

Ocena trafności ustalania stopnia zagrożenia pożarowego lasu metodą IBL względem występowania pożarów

Evaluation of the accuracy of forest fire risk classification based on the FRI
method and its correspondence to fire occurrence

Damian Czubak 

Laboratorium Ochrony Przeciwpowarowej Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

e-mail: d.czubak@ibles.waw.pl, nr tel. +48 22 71 50 428

Abstract. The aim of this study was to evaluate the accuracy of the forest fire risk classification in Poland, developed by the Forest Research Institute (FRI), in relation to the actual occurrence of forest fires between 2016 and 2023. For the analysis, data from the State Forests Information System were used, covering 16,369 fires that occurred in forest areas managed by the State Forests, excluding military training areas, where a different forest fire risk rating system is applied. Each fire record included attributes such as date, burnt area, detection method, fire extinguishment time, forest habitat type, and tree stand characteristics. The forest fire risk degree at the time of each fire was used as the main predictive variable. In this study, it was hypothesized that (1) the burnt area differs significantly between forest fire risk degrees; (2) the daily number of forest fires increases significantly with each higher forest fire risk degree; and (3) both the annual number of forest fires and the total burnt area are positively related to the number of days with the third (highest) forest fire risk degree.

To test these hypotheses, aggregated daily and annual data were analyzed. The Kruskal–Wallis test was used to compare differences in burnt area between forest fire risk degrees, followed by a Dunn post-hoc test with Bonferroni correction (Table 1). The results showed statistically significant differences in burnt area across all forest fire risk degrees, with higher risk associated with larger burnt areas. However, the distribution of the data was skewed, with most forest fires being small, but a few very large events influencing the overall average (Figure 1). To assess the association between forest fire risk degrees and the daily number of forest fires, a negative binomial regression model was used due to overdispersion in the data. The results showed a strong and statistically significant increase in forest fire numbers with each higher risk degree. Compared to days with no risk (degree 0), the expected number of forest fires was 58% higher at the first degree, 98% higher at the second degree, and 160% higher at the third degree. The results showed a strong and statistically significant increase in forest fire counts with each higher risk degree (Figure 2). In the annual trend analysis, linear regression and Spearman's rank correlation were used to assess the relationship between the number of days with the third forest fire risk degree and (a) the number of forest fires and (b) the total area burnt. Both associations were strong and statistically significant (Figure 3), suggesting that the forest fire risk classification is not only consistent with individual forest fire characteristics, but also reflects broader seasonal dynamics.

The results confirm that the dynamic forest fire risk classification system currently used by the Polish State Forests, based on the FRI method, effectively captures the probability of forest fires and the resulting burnt area. This method has high predictive power and provides valuable information for early warnings, prevention strategies, and the forest fire protection system, especially in the context of ongoing climate change and increasing forest fire risk across Europe.

Słowa kluczowe: pożar lasu, stopień zagrożenia pożarowego lasu, ochrona przeciwpożarowa lasu

Keywords: forest fire, degree of forest fire risk, forest fire protection

1. Wstęp

Ochrona przeciwpożarowa lasów stanowi jedno z kluczowych zadań służby leśnej (Ubysz, Szczygiel 2002), szczególnie w kontekście nasilających się zmian klimatycznych (Flannigan

i in. 2000; Gillett i in. 2004; Krikken i in. 2021; Abram i in. 2021; Mandal i in. 2021) oraz wydłużających się okresów suszy (Szczygiel i in. 2007; Szczygiel i in. 2008; Chas-Amil i in. 2013). Warunki klimatyczne wpływają bezpośrednio na zagrożenie pożarowe lasów poprzez kształtowanie stanu i kondycji

Wpłynęło: 31.07.2025 r., zrecenzowano: 18.08.2025 r., zaakceptowano: 20.10.2025 r., opublikowano 24.11.2025 r.

 BY-NC-ND 4.0 © 2025 D. Czubak

roślinności oraz tempa rozprzestrzeniania się ognia (Bowman i in. 2011), przyczyniając się do strat także w wymiarze ekologicznym (Hantson i in. 2015).

W tym kontekście kluczowe znaczenie ma identyfikacja stref o podwyższonym zagrożeniu pożarowym (Akay, Sahin 2019). W Polsce metoda określania stopnia zagrożenia pożarowego lasu opracowana została przez Laboratorium Ochrony Przeciwpožarowej Lasu w Instytucie Badawczym Leśnictwa i bazuje na aktualnych warunkach meteorologicznych oraz pomiarach stanu wskaźnikowego materiału palnego jakim jest ściółka sosnowa. W oparciu o te dane zagrożenie klasyfikowane jest w jednym z czterech stopni: stopień 0. (brak zagrożenia), stopień 1. (zagrożenie małe), stopień 2. (zagrożenie średnie) i stopień 3. (zagrożenie duże) (Rozporządzenie 2006; Szczygieł i in. 2020; Tyburski i in. 2023).

