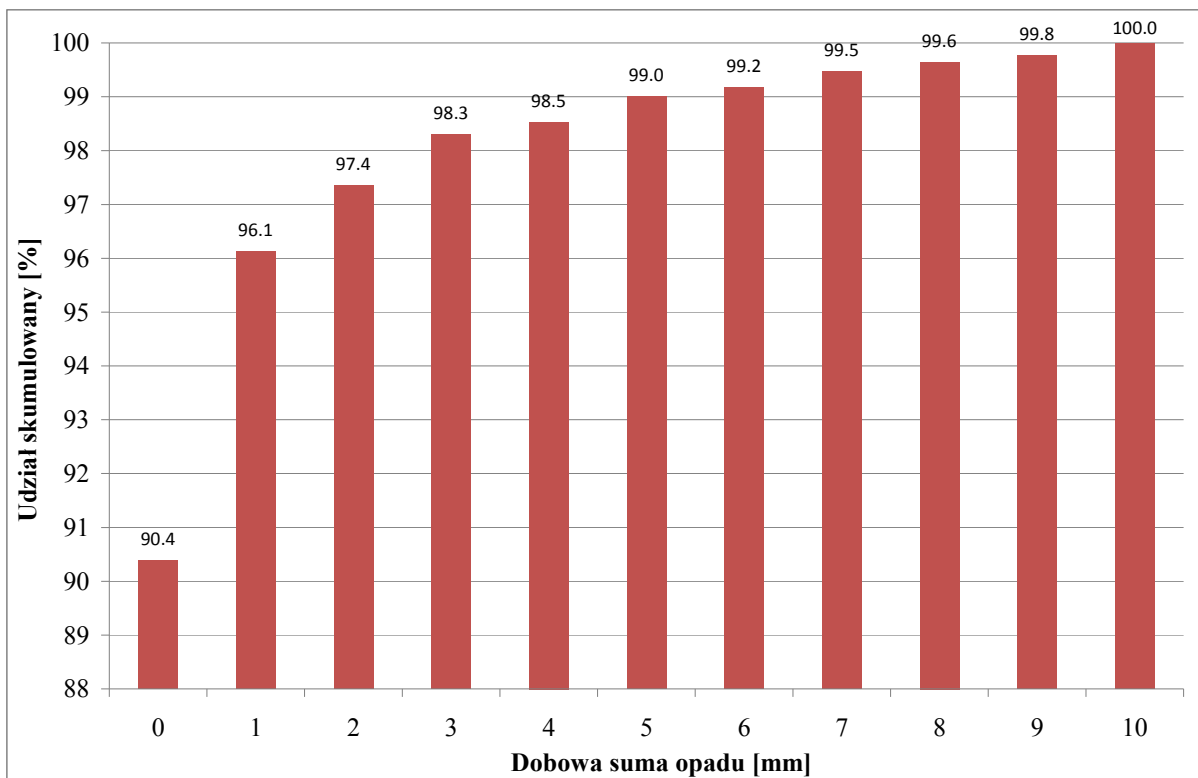
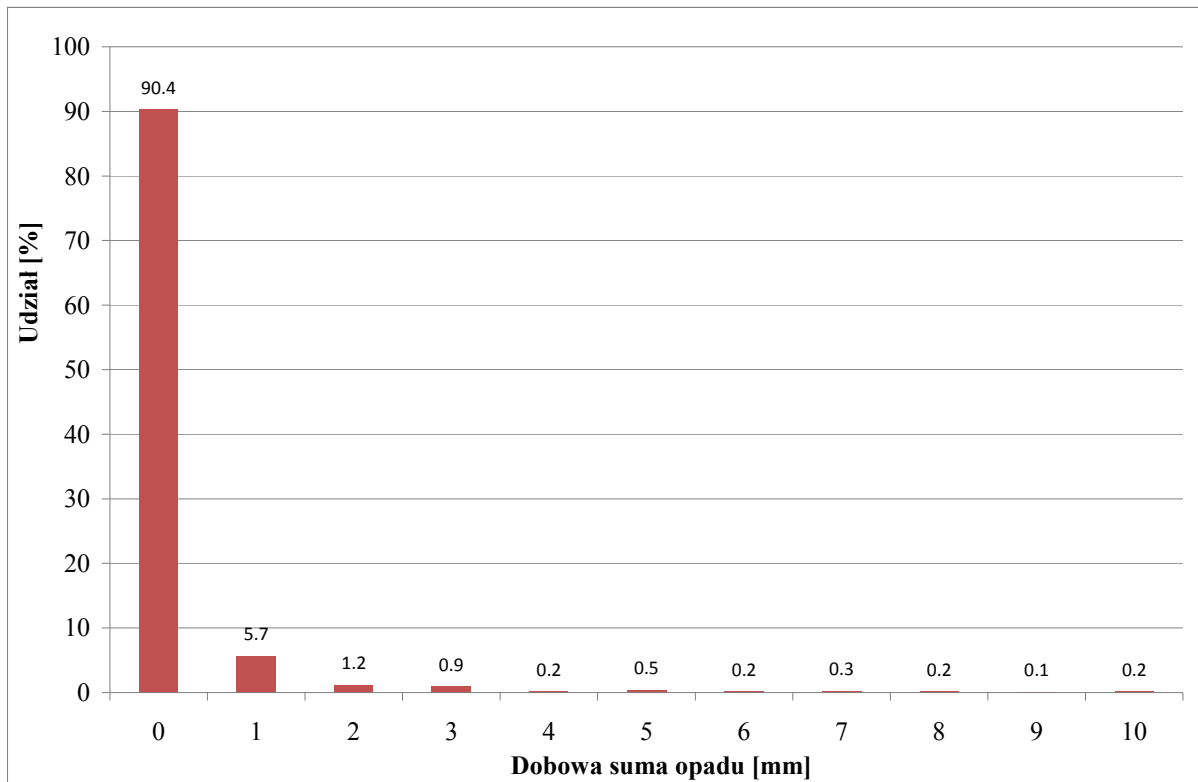




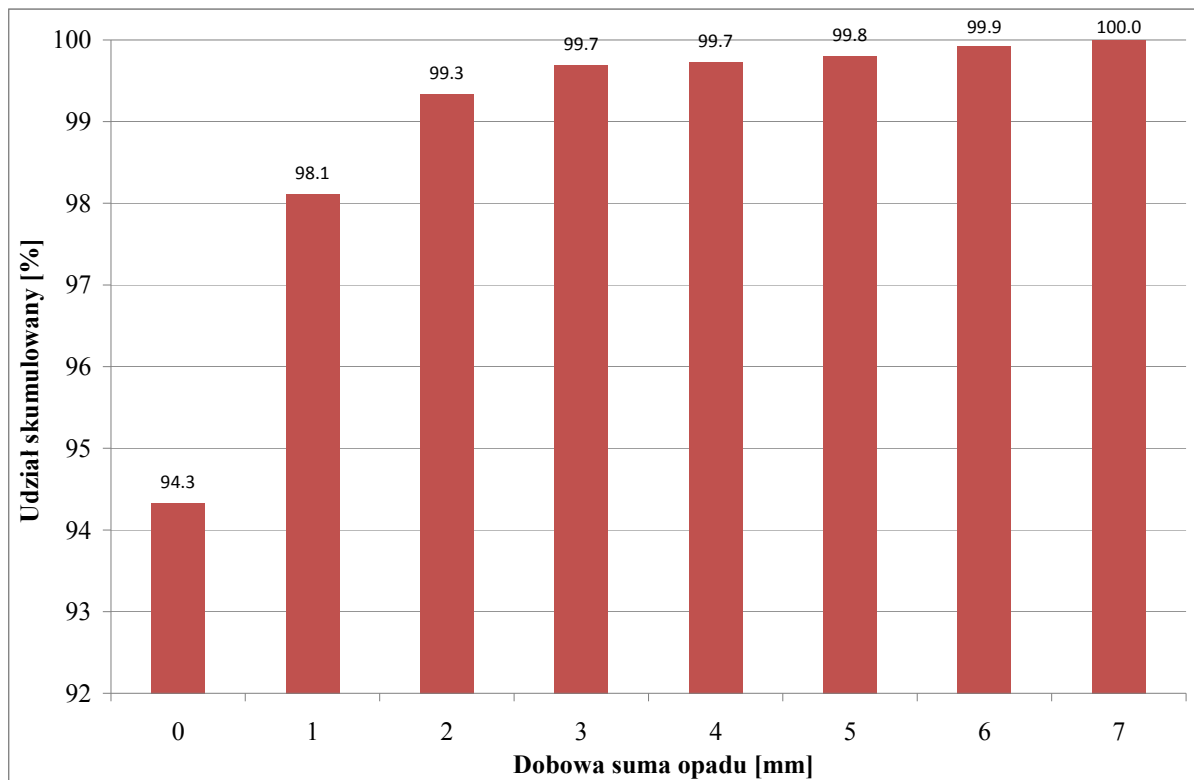
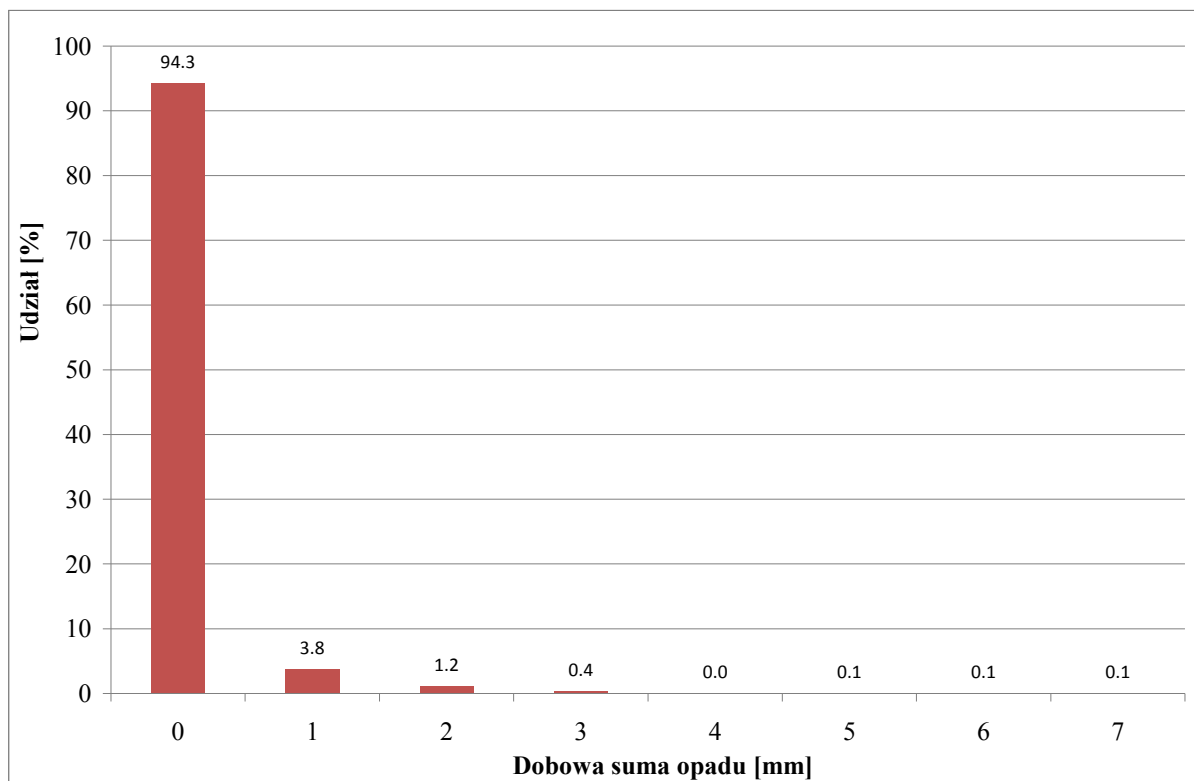
Rycina 3. Występowanie pożarów lasów pomiędzy godziną 9 a 13 w zależności od wilgotności względnej powietrza o godzinie 9



