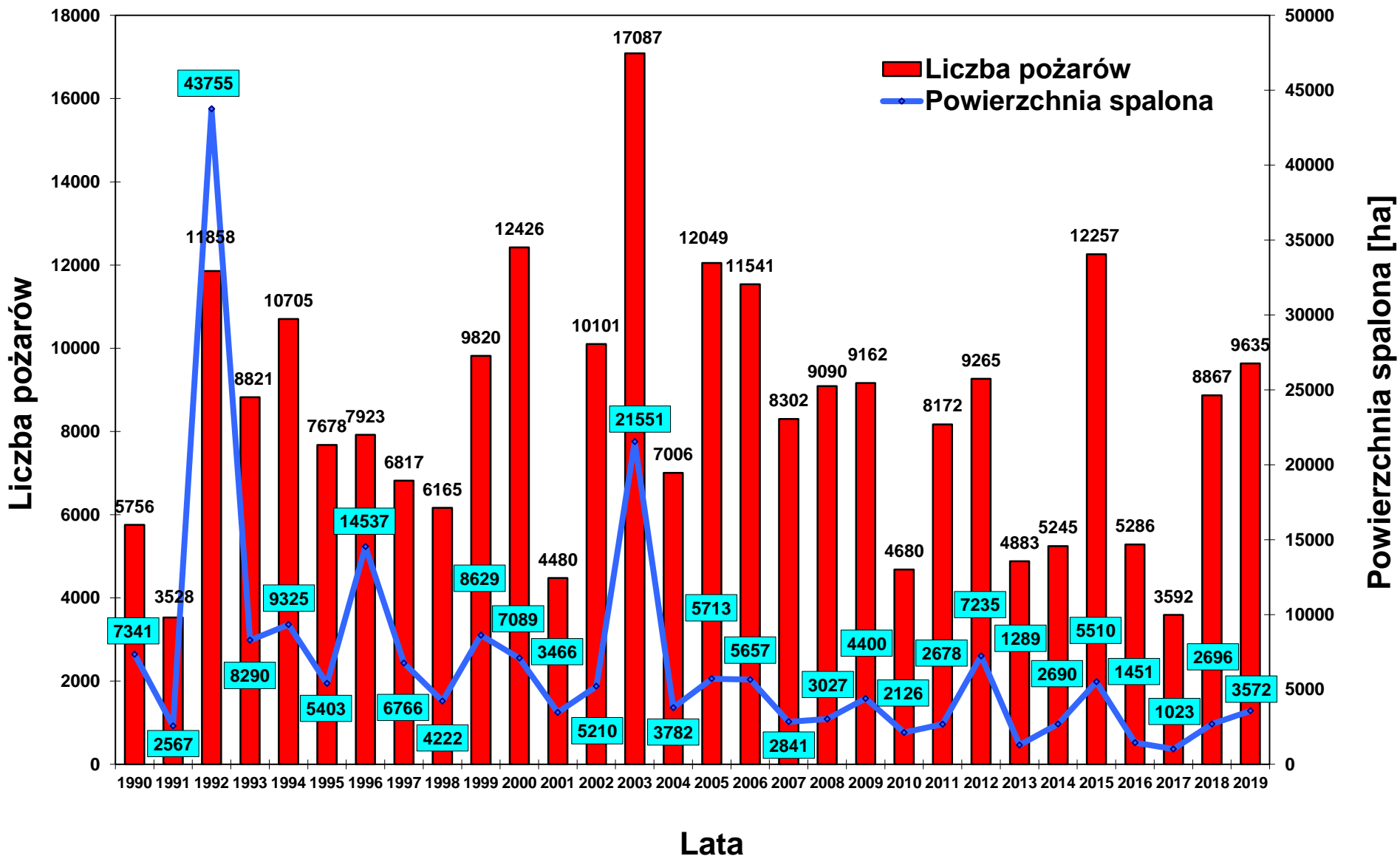


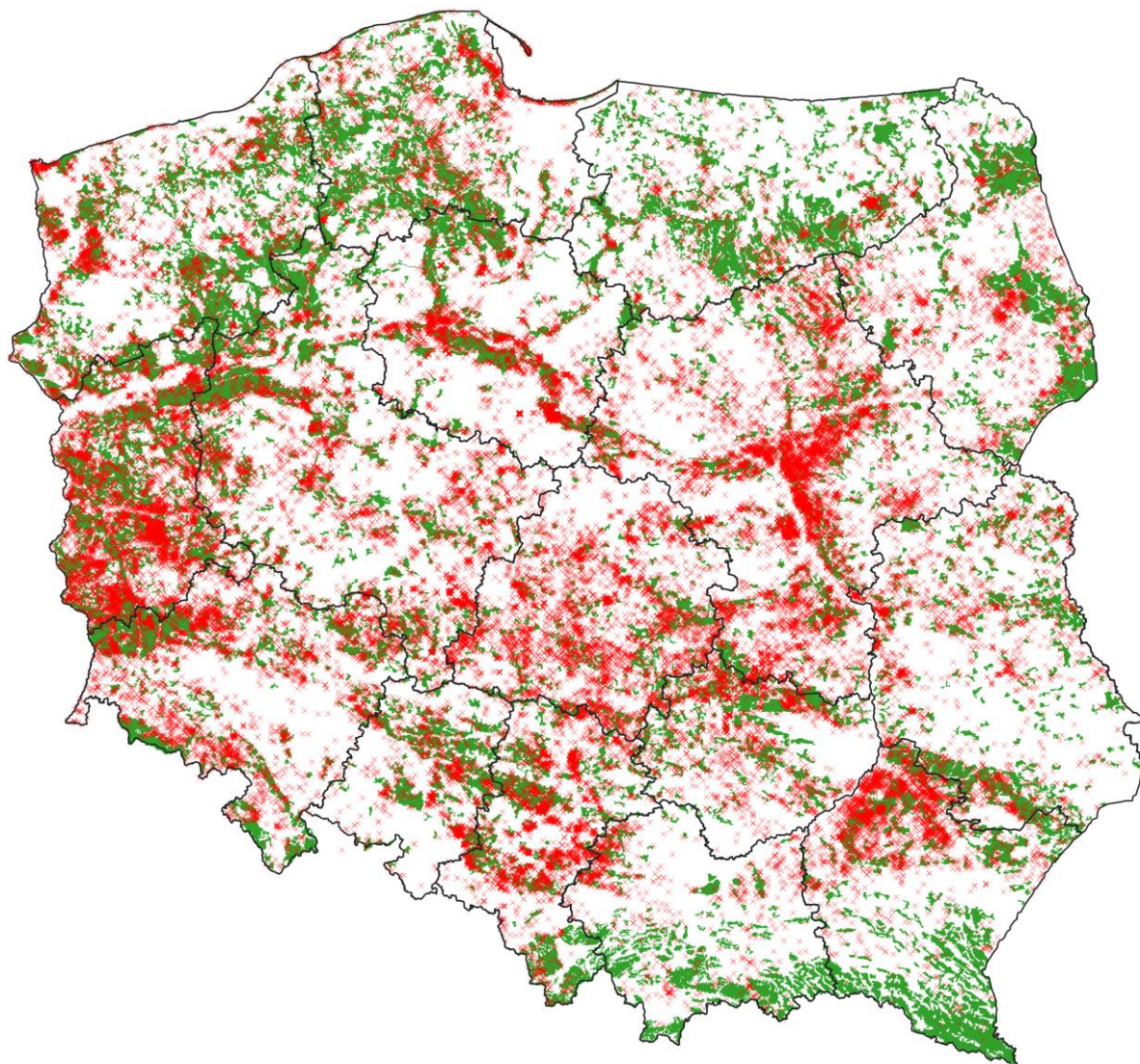


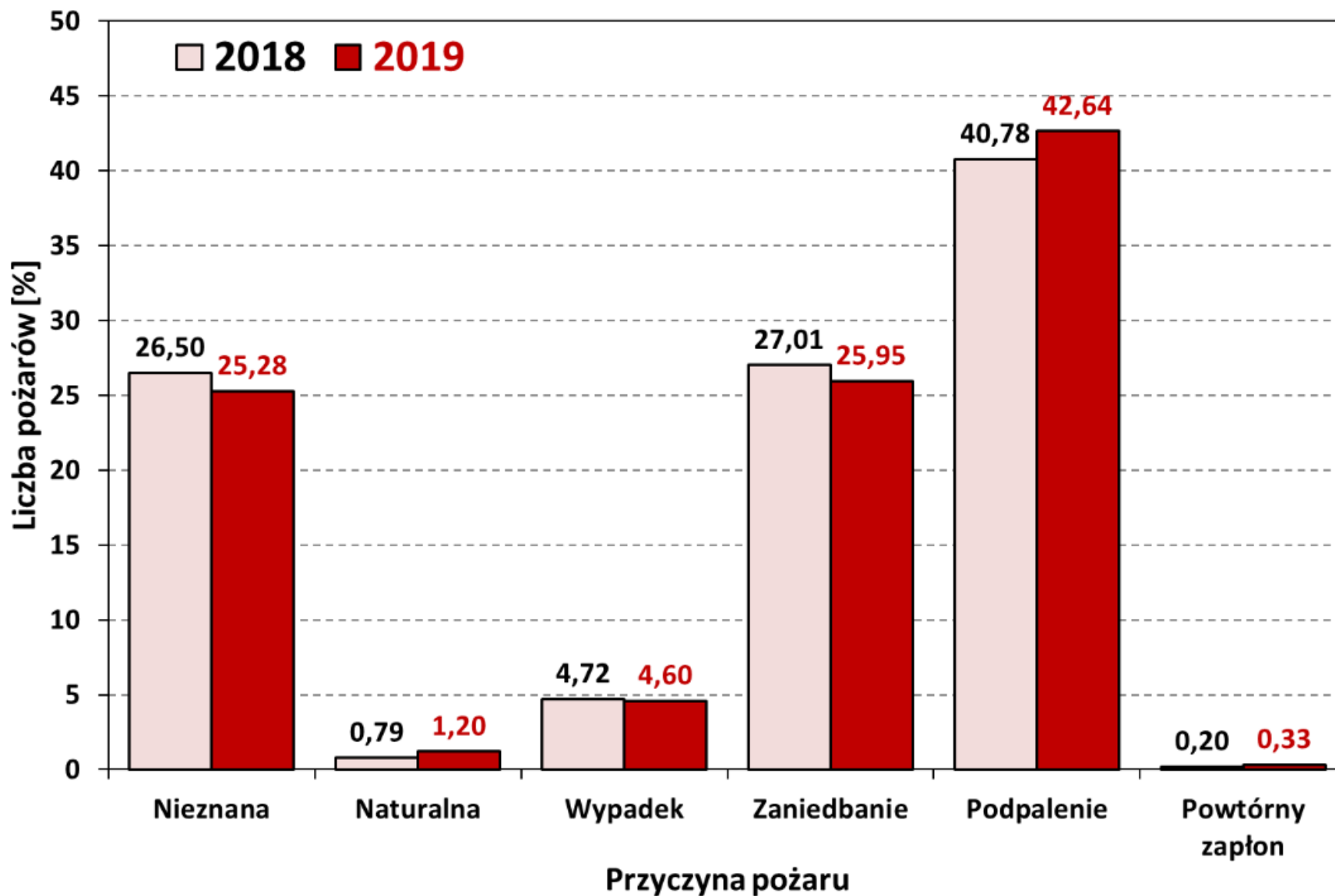
Zastosowanie metod matematycznych w ocenie zagrożenia pożarowego lasu

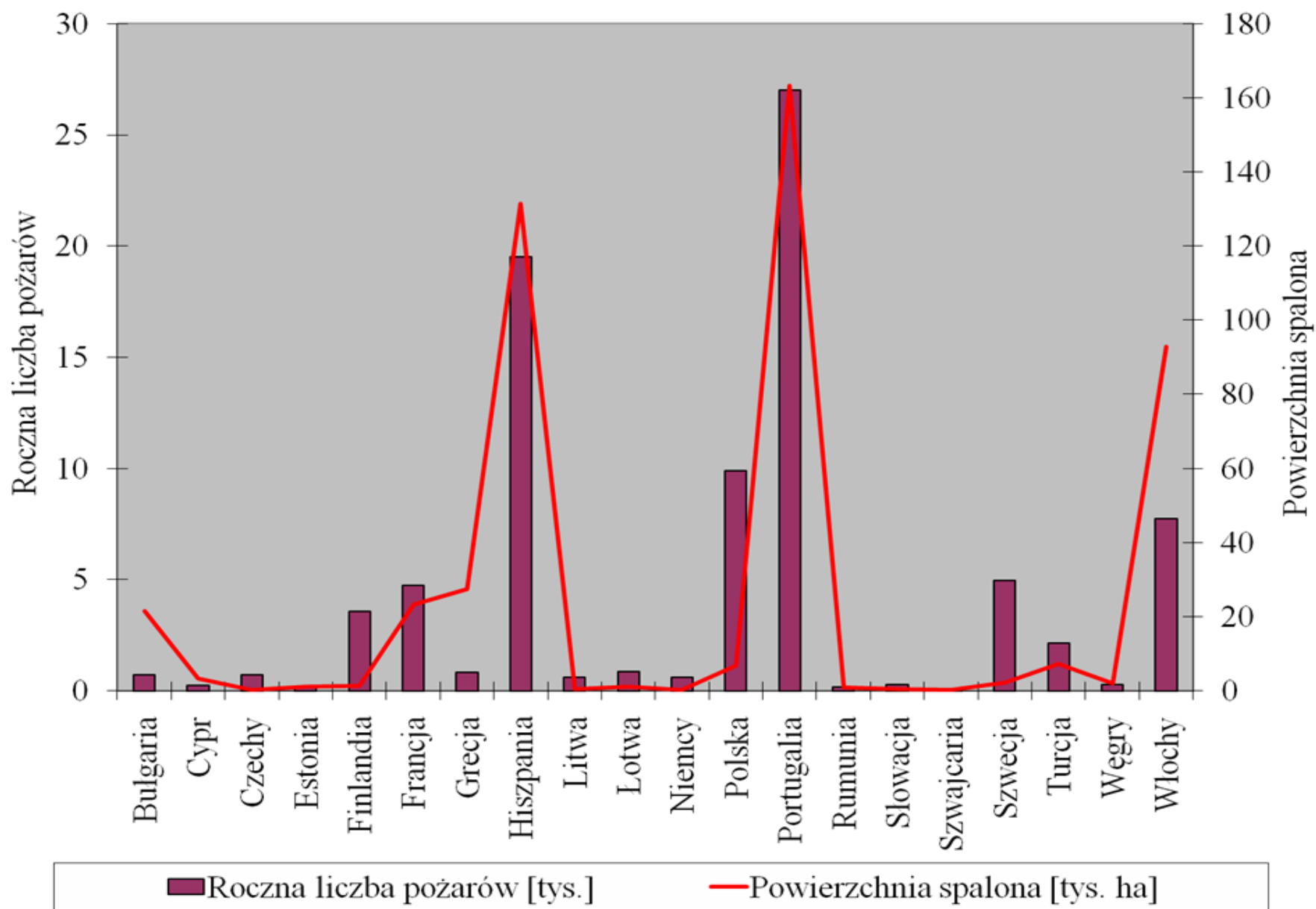
mgr inż. Mirosław Kwiatkowski

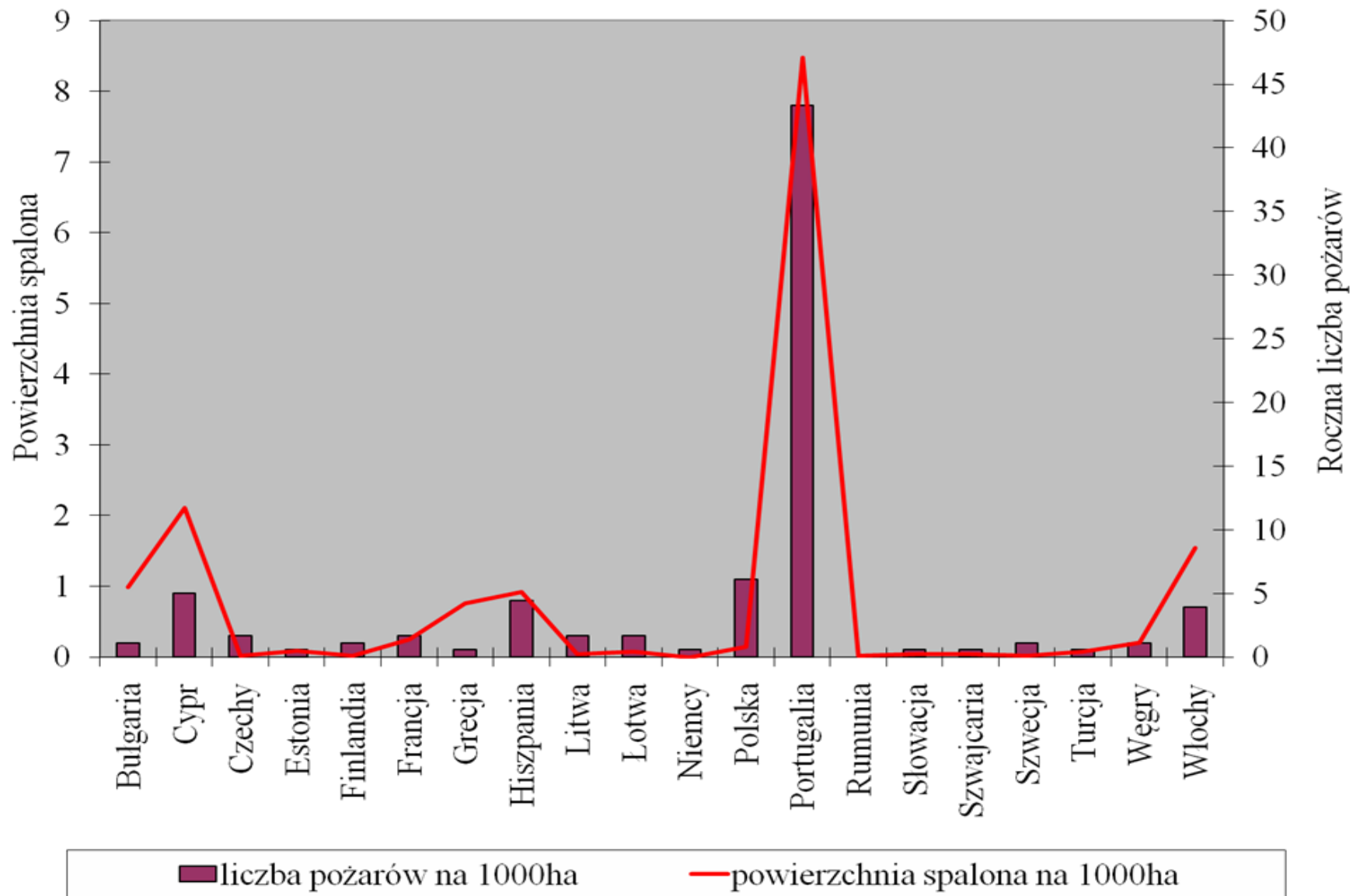
Laboratorium Ochrony Przeciwpożarowej Lasu











W Polsce kategorię zagrożenia pożarowego lasu ustala się według zmodyfikowanej w roku 2008 przez Instytut Badawczy Leśnictwa metody

Podstawą opracowania znowelizowanej metody była analiza występowania pożarów lasu w zależności od czynników środowiskowych, klimatycznych i antropogenicznych oraz występowania pożarów lasu we wcześniejszym okresie

czynniki drzewostanowe:

- udział drzewostanów według klas wieku,
- gatunków panujących,
- siedliskowych typów lasu.

