

Characteristics of combustion of chipboards made from alternative lignocellulosic raw materials

Charakterystyka spalania płyt wiórowych wytworzonych z alternatywnych surowców lignocelulozowych



DOI: 10.15199/62.2026.2.4

The flammability properties of 5 wood-based panels made from lignocellulosic raw materials, including both wood materials and agricultural waste, were examined. The flammability tests were performed using a cone calorimeter and a smoke generation chamber. The boards made from alternative raw materials were characterized by lower smoke emissions but more dynamic combustion, with clear differences in heat release rate (HRR) values. The highest combustion intensity was observed for boards made from rapeseed stems and post-prodn. residues, while their smoke prodn. was among the lowest. The varying values of mass loss and sp. optical d. of smoke indicate different mechanisms of thermal degradn. of the analyzed materials.

Keywords: flammability properties, lignocellulosic raw materials, wood-based panels

Zbadano właściwości palne pięciu płyt drewnopochodnych wytworzonych z surowców lignocelulozowych zawierających zarówno materiały drzewne, jak i odpady rolnicze. Badania palności wykonano za pomocą kalorymetru stożkowego oraz komory do badania dymotwórczości. Płyty z surowców alternatywnych charakteryzowały się mniejszą emisją dymu, lecz bardziej dynamicznym przebiegiem spalania, z wyraźnymi różnicami w wartościach szybkości wydzielania ciepła (HRR). Najwyższą intensywność spalania obserwowano dla płyt z pędów winorośli i pozostałości poprodukcyjnych, podczas gdy dymotwórczość była najniższa dla płyt z pędów winorośli i łodyg rzepaku. Zróżnicowane wartości utraty masy i właściwej gęstości optycznej dymu wskazują na odmienne mechanizmy degradacji termicznej analizowanych materiałów.

Słowa kluczowe: właściwości palne, surowce lignocelulozowe, płyty drewnopochodne

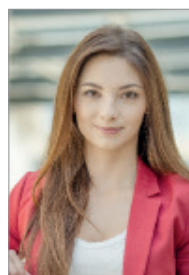
Zmiany klimatu w ostatnich dekadach wywierają coraz silniejszą presję na europejskie i krajowe ekosystemy leśne. W Polsce obserwuje się wyraźne pogarszanie kondycji najważniejszych gospodarczo gatunków drzew, szczególnie sosny i świerka. Sosna, kluczowy surowiec do produkcji płyt wiórowych, może w nadchodzących latach stopniowo tracić swoje dominujące znaczenie. Wzmacnia to potrzebę dywersyfikacji źródeł biomasy oraz poszukiwania materiałów, które mogłyby częściowo odciążać gospodarkę leśną

i zmniejszyć ryzyko związane z monokulturami gatunków szczególnie wrażliwych na zmieniające się warunki środowiskowe.

Jednocześnie rynek drzewny w Polsce stoi wobec narastającego deficytu surowca wynikającego z ograniczonego krajowego pozyskania drewna oraz zwiększonego eksportu, co przekłada się na wzrost cen^{1, 2)}. Branża płyt wiórowych, bazująca głównie na surowcu sosnowym oraz odpowiednio przetworzonym drewnie poużytkowym, coraz



Dr inż. Kamila MIZERA (ORCID: 0000-0001-7427-7588) ukończyła studia magisterskie na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej. W 2021 r. uzyskała stopień doktora w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Pracuje w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w Zakładzie Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych, obecnie na stanowisku adiunkta. W swojej pracy naukowej zajmuje się tematyką związaną z oceną palności i analizą substancji niebezpiecznych powstających podczas rozkładu i spalania różnych grup materiałów, jak również opracowywaniem metod uniepalniania tworzyw sztucznych. Specjalność – inżynieria materiałowa, badanie palności i emisji dymów, analiza substancji powstających podczas spalania



