

dr inż. Dorota Brzezińska^{a)*}, mgr inż. Renata Ollesz^{a)}

^{a)}Politechnika Łódzka / Lodz University of Technology

*Autor korespondencyjny/ Corresponding author: dorota.brzezinska@p.lodz.pl

Wentylacja oddymiająca w garażach – rozwiązania kontrowersyjnych problemów na przykładach projektowych

The Smoke Ventilation of Car Parks – Solutions to Controversial Issues Based on the Case Studies

Вентиляция дымоудаления в гаражах – решение спорных вопросов на примерах проектов

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest próba odpowiedzi na wielokrotnie stawiane przez projektantów i rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych pytania: Czy właściwe jest wydłużanie przejść ewakuacyjnych przy stosowaniu wentylacji strumieniowej? Czy występowanie w garażu dwóch kierunków ewakuacji jest w przypadku przejść ewakuacyjnych istotnym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo ludzi? Czy symulacje komputerowe mogą być wystarczającym narzędziem do oceny kryteriów bezpiecznej ewakuacji użytkowników garażu bez względu na długość przejść ewakuacyjnych wynikającą z obowiązujących przepisów? Jakie czynniki rzeczywiście decydują o skuteczności działania systemów oddymiania garaży?

Wprowadzenie: Bezpieczeństwo pożarowe w garażach, szczególnie podziemnych, jest w Polsce jednym z głównych tematów podejmowanych na wielu sympozjach i konferencjach. Szczególnie dyskusyjne są kwestie związane z oddymianiem garaży. Od wielu lat stosowane są dwa odmienne systemy oddymiania – strumieniowe i kanałowe, których skuteczność bywa różna. Projektanci, poza bezpośrednim spełnieniem obowiązujących przepisów, w celu zrealizowania i zweryfikowania systemów wentylacji pożarowej opierają się na dostępnych źródłach wiedzy technicznej oraz wynikach symulacji komputerowych. Mimo że analizy komputerowe zazwyczaj umożliwiają w danym garażu, przy zastosowaniu konkretnego systemu oddymiania, prawidłową ocenę warunków bezpiecznej ewakuacji użytkowników garażu i warunków prowadzenia działań gaśniczych, wciąż trwają dyskusje nad teoretycznymi różnicami w skuteczności działania wentylacji kanałowej i strumieniowej, szczegółowymi wymaganiami przepisów itp. Było to dla autorek motywacją do zaprezentowania niniejszego artykułu, w którym podjęto próbę odpowiedzi na najbardziej nurtujące pytania z zakresu projektowania systemów wentylacji pożarowej w garażach.

Metodologia: Artykuł opracowano na podstawie najnowszej literatury przedmiotu oraz wyników analiz rozprzestrzeniania się dymu i ciepła (dokonanych za pomocą symulacji komputerowej *Computational Fluid Dynamics* – CFD) w przykładowych garażach podziemnych. Przedstawione wnioski są poparte wieloletnią praktyką autorek w zakresie wykonywania w Polsce analiz zabezpieczeń przeciwpożarowych z wykorzystaniem metod inżynierskich.

Wnioski: Ocena zaprezentowanych wyników symulacji komputerowych CFD pozwala stwierdzić, że obecnie obowiązujące w Polsce przepisy z zakresu ochrony przeciwpożarowej garaży są niedoskonałe. Najwłaściwszym podejściem do oceny poziomu bezpieczeństwa użytkowników garaży wydają się indywidualne analizy z wykorzystaniem metod inżynierskich i symulacji komputerowych. Przyglądając się obowiązującym przepisom, warto zwrócić uwagę na rozbieżności w wymaganiach stawianych w Polsce i w innych krajach. Wymagania te są znacząco różne zwłaszcza w przypadku dopuszczalnych długości przejść ewakuacyjnych. Szczególnym problemem w Polsce wydaje się brak zróżnicowania dopuszczalnych długości przejść w zależności od liczby dostępnych kierunków ewakuacji, na co w innych krajach kładzie się bardzo duży nacisk.

Słowa kluczowe: wentylacja pożarowa, wentylacja strumieniowa, przejście ewakuacyjne, CFD, symulacje komputerowe

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 18.11.2016; Zrecenzowany: 03.02.2017; Opublikowany: 31.03.2017;

Procentowy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu: D. Brzezińska – 70%, R. Ollesz – 30%;

Proszę cytować: BiTP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 130–141, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.10;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is to attempt to answer controversial questions asked for many years in Poland: Is it appropriate to extend the length of exit routes when jet-fan ventilation is used? Are the two-exitway directions in the event of evacuation are an important factor affecting the safety of people? Can computer simulations be a sufficient tool to assess the safe evacuation of car-park users, regardless of the length of exitways, as prescribed in the applicable regulations? What are the factors that actually determine the effectiveness of smoke-exhaust systems in car parks?

Introduction: Fire safety in car parks, especially underground car parks, is one of the main topics of many symposia and conferences in Poland. The discussions are particularly related to their smoke-control systems. For many years, two alternative smoke-control systems – jet fans and ducts – have been competing with each other. Their effectiveness is often different. Designers, in order to achieve and verify fire-ventilation systems, rely both on

regulations and the available sources of technical knowledge and computer simulations. Although most computer analyses allow unequivocal assessment of safety conditions in a specific car park, where a duct or jet-fan ventilation system is installed, there are ongoing discussions over theoretical differences in the effectiveness of these systems, specific requirements set out in the regulations in force, etc. This controversy inspired this article and motivated its authors to answer the most important questions centred around the problem of the designing of fire-ventilation systems in car parks.

Methodology: The paper was developed based on the latest literature and the results of the authors' own CFD (Computational Fluid Dynamics) analyses of smoke and heat spread in sample underground car parks. The presented conclusions are supported by the authors' longstanding, practical experience in analyses of car-park smoke control systems, utilising engineering methods and performed all over Poland.

Conclusion: The assessment of the CFD computer simulation results presented in the article leads to the conclusion that the current Polish regulations for fire protection in car parks are inadequate. The most appropriate approach to the assessment of the level of car-park user safety is usually an individual analysis using engineering methods and computer simulations. Looking at the applicable Polish law, it is worth paying attention to how the requirements differ from those in place in other countries, particularly in the case of requirements which are significantly different, especially as regards the maximum permitted lengths of exitways. The most important problem in Poland seems to be the lack of a difference between the maximum length of exitways where there is only one exit route (one direction) and where there are more exit directions.

Keywords: smoke ventilation, jet fan systems, exit way, CFD, simulations

Type of article: review article

Received: 18.11.2016; Reviewed: 03.02.2017; Published: 31.03.2017;

Percentage contribution: D. Brzezińska – 70%, R. Ollesz – 30%;

Please cite as: BiTP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 130–141, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.10;

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью данной статьи является попытка ответить на часто поднимаемые дизайнерами и экспертами вопросы противопожарной защиты: Уместно ли удлинение эвакуационных выходов при использовании потоковой вентиляции? Является ли наличие двух направлений эвакуационных выходов из гаража важным фактором, влияющим на безопасность людей? Является ли компьютерное моделирование достаточным инструментом для оценки критериев безопасной эвакуации пользователей гаража, независимо от длины эвакуационных выходов, в связи с действующими нормативами? Какие факторы определяют фактическую эффективность системы дымоудаления гаражей?

Введение: Пожарная безопасность в гаражах, особенно подземных в Польше является одной из главных тем, затрагиваемых на многих симпозиумах и конференциях. Особенно часто обсуждаются вопросы, связанные с противопожарной вентиляцией гаражей. В течение многих лет используются две различные системы вентиляции – потоковая и канальная, эффективность которых бывает разной. Конструкторы, помимо непосредственного выполнения применимых правил в целях реализации и проверки систем противопожарной вентиляции опираются на доступные источники технических знаний и результаты компьютерного моделирования. Хотя компьютерный анализ, как правило, позволяет провести надлежащую оценку условий для безопасной эвакуации пользователей конкретного гаража и условий для проведения операций по пожаротушению, используя определенную систему дымоудаления, все еще обсуждаются теоретические различия эффективности потоковой и канальной вентиляций, подробных нормативных требований, и т.д. Мотивацией для авторов послужило желание представить эту статью, которая пытается ответить на самые острые вопросы проектирования противопожарных систем вентиляции в гаражах.

Методы: Статья подготовлена на основе новейшей литературы и результатов анализов распространения дыма и тепла (проведенного с помощью компьютерного моделирования *Computational Fluid Dynamics* – CFD) в типовых подземных гаражах. Представленные выводы подтверждаются многолетней практикой авторов в анализе пожарной охраны Польши с использованием инженерных методов.

