



**Monika Zajemska<sup>1</sup>, Dorota Musiał<sup>1</sup>, Korneliusz Łukasiak<sup>1</sup>,  
Damian Hajdas<sup>2</sup>, Piotr Placek<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Politechnika Częstochowska,  
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów,  
Katedra Pieców Przemysłowych i Ochrony Środowiska  
al. Armii Krajowej 19, 42–200 Częstochowa  
e-mail: zajemska@wip.pcz.pl*

<sup>2</sup>*Politechnika Częstochowska,  
Wydział Zarządzania  
al. Armii Krajowej 19, 42–200 Częstochowa  
e-mail: hajdasd@cspsp.pl, placekp@cspsp.pl*

## ANALIZA WYBRANYCH GATUNKÓW DRZEWOSTANU POD KĄTEM ZAGROŻENIA POŻAROWEGO

**Streszczenie.** Pożary lasów przyczyniają się do powstawania szkodliwych, a także długotrwałych zmian w ekosystemach roślinnych. Prowadzą również do zmian w atmosferze na skutek emisji GHG (*greenhouse gas* – gaz cieplarniany), powstających podczas procesu spalania, będących jedną z przyczyn efektu cieplarnianego. W Polsce w dalszym ciągu odnotowuje się wzrost liczby pożarów lasu, jak również powierzchni spalonej. Czynniki meteorologiczne, które sprzyjają powstawaniu zagrożenia pożarowego, rzutują na poziom wilgotności palnych materiałów leśnych, co może prowadzić do zapoczątkowania procesu spalania oraz możliwości rozprzestrzeniania się pożaru. Biorąc pod uwagę powyższe, podjęto problematykę wpływu wybranych właściwości dwóch gatunków drzewostanu, tj. sosny i brzozy na zagrożenie pożarowe.

**Słowa kluczowe:** zagrożenie, pożar, drzewostan, ciepło spalania.

## ANALYSIS OF SELECTED STAND SPECIES FOR FIRE HAZARD

**Abstract.** Forest fires contribute to the formation of harmful as well as long-term changes in the plant ecosystems. They also lead to changes in atmosphere, due to emission of GHG, generated during the combustion process, which are one of the cause of

greenhouse effect. In Poland the number of forest fires still increases, as well as burned surface area. Meteorological factors that favor uprising of fire hazard, affect the humidity level of combustible forest materials, which may lead to the initiation of the combustion process and the possibility of fire spreading. Taking the above into consideration, the problems of the influence of selected properties of two species of a forest stand, i.e. pine and birch, on the fire hazard were addressed.

**Keywords:** fire hazard, conflagration, forest stand, heat of combustion.

## Wprowadzenie

Lasy w Polsce, według danych Głównego Urzędu Statystycznego za 2016 r., zajmują powierzchnię 9230 tys. ha, co odpowiada lesistości 29,5% [1]. W Polsce największą powierzchnię zajmują lasy publiczne, tj. 7458 tys. ha, do których zaliczane są:

- Lasy Państwowe – 7107 tys. ha,
- Parki Narodowe – 185 tys. ha,
- Zasoby Własności Rolnej Skarbu Państwa – 83 tys. ha,
- Własność gmin – 83 tys. ha.

Resztę powierzchni leśnej kraju zajmują lasy stanowiące własność osób prywatnych – 101 tys. ha oraz fizycznych – 1671 tys. ha.