Dr inż. Marta PĘDZIK (ORCID: 0000-0003-3607-8128) ukończyła studia inżynierskie oraz magisterskie na kierunku inżynieria biotworzyw, a następnie studia magisterskie na kierunku technologia drewna na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu. W 2025 r. uzyskała stopień doktora w dziedzinie nauk rolniczych, w dyscyplinie nauki leśne na tym samym wydziale. Pracuje w Sieci Badawcza Łukasiewicz – Poznańskim Instytucie Technologicznym, obecnie na stanowisku starszego specjalisty ds. technologii materiałów lignocelulozowych w Grupie Badawczej Inżynierii Materiałowej, w Centrum Zrównoważonego Rozwoju. Specjalność – technologia tworzyw drzewnych, w szczególności płyt wiórowych z udziałem surowców alternatywnych, efektywność technologii w przemyśle drzewnym oraz zagadnienia gospodarki materiałowej w obiegu zamkniętym.

*** Adres do korespondencji:**

Zakład Zagrożeń Chemicznych i Pyłowych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, tel.: (22) 623-46-86, fax: (22) 623-36-93, e-mail: kamila.mizera@ciop.pl

wyraźniej odczuwa skutki zarówno zmian klimatycznych wpływających na kondycję lasów, jak i niestabilności rynku surowcowego. Technologia wytwarzania płyt wiórowych umożliwia jednak stosowanie szerokiej gamy materiałów lignocelulozowych dzięki wykorzystaniu rozdrobnionych cząstek i spoiw syntetycznych. Otwiera to możliwość częściowej substytucji drewna surowcami alternatywnymi. Z perspektywy bezpieczeństwa surowcowego szczególnie cenne są materiały, które nie konkurują z produkcją żywności, mogą być pozyskiwane z upraw prowadzonych na glebach słabszej jakości, a ich dostępność jest mniej wrażliwa na zmiany klimatyczne. Największy potencjał mają surowce będące produktami ubocznymi lub odpadami rolniczymi, które pozwalają na zagospodarowanie istniejących strumieni biomasy i jednocześnie ograniczają udział drewna pierwotnego w produkcji płyt wiórowych.

Odpady rolnicze stanowią ogromną pulę niewykorzystanych zasobów biomasy, które mogą być przetwarzane na różne sposoby, a w przypadku braku zagospodarowania mogą stanowić obciążenie ekonomiczne i środowiskowe^{3,4}. Wykorzystanie biomasy rolniczej do produkcji płyt wiórowych powinno być zatem nie tylko ekonomicznie opłacalne, lecz także prowadzić do wytwarzania wyrobów spełniających wymagania określone w normach technicznych. Racjonalne wykorzystanie zasobów naturalnych ma kluczowe znaczenie dla rozwoju biogospodarki i stanowi jedną z podstawowych zasad realizacji celów zrównoważonego rozwoju⁹. W tym kontekście gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) sprzyja przekształcaniu odpadów i pozostałości poprodukcyjnych w wartościowe produkty, zmniejszając zarówno zależność od surowców pierwotnych, jak i emisję CO₂. Jednocześnie włączenie surowców alternatywnych, takich jak odpady rolnicze, do produkcji materiałów drewnopochodnych wymaga kompleksowej oceny ich wpływu na właściwości użytkowe gotowych wyrobów, w tym bezpieczeństwo pożarowe.

Zastępowanie surowców konwencjonalnych biomasą pochodzenia rolniczego, mimo istotnych korzyści środowiskowych i ekonomicznych, może bowiem prowadzić do zmian w zachowaniu materiałów w warunkach oddziaływania wysokiej temperatury i ognia, co sprawia, że analiza palności surowców alternatywnych staje się kluczowym elementem oceny ich przydatności technologicznej.

Z literatury wiadomo, że palność włókien naturalnych jest ściśle związana z ich składem chemicznym, który obejmuje kluczowe składniki, takie jak celuloza, hemiceluloza,

lignina, pektyna i woski roślinne⁶. Każdy z tych składników odgrywa odrębną rolę w reakcji włókien naturalnych na warunki pożaru, wpływając na ich właściwości spalania.