Выводы: Оценка представленных результатов компьютерного моделирования CFD показывает, что нынешние польские нормативные акты в области противопожарной защиты гаражей несовершенны. Соответствующим подходом к оценке уровня безопасности пользователей гаражей является индивидуальный анализ с использованием инженерных методов и компьютерного моделирования. При оценке действующих нормативов стоит обратить внимание на различия в требованиях в Польше и в других странах. Эти требования значительно отличаются, особенно относительно максимальной длины эвакуационных выходов. Особой проблемой в Польше, как представляется, является отсутствие дифференциации допустимой длины выходов, в зависимости от количества доступных направлений эвакуации, по сравнению с другими странами, где этому уделяют большое внимание.

Ключевые слова: противопожарная вентиляция, потоковая вентиляция, эвакуационный выход, CFD, компьютерное моделирование

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 18.11.2016; Рецензирована: 03.02.2017; Опубликована: 31.03.2017;

Процентное соотношение вклада в создание статьи: D. Brzezińska – 70%, R. Ollesz – 30%;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 130–141, doi: 10.12845/bitp.45.1.2017.10;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0;

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Wzrost urbanizacji przestrzennej oraz intensywny rozwój motoryzacji, jakie nastąpiły w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat, musiały stworzenie odpowiedniej infrastruktury w postaci sieci dróg, stacji benzynowych, warsztatów itp., ale przede wszystkim w postaci odpowiedniej liczby miejsc garażowych i parkingowych.

Próbie optymalnego zagospodarowania terenów inwestycyjnych pod zabudowę mieszkaniową, handlową, hotelową czy biurową towarzyszy budowa garaży wielostanowiskowych, często zamkniętych i podziemnych. Zgodnie z prawem budowlanym każdy obiekt budowlany jako całość oraz jego poszczególne części należy projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy

technicznej [1]. Wymagania te obejmują między innymi zagadnienia ochrony przeciwpożarowej. Podstawowym celem projektowania obiektów pod tym względem jest zapewnienie odpowiednich warunków ich użytkownikom w sytuacji, w której byłaby konieczna ich ewakuacja; umożliwienie skutecznego działania ekipom ratowniczo-gaśniczym oraz ochrona konstrukcji budynku [2, 3].

W tym celu w nowo powstających garażach, w przypadku gdy ich powierzchnia przekracza 1500 m², należy między innymi projektować skuteczne systemy wentylacji oddymiającej [4]. Podczas trwania ewakuacji, w pierwszej fazie pożaru, największym zagrożeniem jest zadymienie ograniczające widoczność, nieco później – również oddziaływanie toksycznych gazów i wysokiej temperatury wytwarzanej przez pożar [5]. Aby ograniczyć skutki ewentualnego pożaru, instalacja wentylacji oddymiającej powinna usuwać dym z intensywnością zapewniającą, że w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi na chronionych przejściach i drogach ewakuacyjnych nie wystąpi zadymienie ani temperatura, które uniemożliwią bezpieczną ewakuację [2, 4].

W Polsce, ze względu na brak szczegółowych uregulowań prawnych, projektowanie systemów wentylacji pożarowej w garażach podziemnych opiera się na zasadach wiedzy technicznej [1]. Zasady te pochodzą ze standardów lub przepisów innych krajów. Szczegółowe wytyczne dotyczące systemów oddymiania garaży określa między innymi norma brytyjska BS 7346-7:2013 r. [6, 7], norma belgijska NBN S 21-208-2:2006, [8], czy norma holenderska NEN 6098:2010 [9]. Na temat garaży jest mowa także w znowelizowanych w 2012 r. (na podstawie raportu z analiz pożarów samochodów [10]) przepisach nowozelandzkich [11] czy w normie amerykańskiej NFPA 88A z 2015 r. [12]. W Polsce w 2015 r. ukazały się wytyczne dotyczące projektowania systemów oddymiania w garażach, wydane przez Instytut Techniki Budowlanej (ITB) i adresowane do wszystkich uczestników procesu powstawania tych obiektów, a także do osób odpowiedzialnych za ich odbiór [13].

Rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje wentylacji oddymiającej: kanałową i strumieniową (bezkanałową) [3]. Zadaniem systemu kanałowego jest zapewnienie utrzymywania się dymu pod stropem pomieszczenia (stratyfikacja), co jest możliwe dzięki zastosowaniu układu kanałów wyciągowych z równomiernie rozmieszczonymi kratkami wyciągowymi w części podstropowej przestrzeni garażu. Prawidłowo zaprojektowany system wentylacji kanałowej pozwala na stabilne rozdzielanie przestrzeni w warstwę gorącego dymu, zlokalizowanej w górnej części garażu, od przestrzeni wolnej od dymu (dolnej) [14]. System strumieniowy umożliwia poziome przetłaczanie powietrza wraz z dymem i określany jest mianem wentylacji strumieniowej [3]. W przeciwieństwie do wentylacji kanałowej dym jest tu usuwany z przestrzeni garażu za pomocą co najmniej jednego punktu wyciągowego. Dym przetłaczany jest przez wentylatory strumieniowe od źródła pożaru do punktu wyciągowego, tak aby zadymienie mogło być ograniczone do możliwie najmniejszego obszaru [15]. Uruchomienie wentylatorów strumieniowych zaburza jednak gorącą warstwę dymu zgromadzonego pod stropem, co może niekorzystnie wpływać na warunki ewakuacji. Z tego powodu w większości przypadków należy opóźnić moment zadziałania wentylatorów strumieniowych o odpowiedni czas wynikający z przewidywanego czasu ewakuacji. Opóźnienie to nie dotyczy głównych wentylatorów wyciągowych – je trzeba załączać bezpośrednio po

wykryciu pożaru, aby dym i ciepło były jak najszybciej odprowadzane z przestrzeni garażu [16].

Należy pamiętać, że bez względu na wybór systemu „konieczne jest zapewnienie stałego dopływu powietrza zewnętrznego, uzupełniającego braki tego powietrza w wyniku jego wpływu wraz z dymem” [2]. Podczas obliczeń strumienia powietrza wentylacyjnego i doboru konkretnych rozwiązań technicznych wentylacji oddymiającej należy uwzględnić czynniki, takie jak: przewidywana moc pożaru, układ architektoniczny garażu (jego wysokość, powierzchnia, przewidywana liczba instalacji liniowych, konstrukcja stropu, przewidywany układ ewakuacji z obszaru garażu itp.) czy wpływ instalacji tryskaczowej [4]. Aby projektant mógł odpowiednio dobrać i rozmieścić urządzenia systemu bezprzewodowego, oprócz umiejętności analitycznych musi mieć także duże doświadczenie w zakresie projektowania tego typu systemów, ponadto ostateczne ukształtowanie systemu powinien zweryfikować za pomocą symulacji komputerowych CFD [16].

W Polsce najpowszechniej znaną i stosowaną przez projektantów i rzeczoznawców jest norma brytyjska BS 7346-7:2013 [7]. Standard ten podaje zalecenia i wytyczne dotyczące funkcjonowania systemów usuwania dymu i ciepła z garaży zamkniętych oraz częściowo otwartych. Norma brytyjska zakłada, że projektowany system ma służyć osiągnięciu jednego z trzech celów, którymi są: usuwanie dymu w czasie pożaru i po jego ukończeniu (służą temu systemy kanałowe i bezkanałowe), utworzenie i utrzymanie wolnego od dymu dojścia do źródła pożaru dla ekip ratowniczych (przede wszystkim systemy bezkanałowe) i/lub ochronę dróg ewakuacyjnych w przestrzeni garażu (systemy bezkanałowe lub systemy kontroli dymu i ciepła – tzw. SHEVS). W omawianej normie nie pojawia się wymóg ochrony garaży przez zastosowanie instalacji tryskaczowej, jednak efekt działania tryskaczy brany jest pod uwagę przy zakładaniu parametrów pożaru projektowego. Gdy w garażu jest instalacja gaśnicza wodna, zalecana moc całkowita pożaru projektowego wynosi 4 MW (6 MW dla stanowisk dwupoziomowych), gdy zaś jej brak (w związku z czym należy brać pod uwagę możliwość zapalenia się kolejnego pojazdu) – 8 MW.