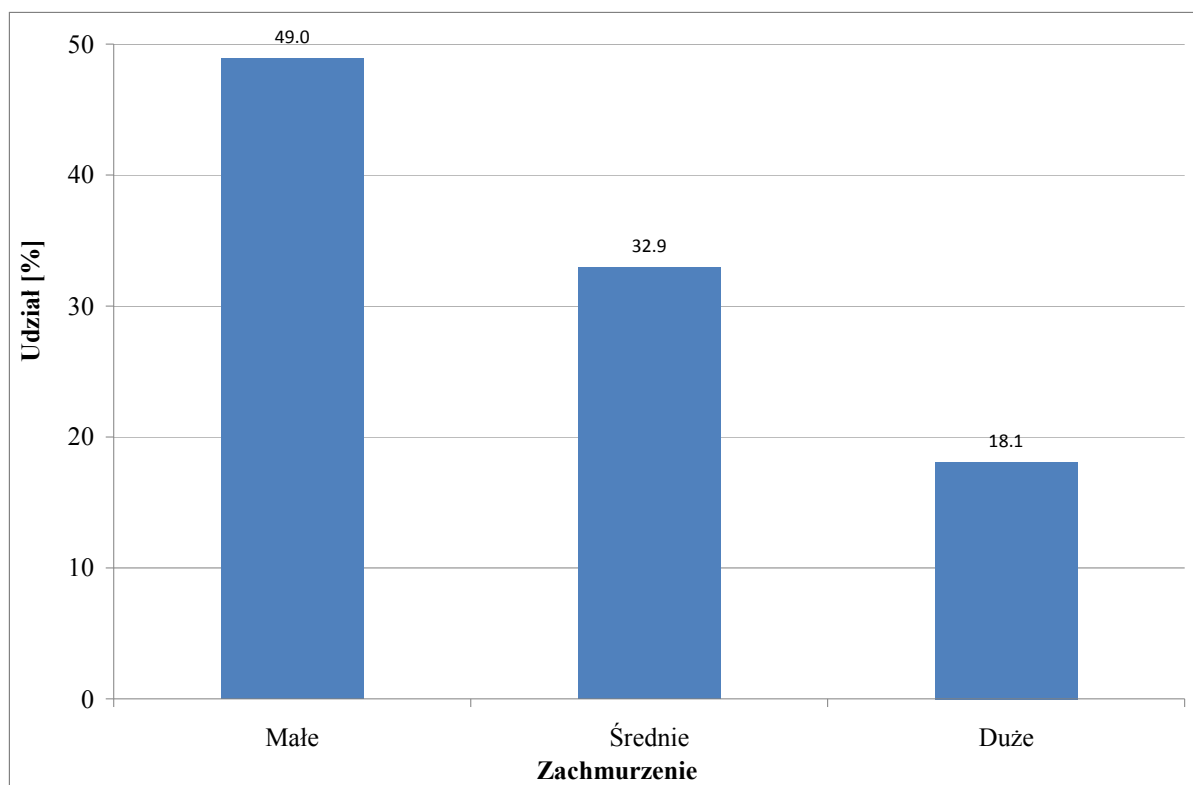
Rycina 4. Występowanie pożarów lasów po godzinie 13 w zależności od wilgotności względnej powietrza o godzinie 13



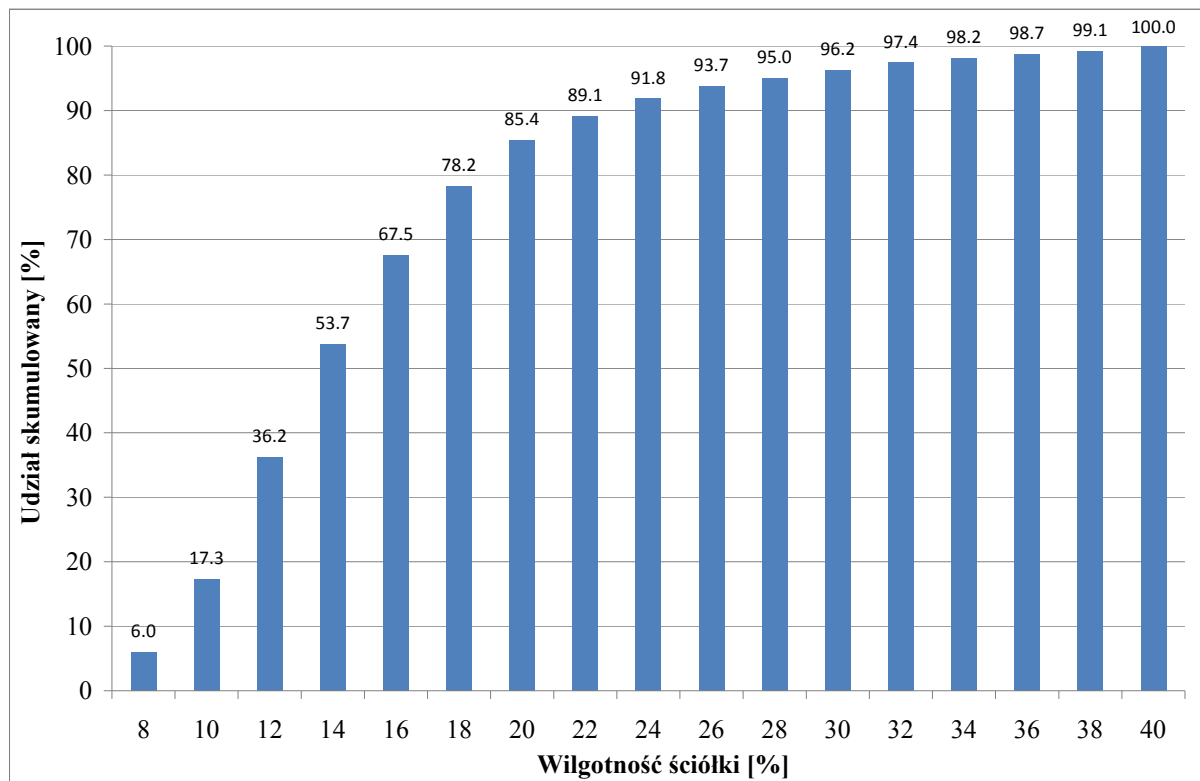
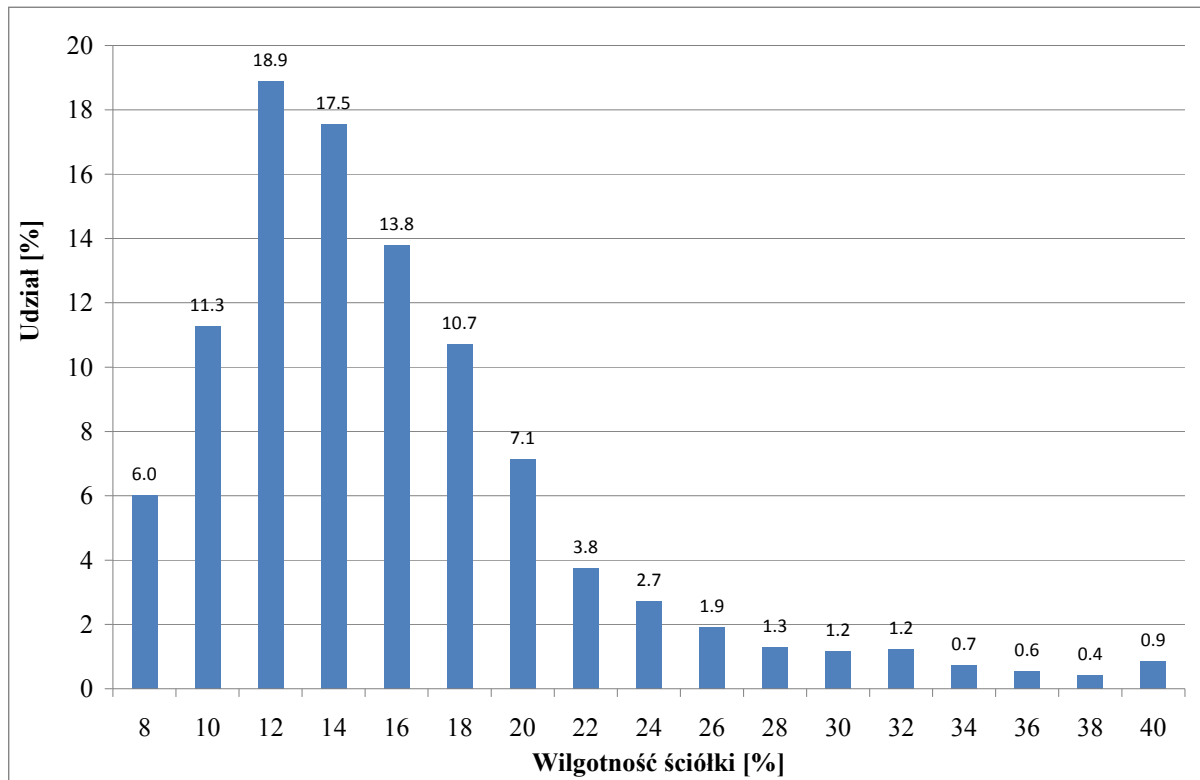
Rycina 5. Występowanie pożarów lasów pomiędzy godziną 9 a 13 w zależności od dobowej sumy opadu atmosferycznego o godzinie 9