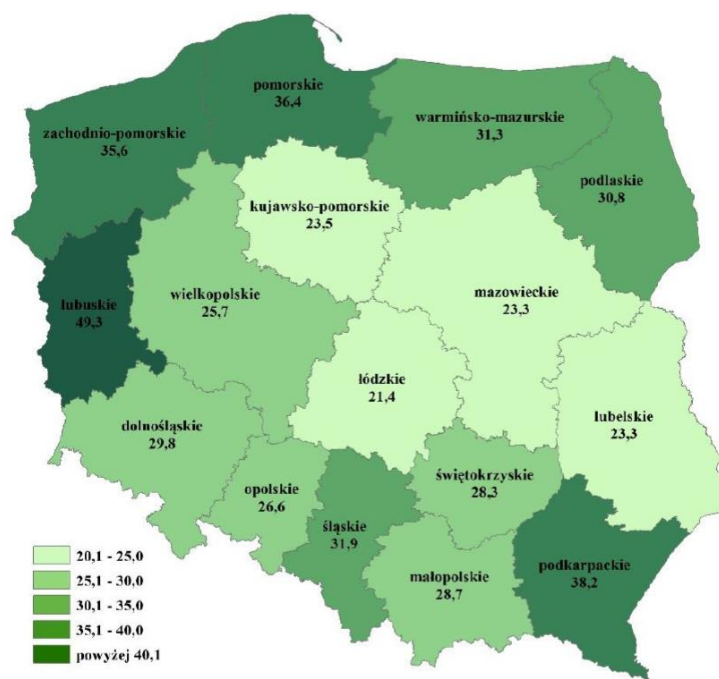
Lesistość dla poszczególnych województw przedstawiono na Rys. 1. Najwyższą lesistością (49,3%) charakteryzuje się województwo lubuskie, natomiast najniższą (21,4%) – województwo łódzkie.

Jak wynika z Rys. 1 najbardziej zalesionymi województwami są: lubuskie, podkarpackie, pomorskie, zachodniopomorskie. Województwa o średnim poziomie zalesienia to: śląskie, warmińsko-mazurskie, podlaskie, dolnośląskie, małopolskie, świętokrzyskie, opolskie, wielkopolskie. Najmniej zalesionymi województwami są województwa: kujawsko-pomorskie, lubuskie, mazowieckie oraz łódzkie.

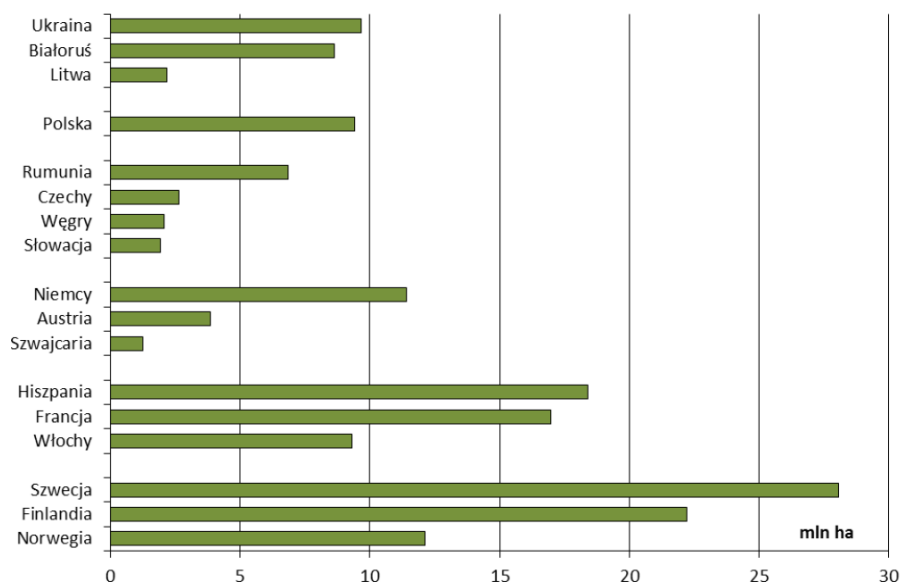
W Polsce występują trzy rodzaje lasów, tj.: iglaste, liściaste oraz mieszane. Największą powierzchnię stanowią lasy iglaste.

Na Rys. 2 przedstawiono zalesienie Polski na tle innych krajów.

Najbardziej zalesionym krajem jest Szwecja, gdzie powierzchnia leśna zajmuje ponad 28 mln ha oraz Finlandia (23 mln ha). W Hiszpanii oraz Francji powierzchnia leśna zajmuje ponad 15 mln ha. W Polsce powierzchnia leśna zajmuje ok. 9 mln ha i jest ona zbliżona do powierzchni lasów Ukrainy i Włoch. Najmniej zalesionymi krajami są: Czechy, Litwa, Słowacja, Węgry oraz Szwajcaria, gdzie powierzchnia zalesiona wynosi zaledwie 2 mln ha.