Inna norma – belgijska NBN S 21-208-2 jest w Polsce rzadko stosowana ponieważ postawiono w niej bardzo wysokie wymagania dotyczące systemów oddymiania garaży w stosunku do ogólnego poziomu bezpieczeństwa pożarowego narzucanego przez przepisy obowiązujące w Polsce. Norma ta obowiązuje w garażach o powierzchni powyżej 1000 m². Zgodnie z tym standardem system wentylacji pożarowej powinien – w razie pożaru – umożliwić użytkownikom garażu bezpieczne jego opuszczenie oraz utrzymać wolny od dymu dostęp w pobliżu miejsca pożaru z zewnątrz, od strony drogi publicznej, na odległość nie większą niż 15 m od tego miejsca. W przypadku stosowania systemu wentylacji oddymiającej kanałowej norma ta wymaga spełnienia wielu warunków zależnych od tego, czy w garażu przewidywane jest zastosowanie instalacji tryskaczowej. Konieczna minimalna wysokość garażu oddymianego kanałowo przy zastosowaniu systemów gaśniczych wodnych wynosi 2,8 m, natomiast bez ich zastosowania – 3,8 m. Odpowiednio konieczna wysokość warstwy wolnej od dymu w pierwszym przypadku wynosi 2,5 m, a w drugim – 3,5 m, przy czym zawsze powinna ona utrzymywać się co najmniej 0,3 m pod

najniższym elementem stropu. Tak duże wymagania mają zapewnić, by temperatura pod stropem garażu nie przekraczała 200°C, co umożliwi swobodne przemieszczanie się zarówno ewakuującym się ludziom, jak i ekipom prowadzącym akcję ratowniczo-gaśniczą. Dodatkowo zgodnie z normą garaż należy podzielić na strefy dymowe o maksymalnej długości 60 m i powierzchni 2600 m² (dla wentylacji naturalnej 2000 m²). W garażach niespełniających kryteriów dotyczących wentylacji kanałowej norma wymaga stosowania wentylacji strumieniowej [8, 14]. Jest to słuszna zasada, analizowana i potwierdzania również wielokrotnie w Polsce [16, 17, 18], niestety – z powodu zbyt mało precyzyjnych przepisów – w praktyce często nieprzestrzegana.

Głównym celem stosowania zabezpieczeń przeciwpożarowych jest – jak wiadomo – to, by budynek uzyskał poziom bezpieczeństwa odpowiadający poziomowi wymaganemu przez lokalne przepisy nakazowe [19]. W Polsce potrzeba wyznaczenia dla w projektowanych budynków przewidywanego czasu ewakuacji ludzi oraz warunków rozwoju pożaru i jego parametrów na drogach ewakuacyjnych wynika z treści § 270 ust. 1 rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (dalej: rozporządzenie) [2]. Za parametry krytyczne bezpieczeństwa życia ludzi i warunków ich ewakuacji na drogach ewakuacyjnych – zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowaniem, (traktowanym obecnie w omawianym zakresie jako wymaganie obowiązujące we wszystkich obiektach budowlanych) [20] – przyjmuje się:

- zadymienie na wysokości mniejszej niż (lub równej) 1,8 m od posadzki ograniczające widzialność krawędzi elementów budynku i znaków ewakuacyjnych luminescencyjnych nie więcej niż do 10 m;
- temperaturę powietrza na wysokości mniejszej niż (lub równej) 1,8 m od posadzki nieprzekraczającą 600°C, a w warstwie podsufitowej na wysokości powyżej 2,5 m od posadzki – 200°C.

Zasadnicze znaczenie ma uwzględnienie rozmieszczenia i odpowiedniej liczby wyjść ewakuacyjnych w garażu, które będą miały wpływ na czas przejścia obliczany jako iloraz drogi od najdalszego miejsca w tym pomieszczeniu do wyjścia ewakuacyjnego i średniej prędkości poruszania się osób [14]. Na wymagany czas bezpiecznej ewakuacji, czyli czas liczony od początku powstania pożaru do momentu, w którym założona liczba osób zdoła się ewakuować w bezpieczne miejsce (poza czasem przemieszczania się ludzi), składa się czas detekcji pożaru, czas alarmowania oraz czas do rozpoczęcia ewakuacji (ang. *pre-movement time*), czyli okres od momentu, w którym zostało przekazane ostrzeżenie o zagrożeniu, do momentu, w którym pierwsza i ostatnia osoba przebywająca w obiekcie rozpoczną ewakuację [21]. Przy projektowaniu konieczne jest zapewnienie wczesnego ostrzeżenia o pożarze. Wykrycie pożaru i system alarmowy muszą zapewnić ostrzeżenie na tyle wcześnie, aby możliwa była pełna ewakuacja ze strefy zagrożenia, zanim warunki staną się nieakceptowalne [22]. Czas od rozpoczęcia pożaru do jego wykrycia uwarunkowany jest przyjętym

systemem detekcji pożaru, a właściwy dobór i rozmieszczenie czujek pożarowych znacząco wpływa na skrócenie tego czasu.

W dalszej części artykułu omówiono kontrowersje wokół zakazu wydłużania przejść ewakuacyjnych w garażach, w których zastosowano wentylację oddymiającą strumieniową [23]. Przeanalizowano także wpływ wysokości garażu na skuteczność działania instalacji wentylacji kanałowej. Ponadto poruszono kwestię ślepych zaułków, a konkretnie odniesiono się do możliwości ewakuacji z garażu tylko w jednym kierunku przy uwzględnieniu najbardziej niekorzystnej lokalizacji pożaru, odcinającej drogę ewakuacji osobom znajdującym się w zaułku.

Wentylacja pożarowa garaży w kontekście obowiązujących przepisów

W maju 2016 r. pojawiła się propozycja nowelizacji wyżej wspomnianego rozporządzenia [2]. Poniżej omówiono zagadnienia dotyczące garaży w kontekście obowiązujących przepisów.

W myśl § 277 ust. 4 rozporządzenia [2] **samoczynne urządzenia oddymiające** należy stosować w garażach zamkniętych dla samochodów osobowych o powierzchni całkowitej przekraczającej 1500 m². Jednocześnie, zgodnie z § 270 ust. 1 rozporządzenia, **instalacja wentylacji oddymiającej**, „w garażu zamkniętym powinna usuwać dym z intensywnością zapewniającą, że w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi na chronionych przejściach i drogach ewakuacyjnych nie wystąpi zadymienie lub temperatura uniemożliwiająca bezpieczną ewakuację, oraz powinna mieć stały dopływ powietrza zewnętrznego uzupełniającego braki tego powietrza w wyniku jego wypływu wraz z dymem”. Ponadto w myśl § 278 ust. 2 rozporządzenia, długość przejścia do najbliższego wyjścia ewakuacyjnego, wynosząca w garażu zamkniętym maksymalnie 40 m, może być powiększona zgodnie z zasadami określonymi w § 37 ust. 6 pkt 2 tegoż rozporządzenia, tj. w przypadku stosowania **samoczynnych urządzeń oddymiających** uruchamianych za pomocą systemu wykrywania dymu, o 50%. Co do tego przepisu pojawiały się niekiedy wątpliwości, czy możliwość wydłużenia przejść ewakuacyjnych dotyczy także wentylacji strumieniowej, jeżeli będzie ona włączana dopiero po upływie czasu przewidzianego na ewakuację ludzi z garażu. W projekcie zmian do rozporządzenia, przygotowanym przez Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, w § 237 ust. 6 pkt 2 wprowadzono zmianę. Zapisano tam, że długości przejść mogą zostać powiększone o 50% pod warunkiem zastosowania systemu wentylacji oddymiającej uruchamianego za pomocą systemu wykrywania dymu. Pojęcie **samoczynnych urządzeń oddymiających** zmieniono więc na pojęcie **systemu wentylacji oddymiającej**. W uzasadnieniu podano, że celem zmiany jest doprecyzowanie definicji systemu wentylacji oddymiającej tak, by zablokowana została możliwość wydłużania przejścia ewakuacyjnego przy wykorzystaniu systemu wentylacji strumieniowej, który w czasie ewakuacji osób nie pracuje. Podobną opinię przedstawiono również w uwagach skierowanych do Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej. Odminną opinię przedstawiło Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Pożarnictwa (SITP) sugerujące (jako poprawkę do § 278), by we wszystkich garażach objętych obowiązkiem, o którym mowa w § 277 ust. 4

rozporządzenia, a także w garażu wymienionym w § 277 ust. 4 pkt 2 rozporządzenia, długość przejść ewakuacyjnych wynosiła 60 m, w pozostałych zaś – 40 m. W uzasadnieniu SITP powołano się na potrzebę ograniczenia dodatkowych kosztów inwestycyjnych, które w garażach mających dodatkowe zabezpieczenie w postaci samoczynnych urządzeń oddymiających, jest całkowicie nieuzasadnione. Należy tu podkreślić, że podczas ewakuacji w systemach strumieniowych pracują nie tylko wentylatory strumieniowe, ale także wentylatory nawiewne i wyciągowe oraz dodatkowe elementy systemu, np. kurtyny dymowe. Są one włączane w tym samym momencie co w systemie z kanałami oddymiającymi. **A zatem nieprawdą jest, że system wentylacji strumieniowej nie pracuje w czasie ewakuacji użytkowników garażu.**