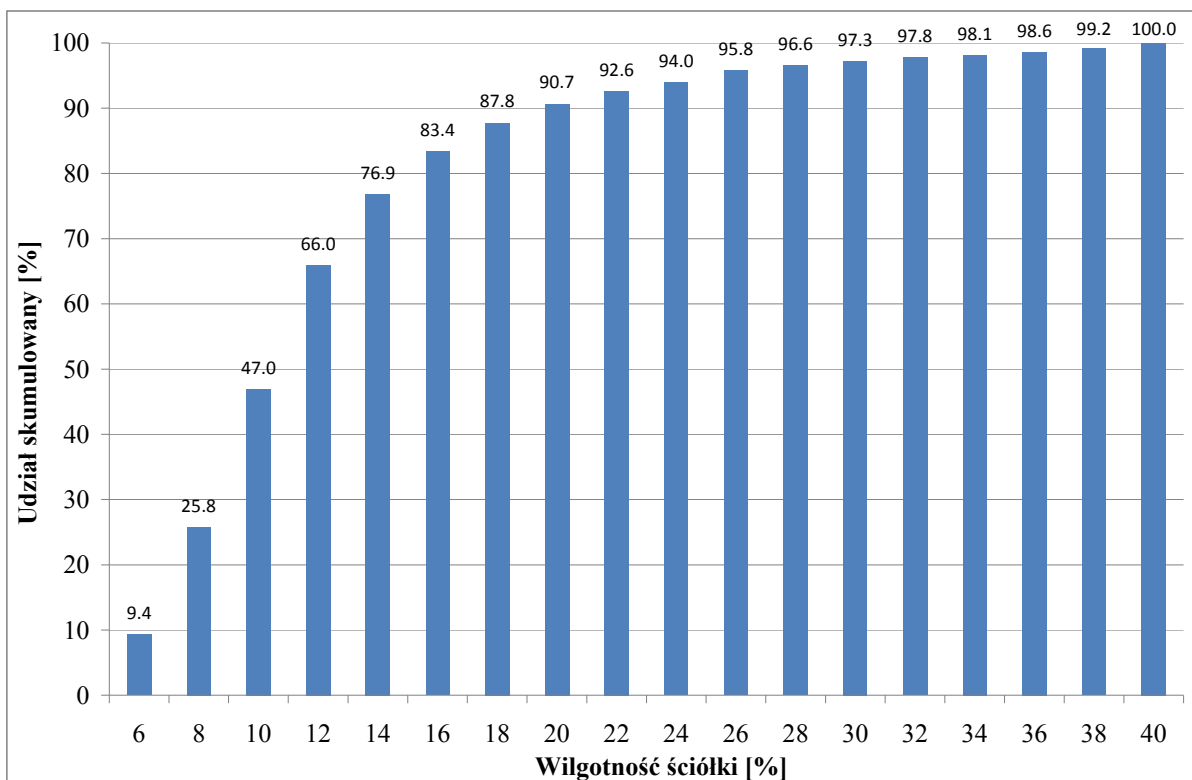
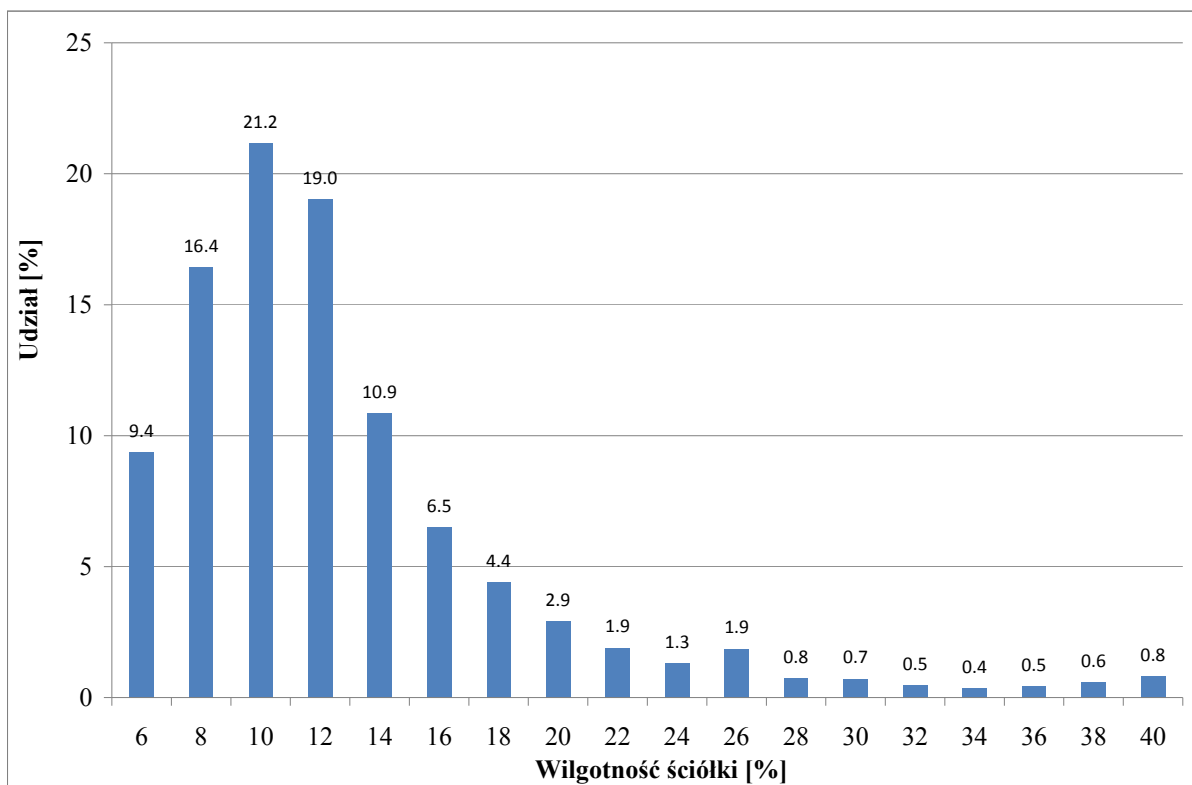
Rycina 6. Występowanie pożarów lasów po godzinie 13 w zależności od od dobowej sumy opadu atmosferycznego o godzinie 13



Rycina 7. Występowanie pożarów lasów w zależności od zachmurzenia



Rycina 8. Występowanie pożarów lasów pomiędzy godziną 9 a 13 w zależności od wilgotności ściółki o godzinie 9



Rycina 9. Występowanie pożarów lasów po godzinie 13 w zależności od wilgotności ściółki o godzinie 13

Badania występowania pożarów lasu w zależności od parametrów meteorologicznych wykonywane w Instytucie Badawczym Leśnictwa wykazały, że „pogodę pożarową”, podczas której obserwuje się wzrost częstotliwości powstawania pożarów charakteryzuje:

- temperatura powietrza  $\geq 24^{\circ}\text{C}$ ,
- wilgotność względna powietrza  $\leq 40\%$ ,
- brak opadu atmosferycznego - 0 mm,
- zachmurzenie małe,
- wilgotność ściółki  $\leq 12\%$

W tabeli 1 zestawiono średnie wartości czynników meteorologicznych i wilgotności ściółki w sezonie palności (od 1 marca do 30 września) oraz w dniach wystąpienia pożarów lasu.