Ocena zagrożenia pożarowego wykorzystywana jest przez jednostki administracyjne Lasów Państwowych (DGLP 2020) oraz przez Państwową Straż Pożarną, wspierając podejmowanie decyzji dotyczących działań ochronnych i gotowości operacyjnej sił ratowniczych.

Celem pracy jest empiryczna ocena, jak ustalony stopień zagrożenia pożarowego lasu odzwierciedla rzeczywiste ryzyko wystąpienia i rozprzestrzeniania się pożarów na terenach leśnych.

2. Materiały i metody

Analizie poddano zbiór danych obejmujący 16 369 pożarów lasów powstałych na terenach zarządzanych przez Lasy Państwowe w latach 2016–2023, z wyłączeniem pożarów na terenach poligonowych, dla których stosowany jest inny sposób określania stopnia zagrożenia pożarowego lasu (Szczygieł i in. 2017).

Dane o pożarach lasu pochodziły z Systemu Informatycznego Lasów Państwowych. Każdy rekord zawierał między innymi: datę pożaru, powierzchnię i lokalizację.

Stopnie zagrożenia pożarowego lasu zostały przypisane na podstawie danych z bazy stopni zagrożenia pożarowego lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa, na poziomie stref prognostycznych. Dane zostały dopasowane poprzez połączenie lokalizacji pożaru z zasięgiem strefy prognostycznej, w której miał miejsce pożar oraz datą jego wystąpienia.

Ze względu na silną asymetrię rozkładów, logarytmiczna skala ($\log_{10}$) została zastosowana do wizualizacji zmiennych liczbowych (powierzchni pożarów oraz dziennej liczby pożarów) na wykresach. Pojedyncze wyjątkowo duże pożary (> 95. percentyl) nie zostały usunięte z analiz.

Braki danych wynikające z braku informacji o ustalonym stopniu zagrożenia pożarowego lasu (łącznie 0,03%) zostały usunięte, a zmienne typu tekstowego zharmonizowane przed dalszymi analizami. Dane przygotowano w RStudio (2024.12.0) z użyciem pakietów: dplyr, ggplot2, FSA, rcompanion, MASS, car, boot, lmtest, sandwich.

W pracy przyjęto trzy hipotezy badawcze:

- Powierzchnie pożarów różnią się istotnie między kolejnymi stopniami zagrożenia pożarowego lasu,

- Liczba pożarów jest istotnie wyższa pomiędzy dniami z kolejnymi wyższymi stopniami zagrożenia pożarowego lasu,
- Liczba pożarów oraz całkowita powierzchnia spalona w skali roku wzrastają wraz z liczbą dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu.

Do weryfikacji hipotez badawczych wykorzystano zagregowane dane dzienne i roczne, zawierające liczbę pożarów, powierzchnię spaloną oraz liczbę dni z ustalonym stopniem zagrożenia pożarowego lasu w każdym roku.

Dla oceny różnic rozkładów powierzchni pożarów pomiędzy ustalonymi stopniami zagrożenia pożarowego lasu zastosowano test Kruskala–Wallisa, a w przypadku istotności wykonano test post-hoc Dunna z korekcją Bonferroniego. Dodatkowo obliczono wielkość siły efektu η^2H , określającą, jaka część zmienności powierzchni pożarów może być wyjaśniona przez stopień zagrożenia pożarowego lasu. Graficznie za pomocą wykresu skrzypcowego przedstawiono rozkłady powierzchni spalonych w każdym stopniu zagrożenia pożarowego lasu. W analizie powierzchni spalonych jednostką analizy był pojedynczy pożar.

W celu oceny wpływu stopnia zagrożenia pożarowego lasu na dobową liczbę pożarów lasu zastosowano model regresji ujemno-dwumianowej (ang. Negative Binomial Regression) z funkcją łączącą typu logarytm naturalny. Zmienną zależną była liczba pożarów w dniu z ustalonym stopniem zagrożenia pożarowego lasu. W modelu uwzględniono stopień zagrożenia pożarowego lasu jako predyktor kategoriyczny. Model został dopasowany do 3824 dni obserwacji. Raportowano względne wskaźniki ryzyka (IRR) wraz z 95% przedziałami ufności.

Do analizy trendów czasowych wykorzystano regresję liniową oraz obliczono współczynniki korelacji Spearmana, badając związki między:

- liczbą dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu a liczbą pożarów w każdym roku,
- liczbą dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu a całkowitą powierzchnią pożarów w każdym roku.

Ze względu na niewielką liczbę lat obserwacji ($n = 8$), analizie towarzyszyła ocena niepewności wyników – uwzględniono przedziały ufności dla parametrów regresji, sprawdzono założenia dotyczące reszt (normalność, jednorodność wariancji, wpływ obserwacji odstających), a także przeprowadzono analizę odporności wyników metodą leave-one-out.