Rys. 1 . Lesistość Polski w % według województw w 2016 r. (GUS) [1]



Rys. 2. Całkowita powierzchnia leśna w 2016 r. [1]

## Potencjalne zagrożenia pożarowe w Polsce

W lasach zagrożenie pożarowe kształtowane jest w zależności od trzech czynników [2]:

- *pogoda*, stan której określa między innymi wilgotność powietrza, temperatura powietrza, natężenie promieniowania słonecznego (insolacja), kierunek oraz prędkość wiatru, rodzaj chmur, jak również zachmurzenie i opady atmosferyczne;
- *możliwość pojawienia się bodźca energetycznego wytwarzającego ciepło, czyli punktowego źródła ciepła*, przykładem może być iskra mechaniczna albo iskra pochodząca ze zwarcia elektrycznego, żarzące się końcówki od papierosa, płomień zapałki, jak również iskry powstałe w wyniku wyładowań atmosferycznych, które mogą prowadzić do inicjacji procesu spalania. Są to czynniki związane z naturalnymi zjawiskami atmosferycznymi, samozapłonem biologicznym lub działalnością człowieka, tj.: przebiegające przez las albo w jego sąsiedztwie drogi publiczne, drogi dojazdowe, niebędące drogami publicznymi do zakładu magazynowego albo przemysłowego, linie kolejowe, drogi poligonowe oraz występujące bezpośrednio w lesie lub w jego sąsiedztwie obiekty użyteczności publicznej, obiekty magazynowe, parkingi, zakłady przemysłowe, obiekty na terenie poligonów wojskowych, składowiska materiałów niebezpiecznych, grunty rolne, miejsca masowego wypoczynku, rurociągi oraz gazociągi itp. Bodźce energetyczne mogą wytworzyć ciepło powyżej 260°C, co może prowadzić do zainicjowania pożaru materiałów leśnych;
- *materiał palny*, to przede wszystkim rodzaj gleby oraz jej pokrywa - krzewy, runo leśne, szuwary, wrzosowiska, trzcinowiska, sucha trawa, podrost iglasty (tj. nie w pełni wyrosnięte młode drzewka, wysokość ich to ponad 0,5 m stanowiące zarodek głównego gatunku drzewostanu), podszczyp iglasty (niskie drzewa oraz krzewy znoszące ocienienie, które nigdy nie osiągną wysokości ponad 4 m, stanowiąc piętro środkowe lasu, żywe drzewa (przede wszystkim iglaste) oraz martwe, jak również te leżące na pokrywie gleby, chrust, suche gałęzie, powalone drzewa oraz odpady poeksploatacyjne. Porosty jak też mchy mają działanie opóźniające na rozprzestrzenianie się pożaru. Ściółka, która posiada wilgotność przekraczającą 30% opóźnia lub całkowicie wyklucza powstanie pożaru. Im mniejsza wilgotność ściółki, tym większe prawdopodobieństwo powstania pożaru. Spośród wielu metod określania zagrożenia pożarowego lasu na szczególną uwagę zasługują:
  - Metoda Niestierowa (modyfikacji PIHiM) oraz Metoda Käsego,
  - Instytutu Badawczego Leśnictwa i Szczygła, które są stosowane aktualnie na terenie Polski,

- Zmodyfikowana metoda kanadyjska, obecnie stosowana na terenie Europy [3].

## **Analiza pożarów lasu w Polsce na przestrzeni lat 2014–2016**

Analizę ilości pożarów występujących na terenie kraju na przestrzeni lat 2014–2016 przeprowadzono na podstawie map Krajowego Systemu Informacji o Pożarach Lasów dostępnych na stronie Instytutu Badawczego Leśnictwa [4]. Na Rys. 3 przedstawiono przykładową mapę dla roku 2016, z podziałem na województwa.