Tabela 1. Średnie wartości parametrów meteorologicznych i wilgotności ściółki w sezonach palności i dniach wystąpienia pożarów lasu

Rodzaj parametru	Wartość parametru
Temperatura powietrza [ $^{\circ}\text{C}$ ]	<u>14,0</u> <b>24,0</b>
Wilgotność względna powietrza [%]	<u>72</u> <b>40</b>
Zachmurzenie	<u>średnie</u> <b>małe</b>
Opad atmosferyczny [mm]	<u>1,7</u> <b>0</b>
Wilgotność ściółki [%]	<u>30</u> <b>12</b>

*Uwaga:* Dane w liczniku dotyczą sezonu palności, a w mianowniku – dni występowania pożarów. Zachmurzenie małe oznacza pokrycie nieba chmurami od 0 do 3 w dziesięciopunktowej skali.

Wartości analizowanych parametrów dla sezonów palności określają dolny przedział pogody, kiedy notowano zagrożenie pożarowe. W tabeli 2 przedstawiono



częstotliwość występowania pożarów w określonych przedziałach warunków pogodowych.

Tabela 2. Częstość występowania pożarów w przedziałach „pogody pożarowej”

Rodzaj parametru	Wartości parametrów		
Temperatura powietrza [°C]	$t \leq 14$	$14 < t < 24$	$t \geq 24$
	<b>0,12</b>	<b>0,19</b>	<b>0,55</b>
Wilgotność względna powietrza [%]	$w \geq 72$	$40 < w < 72$	$w \leq 40$
	<b>0,01</b>	<b>0,20</b>	<b>0,79</b>
Zachmurzenie	duże	średnie	małe
	<b>0,11</b>	<b>0,23</b>	<b>0,57</b>
Wilgotność ściółki [%]	$w_s \geq 30$	$12 < w_s < 30$	$w_s \leq 12$
	<b>0,0</b>	<b>0,28</b>	<b>0,67</b>

Przy „pogodzie pożarowej” powstaje około 65% wszystkich pożarów lasu.

## 2. Bodźce energetyczne

Pożar lasu mogą zainicjować różnorodne bodźce energetyczne, których temperatura będzie wyższa od temperatury zapalenia materiałów leśnych. Definiuje się ją jako najniższą temperaturę, w której materiał palny ogrzewany ciepłem z zewnątrz, zaczyna wydzielać gazy w ilości wystarczającej do ich trwałego zapalenia od bodźca energetycznego. Temperatura zapalenia jest bezwzględnym miernikiem zapalności, gdyż nie mają na nią wpływu właściwości fizyczne materiału, w tym również jego wilgotność. TemperatURY zapalenia typowych materiałów leśnych, od których spalania zaczyna się większość pożarów leśnych zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. TemperatURY zapalenia materiałów leśnych

Rodzaj materiału	Temperatura zapalenia [°C]
ściółka sosnowa	260
kora sosnowa	270
szyszki sosnowe	268
kostrzewa	264
trzcinnik	264
borówka czernica	272
wrzos	270
mech rokit	268
chrobotek reniferowy	280

Materiały leśne, ze względu na prawie taki sam skład chemiczny, odznaczają się zbliżoną temperaturą zapalenia w granicach od 260°C (ściółka sosnowa) do 280°C (chrobotek reniferowy). Dla porównania: temperatura zapalenia olejków eterycznych znajdujących się w zielonym igliwiu sosny wynosi około 50°C, co powoduje, że gdy pożar lasu ma charakter całkowitego obserwujemy przyśpieszenie prędkości frontu ognia i jego przerzuty na odległość nawet kilkuset metrów. Związane jest to z

powstaniem swego rodzaju mieszaniny wybuchowej na skutek parowania olejków z igliwia, powodowanych temperaturą pożaru.

Najczęstszymi bodźcami energetycznymi, które zapoczątkowują pożary lasu są niedogaszone ognisko, ogień otwarty, niedopałki papierosów, żarzące i tłące materiały, itp. Ich pojawienie się w lesie związane jest z pojawieniem się człowieka w lesie, bądź jego sąsiedztwie. W tabeli 4 podano temperatury typowych bodźców cieplnych.

Tabela 4. Temperatury typowych bodźców energetycznych

Rodzaj bodźca	Temperatura [°C]
ognisko	900
paląca się zapalka	800
żarzący się papieros	560
żarzące się i tłące materiały	400
piorun	nawet kilka tysięcy

Większość wymienionych w tabeli bodźców zalicza się do tak zwanego „ognia otwartego”, który odznacza się temperaturą z reguły wyższą od 600°C. Wszystkie są w stanie spowodować pożar lasu przy nienależytym obchodzeniu się z nimi lub celowym ich użyciu.

Swego rodzaju skalę zapalności lasu od różnych źródeł ciepła przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Skala zapalności lasu w zależności od wilgotności ściółki i rodzajów bodźców energetycznych

Stan zagrożenia	Wilgotność ściółki, %	Bodziec energetyczny zdolny spowodować pożar
bardzo wysoki	poniżej 6	tytoń z fajki, cygaro, papieros, zapalniczka, ognisko, iskry
Wysoki	6-10	tytoń z fajki, zapalniczka, ognisko, papieros
Średni	11-16	tytoń z fajki, zapalniczka, ognisko
Mały	17-22	zapalniczka, ognisko
bardzo mały	23-30	ognisko, jednak spalanie ma charakter tlenia i wolno się rozprzestrzenia
brak zagrożenia	powyżej 30	–

Promieniowanie słoneczne nie jest w stanie spowodować pożaru lasu, nawet wtedy, gdy pada ono na różnego rodzaju opakowania szklane lub ich kawałki, które mogą stanowić swego rodzaju soczewki skupiające. Tak samo nie są notowane pożary lasu wskutek samozapalenia się materiałów leśnych.

### 3. Leśne materiały palne

Materiałem palnym w lesie są: drzewa, krzewy, runo leśne, przelegujące drewno, pniaki, ściółka, mursz, torf a także korzenie drzew. Biorąc pod uwagę rozmieszczenie pionowe materiałów leśnych możemy wyróżnić trzy warstwy, w których występuje różny pod względem właściwości pożarowych rodzaj materiału palnego (stąd też wywodzi się podział pożarów lasu ze względu na główny rodzaj palącej się warstwy). Są to:

- warstwa ściółki i runa leśnego (pożar pokrywy gleby),
- warstwa murszu i torfu (pożar podpowierzchniowy),
- warstwa drzew (pożar całkowity)

Stadium inicjacji spalania rozpoczyna się zawsze w warstwie ściółki i runa leśnego. Roślinność zielona tam występująca (trawy, krzewinki, mchy, porosty) oraz martwe składniki (ściółka, posusz, uschnięte roślin) i stan jej podatności na zapalenie (wilgotność materiału) decyduje o powstaniu i dalszym rozprzestrzenianiu się pożaru.

Martwe składniki pokrywy gleby odznaczają się szybkimi zmianami wilgotności, gdyż szybko ulegają nasiąkaniu lub przesychaniu. Z kolei żywe składniki utrzymują w zasadzie stałą wilgotność ok. 50-60%. Z tego powodu różna jest ich rola w inicjacji pożaru i rozprzestrzenianiu się ognia. Wilgotność ściółki i martwych traw decyduje o możliwości powstania pożaru i jego uporczywości. Wrzos i trawy intensyfikują rozprzestrzenianie się pożaru, a borówka brusznica, mchy i porosty są roślinnością, która w pewien sposób hamuje prędkość pożaru. Charakterystykę materiałów leśnych i ich rolę pożarową przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Charakterystyka roli pożarowej materiałów leśnych

Rodzaj materiału	Rola pożarowa
ściółka leśna, uschnięta trawa	inicjacja pożaru
ściółka leśna	uporczywość i ciągłość pożaru
wrzos, trawy, podrost iglasty	intensyfikacja spalania, stworzenie warunków do powstania pożaru całkowitego
mchy, porosty, roślinność zielna	utrudnianie rozprzestrzeniania się pożaru
leżanina, uschnięte suche drzewa, pniaki	zwiększają intensywność pożaru i wydłużają czas jego trwania
mursz, torf	wydłużają czas trwania pożaru i utrzymywania się wysokich temperatur spalania decydujących o stratach w drzewostanie

Uszeregowując poszczególne gatunki drzew według zagrożenia pożarowego na pierwszym miejscu znajduje się sosna. Ustępuje jej świerk, jodła i modrzew.

