

Bezpieczeństwo pożarowe budynków w aspekcie zagrożeń spowodowanych wybranymi pyłami spożywczymi

Fire safety of buildings in terms of hazards caused by selected food dust

DOI: 10.15199/33.2022.08.08

Streszczenie. Celem artykułu była analiza porównawcza parametrów zapalności i palności wybranych rodzajów pyłów herbat pobranych z obiektu przemysłowo-magazynowego. Stwierdzono, że pył z herbaty zielonej aromatyzowanej spośród przebadanych pyłów stanowi największe zagrożenie pożarowe. Ma najniższą temperaturę zapłonu i największą wartość ciepła spalania, a dopuszczalna temperatura powierzchni urządzeń pracujących w obecności warstwy tego pyłu o grubości 5 mm nie może przekroczyć 215°C.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe budynków; zapalność pyłów palnych.

Abstract. The aim of the article was a comparative analysis of the ignitability and flammability parameters of selected types of tea dusts collected from an industrial and warehouse facility. It was found that among the tested dusts, the dust of flavored green tea is the greatest fire hazard. It has the lowest ignition temperature and the highest combustion heat values, and the permissible surface temperature of devices operating in the presence of this dust for a layer with a thickness of 5 mm, cannot exceed 215°C.

Keywords: fire safety of buildings; ignitability of combustible dust.

Bezpieczeństwo pożarowe budynków jest stawiane na drugim miejscu w wymaganiach podstawowych, jakie mają spełniać budynki poddane użytkowaniu zaraz po bezpieczeństwie konstrukcji (nośności i stateczności). Obiekty budowlane, w tym zakłady produkcyjno-magazynowe oraz ich poszczególne części, muszą nadawać się do użycia zgodnie z ich zamierzonym zastosowaniem, przy czym należy przede wszystkim wziąć pod uwagę zdrowie i bezpieczeństwo osób mających z nimi kontakt przez cały cykl życia tych obiektów [1]. Działalność przemysłowa wiąże się z występowaniem zagrożenia pożarowego i wybuchowego, a wybuchy pyłów palnych mogą występować w różnych branżach przemysłu, w których znajdują się substancje sypkie [2-6], zarówno podczas ich przetwarzania, magazynowania, jak i składowania. Zagrożenie wybuchem pyłów spożywczych, w tym herbat, jest szczególnie niebezpiecznym zagrożeniem nie tylko z powodu strat materialnych, ale również może mieć

kluczowe znaczenie w procesie ciągłości dostaw produktów [7]. Głównym problemem pod względem zagrożenia powstania pożaru czy wybuchu w zakładach jest utrzymywanie czystości od unoszących się cząstek pyłu w strefach pracujących maszyn, w których pył jest przesypywany, transportowany, obrabiany i suszony. Do zapłonu pyłów może dojść wewnątrz urządzeń, czego skutki prowadzą do uszkodzenia linii produkcyjnej i narażenia zdrowia lub życia osób pracujących przy jej obsłudze. Poważniejszy w skutkach jest wybuch pyłu obejmujący przestrzeń na zewnątrz pracujących urządzeń. Zalegający pył na wszystkich powierzchniach, takich jak: obudowy maszyn; podłogi lub poziome elementy konstrukcyjne budynku, stwarza ryzyko pożarowe, a na skutek rozpylenia w powietrzu – wybuchowe. Zagrożenia związane z palnymi pyłami osiadłymi dotyczą przede wszystkim zjawiska tlenia, żarzenia lub zapłonu od płomieni lub od gorącej powierzchni. W tym przypadku niebezpieczeństwo pożarowe nie wynika zazwyczaj z obecności samego materiału palącego się, natomiast źródłem zapłonu dla innych palnych materiałów

znajdujących się w pobliżu i powstania samopodtrzymującego się spalania płomieniowego może być miejsce tlenia lub żarzenia. Innym rodzajem zagrożenia, jakie stwarzają już palące się pyły, jest to, że w sprzyjających warunkach cieplno-przepływowych mogą spalać się płomieniowo i być źródłem zapłonu dla materiałów palnych znajdujących się w pobliżu.