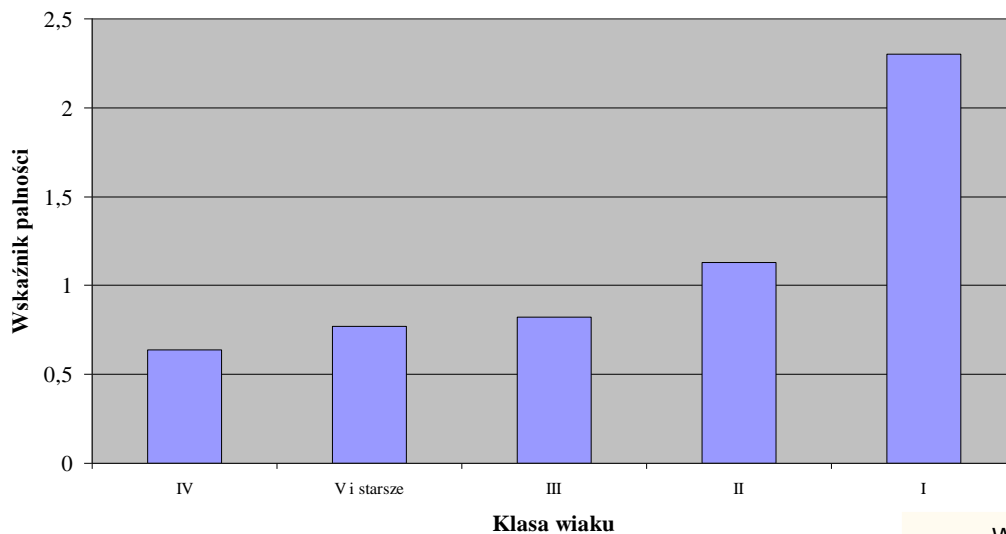
czynniki antropogeniczne

- liczba mieszkańców w przeliczeniu na 100 tys.ha lasu,
- gęstość dróg publicznych,
- stopa bezrobocia,
- nasilenie ruchu turystycznego wyrażone liczbą udzielonych noclegów,
- wielkość emisji zanieczyszczeń,
- stężenie podstawowych związków szkodliwych w powietrzu.

czynniki klimatyczne

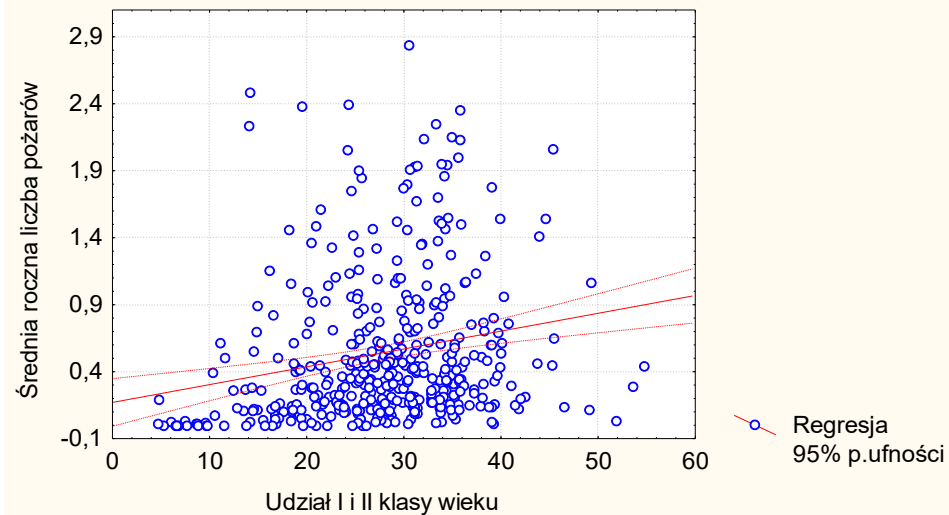
- średnia wartość współczynnika hydrotermicznego Sielaninowa dla sezonów IV-X,
- średnie liczba miesięcy z wartością współczynnika hydrotermicznego Sielaninowa mniejszą od 1,2 (okresy suszy),
- średnia temperatura powietrza dla sezonu IV-X,
- średnia suma opadu atmosferycznego dla sezonu IV-X,
- średnia temperatura powietrza, wilgotność ściółki i wilgotność względna powietrza, stopień zagrożenia pożarowego lasu oraz suma opadu atmosferycznego z godziny 9 na podstawie danych z sieci prognozowania ZPL LP,
- udział dni z wilgotnością ściółki o godzinie 9 mniejszą od 15%).

Palność lasów w zależności od klas wieku drzewostanów

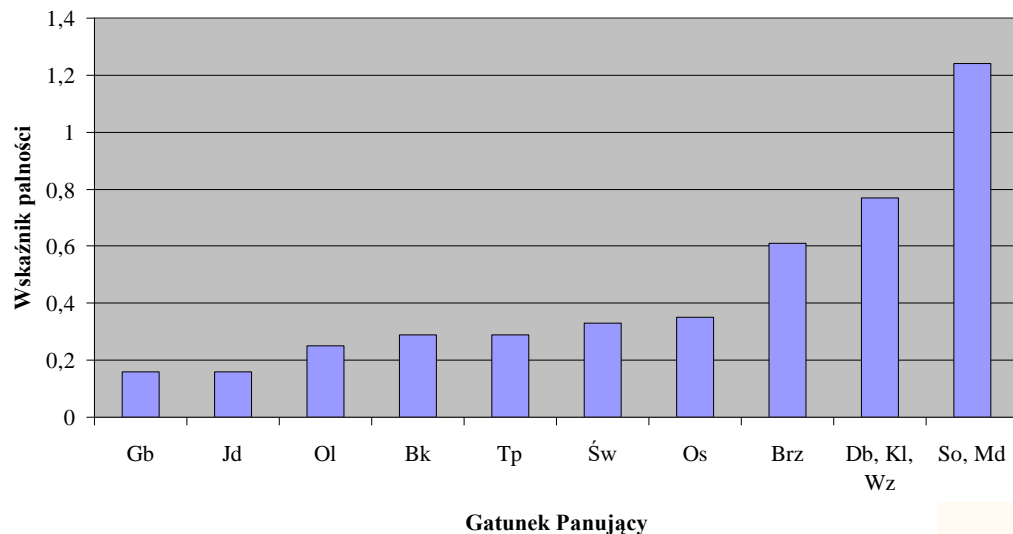


Występowanie pożarów na 1000 ha powierzchni leśnej w zależności od udziału drzewostanów I i II klasy wieku

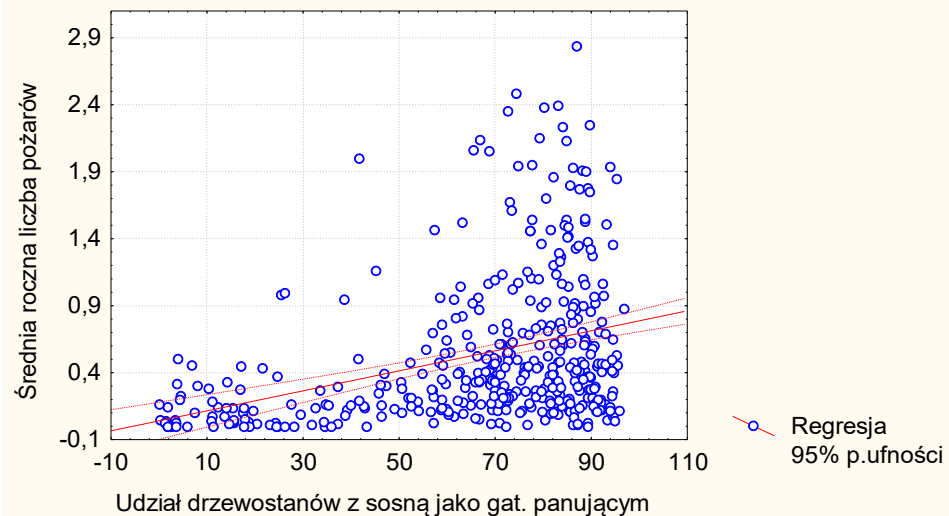
Wsp. korelacji = ,17909



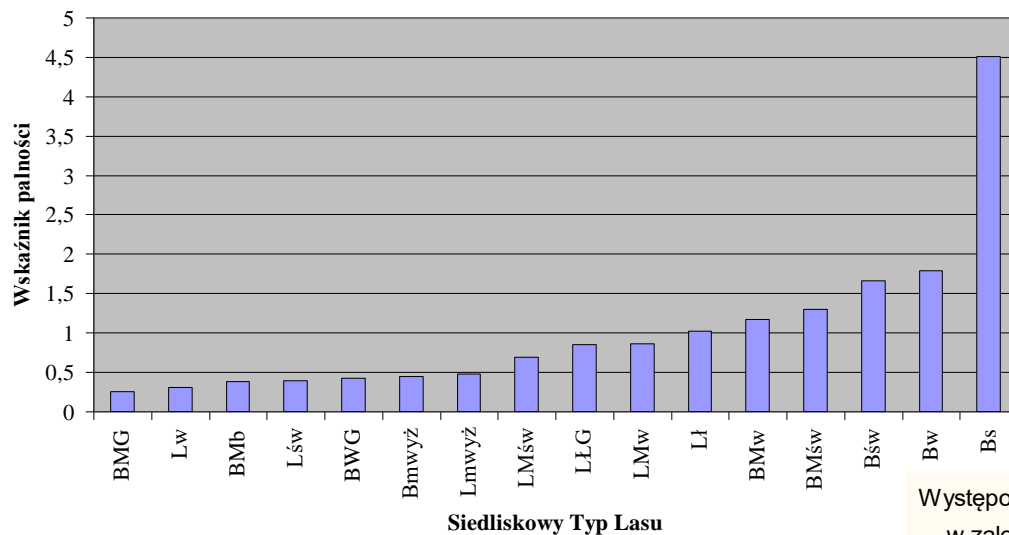
Palność lasów w zależności od gatunków panujących



Występowanie pożarów na 1000 ha powierzchni leśnej w zależności od udziału sosny jako gatunku panującego
Wsp. korelacji = ,31017

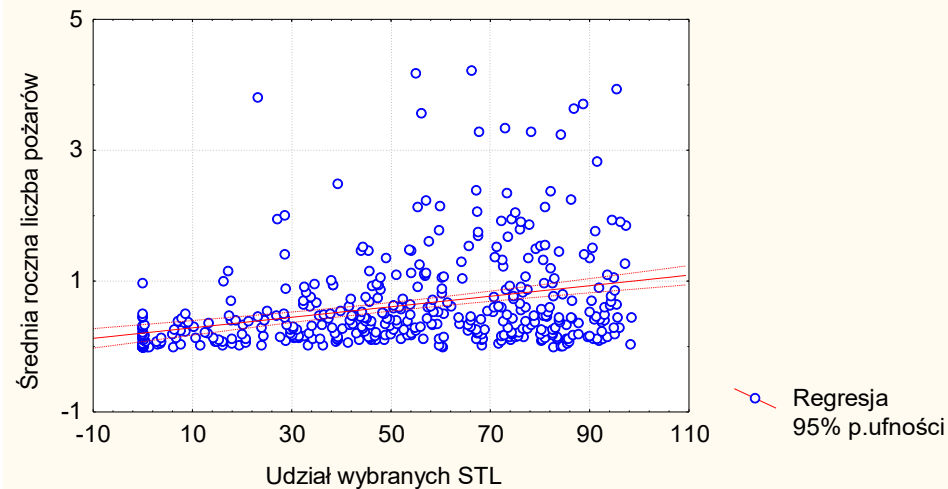


Palność lasów w zależności od Siedliskowego Typu Lasu



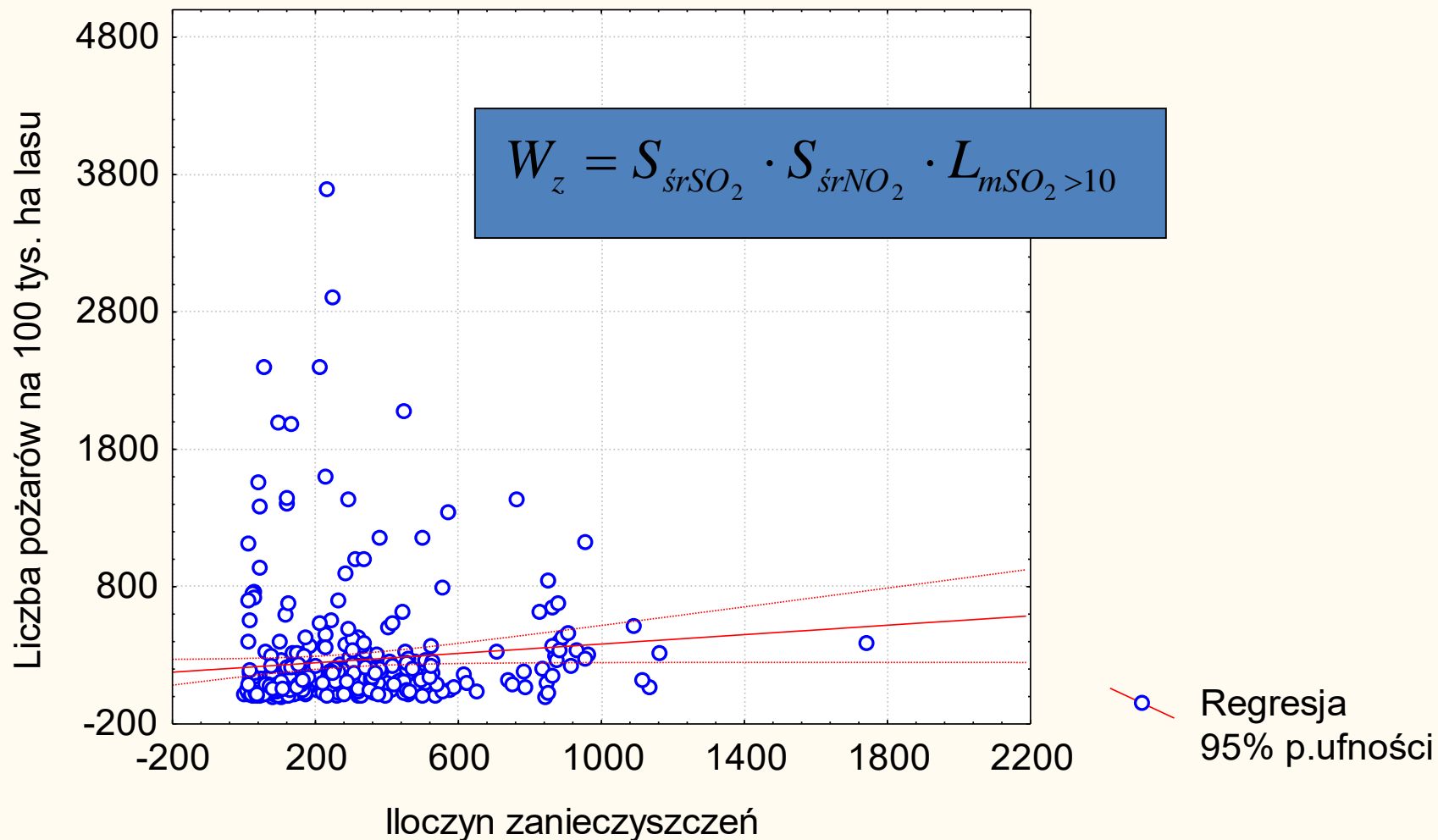
Występowanie pożarów w przeliczeniu na 1000 ha powierzchni leśnej w zależności od udziału procentowego siedliskowych typów lasu (Bs, Bw, Bśw, BMśw, BMw, Lł)

