

Oddymianie, naświetlanie i wentylacja hal magazynowych

Smoke control, natural lighting and ventilation of warehouse halls



prof. dr hab. inż. Dorota Brzezińska

Politechnika Łódzka,
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
dorota.brzezinska@p.lodz.pl
ORCID: 0000-0003-4615-4454



Mateusz Brzeziński

Politechnika Łódzka,
Wydział Mechaniczny
257134@edu.p.lodz.pl
ORCID: 0009-0008-8633-3602

Streszczenie

W nowoczesnych halach magazynowych systemy oddymiania są często integrowane z funkcją wentylacji naturalnej oraz doświetlenia światłem dziennym. W razie pożaru podstawowym warunkiem bezpiecznej ewakuacji ludzi, prowadzenia działań ratowniczych oraz ochrony konstrukcji jest odpo-

wiednie oddymianie. W praktyce projektowej przyjmuje się różne podejścia normatywne, które prowadzą do odmiennych wyników obliczeń. W artykule przedstawiono analizę porównawczą wymagań według czterech standardów, wskazując praktyczne konsekwencje ich zastosowania.

Słowa kluczowe oddymianie, wentylacja pożarowa, wentylacja, hala magazynowa

Abstract

In modern warehouses, smoke control systems are often integrated with natural ventilation and daylighting. In the event of a fire, adequate smoke extraction is essential for safe evacuation, rescue operations, and structural protection.

Various normative approaches are used in design practice, leading to differing calculation results. This article presents a comparative analysis of the requirements of four standards, highlighting the practical implications of their application.

Keywords smoke control, fire ventilation, ventilation, warehouse

WPROWADZENIE

Ograniczenie rozprzestrzeniania się dymu i ciepła podczas pożaru należy do podstawowych wymogów bezpieczeństwa pożarowego w budynkach. Instalacje oddymiające pozwalają utrzymać warunki umożliwiające bezpieczną ewakuację ludzi oraz skuteczne działania ratowniczo-gaśnicze. W nowoczesnych halach magazynowych systemy te coraz częściej integruje się z wentylacją naturalną i doświetleniem światłem dziennym. Kłapy dymowe zatem nie tylko odprowadzają dym oraz ciepło podczas pożaru, ale również umożliwiają codzienne wietrzenie obiektu, odprowadzanie nadmiaru ciepła oraz poprawę

warunków środowiska pracy dzięki wykorzystaniu naturalnego światła.

Celem systemów oddymiania jest umożliwienie ewakuacji ludzi w trakcie pożaru poprzez zabezpieczenie ich przed niedopuszczalnym poziomem oddziaływania ognia i dymu, a także ograniczenie możliwości odniesienia obrażeń wynikających z uszkodzenia konstrukcji budynku. Odpowiednio dobrane kłapy dymowe mogą więc pełnić jednocześnie funkcje urządzeń oddymiających, przewietrzających i świetlików dachowych, wpływając zarówno na bezpieczeństwo pożarowe, jak i na efektywność energetyczną obiektu.

W ostatnich latach ubezpieczyciele coraz aktywniej wprowadzają dodatkowe

wymagania dotyczące ochrony przed pożarem hal przemysłowych i znajdującego się w nich mienia [1]. Badania potwierdzają, że jedynie zastosowanie stałych, samoczynnych urządzeń gaśniczych wodnych gwarantuje niedopuszczenie do znacznego rozprzestrzenienia się pożaru [2]. Wielu inwestorów, zwłaszcza mniejszych obiektów, głównie ze względu na koszty rezygnuje z montażu instalacji gaśniczych wodnych, ufając, że ochronę obiektów przed zniszczeniem w wystarczającym stopniu zapewnią urządzenia oddymiające. W takich obiektach często nie jest obligatoryjne stosowanie urządzeń oddymiających. Ich obecność pozwala jednak na znaczne złagodzenie



wymagań dotyczących klasy odporności pożarowej obiektów i dopuszczalnej powierzchni stref pożarowych, a także długości dróg ewakuacyjnych [3]. Jednocześnie wprowadzenie klap dymowych wpływa na rozwiązania w zakresie wentylacji naturalnej hali, szczelności dachu oraz możliwości wykorzystania światła dziennego do doświetlenia wnętrza obiektu. Przy realizacji budynków o odporności pożarowej klasy „E” należy pamiętać, że w razie pożaru ich konstrukcja ma zapewniać nośność w określonym czasie, gwarantując przynajmniej bezpieczną ewakuację użytkowników budynku, mimo iż nie jest w takich przypadkach wymagana żadna klasa odporności ogniowej.