3. Wyniki

W celu oceny, czy ustalony stopień zagrożenia pożarowego lasu ma związek z powierzchnią spaloną, przeprowadzono nieparametryczny test porównujący rozkłady powierzchni pożarów w czterech grupach zagrożenia pożarowego lasu. Analiza wykazała istotne statystycznie różnice ($p < 0,0001$) w powierzchni pożarów między wszystkimi stopniami zagrożenia pożarowego lasu:

$$\chi^2(3) = 511,09; p < 0,0001; \eta^2H = 0,031$$

Wartość współczynnika siły efektu $\eta^2H = 0,031$ wskazuje, że stopień zagrożenia pożarowego lasu wyjaśnia około 3,1% zmienności powierzchni pożarów. Oznacza to małą siłę efektu, co sugeruje, że choć różnice między grupami są statystycznie istotne, to stopień zagrożenia pożarowego lasu ma ograniczony związek z powierzchnią pożarów, a większość zmienności wynika z czynników środowiskowych i losowych.

Dalsza analiza post-hoc z wykorzystaniem testu Dunna (z korektą Bonferroniego) wykazała, że wszystkie pary stopni zagrożenia pożarowego lasu różnią się istotnie między sobą (tab. 1).

Na wykresie skrzypcowym (ryc. 1) widoczna jest tendencja: kolejny wyższy stopień zagrożenia pożarowego lasu koreluje z większą powierzchnią spaloną pożarów lasu. Warto przy tym zaznaczyć, że rozkład danych jest wysoce skośny – większość pożarów miała powierzchnię spaloną poniżej 0,5 ha. Pojedyncze duże pożary wpływały na średnią powierzchnię pożarów, jednak mediana pozostawała stabilna, co jest zgodne z odpornością mediany na wartości odstające. Na wykresie rozkłady powierzchni

pożarów dla 2. i 3. stopnia zagrożenia pożarowego lasu są zbliżone. Test post-hoc Dunna wykazał istotną statystycznie różnicę pomiędzy tymi stopniami ($p < 0,0001$), co wskazuje na istotne różnice w rozkładach powierzchni spalonych.

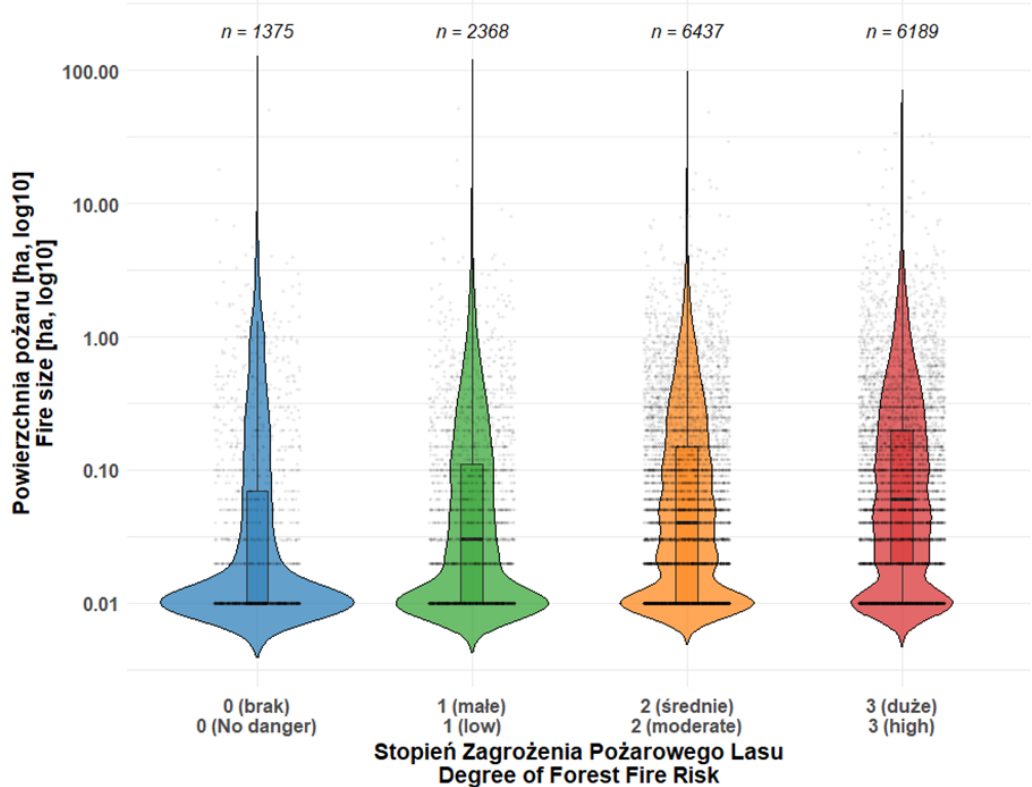
Dla oceny zależności między stopniem zagrożenia pożarowego lasu a liczbą pożarów występujących danego dnia zastosowano model regresji ujemno – dwumianowej (ang. Negative Binomnal Regression), odpowiedni do modelowania danych liczbowych z nadmierną dyspersją. Wstępna analiza modelu Poissona wykazała wysoką wartość współczynnika dyspersji, wynoszącą – 12,95, co wskazało na naruszenie jego założeń i konieczność zastosowania modelu alternatywnego. Modelem objęto łącznie 3824 dni obserwacji. Na rycinie 2 przedstawiono rozkład dobowej liczby pożarów w poszczególnych stopniach zagrożenia pożarowego lasu. Widoczny jest wyraźny wzrost liczby pożarów wraz z wyższym stopniem zagrożenia. Warto zauważyć dużą zmienność liczby pożarów w dniach ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu oraz obecność wartości odstających we wszystkich grupach.