Celuloza, główny składnik strukturalny, jest wysoce łatwopalna i może przyczyniać się do szybkiego rozprzestrzeniania się płomieni⁷. Hemiceluloza również wykazuje wysoką palność, podczas gdy lignina, choć mniej łatwopalna, może nadal uwalniać łatwopalne substancje lotne podczas pirolizy⁸.

W publikacjach dostępne są wyniki badań dotyczących związku między składem chemicznym włókien roślinnych a ich charakterystyką spalania. Dorez i współpr.⁸ stwierdzili korelację między zawartością ligniny a różnymi parametrami spalania, takimi jak wydajność zwęglenia, efektywne ciepło spalania oraz stosunek tlenu węgla do ditlenu węgla podczas testów w kalorymetrze stożkowym. Sugerują, że względne proporcje tych kluczowych składników mogą znacząco wpływać na ogólną palność włókien.

Z kolei Yang i współpr.⁹ opublikowali pracę, w której zbadali charakterystykę pirolizy 3 głównych składników biomasy (hemicelulozy, celulozy i ligniny) za pomocą analizatora termogravimetrycznego (TGA) z detektorem różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC). W analizie termicznej piroliza hemicelulozy i celulozy zachodziła szybko, przy czym utrata masy hemicelulozy miała miejsce głównie w temp. 220–315°C, a celulozy 315–400°C. Jednak lignina trudniej ulegała rozkładowi, ponieważ utrata jej masy następowała w szerokim zakresie temperatur (160–900°C), a zawartość stałej pozostałości była bardzo duża (40% mas.).

W celu zastąpienia surowca drzewnego alternatywnym surowcem lignocelulozowym korzysta się z interpretacji wyników uzyskanych dla surowca drzewnego. I tak np. w publikacji Mensah i współpr.¹⁰ przedstawiono szczegółowy przegląd etapów palności drewna, który obejmuje pirolizę, termiczny rozkład oksydacyjny, zapłon, spalanie i uwalnianie ciepła, a także mechanizmy gaszenia płomienia. Dowiedli oni, że w niższych temperaturach lignina jest głównym źródłem pozostałości po pirolizie drewna. Zapłon następuje szybciej w drewnie liściastym niż w drewnie iglastym. Temperatury zapłonu składników drewna podlegają następującej zasadzie: hemiceluloza < celuloza < lignina. Piroliza celulozy determinuje szybkość spalania drewna, ponieważ uwalnia znaczną część łatwopalnych substancji lotnych.



Dr Agnieszka GAJEK (0000-0003-2461-5352) w roku 1998 ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego, a w 2003 r. studia podyplomowe z zakresu bezpieczeństwa procesów przemysłowych na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Stopień doktora uzyskała w 2010 r. w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie. Jest adiunktem i kierownikiem Pracowni Bezpieczeństwa Chemicznego w Zakładzie Zagrożeń Chemicznych i Pyłowych CIOP-PIB. Specjalność – przeciwdziałanie poważnym awariom przemysłowym i ograniczanie ich skutków.



Dr inż. Monika BORUCKA (ORCID: 0000-0003-0261-0147) w roku 2009 ukończyła studia na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. W 2014 r. uzyskała stopień doktora nauk chemicznych na tym samym wydziale. Obecnie pracuje w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym jako adiunkt w Zakładzie Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych. Specjalność – chemia analityczna, analiza zanieczyszczeń środowiska, zagrożenia pożarowe, identyfikacja produktów spalania.

Głównym celem pracy była analiza właściwości palnych płyt wiórowych wytworzonych z surowców lignocelulozowych zawierających zarówno materiały drzewne, jak i odpady rolnicze.

Część doświadczalna

Materiały

Do badań wykorzystano 5 surowców lignocelulozowych: drewnianych i rolniczych, istotnych pod względem dostępności rynkowej, zagospodarowania oraz potencjału w produkcji płyt wiórowych. Skupiono się na ich właściwościach materiałowych i korzyściach środowiskowych. Stosownymi materiałami były (i) WP – wióry przemysłowe z drewna iglastego i poużytkowego, surowiec referencyjny dla krajowej produkcji płyt, (ii) P – pozostałości poprodukcyjne z obróbki drewna i tworzyw drzewnych jako przykład kaskadowego wykorzystania biomasy, (iii) W – pędy winorośli, lokalne resztki z cięć w winnicach, obecnie niewykorzystywane, (iv) S – łodygi soi, znaczące pozostałości po uprawie białkowej, z potencjałem w klejach biopochodnych i (v) RZ – łodygi rzepaku, największy strumień resztek z upraw oleistych, słabo zagospodarowany.