Pyły herbat, emitowane w środowisku pracy w obiekcie, to cząstki stałe o różnych właściwościach fizykochemicznych, w wyniku czego poziom ryzyka powstania pożaru, który stwarzają, nie jest jednakowy. Do głównych czynników mających wpływ na zapalność pyłów od nagrzanej powierzchni należą: skład chemiczny cząstek pyłu; rozmiar; zawartość wilgoci w przypadku tworzenia obłoku pyłów; stężenie pyłu; stężenie tlenu oraz obecność gazu inercyjnego [6-8]. Pyły herbat jeśli nie zostaną w całości usunięte w procesie produkcji, np. przez odkurzanie, sprzątanie, osiadają na urządzeniach do zgrzewania bibuły saszetek, w których umieszczana jest herbata. Powierzchnie urządzeń służących do pakowania herbaty muszą wytwarzać temperatu-

¹⁾ Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności; mpolka@sgsp-edu.pl

rę ok. 280°C potrzebną do sklejenia torebek. Tak wysoka temperatura powierzchni urządzenia jest konieczna do odpowiedniego zgrzania bibuły filtracyjnej herbaty, ale jednocześnie może stać się efektywnym bodźcem zapłonu przy zalegających warstwach pyłu. Na liniach pakowania herbat, jeśli nie ma zabezpieczenia systemu odpylania np. w postaci gaszenia iskier, nagromadzony pył na elementach urządzenia może ulec tleniu lub żarzeniu. Jeśli to zjawisko nie zostanie odpowiednio szybko wychwycone przez obsługę zakładu, to żarzący się pył może zostać „porwany” do systemu centralnego odpylania i doprowadzić do zapłonu lub/i wybuchu pyłu w obiekcie. Szczególną uwagę należy zwrócić na temperaturę wewnętrznych przestrzeni urządzeń produkcyjnych, w których palny pył powstaje, jest transportowany, obrabiany lub suszony, jak również na zewnątrz tych urządzeń. Chodzi o przestrzenie i powierzchnie, na których może zalegać, tworząc warstwy tzw. pyłu osiadłego. Zabezpieczenie instalacji procesowych realizowane jest przez zaprojektowanie i montaż urządzeń i systemów bezpieczeństwa, odpowiednich w przypadku przewidywanego rodzaju zagrożenia, które powinny stanowić integralną część chronionego przed pożarem i wybuchem miejsca składowania palnych materiałów sypkich. Z tego powodu poznanie parametrów ogniowych pyłów herbat pozwoli dobrać odpowiednie zabezpieczenia i określić maksymalną dopuszczalną temperaturę powierzchni urządzeń narażonych na prace w obecności tego rodzajów pyłów do tego stopnia, by zredukować ryzyko zdarzeń niebezpiecznych w budynkach produkcyjno-magazynowych.

Część doświadczalna

Opis badanych pyłów. Do badań wybrano pięć rodzajów pyłów herbat o parametrach fizykochemicznych pokazanych w tabeli 1. Pyły te pobrano z procesu technologicznego z zakładu przetwórstwa spożywczego. Próbkę każdej z herbat do badań zapalności zostały przesiane przez stalowe sito o wielkości nominalnej oczek 200 µm. Próbkę były jednorodne i reprezentatywne w odniesieniu do badanego pyłu.

Tabela 1. Parametry fizykochemiczne badanych pyłów
Table 1. Physicochemical parameters of the tested dusts

Parametr	Pył herbaty owocowej o smaku wiśniowym	Pył herbaty zielonej aromatyzowanej zapachem malin	Pył herbaty zielonej	Pył herbaty czarnej	Pył herbaty czerwonej
Gęstość nasypowa [g/dm ³]*	0,36	0,39	0,498	0,615	0,582
Zawartość wilgoci przemijającej w pyłach [%wag.]*	6,27%	6,11%	4,966	6,748	7,594
Analiza elementarna podstawowych pierwiastków [%wag.]*	%C 42,42 %H 5,79	%C 46,40 %H 5,71	%C 43,45 %H 5,90	%C 45,40 %H 5,79	%C 44,41 %H 6,01