Należy przy tym podkreślić, że w zależności od występowania tych gatunków na odpowiednim siedlisku, może nastąpić zmiana w podanej kolejności.

Szczególne zagrożenie pożarowe sosny powodowane jest dużą zawartością żywicy oraz szybkim zamieraniem dolnych partii gałęzi. Wskutek naturalnego oczyszczania się sosny następuje duże nagromadzenie się łatwo palnego materiału na pokrywie gleby.

Mała odporność sosny na ogień dotyczy głównie igieł. Wskutek szybkiego wytwarzania kory (źle przewodzącej ciepło) i o stosunkowo grubej warstwie strzała jest bardziej odporna na działanie wysokiej temperatury. Stąd też sosna jest bardziej odporna na pożar pokrywy gleby niż wiele innych gatunków iglastych, jak i liściastych.

Świerk zapala się szybciej od sosny i wytwarza większą ilość ciepła. Ponieważ występuje zazwyczaj na żyzniejszych siedliskach, a jego gęsta korona utrudnia tworzenie się na glebie niebezpiecznej pokrywy – jest on mniej zagrożony przez pożary. Świerk, mimo cienkiej kory, bywa również rzadko uszkodzany u nasady korzeni. Identyczne walory pod względem odporności na ogień wykazuje jodła.

Spośród drzew iglastych modrzew należy do gatunków trudno palnych. Budowa jego igieł oraz korowiny, powoduje, że drzewo to jest również dość odporne na przelotny pożar pokrywy gleby.

Buk, z uwagi na swoją cienką korę i ograniczoną zdolność regeneracji, jest gatunkiem drzewa najbardziej zagrożonego przez pożary. Osłania on jednak bardzo dobrze glebę, nie dopuszczając do pojawienia się roślinności dennej, wskutek czego drzewostany bukowe są rzadko nawiedzane przez pożary leśne. Występują jednak pewne okresy zagrożenia pożarowego i tych drzewostanów. Zagrożenia takie istnieją w czasie późnej jesieni i wczesnej zimy, gdy opadłe liście tworzą obfitą warstwę wysuszonego materiału palnego, a brak jest opadów deszczu albo śniegu.

Gatunki dębów rodzimych w porównaniu z bukiem są bardziej odporne na ogień. Mimo to pożary w dębinach spotykamy częściej niż w buczynach z powodu bogatszej pokrywy roślinnej występującej w dębowych drzewostanach. Warunki do powstania pożaru istnieją tylko w okresach wczesnowiosennych po zejściu śniegów grubą korę, dęby są bardziej odporne na ogień.

Brzoza jest gatunkiem wywołującym wiele kontrowersji w sprawie jej odporności naturalnej na ogień, jak i znaczenia w ograniczaniu rozprzestrzeniania pożarów leśnych. W stanie ulistnionym działa hamująco na pożary leśne, natomiast w okresie wczesnowiosennym, w stanie bezlistnym, nie stanowi zapory naturalnej dla pożarów i umożliwia rozwój szaty roślinnej pod swą koroną.

Olsza czarna po przejściu pożaru szybko się zazielenia. Ma ona grubą korowinę, która w znacznym stopniu chroni drzewo przed ogniem u nasady pnia. Ponadto, mając zdolność magazynowania azotu, może po przejściu pożaru pokrywy gleby, powodując spalanie próchnicy, wyrównać wynikię często niedobory tego pierwiastka w glebie.

W zależności od pory roku różne jest znaczenie pożarowe materiałów leśnych. W okresie wczesnej wiosny, a nawet bezśnieżnych ciepłych zim, gdy brak jest zielonego runa palą się zeszłoroczne uschnięte trawy i martwe części roślin, szczególnie w słoneczne, bezchmurne dni. Znaczenie pożarowe ściółki jest wtedy drugoplanowe. Stąd dominują w tym czasie pożary traw. W późniejszych miesiącach wiosny maj – czerwiec, to ściółka odgrywa dominującą rolę pod względem pożarowym i wpływa na zagrożenie pożarowe. Dominują wtedy pożary pokrywy

gleby. W okresie lata i suszy mogą powstawać wskutek pożarów pokrywy gleby pożary murszu i torfu oraz pożary całkowite drzewostanu. Mogą ponownie pojawiać się pożary uschniętych traw, które mogą także wystąpić na początku suchej jesieni. Obraz ten jednak zaczyna się powoli zmieniać na skutek globalnego ocieplenia, gdyż zaczynają z zasady dominować dwie pory roku – ciepła i chłodna, co będzie miało wpływ również na kształtowanie się cykliczności zagrożenia pożarowego i występowanie pożarów.



#### **4. Czynniki kształtujące rozprzestrzenianie się pożaru lasu**

W odróżnieniu od stadium powstawania pożaru, które przebiega w krótkim przedziale czasu, jego rozprzestrzenianie, którego wskaźnikami są prędkość pożaru i jego obwód oraz powierzchnia, trwa w znacznie dłuższym czasie. Stąd też jest odmienny, chociaż równie złożony, wpływ czynników, które rozprzestrzenianie się ognia kształtują. Rozprzestrzenianie pożaru lasu należy rozpatrywać jako funkcję wielu zmiennych opisanych przez warunki meteorologiczne, topograficzne, drzewostanowe, ilość palnej biomasy (obciążenie ogniowe), ilość wydzielanego ciepła itp. Rozprzestrzenianie się pożaru w lesie i jego dynamika jest bardziej skomplikowane niż faza inicjacji, która zależy głównie od wilgotności materiału palnego. Natomiast w trakcie pożaru, kiedy jest on już pożarem rozwiniętym, przekraczającym powierzchnię kilkuset m<sup>2</sup>, pożar sam w sprzężeniu zwrotnym z czynnikami zewnętrznymi kształtuje warunki swego rozwoju.

Do zasadniczych czynników, które oddziałują na rozprzestrzenianie się pożaru lasu zaliczyć należy:

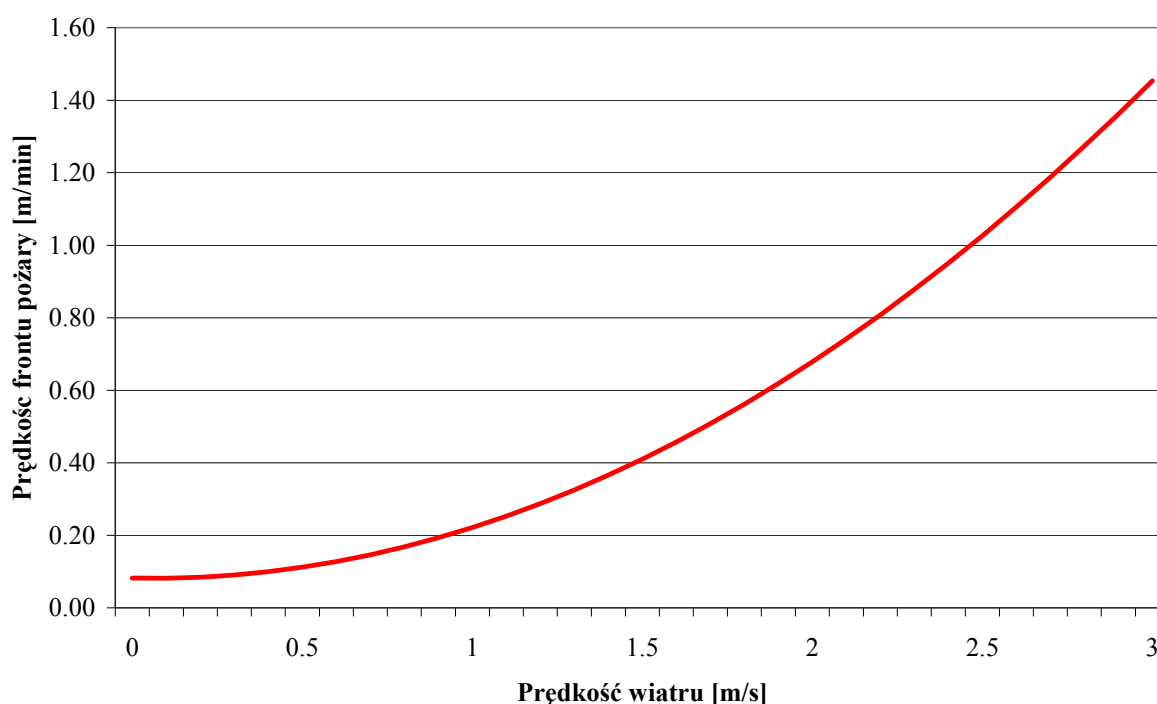
- wiatr,
- wilgotność względną powietrza,
- wilgotność materiału,
- ilość palnej biomasy,
- warunki drzewostanowe,
- strukturę leśnych materiałów palnych,
- rzeźbę terenu,
- ilość wydzielającego się ciepła

##### **4.1. Wiatr**

Wiatr jest najistotniejszym czynnikiem spośród szeregu innych, wywierającym wpływ na prędkość rozprzestrzeniania się pożaru lasu. Od jego prędkości i kierunku zależy prędkość i kierunek pożaru, ale także intensywność spalania, kształt powierzchni objętej pożarem i możliwość przerzutów pożaru. Przy pogodzie

bezwietrznej rozprzestrzenianie pożaru jest równomierne we wszystkich kierunkach. W miarę wzrostu prędkości wiatru kształt pożaru przestaje być kolisty i przyjmuje formę elipsy. Im prędkość wiatru jest większa, tym pozioma oś elipsy jest dłuższa, a oś pionowa krótsza.