Metodyka badań

Na podstawie 5 rodzajów surowców, uprzednio rozdrobionych do odpowiednich frakcji wymiarowych, wykonano 3-warstwowe płyty o udziale 100% danego materiału. Założono ich gęstość na poziomie 670 kg/m^3 oraz grubość 16 mm, formując formatki o wymiarach $700 \times 500 \text{ mm}$ ze stałym udziałem masowym warstw. Cząstki surowca, wysuszone do ok. 2% wilgotności, połączono żywicą melaminowo-mocznikowo-formaldehydową (MUF) z 4-proc. zawartością melaminy oraz dodatkami utwardzaczami i emulsji parafiny, przy różnym stopniu zaklejenia dla warstw wewnętrznych i zewnętrznych.

Proces produkcyjny obejmował prasowanie na zimno, a następnie na gorąco. Zastosowano 9-stopniową redukcję ciśnienia, z maksymalnym nominalnym ciśnieniem $2,5 \text{ N/mm}^2$. Parametry czasu i temperatury prasowania były jednolite dla wszystkich wariantów, co pozwoliło na ocenę wpływu rodzaju surowca przy stałych warunkach technologicznych. Po wykonaniu badań fizykomechanicznych wyprodukowane płyty sklasyfikowano jako typ P2, zgodnie z normą¹¹⁾, przeznaczony do użytku wewnętrznego, w tym do produkcji mebli.



Mgr inż. Jan PRZYBYSZ (ORCID: 0000-0002-3958-1581) ukończył studia magisterskie na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej. Obecnie jest asystentem w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w Zakładzie Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych. Specjalność – badanie charakterystyk wybuchowych pyłów palnych oraz parametrów pożarowych.

Pomiary reakcji na ogień wykonano kalorymetrem stożkowym firmy Fire Testing Technology Ltd. zgodnie z obowiązującymi normami^{12,13)}. Próbkę o wymiarach $100 \times 100 \text{ mm}$ i grubości 16 mm, zabezpieczoną folią aluminiową na brzegach i kocem ceramicznym od spodu, umieszczono poziomo względem radiatora. Poddano je działaniu strumienia promieniowania cieplnego o gęstości 35 kW/m^2 , inicjując zapłon iskrownikiem. Dla każdego materiału wykonano co najmniej 3 powtórzenia.

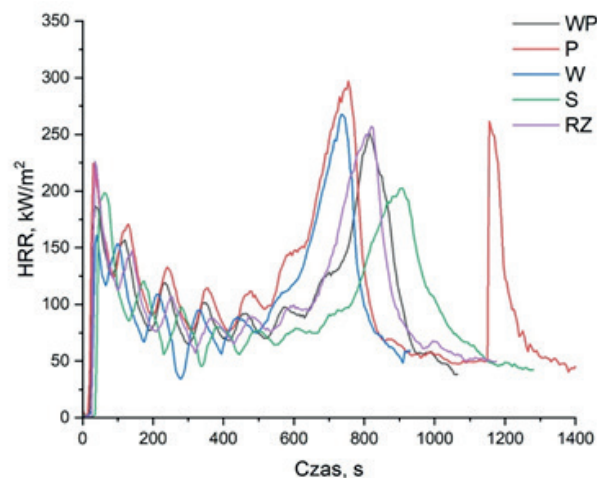


Fig. 1. Representative curves of heat release rate as a function of time obtained during testing in a cone calorimeter

Rys. 1. Reprezentatywne krzywe szybkości wydzielania ciepła (HRR) w funkcji czasu uzyskane podczas badania w kalorymetrze stożkowym

Dymotwórczość mierzono w komorze testowej tej samej firmy, wg normy¹⁴⁾, poddając próbki promieniowaniu cieplnemu 25 kW/m^2 , które powodowało ich termiczny rozkład i wydzielanie dymu. Wykonano minimum 3 pomiary dla każdego materiału.

