

Wpływ rozpadu drzewostanów w wyniku gradacji kornika drukarza (*Ips typographus*) na zagrożenie pożarowe Puszczy Białowieskiej

Impact of forest stands dieback as a result of bark beetle (*Ips typographus*) outbreak on the fire risk in the Białowieża Forest

Ryszard Szczygiel* , Mirosław Kwiatkowski , Łukasz Tyburski 

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

*Tel. +48 22 7150421; e-mail: r.szczygiel@ibles.waw.pl

Abstract. Białowieża Forest, due to its unique character, requires a specific approach to the management of this area, including fire risk assessment. This is particularly important with regard to the recent bark beetle (*Ips typographus*) outbreak, which has contributed to the local dieback of Norway spruce stands on a total area of approx. 11.5 thousand hectares during the 2012–2022 period. The article presents the most important results of the implemented projects related to the fire protection of the Białowieża Forest.

The analysis of potential fire hazard should take into account both dead wood and the impact of tree stand dieback, which resulted in the emergence of grasses as the dominant plant cover that poses a high risk not only for the possibility of fire, but also for its rapid spread. During 2012–2022 fuelload of the studied areas increased almost sevenfold compared to 2011 (15.8 t/ha), reaching an average maximum value of 108.9 t/ha in 2017. However, the progressive decomposition of dead wood and the decreasing amount of fine combustible material (fire-active biomass) caused that the fire risk in turn gradually decreased. After a period of about 10 years after the stand dieback, the fire risk caused by the dead wood left behind has reached a minimum level and the possibility of initiating the burning of such material was significantly reduced. Despite the decreasing fire hazard from dead wood, the fire risk will remain high for many years due to the presence of grass cover, especially during periods when it dries out.

The analysis of the fire risk in the Białowieża Forest caused by the spruce bark beetle outbreak formed the basis for the development of the "Fire Protection and Forest Fire Fighting Plan for the Polish Part of the Białowieża Forest Transboundary World Heritage Site", which includes: fire risk assessment, fire detection, communication and alarm system, fire roads, water stores, equipment for fire fighting and rules for conducting rescue and fire-fighting operations.

Keywords: safety, biomass, natural forest, flammable material, dead wood, forest fire

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, biomasa, las naturalny, materiał palny, martwe drewno, pożar lasu

1. Wstęp

Puszcza Białowieska ze względu na unikatowy charakter i sposób zarządzania budzi wiele emocji, które w ostatnich latach przybrały na sile, gdy w wyniku gradacji kornika drukarza (*Ips typographus* L.) nastąpił rozpad drzewostanów świerkowych (Ginszt, Laskowska-Ginszt 2022; Kamińska i in. 2022). Spowodowało to pojawienie się dużych ilości martwego drewna, a w wyniku prześwietlenia drzewostanu zwiększenie powierzchni trawiastych, co przyczyniło się

do wzrostu zagrożenia pożarowego na znacznym obszarze tego kompleksu leśnego. Obecność pokrywy trawiastej w stanie przesuszonym jest czynnikiem sprzyjającym szybkiemu rozprzestrzenianiu się ognia (Szczygiel i in. 2016b).

W latach 2015–2022 Instytut Badawczy Leśnictwa (IBL) realizował cztery projekty dotyczące bezpieczeństwa Puszczy Białowieskiej pod względem pożarowym. W 2015 r. Ministerstwo Środowiska poprzez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) zleciło ekspertyzę pt. "Wpływ ilości martwego drewna w Puszczy Białowieskiej na zagrożenie pożarowe".

Wpłynęło: 23.03.2023 r., zrecenzowano: 26.05.2023 r., zaakceptowano: 13.06.2023 r.

czy Białowieskiej na zagrożenie pożarowe oraz zagrożenie ludzi” (Stereńczak i in. 2015). Postępujący rozmiar gradacji i związany z nią wzrost ryzyka pożarowego był między innymi powodem zlecenia przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w kolejnym roku projektu pt. „Opracowanie zasad ochrony przeciwpożarowej obiektów chronionych oraz stosowania kontrolowanego wypalania jako metody czynnej ochrony przyrody”. W jego ramach w 2017 r. opracowano „Zasady ochrony przeciwpożarowej Puszczy Białowieskiej” (Szczygieł i in. 2017). Z kolei w 2019 r. na zlecenie Ministra Środowiska powstał „Plan przeciwpożarowego zabezpieczenia i gaszenia pożarów lasu dla polskiej części Transgranicznego Obiektu Światowego Dziedzictwa Białowieża Forest” (Szczygieł i in. 2019) (sfinansowany przez NFOŚiGW), który opracował zespół pod kierownictwem IBL. Sporządzenie Planu było realizacją zalecenia ujętego w „Raporcie ze wspólnej misji Centrum Światowego Dziedzictwa UNESCO i Reaktywnego Monitoringu IUCN w Puszczy Białowieskiej w dniach od 24 września do 2 października (2018)” (Debonnet, Ossola 2018). Dotyczyło ono konieczności opracowania i wdrożenia dla Obiektu Światowego Dziedzictwa Białowieża Forest kompleksowego planu zapobiegania i zwalczania pożarów lasów, opartego na szczegółowej i realistycznej ocenie ryzyka, który powinien stanowić część zintegrowanego planu zarządzania lasem. Ostatnio w latach 2020–2022 realizowano projekt zlecony przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych (DGLP) pt. „Monitoring zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieskiej jako narzędzie zarządzania i reagowania kryzysowego” (Szczygieł i in. 2022).

W publikacji przedstawiono wybrane rezultaty wymienionych projektów, omawiając kształtowanie się zagrożenia pożarowego Puszczy w latach 2012–2022 w wyniku gradacji kornika drukarza.

2. Martwe drewno a zagrożenie pożarowe

Kluczowym czynnikiem decydującym o potencjalnym zagrożeniu pożarowym lasu jest materiał palny, w tym przede wszystkim jego ilość, rodzaj, wilgotność, rozmiar i struktura przestrzenna. Szczególna rola, nie tylko w fazie inicjacji spalania, ale także wpływu na rozprzestrzenianie się pożaru i jego intensywność przypada martwym materiałom palnym. Martwe drewno, pojawiające się w lesie w rezultacie stopniowych, naturalnych procesów biologicznych rozłożonych w czasie nie powoduje znaczącego wzrostu ryzyka pożarowego. Zagrożenie to wzrasta, kiedy w wyniku zaburzeń abiotycznych lub biotycznych, dochodzi do gwałtownego wzrostu ilości martwego drewna, co miało miejsce w Puszczy Białowieskiej w wyniku gradacji kornika drukarza. Pod względem pożarowym biomasę można podzielić na bierną i czynną. Biomasę bierną pożarowo, która nie ulega spalaniu lub spala się w nieznacznym stopniu, stanowią głównie strzały i gałęzie żywych drzew, których wilgotność jest w miarę

stała i wynosi około 50% i więcej. Natomiast biomasa czynna pożarowo w trakcie pożaru ulega całkowitemu lub w znacznym stopniu spalaniu i zalicza się do niej martwe drewno, ściółkę, uschnięte runo, ale także żywe drobne gałęzie i igliwie. Ich cechą charakterystyczną (z wyjątkiem żywych materiałów) jest duża zmienność wilgotności, od kilku do kilkudziesięciu procent w zależności od zdolności materiału palnego do pochłaniania wody (nasiąkania) i jej oddawania (przesychania), co zależy przede wszystkim od warunków meteorologicznych (Szczygieł i in. 2018).

Na stan wilgotności materiału palnego duży wpływ mają jego wymiary. Drobniejsze materiały szybciej absorbują wodę i szybciej przesychają niż grubsze. Po wystąpieniu deszczu wilgotność materiału martwego jest duża, ale wkrótce zaczyna spadać, następnie stabilizuje się, by osiągnąć względny stan równowagi z otoczeniem. Materiał nie wyschnie już bardziej, ani nie wchłonie więcej wody, dopóki nie zmieni się pogoda. W praktyce materiał palny nigdy nie osiąga stałej równowagi z otoczeniem, ponieważ ciągle zmieniają się warunki meteorologiczne. Z badań własnych wynika, że najszybciej na zmianę wilgotności martwych materiałów leśnych wpływa opad atmosferyczny (natychmiast w chwili jego wystąpienia), a następnie temperatura powietrza (po 2,8 godz.), wilgotność względna powietrza (3,6 godz.), prędkość wiatru i zachmurzenie (po 6 godz.) (Szczygieł 1989; Szczygieł i in. 2016a). W amerykańskiej literaturze okres wymagany do osiągnięcia stanu równowagi wilgotności przez martwy materiał palny definiuje się przez tak zwany czas zwłoki (ang. time lag), podczas którego absorbuje on lub traci 63% swojej wilgotności (Byram 1963). Drobny martwy materiał palny (o średnicy mniejszej niż 0,6 cm) charakteryzuje się godzinnym czasem zwłoki. Zalicza się do tej grupy również mchy, porosty, suche trawy, uschnięta roślinność, ściółkę. Paliwo o średnicy 0,6–2,5 cm odznacza się 10-godzinnym czasem zwłoki. Martwe gałęzie o średnicy od 2,5 cm do 7,6 cm potrzebują 100 godzin, aby zmieniła się ich wilgotność, co możliwe jest przy zmianie pogody w ciągu 3–4 dni. Ostatnią grupę materiałów palnych stanowi paliwo o 1000-godzinnym czasie zwłoki, do którego zalicza się martwe gałęzie i kłody o średnicy od 7,6 do 20,3 cm, które praktycznie zmieniają wilgotność najczęściej po upływie sezonu pożarowego. Wilgotność martwego materiału palnego rzędu 30% jest wartością graniczną, poniżej której może dojść do zapalenia od punktowych standardowych bodźców cieplnych (np. zapalka, żarzący się papieros itp.), gdyż temperatura zapalenia materiałów leśnych wynosi 260–280°C. Im materiał leśny jest bardziej suchy, tym częściej dochodzi do powstania pożaru i jego szybszego rozprzestrzeniania. Takim progiem krytycznym jest wilgotność 12%, poniżej której powstaje około 70% pożarów lasu (Szczygieł 2017).

Ogólnie można stwierdzić, że im większy rozmiar martwego drewna, tym zagrożenie pożarowe jest mniejsze. Największe zagrożenie pożarowe stwarza martwa drobnica (tzw. biomasa czynna pożarowo o średnicy do 7 cm), gdyż martwe

drewno średniowymiarowe i wielkowymiarowe ze względu na powolną zmianę zawartości wody i jej względną stabilność, z reguły na poziomie przekraczającym próg graniczny możliwości zapalenia, nie stwarza istotnego zagrożenia pod względem pożarowym (Szczygieł i in. 2022).