Wsp. korelacji = ,31258



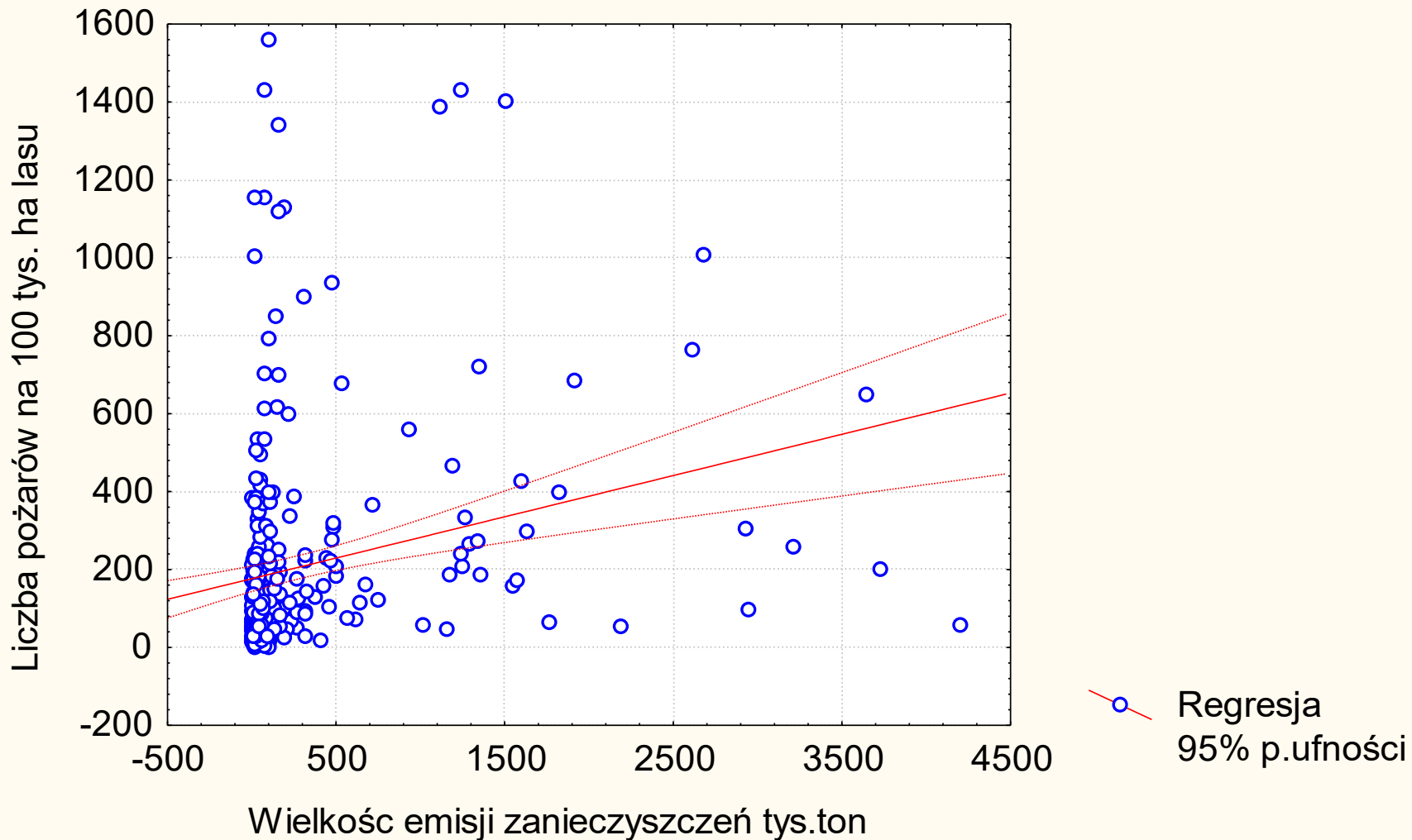
Występowanie pożarów w zależności od stężenia zanieczyszczeń

Wsp. korelacji = ,03703



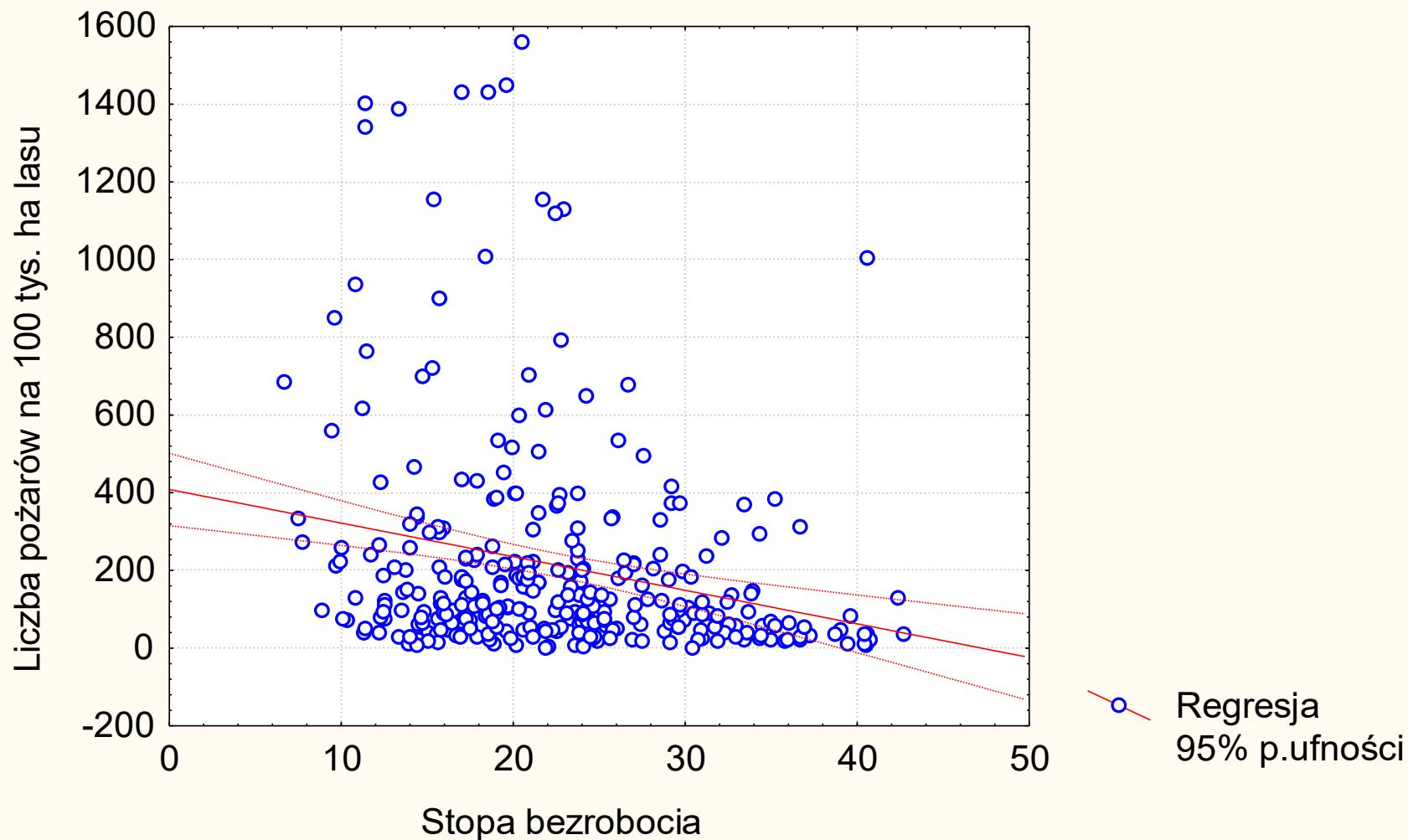
Występowanie pożarów w zależności od emisji zanieczyszczeń

Wsp. korelacji = ,07336



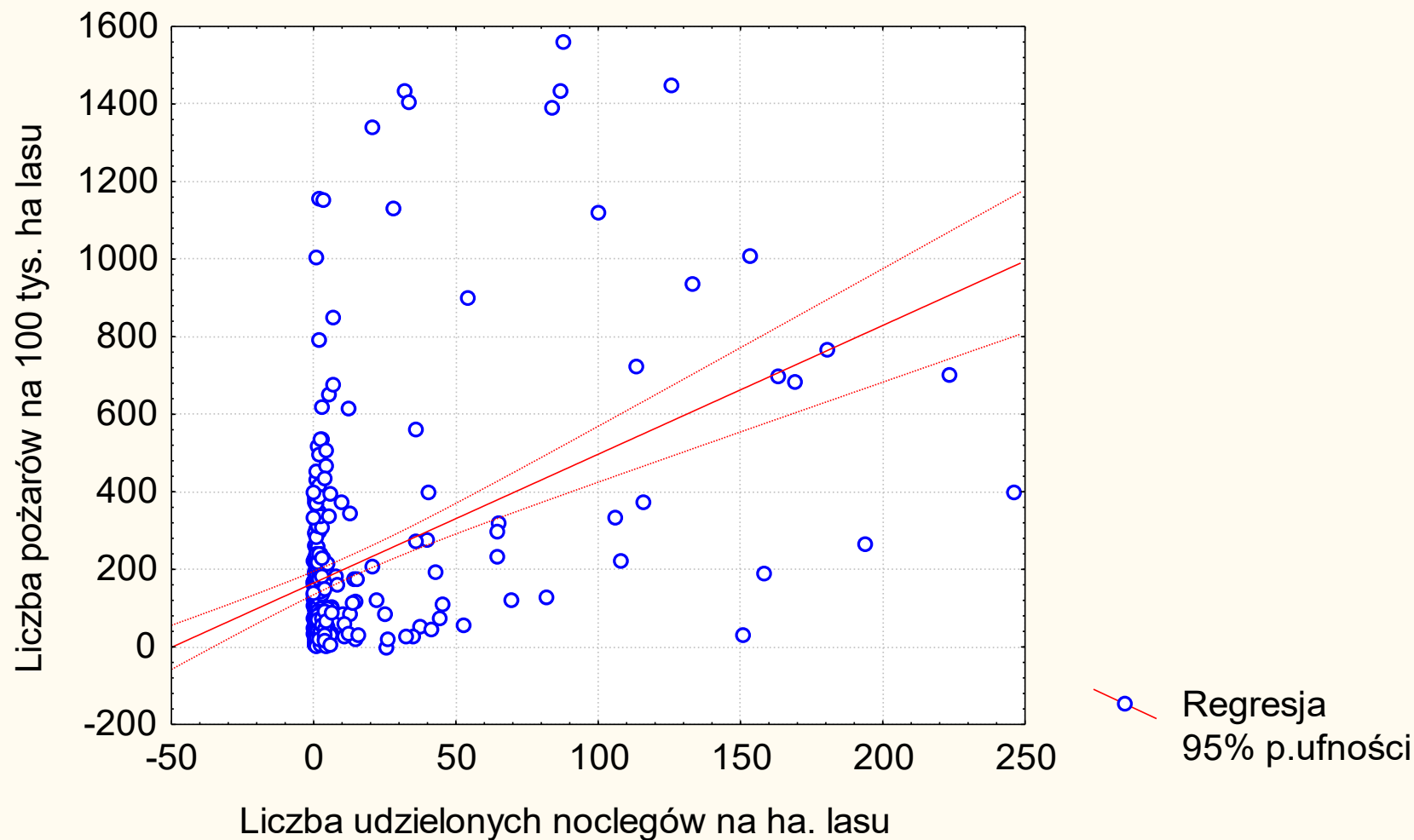
Występowanie pożarów w zależności od stopy bezrobocia

Wsp. korelacji = $-0,1381$



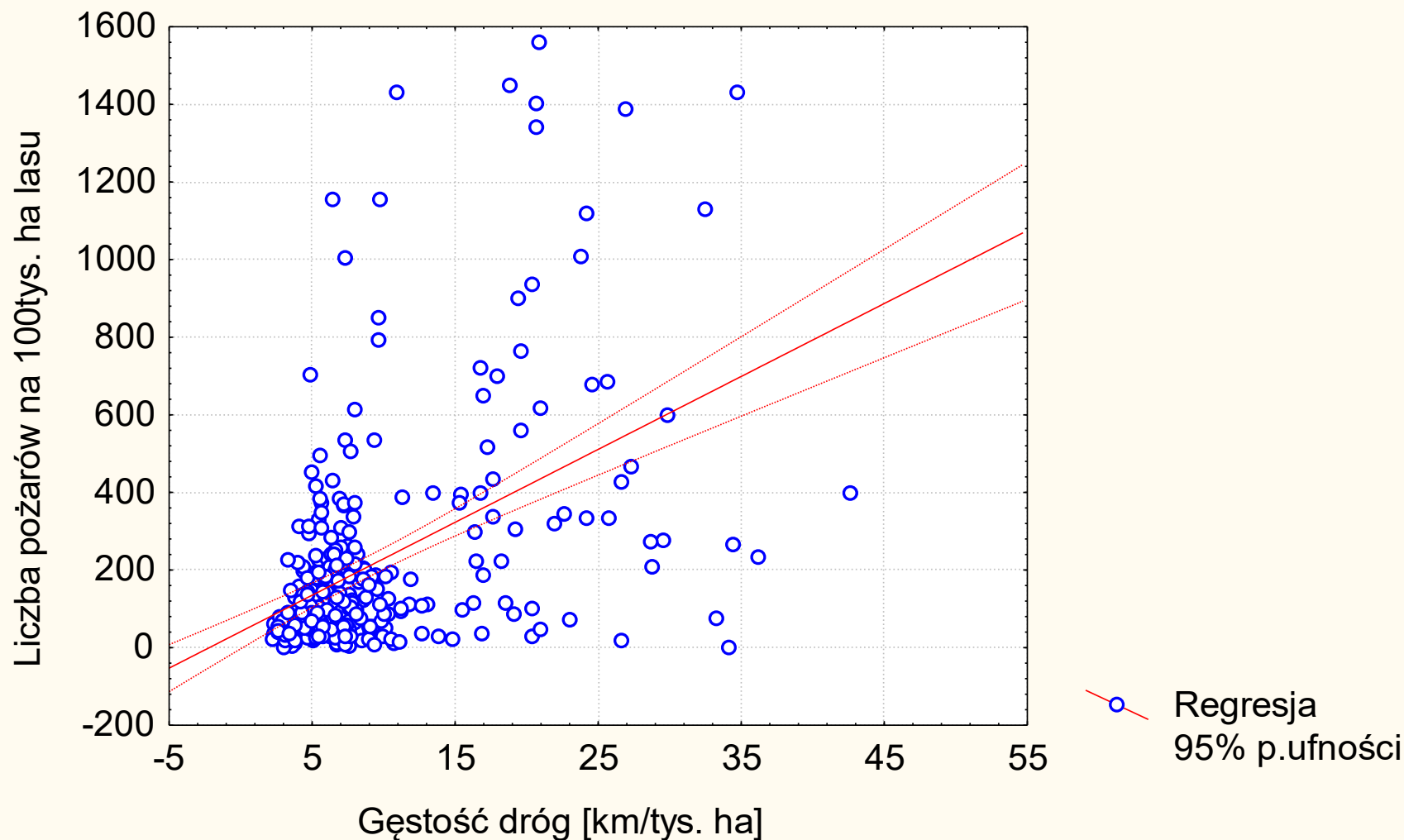
Występowanie pożarów w zależności od nasilenia rychu turystycznego