Metody różniły się warunkami spalania: kalorymetr stożkowy pracował w nadmiarze powietrza, natomiast test jednokomorowy odbywał się w zamkniętej przestrzeni.

Wyniki badań

Parametrem kluczowym w ocenie palności materiałów była szybkość wydzielania ciepła (HRR). Na rys. 1 zestawiono reprezentatywne krzywe szybkości wydzielania ciepła w funkcji czasu dla badanych płyt wiórowych. Płyty uległy zapłonowi przed upływem 60 s od rozpoczęcia pomiaru. Najwyższą szybkość wydzielania ciepła po rozpoczęciu pomiaru zaobserwowano dla płyt P i RZ. Piki te pojawiły się przed upływem 100 s trwania pomiaru. W przypadku 2. piku wyraźnie obserwowano jego wcześniejsze pojawienie się dla płyt P i W. Jednocześnie pik pochodzący od płyty P był najwyższy ze wszystkich występujących. Drugi pik był maksymalną szybkością wydzielania ciepła (pHRR) dla wszystkich badanych płyt. Wyjątek stanowiła krzywa HRR dla płyty S, gdzie oba występujące piki były podobnej wartości.

Podwójne występowanie pików HRR mogło być związane z pęknięciem zwęglonej warstwy, co powodowało, że ciepło przenikało do wnętrza materiału, prowadząc do pojawienia się kolejnego piku HRR^{15,16)}.

W trakcie badań spalania drewna zazwyczaj obserwuje się 2 wyraźne piki, z których 1. występuje na wczesnym etapie procesu, a 2. tuż przed zaniknięciem płomienia. Początkowy pik wynika głównie z tworzenia się warstwy zwęglonej, która ogranicza dopływ ciepła i emisję gazów. Po jego wystąpieniu szybkość uwalniania ciepła stabilizuje się. W miarę postępu spalania pojawia się 2. wzrost szybkości wydzielania ciepła, spowodowany nagromadzeniem energii cieplnej wewnątrz próbki¹⁷⁾. Dla badanych materiałów obserwowano również różny czas palenia, co wpływało na różną długość rejestrowania krzywych spalania.

Wyjątek stanowiła płyta P, dla której obserwowane były 3 piki na krzywej HRR (rys. 1). Mogło to wynikać z faktu, że płyta ta powstała z pozostałości poprodukcyjnych, w których składzie obecne były resztki klejów używanych do sklejanego wiórów w płytach drewnopochodnych.

Między 2. a 3. pikiem obserwowano spadek HRR i jego płaski charakter. Mogło to świadczyć o tym, że proces spalania wszedł w *quasi*-ustalony etap, w którym tempo uwalniania energii pozostawało przez pewien czas prawie

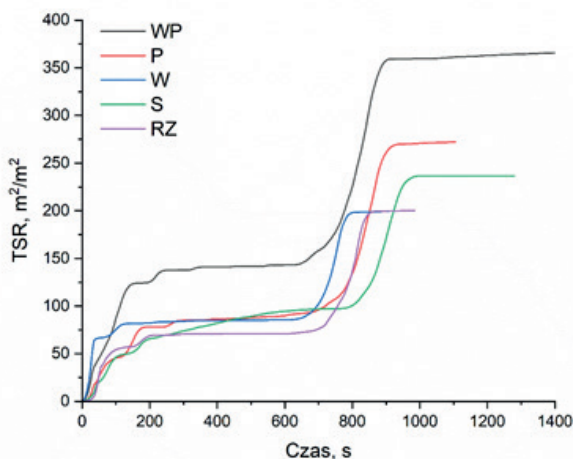


Fig. 2. Representative curves of total smoke release (TSR) as a function of time obtained during testing in a cone calorimeter

Rys. 2. Reprezentatywne krzywe całkowitej ilości wydzielania dymu (TSR) w funkcji czasu uzyskane podczas badania w kalorymetrze stożkowym

stałe¹⁸⁾. Wyłaszczenie krzywej (*plateau*) oznacza wtedy równowagę między dostarczanym ciepłem a szybkością rozkładu termicznego paliwa.