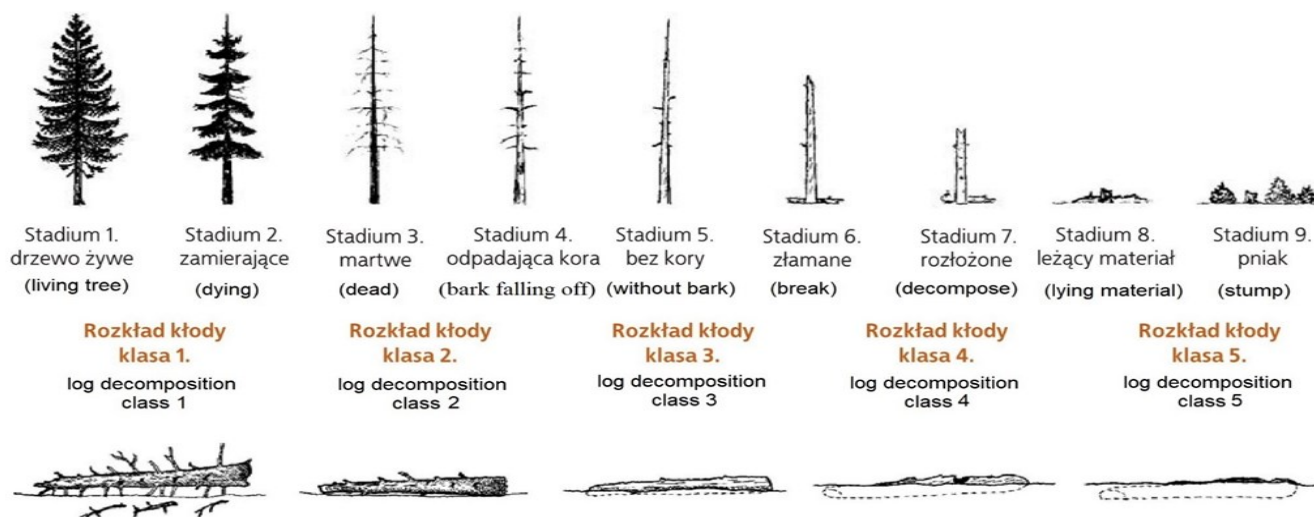
Rodzaj paliwa i jego ilość wpływają na przebieg procesu spalania. Nawet gdy w lesie znajdują się materiały palne, pożar nie będzie się rozprzestrzeniał lub będzie miał utrudnione warunki do rozwoju, jeśli nie będzie drobnego, suchego paliwa zdolnego do propagacji ognia. Struktura przestrzenna (gęstość) paliwa, zwana potocznie „upakowaniem” poszczególnych komponentów leśnej biomasy oraz stopień jej rozdrobnienia wpływa na prędkość rozprzestrzeniania się ognia, poprzez regulację cyrkulacji powietrza w obrębie materiału. Odległość, która dzieli poszczególne elementy decyduje o zapaleniu się jednego od drugiego, co określane jest jako ciągłość liniowa (pozioma lub pionowa) paliwa. Kiedy powietrze nie ma swobodnego dostępu materiał palny będzie miał utrudnione warunki do spalania lub wręcz nie będzie się palił. Na przykład mursz jest tak gęsto „upakowany”, że z powodu braku koniecznego stężenia tlenu zachodzi tylko powolny proces spalania bezpłomieniowego. Z kolei kłody leżącego martwego drewna, niebędące jeszcze w fazie zaawansowanego rozkładu, podobnie jak i świeżo ścięte drzewo na skutek wytworzenia się warstwy węgla na ich obwodzie w wyniku rozkładu termicznego drewna, uniemożliwiają ich całkowite spalanie. Średnio i wielkowymiarowe martwe drzewo nie jest dobrym nośnikiem rozprzestrzeniania się pożaru. Na skutek podsycania ognia przez palące się drobne materiały może on powodować m.in. wydłużenie czasu spalania, wydłużenie czasu trwania akcji gaśniczej, utrzymywanie się wysokich temperatur (co wpływa na potencjalne straty w drzewostanie), zwiększenie ilości potrzebnego środka gaśniczego oraz stwarzać utrudnienia w prowadzeniu akcji gaśniczej, kiedy na obszarze objętym ogniem występuje duże

nagromadzenie leżących martwych kłód.

Znaczący wpływ na palność martwego drewna ma stopień jego rozkładu, który jest powiązany z jego gęstością, co jest związane z gęstością materiału. Uwzględniając klasy rozkładu martwego drewna (określone przez Masera – ryc. 1, autorstwa M. Bobca) (Gutowski i in. 2004) pod względem zagrożenia pożarowego, należy stwierdzić, że leżące martwe drzewo stwarza największe ryzyko możliwości powstania i szybkiego rozprzestrzeniania się pożaru w 1. klasie rozkładu. Powodowane jest to przede wszystkim występowaniem drobnych gałęzi o średnicy do 3 cm, w początkowej fazie nawet z uschniętym igliwem czy liśćmi, nienaruszoną korą i luźną przestrzenną strukturą wskutek opierania się ugałęzionej kłody o ziemię (Szczygieł i in. 2022).

Zagrożenie pożarowe zmniejsza się, gdy kłoda pozbawiona jest już drobnych gałęzi, tekstura jest nienaruszona lub naruszona tylko nieznacznie, a kłoda nie osiadła w pełni na podłożu. W 3. i 4. klasie rozkładu ze względu na zmniejszenie się gęstości drewna i korzystniejszy dostęp powietrza, szczególnie kiedy kłoda leży w miejscach odkrytych i nasłonecznionych, przy dłuższych okresach bezopadowych, próchniejące drzewo może się palić, przeważnie bezpłomieniowo, a proces spalania odznacza się długotrwałym i powolnym przebiegiem. W najwyższej 5. klasie rozkładu zagrożenie pożarowe jest minimalne (Szczygieł i in. 2016a).

Natomiast w przypadku martwego drewna stojącego, największe zagrożenie pożarowe stwarzają drzewa żywe i zamierające (1 i 2 stadium). W kolejnych stadiach (3–8) zagrożenie to intensywnie maleje. W ostatnim stadium (9) pniaki mogą podlegać głównie długotrwałemu spalaniu bezpłomieniowemu, które utrzymuje się wskutek wyżarzania. Ogólnie stwierdzono, że większe zagrożenie pod względem pożarowym stanowi martwe drzewo leżące niż stojące. Wynika to z braku ciągłości liniowej materiału palnego praktycznie już w 3. stadium rozkładu drzewa stojącego.



Rycina 1. Klasy rozkładu martwego drewna (wg Masera, autor M. Bobiec) (Gutowski i in. 2004)

Figure 1. Deadwood decomposition classes (based on Masera, author M. Bobiec) (Gutowski i in. 2004)

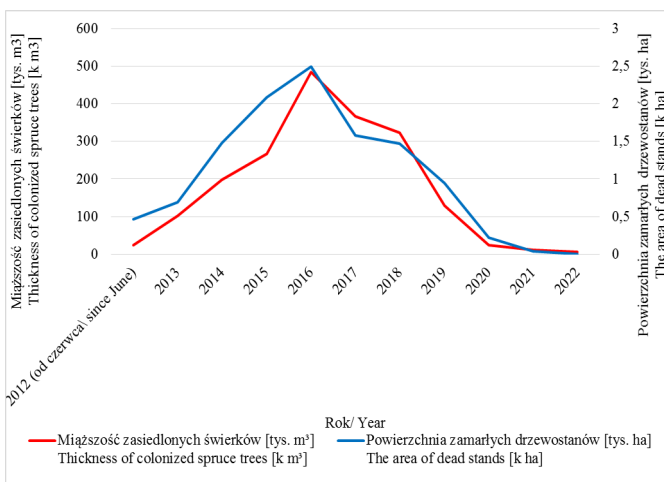
3. Analiza ilościowa i jakościowa materiału palnego w nadleśnictwach Puszczy Białowieskiej

3.1. Martwe drewno

Łączna miąższość zasiedlonych w wyniku gradacji świerków wyniosła 1 933 896 m³, a powierzchnia zamarłych drzewostanów objęła obszar 11 474 ha (ryc. 2), na którym w wyniku prześwietlenia intensywnie rozwinęła się pokrywa trawiasta. Masa usuniętego drewna wyniosła 298 304 m³, co stanowiło 15,4% ogólnej masy posuszu. Średnia miąższość martwego drewna wyniosła 168,5 m³/ha, a uwzględniając usuniętą biomasę 142,5 m³/ha. Przyjmując, że gęstość drewna świerkowego przy wilgotności 15% wynosi 470 kg/m³, wyliczone średnie obciążenie ogniowe w analizowanym okresie wyniosło 79 t/ha, zaś po uwzględnieniu usuniętej masy 66,9 t/ha. Na rycinie 2 przedstawiono dane przekazane przez Regionalną Dyрекję Lasów Państwowych (RDLP) w Białymstoku o miąższości zasiedlonych przez korniki świerków i powierzchni zamarłych drzewostanów w latach 2012–2022 w Nadleśnictwach Białowieża, Browsk i Hajnówka.

Najmniejsze średnie roczne obciążenie ogniowe odnotowano na początku gradacji kornika drukarza w 2012 roku i wynosiło ono 23,6 t/ha. W kolejnych latach nastąpił wzrost obciążenia ogniowego do poziomu 60–70 t/ha, osiągając maksymalnie średnią wartość 108,9 t/ha w roku 2017. Według szczegółowych danych inwentaryzacyjnych ilość martwego drewna w niektórych wydzieleniach wynosiła aż 629 m³/ha, co odpowiadało obciążeniu ogniowemu wynoszącemu 295,6 t/ha (Szczygieł i in. 2022).

Największy przyrost powierzchni zamarłych drzewostanów (2 498 ha) i zarazem największą miąższość zasiedlonych



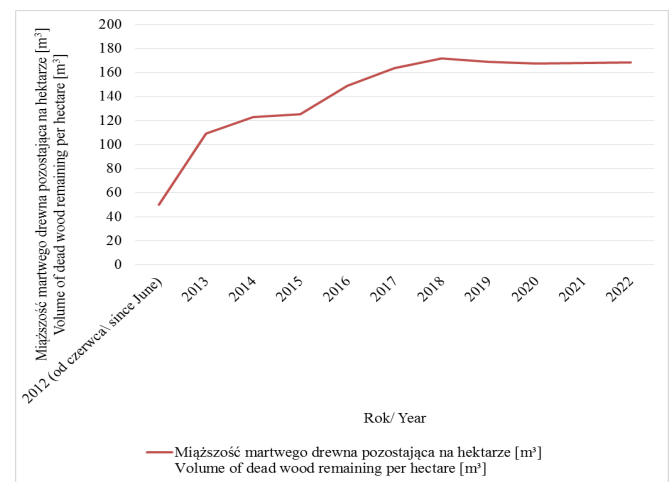
Rycina 2. Miąższość zasiedlonych świerków i powierzchnia zamarłych drzewostanów w latach 2012–2022

Figure 2. Volume of spruce trees infested by bark beetles and area of dead stands in 2012–2022

świerków w nadleśnictwach puszczańskich (483 683 m³) odnotowano w 2016 r. Od tego roku rozpoczął się trend malejący, dotyczący miąższości posuszu, jak i powierzchni, na której on wystąpił. Minimalne wartości tych parametrów wystąpiły w 2022 r., kiedy miąższość zasiedlonych świerków osiągnęła poziom 5 291 m³, a powierzchnia zamarłych drzewostanów zwiększyła się tylko o 1 ha (Szczygieł i in. 2022).