W lipcu 2025 r. ukazała się w Polsce znowelizowana norma PN-B-02877-4: 2025-07 Ochrona przeciwpożarowa budynków – Systemy do grawitacyjnego odprowadzania dymu i ciepła – Część 4: Zasady projektowania [4]. W jej poprzedniej wersji z 2001 r. [5] zakładano procentowy dobór parametrów systemu oddymiania do wielkości obiektu, co od wielu lat było kwestionowane jako niezgodne z zasadami inżynierskimi. Nowa wersja

normy pozwala na wyznaczanie wymaganej powierzchni klap dymowych w zależności od przewidywanej wielkości pożaru w budynku oraz czynników decydujących o ilości powstającego dymu. Opracowano ją przede wszystkim z myślą o obiektach magazynowych. Obecnie najczęściej stosuje się w nich rozwiązania oparte na obliczeniach zalecanych przez amerykański standard NFPA 204 [6] oraz brytyjski BS 7346-4:2003 [7]. Dokumenty te różnią się podejściem: NFPA 204 i BS 7346-4 wymagają obliczenia ilości dymu na podstawie przyjętego scenariusza rozwoju pożaru, natomiast PN-B-02877-4 proponuje

W normach NFPA 204 i BS 7346-4: 2003 przyjęto podejście inżynierskie (performance-based), w którym podstawą jest wyznaczenie pożaru projektowego stanowiącego podstawę dalszych obliczeń. Proces obejmuje:

- określenie maksymalnej mocy pożaru (HRR) i szybkości jego rozwoju;
- obliczenie strumienia objętości dymu na danej wysokości stanowiącej dolną granicę warstwy dymu;
- wyznaczenie wymaganej powierzchni otworów oddymiających;
- podział na strefy dymowe i rozmieszczenie urządzeń.

Ubezpieczyciele coraz aktywniej wprowadzają dodatkowe wymagania dotyczące ochrony przed pożarem hal przemysłowych.

użytkownikom gotowe wartości tabelaryczne dla klap dymowych. Twórcy nowej polskiej normy zaczerpnęli koncepcję jej struktury z niemieckiej normy DIN 18232-2:2007-11 [8], proponując podobny sposób podziału budynków na grupy projektowe z przypisanymi im zalecanymi parametrami systemu oddymiania.

W obu normach procedura obliczeniowa bazuje na wyznaczonej mocy pożaru. Uwzględniając gęstość mocy pożaru, oblicza się jego powierzchnię i obwód oraz wysokość płomieni. Strumień masowy dymu, powstający podczas konwekcyjnego wznoszenia się słupa dymu od źródła pożaru do dolnej

Tab. 1. Wyniki obliczeń wymaganej powierzchni kłap dymowych według analizowanych standardów [9]