Dodatkowo warto zwrócić uwagę na to, że w proponowanej wersji rozporządzenia pojawiają się trzy niezdefiniowane i dość trudne do rozróżnienia pojęcia: samoczynne urządzenie oddymiające, instalacja wentylacji oddymiającej, system wentylacji oddymiającej. Ich definicji można się doszukać w *Instrukcji ITB* [13]:

- 1. Samoczynne urządzenie oddymiające** (§ 237 obecnie i § 277 zarówno obecnie, jak i w projekcie) – zgodnie z wytycznymi projektowania systemów wentylacji pożarowej ITB [13] jest to „wymagane przez rozporządzenie [2] urządzenie, system wentylacji pożarowej, omówione w wytycznych. Systemy te powinny uruchamiać się automatycznie po wykryciu pożaru”.
- 2. Instalacja wentylacji oddymiającej** (§ 270 zarówno obecnie, jak i w projekcie) – zgodnie z rozporządzeniem „powinna usuwać dym z intensywnością zapewniającą, że w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi na chronionych przejściach i drogach ewakuacyjnych nie wystąpi

zadymienie lub temperatura uniemożliwiająca bezpieczną ewakuację, oraz powinna mieć stały dopływ powietrza zewnętrznego uzupełniającego braki tego powietrza w wyniku jego wypływu wraz z dymem”.

- 3. System wentylacji oddymiającej** (§ 237 w projekcie) – zgodnie z wytycznymi projektowania systemów wentylacji pożarowej ITB [13] jest to „system wentylacji pożarowej usuwający dym i gorące gazy pożarowe bezpośrednio spod stropu oddymianego obszaru, zapewniający utrzymanie warstwy dymu w ściśle określonym obszarze ponad głowami osób ewakuujących się”.

Jak widać, niezupełnie jednoznaczne i trudne do wychwylenia różnice w pojęciach występujących w przepisach powodują wiele niepotrzebnych problemów z ich prawidłową interpretacją. Ponadto wprowadzone zasady marginalizują powszechnie stosowane w naszym kraju (jak i na świecie) systemy wentylacji strumieniowej, bo zgodnie z tym zasadami nie są one uznawane za samoczynne urządzenia oddymiające dające prawo do wydłużenia przejść ewakuacyjnych o 50%. Dodatkowo nasuwa się pytanie, dlaczego nie zwrócono uwagi na inne, znacznie istotniejsze kwestie, które mogą spowodować utrudnienia podczas ewakuacji ludzi z garaży, takie jak np. ślepe zaułki czy wysokość garażu.

Na podstawie przeglądu wybranych przepisów międzynarodowych można stwierdzić, że Polska jest ewenementem na skalę światową, bo tylko w naszym kraju jest zgoda na wydłużanie przejść ewakuacyjnych w związku ze stosowaniem instalacji oddymiającej. Inne kraje różnicują wymagania w zależności od tego, czy osoba ewakuująca ma wybór kierunku ewakuacji czy nie. W tabeli 1 przedstawiono dopuszczalne długości przejść ewakuacyjnych w wybranych krajach.

Tabela 1. Dopuszczalne długości przejść ewakuacyjnych w garażach na przykładzie wybranych krajów [2, 6, 24–27]

Table 1. Acceptable length on the evacuation routes in car parks in selected countries [2, 6, 24–27]

Długość przejścia/The length of evacuation routes	Polska/Poland	Wielka Brytania/ Great Britain	Szwajcaria/ Switzerland	Szwecja/Sweden	Chiny/China	Zjednoczone Emiraty Arabskie/ United Arab Emirates
1 Kierunek/1 direction	40 m	25 m	20 m	30 m	18 m	15 m
2 Kierunki/ 2 directions		45 m	35 m	45 m	36 m	45
Wydłużanie – tryskacze/ Extending – sprinklers	+50%	–	–	+ 30%	–	+30% dla 2 kierunków/ for 2 directions
Wydłużanie –oddymianie/ Extending – smoke extraction	+50%	–	–	–	–	–

Analiza warunków bezpiecznej ewakuacji ludzi z garaży

Zgodnie z metodologią wyznaczania przewidywanego czasu ewakuacji ludzi, opartą na normie brytyjskiej PD 7974-6:2004 [21], przyjmuje się, że w typowym garażu, wyposażonym w system sygnalizacji pożaru, całkowity czas ewakuacji jest sumą:

- 1) czasu uruchomienia sygnalizacji pożarowej (wykrycia pożaru) – ~80 s;
- 2) czasu rozpoczęcia ewakuacji przez pierwszą osobę – 60 s;
- 3) czasu rozpoczęcia ewakuacji przez ostatnie osoby – $180 \div 240$ s (w zależności od stopnia znajomości obiektu przez jego użytkowników);
- 4) czasu dojścia do wyjść ewakuacyjnych – $33 \div 50$ s (odpowiednio dla przejść o długości 40 m i 60 m i przy prędkości poruszania się 1,2 m/s);

- 5) czasu przejścia przez drzwi – $0 \div 128$ s (dla garaży, w których przebywają pojedyncze osoby przyjmuje się 0 s, dla tych w których przebywa wiele osób – wylicza się przewidywany czas przejścia przez drzwi, zakładając, że szerokość wyjść jest nie mniejsza niż 0,6 m/100 os.).

Całkowity czas ewakuacji pierwszych osób z garażu jest zatem sumą składowych 1, 2, 4 i 5 i wynosi od 173 do 318 s, natomiast czas ewakuacji ostatnich osób jest sumą składowych 1, 3 i 4 i wynosi od 293 s do 370 s.

W przedstawionej tu procedurze obliczeniowej pokazano, że długość przejścia ewakuacyjnego ma istotny wpływ tylko na jedną składową całkowitego czasu ewakuacji, a mianowicie na czas dojścia do wyjścia ewakuacyjnego. Wydłużenie przejścia z 40 do 60 m skutkuje zwiększeniem się czasu ewakuacji z 33 do 50 s, czyli o 17 s, a więc jedynie o kilka procent

całkowitego czasu ewakuacji. Nasuwa się zatem pytanie, czy rzeczywiście wydłużenie przejścia ewakuacyjnego jest tak istotne i czy w celu zapewnienia dobrych warunków ewakuacji w garażu nie lepiej byłoby wpływać na inne czynniki [16, 17].

Skuteczność działania wentylacji pożarowej – analizy CFD

Metodyka wykonania symulacji oraz podstawowe dane techniczne programu FDS

Symulacje rozwoju pożaru i rozprzestrzeniania się dymu wykonano za pomocą specjalistycznego oprogramowania Fire Dynamics Simulator (FDS) wersja 6, opracowanego przez National Institute of Standards and Technology – U.S. Department of Commerce.

FDS jest programem umożliwiającym trójwymiarowe symulacje na podstawie technik CFD. Bazuje on na numerycznych rozwiązaniach równań Naviera-Stokesa odpowiednich dla przepływów wywołanych ciągiem powstałym pod wpływem ognia, kładąc szczególny nacisk na transport dymu i ciepła. W czasie swego rozwoju program ukierunkowywany był na rozwiązywanie praktycznych problemów inżynierii ochrony przeciwpożarowej, był też narzędziem do analiz podstaw dynamiki ognia i spalania. Do opisu zjawiska turbulencji w programie FDS zastosowano symulacje metodą wielkich wirów (ang. *large eddy simulation* – LES), które przedstawiają proces turbulentnego mieszania się gazowego paliwa i produktów spalania z powietrzem otaczającym strefę spalania. Są one stosowane w przypadku symulacji większości pożarów i określają szybkość spalania paliwa oraz rozprzestrzeniania się dymu i gorących gazów. Podstawowym założeniem przy stosowaniu metody LES jest to, że większość wirów powstających w procesie mieszania się gazów jest wystarczająco duża, aby wiry te mogły być z zadowalającą dokładnością obliczane za pomocą równań dynamiki płynów.

Wszystkie niewielkie ruchy wirowe są obliczane z dużym przybliżeniem lub pomijane.

W programie FDS zastosowano: model hydrodynamiczny, model spalania, model promieniowania cieplnego, model przenikania ciepła przez przegrody i model pirolizy, które służą do opisu zjawisk procesowej mechaniki płynów.