Przed wystąpieniem gradacji kornika drukarza (w latach 2010–2011) w Puszczy Białowieskiej przeprowadzono inwentaryzację martwego drewna wykonaną w ramach rewizji Planów Urządzenia Lasu Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Puszczy Białowieskiej. Średnia ilość martwego drewna w Nadleśnictwach Białowieża, Browsk i Hajnówka wyniosła 24,9 m³/ha (15,8 t/ha). Dla porównania, średnia miąższość martwego drewna w Lasach Państwowych w tym czasie wynosiła 5,3 m³/ha, w lasach prywatnych – 4,2 m³/ha, a w parkach narodowych – 37,3 m³/ha (WISL 2012). Od czerwca 2012 roku na obszarach objętych gradacją średnia miąższość martwego drewna wzrosła do 36,4 m³/ha, czyli blisko o 50% w porównaniu do roku 2011. Maksymalną wartość wynoszącą 171,8 m³/ha odnotowano w 2018 r. Na rycinie 3 zaprezentowano skumulowany przebieg średniej miąższości martwego drewna na hektar, dla obszaru objętego gradacją w latach 2012–2022.

Ocenę przebiegu rozkładu drewna w zamarłych drzewostanach świerkowych w aspekcie stwarzanego przez nie zagrożenia pożarowego przeprowadzono na podstawie szczegółowych danych otrzymanych z nadleśnictw puszczańskich z lat 2012–2020. Dane te dotyczą wydzieleń, w których zaobserwowano wydzielenie się świerków lub zinwentaryzowano drzewa trocinkowe w poszczególnych latach. Najwięcej ich było w Nadleśnictwie Hajnówka, w którym w analizowanym okresie zinwentaryzowano 486 174 drzewa trocinkowe na 7 230 powierzchniach, a ich sumaryczna miąższość wynosiła 633 566 m³. Spośród rozpatrywanych powierzchni wy-



Rycina 3. Średnia miąższość martwego drewna pozostającego na hektarze w latach 2012–2022

Figure 3. Average volume of dead wood remaining per hectare in 2012–2022

brano wyłącznie te wydzielienia, w których drzewa trocinkowe zostały wyznaczone wyłącznie w jednym roku i nie zostały dotychczas usunięte. Łącznie wybrano 205 wydzieleń, a na wytypowanych powierzchniach badawczych przeprowadzono wizualną ocenę stanu martwego drewna w poszczególnych latach rozpadu drzewostanów świerkowych. Dla każdej powierzchni wykonano dokumentację fotograficzną i określono dane geolokalizacyjne, które ułatwiają prowadzenie dalszego monitoringu w tych samych miejscach. Taki sposób umożliwiał ogólną ocenę przebiegu rozpadu drzewostanu świerkowego, gdyż obserwowano jednocześnie jego stan w różnych latach gradacji, traktując powierzchnie jako kolejne sekwencje tego procesu.

W pierwszych 3. latach od zamarcia drzewa w zdecydowanej większości stoją i posiadają większość gałęzi, w tym również tych najdrobniejszych w początkowej fazie z uschniętym igliwem. W nielicznych przypadkach wywrócenia się drzewa ma ono luźną strukturę przestrzenną wskutek opierania się o podłoże ugałęzionej kłody z licznymi uschniętymi drobnymi gałęziami, które szybko ulegają przerośnięciu, głównie przez pojawiającą się roślinność trawiastą. W kolejnych latach cieńsze gałęzie opadają i mniej więcej po 4–5 latach na drzewach pozostają już tylko fragmenty najgrubszych gałęzi. W tym czasie część martwych stojących drzew zaczyna się przewracać, często opierają się one na fragmentach gałęzi, co przyczynia się do przyspieszenia rozkładu gałęzi. Mniej więcej po 8. latach większość martwych drzew jest już przewrócona lub złamana, a te przewrócone leżą bezpośrednio na ziemi, pokrywając się warstwą mchów, co przyspiesza ich dalszy rozkład. Po około 10. latach proces rozkładu leżącego martwego drewna jest wysoce zaawansowany, a stopień jego rozkładu zależy od warunków otoczenia, na który ma wpływ typ siedliska, temperatura, wilgotność, nasłonecznienie itp. Z obserwacji wynika, że ryzyko pożarowe osiąga poziom maksymalny w 2–3 roku rozpadu drzewostanu nie tylko ze względu na ilość martwego materiału palnego, ale przede wszystkim na jego wysoką potencjalną podatność na zapalenie i rozprzestrzenianie się ognia. Pożar może łatwo się rozwijać dzięki pionowej (martwe drzewa stojące) i poziomej (pokrywa trawiasta i martwe drzewa leżące) ciągłości liniowej łatwopalnego drobnego materiału palnego (ryc. 4, 5). Większe zagrożenie pożarowe stwarza martwe drzewo leżące, zwłaszcza w połączeniu z łatwopalną pokrywą gleby. W kolejnych latach (4–7) zagrożenie pożarowe zaczyna maleć, a jego poziom można uznać za średni (ryc. 6). Małe zagrożenie pożarowe obserwujemy w okresie 8–10 lat. Natomiast po 10. latach od zamarcia drzewostanu zagrożenie pożarowe powodowane przez pozostawione martwe drewno osiąga poziom minimalny, a możliwość inicjacji spalania takiego materiału zostaje prawie całkowicie zredukowana (ryc. 7). Modelowy przebieg potencjalnego zagrożenia pożarowego dla kolejnych lat rozpadu drzewostanów w Puszczy Białowieskiej prezentuje rycina 8. Biorąc pod uwagę, że w 2019 r. wyraźnie zmniejszyła się miąż-



Rycina 4. Duże zagrożenie pożarowe stwarzają martwe drzewa w początkowej fazie rozpadu drzewostanu ze względu na występowanie dużych ilości biomasy czynnej pożarowo

Figure 4. Dead trees in the early stages of stand decay pose a high fire hazard as they contain large amounts of fire-active biomass



Rycina 5. Duże zagrożenie pożarowe powodują martwe drzewa leżące z drobnymi uschniętymi gałązkami przerośniętymi pokrywą trawiastą

Figure 5. A great fire risk is caused by dead trees lying with small withered twigs overgrown with grass

szość zasiedlonych przez korniki świerków można założyć, że poziom zagrożenia pożarowego wróci do stanu przed gradacją około 2029 r.

W ramach wielkoskalowej inwentaryzacji przyrodniczej w Puszczy Białowieskiej wykonanej w latach 2016–2018 przez Lasy Państwowe, oceniano także stopień rozkładu martwego drewna. Według zastosowanej metodyki wyróżniono 3



Rycina 6. Średnie zagrożenie pożarowe występuje w sytuacji zaniku drobnego materiału palnego powodującego brak jego ciągłości liniowej umożliwiającą łatwe rozprzestrzenianie się ognia

Figure 6. Medium fire hazard occurs when fine combustible material disappears, losing its linear continuity and allowing fire to spread easily



Rycina 7. Martwe drewno w zaawansowanym stopniu rozkładu powoduje minimalne zagrożenie pożarowe ze względu na jego strukturę praktycznie wykluczającą możliwość inicjacji spalania oraz ograniczającą rozprzestrzenianie się pożaru

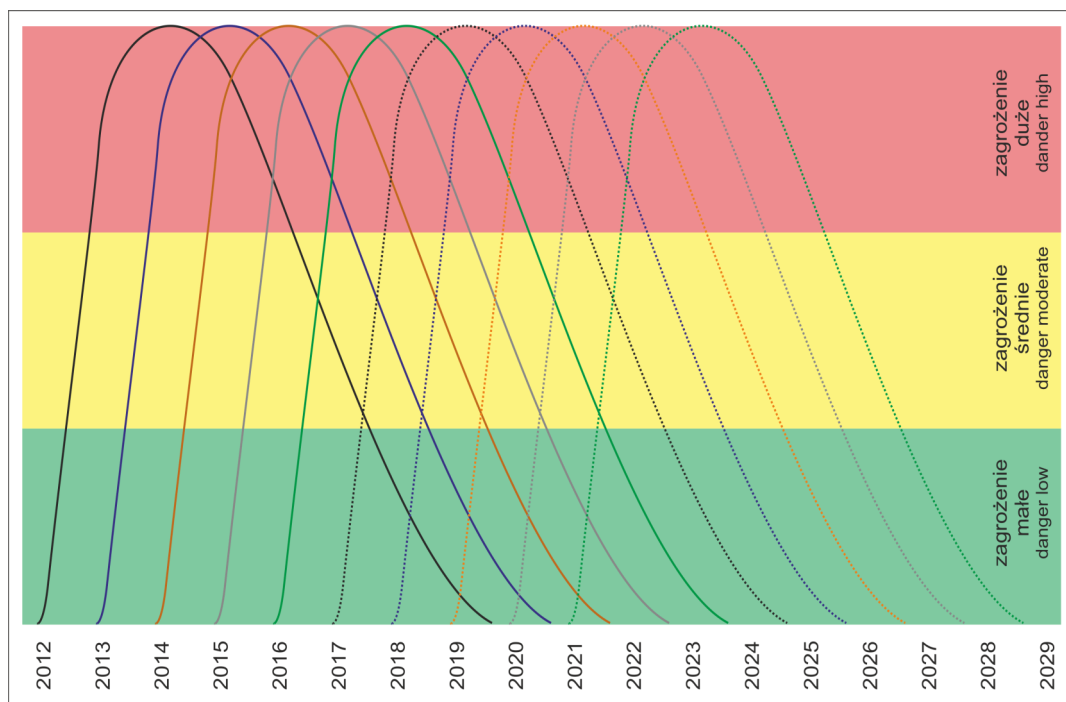
Figure 7. Dead wood in an advanced stage of decomposition poses a minimal fire risk due to its structure, which practically excludes the possibility of combustion initiation and limits the spread of fire

stopnie rozkładu:

1. drewno nierozłożone – o niezmienionej strukturze drewna, nieporośnięte przez grzybnie lub porosty, w przypadku drzew ściętych o jasnym czole lub przeżywiczonej powierzchni ścięcia,
2. drewno częściowo rozłożone – charakteryzuje się występowaniem grzybni lub porostów, ciemnym zabarwieniem czola, widocznymi śladami zgnilizny na obwodzie lub w części twardej,
3. drewno silnie rozłożone – silnie porośnięte przez

grzybnie, porosty i mchy, niekiedy z całkowicie rozłożoną częścią bielastą i częściowo zachowaną twardzielą (Szczygieł i in. 2018).

Wyniki inwentaryzacji martwego drewna według gatunku i stopnia rozkładu przedstawia tabela 1.



Rycina 8. Modelowy przebieg potencjalnego zagrożenia pożarowego zamarłych drzewostanów Puszczy Białowieskiej w latach 2012–2029

Figure 8. Model course of potential fire risk of dead stands of the Białowieża Forest in 2012–2029

Tabela 1. Udział martwego drewna na terenie nadleśnictw Puszczy Białowieskiej w zależności od gatunku i stopnia rozkładu w latach 2016–2018

Table 1. Share of dead wood in the Białowieża Forest Divisions by species and degree of decomposition in period 2016–2018

Gatunek Species	Udział martwego drewna [%] Share of dead wood [%]				
	Złomy Broken trees	Stopień rozkładu Degree of decomposition			Łącznie Total
		1	2	3	
2016					
Sosna (<i>Pinus sylvestris</i>) Scots pine	0,11	1,13	2,68	0,74	4,66
Brzoza (<i>Betula</i> ssp.) Birch	0,04	0,74	1,52	1,96	4,26
Dąb (<i>Quercus</i> ssp.) Oak	0,09	3,70	2,30	3,17	12,10
Grab (<i>Carpinus betulus</i>) Hornbeam	0,08	0,24	0,65	1,59	2,56
Jesion (<i>Fraxinus excelsior</i>) European ash	0,00	4,55	4,70	2,89	12,14
Olsza (<i>Alnus glutinosa</i>) Common alder	0,03	3,32	3,50	4,39	11,23
Świerk (<i>Picea abies</i>) Norway spruce	0,29	24,45	12,51	12,12	49,38
Pozostałe Other	0,05	0,88	1,17	1,57	3,67
Łącznie Total	0,69	40,02	30,27	29,02	100,00
2017					
Sosna (<i>Pinus sylvestris</i>) Scots pine	0,04	1,28	2,40	0,71	4,42
Brzoza (<i>Betula</i> ssp.) Birch	0,05	0,73	1,24	1,79	3,81
Dąb (<i>Quercus</i> ssp.) Oak	0,07	2,45	1,60	1,35	9,36
Grab (<i>Carpinus betulus</i>) Hornbeam	0,11	0,30	0,47	1,38	2,26
Jesion (<i>Fraxinus excelsior</i>) European ash	0,00	2,95	4,53	2,04	9,52
Olsza (<i>Alnus glutinosa</i>) Common alder	0,02	2,66	2,57	3,43	8,68
Świerk (<i>Picea abies</i>) Norway spruce	0,61	39,65	10,65	7,86	58,78
Pozostałe Other	0,04	0,71	1,14	1,26	3,15
Łącznie Total	1,04	51,40	26,53	21,03	100,00
2018					
Sosna (<i>Pinus sylvestris</i>) Scots pine	0,49	1,64	1,89	0,60	4,62
Brzoza (<i>Betula</i> ssp.) Birch	0,79	0,79	0,90	1,37	3,85
Dąb (<i>Quercus</i> ssp.) Oak	0,53	2,59	2,09	2,55	7,76
Grab (<i>Carpinus betulus</i>) Hornbeam	0,34	0,21	0,29	1,26	2,10
Jesion (<i>Fraxinus excelsior</i>) European ash	0,10	2,06	3,28	2,01	7,45
Olsza (<i>Alnus glutinosa</i>) Common alder	1,14	1,40	2,67	3,18	8,39
Świerk (<i>Picea abies</i>) Norway spruce	3,07	38,82	13,22	7,91	63,02
Pozostałe Other	0,59	0,46	0,69	1,07	2,81
Łącznie Total	7,05	47,97	25,03	19,95	100,00

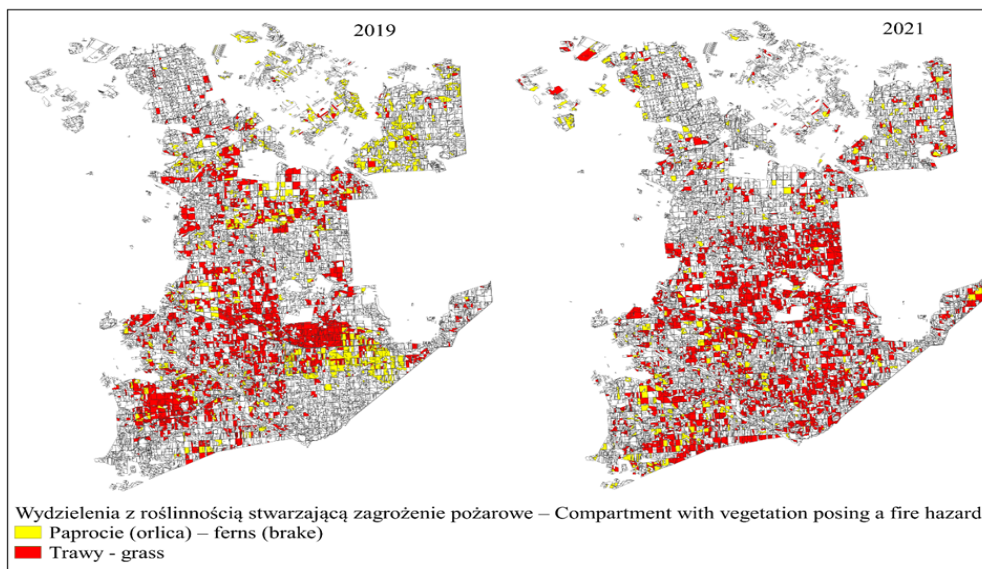
Podobnie jak w klasyfikacji rozkładu martwego drewna według Masera, największe zagrożenie pożarowe stwarza martwe drewno w 1. stopniu rozkładu w przyjętej metodyce inwentaryzacji przyrodniczej. Małe zagrożenie powoduje drewno w 2. stopniu rozkładu, a minimalny poziom zagrożenia odnosi się do 3. stopnia rozkładu. Szczegółowa analiza uwzględniająca stopnie rozkładu oraz gatunki drzew pokazuje dominację świerka, którego udział w martwym drewnie ogółem wynosił odpowiednio: 49,38% w roku 2016, 58,78% w roku 2017 i 63,02% w roku 2018, czyli znacznie więcej niż ogólny udział świerka na terenie Puszczy Białowieskiej wynoszący nieco poniżej 30% (Szczygieł i in. 2018). Co bardzo istotne, udział świerka w 1. stopniu rozkładu, gdy drzewa posiadają jeszcze znaczną ilość drobnych gałęzi, wyraźnie wzrósł w latach 2017 i 2018. W roku 2016 było to 24,45%, a w latach 2017 i 2018 odpowiednio 39,65% oraz 38,83%. Łącznie martwe drewno w 1. stopniu rozkładu, stwarzające potencjalnie największe ryzyko pożarowe stanowiło nieco ponad 40% w 2016 r., prawie 52% w 2017 r. i blisko 48% w 2018 r. Niestety, w kolejnych latach nie kontynuowano inwentaryzacji, stąd brak aktualnych danych o stanie rozkładu martwego drewna w Puszczy Białowieskiej. Można przypuszczać, że wraz z upływem czasu i zahamowania rozpadu drzewostanów wzrósł udział martwego drewna świerkowego w 2. i 3. stopniu rozkładu, a zdecydowanie zmalała ilość martwego drewna w 1. stopniu rozkładu.

3.2. Pokrywa gleby

Analizując zagrożenie pożarowe nadleśnictw Puszczy Białowieskiej ze względu na materiał palny, należy brać pod uwagę nie tylko martwe drewno, ale i skutek rozpadu drzewostanów, w wyniku którego pojawiła się głównie pokrywa trawiasta, stwarzająca duże ryzyko nie tylko możliwości powstania, ale także szybkiego rozprzestrzeniania się ognia. Biorąc pod uwagę ilość martwego drewna, a przede wszystkim postępujący proces jego rozkładu oraz malejącą ilość drobnego materiału palnego (biomasy czynnej pożarowo)

stwierdzono, że zagrożenie pożarowe z jego strony zmalało i będzie sukcesywnie się zmniejszać, co potwierdzają przedstawione powyżej analizy. Natomiast zagrożenie pożarowe powodowane przez pokrywę trawiastą, szczególnie w okresach jej przesuszenia, będzie się utrzymywać przez wiele lat, dopóki będą temu sprzyjać warunki otoczenia związane przede wszystkim z możliwością naturalnego odnowienia lasu.

W 2021 r. przeprowadzono inwentaryzację terenową w celu oceny ilości potencjalnego paliwa, które stanowi roślinność pokrywy gleby oraz martwa drobnica stwarzające szczególnie zagrożenie pożarowe. Przeprowadzono ją na około 9 tysiącach powierzchni kołowych zgodnie z metodyką opracowaną przez Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej w Białymstoku i Laboratorium Ochrony Przeciwpożarowej Lasu IBL. Roślinność pokrywy gleby inwentaryzowana była w zasięgu powierzchni kołowej o powierzchni od 0,005 ha do 0,05 ha, w zależności od wieku drzewostanu oraz na powierzchni będącej w zasięgu wzroku obserwatora, czyli w promieniu około 50 m, odpowiadającej powierzchni 1 ha. W obu przypadkach dotyczyła ona pokrycia powierzchni przez roślinność pokrywy gleby zwiększającą zagrożenie pożarowe oraz martwą drobnicę. Pokrycie powierzchni klasyfikowane było według kryterium stopnia oraz wysokości pokrywy gleby. Zarówno stopień pokrycia, jak też wysokość roślinności ustalane były metodą szacunkową. W raportowaniu kodowana była ona w postaci dwucyfrowej, gdzie pierwsza cyfra odpowiadała stopniowi pokrycia, a druga wysokości roślinności pokrywy gleby. Stopień pokrycia wyrażony był w 3 stopniowej skali pokrycia (1 – pokrycie do 33% powierzchni, 2 – od 33% do 66% pokrycia powierzchni, 3 – powyżej 66% pokrycia powierzchni). Wysokość roślinności również była wyrażona w 3-stopniowej skali, przy czym określano ją na podstawie wysokości dominujących gatunków. Ze względu na szacunkowe określanie wysokości roślinności przyjęto dwie miary. Pierwszą do kolan, odpowiadającą wysokości 0,5 m, drugą do pasa odpowiadającą wysokości 1,0 m. I tak kod „1” oznaczał roślinność o wysokości 0–0,5 m, kod „2” roślinność o wysokości 0,5–1,0 m,



Rycina 9. Przestrzenny rozkład występowania pokryw stwarzających szczególne zagrożenie pożarowe w 2019 i 2021 r.

Figure 9. Spatial distribution of the occurrence of covers posing special fire hazards in 2019 and 2021

Tabela 2. Procentowy rozkład stopnia i wysokości dominującej roślinności pokrywy gleby na inwentaryzowanych powierzchniach
 Table 2. Percentage distribution of degree and height of dominant ground cover vegetation in the inventoried plots

Dominujący gatunek	Kod stopnia pokrycia i wysokości dominującej roślinności								
	Code for degree of cover and height of dominant vegetation								
	11	12	13	21	22	23	31	32	33
Bagno zwyczajne (<i>Ledum palustre</i>) marsh Labrador tea									0,02
Borówka (<i>Vaccinium ssp.</i>) Bilberry	2,65	0,38	0,44	1,51	0,80	0,07	1,93	0,46	0,22
Jałowiec pospolity (<i>Juniperus communis</i>) Common juniper	0,04	0,09	0,27			0,04			
Krzewy Bushes	0,02	0,09			0,09	0,02			
Malina (<i>Rubus ssp.</i>) Raspberry	3,94	9,32	1,73	0,42	7,64	4,12	0,02	1,00	4,47
Nalot iglasty Coniferous seedlings	0,04	0,13	0,13		0,04	0,27			
Nalot liściasty Deciduous seedlings	0,15	0,07			0,04				
Nieczelnica samcza (<i>Dryopteris filix-mas</i>) Male fern		0,02							
Niecierpek (<i>Impatiens ssp.</i>) Impatient	0,07	0,13			0,07				0,02
Orlica pospolita (<i>Pteridium aquilinum</i>) Eagle fern	0,51	1,17	0,31		1,20	0,60	0,02	0,29	0,38
Paprocie (<i>Polypodiopsida ssp.</i>) Ferns	0,84	1,35	0,02	0,27	1,82	0,46		0,42	1,06
Pokrzywa zwyczajna (<i>Urtica dioica</i>) Common nettle	0,33	0,86			0,53	0,13		0,33	0,24
Sit (<i>Juncus ssp.</i>) Rushes					0,02				0,02
Szczawik zajęczy (<i>Oxalis acetosella</i>) Wood sorrel	0,04	0,02							
Trawy (<i>Poaceae ssp.</i>) Grass	18,86	3,56	0,20	2,52	9,34	1,79	0,31	1,31	2,86
Trzcina pospolita (<i>Phragmites australis</i>) Common reed	0,04	0,07	0,04		0,04	0,29			0,15
Trzcinnik (<i>Calamagrostis ssp.</i>) Reed grass	0,09	0,22	0,07	0,02	0,31	0,15		0,18	0,40
Turzyca (<i>Carex ssp.</i>) Sedge	0,31	0,11		0,04	0,18	0,07		0,07	0,04
Wiciokrzew (<i>Lonicera ssp.</i>) Honeysuckle					0,02				
Wietlica samicza (<i>Athyrium filix-femina</i>) Lady fern						0,04			

a kod „3” roślinność o wysokości powyżej 1,0 m. Dla każdej powierzchni notowano do 3 dominujących gatunków w pokrywie (np. 23 – średnie pokrycie powyżej 1 m (maliny *Rubus ssp.*, orlica pospolita *Pteridium aquilinum* i trzcinnik *Calamagrostis ssp.*), 31 – duże pokrycie sięgającego do 0,5 m (śmiałek darniowy *Deschampsia cespitosa*).

Ilości drobnicy kodowano w sposób podobny jak w wypadku roślinności pokrywy gleby. Pierwszy człon kodu dotyczył pokrycia (1 – małe, 2 – średnie, 3 – duże), drugi zaś opisywał rodzaj pokrycia (1 – pojedyncze gałęzie, 2 – liczne gałęzie, czuby, 3 – stopy). Kod np. 21 oznaczał średnie pokrycie pojedynczymi gałęziami, a kod 33 – duża liczba stóp. Wyniki inwentaryzacji roślinności pokrywy gleby przedstawiono w tabeli 2.

Spośród wszystkich powierzchni ponad 28% stanowiły te, na których nie stwierdzono występowania roślinności pokrywy gleby zwiększającej zagrożenie pożarowe. Większość z nich (68,6%) było pokryte roślinnością stwarzającą szczególne zagrożenie pożarowe (malina, paprocie, trawy), w tym 43,8% powierzchni charakteryzowało się średnim i dużym stopniem pokrycia. Według danych inwentaryzacyjnych z roku 2019 drzewostany z pokrywą orlicową zajmowały 7,7% powierzchni nadleśnictw puszczańskich zaś z pokrywą trawiastą 17,1% powierzchni (Szczygieł i in. 2019). Inwentaryzacja przeprowadzona w 2021 r. wykazała spadek powierzchni z pokrywą paprociową do 4,4%. Natomiast powierzchnia drzewostanów z pokrywą trawiastą wzrosła do 21,7%. Łączny udział drzewostanów z oboma rodzajami po-

Tabela 3. Uśrednione obciążenie ogniowe dla wybranych rodzajów pokrywy gleby (Szczygieł i in. 2018)
 Table 3. Averaged fire load for selected soil cover types (Szczygieł i in. 2018)

Rodzaj pokrywy Type of cover	Średnia wysokość warstwy [cm] Average layer height [cm]	Średnie obciążenie ogniowe [kg/m ²] Average fire load [kg/m ²]
trawista grass	129	2,50
paprociowa fern	116	3,67
z maliną with raspberry	89	2,87
trawista/referencyjna grass/reference	15	0,97

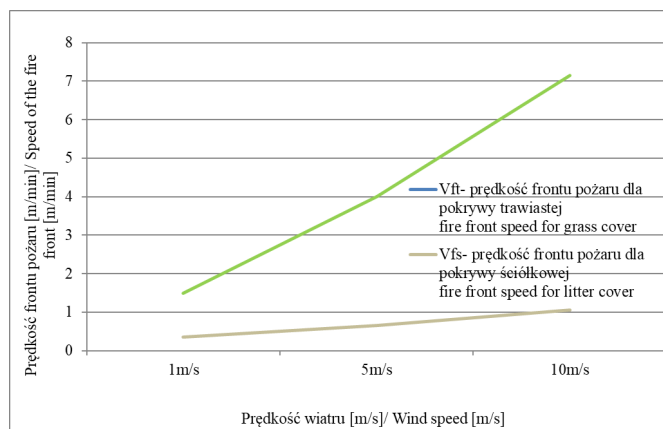
kryw wzrósł z 24,8% powierzchni w roku 2019 do 26,1% w roku 2021. Przestrzenne rozmieszczenie drzewostanów z pokrywą orlicową i trawistą w roku 2019 i 2021 przedstawiono na rycinie 9.

Wykonane wcześniej pomiary obciążenia ogniowego pokryw trawistej, paprociowej i z maliną w miejscach, gdzie doszło do przesświetlenia drzewostanów oraz na powierzchni referencyjnej w przypadku pokrywy trawistej, dają informację o ilości łatwopalnej biomasy, liczonej w kilogramach, znajdującej się na powierzchni jednostkowej 1 m² (Szczygieł i in. 2017).

Pomiary polegały na zważeniu roślinności na powierzchniach 1 m² oraz ustaleniu wilgotności materiału, aby obliczyć obciążenie materiałów w stanie suchym. Pomiary wykonano łącznie na 35 powierzchniach, w tym na 15 reprezentatywnych dla traw, 10 dla paproci, 5 dla pokrywy porośniętej maliną i 5 referencyjnych. Uśrednione wyniki pomiarów obciążenia ogniowego dla pokryw stwarzających największe zagrożenie pożarowe w Puszczy Białowieskiej przedstawiono w tabeli 3.

Obciążenia te wynosiły 2,50 kg/m² dla pokrywy trawistej, 2,87 kg/m² dla pokrywy z maliną i 3,67 kg/m² dla pokrywy z paprocią. Pomierzone obciążenia ogniowe wyniosły dla pokrywy:

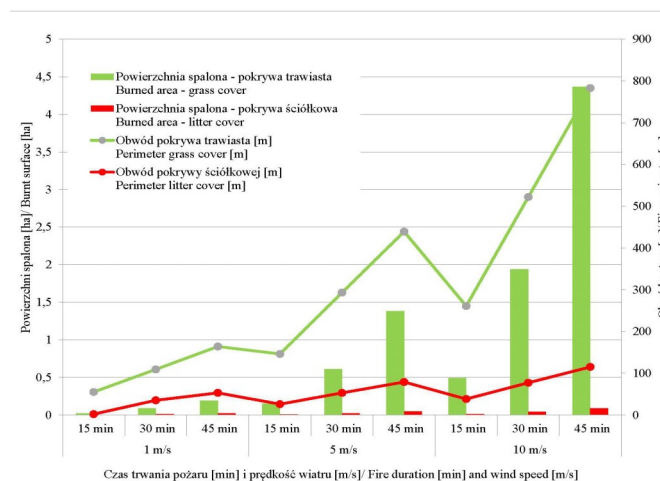
- trawistej od 1,17 do 4,56 kg/m²,
- z maliną od 2,36 do 3,27 kg/m²,
- z paprocią od 1,92 do 7,99 kg/m².



Rycina 10. Prędkość frontu pożaru pokrywy ściółkowej i trawistej przy założonych danych wejściowych modelowania
 Figure 10. Fire front speed of litter and grass cover with assumed modeling inputs

Uzyskane wyniki świadczą o dużej zmienności kształtowania się ilości palnej biomasy dla wszystkich rodzajów badanych pokryw. Na powierzchniach referencyjnych dla pokrywy trawistej średnie obciążenie ogniowe było około 2,5-krotnie mniejsze (0,97 kg/m²) w porównaniu do powierzchni przesświetlonych i zawierało się w granicach od 0,44 do 1,36 kg/m². Dla porównania obciążenie ogniowe dla traw w innych drzewostanach nizinnych, w których wcześniej wykonywano badania, wynosiło średnio 0,5 kg/m², czyli aż 5-krotnie mniej, niż w drzewostanach silnie przesświetlonych wskutek gradacji korników (Szczygieł i in. 2018).

Największe zagrożenie pożarowe z badanych rodzajów pokryw stwarza pokrywa trawista w stanie przesuszonym ze względu na jej luźną strukturę przestrzenną, wysokość złoża paliwowego i fakt występowania na powierzchniach odkrytych, na których prędkości wiatru są zdecydowanie większe niż w drzewostanie, co wpływa również na jej szybkie przesychnanie. W celach poglądowych, ale także na potrzeby planowania operacyjnego sił ratowniczych uwzględniającego zmiany środowiskowe, wykonano obliczenia podstawowych parametrów pożaru, to jest: prędkości jego frontu, powierzchni i obwodu. Według planów urządzenia lasu czas swobodnego rozwoju pożaru (czas od powstania pożaru do podjęcia działań gaśniczych) w nadleśnictwach puszczań-



Rycina 11. Powierzchnia i obwód pożaru pokrywy ściółkowej i trawistej po 15, 30 i 45 minutach swobodnego rozwoju i założonych prędkościach wiatru

Figure 11. Area and perimeter of litter and grass cover fires after 15, 30 and 45 minutes of free development and assumed wind speeds

Tabela 4. Procentowy rozkład liczby powierzchni według rodzaju i stopnia pokrycia dna lasu martwą drobnicą
 Table 4. Percentage distribution of the number of plots by type and degree of coverage with dead small tree elements

Pokrycie Coverage	Rodzaj pokrycia Type of coverage			
	Brak/ no	pojedyncze gałęzie/ single branches	liczne gałęzie, czuby/ numerous branches, tops of trees	stosy/ biomass pile
Brak/No	12,2	0,0	0,0	0,0
Małe/Little	0,0	37,7	12,4	0,7
Średnie/Medium	0,0	2,9	19,6	4,1
Duże/High	0,0	0,2	3,1	7,0

skich wynosił maksymalnie 45 minut (Nadleśnictwo Białowieża) i 40 minut w pozostałych dwóch nadleśnictwach. Minimalny czas swobodnego rozwoju pożaru to 15 minut w Nadleśnictwie Białowieża i 20 minut w Nadleśnictwie Browsk i Hajnówka. Obliczenia wykonano dla pożaru traw i pokrywy ściółkowej (jaka wcześniej występowała na powierzchniach przed rozpadem drzewostanów), wykorzystując aplikację „Model pożaru lasu”, zakładając prędkości panującego wiatru: 1, 5 i 10 m/s, wilgotność materiału palnego – 10% i czasy swobodnego rozwoju pożaru: 15, 30 i 45 minut. Wyniki symulacji przedstawiono na rycinach 10 i 11.

Prędkości rozprzestrzeniania się pożaru pokrywy trawistej na odkrytych powierzchniach powstałych wskutek rozpadu drzewostanów będą od 4 do 7 razy większe w porównaniu do pożarów pokrywy ściółkowej przy założonych takich samych danych wejściowych modelowania. Podobnie, bo od 3 do 7 razy większy będzie obwód pożaru pokrywy trawistej niż ściółkowej. Natomiast zdecydowanie większe będą spodziewane powierzchnie pożaru traw, które mogą wzrosnąć maksymalnie (przy czasie 45 minut i wietrze 10 m/s) prawie 50-krotnie (od 7 do 49 razy w zależności od czasu trwania



Rycina 12. Drobna martwa biomasa złożona w stosach stwarza szczególne zagrożenie pożarowe

Figure 12. Small dead biomass in piles poses a particular fire hazard

pożaru i prędkości wiatru) w porównaniu ze ściółkową powierzchnią spaloną. Spodziewane rozmiary, jakie mogą osiągnąć pożary w zmienionych warunkach środowiskowych, powinny być uwzględnione na etapie dysponowania sił i środków w wypadku faktycznie zaistniałych pożarów.

Oprócz roślinności tworzącej pokrywy gleby w ramach przeprowadzonej inwentaryzacji terenowej w 2021 r. oszacowano także zalegającą na dnie lasu martwą drobnicę, a jej wyniki zawiera tabela 4.

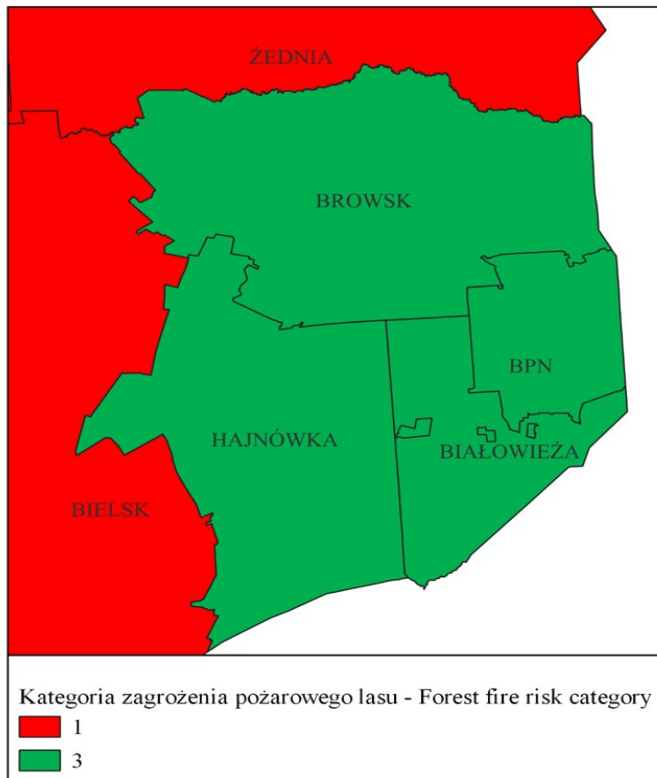
Na 36,9% powierzchni występowało średnie i duże pokrycie drobnicą, w tym na 11,1% z nich zinwentaryzowano stosy o średnim i dużym stopniu pokrycia, które stwarzają wyjątkowe zagrożenie pożarowe. Jak wykazały pomiary obciążenia ogniowego przeprowadzone dla pięciu losowo wybranych stosów, ilość palnej biomasy wynosiła od 8,676 do 13,988 kg/m² w stanie suchym (ryc. 12).

Uwzględniając łączne wyniki pomiarów obciążenia ogniowego biomasy pokrywy gleby (roślinności i martwej drobnicy) można oszacować, że mogą się one wahać od kilku do aż kilkunastu kg/m² w najbardziej skrajnych, niekorzystnych przypadkach, co odpowiada obciążeniom ogniowym, z jakimi mamy do czynienia w wypadku pożarów całkowitych drzewostanu (Szczygieł 2017).

4. Klasyfikacja palności drzewostanów Puszczy Białowieckiej

Stosowana zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska (Dz.U. 2010 nr 137, poz.923) kategoryzacja zagrożenia pożarowego lasu (KZPL) obejmuje lasy o podobnym poziomie podatności na pożar, ustalonym na podstawie częstotliwości występowania pożarów, warunków drzewostanowych i klimatycznych, jak również czynników antropogenicznych. Pozwala ustalić potencjalne zagrożenie pożarem w skali makroskopowej, gdyż minimalnym obszarem dla którego ustala się kategorię zagrożenia pożarowego jest powierzchnia nadleśnictwa. Nadleśnictwa białowieckie zaliczono do najniższej III KZPL – co pokazano na rycinie 13.

Uzupełnieniem metody kategoryzacji jest metoda ustalania klas palności drzewostanów zgodnie z załącznikiem 1 „Instrukcji ochrony przeciwpożarowej lasu” (Instrukcja... 2020). Klasa palności odzwierciedla podatność drzewostanu na pożar ze względu na typ siedliskowy lasu i rodzaj pokrywy gleby. Ustala się ją dla wydzielenia z możliwością gene-



Rycina 13. Kategoria zagrożenia pożarowego lasu na obszarze Puszczy Białowieżskiej (Szczygieł i in. 2018)

Figure 13. Forest fire hazard category in the area of the Białowieża Forest (Szczygieł i in. 2018)

ralizacji do oddziału i leśnictwa. Pozwala określić potencjalne zagrożenie drzewostanu ze względu na występujący materiał palny według trzech klas palności: klasa A (duża), B (średnia) i C (mała).

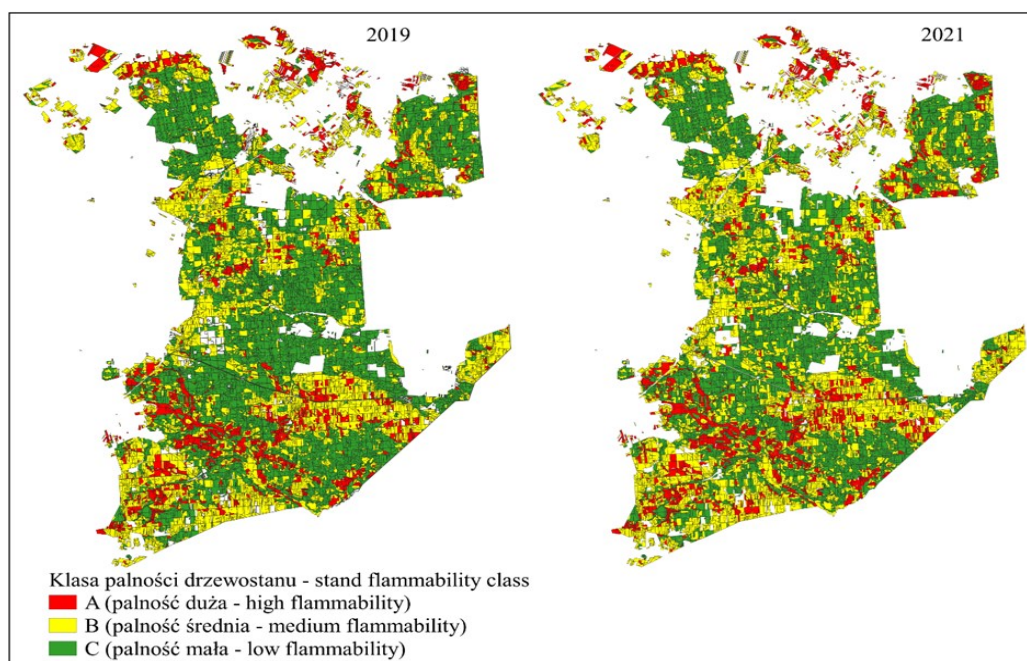
Według klasyfikacji palności drzewostanów wykonanej w ramach opracowywanego „Planu przeciwpożarowego zabezpieczenia i gaszenia pożarów lasu dla polskiej części

Transgranicznego Obiektu Światowego Dziedzictwa Białowieża Forest” w roku 2019 drzewostany zaliczone do „A” klasy palności stanowiły 11,6% powierzchni, klasy „B” 41,9% powierzchni zaś klasy „C” 46,5% powierzchni. W roku 2021 dla tych wydziałów, w których zlokalizowane były powierzchnie monitoringowe dokonano korekty klas palności uwzględniającej wyniki przeprowadzonej inwentaryzacji pokrywy gleby. W porównaniu do 2019 r. wzrósł udział powierzchni drzewostanów zaliczonych do klasy „A” do 14,3%. Udział powierzchni drzewostanów zaliczonych do klasy „B” był minimalnie większy i wyniósł 42,7% powierzchni. Natomiast udział powierzchni drzewostanów zaliczonych do klasy „C” spadł do 43,0% powierzchni. Przestrzenne rozmieszczenie drzewostanów według klas palności nadleśnictw Puszczy Białowieżskiej w roku 2019 i 2021 przedstawiono na rycinie 14.

5. Występowanie pożarów lasu w Puszczy Białowieżskiej w latach 2012–2021

Możliwość powstania pożaru w Puszczy Białowieżskiej, nawet mimo dużego potencjalnego zagrożenia szczególnie w miejscach dużego nagromadzenia martwej palnej biomasy, zależy od wystąpienia tak zwanego ryzyka dynamicznego, kształtowanego przez warunki meteorologiczne i pojawienia się w tym czasie bodźca cieplnego, zdolnego zainicjować spalanie. Pojawienie się tego źródła zapalenia związane jest przede wszystkim z obecnością ludzi w lesie lub jego sąsiedztwie.

Szczegółową analizę występowania pożarów na terenie Puszczy Białowieżskiej i ich charakterystykę przeprowadzono dla okresu 10 lat (2012–2021), to jest od początku gradacji do 2021 r. W tym czasie powstały 54 pożary o łącznej powierzchni 12,69 ha. W analizie nie wzięto pod uwagę pożarów powstałych w roku 2022, ponieważ w momencie wykonywania analiz dane o nich nie były kompletne i w pełni



Rycina 14. Przestrzenne rozmieszczenie drzewostanów nadleśnictw puszczańskich według klas palności w roku 2019 i 2021 (Szczygieł i in. 2022)

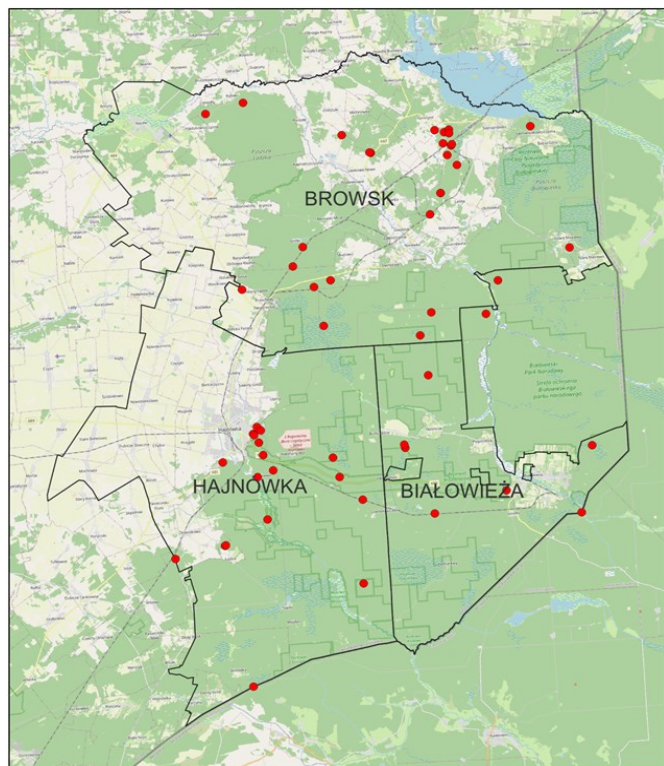
Figure 14. Spatial distribution of tree stands in the forest districts of the Białowieża Forest by flammability classes in 2019 and 2021 (Szczygieł i in. 2022)

zweryfikowane. Należy nadmienić, że na dzień 30.11.2022 r. odnotowano 9 pożarów lasu, w tym 5 w Nadleśnictwie Browski i po 2 w Nadleśnictwach Białowieża i Hajnówka, o łącznej powierzchni 7,32 ha. Na rycinie 15 przedstawiono przestrzenne rozmieszczenie powstałych pożarów lasu w Puszczy Białowieskiej w latach 2012–2021. Wynika z niej, że najczęściej pożarów miało miejsce w bezpośrednim sąsiedztwie terenów zamieszkałych lub związanych z terenami turystyczno-rekreacyjnymi.

W analizowanym okresie najczęściej powstawały pożary pokrywy gleby (43 pożary) i pożary pojedynczych drzew (10). Odnotowano także 1 pożar podpowierzchniowy. Były to w większości pożary, których powierzchnia nie przekroczyła 1 ha (49). Pożary o średniej powierzchni (1,01–10 ha) wystąpiły pięciokrotnie. Średnia powierzchnia pożaru wyniosła 0,24 ha. Najwięcej pożarów (13) było wynikiem podpalenia, a następnie: awarii linii energetycznej (8), zaniedbania (7), wylądowania atmosferycznego (4). Dla 18 pożarów przyczyny nie ustalono. Dla porównania w latach 2002–2011 w Puszczy miało miejsce 60 pożarów o powierzchni 29,52 ha. Średnia powierzchnia pożaru wyniosła 0,49 ha.

6. Podsumowanie

Potencjalne zagrożenie pożarowe nadleśnictw Puszczy Białowieskiej wzrosło w wyniku gradacji kornika drukarza wskutek nieodnotowywanego wcześniej nagromadzenia się łatwopalnej biomasy w postaci martwego drewna oraz poja-



Rycina 15. Przestrzenne rozmieszczenie pożarów na terenie Puszczy Białowieskiej w latach 2012–2021

Figure 15. Spatial distribution of fires in the Białowieża Forest in 2012–2021

wienia się w konsekwencji prześwietlenia drzewostanów pokrywy trawiastej. Nadleśnictwa puszczańskie zostały zaliczone w wyniku prac urzędniowych do najniższej, 3. kategorii zagrożenia pożarowego lasu, zarówno przed gradacją, jak i po jej wystąpieniu. Należy zwrócić uwagę, że obowiązująca metoda klasyfikacji zagrożenia pożarowego obszarów leśnych nie uwzględnia w ocenie ryzyka pojawiających się dużych ilości materiału palnego spowodowanego gradacją korników. Dlatego właściwą do oceny potencjalnego ryzyka pożarowego jest zastosowana metoda klas palności drzewostanów, według której aż 57% obszaru nadleśnictw zostało sklasyfikowanych jako odznaczające się dużą i średnią palnością.

Wskutek gradacji kornika drukarza od początku gradacji do 2022 r. w nadleśnictwach puszczańskich łączna miąższość zasiedlonych świerków wyniosła 1 993 896 m³, a powierzchnia, na której doszło do rozpadu drzewostanów objęła 11 474 ha. Łącznie usunięto 298 304 m³, co stanowiło 15,4% ogólnej masy posuszu. Średnia miąższość martwego drewna wyniosła 168,5 m³/ha, a uwzględniając usuniętą biomasa – 142,5 m³/ha. Według inwentaryzacji martwego drewna wykonanej w ramach rewizji Planów Urządzenia Lasu Leśnego Kompleksu Promocyjnego Lasy Puszczy Białowieskiej przed wystąpieniem gradacji średnia masa martwego drewna w nadleśnictwach puszczańskich wyniosła 24,9 m³/ha. Największy przyrost powierzchni zamarłych drzewostanów (2 498 ha) i zarazem największą miąższość zasiedlonych świerków (483 683 m³) odnotowano w 2016 r. Od tego roku rozpoczął się trend malejący, dotyczący miąższości posuszu jak i powierzchni, na której on wystąpił. Minimalne wartości tych parametrów wystąpiły w 2022 r., kiedy miąższość osiągnęła poziom 5 291 m³, a powierzchnia zamarłych drzewostanów zwiększyła się tylko o 1 ha. Obciążenie ogniowe wzrosło prawie siedmiokrotnie w porównaniu do 2011 r. (15,8 t/ha), osiągając średnią wartość maksymalną 108,9 t/ha w 2017 r. Według Castellnou i Hernandez (2018) granicą, powyżej której ugaszenie pożaru bywa często niemożliwe, jest wielkość obciążenia ogniowego przekraczająca 10 t/ha. Cytowani hiszpańscy eksperci szacują, że w większości europejskich lasów obciążenia te dochodzą do 30 t/ha, co w wypadku powstania pożaru w okresie długotrwałych susz i ekstremalnie wysokich temperatur powietrza prowadzi do katastrofalnych, intensywnych pożarów lasów, jakie np. miały miejsce w ostatnich latach w Portugalii, Hiszpanii, Grecji, Szwecji czy Francji, kiedy służby ratownicze były wręcz bezradne wobec żywiołu.

Analizując kształtowanie się zagrożenia pożarowego ze względu na materiał palny, należy brać pod uwagę zarówno martwe drewno, jak i skutek rozpadu drzewostanów, w wyniku którego pojawiła się pokrywa trawiasta, stwarzająca duże ryzyko nie tylko możliwości powstania, ale także szybkiego rozprzestrzeniania się ognia. Postępujący proces rozkładu martwego drewna oraz malejąca ilość zwłaszcza drobnego materiału palnego (biomasy czynnej pożarowo) powodują, że zagrożenie pożarowe z jego strony zmalało i będzie sukcesywnie się zmniejszać. Biorąc pod uwagę, że w 2019 r. wyraźnie zmniejszyła się miąższość zasiedlonych świerków przez korniki można założyć, że poziom za-

grożenia pożarowego wróci do stanu przed gradacją około 2029 r., przy założeniu, że w środowisku nie znajdą inne aktualnie trudne do przewidzenia zmiany. Ocena tempa rozkładu martwego drewna wykazała, że po okresie około 10 lat od zamarcia martwe świerki nie stwarzają istotnego zagrożenia z punktu widzenia rozprzestrzeniania pożarów, lecz mogą być utrudnieniem w prowadzeniu akcji ratowniczo-gaśniczej oraz wydłużać jej czas trwania, o czym przekonano się w lipcu 2022 r. podczas pożaru w Parku Narodowym Czeska Szwajcaria (<https://www.rmf24.pl/>).

Mimo zmniejszającego się zagrożenia powodowanego przez martwe drewno, ryzyko pożarowe w Puszczy Białowieskiej będzie się utrzymywać przez wiele lat na wysokim poziomie ze względu na występującą pokrywę trawia- stą, szczególnie w okresach jej przesuszenia. Jak pokazują wyniki przeprowadzonej inwentaryzacji terenowej, zwiększyła się wielkość powierzchni z pokrywą trawia- stą, z 17,0% w 2019 r. do 21,7% w 2021 r. Zmalała za to powierzchnia z pokrywą orlicową, z 7,7% (2019 r.) do 4,4% w 2021 r.

Występujące potencjalne duże zagrożenie pożarowe w nadleśnictwach puszczańskich nie przełożyło się bezpośrednio na wzrost liczby pożarów i powierzchni spalonej. W latach 2012–2021 w Puszczy Białowieskiej powstały 54 pożary, w wyniku których spaleniem uległo 12,69 ha. Średnia powierzchnia pożaru wyniosła 0,24 ha i była niższa od średniej dla tego okresu w Lasach Państwowych o 0,14 ha. Większość pożarów miało miejsce w bezpośrednim sąsiedztwie terenów zamieszkałych lub związanych z terenami turystyczno-rekreacyjnymi. Najwięcej pożarów odnotowano w Nadleśnictwie Browsk (27 na powierzchni 10,56 ha) i kolejno w Nadleśnictwie Hajnówka (18, powierzchnia 0,47 ha) i Białowieża (7, powierzchnia 0,23 ha). W Białowieskim Parku Narodowym wybuchły 2 pożary, obejmując powierzchnię 1,43 ha. Dominowały pożary pokrywy gleby, które stanowiły blisko 80% łącznej liczby zdarzeń (w LP pożary tego rodzaju stanowiły około 90%). Zdecydowanie liczniej w porównaniu do Lasów Państwowych (1,3%) wystąpiły w Puszczy pożary pojedynczych drzew (18,5%). W dziesięcioleciu poprzedzającym gradację (2002–2011) odnotowano niewiele większą liczbę pożarów (60) na powierzchni ponad dwukrotnie większej niż w latach 2012–2021. Niepoprawne byłoby przeprowadzenie wnioskowania na podstawie bezpośredniego porównania danych statystycznych o pożarach, które powstały w ciągu dekady przed gradacją, jak i w jej czasie. Stwierdzono, że dekada lat 2002–2011 była bardziej „palna”, gdyż w tym czasie w Polsce wybuchło 97 190 pożarów lasu o powierzchni 56 985 ha. W kolejnym dziesięcioleciu powstało 68 947 pożarów, a powierzchnia spalona objęła 34 773 ha. Na zmniejszenie liczby pożarów miały wpływ m.in. mniej korzystne warunki pogodowe. Przypuszcza się, że prawdopodobieństwo powstania pożarów w Puszczy Białowieskiej zostało zmniejszone poprzez ograniczenie jej dostępności w wyniku pandemii COVID-19 oraz sytuacji na granicy z Białorusią. Trzeba mieć także na uwadze możliwy wzrost świadomości lokalnej społeczności o wzroście ryzyka pożarowego w czasie gradacji i bezpieczniejsze korzystanie z lasu. Można zakładać, że w sytuacji dużego zagrożenia pożarowego Puszczy wzro-

śla gotowość operacyjna służb ratowniczych, co mogło mieć wpływ na skuteczność prowadzonych działań gaśniczych i niską (prawie dwukrotnie) wartość średniej powierzchni pożaru (w porównaniu do okresu 2002–2011), która jest swego rodzaju miernikiem funkcjonowania systemu ochrony przeciwpożarowej lasu.

Na wzrost potencjalnego zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieskiej wpływa nie tylko rozpad drzewostanów powodujących pojawienie się dużej ilości czynnej pożarowo palnej biomasy. Bardzo istotnym czynnikiem, który należy uwzględnić w ocenie ryzyka pożarowego w Puszczy, jak i w planowaniu jej zabezpieczenia przeciwpożarowego jest aktualna sytuacja na granicy z Białorusią. Opracowany w 2019 r. „Plan przeciwpożarowego zabezpieczenia i gaszenia pożarów lasu dla polskiej części Transgranicznego Obiektu Światowego Dziedzictwa Białowieża Forest” oraz jego uzupełniona wersja w 2022 r. nie uwzględniał tego ryzyka, wynikającego z nielegalnej imigracji. Sytuacja ta powinna być monitorowana także pod kątem możliwych i faktycznie występujących zagrożeń dla bezpieczeństwa pożarowego Puszczy. Potwierdzają to przykłady pożarów wzniesionych przez imigrantów wskutek palenia ognisk w celu ogrzania się. Należy także odnotować fakty rozpalania ognisk nie tylko przez cudzoziemców, ale także przez osoby strzegące granicy. Kluczowym czynnikiem powodującym zagrożenie jest zwiększona antropopresja, z którą związane jest prawdopodobieństwo pojawienia się bodźca cieplnego, gdyż dwa pozostałe elementy tak zwanego trójkąta spalania (materiał palny i utleniacz) warunkujące możliwość powstania pożaru w lesie są niemożliwe do ograniczenia.

Analiza zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieskiej powstałego w wyniku gradacji kornika drukarza dała podstawę do opracowania „Planu przeciwpożarowego zabezpieczenia i gaszenia pożarów lasu dla polskiej części Transgranicznego Obiektu Światowego Dziedzictwa Białowieża Forest” obejmującego: prognozowanie zagrożenia pożarowego, wykrywanie pożarów, system łączności i alarmowania, dojazdy pożarowe, zaopatrzenie wodne, wyposażenie w sprzęt gaśniczy oraz zasady prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych.

Zgodnie z decyzją Ministra Klimatu i Środowiska dla Planu została sporządzona prognoza oddziaływania na środowisko (Prognoza... 2021). Prognozę oddziaływania na środowisko wykonało Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Białymstoku w ramach umowy realizowanej przez Instytut Badawczy Leśnictwa na zlecenie NFOSiGW pt. „Opracowanie ostatecznej wersji Planu przeciwpożarowego zabezpieczenia i gaszenia pożarów lasu dla polskiej części Transgranicznego Obiektu Światowego Dziedzictwa Białowieża Forest wraz z przeprowadzeniem strategicznej oceny oddziaływania na środowisko i przeprowadzeniem konsultacji społecznych”. Generalnym wnioskiem Prognozy było stwierdzenie, że Plan realizując niezbędne działania w zakresie bezpieczeństwa publicznego, jako dokument mający na celu przeciwdziałanie pożarom przy spełnieniu zasady przezorności i stosowaniu w jak najszerszym zakresie działań minimalizujących, nie wpłynie negatywnie na środowisko, w tym również na przedmioty ochrony i integralność obszaru

Natura 2000 PLC200004 Puszcza Białowiecka, PLB20007 Dolina Górnej Narwi, PLH200010 Ostoja w Dolinie Górnej Narwi oraz na wyjątkową uniwersalną wartość Obiektu Światowego Dziedzictwa UNECSO „Puszcza Białowiecka”. Zachowana zostanie również spójność obszarów Natura 2000. Plan został zaakceptowany i wprowadzony do realizacji decyzją Ministra Klimatu i Środowiska w dniu 20 stycznia 2023 r.

Literatura

- Byram G.M. 1963. An analysis of the drying process in forest fuel material. Int. Symp. on Humidity and Moisture, Southern Forest Fire Laboratory, Southeastern Forest Experiment Station, U.S. Department of Agriculture, Macon, Georgia.
- Castellnou M. C., Hernandez A. G. 2018. Incendios como bombas atómicas. El País <https://elgais.com> [data dostępu: 15.03.2023].
- Debonnet G., Ossola C. 2018. Raport ze wspólnej misji Centrum Światowego Dziedzictwa UNESCO i Reaktywnego Monitoringu IUCN w Puszczy Białowieckiej w dniach od 24 września do 2 października.
- Ginszt T., Laskowska-Ginszt A. 2022. Ten years (2012–2021) of spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) activity in the Białowieża Forest District of the Białowieża Primeval Forest. *Sylwan* 166: 183–193. DOI 10.26202/sylvan.2022005.
- Gutowski J.M., Bobiec A., Pawlaczyk P., Zub K. 2004. Drugie życie drzewa. WWF Polska, Warszawa – Hajnówka.
- Instrukcja ochrony przeciwpożarowej lasu. 2020. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Kamińska A., Lisiewicz M., Kraszewski B., Stereńczak K. 2022. Kompleksowa analiza zamierania świerka w Puszczy Białowieckiej w latach 2015 – 2019, w: K. Stereńczak (red.), Aktualny stan Puszczy Białowieckiej na podstawie wyników projektu LIFE+ ForBioSensing. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary: 283–296.
- Prognoza oddziaływania na środowisko Planu przeciwpożarowego zabezpieczenia i gaszenia pożarów lasu dla polskiej części Transgranicznego Obiektu Światowego Dziedzictwa Białowieża Forest. 2021. Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej Oddział Białystok, Białystok.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych zasad bezpieczeństwa przeciwpożarowego lasów. Dz.U. 2010 nr 137 poz. 923.
- Stereńczak K., Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kraszewski B., Ciarcka Z., Mielcarek M. 2015. Wpływ ilości martwego drewna w Puszczy Białowieckiej na zagrożenie pożarowe oraz zagrożenie ludzi. Maszynopis. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Szczygieł R. 1989. Rozprzestrzenianie się pożaru pokrywy gleby leśnej – próba modelowania. Rozprawa doktorska. Maszynopis. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Szczygieł R. 2017. Podstawy procesu spalania w środowisku leśnym, w: A. Szajewska (red.), Wybrane zagadnienia z ochrony przeciwpożarowej lasu. Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa: 51–113.
- Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kołakowski B. 2016a. Martwe drewno a zagrożenie pożarowe lasu. Postępy Techniki w Leśnictwie 135: 33–38.
- Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kołakowski B. 2016b. Zagrożenie pożarowe Puszczy Białowieckiej. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza 43: 143–160. DOI 773 10.12845/bitp.43.3.2016.13.
- Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kołakowski B., Klimczyk A., Szczęśniak E., Dawidowicz A., Furgoń M., Kossowska M., Malkiewicz A., Wiśniewski K. 2017. Zasady ochrony przeciwpożarowej Puszczy Białowieckiej. Załącznik nr 1 do „Opracowanie zasad ochrony przeciwpożarowej obiektów chronionych oraz stosowania kontrolowanego wypalania, jako metody czynnej ochrony przyrody – Etap I”. Maszynopis. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kołakowski B. 2018. Wpływ gradacji kornika drukarza na zagrożenie pożarowe Puszczy Białowieckiej. *Sylwan* 162: 955–964.
- Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kołakowski B. 2019. Plan przeciwpożarowego zabezpieczenia i gaszenia pożarów lasu dla polskiej części Transgranicznego Obiektu Światowego Dziedzictwa Białowieża Forest. Sękocin Stary.
- Szczygieł, Kwiatkowski M., Kołakowski B., Klimczyk A., Szczęśniak E., Dawidowicz A., Furgoń M., Kossowska M., Malkiewicz A., Wiśniewski K. 2017. Zasady ochrony przeciwpożarowej Puszczy Białowieckiej. Załącznik nr 1 do „Opracowanie zasad ochrony przeciwpożarowej obiektów chronionych oraz stosowania kontrolowanego wypalania, jako metody czynnej ochrony przyrody – Etap I”. Maszynopis. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Szczygieł R., Kwiatkowski M., Tyburski Ł. 2022. Monitoring zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieckiej jako narzędzie zarządzania i reagowania kryzysowego. Maszynopis. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Wielkoobszarowa Inwentaryzacja Stanu Lasów w Polsce (WISL). Wyniki za okres 2007–2011. 2012. Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej, Sękocin Stary. https://www.rm24.pl/fakty/swiat/news-pozar-w-parku-narodowym-czeska-szwajcaria-strazacy-zrezygnow,nId,6180312#crp_state=1 (dostęp 03.07.2023).

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania badań

Badania sfinansowano ze źródeł:

- NFOŚiGW w ramach projektów: „Wpływ ilości martwego drewna w Puszczy Białowieckiej na zagrożenie pożarowe oraz zagrożenie ludzi”, „Plan przeciwpożarowego zabezpieczenia i gaszenia pożarów lasu dla polskiej części Transgranicznego Obiektu Światowego Dziedzictwa Białowieża Forest”,
- DGLP w ramach projektów: „Opracowanie zasad ochrony przeciwpożarowej obiektów chronionych oraz stosowania kontrolowanego wypalania jako metody czynnej ochrony przyrody”, „Monitoring zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieckiej jako narzędzie zarządzania i reagowania kryzysowego”.

Wkład autorów

R.S. – (70%) koncepcja artykułu, udział w pracach terenowych, przegląd literatury, analiza zebranych materiałów, korekta; M.K. – (20%) koncepcja artykułu, udział w pracach terenowych, analiza zebranych materiałów; Ł.T. – (10%) koncepcja artykułu, przegląd literatury, korekta.