Podstawowe założenia										
Wysokość hali [m]	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
Wysokość warstwy dymu [m]	4	6	8	10	12	4	6	8	10	12
Tryskacze	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE	78°C	78°C	78°C	78°C	78°C
NFPA 204										
Dop. pow. strefy dymowej [m ²]	2304	4096	6400	9216	12540	2304	4096	6400	9216	12540
Całkowita moc pożaru [kW]	50000	50000	50000	50000	50000	1590	2396	3420	4678	6715
Czas rozwoju pożaru [min]	<15	<15	<15	<15	<15	3.1	3.8	4.5	5.3	6.3
Gęstość mocy pożaru [kW/m ²]	3279	4919	6558	8198	10247	3279	4919	6558	8198	10247
Obwód pożaru [m]	13.8	11.3	9.8	8.8	7.8	2.5	2.5	2.6	2.7	2.9
Pow. kłap i napływu [m ²]	19.17	28.23	38.14	48.82	59.97	3.21	7.59	14.62	24.73	38.29
BS 7346-4:2003										
Dop. pow. strefy dymowej [m ²]	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Konwekcyjna moc pożaru [kW]	35000	35000	35000	35000	35000	6250	6250	6250	6250	6250
Gęstość mocy pożaru [kW/m ²]	1200	1200	1200	1200	1200	625	625	625	625	625
Obwód pożaru [m]	19.14	19.14	19.14	19.14	19.14	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
Pow. kłap i napływu [m ²]	10.70	17.80	26.60	38.05	51.50	4.40	8.36	14.23	21.70	30.79
PN-B-02877-4										
Grupa projektowa	GP3	GP4	GP4	GP5	GP5	GP5	GP2	GP2	GP2	GP2
Dop. pow. strefy dymowej [m ²]	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Pow. kłap i napływu [m ²]	28.8	68.6	93.4	154.0	209.0	20.0	23.3	31.7	43.1	58.7
DIN18232-2 2007-11										
Grupa projektowa	GP4	GP4	GP4	GP4	nd	GP2	GP2	GP2	GP3	nd
Dop. pow. strefy dymowej [m ²]	1600	1600	1600	1600	nd	1600	1600	1600	1600	nd
Pow. kłap i napływu [m ²]	12.6	27.2	39.7	49.2	nd	7.3	12.2	18.0	33.0	nd

graniczy warstwy dymu, wyznacza się odpowiednio do tego, czy płomień osiąga wysokość warstwy dymu, czy kończą

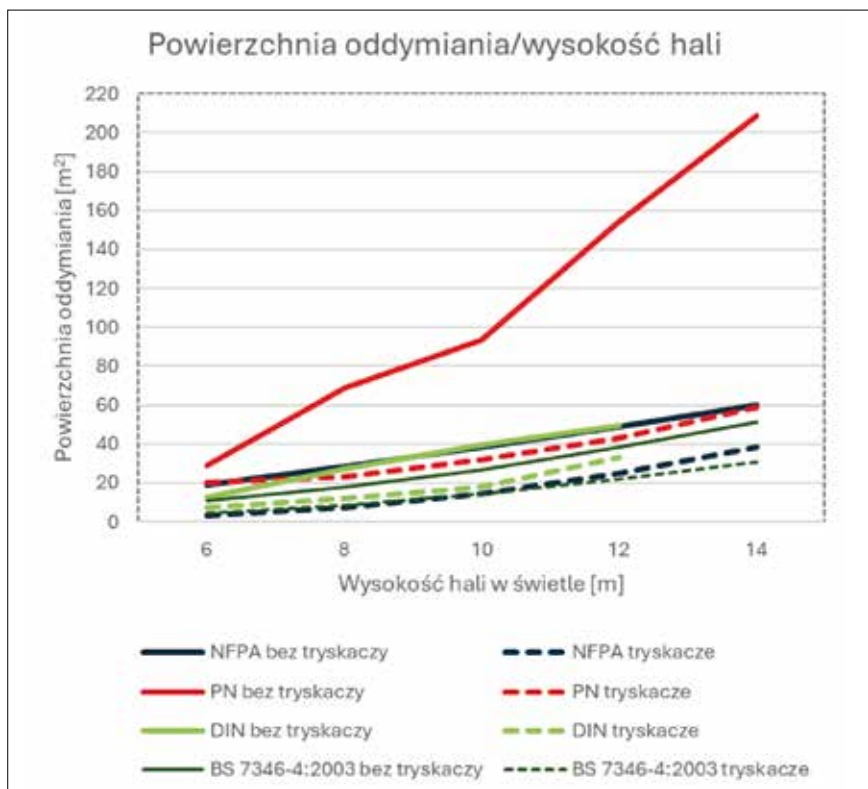
się poniżej niej. Kolejne zależności matematyczne pozwalają obliczyć powierzchnię kłap dymowych niezbędną do odpro-

wadzenia ilości dymu powstającej przy przyjętych założeniach.

Jednocześnie normy te określają dopuszczalną wielkość strefy dymowej. Według NFPA długość strefy w żadnym kierunku nie powinna przekraczać ośmiokrotnej wysokości hali magazynowej. To znaczy, że im wyższa jest hala, tym większa może być strefa dymowa. Założenie to jest poparte badaniami eksperymentalnymi, które dowodzą, że dym przemieszczający się pod stropem po wychłodzeniu zaczyna opadać. Według normy brytyjskiej, która ma procedurę obliczeniową bardzo zbliżoną do amerykańskiej, dopuszczalna długość strefy dymowej wynosi 60 m przy stałej wartości dopuszczalnej powierzchni strefy dymowej wynoszącej 2000 m² [4].

Pozostałe analizowane normy: DIN 18232-2:2007-11 i PN-B-02877-4:2025-07 są zaliczane do nakazowych. W ich przypadku proces projektowania obejmuje:

- klasyfikację pomieszczeń do grup projektowych (GP) na podstawie gęstości obciążenia ogniowego w hali,
- odczytanie z tabel wymaganej powierzchni oddymiania zależnej od wysokości hali i przyjętej wysokości warstwy wolnej od dymu,



Rys. 1. Wykres wymaganej powierzchni kłap dymowych w zależności od wysokości hali i zastosowania instalacji tryskaczowej według analizowanych norm [9]

- wyznaczenie powierzchni otworów napływu powietrza kompensacyjnego.

W związku z tym, że nowa polska norma prezentuje zupełnie inne podejście do projektowania systemów oddymiania niż standardy NFPA i BS, nasuwa się pytanie o jej zgodność ze standardami światowymi oraz spełnienie celów projektowych stawianych systemom oddymiania budynków. W niniejszym artykule porównano wymagania wspomnianych norm na przykładzie obiektów magazynowych o różnej wysokości, z uwzględnieniem wpływu instalacji tryskaczowej na wyniki projektowe. Przedstawiono również wyniki symulacji komputerowych obrazujące efektywność działania wybranych rozwiązań zarówno w zakresie oddymiania, jak i wpływu zastosowanych urządzeń dachowych na funkcjonowanie hali.

ANALIZY OBLICZENIOWE I SYMULACJE CFD

W celu porównania wymagań dotyczących systemów oddymiania hal magazynowych, wynikających z podejścia empirycznego (normy NFPA 204 [6] oraz BS 7346-4:2003 [7]) i nowego standardu krajowego PN-B-02877-4:2025 [4] wyznaczono wymaganą powierzchnię klap dymowych według wytycznych każdego z tych dokumentów. Dodatkowo określono wymagania na podstawie normy DIN 18232-2:2007-11 [8], która stanowiła wzorzec dla nowej polskiej normy.

Obliczenia normowe wymaganych parametrów instalacji oddymiającej

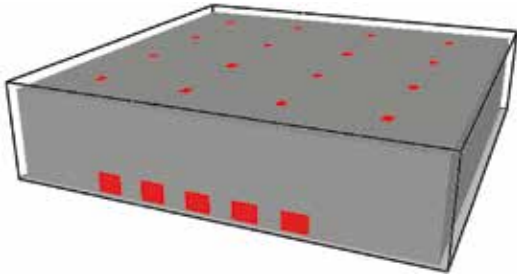
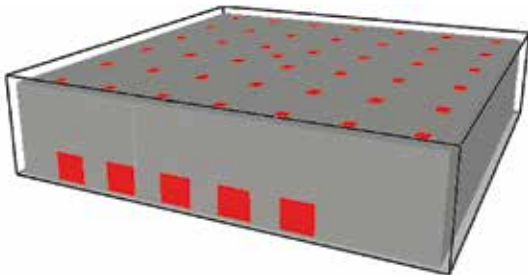
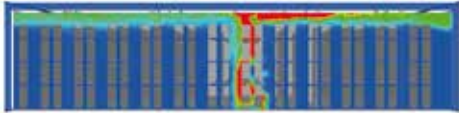
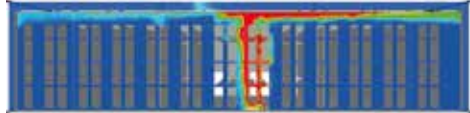
Analizie poddano hale o wysokości 6, 8, 10, 12 i 14 m, w wariancie bez instalacji tryskaczowej oraz z instalacją tryskaczową o temperaturze zadziałania 78°C. We wszystkich przypadkach przyjęto te same

założenia projektowe. Wyniki obliczeń wymaganej powierzchni klap przedstawiono w tab. 1. Pokazano tam także zgodne z normami wielkości stref dymowych dla każdej z analizowanych hal oraz podstawowe założenia przyjęte do obliczeń.

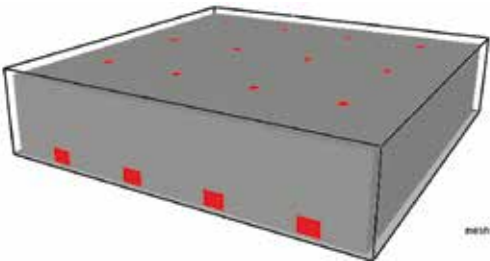
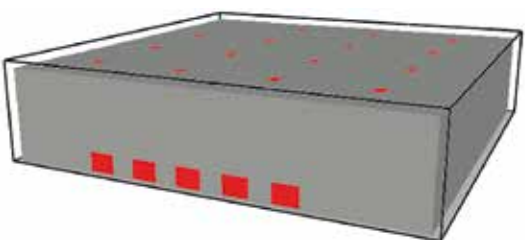
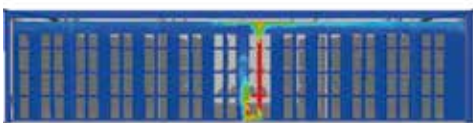
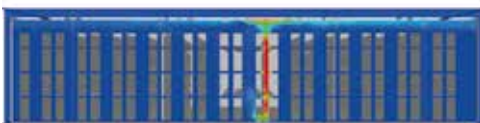
Dla ułatwienia porównania wyniki obliczeń zaprezentowano na wykresie (rys. 1).

Analiza wyników obliczeń dla hal niewyposażonych w instalację tryskaczową jednoznacznie wskazuje, że wraz ze wzrostem wysokości obiektu systematycznie narastają różnice w wymaganej powierzchni czynnej klap dymowych między normami BS 7346-4:2003 i NFPA 204 a polską normą PN-B-02877-4:2025. W przypadku hal niskich, o wysokości rzędu 6 m, odnotowane rozbieżności mają jeszcze charakter umiarkowany, choć już na tym etapie norma krajowa przewiduje wyraźnie wyższe wartości. Z kolei przy wysokości

Tab. 2. Wyniki symulacji komputerowej dla hali o wysokości 14 m, bez instalacji tryskaczowej [9]

Parametr	NFPA 204	PN-B-02877-4
Model hali		
Temperatura $t = 900$ s		
Widzialność $t = 900$ s		

Tab. 3. Wyniki symulacji komputerowej dla hali o wysokości 14 m, z instalacją tryskaczową [9]

Parametr	NFPA 204	PN-B-02877-4
Model hali		
Temperatura $t = 900$ s		
Widzialność $t = 900$ s		

objektu na poziomie 8–10 m obserwuje się wyraźne zróżnicowanie dynamiki przyrostu wymaganej powierzchni oddymiania.

Wyniki symulacji komputerowych

W drugim etapie prac przeprowadzono symulacje komputerowe. Ich celem było porównanie skuteczności systemów oddymiania (o wyznaczonych wcześniej parametrach) zaprojektowanych według najczęściej stosowanego standardu NFPA 204 oraz normy PN-B-02877-4:2025. Do analiz wykorzystano powszechnie stosowany model numerycznej mechaniki płynów (CFD) – dire dynamics simulator (FDS), opracowany przez amerykański Narodowy Instytut Standardów i Technologii (NIST).

Ze względu na znaczne rozbieżności w wynikach obliczeń wymaganej sumarycznej powierzchni czynnej klap dymowych, uzyskanych według normy

PN-B-02877-4:2025 i pozostałych standardów, dla najwyższej hali (14 m) w obu wariantach: z instalacją tryskaczową oraz bez niej, przeprowadzono symulacje komputerowe CFD. Wyniki porównano z normą NFPA 204, która zgodnie z obserwacją autorów niniejszego artykułu cieszy się największą popularnością na polskim rynku.

Aby uzyskać porównywalne wyniki, dla obu dokumentów przyjęto ujednolicone założenia:

- powierzchnia hali wynosiła 4000 m² (maksymalna dopuszczalna powierzchnia strefy dymowej według polskiej normy);
- pożar rozwijał się szybko;
- czas analizy wynosił 15 min (900 s).

W każdym wariantcie system oddymiania charakteryzował się parametrami zgodnymi z zestawieniem w tab. 1. Dodatkowo podczas analizy rozwiązań według NFPA 204 dla hali o wysokości 6 m zasto-

sowano podział kurtyną dymową na dwie strefy dymowe, ponieważ dopuszczalna dla niej powierzchnia strefy dymowej wynosi 2304 m². Klapy dymowe pozostawiono jednak aktywne tylko w tej strefie, w której powstał pożar. Pozwoliło to na obiektywną ocenę, czy zalecane przez normę polską znacznie większe powierzchnie instalacji oddymiającej zapewniają wyższą skuteczność działania systemu.

W tab. 2 i 3 przedstawiono wyniki symulacji komputerowych w zakresie rozkładu temperatury oraz zasięgu widzialności dla poszczególnych wariantów systemu oddymiania. Wyniki przedstawiono po upływie 900 s od rozpoczęcia pożaru.

Symulacje potwierdziły, że systemy oddymiania zaprojektowane zgodnie z normami NFPA 204 i PN-B-02877-4:2025, mimo znaczących różnic w parametrach, na podobnym poziomie realizują cele

projektowe w zakresie zapewnienia odpowiednich warunków ewakuacji ludzi z budynku oraz utrzymania warstwy gorącego dymu pod stropem hali, z jednoczesnym ograniczeniem zasięgu wysokiej temperatury, która mogłaby przyspieszyć utratę nośności hali. Największe różnice w wynikach symulacji dotyczyły obniżania się warstwy dymu pod stropem. Według normy polskiej po 900 s od rozpoczęcia pożaru warstwa dymu utrzymywana jest nieco wyżej niż według normy amerykańskiej. Jednak z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkowników hali istotny jest czas przewidywany na ewakuację, a w tym przypadku znacznie lepsze rezultaty osiągnięte są przy rozwiązaniu NFPA 204.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W ostatnich latach rynek budownictwa magazynowego w Polsce rozwijał się wyjątkowo dynamicznie. Na koniec 2025 r. całkowity zasób nowoczesnej powierzchni magazynowej/przemysłowej/logistycznej w Polsce wyniósł ok. 36,58 mln m². Oznaczało to wzrost o prawie 6% w stosunku do roku 2024 [10, 11].

Porównanie dostępnych standardów projektowych wykazało, że PN-B-02877-4:2025 jest bardziej restrykcyjna niż normy NFPA 204, BS 7346-4:2003 i DIN 18232-2. Wynika to zarówno z większych wartości wymaganej powierzchni klap oddymiających, jak i z niższych limitów dopuszczalnej wielkości stref dymowych. Po przeskalowaniu oczekiwanych powierzchni oddymiania do rzeczywistych wielkości hal (w przedziale 1600–20 000 m²)

Większa liczba klap dymowych wpływa na stopień skomplikowania konstrukcji dachu, jego szczelność, parametry izolacyjności cieplnej oraz efektywność energetyczną budynku. W obiektach, w których występuje się klapy dymowe również do wentylacji naturalnej i doświetlenia światłem dziennym, może to prowadzić do konieczności stosowania bardziej rozbudowanych układów sterowania oraz zwiększenia kosztów eksploatacyjnych. W skali całego rynku, który rocznie dostarcza ponad 2,5 mln m² nowej powierzchni, różnice te przekładają się na wielomilionowe nakłady inwestycyjne. Z tego względu warto rozważyć szersze stosowanie podejścia inżynierskiego (CFD, performance-based design) oraz zwiększenie zakresu wykorzystania systemów tryskaczowych. Mogłoby to poprawić konkurencyjność polskiego rynku hal magazynowych bez obniżania poziomu ich bezpieczeństwa pożarowego.