* Średnie arytmetyczne z trzech pomiarów

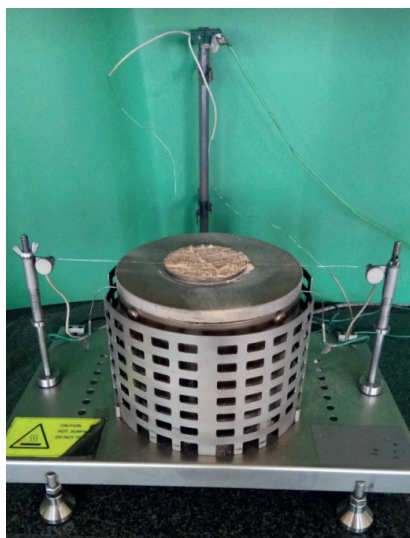
Charakterystyka metod badawczych. W celu oznaczenia palności i zapalności badanych próbek pyłów przeprowadzono badania dotyczące:

- minimalnej temperatury zapłonu pyłów od nagrzanej powierzchni tworzących warstwę (metoda A) i obłok pyłowo-powietrzny (metoda B) wg PN-EN ISO/IEC 80079-20-2 [9],
- ciepła spalania wg PN-EN ISO 1716:2018 [10].

Metoda A dotyczy badania warstwy pyłu na płycie o stałej temperaturze i oznaczeniu minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu (MTZW), czyli najniższej temperatury powierzchni pieca, przy której dochodzi do zapłonu warstwy pyłu o zadanej grubości. W przypadku badanych pyłów herbat oznaczono MTZW o grubości 5 mm, 12,5 mm. Wybór grubości warstwy 5 mm wynikał z zaleceń normy [9], która jest normą zharmonizowaną z dyrektywą Atex, natomiast grubość warstwy 12,5 mm jest rekomendowana przez amerykańską normę ASTM E2021 [11]. Zgodnie z [9] należy uznać, że nastąpił zapłon warstwy pyłu, jeżeli: a) zaobserwowano żarzenie lub palenie; lub b) mierzona temperatura osiągnęła wartość 450°C; lub c) mierzona temperatura przekroczyła o 250°C temperaturę płyty grzejnej. W odniesieniu do podpunktów b) i c) należy uznać, że zapłon nie nastąpił, jeżeli można wykazać, że reakcja nie przechodzi w proces żarzenia lub palenia. Żarzenie jest bezdyskusyjnym i najczęściej spotykanym objawem zapłonu warstwy pyłów organicznych. W celu wyznaczenia minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu o określonej grubości należy przeprowadzić serię badań i użyć w każdym badaniu nowej próbki

pyłu. Trzeba też odpowiednio zmieniać temperaturę płyty, aż zostanie znaleziona temperatura powodująca zapłon warstwy, wyższa nie więcej niż o 10°C od temperatury, która nie doprowadziła do zapalenia warstwy. Najwyższa temperatura powierzchni płyty grzejnej, w której zapłon nie nastąpił, powinna być potwierdzona przez kontynuowanie badania dostatecznie długo, aby móc stwierdzić, że następuje obniżenie szybkości samonagrzewania, tzn. temperatura w punkcie pomiaru w warstwie spada do ustalonej wartości, niższej niż temperatura ogrzewanej powierzchni. Badania herbat powtórzono dwukrotnie, stosując ostatnie oznaczenia wartości MTZW. Jak wynika z [9], w danej serii pomiarowej danego pyłu należy zanotować najniższą temperaturę pieca, przy której zanotowano zapłon warstwy i najwyższą temperaturę pieca, przy której zapłonu warstwy nie zaobserwowano z maksymalną różnicą temperatury pieca wynoszącą 10°C. W drugiej serii należy potwierdzić przeprowadzone obserwacje, jeśli zapłon warstwy danego pyłu zostanie zanotowany przy niższej temperaturze pieca, to tę temperaturę uznaje się za ostateczną MTZW. Badanie należy kontynuować aż do momentu, kiedy na podstawie obserwacji pyłu lub odczytu jego temperatury będzie można stwierdzić zapłon warstwy, bądź też samonagrzewanie bez zapalenia, a następnie jego ochładzanie. Jeżeli po okresie 30 min nie nastąpi samonagrzewanie pyłu lub jego zapłon, badanie należy przerwać i powtórzyć w wyższej temperaturze. W przypadku, gdy zaobserwowano spełnienie przynajmniej jednego z kryteriów zapłonu, badanie należy powtórzyć w temperaturze niż-