Istota wpływu wiatru na rozprzestrzenianie się pożaru polega na dostarczaniu do strefy spalania dużej ilości tlenu (niezbędnego do procesu spalania) i zmianie kąta nachylenia płomieni, co intensyfikuje sam proces palenia się i jego szybkość. Teoretyczny wpływ wiatru na rozprzestrzenianie się pożaru pokazuje rycina 10



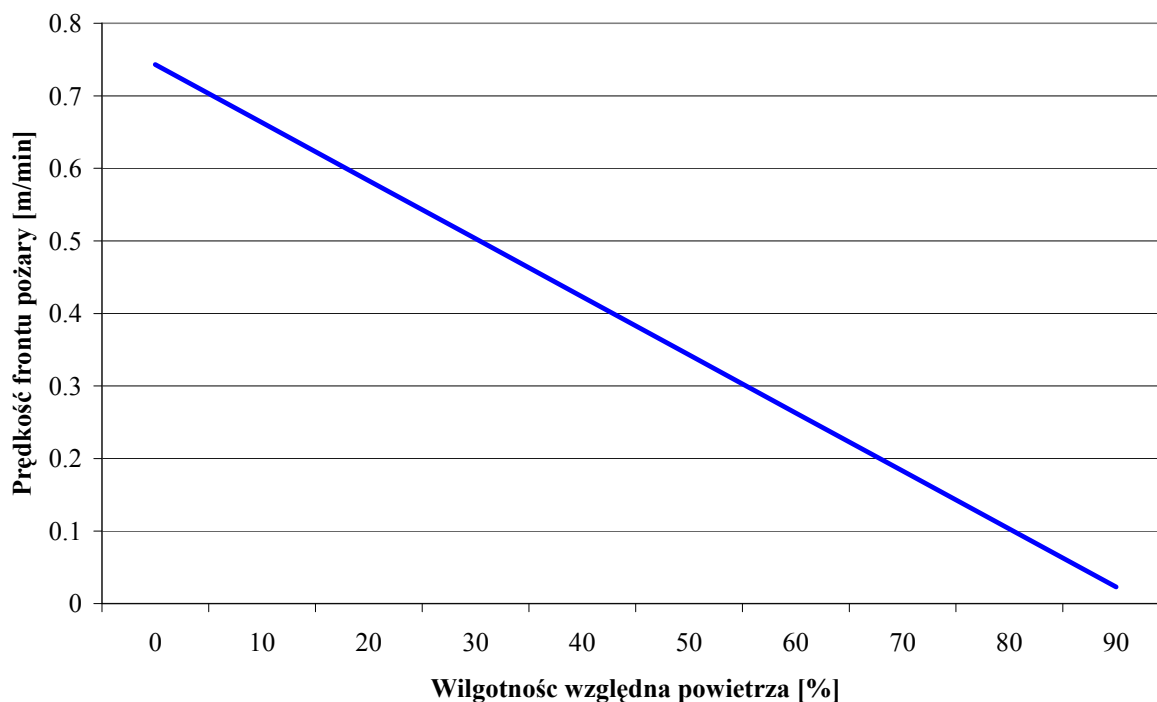
Rycina 10. Teoretyczny związek rozprzestrzeniania się pożaru lasu z prędkością wiatru

Wiatr przenikający do drzewostanu szybko zmienia swą prędkość, wywołuje turbulencje w całej masie powietrza nad lasem. Ta zwiększona turbulencja może sięgać 200-300 m nad lasem, co następuje zwłaszcza w pogodne dni lata przy zwiększonych prędkościach wiatru. Powstające w tym okresie pożary całkowite odznaczają się bardzo dużą intensywnością i gwałtownością rozwoju, wyrażającą się prędkością rozwoju pożaru do 2-3 km/h. Prędkość frontu pożaru pokrywy gleby

rzadko przewyższa 500 m/h, a zazwyczaj wynosi ona około 100-300 m/h, gdyż wiatr pod okapem drzewostanu rzadko przekracza 5 m/s. Porywiste wiatry o zmiennym kierunku i prędkości w granicach 6 – 10 m/s są najbardziej niebezpieczne dla rozwoju pożaru. Wpływają one na częste zmiany kierunku rozprzestrzeniania się ognia i powodują tworzenie się prądów konwekcyjnych rozgrzanego powietrza, co sprzyja powstawaniu tzw. burz ogniowych i przerzutom zarzewi ognia. Przy wiatrach powyżej 10 m/s prądy konwekcyjne nie powstają z taką częstotliwością i wiatry wpływają na względną stabilizację rozwoju pożaru i jego ukierunkowanie. Prędkość wiatru charakteryzuje się pewną dobową cyklicznością, a w związku z tym zmienia się również szybkość rozprzestrzeniania się pożarów. Wiatr słabnie nocą, zaś nad rankiem następuje wzrost jego prędkości do godziny 15-16, kiedy prędkość wiatru osiąga wartości maksymalne. Po tej porze wiatr słabnie stopniowo do godziny 22-23.

#### ***4.2. Wilgotność względna powietrza***

Para wodna zawarta w powietrzu wywiera ciśnienie, które wzrasta w miarę zwiększania się jej ilości, co związane jest z wilgotnością względną powietrza. Wzrost wilgotności powietrza powoduje zmniejszenie się prędkości rozprzestrzeniania się pożaru (rycina 11).

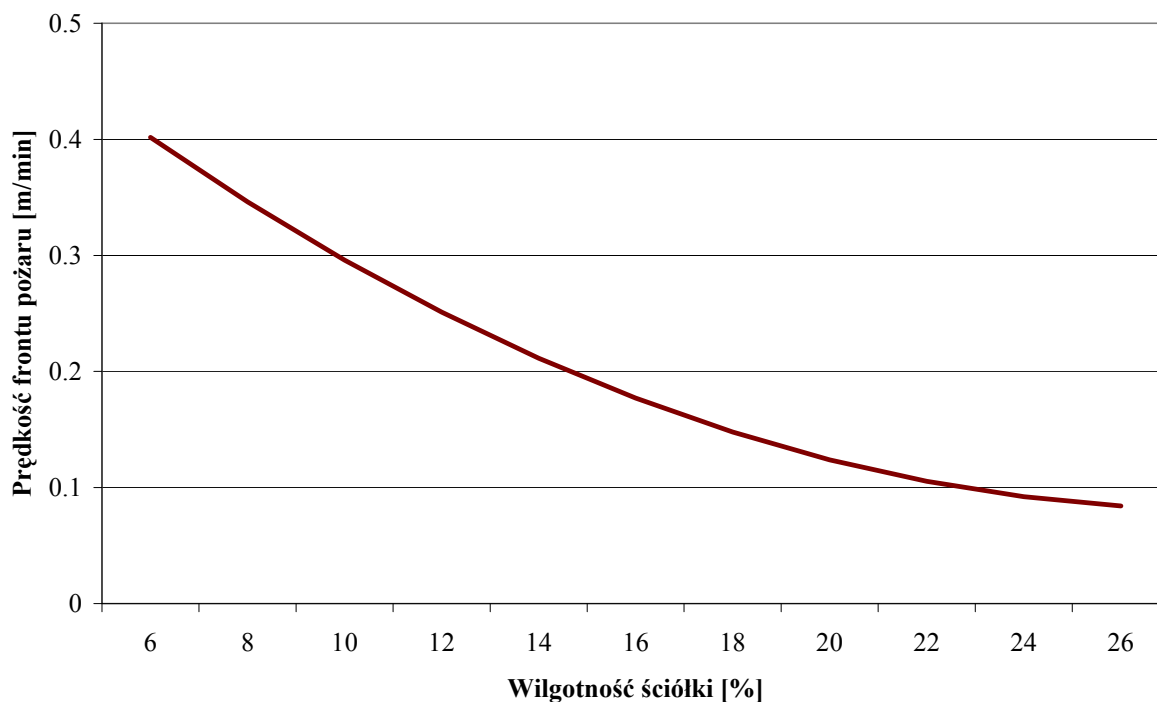


Rycina 11. Teoretyczny związek rozprzestrzeniania się pożaru z wilgotnością względną powietrza

Wilgotność względna powietrza do wartości około 60% nie ma istotnego wpływu na prędkość rozprzestrzeniania się pożaru. Dopiero po przekroczeniu wartości, przy 70% wilgotności powietrza wyraźnie ogranicza rozprzestrzenianie się ognia, co szczególnie dotyczy pożarów pokrywy gleby.

#### ***4.3. Wilgotność materiału palnego***

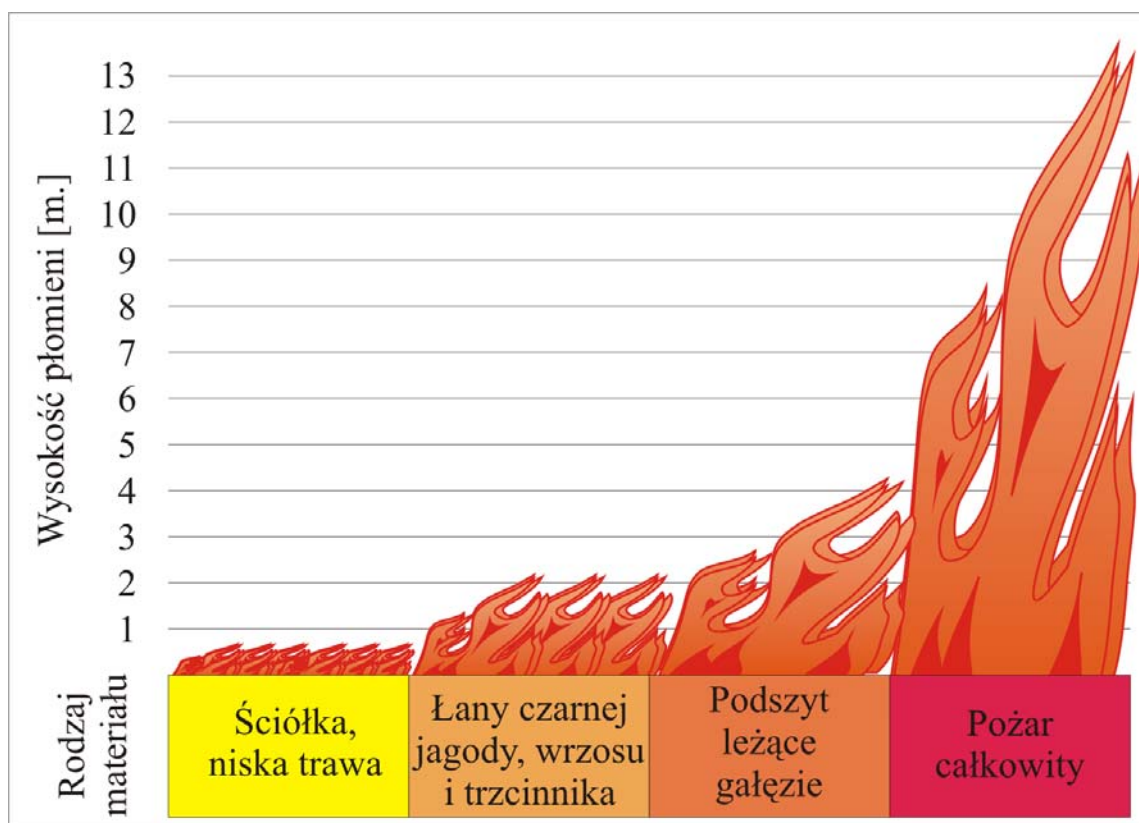
Wilgotność materiału palnego w fazie rozprzestrzeniania się pożaru odgrywa drugoplanową rolę. Wraz z jej wzrostem maleje prędkość pożaru na skutek wydłużenia się czasu potrzebnego na odparowanie wody zawartej w materiale leśnym. Teoretyczny związek pomiędzy tymi dwoma parametrami prezentuje rycina 12.



Rycina 12. Teoretyczny związek rozprzestrzeniania się pożaru lasu z wilgotnością materiału leśnego

#### 4.4. Ilość palnej biomasy

Ilość palnej biomasy (tzw. obciążenie ogniowe) jest to ilość materiału palnego, który może ulec spaleni, określonego w jednostce masy na jednostkę powierzchni (np.  $\text{kg/m}^2$  lub  $\text{t/ha}$ ). Od jej ilości, która ulega spaleni zależy ilość i intensywność wydzielanego ciepła, które wpływa na rozprzestrzenianie się pożaru, poprzez skrócenie czasu potrzebnego na osiągnięcie przez materiał palny nie objęty ogniem tzw. „dojrzałości pożarowej”, to jest stanu, w którym wydzielone lotne substancje palne mogą się zapalić. Od ilości biomasy i jej pionowego rozmieszczenia w przekroju drzewostanu zależy wysokość płomieni i możliwość przejścia pożaru z dna lasu na korony drzew. Im tej biomasy jest więcej, tym wysokość płomieni jest wyższa i jest większe prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru całkowitego drzewostanu. Na rycinie 13 pokazano wysokości strefy spalania płomieniowego w zależności od rodzajów pożarów leśnych.



Rycina 13. Wysokości strefy spalania płomieniowego w zależności od rodzaju pożarów leśnych.

Ilość biomasy palnej zależy od typu siedliskowego lasu, wieku drzewostanu i rodzaju pokrywy dna lasu. Jest ona bardzo zróżnicowana i może wahać się od kilku ton/ha (drzewostan 20 letni) do nawet około 100 ton/ha dla drzewostanów V klasy wieku, rosnących na żyznych siedliskach.

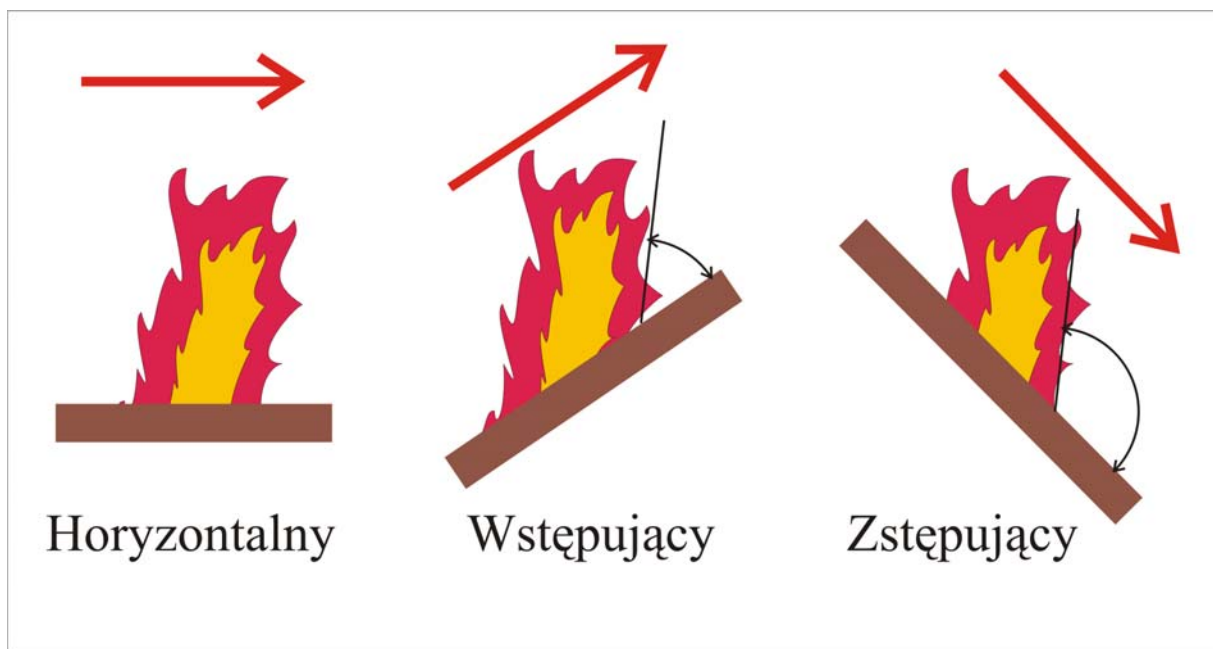
#### 4.5. Warunki drzewostanowe

Gatunki drzew iglastych szczególnie sosna, są bardziej narażone na pożar niż gatunki liściaste. Wynika to z zawartości olejków eterycznych, żywicy i innych łatwopalnych substancji leśnych, które przy wysokiej temperaturze powietrza parują, co sprzyja rozwojowi pożarów. Poza tym drzewostany sosnowe zajmują siedliska uboższe, a więc bardziej suche niż drzewostany mieszane, bądź liściaste. Duże nagromadzenie wydzielającego się posuszu, które charakterystyczne jest dla borów sosnowych oraz dno lasu pokryte martwą pokrywą sprzyja zarówno powstawaniu, jak i rozprzestrzenianiu się pożarów. Im jest więcej materiałów palnych, tym rozwój pożaru jest szybszy. Jest on również zależny od ich struktury przestrzennej i

roślinności dna lasu. Wrzos i podszyt iglasty intensyfikują przebieg spalania. Do grupy czynników intensyfikujących rozwój pożaru zaliczyć należy także wycieki żywiczne, nisko zwisające żywe i obumarłe gałęzie, stosy chrustu oraz wycięte w czasie zabiegów hodowlanych drzewa. Oprócz zwiększania intensywności spalania wpływają one również na przeradzanie się pożarów pokrywy gleby w pożary całkowite. Te sprzyjające warunki występują szczególnie w drzewostanach młodszych klas wieku, gdy potencjalne ryzyko powstania i rozwoju pożaru jest największe.