Tabela 1. Wyniki testu post-hoc Dunna z korektą Bonferroniego dla porównań par stopni zagrożenia pożarowego lasu pod względem powierzchni spalonej

Table 1. Dunn's post-hoc test results with Bonferroni correction for pairwise comparisons of forest fire risk degrees in terms of burnt area

Porównanie (stopnie zagrożenia pożarowego lasu) Comparison (degree of forest fire risk)	Statystyka Z Z Statistic	p (skorygowane Bonferroni) p (Bonferroni-adjusted)	Istotność Significance
0 – 1	–6,48	$p < 0,0001$	***
0 – 2	–14,13	$p < 0,0001$	***
0 – 3	–8,32	$p < 0,0001$	***
1 – 2	–19,70	$p < 0,0001$	***
1 – 3	–15,22	$p < 0,0001$	***
2 – 3	–9,42	$p < 0,0001$	***

Wartości p skorygowano metodą Bonferroniego – * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$
The p-values were corrected using the Bonferroni method – * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$



Rycina 1. Rozkład powierzchni pożarów lasu w poszczególnych stopniach zagrożenia pożarowego lasu (n = liczba pożarów w każdej kategorii)
Figure 1. Distribution of forest fire sizes by forest fire risk degree (n = number of fires per category)

Wyniki modelu ujemno – dwumianowego wskazują na istotny statystycznie wzrost liczby pożarów w dniach z kolejnym wyższym stopniem zagrożenia pożarowego lasu w porównaniu z grupą referencyjną – stopniem 0. zagrożenia pożarowego lasu. Wszystkie współczynniki są dodatnie i wysoko istotne ($p < 0,001$). Względne wskaźniki ryzyka (IRR) wraz z 95% przedziałami ufności wyniosły odpowiednio:

- stopień 1. zagrożenia pożarowego lasu – IRR = 1,58; (95% CI: 1,45 – 1,71),
- stopień 2. zagrożenia pożarowego lasu – IRR = 1,98; (95% CI: 1,83 – 2,14),
- stopień 3. zagrożenia pożarowego lasu – IRR = 2,61; (95% CI: 2,39 – 2,84).

Zatem, im wyższy stopień zagrożenia pożarowego lasu, tym większa liczba pożarów w danym dniu. W porównaniu z dniami o stopniu 0. zagrożenia pożarowego lasu, dobową liczbą pożarów była średnio o 58% wyższa przy stopniu 1., o 98% wyższa przy stopniu 2. oraz o 161% wyższa przy stopniu 3. zagrożenia pożarowego lasu.

Aby zbadać, czy na przestrzeni lat 2016–2023 istnieje związek między liczbą dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu a faktyczną liczbą pożarów i całkowitą powierzchnią spaloną, przeprowadzono analizę regresji liniowej oraz korelacji Spearmana.

Związek z liczbą pożarów:

Model regresji liniowej wykazał silny, dodatni i istotny statystycznie związek między liczbą dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu a liczbą pożarów w danym roku:

$$\beta = 23,34; 95\% \text{ CI: } 13,9 - 32,8; \text{ SE} = 3,86; t = 6,04; p = 0,0009; R^2 = 0,86; F(1,6) = 36,53;$$

Wyniki wskazują na istotny statystycznie związek: liczba pożarów rosła średnio o 23,34 pożary na każdy dodatkowy dzień ze stopniem 3. zagrożenia. Model był dobrze dopasowany ($R^2 = 0,86$; $F(1,6) = 36,53$; $p = 0,0009$), a reszty spełniały założenia normalności (test Shapiro-Wilka: $p = 0,12$) i jednorodności wariancji (test Breuscha–Pagana: $p = 0,30$). Nie wykryto istotnych obserwacji odstających ani wpływowych.

Oznacza to, że każdy dodatkowy dzień ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu wiąże się średnio z 23 dodatkowymi pożarami w skali roku.

Wyniki korelacji Spearmana potwierdzają tę zależność:

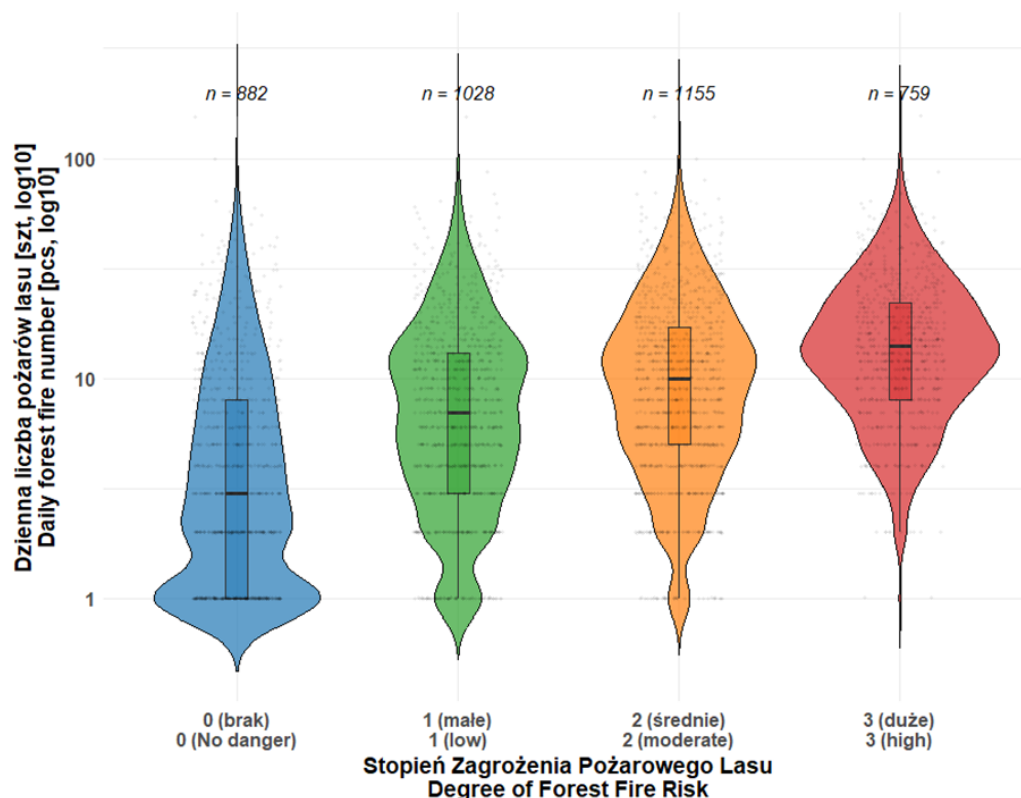
$$\rho = 0,90; p = 0,0046$$

Z uwagi na małą licznosc prób, wyniki należy interpretować ostrożnie, lecz ich stabilność potwierdza również wysokie ρ Spearmana oraz zgodność kierunku efektu.

Związek z łączną powierzchnią pożarów:

Podobną zależność zaobserwowano między liczbą dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu a całkowitą powierzchnią spaloną:

$$\beta = 5,93; 95\% \text{ CI: } 1,09 - 10,77; \text{ SE} = 1,98; t = 3,00; p = 0,024; R^2 = 0,60; F(1,6) = 9,00$$



Rycina. 2. Rozkład dziennej liczby pożarów lasu w poszczególnych stopniach zagrożenia pożarowego lasu (n = liczba dni w każdej kategorii)
Figure 2. Distribution of daily forest fire numbers by forest fire risk degree (n = number of days per category)

Model wykazał istotną zależność, całkowita powierzchnia spalona rosła o 5,93 ha na każdy dodatkowy dzień ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu. Współczynnik determinacji $R^2 = 0,60$ wskazuje na umiarkowaną siłę związku. Diagnostyka modelu nie wykazała naruszeń podstawowych założeń: reszty były zgodne z rozkładem normalnym (test Shapiro–Wilka: $p = 0,27$), a test Breuscha–Pagana nie wykazał heteroskedastyczności ($p = 0,49$).

Zatem każdy dzień ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu to średnio 6 ha więcej powierzchni spalanej w skali roku.

Również korelacja Spearmana potwierdziła istotność związku:

$$\rho = 0,83; p = 0,015$$

Zatem zarówno liczba pożarów, jak i ich całkowita powierzchnia spalona rosną wraz z liczbą dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu. Dane pokazują silną zgodność między dniami ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu a pożarami. Rycina 3 przedstawia trendy roczne z uwzględnieniem liczby pożarów, całkowitej powierzchni spalanej oraz liczby dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu w każdym roku.