szej, przedłużając, jeżeli to konieczne, czas badania powyżej 30 min. Badanie należy kontynuować aż do określenia temperatury powierzchni grzejnej powodującej zapłon lub samonagrzewanie warstwy, wyższej nie więcej niż o 10°C od temperatury niepowodującej zapalenia lub samonagrzewania. MTZW to najniższa temperatura pieca, zaokrąglona do najbliższej całkowitej wielokrotności 10°C, w której następuje zapłon pyłu usypanego w warstwie o danej grubości. Widok stanowiska badawczego do oznaczania minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłów pokazano na fotografii 1.



Fot. 1. Widok stanowiska do oznaczania MTZW pyłów (metoda A)
Photo 1. View of the stand for MTZW determination of dusts (method A)

Pojawienie się żaru w warstwach badanych herbat było kryterium, wg którego zgodnie z [9] uznano, że doszło do ich zapłonu. Widok żarzącego się pyłu pokazano na fotografii 2.

Metoda B polega na badaniu zapłonu obłoku pyłu w piecu o stałej temperaturze i oznaczeniu minimalnej temperatury zapłonu obłoku pyłu (MTZO). Należy uznać, że nastąpił zapłon obłoku pyłu, jeżeli jest widoczny wyrzut płomienia poza dolny koniec rury pieca. Dopuszczalne jest pewne opóźnienie zapłonu. Iskry bez płomienia nie stanowią o zapłonie obłoku pyłowo-powietrznego. Jako minimalną temperaturę zapłonu obłoku pyłu należy przyjąć najniższą temperaturę pieca, w której uznano zapłon, stosując procedurę



Fot. 2. Widok żarzącego się pyłu
Photo 2. View of glowing dust

zgodną z [9] metoda B, pomniejszoną o 20°C w temperaturze pieca powyżej 300°C i o 10°C w temperaturze pieca równej 300°C lub niższej. Oznaczenie MTZO powtórzono dziesięciokrotnie w podanych warunkach. Widok stanowiska do oznaczania MTZO pyłów wg metody B pokazano na fotografii 3.

W przypadku zidentyfikowania zagrożeń związanych z gorącymi powierzchniami w budynkach, w których przetwarzane są pyły palne, należy określić maksymalną dopuszczalną temperaturę powierzchni urządzeń (MDTU) pracujących w obecności tych substancji sypkich. Sposób wyznaczenia MDTU na podstawie PN-EN 60079-14:2014-06 [12], w przypadku

warstw pyłów 5 i 12,5 mm oraz obłoków pyłowo-powietrznych, zamieszczono w tabeli 2.

Ostateczna wartość MDTU (T_{max}), która powinna być umieszczona na tabliczkach znamionowych urządzeń pracujących w obecności pyłów palnych, to najmniejsza wartość MDTU obliczona zgodnie z tabelą 2 na podstawie tylko MTZW_{5mm} i MTZO.

Wartość ciepła spalania badanych pyłów wyznaczono zgodnie z PN-EN ISO 1716. Zgodnie z [10] w otrzymanym zakresie walidacji testu różnica w wartościach PCS trzech powtarzanych wyników wynosi do 5%. W przepisach dotyczących ochrony przeciwpożarowej budynków znajomość tych wartości jest konieczna do określenia ilości ciepła wydzielającego się podczas pożaru, co wpływa na obliczenie np. temperatury spalania, ciśnienia powstałego podczas wybuchu, szybkości rozprzestrzeniania się płomieni, a szczególnie do określenia gęstości obciążenia ogniowego.