W 2016 roku, jak w poprzednich analizowanych latach, najwięcej pożarów wystąpiło w województwie mazowieckim, liczba pożarów lasu przekroczyła 1000. Przedział od 501–750 pod względem liczby pożarów objął województwa: wielkopolskie, dolnośląskie oraz śląskie. W województwach: pomorskim, zachodniopomorskim, lubuskim, kujawsko-pomorskim, łódzkim oraz świętokrzyskim liczba pożarów wynosiła od 251–500. Mniej pożarów wystąpiło w województwie warmińsko-mazurskim, podlaskim, lubelskim i podkarpackim, gdyż liczba pożarów wyniosła 126–250. W województwie małopolskim oraz opolskim liczba pożarów była najmniejsza, wyniosła od 1–125.

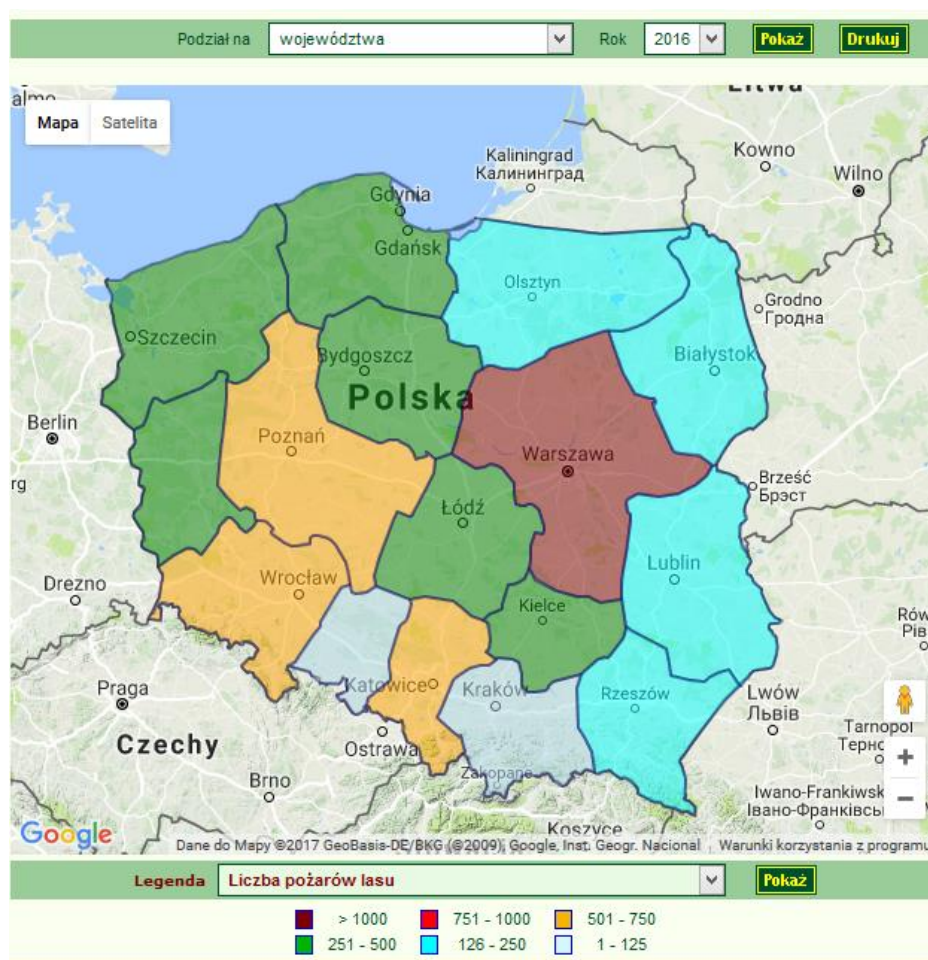
Biorąc pod uwagę trzy analizowane, lata największa liczba pożarów wystąpiła w roku 2015. Powodem tak dużej liczby mogło być gorące lato, ponieważ temperatura w okresie letnim przekraczała 24°C, podczas gdy opady atmosferyczne nie przekraczały 1 mm/dobę. Najwięcej pożarów na przestrzeni lat 2014–2016 wystąpiło w województwie mazowieckim, najmniej natomiast w województwie małopolskim.