Na podstawie badań kalorymetrycznych zbadano także emisję dymu, określając całkowitą ilość wydzielonego dymu (TSR) (rys. 2). Zaobserwowano, że ilość wydzielanego dymu była mniejsza dla płyt wytworzonych z surowców alternatywnych. Najmniejszą ilość zadymienia obserwowano dla płyty RZ i dla płyty W.

Ubytek masy po spalaniu w kalorymetrze stożkowym był zbliżony dla badanych płyt i mieścił się w zakresie 71–77% masy początkowej.

Na rys. 3 zamieszczono wyniki właściwej gęstości optycznej dymu uzyskane podczas badania emisji dymu z wykorzystaniem komory do badania dymotwórczości. Badanie to pozwala na uzyskanie informacji, jaka jest

wartość właściwej gęstości optycznej dymu po 1,5 min testu (SOD 1,5), po 4 min testu (SOD 4) i po 10 min testu (SOD 10).

Komora do badania gęstości dymu dostarcza informacji o zmianie gęstości optycznej dymu emitowanego z próbki wystawionej na działanie strumienia ciepła i zgromadzonej w zamkniętej komorze. Uzyskane wyniki wyraźnie wskazują, że żadna z próbek badanych materiałów nie uległa zapaleniu w wyniku oddziaływania zewnętrznego promieniowania cieplnego o gęstości 25 kW/m² przez okres trwania pomiaru (10 min). Właściwa gęstość optyczna dymu uzyskana po 1,5 min (SOD 1,5) była na poziomie 7–16. Największą wartość uzyskano dla materiału W. Po 4 min trwania pomiaru najmniejszą wartością właściwej gęstości optycznej (SOD 4) charakteryzowała się płyta WP, która była traktowana jako materiał wyjściowy. Największą wartość uzyskano ponownie dla płyty W. W 10. min trwania pomiaru (SOD 10) obserwowano zmianę w wartościach właściwej gęstości dymu. Najmniejszą wartością, wynoszącą 341, charakteryzowała się płyta W. Zaobserwowano, że wzrost właściwej gęstości optycznej dymu dla materiałów WP i P miał charakter liniowy.

Płyty wykonane z surowców alternatywnych charakteryzowały się większą utratą masy po wykonanym teście w komorze dymotwórczej. Wyjątek stanowiła płyta P, dla której zarejestrowano ubytek masy porównywalny do płyty referencyjnej.

Palność a skład chemiczny surowca

Płyty wiórowe wytworzone z różnych surowców lignocelulozowych wykazują zróżnicowane parametry palności, w tym szczytową szybkość wydzielania ciepła (pHRR) oraz całkowitą emisję dymu (TSR), silnie skorelowane ze składem chemicznym bazowych materiałów. Celuloza i hemiceluloza (w tym pentozany, jak ksyłan) zwiększają pHRR poprzez szybką dekompozycję i uwolnienie lotnych gazów, podczas gdy lignina działa stabilizująco¹⁹⁾.

Najwyższe wartości pHRR, w tym dominujący 2. pik, obserwowano dla płyt z pozostałości poprodukcyjnych (P), co przypisuje się obecności lotnych resztek klejów oraz wysokiej zawartości celulozy i ligniny sprzyjających szybkiej pirolizie w zakresie 315–400°C.

W płytach W obserwowano wczesne pojawienie się 2. piku pHRR, przypisywane szybkiej dekompozycji hemiceluloz (29%) i ekstraktów rozpuszczalnych w wodzie (20%), co generowało przedwczesne uwalnianie lotnych substancji organicznych, hamowane dopiero przez ligninę (18%). Z kolei płyta RZ, o podwyższonej zawartości hemicelulozy (38%) i pentozanów (23%), charakteryzowała się zrównoważoną dynamiką pHRR dzięki wczesnemu wydzielaniu CO₂ (220–315°C) oraz efektowi tłumienia propagacji płomienia przez obecność substancji mineralnej.