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki oznaczeń MTZW, MTZO i PCS wraz z obliczonymi MDTU pokazano w tabeli 3.



Fot. 3. Widok stanowiska do oznaczania MTZO pyłów (metoda B)
Photo 3. View of the stand for determination of MTZO of dust (method B)

Tabela 2. Sposób obliczenia maksymalnej dopuszczalnej temperatury powierzchni urządzeń [12]

Postać pyłu	Sposób obliczenia MDTU
Obłok pyłowo-powietrzny	$MDTU = 2/3 \cdot MTZO$
Warstwa pyłu 5 mm	$MDTU = MTZW_{5mm} - 75^{\circ}C$
Warstwa pyłu 12,5 mm	$MDTU = MTZW_{12,5mm} - 25^{\circ}C$

Tabela 3. Sumaryczne wyniki oznaczeń MTZW, MTZO i PCS wraz z obliczonymi wartościami MDTU

Table 3. Summary results of MTZW, MTZO and PCS and calculated values of MDTU

Rodzaj pyłu	MTZW [°C] _{5mm}	MDTU [°C]	MTZW [°C] _{12,5mm}	MDTU [°C]	MTZO [°C]	MDTU [°C]	PCS [MJ/kg]
Pył herbaty owocowej o smaku wiśniowym	300	225	270	245	440	293	14,357
Pył herbaty zielonej aromatyzowanej zapachem malin	290	215	260	235	470	313	15,960
Pył herbaty zielonej	300	225	270	245	460	307	15,532
Pył herbaty czarnej	300	225	280	255	460	307	15,623
Pył herbaty czerwonej	300	225	270	245	480	320	15,892

Przykładową zależność temperatury warstwy pyłu w funkcji czasu badania pyłu herbaty czarnej usypanego w warstwie o grubości 5 mm przy temperaturze powierzchni nagrzanej 300°C przedstawiono na rysunku. Zapłon warstwy tego pyłu w postaci jego żarzenia uzyskano po 15 min.

o grubości 12,5 mm. Zapalność obłoku pyłowo-powietrznego od nagrzanej powierzchni była największa w przypadku pyłu herbaty owocowej o smaku wiśniowym.

Na podstawie uzyskanych badań określono $T_{\max}$ powierzchni urządzeń pracujących w atmosferze wybuchowej, która wynosi 215°C. Jeśli w danym pomieszczeniu wszystkie badane herbaty są przetwarzane, to ta wartość temperatury powinna się znaleźć na tabliczce znamionowej urządzeń pracujących w obecności testowanych pyłów herbat. Gęstość nasypowa badanych pyłów, a także ich wilgotność nie miały większego wpływu na wartości MTZW oraz MTZO [13]. Wartości tych parametrów były zbliżone i nie decydowały o zdolności do zapłonu warstwy. W przypadku pyłu herbaty zielonej aromatyzowanej zapachem malin otrzymano największą wartość PCS, dlatego też w przypadku tego typu herbaty magazynowanej w pomieszczeniu o danej powierzchni przy tej samej masie składowanych herbat należy spodziewać się największej gęstości obciążenia ogniowego spośród badanych substancji. Największa zawartość węgla w tej herbatcie i prawdopodobnie olejki eteryczne czy skład substancji zmieniających naturalny aromat herbat wpłynął na zwiększenie jej zapalności od nagrzanej powierzchni.