## **Analiza wybranych własności drzewostanu na zagrożenie pożarowe**

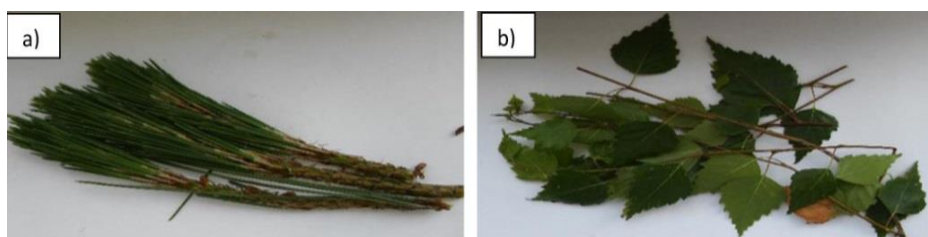
Głównym założeniem niniejszego artykułu było określenie wpływu wybranych własności różnych gatunków drzewostanu na zagrożenie pożarowe. Do badań wybrano dwa rodzaje drzewostanu, a mianowicie: sosnę i brzozę (Rys. 4).

Zakres badań obejmował:

- oznaczenie zawartości wilgoci zgodnie z normą PN-EN-ISO-18134-1\_2015-11E, tj. wilgoci przemijającej metodą suszenia na powietrzu oraz higroskopijnej metodą suszarkową,
- oznaczenie masowej szybkości spalania,
- oznaczenie ciepła spalania zgodnie z normą PN-EN-14918:2009: PN-EN-14918:2009.



Rys. 3. Liczba pożarów lasu w 2016 r. [4]



Rys. 4. Widok próbek przed suszeniem: a) igłowie sosnowe, b) liście brzozy

Próbki przeznaczone do suszenia wymagały rozdrobnienia do granulacji podyktowanej normą [5]. Próbki zmielono przy użyciu laboratoryjnego młynka nożowego wyposażonego w zestaw sit o różnej granulacji. Proces rozdrabniania materiału był utrudniony ze względu na zbyt dużą wilgotność próbek. Wyniki zawartości wilgoci w analizowanych próbkach zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników oznaczania zawartości wilgoci w badanych próbkach

Typ drzewostanu	Zawartość wilgoci %	
	Wilgoć przemijająca	Wilgoć higroskopijna
Sosna	5,69	63,26
Brzoza	5,63	57,60

Dla rozpatrywanych drzewostanów stwierdzono porównywalną zawartość wilgoci przemijającej na poziomie 5,48–5,69%. W przypadku oznaczenia zawartości wilgoci higroskopijnej sosna odznaczała się największą zawartością na poziomie 63,26%, natomiast dla brzozy osiągnięto wartość o ok. 6 % niższą.

W następnym etapie, dla wytypowanych gatunków drzewostanu, przeprowadzono eksperymenty umożliwiające wyznaczenie masowej szybkości spalania. W rozważaniach przyjęto, ujednoczoną dla wszystkich próbek, wstępną wartość masy na poziomie 10 g. Na Rys. 5 przedstawiono moment zapłonu i proces spalania próbki igliwia sosnowego, natomiast na Rys. 6 widok pozostałości po spalaniu próbek.

Za pomocą oprogramowania Pomiar-Win, przeznaczonego do zbierania danych pomiarowych z wagi RADWAG, możliwy był:

- bezpośredni odczyt danych z wagi oraz ich rejestracja,
- archiwizacja danych pomiarowych,
- wizualizacja danych pomiarowych.

Podczas przeprowadzania pierwszej próby spalania igliwia sosnowego zauważono, że badany materiał palił się bardzo opornie. Przez całą próbę podtrzymywane było źródło ciepła (Rys. 7).

Początkowa masa próbki sosny wynosiła 9,659 g. Największą różnicę w spadku masy odnotowano między 127 a 163 s. Po 217 sekundzie spalanie przebiegało w sposób liniowy. Ostatni zanotowany ubytek masy nastąpił w 281 s. Masowa szybkość spalania wyniosła 0,0128 g/s.

Kolejny eksperyment przeprowadzono dla brzozy (Rys. 8).