Całkowita emisja dymu osiągała najniższe wartości dla płyt RZ i W, wynikające z dominującego rozkładu hemiceluloz i pentozanów z produkcją ditlenku węgla zamiast substancji organicznych lotnych w fazie pirolizy przy temp. 220–315°C.

Badania w komorze do badania dymotwórczości płyty W wykazywały początkowy wzrost właściwej gęstości optycznej dymu (SOD 4), przechodzący w wyraźny spadek (SOD 10) dzięki barierze dyfuzyjnej utworzonej prawdopodobnie przez ligninę (18%) i związki polifenolowe. Płyty referencyjne WP i P, charakteryzujące się wysoką zawartością celulozy i ligniny, prezentowały natomiast stały, liniowy wzrost gęstości dymu przy mniejszym ubytku masy, co wskazuje na zwiększoną emisję sadzy z prekursorów aromatycznych powstałych w procesie pirolizy.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły na ocenę właściwości palnych i dymotwórczych płyt drewnopochodnych wytworzonych z surowców konwencjonalnych oraz alternatywnych, umożliwiając porównanie ich zachowania w warunkach spalania.

Surowce lignocelulozowe alternatywne, takie jak łodygi rzepaku i pędy winorośli, mogą być wykorzystane do wytwarzania płyt wiórowych o korzystnym profilu palności w porównaniu z wiórami przemysłowymi oraz pozostałościami poprodukcyjnymi.

Krzywe szybkości wydzielania ciepła (HRR) ujawniają wczesne zapłony (< 60 s) i dominujące 2. piki pHRR (< 100 s), przypisywane pęknięciu warstwy zwęglonej. Z kolei profil 3 pików w płytach z pozostałości poprodukcyjnych związany jest w dużej mierze z obecnością pozostałości klejów stosowanych jako spoiwa do wiórów.

Niska całkowita emisja dymu (TSR) oraz właściwa gęstość optyczna dymu (SOD) wynikają z dominującego rozkładu hemiceluloz i pentozanów z emisją ditlenku węgla zamiast lotnych substancji organicznych. Proces ten zachodzi w temp. 220–315°C i jest tłumiony przez substancje mineralne, które występują szczególnie w łodygach rzepaku.

Cechy te potwierdzają potencjał surowców alternatywnych dla bezpieczniejszego chemicznego przetwórstwa biomasy. Zastosowanie lignocelulozowych surowców alternatywnych może minimalizować ryzyko pożarowe i zadymienie w zakładach produkujących płyty drewnopochodne.

Zrealizowano na podstawie wyników zadania badawczego finansowanego przez Ministerstwo Nauki z subwencji ze środków finansowych na utrzymanie i rozwój potencjału dydaktycznego i badawczego. Zadanie nr I-62 pt. „Ocena właściwości palnych płyt drewnopochodnych wytworzonych z surowców alternatywnych oraz badanie parametrów wybuchu odpadowych pyłów produkcyjnych”. Koordynator

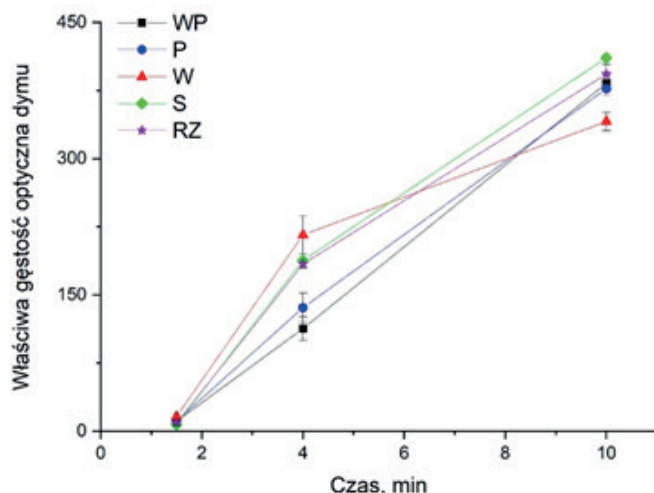


Fig. 3. Characteristics of the increase in the specific optical density of smoke during tests in a smoke generation test chamber