Wsp. korelacji = ,39476



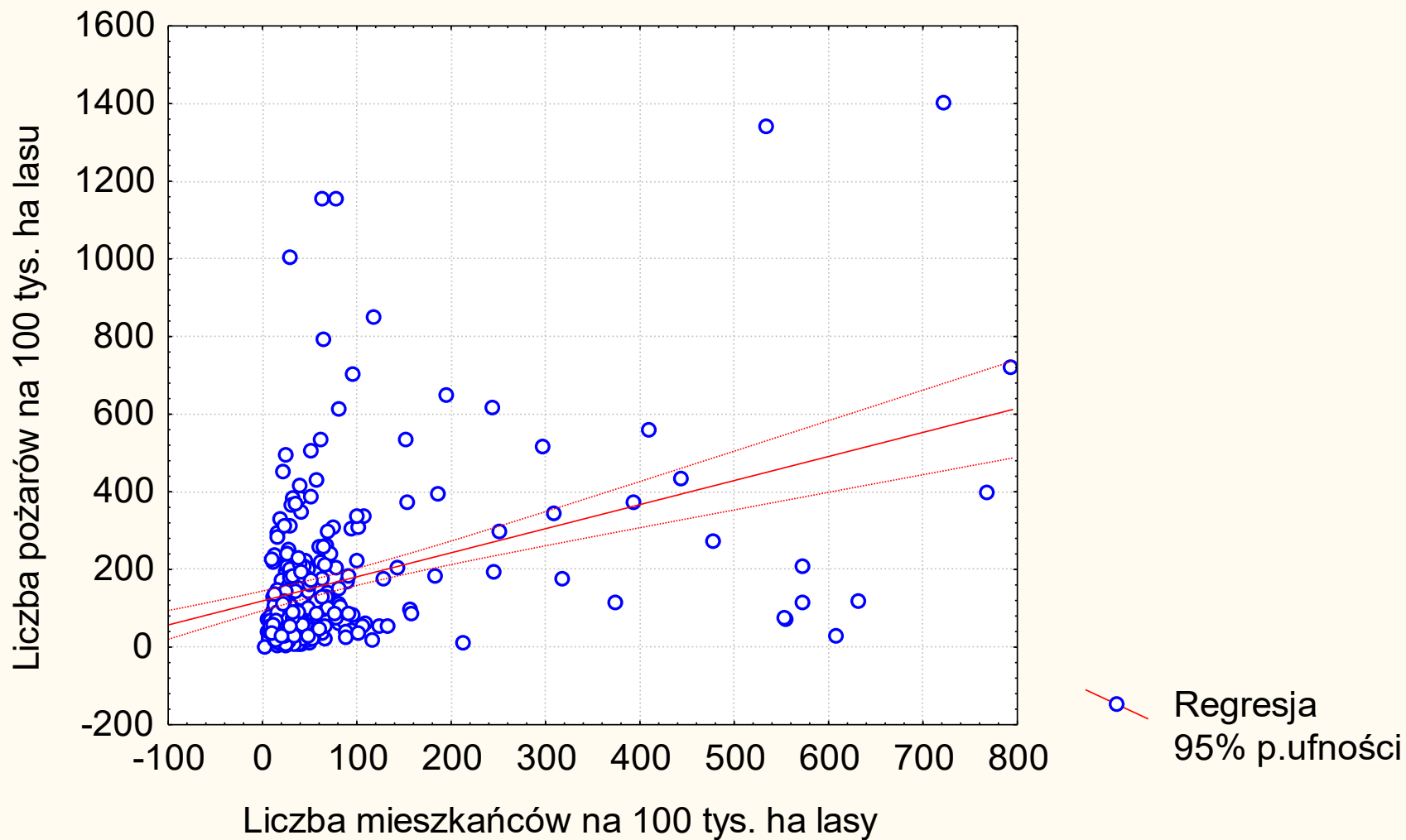
Występowanie pożarów w zależności od gęstości dróg publicznych

Wsp. korelacji = ,44386

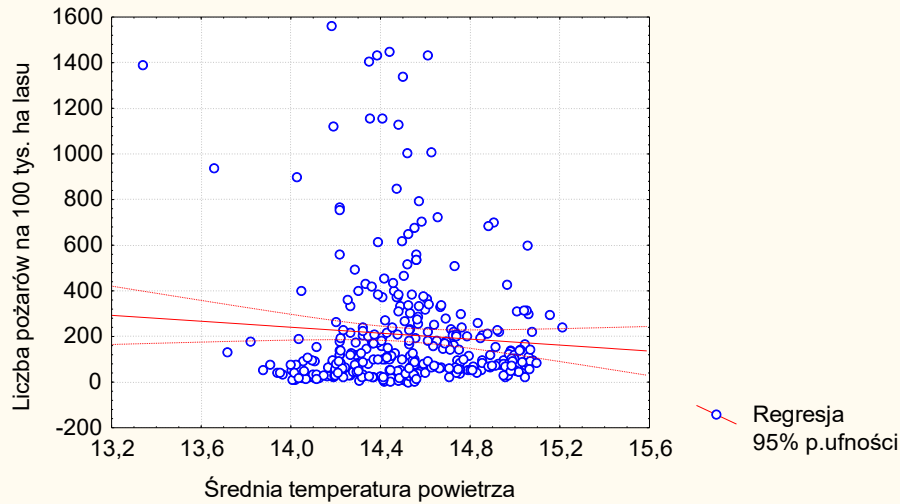


Występowanie pożarów w zależności od liczby mieszkańców

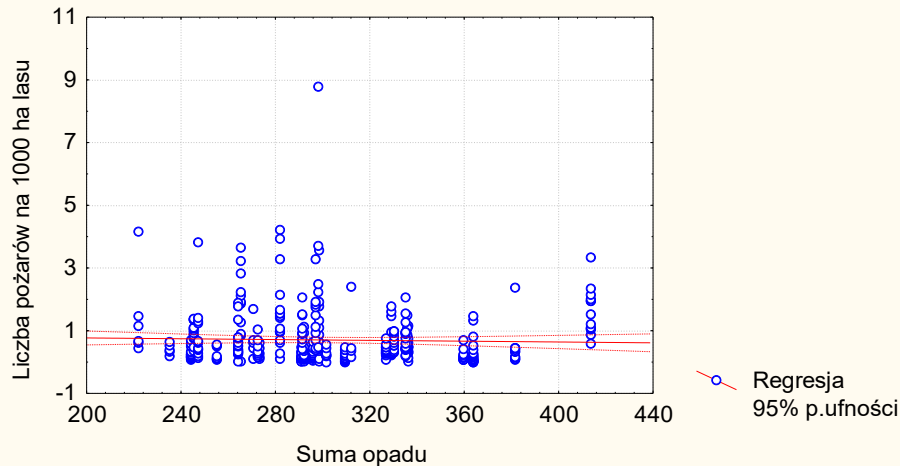
Wsp. korelacji = ,52893



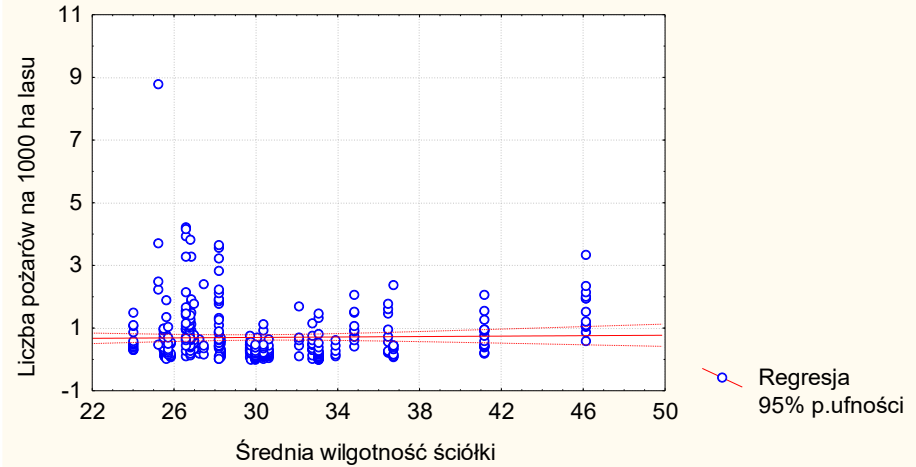
Występowanie pożarów w zależności od temperatury powietrza w miesiącach IV-X
Wsp. korelacji = $-0,0160$



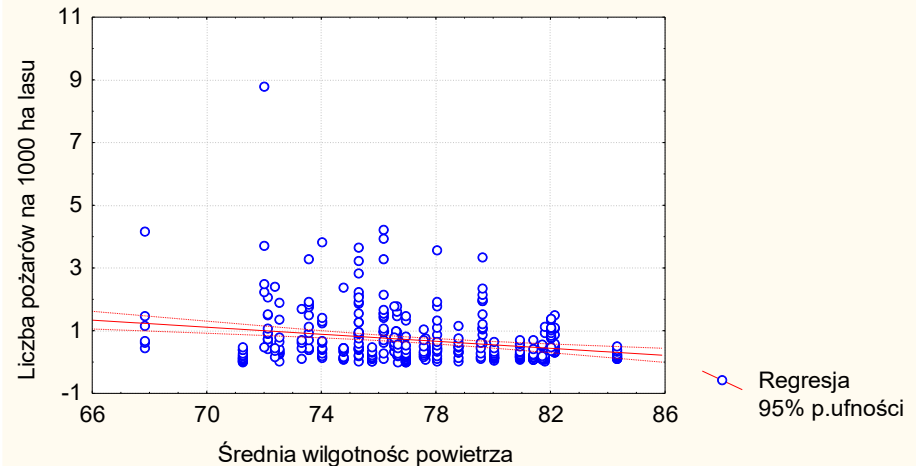
Występowanie pożarów w zależności od sumy opadu atmosferycznego według danych z punktu progностycznego
Wsp. korelacji = $-0,0328$



Występowanie pożarów w zależności od wilgotności ściółki o godzinie 9 według danych z punktu progностycznego
Wsp. korelacji = $0,02020$

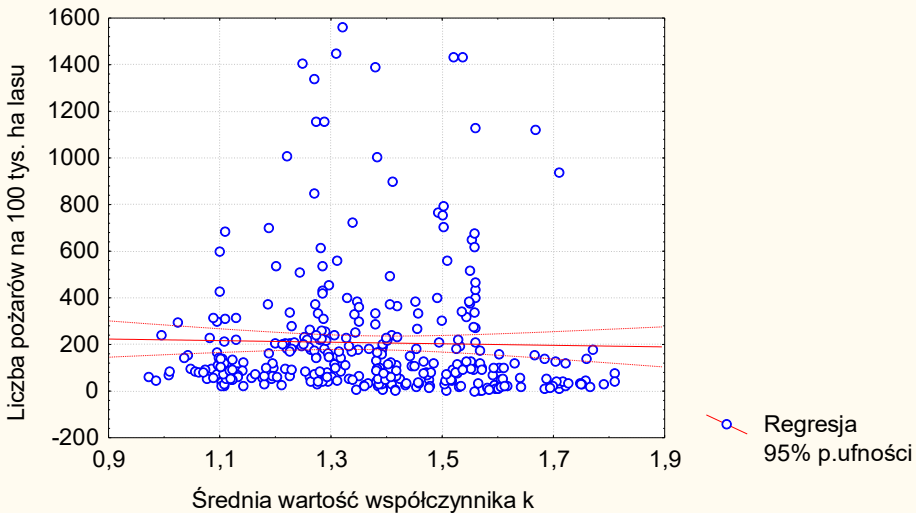


Występowanie pożarów w zależności od wilgotności względnej powietrza o godzinie 9 według danych z punktu progностycznego
Wsp. korelacji = $-0,2310$

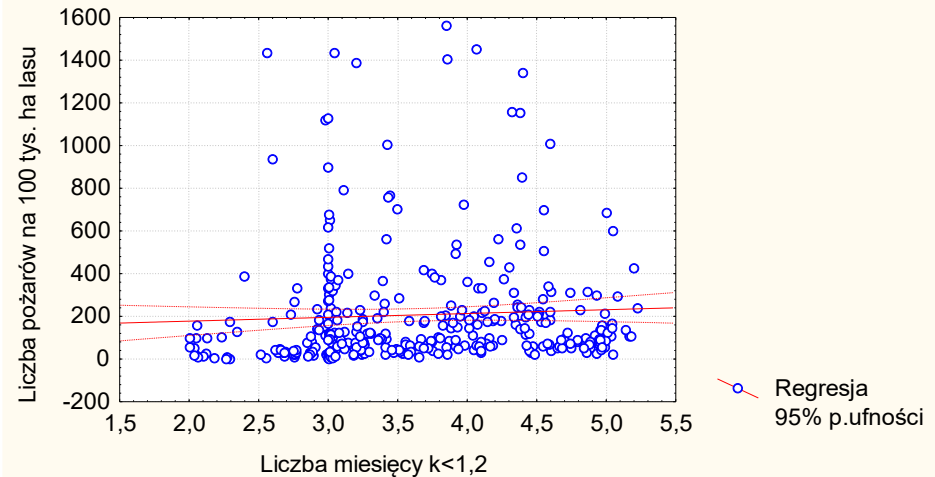


Zastosowanie metod matematycznych w ocenie zagrożenia pożarowego lasu

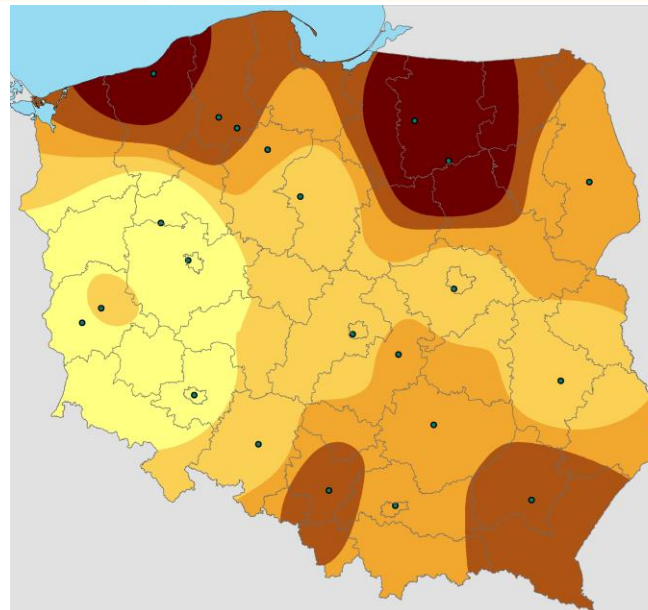
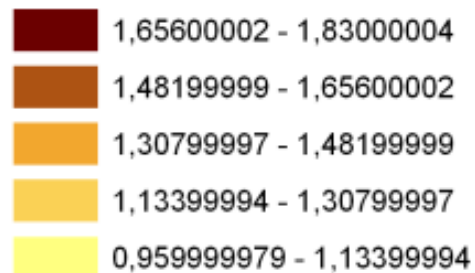
Występowanie pożarów w zależności od wartości współczynnika hydrotermicznego Sielaninowa (k)
Wsp. korelacji = $-0,0319$



Występowanie pożarów w zależności od liczby miesięcy z wartością współczynnika hydrotermicznego Sielaninowa mniejszą od 1,2 dla miesięcy IV-X
Wsp. korelacji = $0,07148$

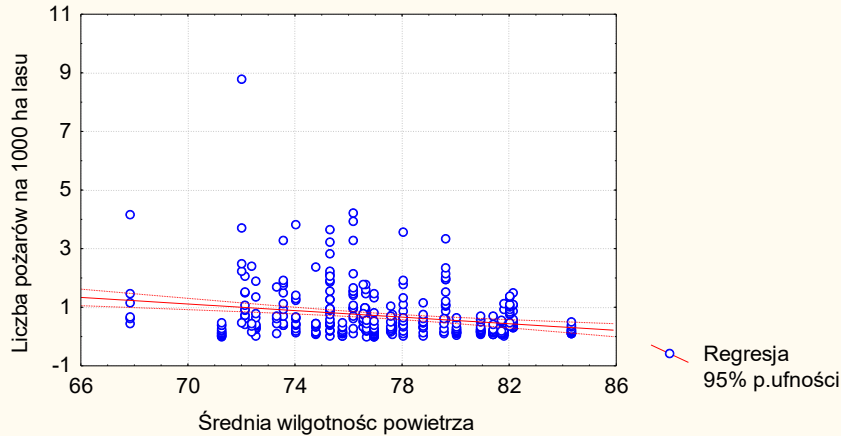


Wartość średnia współczynnika Sielaninowa

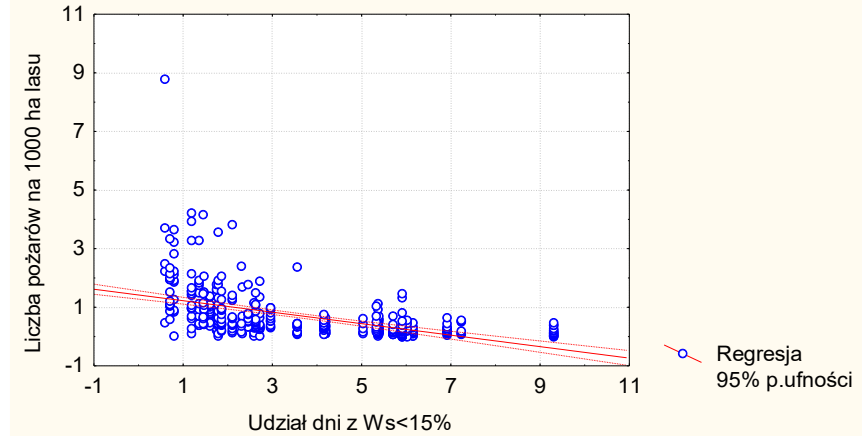


Zastosowanie metod matematycznych w ocenie zagrożenia pożarowego lasu

Występowanie pożarów w zależności od wilgotności względnej powietrza o godzinie 9 według danych z punktu prognostycznego
Wsp. korelacji = $-0,2310$