Jak wykazały badania w skali rzeczywistej dokładności wyników uzyskiwanych w programie FDS, wartości przyrostów temperatury w warstwie dymu mogą różnić się od rzeczywistych o nie więcej niż 15%, z wyjątkiem warstwy podsufitowej (roz mieszczane są w niej wentylatory strumieniowe), w przypadku której różnice mogą wynosić nie więcej niż 20%. Rzeczywiste spadki widzialności są z kolei zawsze mniejsze od określonych za pomocą programu FDS, nawet do 30%. Tak więc przy ocenie warunków bezpieczeństwa pożarowego w obiekcie, aby zapewnić odpowiedni margines bezpieczeństwa, wartości przyrostów temperatur uzyskane za pomocą symulacji komputerowych z użyciem programu FDS należy zwiększać o 15%, przy czym w warstwie podsufitowej – o 20%, natomiast uzyskane wartości spadku widzialności można wykorzystywać bez zmian [28, 29, 30].

W analizach przyjęto, że temperatura początkowa wynosi 20°C, gęstość siatki w żadnym kierunku nie przekracza 0,3 m, współczynnik emisji dymu „soot yield” wynosi 0,07, a ciepło spalania jest równe 20000 kJ/kg.

Wentylacja kanałowa czy strumieniowa?

W celu zbadania wpływu wentylatorów strumieniowych na zapewnienie odpowiednich warunków ewakuacji z garażu w czasie pożaru, dokonano serii analiz z wykorzystaniem symulacji CFD. Zgodnie z wymaganiami normy BS 7346-7:2013 [7] przyjęto założenie możliwości wystąpienia pożaru 2 samochodów osobowych, osiągającego moc 8 MW po 15 min od jego rozpoczęcia. Na rycinach 1, 2 przedstawiono schemat analizowanego garażu z instalacją wentylacji oddymiającej, zarówno kanałowej, jak i strumieniowej.

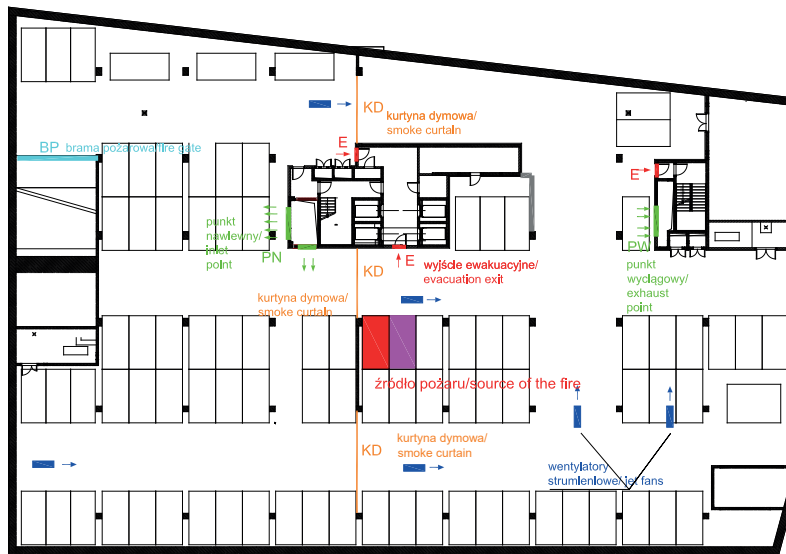


Rycina 1. Schemat garażu i instalacji wentylacji oddymiającej kanałowej

Figure 1. Diagram of the car park and duct fire ventilation system

Źródło: Zasoby własne firmy GRID.

Source: GRID company archives.



Rycina 2. Schemat garażu i instalacji wentylacji oddymiającej strumieniowej

Figure 2. Diagram of the car park and fire impulse ventilation system

Źródło: Zasoby własne firmy GRID.

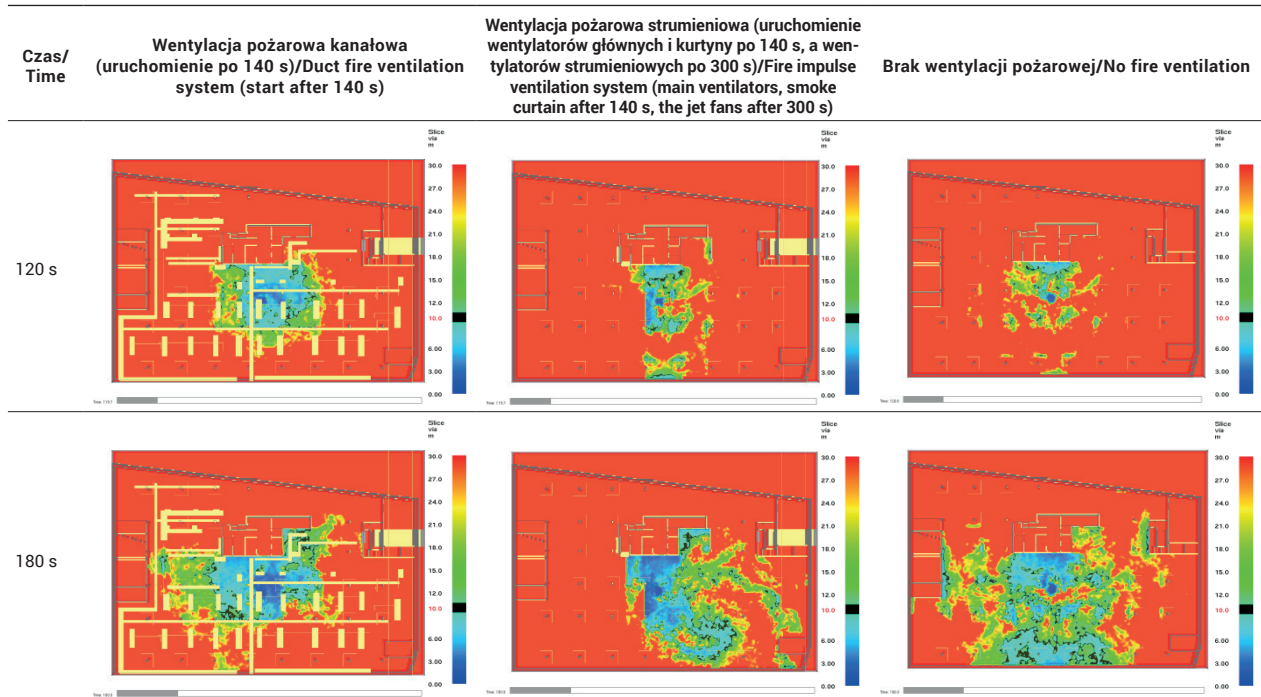
Source: GRID company archives.

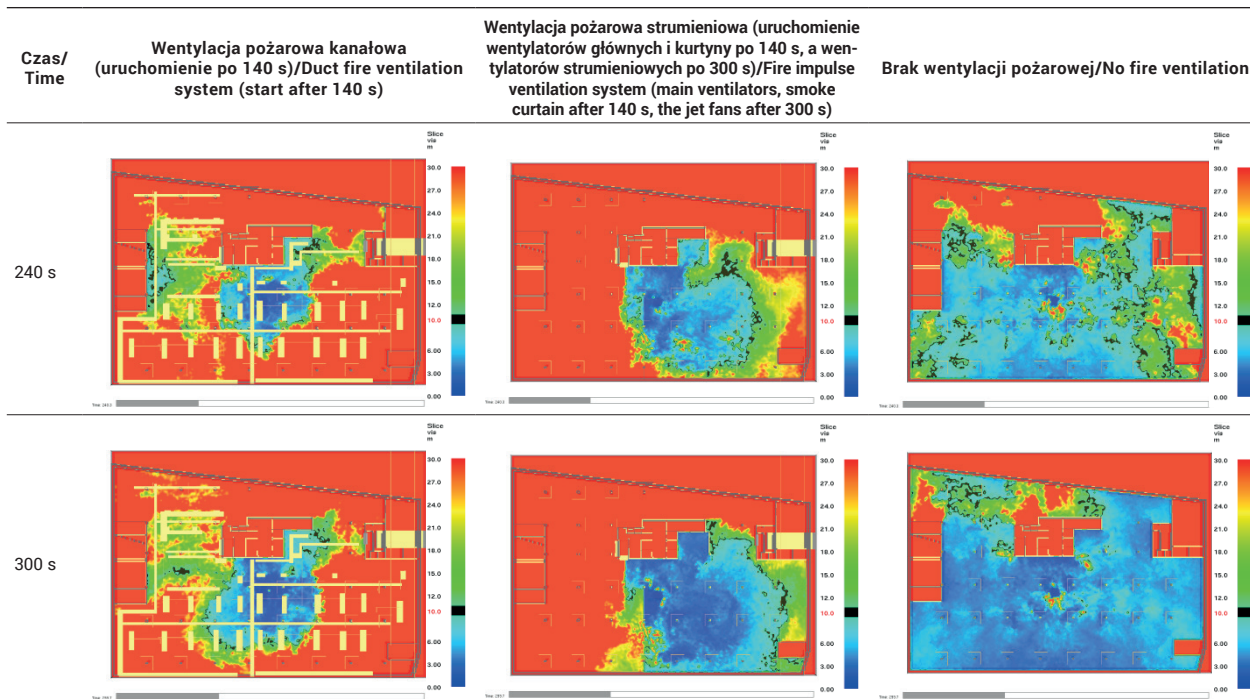
W tabelach 2 i 3 porównano zasięg widzialności oraz rozkład temperatury na wysokości 1,8 m w zależności od zastosowanego systemu wentylacji pożarowej (lub jej braku). Powierzchnia garażu wynosiła 4000 m², a jego wysokość – 2,4 m. W pierwszym przypadku w garażu zastosowano wentylację kanałową o wydajności 140 tys. m³/h, w drugim przypadku – rewersyjny układ wentylacji strumieniowej o wydajności 160 tys. m³/h. W obydwu przypadkach na środku garażu umieszczono kurtynę dymową do wysokości 2,1 m od posadzki