Wnioski

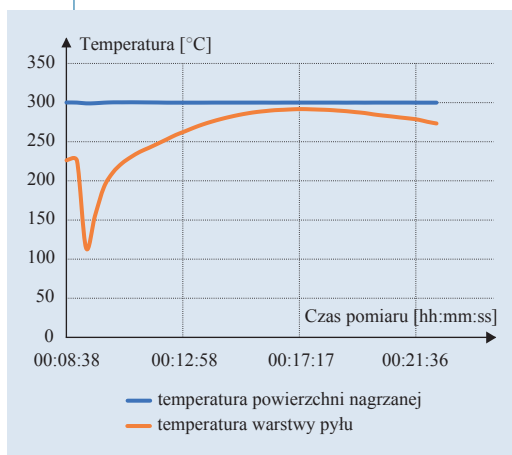
Przeprowadzone doświadczenie dowodzi, że badane pyły herbaty stwarzają zagrożenie wybuchowe oraz pożarowe, zarówno jako warstwy pyłu, gromadzące się na powierzchni grzej-

nej, jak i obłok pyłu tworzący mieszaninę powietrze-pył. W przypadku, gdy w obiektach produkcyjno-magazynowych, w których pakowana jest herbata, nie ma możliwości obniżenia temperatury gorącej powierzchni zgrzewającej torebki herbat (temperatura urządzenia 280°C, a maksymalna dopuszczalna temperatura urządzeń pracujących w obecności badanych pyłów wynosi 215°C), to należy zastosować systemy gaszenia iskier na liniach technologicznych lub/i zamontować czujki temperatury w miejscach zalegania pyłu na gorących powierzchniach urządzeń.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych.
- [2] Yuan Z, Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Dust explosions: threat to the process industries. Process Saf. Environ. 2015; <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.06.008>
- [3] Ramirez A, Garcia-Torrent J, Aguado PJ. Determination Of Parameters Used To Prevent Ignition Of Stored Materials And To Protect Against Explosions In Food Industries. J. Hazard Mater. 2009; <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.013>
- [4] Eckhoff RK. Understanding Dust Explosions. The Role of Power Science and Technology. J. Loss. Prevent. Proc. 2009; <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.07.006>
- [5] Taveau J. Dust Explosion Propagation and Isolation. J. Loss. Prevent. Proc. 2017; 48, pp. 320-330. (doi.org/10.1016/j.jlp.2017.04.019)
- [6] Babrauskas V. Ignition handbook. Fire Science Publishers, Issaquah; 2003.
- [7] Eckhoff RK. Dust explosions in the process industries. Third edition. Burlington; 2003.
- [8] Salamonowicz Z, Półka M, Woliński M, Sobolewski M. Badania eksperymentalne i modelowanie zapłonu warstwy pyłu na gorącej powierzchni. Przemysł Chemiczny. 2014; 93: 99-102.
- [9] PN-EN ISO/IEC 80079-20-2 Atmosfery wybuchowe – Część 20-2: Właściwości materiałowe – Metody badań pyłów palnych.
- [10] PN-EN ISO 1716:2018 Badania reakcji na ogień wyrobów. Określanie ciepła spalania brutto (wartości kalorycznej).
- [12] ASTM E2021-09 Standard Test Method for Hot-Surface Ignition Temperature of Dust Layers.
- [13] PN-EN 60079-14:2009 Atmosfery wybuchowe. Część 14: Projektowanie, dobór i montaż instalacji elektrycznych.
- [14] Krotowski T. praca inżynierska, SGSP, Analiza zapalności od nagrzanej powierzchni wybranych pyłów herbat. 2022.

Przyjęto do druku: 19.07.2022 r.



Zależność temperatury warstwy pyłu w funkcji czasu badania pyłu herbaty czarnej usypanego w warstwie o grubości 5 mm w przypadku temperatury powierzchni nagrzanej do 300°C [13]

Dependence of the temperature of the dust layer as a function of the test time of black tea dust in a 5 mm thick layer at the heated surface temperature of 300°C [13]

Biorąc pod uwagę wyniki badań przy grubości warstwy pyłu 5 mm, stwierdzono, że badane herbaty mają zbliżone wartości MTZW i w przypadku większości badanych pyłów herbat $MTZW_{5mm}$ wynosi 300°C. Temperatura ta była niższa o 10°C tylko w przypadku herbaty zielonej aromatyzowanej zapachem malin. Ta sama herbata wykazała najniższą wartość $MTZW_{12,5mm}$ wynoszącą 260°C przy warstwie