4. Dyskusja

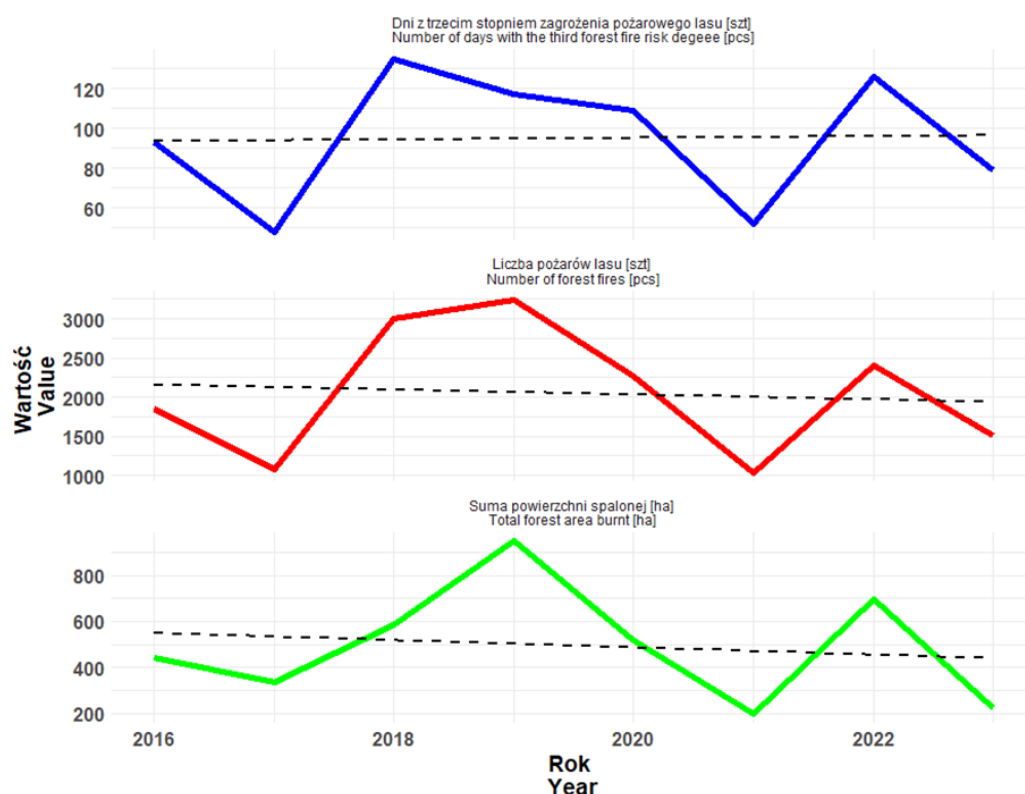
Dotychczasowy system określania stopnia zagrożenia pożarowego lasu stosowany w Polsce nie był szeroko analizowany w badaniach empirycznych, co podkreśla potrzebę jego weryfika-

cji w kontekście zmieniających się uwarunkowań klimatycznych i planowania operacyjnego w zakresie gaszenia pożarów lasu. Przeprowadzone analizy statystyczne wskazują, że system ten dobrze odwzorowuje rzeczywiste ryzyko wystąpienia i rozwoju pożarów lasu, wykazując silny związek ze zmiennością liczby oraz powierzchnią pożarów. Funkcjonalność ta jest istotna z punktu widzenia zarządzania gotowością operacyjną sił ratowniczych (Moreira i in. 2011; Szczygieł i in. 2020).

Wyniki potwierdzają, że liczba dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu koreluje z liczbą oraz powierzchnią pożarów, co potwierdza tezę o rosnącym wpływie czynników klimatycznych na zagrożenie pożarowe (Flannigan i in. 2000; Bowman i in. 2011). Jednocześnie, mimo postępów w wykrywaniu i prewencji, warunki meteorologiczne pozostają kluczowym czynnikiem sprzyjającym powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożarów lasu (Zacharakis, Tsihrintzis 2023).

Wyniki analizy wskazujące na różnice w średniej powierzchni spalonych terenów w zależności od stopnia zagrożenia pożarowego lasu odzwierciedlają różne mechanizmy rozprzestrzeniania się ognia, zależne od warunków środowiskowych, dostępności paliwa oraz czynników meteorologicznych (Lin, Rinaldi 2009; Kolanek i in. 2021). Badania wskazują, że dokładność określania zagrożenia pożarowego lasu rośnie przy zastosowaniu zaawansowanych narzędzi analitycznych, takich jak modele probabilistyczne, sztuczne sieci neuronowe czy systemy automatów komórkowych wspomagane uczeniem maszynowym (Xu i in. 2022).

W krajach takich jak Kanada czy Stany Zjednoczone od dekad funkcjonują zaawansowane systemy ratingowe np. Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) czy National Fire



Rycina. 3. Liczba pożarów lasu, całkowita leśna powierzchnia spalona oraz liczba dni z trzecim stopniem zagrożenia pożarowego lasu w latach 2016–2023

Figure 3. Number of forest fires, total forest area burnt and number of days with the third forest fire risk degree in the years 2016–2023

Danger Rating System (NFDRS), które integrują szereg parametrów meteorologicznych, wilgotności paliwa i topografii, tworząc kompleksowe indeksy zagrożenia (Zacharakis, Tsihrintzis 2023). Choć systemy te nie są bezpośrednio porównywalne z polskim podejściem, wspólnym mianownikiem pozostaje dążenie do wiarygodnej, oceny zagrożenia pożarowego. Jednocześnie, ich wykorzystanie często wiąże się z dużym zapotrzebowaniem na dane wejściowe i złożonością obliczeniową, co może ograniczać ich praktyczne zastosowanie na poziomie decyzyjnym.

Zważywszy na ograniczony zasięg geograficzny systemu ustalania stopnia zagrożenia pożarowego lasu oraz brak jego odpowiedników w innych krajach, warto rozważyć rozwój hybrydowych metod szacowania zagrożenia, opartych na danych satelitarnych, modelach przestrzennych i analizie danych historycznych (Cane i in. 2008). Włączenie komponentów GIS i danych zdalnych może wspierać adaptację systemu do zmieniających się warunków klimatycznych oraz presji antropogenicznej, bez konieczności rezygnacji z dotychczas stosowanej, sprawdzonej metody ustalania stopnia zagrożenia pożarowego lasu.

Zaprezentowane badania oraz wyniki innych autorów (Barmpoutis i in. 2020; de Almeida Sousa i in. 2019) wskazują na potrzebę prowadzenia dalszych analiz przestrzennych i porównawczych, które uwzględniałyby m.in. lokalne zróżnicowanie zagrożenia pożarowego, presję antropogeniczną czy typy siedlisk leśnych.

5. Wnioski

Na podstawie analizy danych dotyczących pożarów lasów w Lasach Państwowych w latach 2016–2023, obejmujących 16 369 pożarów, sformułowano następujące wnioski:

1. **Ustalony stopień zagrożenia pożarowego lasu wykazuje silny istotny statystycznie związek z powierzchnią spaloną.** Powierzchnia pożarów rośnie istotnie wraz ze wzrostem stopnia zagrożenia pożarowego lasu. Wszystkie stopnie zagrożenia różniły się istotnie pod względem powierzchni pożarów.
2. **Kolejny wyższy stopień zagrożenia pożarowego lasu wiąże się ze wzrostem liczby pożarów w ciągu dnia.** W dniach ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu odnotowywano średnio o 161% więcej pożarów niż w dniach ze stopniem 0. zagrożenia pożarowego lasu, co wskazuje na wysoką skuteczność klasyfikacji.
3. **Na poziomie rocznym zaobserwowano silne, dodatnie statystycznie zależności między liczbą dni ze stopniem 3. zagrożenia pożarowego lasu a liczbą i całkowitą powierzchnią spaloną pożarów lasu.** Analiza wykazała zgodność pomiędzy ustalonym stopniem zagrożenia pożarowego lasu a liczbą i rozprzestrzenianiem się pożarów lasu.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że aktualnie stosowany system oceny dynamicznego zagrożenia pożarowego w lasach administrowanych przez Państwowe Gospodarstwo Leśne „Lasy

Państwowe” skutecznie odzwierciedla prawdopodobieństwo wystąpienia i rozprzestrzenianie się pożarów lasu. Dane mogą stanowić podstawę do dalszego doskonalenia działań prewencyjnych i systemów obserwacji, zwłaszcza w kontekście zmian klimatycznych oraz wzrostu znaczenia prewencji.

Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

Źródła finansowania badań

Nie dotyczy.

Dostępność danych

Dane wykorzystane w niniejszym badaniu pochodzą z zasobów Lasów Państwowych (System Informatyczny Lasów Państwowych – SILP) oraz Instytutu Badawczego Leśnictwa (stopnie zagrożenia pożarowego lasu ustalone metodą IBL).

Ze względu na ograniczenia instytucjonalne i zasady udostępniania, dane te nie są ogólnodostępne, ale mogą zostać udostępnione przez wskazane instytucje na uzasadniony wniosek badawczy.