i w ten sposób podzielono go na dwie strefy dymowe/detekcji. Dodatkowo w przypadku wentylacji strumieniowej, na granicy stref dymowych, pomiędzy stanowiskami postojowymi, zastosowano ścianki oddzielające strefy na pełnej wysokości garażu. Pożar zlokalizowano na środku garażu, tuż przy granicy stref dymowych. Obydwa przypadki porównano z sytuacją, w której w analizowanym garażu nie było wentylacji pożarowej. Wyznaczony czas ewakuacji użytkowników garażu wynosi 300 s.

Tabela 2. Zadymienie w garażu po kolejnych sekundach od rozpoczęcia pożaru w zależności od zastosowanego systemu wentylacji pożarowej

Table 2. The smoke in the car park after consecutive seconds from the start of the fire, according to fire ventilation system



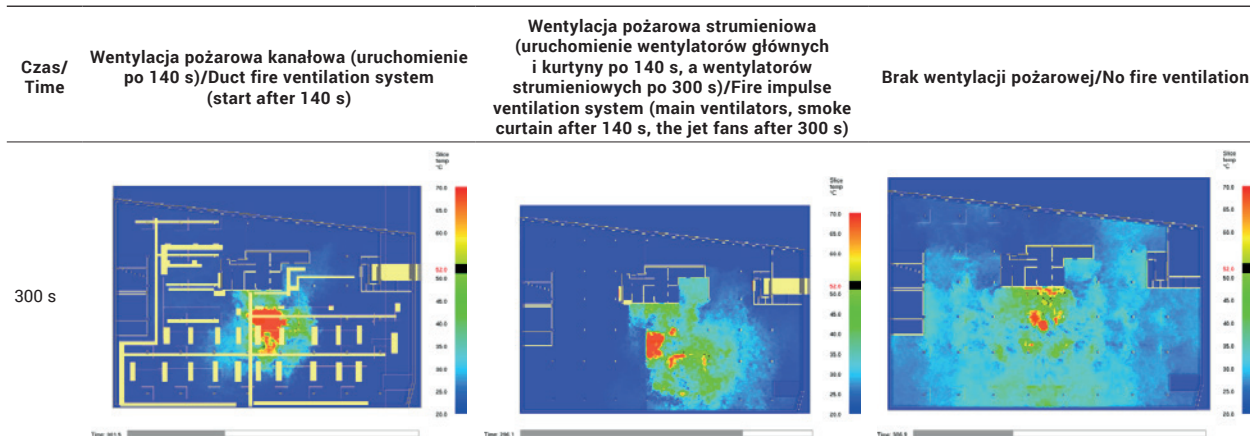


Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 3. Rozkład temperatury w garażu w zależności od systemu wentylacji pożarowej

Table 3. Temperature distribution in the car park, according to fire ventilation system



Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Na podstawie porównania przedstawionych wyników symulacji widać wyraźnie, że strumieniowy system wentylacji pożarowej, mimo że nie były uruchomione wentylatory strumieniowe, powoduje wyraźną poprawę warunków ewakuacji w garażu w stosunku do warunków, jakie byłyby przy całkowitym braku wentylacji oddymiającej, i zapobiega rozprzestrzenianiu się dymu po całej powierzchni, pozwalając, by zadymiona powierzchnia garażu była tylko nieco większa niż w przypadku systemu kanałowego.

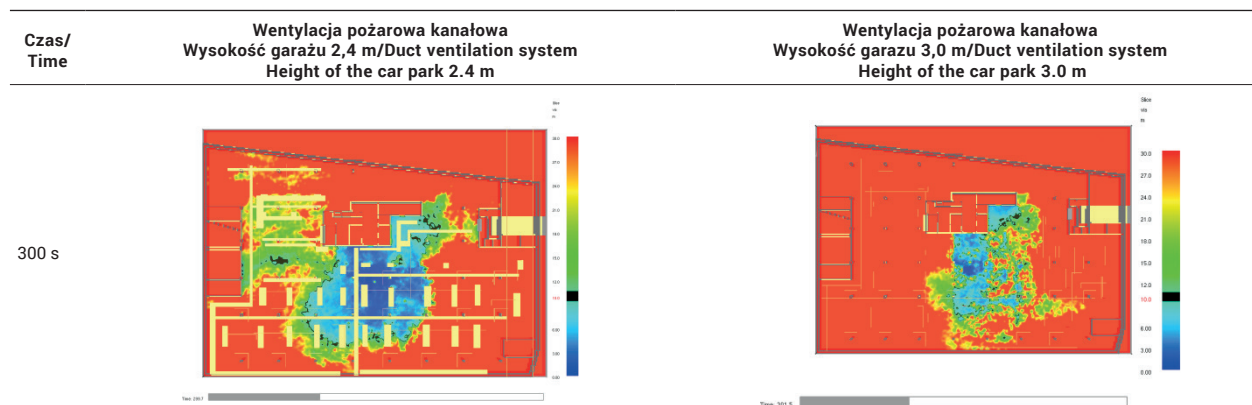
Wysokość garażu

Oczywistym parametrem mającym wpływ na skuteczność działania wentylacji kanałowej jest także wysokość garażu.

W tabeli 4 porównano wyniki symulacji dla garażu opisanego w punkcie 4.1, które przeprowadzono dla tych samych parametrów kanałowej wentylacji oddymiającej (różniaca dotyczy jedynie wysokości garażu, która w pierwszym przypadku wynosi 2,4 m, a w drugim – 3,0 m).

Tabela 4. Zadymienie w garażu w końcowej fazie ewakuacji w zależności od jego wysokości

Table 4. The smoke in the car park in the final phase of evacuation, depending on the height of the car park



Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

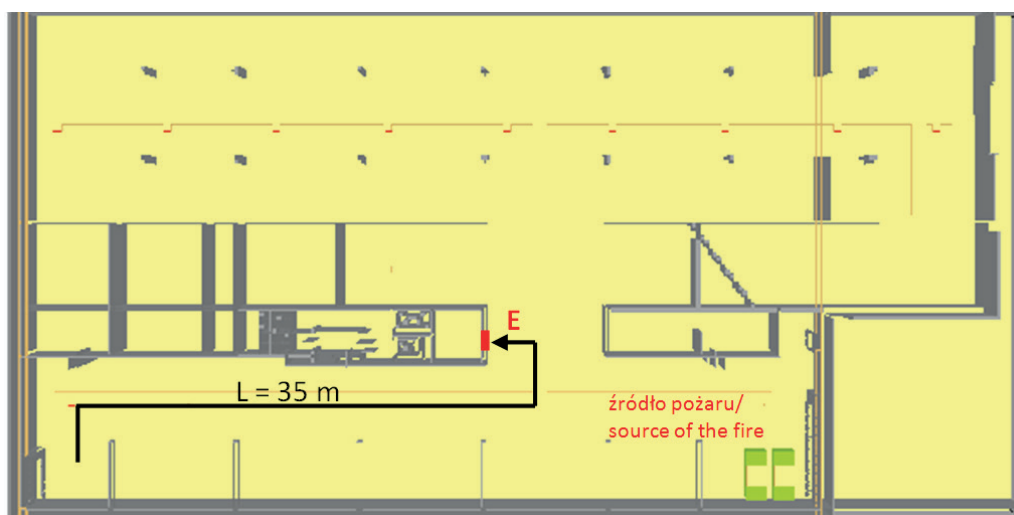
Powyższe wyniki obrazują, jak duży wpływ na skuteczność działania instalacji oddymiającej ma wysokość garażu, której zwiększenie o 60 cm (z 2,4 do 3,0 m) zapewniło utrzymanie się dymu w jednej strefie dymowej oraz znacznie ograniczyło rozprzestrzenienie się dymu w analizowanym garażu (w przypadku garażu o wysokości 2,4 m dym rozprzestrzenił się pod kurtyną dymową (objął dwie strefy dymowe).