Rys. 3. Charakterystyka wzrostu właściwej gęstości optycznej dymu podczas badań w komorze do badania dymotwórczości

Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Otrzymano: 23-12-2025

Zrecenzowano: 13-01-2026

Zaakceptowano: 20-01-2026

Opublikowano: 17-02-2026

LITERATURA

- [1] P. Solt, J. Konnerth, W. Gindl-Altmutter, W. Kantner, J. Moser, R. Mitter, H.W.G. von Herwijnen, *Int. J. Adh. Adhes.* 2019, **94**, 99.
- [2] P. Klimek, R. Wimmer, Proceedings International Conference: Wood Science and Engineering in the Third Millennium – ICWSE 2017, November 2–4, 2017, Brasov, Romania.
- [3] N. Gontard, U. Sonesson, M. Birkved, M. Majone, D. Bolzonella, A. Celli, H. Angiellier-Coussy, G.W. Jang, A. Verniquet, J. Broeze, B. Schaefer, A.P. Batista, A. Sebok, *Crit. Rev. Environ. Sci. Tech.* 2018, **48**, nr 6, 614.
- [4] R. Auriga, A. Auriga, P. Borysiuk, J. Wilkowski, O. Folnalczyk, I. Ochmian, *Polymers* 2022, **14**, nr 12, 2483.
- [5] M. Pędzik, D. Janiszewska, T. Rogoziński, *Ind. Crop Prod.* 2021, **174**, 114162.
- [6] M.H. Mulla, M.N. Norizan, N.F.M. Rawi, M.H.M. Kassim, Ch.K. Abdullah, N. Abdullah, M.N.F. Norrahim, *Int. J. Biolog. Macrom.* 2025, **305**, 141130.
- [7] G. Dorez, A. Taguet, L. Ferry, J. Lopez-Cuesta, *Polym. Degrad. Stab.* 2013, **98**, 87.
- [8] G. Dorez, L. Ferry, R. Sonnier, A. Taguet, J.-M. Lopez-Cuesta, *J. Anal. Appl. Pyrol.* 2014, **107**, 323.
- [9] H. Yang, R. Yan, H. Chen, D.H. Lee, Ch. Zheng, *Fuel* 2007, **86**, 1781.
- [10] R.A. Mensah, L. Jiang, J.S. Renner, Q. Xu, *J. Therm. Anal. Calorim.* 2022, **148**, 1407.
- [11] PN-EN 312:2011, *Płyty wiórowe. Wymagania techniczne.*
- [12] ISO 5660-1:2002, *Reaction-to-fire tests. Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1. Heat release rate (cone calorimeter method).*
- [13] ISO 5660-2:2002, *Reaction-to-fire tests. Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 2. Smoke production rate (dynamic measurement).*
- [14] ISO 5659-2:2017, *Plastics. Smoke generation. Part 2. Determination of optical density by a single-chamber test.*
- [15] Q. Xu, L. Chen, K.A. Harris, F. Zhang, Q. Liu, J. Feng, *Constr. Build. Mat.* 2015, **96**, 416.
- [16] K. Mizera, J. Przybysz, M. Borucka, A. Gajek, *Przem. Chem.* 2023, **102**, nr 12, 1349.
- [17] A. Oguaka, N.F. Quiroz, R. Walls, *Proc. Saf. Env. Prot.* 2023, **179**, 559.
- [18] J. Floyd, J. Hodges, *Fire Tech.* 2025, **61**, 4897.
- [19] S. Wang, Ch. Zou, H. Yang, Ch. Lou, S. Cheng, Ch. Peng, C. Wang, H. Zou, *Biores. Tech.* 2021, **320**, 124375.