Literatura

- Abram N.J., Henley B.J., Sen Gupta A., Lippmann T.J., Clarke H., Dowdy A.J., Boer M.M. 2021. Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia, *Communications Earth & Environment* 2 (1). 8. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00065-8>.
- Akay A.E., Şahin H. 2019. Forest fire risk mapping by using GIS techniques and AHP method: a case study in Bodrum (Turkey), *European Journal of Forest Engineering* 5 (1): 25–35. DOI: <https://doi.org/10.33904/ejfe.579075>.
- de Almeida Souza A.H., Batalha M.A., Casagrande J.C., Rivaben R.C., Assunção V.A., Pott A., Alves Damasceno-Junior G. 2019. Fire can weaken or trigger functional responses of trees to flooding in wetland forest patches, *Journal of Vegetation Science* 30 (3): 521–532. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12719>.
- Barmpoutis P., Papaioannou P., Dimitropoulos K., Grammalidis N. 2020. A review on early forest fire detection systems using optical remote sensing, *Sensors* 20 (22). 6442. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20226442>.
- Bowman D.M., Balch J., Artaxo P., Bond W.J., Cochrane M.A., D'Antonio C.M., Defries R., Johnston F.H., Keeley J.E., Krawchuk M.A., Kull C.A., Mack M., Moritz M.A., Pyne S., Roos C.I., Scott A.C., Sodhi N.S., Swetnam T.W., Whittaker R. 2011. The human dimension of fire regimes on Earth, *Journal of Biogeography* 38 (12): 2223–2236. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02595.x>.
- Cane D., Ciccarelli N., Gottero F., Francesetti A., Pelfini F., Pelosini R. 2008. Fire Weather Index application in north-western Italy, *Advances in Science and Research* 2 (1): 77–80. DOI: <https://doi.org/10.5194/asr-2-77-2008>.
- Chas-Amil M.L., Touza J., García-Martínez E. 2013. Forest fires in the wildland–urban interface: a spatial analysis of forest fragmentation and human impacts, *Applied Geography* 43: 127–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.06.010>.
- DGLP 2020. Instrukcja ochrony przeciwpożarowej lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. ISBN 978-83-65659-49-1.
- Flannigan M.D., Stocks B.J., Wotton B.M. 2000. Climate change and forest fires, *Science of the Total Environment* 262 (3): 221–229. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00524-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00524-6).
- Gillett N.P., Weaver A.J., Zwiers F.W., Flannigan M.D. 2004. Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires, *Geophysical Research Letters* 31 (18). L18211. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004GL020876>.

- Hantson S., Pueyo S., Chuvieco E. 2015. Global fire size distribution is driven by human impact and climate, *Global Ecology and Biogeography* 24 (1): 77–86. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12246>.
- Kolanek A., Szymanowski M., Raczyk A. 2021. Human activity affects forest fires: The impact of anthropogenic factors on the density of forest fires in Poland, *Forests* 12 (6): 728. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12060728>.
- Krikken F., Lehner F., Haustein K., Drobyshv I., van Oldenborgh G.J. 2021. Attribution of the role of climate change in the forest fires in Sweden 2018, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21 (7): 2169–2179. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-2169-2021>.
- Lin J., Rinaldi S. 2009. A derivation of the statistical characteristics of forest fires, *Ecological Modelling* 220 (7): 898–903. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.01.011>.
- Mandal A., Nykiel G., Strzyżewski T., Kochanski A., Wrońska W., Gruszczyńska M., Figurski M. 2021. High-resolution fire danger forecast for Poland based on the Weather Research and Forecasting Model, *International Journal of Wildland Fire* 31 (2): 149–162. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF21106>.
- Moreira F., Viedma O., Arianoutsou M., Curt T., Koutsias N., Rigolot E., Bilgili E. 2011. Landscape–wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management, *Journal of Environmental Management* 92 (10): 2389–2402. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.028>.
- Rozporządzenie 2006. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 marca 2006 r. w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów. *Dziennik Ustaw* 58: 405. (z późn. zm.).
- Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kołakowski B. 2017. Determining the forest fire risk in military training areas, *Safety & Fire Technology* 45 (1): 26–37. DOI: <https://doi.org/10.12845/btp.45.1.2017.2>.
- Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kołakowski B., Piwnicki J. 2020. Dynamic forest fire risk evaluation in Poland, *Folia Forestalia Polonica* 62 (2): 139–144. DOI: <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0014>.
- Szczygieł R., Ubysz B., Piwnicki J. 2007. Impact from global warming on the occurrence of forest fires in Poland. Forest Research Institute, Warszawa. 120 s. ISBN: 978-83-87647-55-2.
- Szczygieł R., Ubysz B., Piwnicki J. 2008. Wpływ zmian klimatycznych na kształtowanie się zagrożenia pożarowego lasów w Polsce, *Leśne Prace Badawcze* 69 (1): 67–72.
- Tyburski L., Szczygieł R., Kwiatkowski M., Piwnicki J. 2023. Laboratory of forest fire protection – 60 years of research in the field of forest fire protection, *Folia Forestalia Polonica. Series A. Forestry* 65 (2): 93–104. DOI: <https://doi.org/10.2478/ffp-2023-0012>.
- Ubysz B., Szczygieł R. 2002. Fire situation in Poland, *International Forest Fire News (IFFN)* 27: 38–64.
- Xu Y., Li D., Ma H., Lin R., Zhang F. 2022. Modeling forest fire spread using machine learning-based cellular automata in a GIS environment, *Forests* 13 (12): 1974. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13121974>.
- Zacharakis I., Tsihrintzis V.A. 2023. Environmental forest fire danger rating systems and indices around the globe: a review, *Land* 12 (1): 194. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010194>.