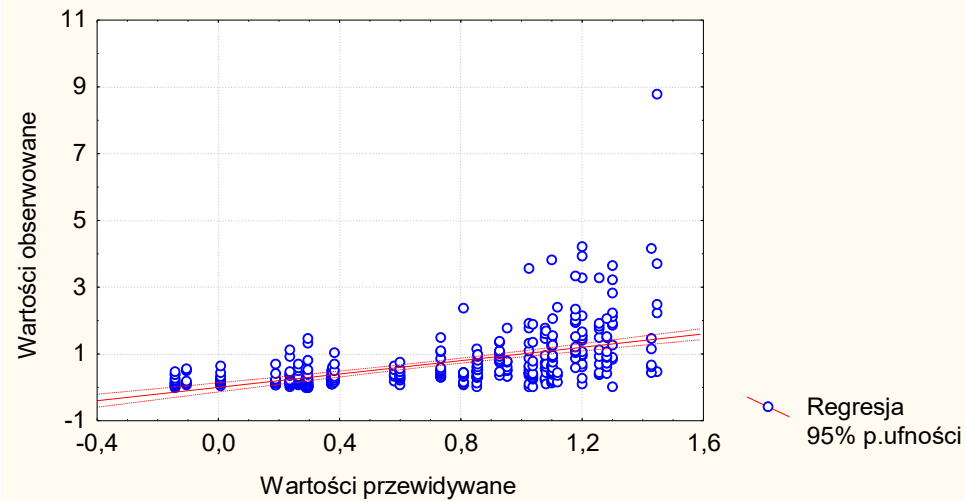


Występowanie pożarów w zależności od udziału dni z wilgotnością ściółki o godzinie 9 mniejszą od 15% według danych z punktu prognostycznego
Wsp. korelacji = $-0,5087$



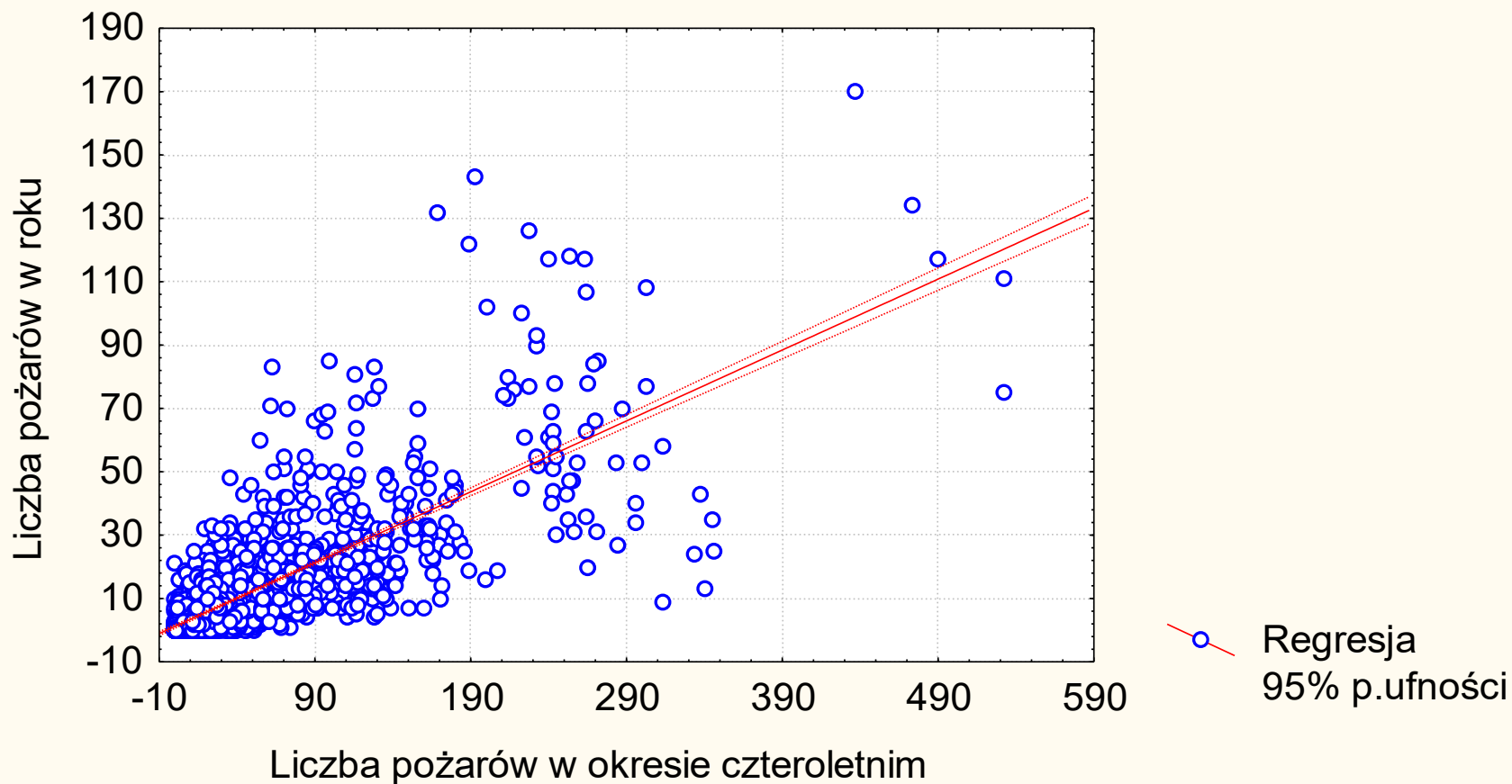
Występowanie pożarów z zależności od danych z sieci punktów prognostycznych z godziny 9
regresja wielokrotna (wilgotność powietrza, udział dni ws<15%)

$R=0,5260$



Występowanie pożarów w wybranym roku w zależności od sumy pożarów z pozostałych lat analizowanego okresu (lata 2002-2006) na podstawie danych LP

Wsp. korelacji = ,77106



Metoda klasyfikacji obszarów leśnych pod względem zagrożenia pożarowego uwzględnia:

- występowanie pożarów (średnia roczna liczba pożarów w okresie ostatnich 10 lat przypadająca na 1000 ha powierzchni leśnej – tzw. gęstość występowania pożarów);
- czynniki drzewostanowe (udział powierzchni drzewostanów rosnących na siedliskach boru suchego [Bs], boru świeżego [Bśw], boru mieszanego świeżego [BMśw], boru wilgotnego [Bw], boru mieszanego wilgotnego [BMw], lasu łęgowego [Lł]);
- czynniki klimatyczne (średnia wilgotność względna powietrza o godzinie 9.00, udział dni z wilgotnością ściółki o godzinie 9.00 mniejszą od 15%);
- czynniki antropogeniczne (gęstość zaludnienia).

Występowanie pożarów

$$P_p = 12,5 \log(11,2G_p + 0,725) + 1,5$$

gdzie:

P_p - liczba punktów odpowiadająca gęstości występowania pożarów,

G_p - średnia gęstość występowania pożarów w okresie wieloletnim.

Czynniki drzewostanowe

$$P_d = 0,1U_s$$

gdzie:

P_d - liczba punktów odpowiadająca czynnikom drzewostanowym,

U_s - udział powierzchni drzewostanów rosnących na siedliskach Bs, Bśw, Bw, BMśw, BMw i Lł.

Czynniki klimatyczne

$$P_k = 0,221U_{ds} - 0,59W_p + 45,1$$

gdzie:

P_k - liczba punktów odpowiadająca czynnikom klimatycznym,

W_p - średnia wilgotność względna powietrza o godzinie 9⁰⁰,

U_{ds} - udział dni z wilgotnością ściółki o godzinie 9⁰⁰ mniejszą od 15%.

Czynniki antropogeniczne

$$P_a = 2,46 \log(0,0461G_z) + 5,16$$

gdzie:

P_a - liczba punktów odpowiadająca czynnikom antropogenicznym,

G_z - gęstość zaludnienia na danym terenie.

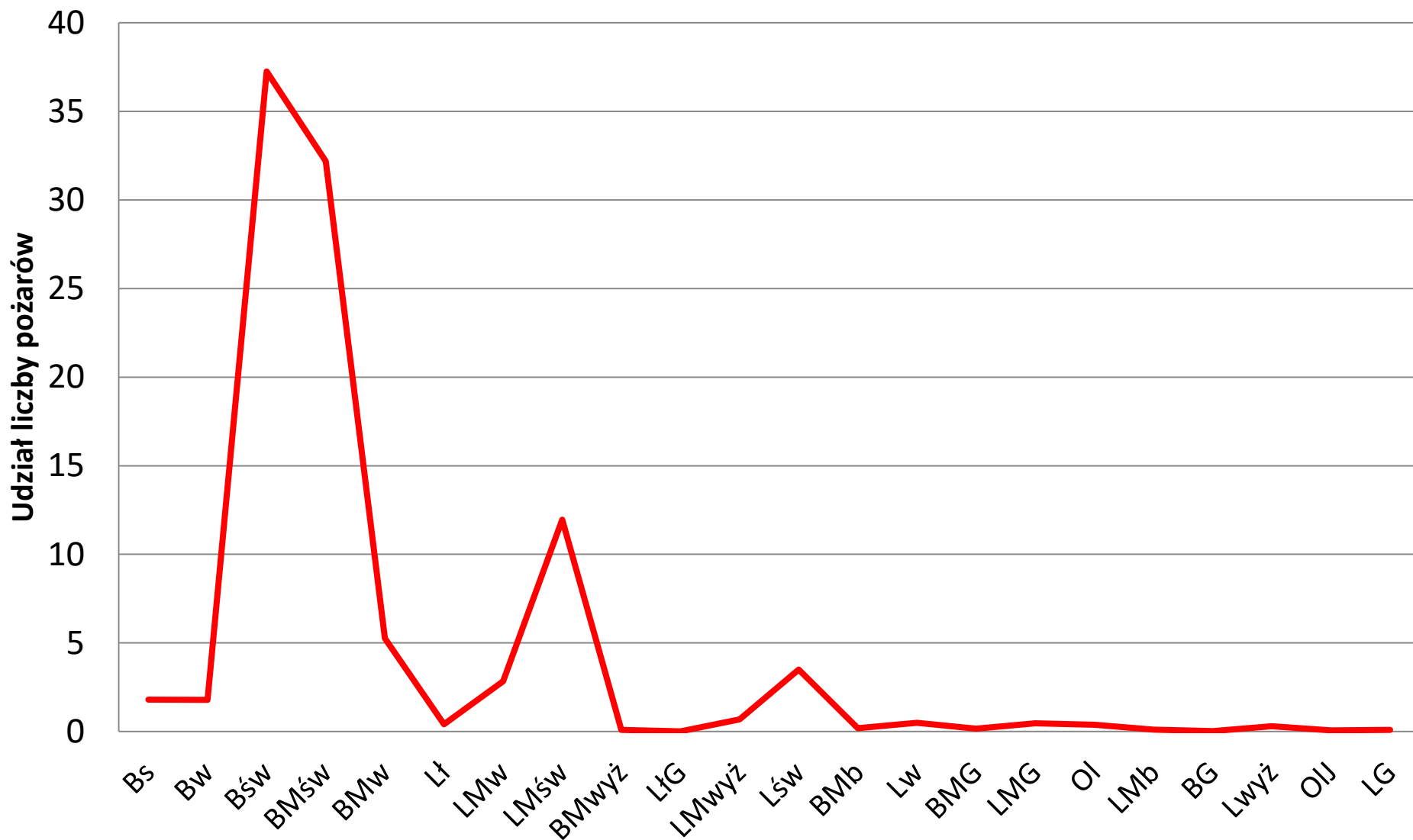
Lp.	Rodzaj kryterium	Maksymalna liczba punktów
1.	Występowanie pożarów	24
2.	Drzewostanowe	10
3.	Klimatyczne	9
4.	Antropogeniczne	7

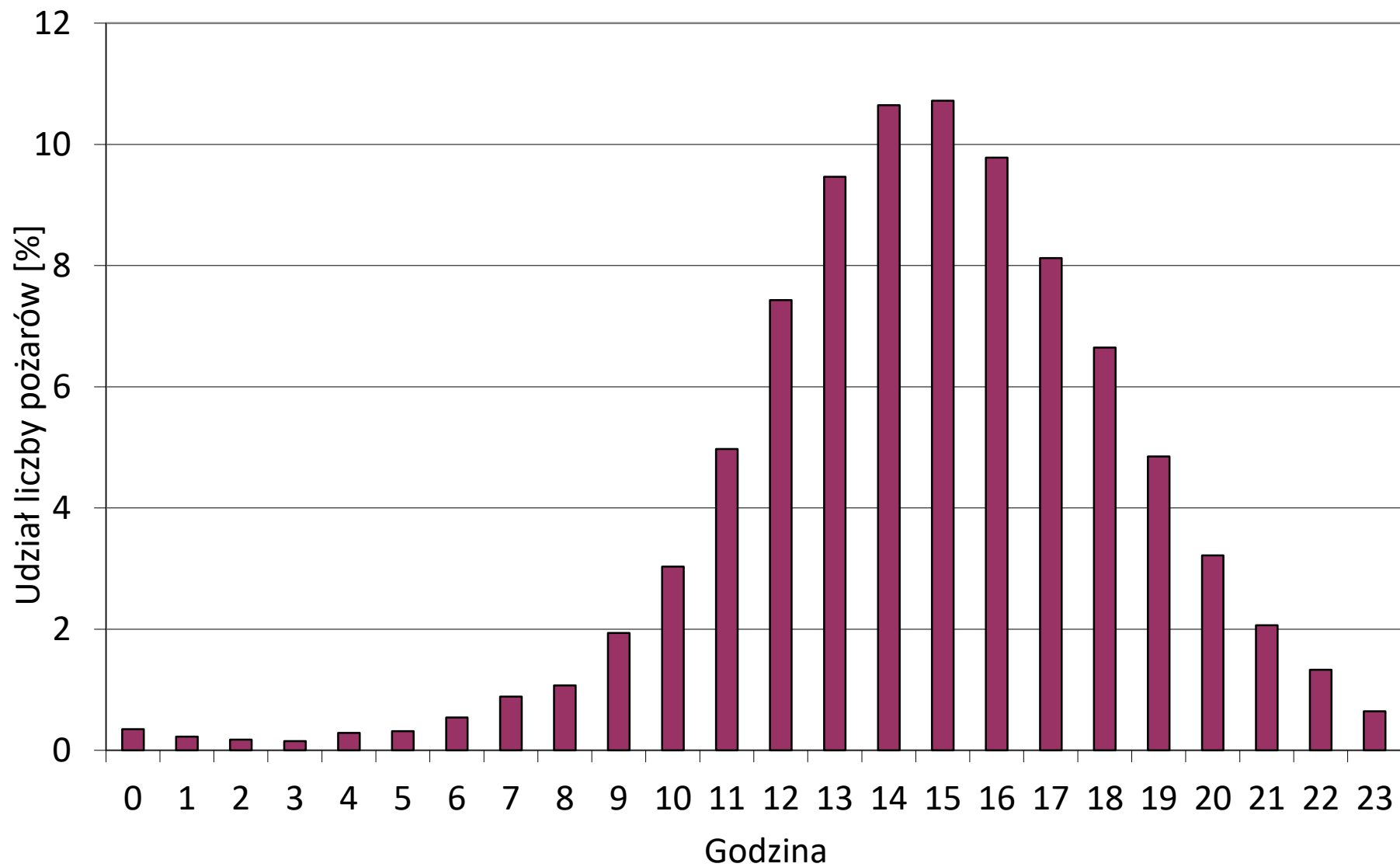
Suma punktów	Kategoria ZPL
≥ 25	I (zagrożenie duże)
$< 25 \text{ i } > 15$	II (zagrożenie średnie)
≤ 15	III (zagrożenie małe)