#### 4.6. Rzeźba terenu

Pożar w swoim rozwoju może rozprzestrzeniać się po terenie płaskim, w górę lub w dół napotkanego wzniesienia. W zależności od tych trzech sytuacji możemy mówić o rozwoju pożaru horyzontalnym, wstępującym lub zstępującym (rycina 14). Kąt nachylenia płaszczyzny spalania, jak i to czy ogień rozwija się w górę czy w dół stoku rzutuje na jego prędkość.



Rycina 14. Formy rozprzestrzeniania się pożaru w zależności od rzeźby terenu

Szybkość przesuwania się frontu wzrasta w miarę zwiększania się kąta nachylenia płaszczyzny spalania oraz jest ona większa, gdy ogień rozwija się w górę wzniesienia niż w dół. Taki przebieg zjawiska powodowany jest kątem nachylenia płomieni frontu ognia w stosunku do materiału nie objętego ogniem.

Każde nachylenie terenu może sprzyjać wzrostowi prędkości rozwoju pożaru, Wzrost ten będzie tym większy, im większa jest stromizna wzniesienia i wówczas, gdy pożar będzie się rozwijał w górę stoku. Rozprzestrzenianie zastępujące jest z reguły wolniejsze, z tym, że na skutek spadania palących się materiałów w kierunku podnóża wzniesienia może następować tworzenie punktowych zapaleń, które mogą rozwijać się i w sumie powodować zwiększanie szybkości rozwoju spalania.

#### **4.7. Ilość wydzielanego ciepła**

Rozprzestrzenianie pożaru leśnego można opisać funkcją ilości wydzielającego się ciepła i jego przenoszenia do strefy nie objętej spalaniem.

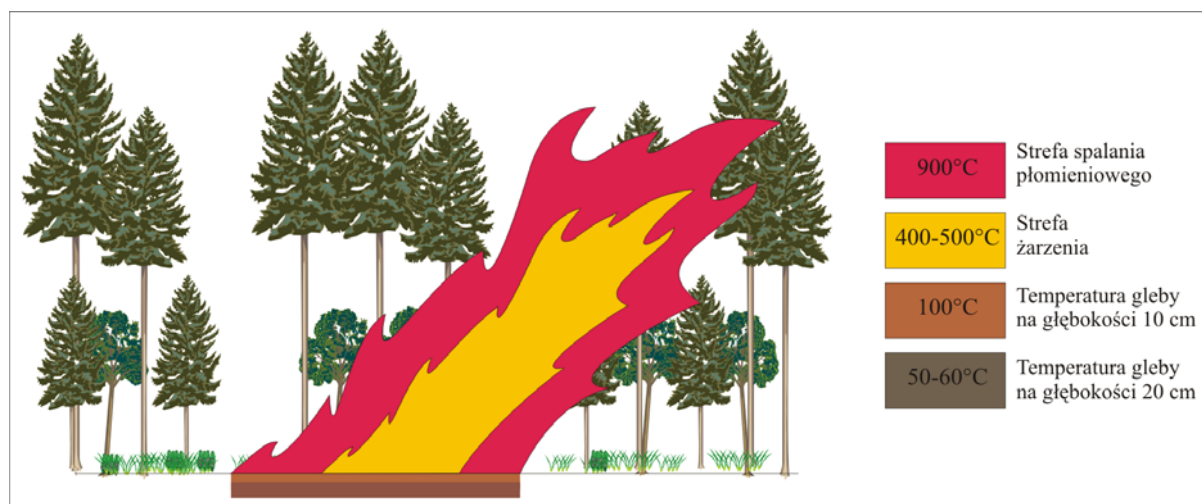
Przy pożarach leśnych mamy do czynienia zarówno z prądami konwekcyjnymi, jak i promieniowaniem. Te dwa sposoby przenoszenia ciepła są nierozdzielne podczas spalania w warunkach leśnych i zawsze idą ze sobą w parze. Konwekcja następuje w wyniku przenoszenia ciepła i masy od środowiska pożaru o wyższej temperaturze, do otoczenia o niższych wartościach temperaturowych. Promieniowanie zaś, odbywa się w strefie samego pożaru, gdzie część energii palącego się ciała przekazywana jest drugiemu ciału na zasadzie emisji cieplnej. Rozrzut średnich temperatur zmniejsza się, w miarę zbliżania się do powierzchni podłoża. Stąd można wyciągnąć wniosek, że jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących pożar lasu, jest różnica temperatur otaczających mas powietrza, w wyniku których powstaje turbulencja.

Front pożaru jest płomieniową strefą spalania, w której następuje zapalenie i spalanie materiałów leśnych. Front ten oddziałuje na taką objętość lub powierzchnię, na której materiały palne osiągnęły stan dojrzałości pożarowej, aby spowodować tzw. zapalenie progresywne. Jeżeli ilość ciepła powstała we froncie pożaru jest zbyt mała, albo istnieje zbyt duża odległość między frontem a materiałem palnym zapalenie progresywne nie nastąpi i zajdzie zjawisko samogaszenia pożaru leśnego.

Front spalania płomieniowego oddziałuje na materiał palny w ten sposób, że ilość ciepła zaabsorbowanego przez substancję palną w stosunku do całkowitej ilości wydzielanego ciepła wzrasta. Oznacza to, że następują korzystne warunki do przenoszenia rozgrzanej masy materiałów palnych, które podwyższają temperaturę



powietrza w otoczeniu pożaru, czyli zachodzi wtedy zjawisko progresywnego zapalenia. Są to warunki, które przy dużej ilości pożarów nie występują, albowiem w pewnych układach palnych następuje wytworzenie się określonych stałych warunków wymiany ciepła. Odnosi się to przede wszystkim do stałej ilości ciepła przekazywanej z frontem pożaru. Jeżeli front pożaru rozprzestrzenia się z określoną prędkością, to na drodze rozwoju wszystkie materiały palne otrzymują określony zasób energii. Energia ta ogrzewa powierzchnię tych materiałów do temperatury, przy której rozkład powierzchniowy materiału leśnego jest spontaniczny. Oznacza to, że substancja palna zaabsorbowała krytyczną wielkość energii cieplnej, wystarczającej do samorzutnego i trwałego zapalenia się z powstałej na skutek rozkładu fazy lotnej. Na rycinie 15 przedstawiono wartości temperatur jakie panują przy różnych rodzajach pożarów lasu.



Rycina 15. Wartości temperatur jakie panują przy różnych rodzajach pożarów

## 5. Podsumowanie

O zagrożeniu pożarowym lasów decyduje przede wszystkim położenie geograficzne i związane z nim warunki pogodowe. Warunki meteorologiczne wpływają na stan zagrożenia pożarowego lasu oddziałując na wilgotność leśnych materiałów palnych, a szczególnie jej martwych składników, takich jak ściółka, trawy, leżanina itp. Z „pogodą pożarową”, przy której powstaje około 65% pożarów lasu mamy do czynienia, gdy: temperatura powietrza jest większa od 24°C, wilgotność względna powietrza jest mniejsza niż 40%, brak jest opadu atmosferycznego, zachmurzenie jest małe i wilgotność ściółki jest mniejsza od 12%. W takich warunkach każdy bodziec energetyczny, z którym niewłaściwie się obchodzi człowiek w lesie, bądź jego sąsiedztwie jest w stanie spowodować pożar.

Materiałami palnymi w lesie są drzewa, krzewy, runo leśne, przelegające drewno, pniaki, ściółka, mursz, torf a także korzenie drzew. Ich temperatura zapalenia wynosi około 260-280°C. Przeważające w naszym kraju gatunki iglaste (76% powierzchni) są szczególnie narażone na pożary, a w tym szczególnie drzewostany sosnowe. Im drzewostany są młodsze, tym bardziej podatne są na pożary, zwłaszcza, gdy rosną one na ubogich glebach, mało zasobnych w wodę. Każdy pożar lasu ma swój początek w warstwie ściółki i runa leśnego i z tej warstwy może przerodzić się w pożar całkowity drzewostanu lub pożar murszowo-torfowy. Natomiast o rozprzestrzenianiu się ognia w lesie decyduje zasadniczo wiatr, rodzaj drzewostanu, ilość biomasy oraz wymiana ciepła. Temperatura pożaru dochodzi do 900°C a wysokość płomieni może wynosić nawet do kilkunastu metrów nad korony drzew. Parametry te decydują o stratach, które powstają wskutek pożarów.

## Literatura

- Szczygieł R. *Badanie wpływu czynników kształtujących powstawanie i rozprzestrzenianie się pożarów leśnych oraz doskonalenie metod zwalczania pożarów leśnych*. Raport IBL 1987 r.
- Szczygieł R. *Warunki meteorologiczne a pożary lasu*. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Służby Pożarniczej 1991 r., nr 1(8).
- Szczygieł R. *Influence of weather factors forest fire risk*. ILO/ECE/FAO, Athens 1991 r.
- Szczygieł R. *Pogoda a pożary lasów*. Przegląd Pożarniczy 2000 r., nr 7.
- Szczygieł R. *Meteorological criterias of forecasting danger of forest fires*. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Science on Practical Conference: Emergency Situations, Prevention and Elimination. Mińsk, Białoruś 2003 r.
- Wiler K. *Ochrona lasów przed pożarami*. CILP, Warszawa 2007 r.