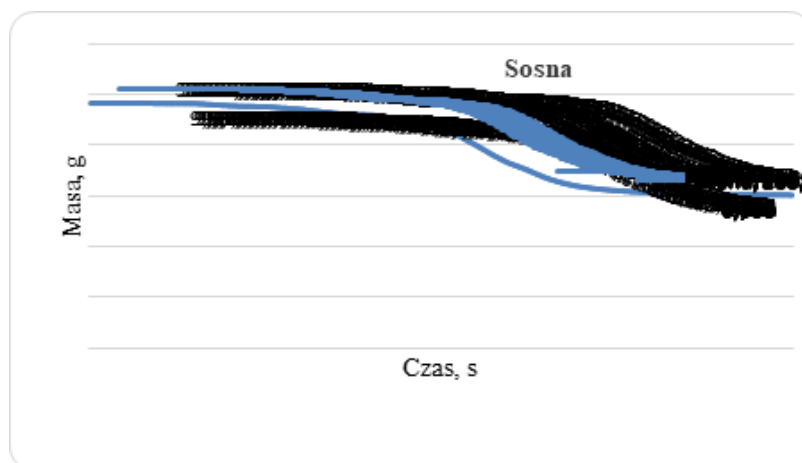


Rys. 5. Widok zapłonu i procesu spalania próbki igliwia sosnowego

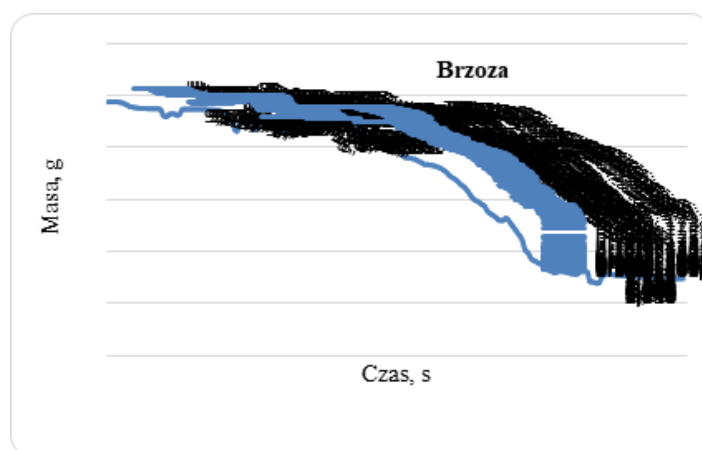


Rys. 6. Widok pozostałości po spalaniu próbki: a) igliwie sosnowe, b) liście brzozy





Rys. 7. Ubytek masy w czasie dla igliwia sosnowego



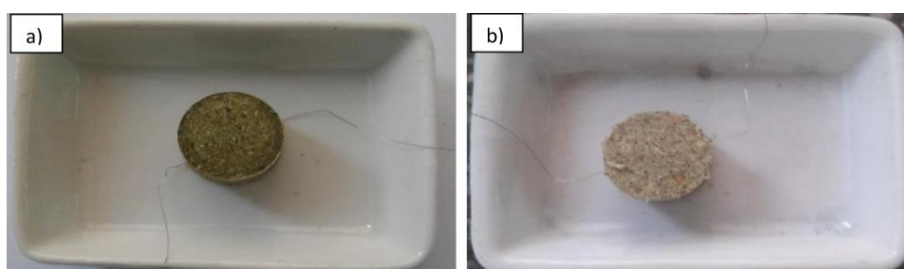
Rys. 8. Ubytek masy w czasie dla brzozy

Początkowa masa próbki brzozy wynosiła 9,753 g. Przebieg ubytku masy w czasie był skokowy i nierównomierny. Największy ubytek miał miejsce między 78 a 183 sekundą. Średnia szybkość spalania wyniosła 0,028 g/s. Ostatni zanotowany ubytek masy nastąpił w 241 sekundzie.

Czynnikami, które miały wpływ na wyniki analizy były: przybliżona, jednak nierówna masa próbek, różna temperatura podczas spalania, źródło płomienia (w przypadku spalania sosny był on cały czas podtrzymywany), różna zawartość wilgoci w analizowanych próbkach, „wyrzucanie” materiału na zewnątrz obserwowane podczas spalania brzozy.

Analiza ubytku masy w czasie dla wybranych gatunków drzewostanu odbywała się w warunkach laboratoryjnych. Warto zaznaczyć, iż nie są to warunki odpowiadające warunkom sprzyjającym stworzeniu prawdziwego zagrożenia pożarowego.

W celu oznaczenia ciepła spalania, zgodnie z normą [6], wszystkie próbki przygotowano w postaci sprasowanej pastylki (Rys. 9), a następnie umieszczono w bombie kalorymetrycznej. Oznaczenia ciepła spalania dokonano za pomocą kalorymetru KL-12Mn2.



Rys. 9. Widok pastylek z: a) sosny, b) brzozy

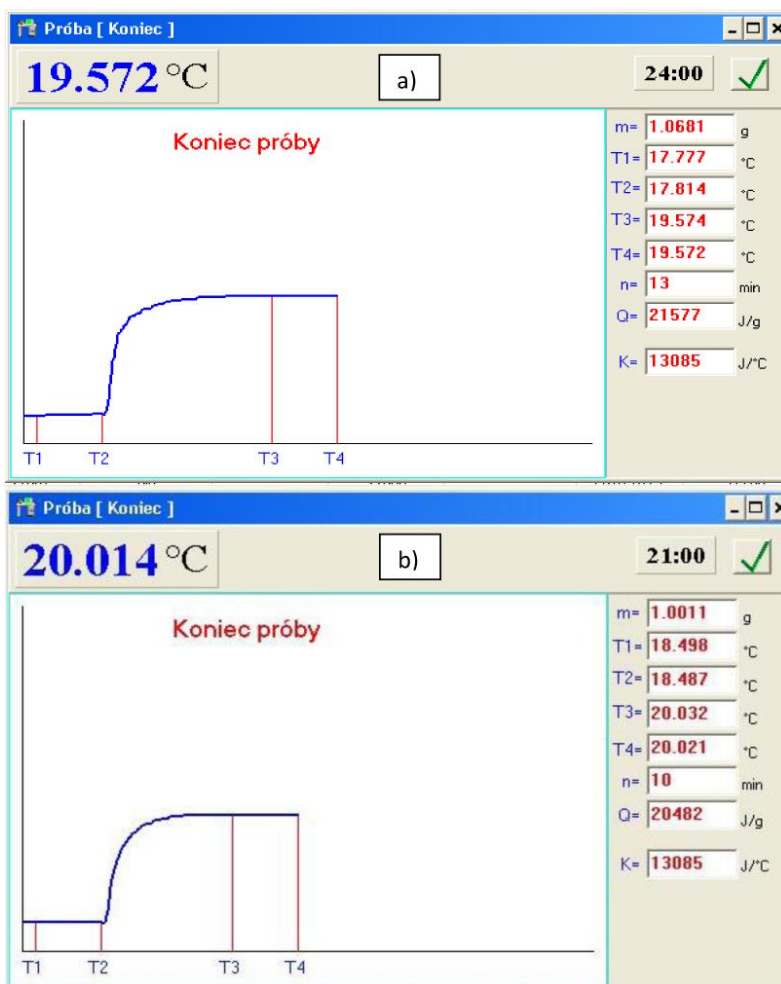
Przebieg procesu spalania próbki sosny oraz brzozy w bombie kalorymetrycznej przedstawiono na Rys. 10.

Masa badanych próbek sosny oraz brzozy wynosiła ok. 1 g. Okres wstępny zapoczątkowano temperaturą T1, po 5 minutach nastąpiła rejestracja temperatury T2, po osiągnięciu której uruchamiał się zapłon oraz rozpoczynał cykl główny procesu spalania, trwający aż do osiągnięcia maksymalnej temperatury – T3.

Analizując przebieg procesu spalania sosny (Rys. 10. a), można zauważyć, że pierwsza zarejestrowana temperatura T1 wyniosła 17,78°C. Po upływie 5 minut odnotowano temperaturę T2 = 17,81°C, po osiągnięciu której rozpoczął się cykl główny trwający n = 13 minut, aż do osiągnięcia temperatury maksymalnej T3 = 19,57°C. Temperatura końcowa T4 wyniosła 19,572°C. Ciepło spalania próbki z sosny wyniosło Q = 21577 J/g.

Analizując przebieg procesu spalania brzozy, po rozpoczęciu cyklu pomiarowego pierwsza temperatura T1 wyniosła 18,498°C. Po upływie 5 minut odnotowano temperaturę T2 wynoszącą 18,487°C, po osiągnięciu której nastąpił zapłon rozpoczynający cykl główny próbki i trwający n = 10 minut, aż do osiągnięcia temperatury maksymalnej T3 = 20,032°C. Temperatura końcowa T4 wyniosła 20,021°C. Ciepło spalania próbki z brzozy wyniosło Q = 20482 J/g.

Podsumowując, można powiedzieć, że najdłuższy cykl główny miał miejsce w przypadku sosny i trwał 13 minut, natomiast w przypadku brzozy wyniósł 10 minut. Największe ciepło spalania otrzymano dla próbki igliwia sosnowego i wynosiło ono 21577 J/g, natomiast dla brzozy wyniosło 20482 J/g.



Rys. 10. Widok przebiegu procesu spalania dla: a) sosny, b) brzozy

## Stwierdzenia i wnioski końcowe

Na podstawie przeglądu literaturowego, przeprowadzonych badań oraz własnych obserwacji związanych z zagrożeniem pożarowym sformułowano następujące stwierdzenia i wnioski końcowe:

- Występują cztery rodzaje pożarów lasu, tj. pożar podpowierzchniowy, całkowity drzewostanu, pokrywy gleby oraz pojedynczych drzew.
- Według danych Głównego Urzędu Statystycznego lasy w Polsce zajmują powierzchnię ok. 9,2 mln ha.

- Najbardziej zalesionym województwem jest województwo lubuskie.
- Najbardziej zalesionym krajem jest Szwecja.
- Dominującym iglastym drzewem w polskich lasach jest sosna, a zaraz po niej świerk.
- Dominującym drzewem liściastym w polskich lasach jest brzoza oraz olsza.
- Zagrożenie pożarowe kształtują: pogoda, możliwość pojawienia się bodźca energetycznego wytwarzającego ciepło oraz rodzaj materiału palnego.
- Analiza pożarów lasu w Polsce na przestrzeni lat 2014–2016 wykazała, iż najwięcej pożarów w województwie mazowieckim, najmniej natomiast w województwie małopolskim.
- Największą zawartość wilgoci spośród analizowanych próbek miała sosna i wyniosła ona 63,266%.
- Największe ciepło spalania miała sosna i wyniosło ono  $Q = 21,58$  MJ/kg.
- Igliwie sosnowe w otwartej przestrzeni paliło się dużo trudniej, aniżeli brzoza. W trakcie całego procesu spalania niezbędne było podtrzymywanie źródła ciepła.
- Największą szybkość spalania odnotowano dla brzozy i była ona dwukrotnie większa aniżeli dla igliwia sosnowego.

## Literatura

- [1] Główny Urząd Statystyczny. Raport o stanie lasów w Polsce 2016.
- [2] Zarzycki J., Ochrona przeciwpożarowa lasów, Warszawa 2013.
- [3] Wiler K., Wcisło P., Ochrona lasów przed pożarami, Warszawa 2013.
- [4] Instytut Badawczy Leśnictwa, [http://bazapozarow.ibles.pl/iblj\\_ppoz/faces/index.jsp](http://bazapozarow.ibles.pl/iblj_ppoz/faces/index.jsp), 02.12.2016 r.
- [5] PN-EN-ISO-18134-1\_2015-11E: Biopaliwa stałe. Oznaczanie zawartości wilgoci. Metoda suszarkowa.
- [6] PN-EN-14918:2009: PN-EN-14918:2009: Biopaliwa stałe – Oznaczanie wartości opałowej.