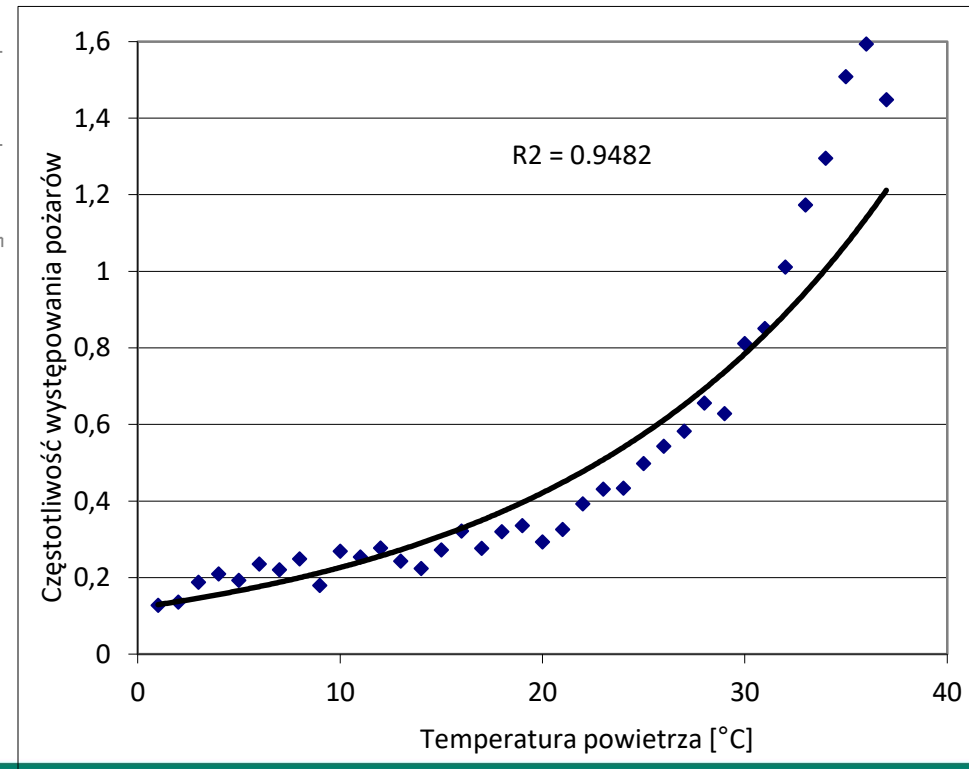
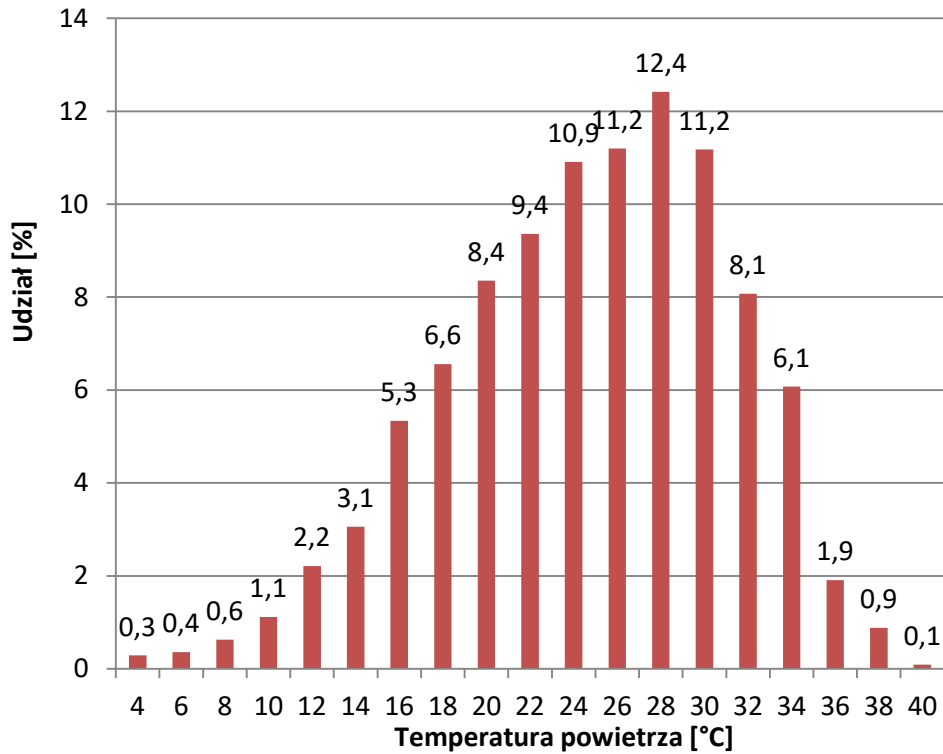


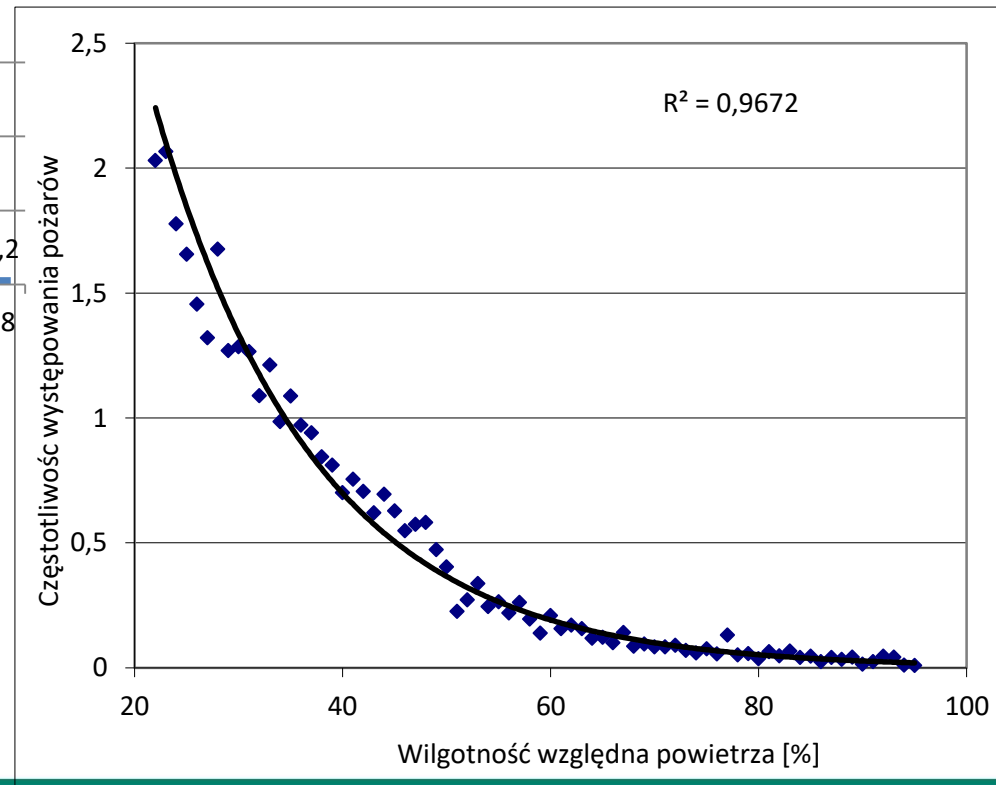
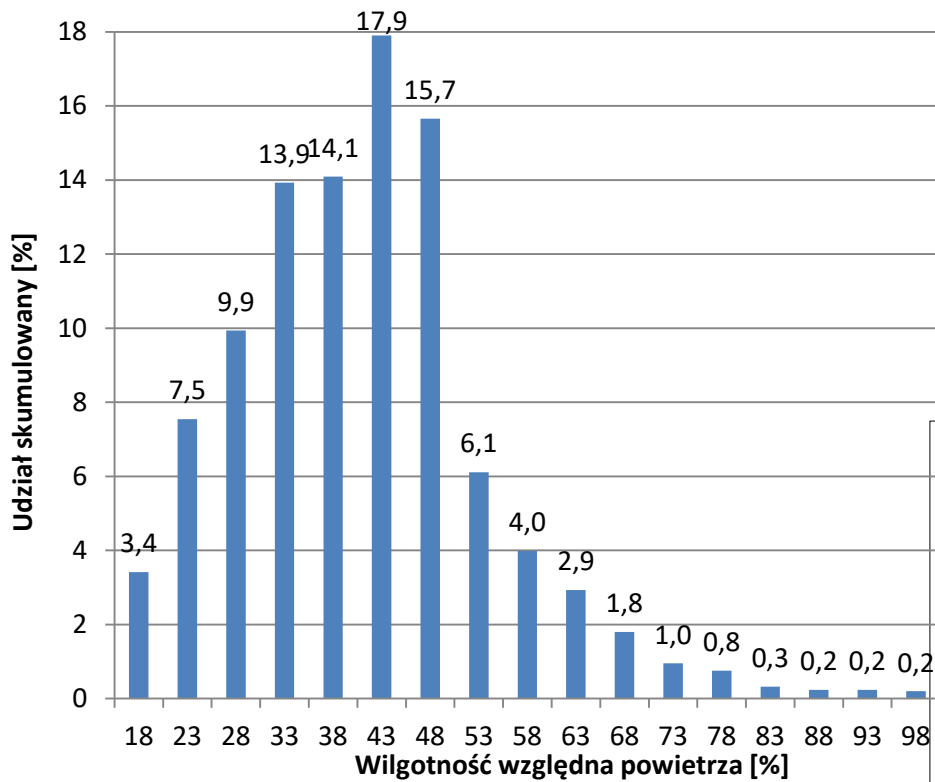
- możliwość ustalenia aktualnego zagrożenia pożarowego lasu,
- umożliwienie ograniczenia kosztów ochrony p-poż,
- możliwość prognozowania zagrożenia pożarowego lasu na godziny popołudniowe oraz na dzień następny,
- możliwość prognozowania wilgotności ściółki.

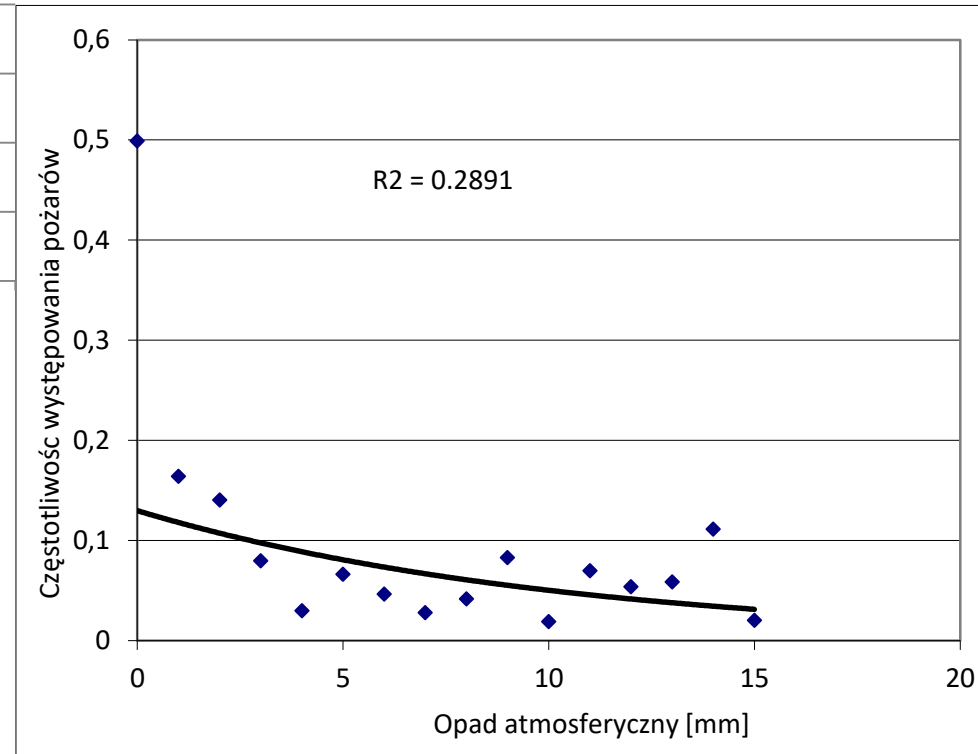
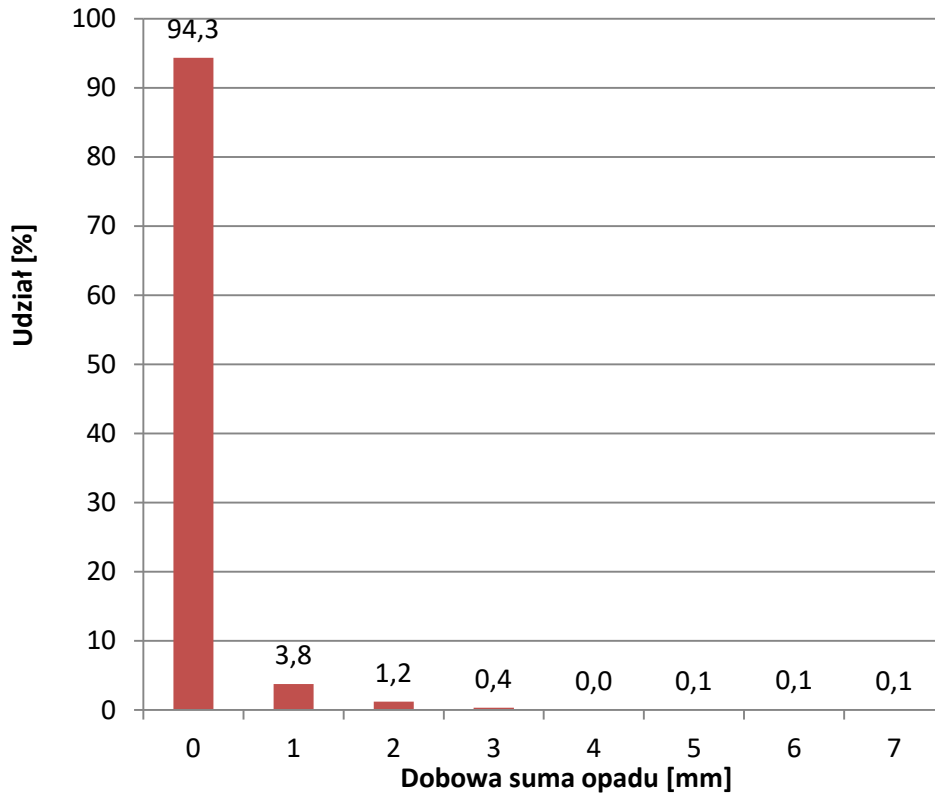
Udział liczby pożarów

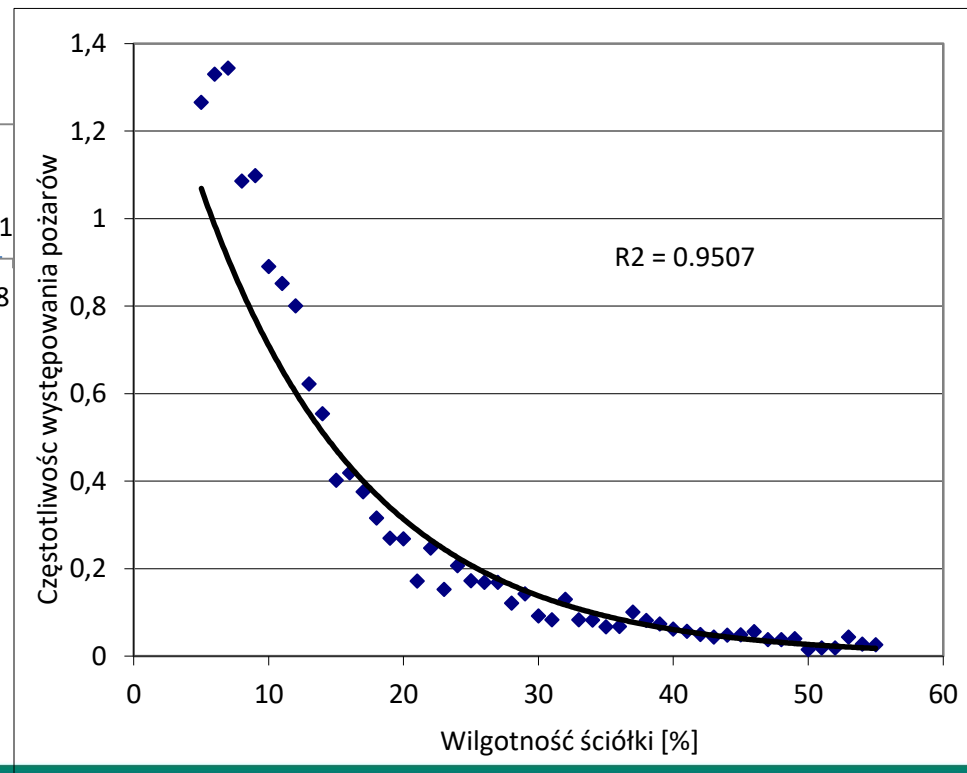
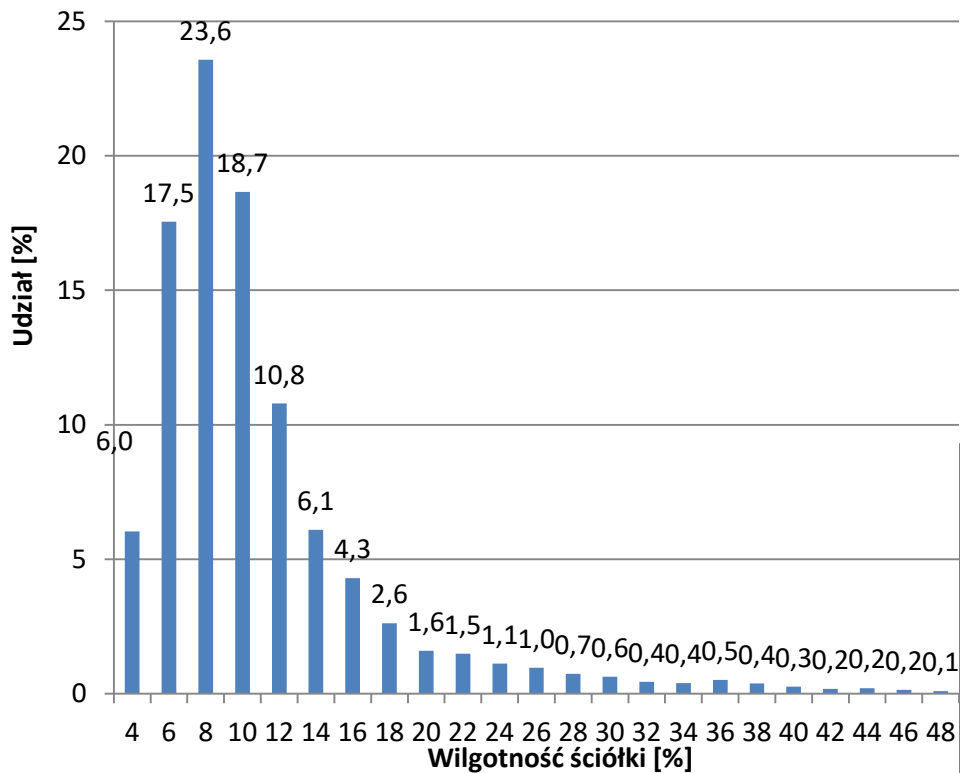