Czas uruchomienia wentylacji kanałowej i kwestia ślepych zaułków

Drugim z omawianych zagadnień jest porównanie skuteczności działania kanałowej wentylacji pożarowej w zależności od czasu jej uruchomienia. W tabelach 5 i 6 porównano zasięg widzialności i temperatury na wysokości 1,8 m w garażu o powierzchni 2000 m² i wysokości 3,4 m, sta-

nowiały jedną strefę dymową. Pożar zlokalizowano w prawym dolnym rogu garażu, w pobliżu jednego z punktów nawiewnych. Wydajność instalacji oddymiającej wynosiła 100 tys. m³/h. W pierwszym przypadku wentylację kanałową uruchomiono standardowo – po 140 s od rozpoczęcia pożaru (przyjęto 80 s na wykrycie pożaru i 60 s na rozruch systemu). W drugim przypadku zastosowano opóźnienie uruchomienia instalacji do 300 s, kiedy przewiduje się zakończenie ewakuacji.

Przykład ten obrazuje również sytuację ślepych zaułków, z których szczególnie trudno się ewakuować, co w żaden sposób nie jest ujęte w polskich przepisach. Długość przejścia ewakuacyjnego ze ślepego zaułka w omawianym garażu wynosi zaledwie 35 m, co zaznaczono na rycinie 3. Przewidywany czas ewakuacji użytkowników garażu wynosi 240 s.



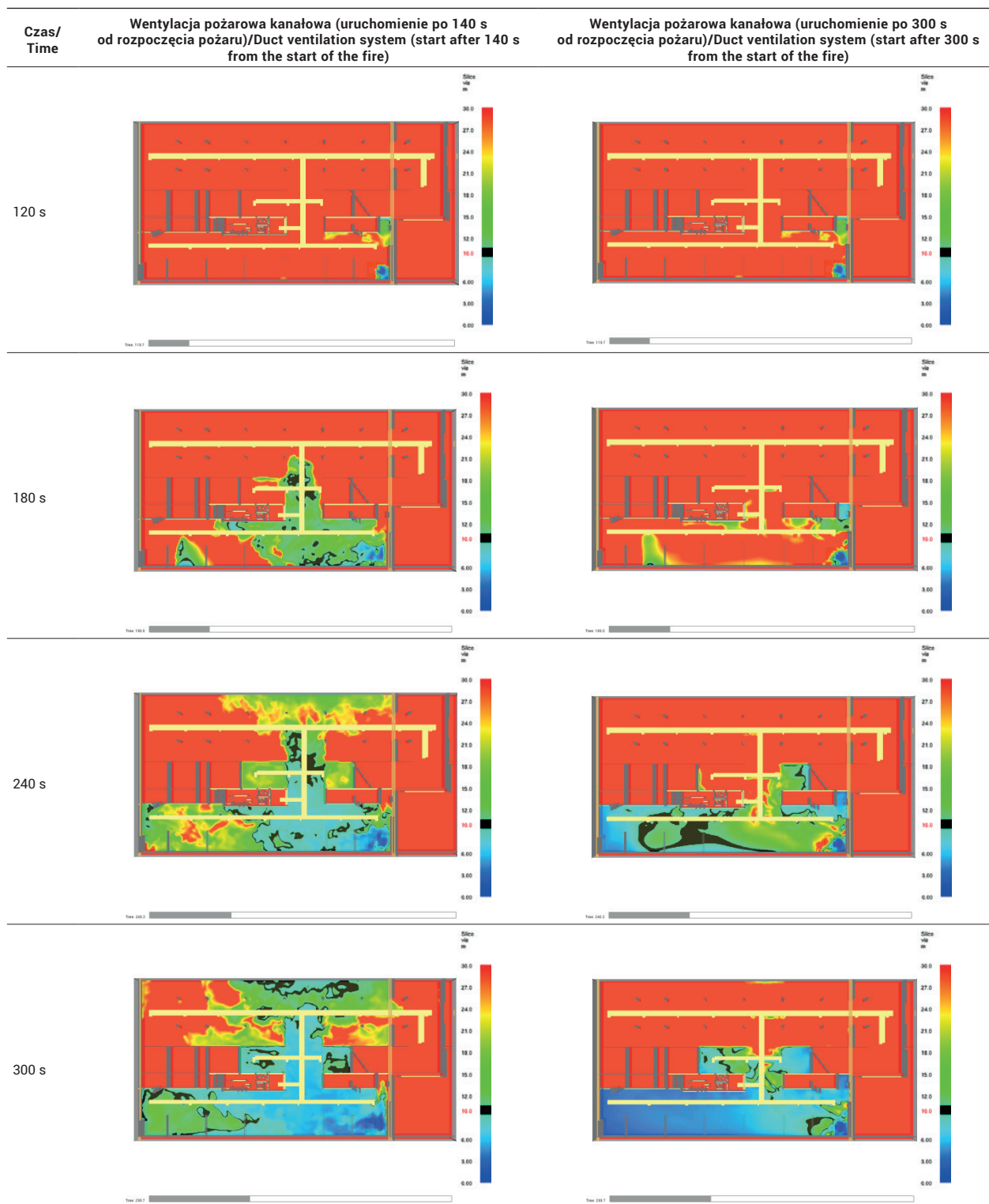
Rycina 3. Ewakuacja ze ślepego zaułka

Figure 3. Evacuation from the dead end

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 5. Zadymienie w garażu po kolejnych sekundach od rozpoczęcia pożaru w zależności od czasu uruchomienia kanałowej wentylacji oddymiającej
Table 5. The smoke in the car park after consecutive seconds from the start of the fire, depending on the launch of the duct smoke ventilation system

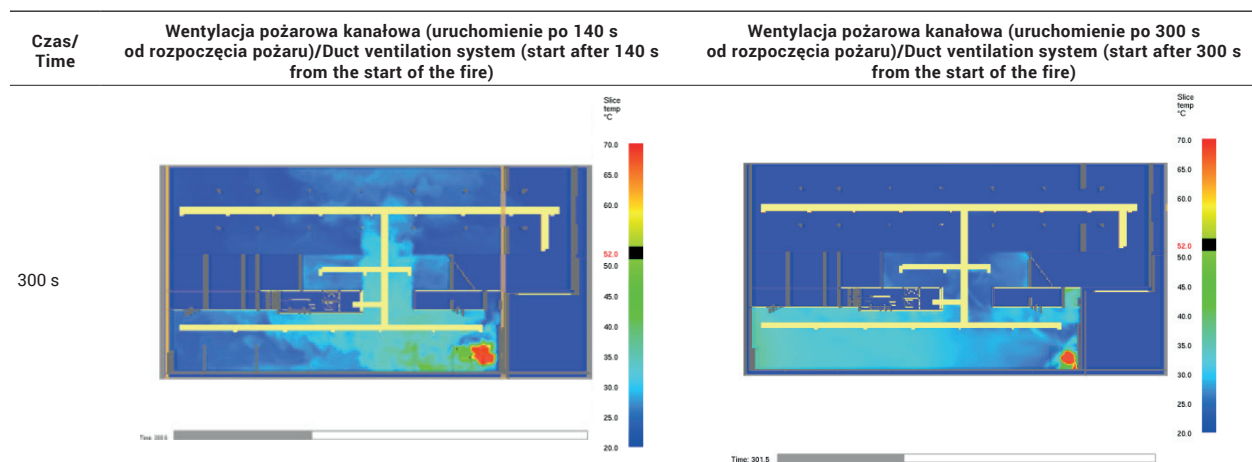


Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 6. Rozkład temperatury w garażu w zależności od czasu uruchomienia kanałowej wentylacji oddymiającej

Table 6. Temperature distribution in the car park, depending on the launch of the duct smoke ventilation system



Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Z porównania przedstawionych wyników symulacji wynika, że opóźnienie uruchomienia instalacji oddymiającej kanałowej spowodowało ograniczenie rozprzestrzeniania się dymu i zmniejszenie się powierzchni zadymionej. Można zatem stwierdzić, że uruchomienie tej wentylacji w czasie trwania ewakuacji spowodowało pogorszenie się warunków ewakuacji. Jak można jednocześnie zauważyć, mimo że przejście ewakuacyjne miało długość zaledwie 35 m, w założonej lokalizacji pożaru w pobliżu wyjścia ewakuacyjnego został odcięty tak duży zadymiony obszar garażu, że ewakuacja z analizowanego zaułka nie była możliwa. Oznacza to, że projektowany system oddymiania nie zapewnił odpowiednich warunków ewakuacji, a przecież zgodnie z obowiązującymi przepisami przejście to mogłoby mieć nawet 60 m.