Podsumowując, można stwierdzić, że przedstawione wyniki analiz potwierdzają możliwości redukcji systemów oddymiania w halach magazynowych w stosunku do zaleceń nowej PN, zwłaszcza w halach wyposażonych w instalacje tryskaczowe, bez negatywnego wpływu na skuteczność działania systemu oddymiania i realizację przez niego głównych celów projektowych. Wskazują również, że systemy oddymiania powinny być analizowane nie tylko jako element ochrony przeciwpożarowej, ale również jako istotny składnik systemu wentylacji naturalnej i doświetlenia hal magazynowych. Wydaje się, że wymagania PN-B-02877-4 w sposób nieracjonalny

wać na trwałość i szczelność przekrycia dachowego oraz skracać czas stabilności konstrukcji, zwłaszcza w przypadku braku instalacji tryskaczowej. ■

Literatura

- [1] Ratajczak D., Brzezińska D., „Oddymianie stalowych hal przemysłowych według standardów europejskich (cz. 1)” w: *Ochrona Przeciwpożarowa*, nr 9, 2013, s. 22–26.
- [2] Frank K. i in., „A review of sprinkler system effectiveness studies” w: *Fire Science Reviews*, t. 2, nr 1, 2013, art. nr 6, s. 1–19, <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-6>.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. Dz.U. z 2022 r. poz. 1225 ze zm.).
- [4] PN-B-02877-4:2025-07 Ochrona przeciwpożarowa budynków – Systemy do grawitacyjnego odprowadzania dymu i ciepła – Część 4: Zasady projektowania.
- [5] PN-B-02877-4:2001 Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła – Zasady projektowania, 2001.
- [6] NFPA 204: Standard for Smoke and Heat Venting, 2024.
- [7] BS 7346-4:2003 Components for smoke and heat control systems – Part 4: Functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, 2004.
- [8] DIN 18232-2:2007-11 Smoke and heat control systems – Part 2: Natural smoke and heat exhaust ventilators; design, requirements and installation, 2007.
- [9] Brzezińska D.M., Brzeziński M., Brzezińska M., „Analysis of a smoke system according to PN-B-02877-4:2025, BS 7346-4:2003, DIN 18232-2 and NFPA 204” w: *Materiały Budowlane*, nr 12, 2025, s. 98–111.
- [10] AXI IMMO, „Rynek magazynowy w Polsce 2025 r. – Dojrzałość”, 26.02.2026 (dostęp: 1.07.2026), w: AXI IMMO, <https://www.axiimmo.com/raporty-i-publikacje>.
- [11] Cushman & Wakefield, „Poland MarketBeat Industrial Q4 2024” (dostęp: 1.07.2026) w: Cushman & Wakefield, https://assets.cushmanwakefield.com/media/cw/marketbeat-pdfs/2024/q4/emea/poland_marketbeat_industrial_2024_q4_en.pdf.
- [12] PN-EN 1993-1-2:2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczenia konstrukcji na wypadek pożaru, 2007.

PN-B-02877-4:2025 jest bardziej restrykcyjna niż normy NFPA 204, BS 7346-4:2003 i DIN 18232-2.

stwierdzono, że nowa polska norma generuje od dwóch do pięciu razy większe wymagania niż standardy zagraniczne. Skutkuje to znacznym wzrostem kosztów budowy (CAPEX) i utrzymania (OPEX), a także potencjalnym wydłużeniem harmonogramów realizacji.

podnoszą zapotrzebowanie na powierzchnię oddymiania, podczas gdy NFPA 204 utrzymuje zależność bliższą rzeczywistym warunkom pożarowym. Jednocześnie dodatkowe obciążenie konstrukcji dachu nadmierną liczbą urządzeń może pogarszać bezpieczeństwo obiektu, wpły-