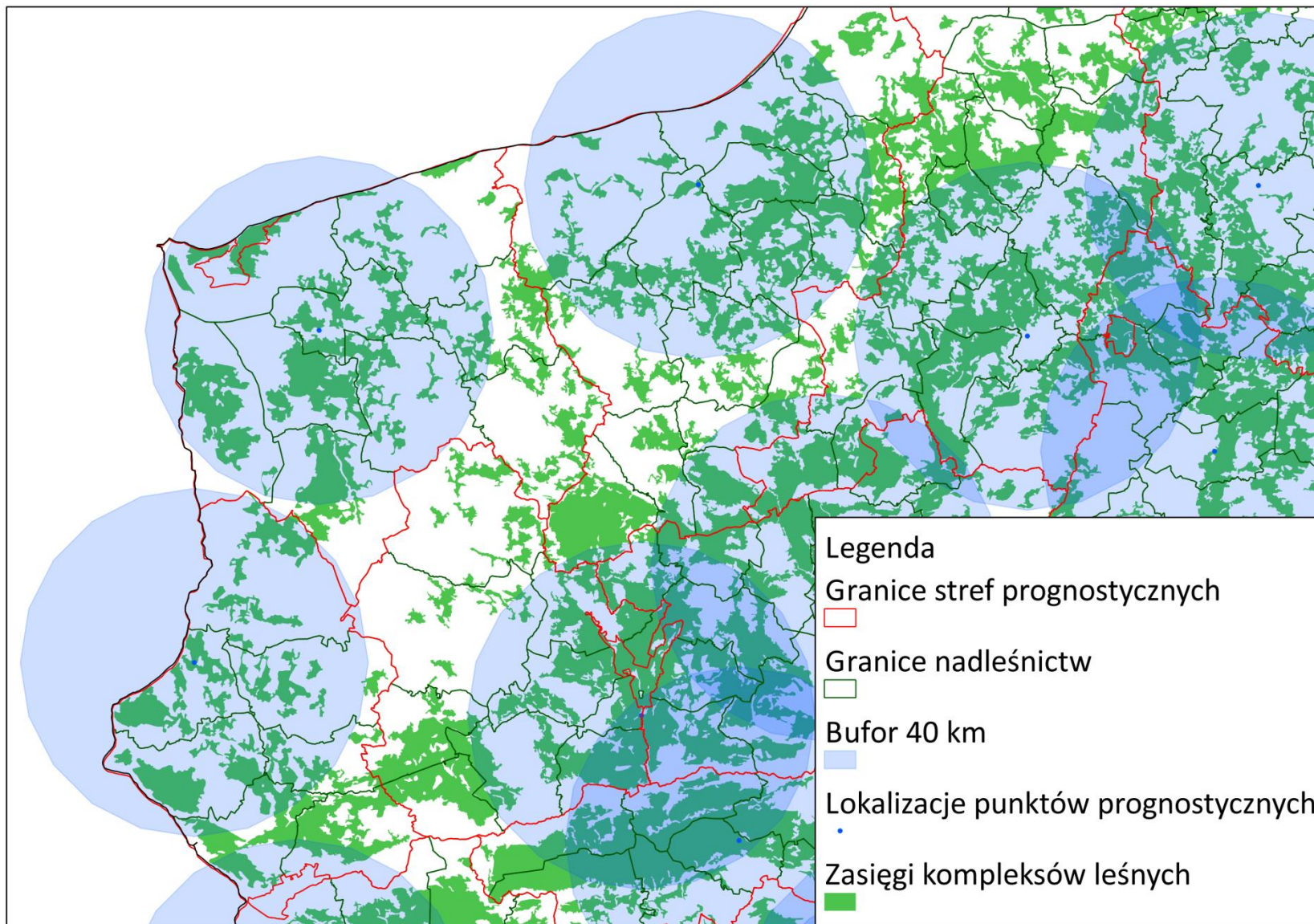












Aby wyeliminować wpływ dobowego cyklu wahań wilgotności względnej powietrza i wilgotności ściółki w analizach uwzględniono czas jaki upłynął od wschodu słońca do terminu opracowywania prognozy.

Aby uniknąć wpływu zróżnicowanej powierzchni leśnej stref do oceny przyjęto pożary które wystąpiły w nadleśnictwach których większość kompleksów leśnych leży w odległości mniejszej niż 40 km od punktu pomiaru wilgotności ściółki.

Ze względu na to, że częstotliwość występowania pożarów nie jest zależna liniowo od warunków meteorologicznych i wilgotności ściółki do analiz przyjęto wartości wszystkich parametrów przekształcone za pomocą odpowiednich funkcji wykładniczych.

Aby umożliwić ustalenie SZPL dla pomocniczych punktów pomiarowych utworzono pary punktów zlokalizowanych w niewielkiej odległości od siebie i nie różniących się znacznie warunkami drzewostanowymi.

Dla tak utworzonych par punktów, z których jeden traktowany był jako punkt pomocniczy analizowano występowanie pożarów w nadleśnictwach leżących w promieniu do 40 km od tego punktu.

Pozwoliło to również na ocenę wpływu braku pomiaru wilgotności ściółki na pogorszenie dokładności prognozy.

Rodzaj punktu	Godziny występowania pożarów	Zakres zmiennych niezależnych	Współczynnik determinacji
Prognostyczny	9 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	wszystkie	0,213
	po 13 ⁰⁰	z wyłączeniem wilgotności ściółki o godzinie 13 ⁰⁰	0,315
	Po 13 ⁰⁰	wszystkie	0,317
Pomocniczy	9 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	wszystkie	0,170
	Po 13 ⁰⁰	wszystkie	0,301

Wielomian dla punktu prognostycznego na godzinę 9⁰⁰

$f_{(TP_09, WP_09, OP_09, WS_09)}$

Wielomian dla punktu prognostycznego na godzinę 13⁰⁰

$f_{(TP_09, WP_09, WS_09, TP_13, WP_13)}$

**Wielomian dla punktu prognostycznego na godzinę 13⁰⁰ z
uwzględnieniem wilgotności ściółki z godziny 13⁰⁰**

$f_{(TP_09, WP_09, OP_09, WS_09, TP_13, WP_13, WS_13)}$

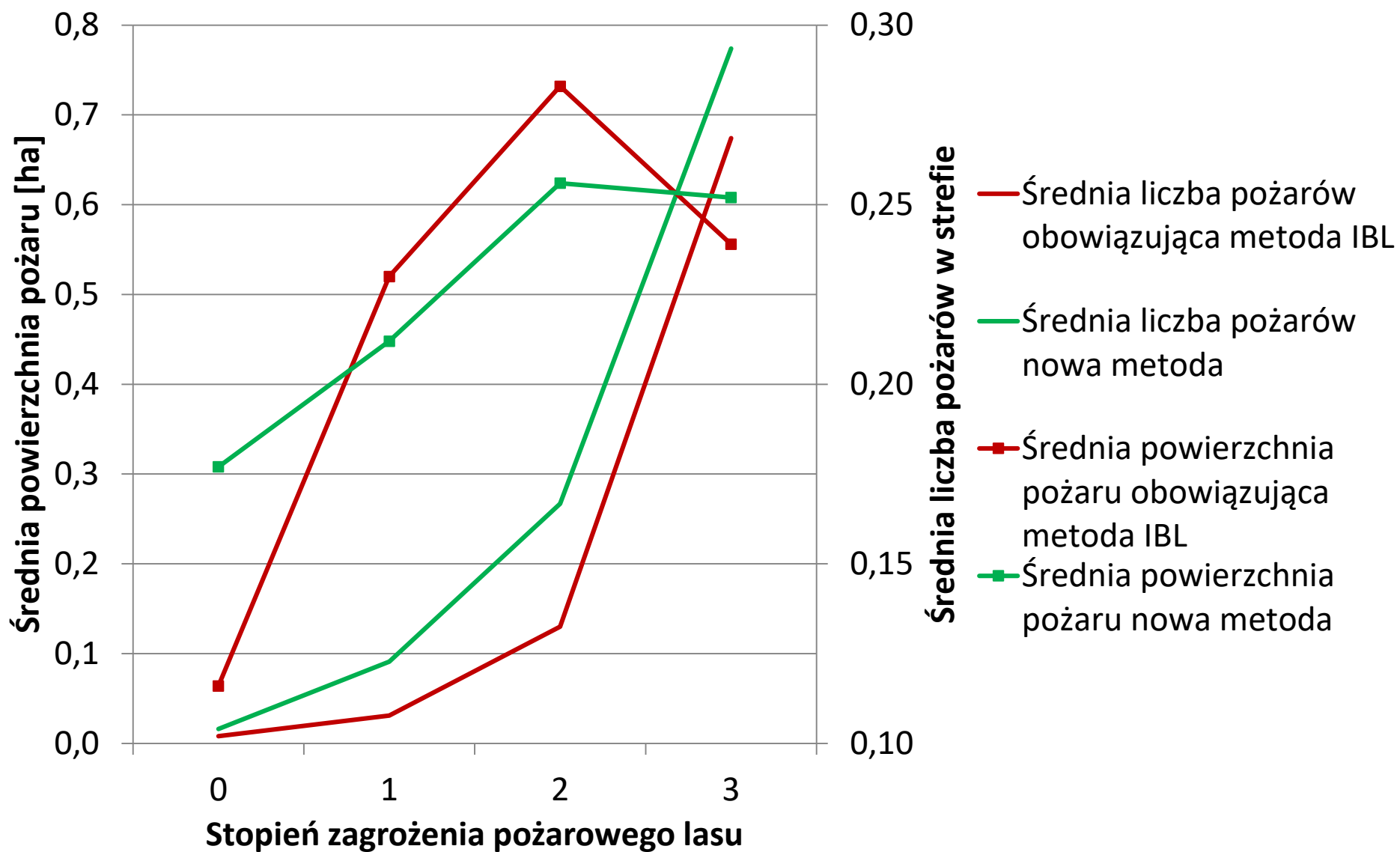
Wielomian dla punktu pomocniczego na godzinę 9⁰⁰

$f_{(WP_09, WS_09P)}$

Wielomian zagrożenia dla punktu pomocniczego na godzinę 13⁰⁰

$f_{(WP_09, TP_13, WP_13, TP_09P, WP_09P, WS_09P, WP_13P)}$

SZPL	Wartość wielomianu „n”
0	$n < 2$
1	$2 \leq n < 13$
2	$13 \leq n < 38$
3	$38 \leq n$



wilg_1_09_lin =

f (TP_09, OP_09, WS_09, WS_13_1, WS_09_A1, TP0_13, WP0_13, OP0_13, Z0_13, VW0_13, TP1_09, WP1_09, VW1_09)

R= 0,724

wilg_1_09_log =

f (TP_09, WP_09, WS_09, WS_13_1, WS_09_A1, TP0_13, OP0_13, Z0_13, VW0_13, TP1_09, WP1_09, VW1_09)

R= 0,727

wilg_1_09_13 =

f (TP_09, WP_09, WS_09, TP_13, WP_13, WS_13, WS_09_A1, Z0_13, VW0_13, TP1_09, WP1_09, VW1_09)

R= 0,740

wilg_0_13_lin =

f (WP_09, OP_09, WS_09, WS_09_1, WS_13_1, TP0_13, WP0_13, OP0_13, Z0_13)

R= 0,912

wilg_0_13_log =

f (WP_09, OP_09, WS_09, WS_09_1, WS_13_1, TP0_13, WP0_13, OP0_13, Z0_13)

R= 0,912

Zakres wilgotności wartości	Dopuszczalny błąd	Trafność dla poszczególnych metod prognozowania wilgotności ściółki				
		09_lin	09_log	09_13	13_lin	13_log
< 50%	± 10	37,9	35,7	40,4	52,2	49,2
	± 20	59,3	55,4	61,3	73,3	68,8
	± 30	76,0	70,2	75,9	83,7	79,6
< 40%	± 10	43,3	36,4	45,2	52,2	46,7
	± 20	63,4	55,7	65,3	71,4	65,5
	± 30	77,9	70,0	78,2	82,0	77,1
< 30%	± 10	39,7	31,2	41,5	47,5	40,4
	± 20	59,2	48,9	61,3	67,1	59,4
	± 30	73,8	63,2	74,6	78,7	72,4

Wśród informacji dostępnych w narzędziach informatycznych brak tych które dotyczą rodzaju pożaru, jakiego możemy się spodziewać w danej lokalizacji, co jest niezwykle istotne z punktu widzenia organizowania akcji gaśniczej.

Skala 1: 8259

Wyszukaj obiekty wg adresu leśnego

02 40 4 Chrzastowice (12) 98 b 00

Podaj koordynaty Długość: Szerokość:

Tytuł: Mapa Gospodarcza

Tabele Legenda

OBIEKT		DANE OGÓLNE	
Obszar	ZBICKO (4)	Powierzchnia (ha)	3,78
Leśnictwo	Chrzastowice (12)	Rodzaj Powierzchni	D-STAN
Oddział	98	Funkcja lasu	OCHR
Pododdział	b	Budowa pionowa	DRZEWE
Wydzielenie	00	Typ siedliskowy	BMSW
Identyfikator	240024137	Uwilgotnienie	S
Obszar ewidencyjny	Szczedrzyk	Degradacja	N2
Nr ewidencyjny	98	Ukształtowanie terenu	
Gmina	Ozimek Obszar wiejski	Wysokość n.p.m. (min/max)	195/201
Powiat	Opolski	Ekspozycja	
Województwo	OPOLSKIE	Typ gleby	Gleby rdzawe właściwe
		Gatunek gleby	
		Klasa gleby	
		Pokrywa	ZAD
		GTD	SO

Warstwa	Zmieszanie	Zwarcie	Zadrzewienie	Jakość
DRZEWE	DKĘP		1,0	12
PRZES				

Warstwa	Gat.	Udział	Wiek	Pierśnica	Wys.	Bonitacja	Jakość	Zapas/ha	Zapas
DRZEWE	SO	7	4	1	2	I		0,00	0,00
DRZEWE	BK	1	4	1	1	II		0,00	0,00
DRZEWE	DB	1	5	1	2	II		0,00	0,00
DRZEWE	MD	1	5	3	2	I		0,00	0,00

- Granica nadleśnictwa
- Granice oddziałów
- granica oddziału
- Wydzielenie
- Powierzchnie nie stanowiące wydz. pow. nie stanowiące wydzierzeń
- Powierzchnie el. mapy sytuacyjnej
- las nadzorowany
- las prywatny
- las różny
- las Skarbu Państwa
- miejsowość
- rzeka, jezioro, zb. wodny
- las komunalny
- Komunikacja
- linia kolejowa
- droga publiczna
- droga leśna
- droga inna
- ścieżka
- Cieki
- rzeka, potok, rów melior.
- kanal
- Linie elementy uzbrojenia terenu

Model Pożaru Lasu dla Nadleśnictwa o numerze SILP 16-05

Rodzaj pożaru

- Pokrywy ściółkowej
- Pokrywy trawiastej
- Pokrywy wrzosowej
- Całkowity drzewostanu

Klasa wieku

- I
- II
- III
- IV
- V
- niezdefiniowana

Dane wejściowe

Obciążenie [kg/m²]

Wilgotność materiału [%]

Prędkość wiatru [m/s] panującego on-line

w drzewostanie

Parametry pożaru

Prędkość frontu pożaru [m/min] edytuj

Gaszenie

- Całkowite
- Obrzeży
- Pasami zaporowymi

Parametry dla obrzeży Szerokość obrzeża

Parametry dla pasa Odległość pasa za Szerokość pasa za Dawka gaśnicza w

Woda

Potrzebna ilość wody [m

Celem pracy było opracowanie algorytmów umożliwiającących określenie możliwości przekształcenia się pożaru lasu w pożar całkowity, w zależności od warunków siedliskowo-drzewostanowych oraz aktualnie panujących warunków meteorologicznych.

Warunki przejścia pożaru pokrywy gleby w pożar całkowity opisywali np. Grishin i Perminov (1989) przy czym jako kluczowe parametry przejścia wymieniono tu wysokość płomieni oraz energię cieplną (pomierzoną za pomocą specjalnie opracowanego czujnika).

Związek przekształcanie się pożaru pokrywy gleby w pożar całkowity opisał w 1977 roku Van Wagner na podstawie istniejących indeksów. Użyteczny model pożaru lasu powinien, według autora, brać pod uwagę: typy paliw (z określoną wilgotnością) i ich wpływ na rozprzestrzenianie się pożaru, warunki przejścia pożaru pokrywy gleby w pożar całkowity, a także zachowanie powstałego już pożaru koron. Swoje wyliczenia Van Wagner oparł na 160 pożarach, z których 78 było sklasyfikowanych jako pożary koron, a 82 jako pożary pokrywy gleby.



Podstawą analiz możliwości przekształcania się pożarów pokrywy gleby w pożary całkowite były dane, dotyczące pożarów lasu, uzyskane z Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) za pośrednictwem Krajowego Systemu Informacji o Pożarach Lasu (KSIPL). Dla każdego z pożarów pozyskano pełne dane, dotyczące wielkości spalonej powierzchni, warunków siedliskowych i drzewostanowych. Dane te zostały uzupełnione informacjami dotyczącymi warunków meteorologicznych, z sieci meteorologicznych punktów pomiarowych.

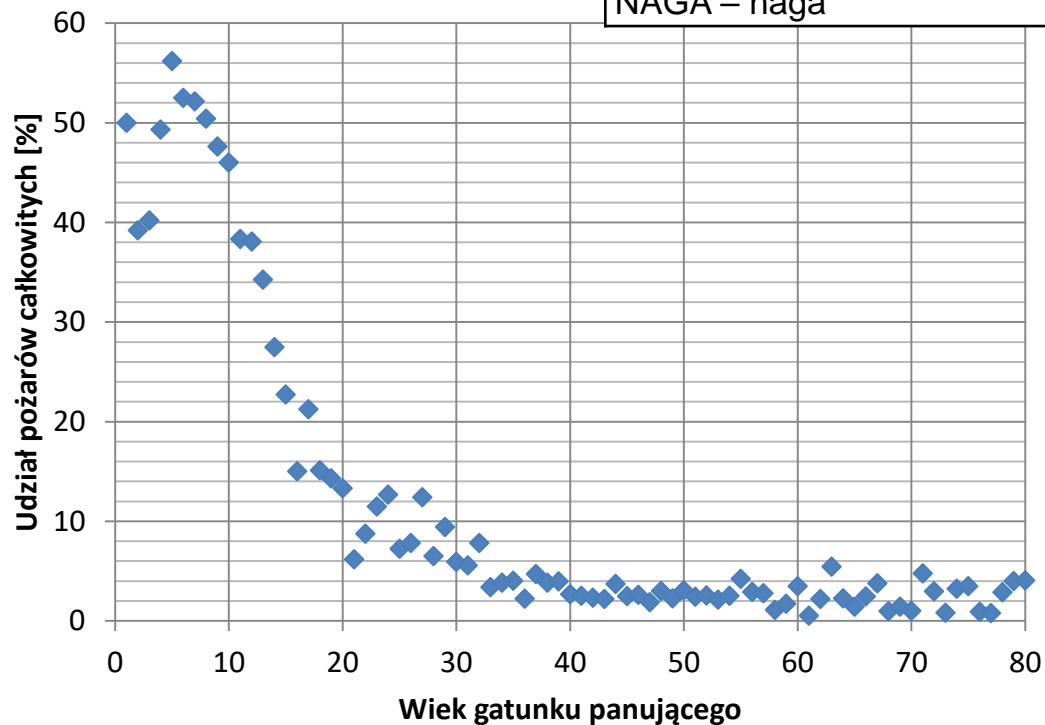
Szczegółową analizę rodzajów pożarów wykonano z wykorzystaniem pakietu Statistica z zastosowaniem metody drzew klasyfikacyjnych – wyczerpującego poszukiwania przedziałów jednowymiarowych analizując rodzaj pożaru dla 16745 pożarów jednowydzieleniowych



- **Pożar pokrywy gleby** – grupa pożarów występująca w określonych warunkach, w których udział pożarów całkowitych w ogólnej liczbie pożarów jest czterokrotnie mniejszy od przeciętnej dla kraju.
- **Najprawdopodobniej pożar pokrywy gleby** – grupa pożarów występująca w określonych warunkach, kiedy udział pożarów całkowitych w ogólnej liczbie pożarów jest dwa do czterech razy mniejszy od przeciętnej dla kraju.
- **Pożar całkowity** – grupa pożarów występująca w określonych warunkach, kiedy udział pożarów całkowitych w ogólnej liczbie pożarów jest czterokrotnie większy od przeciętnej dla kraju.
- **Najprawdopodobniej pożar całkowity** – grupa pożarów występująca w określonych warunkach, gdy udział pożarów całkowitych w ogólnej liczbie pożarów jest dwa do czterech razy większy od przeciętnej dla kraju.
- **Nieokreślony rodzaj pożaru** – pozostałe pożary.



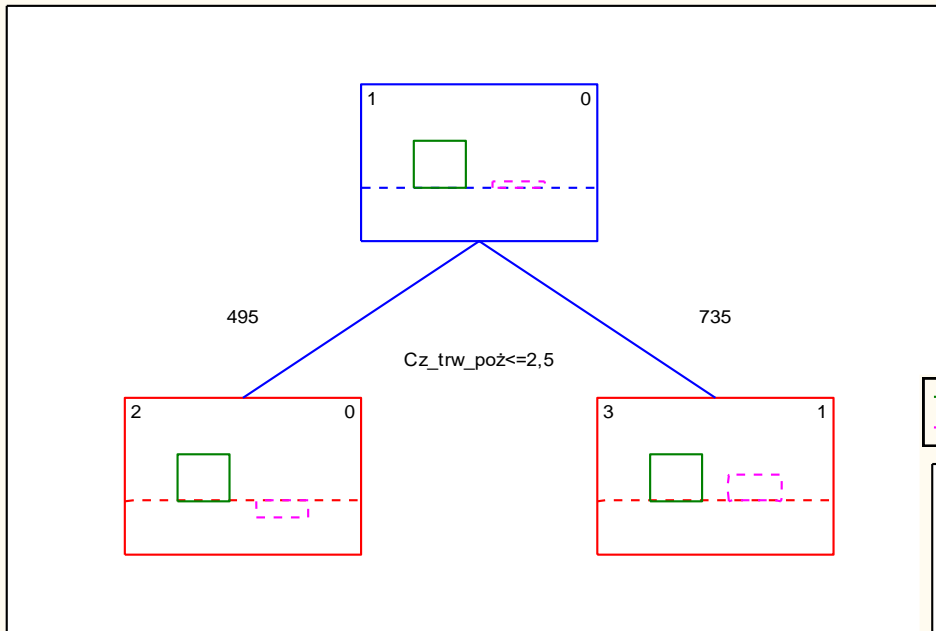
Rodzaj pokrywy gleby	Udział pożarów całkowitych [%]	Wartość predyktora porządkowego „pokr_porz”
MSZ – mszysta	4,3	1
MSZC – mszysto-czernicowa	5,7	2
ŚCIO – ściółkowa	7,5	3
ZAD – zadarniona	11,7	4
ZIEL – zielna	12,0	5
SZCH – silnie zachwaszczona	18,9	6
SZAD – silnie zadarniona	20,2	7
NAGA – naga	50,5	8



Wiek gatunku panującego	Udział pożarów całkowitych [%]	Wartość predyktora porządkowego o „Wiek_porz”
1 – 4	44,2	1
5 – 9	51,4	2
10 – 14	37,1	3
15 – 19	17,8	4
20 – 29	9,7	5
30 – 39	4,5	6
40 – 59	2,6	7
> 59	2,7	8



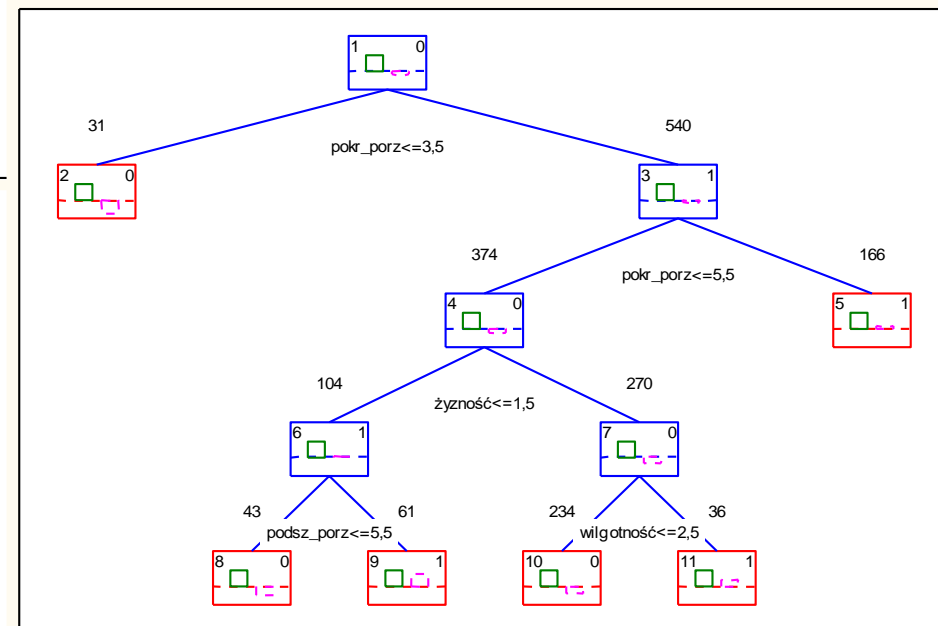
Wykres drzewa klasyfikacyjnego dla zmiennej "rodzaj"
Liczba podziałów = 1; Liczba w węzłów końcowych = 2



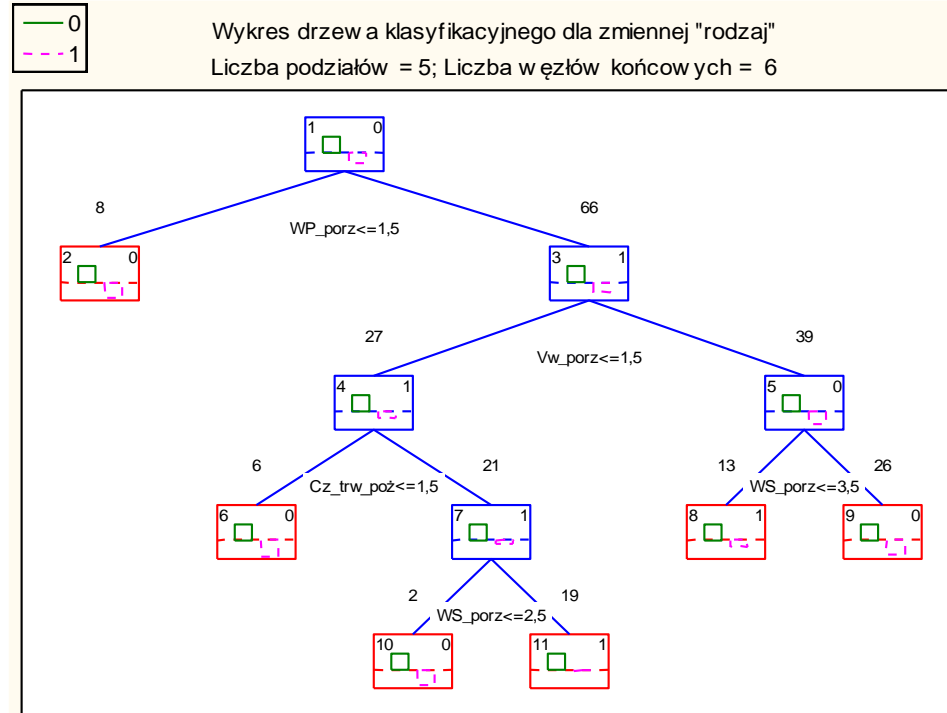
W grupie pożarów trwających 60 i więcej minut udział ten był czterokrotnie większy od przeciętnej i zgodnie z założeniami metodycznymi grupę tę uznano za pożary całkowite



Wykres drzewa klasyfikacyjnego dla zmiennej "rodzaj"
Liczba podziałów = 5; Liczba w węzłów końcowych = 6



Požary, które wystąpiły w drzewostanach rosnących na siedliskach borowych z zadarnioną lub zielną pokrywą gleby, w których brak podszytu - węzeł 9 drzewa klasyfikacyjnego - udział pożarów całkowitych był 4,3-krotnie większy od przeciętnej..



Požarami pokrywy gleby będą:

- powstały przy wilgotności względnej powietrza 72% i więcej (2),
- powstały przy wilgotności względnej powietrza poniżej 72%, prędkości wiatru do 1 m/s i trwały do 30 minut (6),
- powstały przy wilgotności względnej powietrza poniżej 72%, prędkości wiatru do 1 m/s, wilgotności ściółki 30% i więcej oraz trwały powyżej 30 minut (10).

Najprawdopodobniej będą pożarami pokrywy gleby będą pożary, które powstały przy wilgotności powietrza poniżej 72%, prędkości wiatru powyżej 1 m/s i wilgotności ściółki 20% i mniej (9).

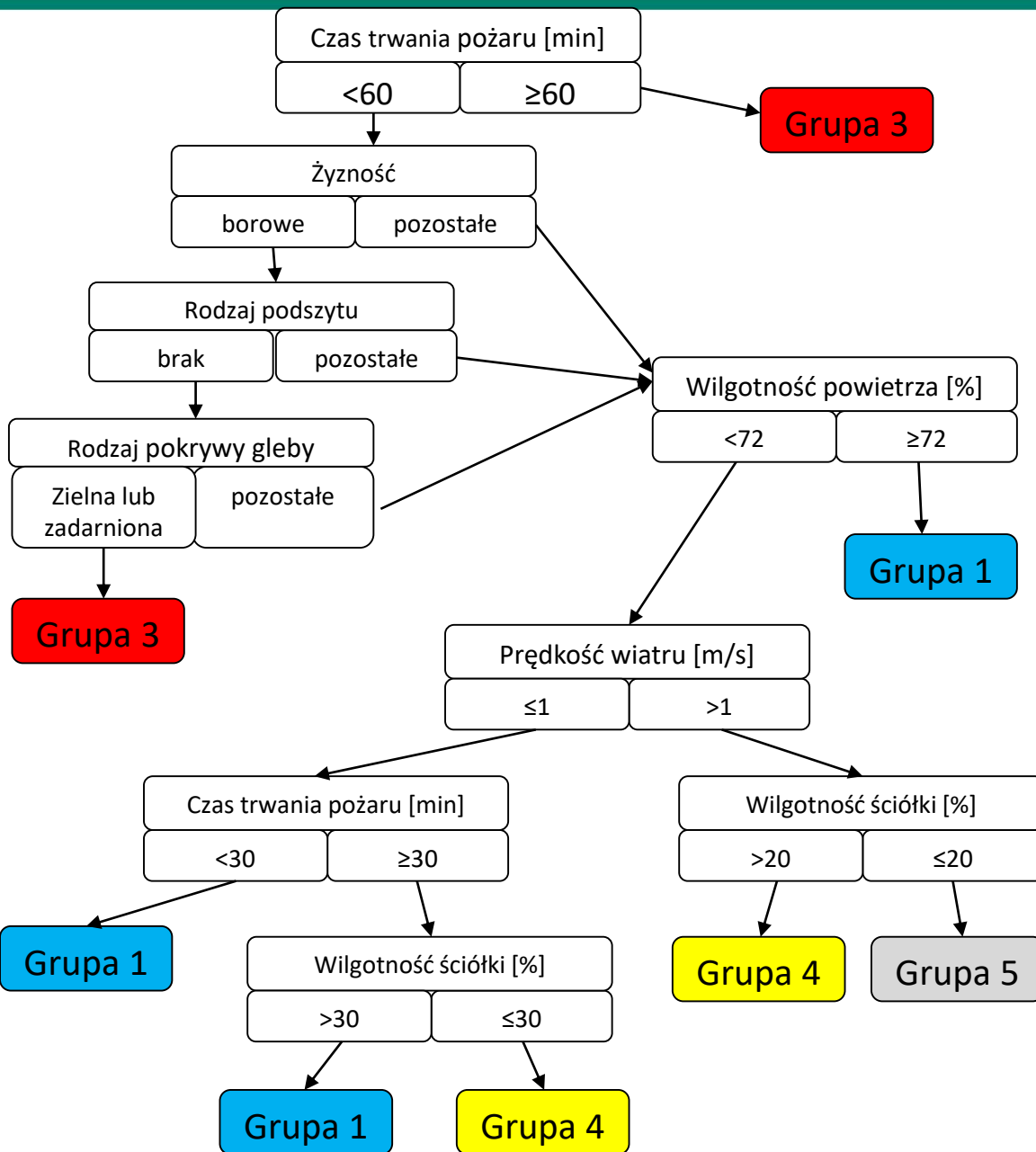
Najprawdopodobniej będą pożarami całkowitymi te, które:

- powstały przy wilgotności względnej powietrza poniżej 72%, prędkości wiatru powyżej 1 m/s i wilgotności ściółki powyżej 20% (8),
- powstały przy wilgotności względnej powietrza poniżej 72%, prędkości wiatru do 1m/s, wilgotności ściółki poniżej 40% oraz trwały powyżej 30 minut (11).

Kontrolę poprawności klasyfikacji wykonano na podstawie danych, dotyczących pożarów lasu, jakie wystąpiły w Lasach Państwowych w roku 2016.

W zdecydowanej większości rodzaj pożaru określony na podstawie opracowanej metody klasyfikacji pokrywał się z rzeczywistym rodzajem jedynie w przypadku grupy wiekowej 20-29 lat podział pożarów według rodzajów nie jest w pełni prawidłowy. Jednak ze względu na liczbę pożarów w tej grupie, które stanowią niecałe 7% pożarów, jakie wystąpiły w roku 2016, opracowaną metodę klasyfikacji należy uznać za prawidłową.





- **W wyniku prac przeprowadzono klasyfikację pozwalającą na ustalenie możliwości przekształcenia się pożaru pokrywy gleby w pożar całkowity.**
- **Na podstawie grupy kontrolnej, jaką były wszystkie pożary z roku 2016 prawidłowość tej klasyfikacji została potwierdzona blisko 90% trafnością ustalenia możliwości wystąpienia pożarów całkowitych.**
- **Na tej podstawie opracowano algorytm określający możliwości przekształcenia się pożaru pokrywy gleby w pożar całkowity.**