Podsumowanie

Przedstawiona wyżej analiza pozwala stwierdzić, że:

- długość przejścia ewakuacyjnego (40 m lub 60 m) ma znikomy wpływ na całkowity czas ewakuacji użytkowników garażu i nie jest najistotniejszym elementem zapewnienia bezpiecznej ewakuacji;
- wentylacja pożarowa strumieniowa, nawet przy opóźnieniu uruchomienia wentylatorów strumieniowych, dzięki wentylatorom nawiewnym i wyciągowym oraz innym rozwiązaniom techniczno-organizacyjnym (np. ścianki i kurtyny dymowe na granicy stref detekcji) jest w stanie zapewnić znaczącą poprawę warunków ewakuacji w przewidywanym jej czasie w stosunku do warunków, jakie występowałyby przy całkowitym braku wentylacji pożarowej;
- skuteczność wentylacji pożarowej kanałowej jest bardzo uzależniona od wysokości garażu;
- wentylacja pożarowa kanałowa nie zawsze gwarantuje odpowiednie warunki ewakuacji i możliwość wydłużenia przejść ewakuacyjnych, co jest szczególnie widoczne

podczas analizy warunków ewakuacji ze ślepych zaułków, przy czym niekiedy korzystne jest opóźnienie działania wentylatorów wentylacji kanałowej.

Sugeruje się zatem, aby w nowelizowanych przepisach, zamiast dotychczas proponowanych nieuzasadnionych ograniczeń w wydłużaniu przejść ewakuacyjnych przy stosowaniu wentylacji pożarowej strumieniowej, wprowadzono poprawki, np.:

- ujednociono pojęcia, a wszystkie wyżej wymienione (samoczynne urządzenie odymiające, instalacja wentylacji oddymiającej i system wentylacji oddymiającej) zastąpiono pojęciem wentylacji oddymiającej;
- zróżnicowano długości przejść ewakuacyjnych w zależności od tego, czy występuje jeden kierunek czy dwa kierunki ewakuacji (np. przyjęcie odpowiednio 20 m i 40 m), tak jak to jest w innych państwach;
- zlikwidowano możliwość wydłużania przejść ewakuacyjnych ze względu na stosowanie instalacji wentylacji pożarowej (wzorem innych państw);
- ujednociono możliwość wykorzystania obydwu systemów wentylacji oddymiającej (kanałowej i strumieniowej) i pozostawiono możliwość ich indywidualnej oceny za pomocą analiz inżynierskich i symulacji komputerowych.

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. z 2013 r., poz. 1409, z późn. zm.)
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.)
- [3] Mizieleński B., Kubicki G., *Wentylacja pożarowa. Oddymianie*, WNT, Warszawa 2012.
- [4] Mizieleński B., Kubicki G., *Kontrolowany przepływ powietrza w bezprzewodowym oddymianiu garaży*, Konferencja Naukowo-Techniczna SGSP, Warszawa 2005.

- [5] Brzezińska D., Jędrzejewski R., *Poradnik. Wentylacja pożarowa budynków wysokich i wysokościowych*, Fluid Desk, Szczecin 2003.
- [6] The Building Regulations 2000 – Approved Dokument B – Fire safety – version 2006.
- [7] BS 7346-7:2013 Components for smoke and heat control systems – Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks.
- [8] NBN S 21-208-2 Protection incendie dans les batiments. Conception des systems d'evacuation des fumees et de la chaleur (EFC) des parkings interieurs.
- [9] NEN 6098:2010 Rookbeheersingssystemen voor mechanisch geventileerde parkeer-garages.
- [10] Collier P.C.R., Car Parks – Fires Involving Modern Cars and Stacking Systems, BRANZ Study Report 2011.
- [11] C/VM2 Verification Method: Framework for fire safety design for New Zealand Building Code Clauses C1-C6 Protection from Fire and A3 Building Importance Levels, Ministry of Business Innovation & Employment, December 2013.
- [12] NFPA 88A:2015 Standards for Parking Structures.
- [13] Węgrzyński W., Krajewski G., *Systemu wentylacji pożarowej garaży. Projektowanie, ocena, odbiór*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2015.
- [14] Ratajczak D., *Wentylacja pożarowa garaży: nowa norma*, „Ochrona Przeciwożarowa” 2006, nr 3, s. 36.
- [15] Morgan H.P., Vanhove B., DeSmedt J-C., *On the Design of Impulse Ventilation for Smoke Control in Car Parks*, „International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes” 2004, 6(2), s. 53–71.
- [16] Brzezińska D., *Możliwości wydłużania przejść ewakuacyjnych w garażach*, „Ochrona Przeciwożarowa” 2012, nr 2, s. 14–16.
- [17] Brzezińska D., *Wentylacja pożarowa obiektów budowlanych*, Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015.
- [18] Brzezińska D., Ratajczak D., *Wentylacja oddymiająca w garażach*, „Ochrona Przeciwożarowa” 2010, nr 3, s. 18–23.
- [19] Brzezińska D., *Powstanie i rozwój inżynierii bezpieczeństwa pożarowego w Polsce*, BiTP, Vol. 42 Issue 2, 2016, pp. 141–149.
- [20] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 144, poz. 859)
- [21] PD 7974-6: 2004 The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part6: Human Factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (SUB-system 6).
- [22] Schiffliti R.P., Custer R.L.P., Meacham B.J., *Design of Detection systems*, w: SFPE Handbook of fire protection engineer, Hurley M. (red.), wyd. 5, 2016.
- [23] Komendant Główny Państwowej Straży Pożarnej, pismo dot. stosowania strumieniowych instalacji wentylacji oddymiającej w garażach, warszawa, 13 maja 2016 r.
- [24] Department of the Environment, Heritage and Local Government, Building Regulation 2006, Technical Guidance Document B, Fire Safety, Switzerland 2006.
- [25] Building regulations, Section 5: Safety in case of fire, BFS 2014:3.
- [26] Building Department, Code of Practice for Fire Safety in Buildings, Hong Kong 2011.
- [27] Ministry of Interior, United Arab Emirates, UAE Fire and Life Safety Code of Practice, 2011.
- [28] Fire Dynamics Simulator– Technical Reference Guide, NIST.
- [29] Fire Dynamics Simulator – Users Guide, NIST.
- [30] Verification & Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 7: Fire Dynamics Simulator. US Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research (RES), May 2007.

DR INŻ. DOROTA BRZEZIŃSKA – jest adiunktem Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Zajmuje się dydaktyką z zakresu inżynierii pożarowej, systemów wentylacji pożarowej oraz ochrony przeciwpożarowej w budownictwie. Prowadzi również wykłady z zakresu wentylacji pożarowej na studiach podyplomowych Politechniki Warszawskiej oraz Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. W 2009 roku ukończyła studium podyplomowe „Modelowanie pożarów wewnętrznych” na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego i Systemów Bezpieczeństwa na Uniwersytecie w Lund, w Szwecji. Jest autorką ponad 100 publikacji technicznych i konferencyjnych, współautorką Poradnika oddymiania budynków wysokich i wysokościowych, wydanego w 2003 r. oraz autorką monografii Wentylacja pożarowa obiektów budowlanych wydanej w 2015 r. Jej badania koncentrują się na ocenie skuteczności działania systemów wentylacji pożarowej i bytowej w różnego typu obiektach budowlanych oraz poszukiwaniu optymalnych rozwiązań technicznych w tym zakresie. Ma duże doświadczenie w projektowaniu systemów wentylacji pożarowej w obiektach rzeczywistych, dla których, jako właściciel firmy GRID, opracowała ponad 250 analiz z wykorzystaniem symulacji CFD. Jest wiceprezesem Polskiego Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów Bezpieczeństwa Pożarowego (SFPE) i aktywnym członkiem Polskiego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa (SITP).

MGR INŻ. RENATA OLLESZ – absolwentka Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Obecnie zajmuje się modelowaniem numerycznych procesów rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w obiektach budowlanych. Interesuje się zagadnieniami inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Doktorantka na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej.