

Piotr Kaczmarzyk^{a) b)*}, Wojciech Klapsa^{a)}, Paweł Janik^{a)}, Piotr Krawiec^{b)}

^{a)} *Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowozarowej – Państwowy Instytut Badawczy*

^{b)} *Poznan University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Machine Design / Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Konstrukcji Maszyn*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: pkaczmarzyk@cnbop.pl*

Identification and Evaluation of Technical and Operational Parameters of Mobile Positive Pressure Ventilation Fans Used during Rescue Operations

Identyfikacja i ocena parametrów techniczno-użytkowych mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych stosowanych podczas działań ratowniczych

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is to indicate the essential technical and operational parameters of mobile fans and to present the proposed testing methodologies (as well as dedicated infrastructure) allowing to confirm the indicated features.

Project and methods: In many places around the world, scientists conduct tests related to the use of mechanical tactical ventilation with the use of mobile positive pressure ventilation fans. These devices are used by fire protection units, among others, for the removal of thermal decomposition products resulting from fires, posing a threat to people staying in construction facilities during events and hindering rescue operations. Achieving the expected effects through the use of mechanical tactical ventilation depends on many factors, among others, on the appropriate technical parameters and the ability to use the fan. Describing the essential features that should be characterized by the devices in question, attention in particular should be paid to: mobility, durability, reliability and effectiveness. To confirm these features, mobile fans should be tested using properly validated test methodologies. This publication presents a draft of the test program that allows to confirm the effectiveness of mobile fans, i.e. aerodynamic efficiency (flow rate), stream shape (area of the effective speed distribution), operating time, noise, weight and dimensions.

Conclusions: Mobile fans used by fire protection units are an important tool supporting the effectiveness of rescue operations. However, in order for them to be used in an optimal way, it is necessary to comprehensively examine the technical parameters, and then – adequately to these parameters – to develop appropriate procedures for their use. In the context of the aforementioned testing, despite the large scientific achievements in this field, there are still areas that require improvement, with particular emphasis on standardized testing methodologies and the measurement infrastructure dedicated to them. For this reason, the authors indicated important technical and functional features that determine the effectiveness of mobile fans and recommended selected methods on the basis of which these features can be verified. The intention of the project is to provide rescuers with greater comfort when choosing and using the devices in question. The basis for this comfort is to be aware of the availability of equipment with confirmed functional characteristics and the possibility of referring to the developed guidelines for the proper use of fans in accordance with their parameters.

Key words: mobile positive pressure ventilation fans, tests of mobile fans, functional properties of fans

Article type: review article

Received: 16.11.2021; **Reviewed:** 25.11.2021; **Accepted:** 25.11.2021;

Authors' ORCID IDs: P. Kaczmarzyk – 0000-0003-4310-6086; W. Klapsa – 0000-0002-6481-587X; P. Janik – 0000-0003-4498-7575; P. Krawiec – 0000-0003-3076-0337;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 74–91, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.5>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest wskazanie istotnych parametrów techniczno-użytkowych mobilnych wentylatorów oraz przedstawienie propozycji metodyk badawczych (a także dedykowanej infrastruktury) pozwalających potwierdzić wskazane cechy.

Projekt i metody: W wielu miejscach na świecie naukowcy prowadzą badania związane ze stosowaniem mechanicznej wentylacji taktycznej z wykorzystaniem mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych. Urządzenia te są wykorzystywane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej m.in. do usuwania powstałych w wyniku pożarów produktów rozkładu termicznego, stanowiących zagrożenie dla osób przebywających w trakcie zdarzeń w obiektach

budowlanych oraz utrudniających działania ratownicze. Osiągnięcie oczekiwanych efektów poprzez zastosowanie mechanicznej wentylacji taktycznej zależy od wielu czynników, m.in. od odpowiednich parametrów technicznych oraz umiejętności zastosowania wentylatora. Opisując istotne cechy, jakimi powinny charakteryzować się przedmiotowe urządzenia, w szczególności należy zwrócić uwagę na: mobilność, trwałość, niezawodność oraz skuteczność działania. Aby potwierdzić te cechy, mobilne wentylatory powinny zostać poddane badaniom z wykorzystaniem odpowiednio zwalidowanych metodyk badawczych. W niniejszej publikacji przedstawiono projekt programu badań, pozwalający uwierzytelnić efektywność działania mobilnych wentylatorów, tj.: wydajność aerodynamiczną (wielkość przepływu), kształt strugi (powierzchnię efektywnego rozkładu prędkości), czas pracy, hałas, masę oraz wymiary.

Wnioski: Mobilne wentylatory, stosowane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej, stanowią ważne narzędzie wspomagające efektywność prowadzonych działań ratowniczych. Jednak, aby mogły być one wykorzystywane w sposób optymalny, konieczne jest wszechstronne zbadanie parametrów technicznych, a następnie – adekwatne do tych parametrów – opracowanie odpowiednich procedur ich użycia. W kontekście wspomnianych badań, pomimo dużego dorobku naukowego w tej dziedzinie, nadal można dostrzec obszary wymagające doskonalenia, ze szczególnym uwzględnieniem znormalizowanych metodyk badawczych oraz dedykowanej im infrastruktury pomiarowej. Z tego względu zespół autorski wskazał istotne cechy techniczno-użytkowe warunkujące efektywność działania mobilnych wentylatorów oraz zarekomendował wybrane metody, na podstawie których cechy te mogą zostać zweryfikowane. Intencją przedsięwzięcia jest zapewnienie ratownikom większego komfortu przy wyborze oraz korzystaniu z omawianych urządzeń. Podstawą tego komfortu ma być świadomości dysponowania sprzętem o potwierdzonych cechach użytkowych oraz możliwość odwołania się do opracowanych wytycznych w zakresie prawidłowego użytkowania wentylatorów zgodnie z posiadanymi przez nie parametrami.

Słowa kluczowe: mobilne wentylatory nadciśnieniowe, badania mobilnych wentylatorów, właściwości użytkowe wentylatorów

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 16.11.2021; **Zrecenzowany:** 25.11.2021; **Zaakceptowany:** 25.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: P. Kaczmarzyk – 0000-0003-4310-6086; W. Kłapsa – 0000-0002-6481-587X; P. Janik – 0000-0003-4498-7575; P. Krawiec – 0000-0003-3076-0337;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 74–91, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.5>;

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

Introduction

During fires of buildings, there is a possibility of phenomena that may endanger the safety of its users. One of them is the emission of toxic products of thermal decomposition. This phenomenon is particularly dangerous during fires in which large amounts of plastics [1–3] or impregnated materials [4] are burned. Such materials are commonly found in apartments, offices, warehouses and many other rooms. During their combustion, chemical compounds such as SO_2 , NO_2 , NO , HCN , CO_2 , CO , HCl , HBr and HF may be released, the elevated concentrations of which in the air may be hazardous to human life and health [1–3].

In order to remove harmful products of combustion in buildings, techniques included in the area of tactical ventilation are used. Among them the following stand out [5]:

- anti-ventilation (based on measures related to insulation/fire suppression),
- gravitational ventilation (consisting in the removal of smoke with the use of natural flow phenomena as a result of the existing differences in gas density),
- hydraulic ventilation (carried out by means of a water stream from a nozzle),
- mechanical ventilation – negative pressure (performed with the use of a mobile fan positioned in front of the opening leading to the facility in such a way as to exhaust smoke from inside the facility),
- mechanical ventilation – overpressure (performed with the use of a mobile fan, whose task is to supply fresh air to the interior of the building).

Wprowadzenie

W trakcie pożarów obiektów budowlanych istnieje możliwość wystąpienia zjawisk mogących zagrażać bezpieczeństwu jego użytkowników. Jednym z nich jest emisja toksycznych produktów rozkładu termicznego. Zjawisko to jest szczególnie niebezpieczne podczas pożarów, w których spalane są duże ilości tworzyw sztucznych [1–3] lub materiałów impregnowanych [4]. Takie materiały są powszechnie obecne w mieszkaniach, biurach, magazynach i wielu innych pomieszczeniach. Podczas ich spalania mogą wydzielać się związki chemiczne, takie jak: SO_2 , NO_2 , NO , HCN , CO_2 , CO , HCl , HBr oraz HF , których podwyższone stężenia w powietrzu mogą być niebezpieczne dla życia i zdrowia ludzi [1–3].

W celu usunięcia szkodliwych produktów spalania w obiektach budowlanych stosowane są techniki wpisane w obszar wentylacji taktycznej. Wśród nich wyróżnia się m.in. [5]:

- anty-wentylację (opierającą się na działaniach związanych z izolacją/tłumieniem pożaru),
- wentylację grawitacyjną (polegającą na usuwaniu dymu z wykorzystaniem zjawisk naturalnego przepływu w wyniku istniejących różnic w gęstości gazów),
- wentylację hydrauliczną (realizowaną za pomocą strumienia wody z prądownicy),
- wentylację mechaniczną – podciśnieniową (wykonywaną przy zastosowaniu mobilnego wentylatora ustawionego przed otworem prowadzącym do obiektu w taki sposób, aby wywiewał dym z wnętrza obiektu),
- wentylację mechaniczną – nadciśnieniową (realizowaną przy użyciu mobilnego wentylatora, którego zadaniem jest nawiewanie świeżego powietrza do wnętrza obiektu).

When analysing the current scientific trend, it is noted that in many places around the world scientists conduct numerous studies related to the use of tactical (mechanical) ventilation using mobile fans. The conducted research mainly concerns the assessment of the effectiveness of this type of units in building structures. Citing selected literature, it is worth mentioning the research carried out by Loughheed, who together with his research team [6] published the results of research on the effectiveness of PPV (positive pressure ventilation) in high-rise buildings. The team tested different fan positioning distances in front of the door opening (i.e. 1.2 m; 1.8 m; and 2.8 m). During the tests, researchers confirmed that the amount of air flow was greatest when the fan was located closer to the door, but this did not translate into the stability of the air flow in the facility. In literature, there are also publications related to the assessment of the efficiency of operation of mobile fans with the use of computational fluid dynamics (CFD). Kerber assessed the ability of CFD software to reproduce the flow generated by PPV fans [7]. In his study, he showed that FDS (fire dynamics simulator) belonging to NIST (National Institute of Standards and Technology) ensures the correct representation of the PPV (positive pressure ventilation) flow pattern and corresponds well with the experiments. Ezekoye et al. [8] examined the use of PPV in a three-story building. After performing the experiments, the authors formulated the following conclusions:

1. The distance of the positioning of the fan in front of the door opening influences the amount of air flow generated by the mobile fan.
2. The larger the volume of the facility, the less efficient ventilation with the use of a PPV fan due to the larger area where potential leaks in the structure of the facility may occur.
3. By increasing the size of the outlet opening, the flow loss is reduced and thus the efficiency of the provided ventilation is increased.

Also Panindre [9] conducted studies aimed at assessing the impact of modifying the size of the inlet opening on the efficiency of PPV ventilation. In his research, he showed that the efficiency of a mobile fan can be increased by placing a smoke curtain in the upper area of the surface of the door opening. In his publication, he indicated approximately the value for the ideal fan arrangement, which is 1.2 m of the distance from the opening to the door opening and a smoke curtain covering the upper part of the inlet opening at a height of 0.3 m from the upper edge of the fan.

In addition to the tests on the effectiveness of mobile fans in real conditions, the literature on the subject also includes items describing the evaluation of operating parameters with the use of test stands. Fritsche et al. in their publication [10] indicated that the values of aerodynamic efficiency of mobile fans declared by the manufacturers may differ from the actual ones due to the lack of a standardized research methodology for testing this type of devices. In their works, Fritsche et al. presented a test stand and test methodology allowing to measure the flow rate of PPV fans. Analysing the achievements mentioned above of the scientists in the field of research on mobile positive pressure ventilation fans, it can be noticed that this area of research is currently

Analizując obecny trend naukowy, zauważa się, że w wielu miejscach na świecie naukowcy prowadzą liczne badania związane ze stosowaniem wentylacji taktycznej (mechanicznej) przy użyciu mobilnych wentylatorów. Realizowane badania w głównej mierze dotyczą oceny skuteczności działania tego typu jednostek w obiektach budowlanych. Przytaczając wybrane pozycje literaturowe, należy wspomnieć o badaniach wykonanych przez Loughheed'a, który ze swoim zespołem badawczym [6] opublikował wyniki badań dotyczących skuteczności PPV (ang. *positive pressure ventilation*) w budynkach wysokościowych. Zespół przetestował różne odległości pozycjonowania wentylatora przed otworem drzwiowym (tj. 1,2 m; 1,8 m; i 2,8 m). W trakcie testów badacze potwierdzili, że wielkość przepływu powietrza była największa, gdy wentylator był zlokalizowany bliżej drzwi, niemniej jednak nie przekładało się to na stabilność przepływu powietrza w obiekcie. W literaturze dostępne są również publikacje związane z oceną efektywności działania mobilnych wentylatorów z wykorzystaniem analiz numerycznych (ang. *computational fluid dynamics*, CFD). Kerber ocenił zdolność oprogramowania CFD do odtwarzania przepływu wytwarzanego przez wentylatory PPV [7]. W swoim opracowaniu wykazał, że FDS (ang. *fire dynamics simulator*) należący do NIST (National Institute of Standards and Technology) zapewnia właściwe odzwierciedlenie wzorca przepływu PPV (ang. *positive pressure ventilation*) i dobrze koresponduje z eksperymentami. Ezekoye i in. [8] zbadali zastosowanie PPV w budynku trzykondygnacyjnym. Po wykonaniu eksperymentów autorzy sformułowali następujące wnioski:

1. Odległość pozycjonowania wentylatora przed otworem drzwiowym ma wpływ na wielkość przepływu powietrza generowaną przez mobilny wentylator.
2. Im większa jest objętość obiektu, tym wentylacja z wykorzystaniem wentylatora PPV jest mniej wydajna z uwagi na większy obszar, gdzie mogą występować potencjalne nieszczelności struktury obiektu.
3. Poprzez zwiększenie rozmiaru otworu wylotowego, zmniejsza się straty przepływu, a tym samym zwiększa się efektywność realizowanej wentylacji.

Również Panindre [9] przeprowadził badania mające na celu ocenę wpływu modyfikacji wielkości otworu wlotowego na efektywność wentylacji PPV. W swoich badaniach wykazał, że skuteczność mobilnego wentylatora może wzrosnąć dzięki umieszczeniu kurtyny dymowej w górnym obszarze powierzchni otworu drzwiowego. W swojej publikacji wskazał on w przybliżeniu wartość dla idealnego rozmieszczenia wentylatora, która wynosi 1,2 m odległości od otworu od otworu drzwiowego oraz kurtyny dymowej, zasłaniającej górną część otworu wlotowego, umieszczonej na wysokości 0,3 m od górnej krawędzi wentylatora.

Obok testów dotyczących skuteczności działania mobilnych wentylatorów w warunkach rzeczywistych w literaturze przedmiotu obecne są również pozycje opisujące ocenę parametrów działania z wykorzystaniem stanowisk testowych. Fritsche i in. w swojej publikacji [10] wskazali, że deklarowane przez producentów wartości wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów mogą się różnić od rzeczywistych ze względu na brak znormalizowanej metodyki badawczej do testów tego typu urządzeń. W swoich pracach Fritsche i in. zaprezentowali stanowisko badawcze i metodykę

developing dynamically. There is no doubt that one of the determinants of its development is the constantly progressing technology, providing new design solutions, with particular emphasis on various types of power supply and systems directing the air stream flow. Due to the nature of the use of this type of devices, it is very important that the parameters determining their effectiveness are properly verified (based on validated testing methodologies), and the process of evaluating the results is based on useful and measurable criteria. In Poland so far no requirements and no dedicated test methods have been defined to confirm that individual types of fans have certain technical and operational features that determine the effectiveness of their operation during fires. Therefore, this article attempts to present key requirements for these devices that they should meet, and the scope of tests that would enable confirmation of compliance with these requirements.

Mobile fans – construction and features accompanying their operation

When describing the construction of mobile positive pressure ventilation fans, it should be noted that their design is generally similar in terms of the components. Devices of this type are made of:

- rotor (usually made of plastic),
- rotor housing (metal or plastic),
- drive system (electric, combustion or hydraulic) and dedicated accessories,
- other elements: frames, fasteners, carrying handles, mechanism for changing the angle of air flow, transport wheels.

Despite the similarities mentioned above, individual fans differ in terms of quality and technical details regarding the manufacture of the elements (e.g. shape and size of the rotor blades) from which they are made. These differences depend on the technological advancement of their production and assembly processes. As a result, the technical and operational parameters of the individual types of the considered devices are also different. Knowledge of the specificity of the parameters in question is the starting point for the analysis, the effect of which is to develop criteria for the optimal use of the fans in question in rescue and firefighting operations, e.g. in the context of their proper setting (positioning). The key factors influencing the performance of individual components of the considered devices are discussed below.

Rotating element and rotor housing

When analysing the elements responsible for pressing air through the axial impellers, it should be noted that these types of components may differ in the material of manufacture, as well

as badań pozwalające dokonać pomiaru wielkości przepływu wentylatorów PPV. Analizując przytoczone powyżej dokonania naukowców w obszarze badań mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych, można zauważyć, że aktualnie ten obszar badań dynamicznie się rozwija. Nie ulega wątpliwości, iż jednym z determinantów jego rozwoju jest dokonujący się ciągle postęp technologii, dostarczającej nowych rozwiązań konstrukcyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem różnych rodzajów zasilania oraz systemów kierujących przepływ strugi powietrza. Z uwagi na charakter wykorzystania tego typu urządzeń bardzo ważne jest, aby parametry decydujące o ich skuteczność działania były odpowiednio zweryfikowane (na podstawie zwalidowanych metodyk badawczych), a proces oceny wyników przebiegał w oparciu o użyteczne i mierzalne kryteria. W Polsce do tej pory nie określono wymagań oraz dedykowanej metody badań potwierdzających posiadanie przez poszczególne typy wentylatorów określonych cech techniczno-użytkowych, warunkujących skuteczność ich pracy w trakcie pożarów. W związku z powyższym w niniejszym artykule podjęto próbę przedstawienia w odniesieniu do tych urządzeń kluczowych wymagań, jakie powinny one spełniać oraz zakresu badań, które umożliwiłyby potwierdzenie spełnienia przedmiotowych wymagań.

Mobilne wentylatory – budowa oraz cechy towarzyszące eksploatacji

Opisując budowę mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych, należy zaznaczyć, że ich konstrukcja pod względem elementów składowych jest na ogół podobna. Urządzenia tego typu zbudowane są z:

- wirnika (wytworzonego najczęściej z tworzywa sztucznego),
- obudowy wirnika (wykonywanej z metalu lub tworzywa sztucznego),
- układu napędowego (elektrycznego, spalinowego lub hydraulicznego) oraz dedykowanego osprzętu,
- pozostałych elementów: ramy, mocowania, uchwytów do przenoszenia, mechanizmu do zmiany kąta nawiewu strugi powietrza, kół transportowych.

Pomimo powyższych podobieństw, poszczególne wentylatory różnią się między sobą jakością oraz detalami technicznymi dotyczącymi wykonania elementów (np. kształtu i wielkości łopatek wirnika), z których są wyprodukowane. Różnice te zależą od stopnia zaawansowania technologicznego procesów ich produkcji oraz montażu. W efekcie różne są też parametry techniczno-użytkowe poszczególnych typów rozpatrywanych urządzeń. Znajomość specyfiki przedmiotowych parametrów jest punktem wyjścia do analizy, której efektem ma być opracowanie kryteriów optymalnego wykorzystania omawianych wentylatorów w działaniach ratowniczo-gaśniczych, m.in. w kontekście ich właściwego ustawienia (pozycjonowania). Poniżej omówiono kluczowe czynniki wpływające na charakterystykę pracy poszczególnych elementów składowych rozpatrywanych urządzeń.

Element wirujący i obudowa wirnika

Analizując elementy odpowiedzialne za tłoczenie powietrza przez wirniki osiowe, należy wskazać, że tego typu komponenty mogą różnić się materiałem wykonania, a także liczbą i wielkością

as the number and size of the blades. The interaction of the moving blade with the jet is determined by its profile, chord and inclination angle in relation to the spinning plane. The described features of the impeller have a significant impact on the efficiency of the fan operation, because they determine the force with which the device will act on the air stream. In turn, when discussing the external structure of the fan rotor casing, it should be mentioned that it is usually in the form of a steel mesh (located on the front and rear surfaces of the rotor) and a sheet – securing the rotor in the circumference. On the market there are also fans with housings made of plastic.

Fan units are divided according to the type of used rotating element [11]. This is how the following are distinguished:

- traditional fans generating a cone-shaped stream,
- “turbo” fans, which, due to the presence of specially shaped blades in combination with a dedicated housing (also acting as a flow straightener), give the air stream a shape resembling a cylinder.

The visualization of the air stream shapes that can be generated by the PPV fan is shown in Figure 1, and the photos of representative fan units (conventional and “turbo”) are presented in Figure 2.

łopatek. Interakcję ruchomej łopatką ze strumieniem determinuje jej profil, cięciwa i kąt inklinacji względem płaszczyzny wirowania. Opisane cechy wirnika mają znaczący wpływ na skuteczność działania wentylatora, ponieważ warunkują one siłę, z jaką urządzenie oddziaływać będzie na strugę powietrza. Z kolei omawiając konstrukcję zewnętrzną obudowy wirnika wentylatorów, należy wspomnieć, że na ogół ma ona postać stalowej siatki (usytuowanej na frontowej i tylnej powierzchni wirnika) oraz blachy – zabezpieczającej wirnik w obwodzie. Na rynku dostępne są również wentylatory posiadające obudowy wykonane z tworzywa sztucznego.

Jednostki wentylatorowe dzieli się ze względu na rodzaj zastosowanego elementu wirującego [11]. W ten sposób wyróżnia się:

- wentylatory tradycyjne, generujące strugę kształtem przypominającą stożek,
- wentylatory typu „turbo”, które ze względu na obecność specjalnie uformowanych łopatek w połączeniu z dedykowaną obudową (pełniącą również rolę prostownicy przepływu), nadają strudze powietrza kształt przypominający walec.

Wizualizację kształtów strugi powietrza, jakie mogą zostać wygenerowane przez wentylator PPV, przedstawia rycina 1, a zdjęcia reprezentatywnych jednostek wentylatorowych (konwencjonalnej oraz typu „turbo”) zostały zaprezentowane na rycinie 2.

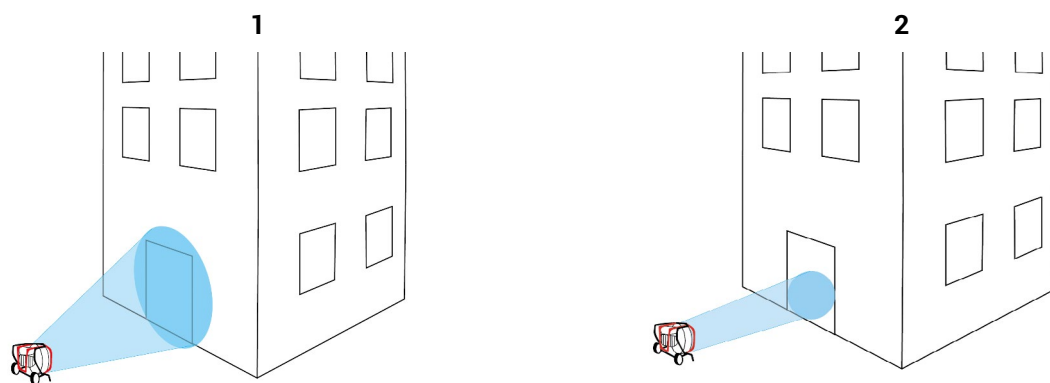


Figure 1. Visualization of the shape of the blown stream generated by mobile positive pressure ventilation fans. On the left (1) a conical stream, on the right (2) a cylindrical stream

Rycina 1. Wizualizacja kształtu nawiewanej strugi generowanej przez mobilne wentylatory nadciśnieniowe. Po lewej (1) kształt strugi stożkowy, po prawej (2) struga w kształcie walca

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.



Figure 2. A photo showing an example of a conventional (on the left) and turbo fan (on the right).

Rycina 2. Fotografia przedstawiająca przykładowy wentylator konwencjonalny (po lewej) oraz typu turbo (po prawej).

Source / Źródło: [12–13].

When analysing the issues related to the structure of the rotor and the formed air stream, it should be mentioned that the type of fan, with particular emphasis on the parameters influencing the shape and speed profile, will also determine a very important parameter – the positioning distance of the unit in front of the door opening. The literature on the subject [5–6, 9, 11, 14–15] includes the results of empirical research on the basis of which recommendations were developed regarding the optimal positioning of conventional and “turbo” units. In case of conventional fans, it has been shown that the fan (depending on the type of the unit) should be positioned at a distance of 2 to 5 m from the inlet, respectively, at an angle of 15 to 30 degrees, so that the stream tightly covers the said opening. With regard to the positioning of the “turbo” fans, the parameters mentioned above declared by the manufacturers are within the following ranges: distance: 3–7 m, angle of inclination: 8–25°. The issues related to the positioning distance of the fan are very important in the context of implementing effective tactical ventilation. Properly selected distance and angle of inclination of the unit allows to support certain ventilation techniques, using the attribute of the shape of the generated stream.

Drive system

Another important component of a mobile fan, determining its efficiency, is the drive unit with which it is equipped. On the market of mobile PPV fans, there are three types of drive units, respectively: internal combustion engines (the most common solution), electric motors and hydraulic (water) drive.

It is worth noting that a vast majority of fan units do not have drive gears – the fan rotor is mounted directly on the drive shaft. However, there are only a few units on the market equipped with cable transmissions. Internal combustion engines are characterized by the highest power transferred to the fan shaft – in the range from 2 to 18 [KM]. An undoubted advantage of using this type of units is the possibility of their convenient movement in the area of the rescue operation area. To operate such a unit, no additional infrastructure is needed to power the drive (electricity or water stream).

When considering the disadvantages related to the operation of internal combustion engines, it should be remembered that this type of units – compared to other drives – generate the highest noise level, which is an undesirable factor during the carried out activities (it may hinder communication between rescuers). Moreover, the exhaust fumes produced as a result of engine operation, present in the immediate area of the fan, may cause discomfort to the rescuers, and in the event of prolonged exposure (indoors), due to the content of carbon monoxide, may cause poisoning. In order to reduce the adverse effect of exhaust gases generated by a working engine, it is possible to use a discharge conduit, which – appropriately directed – will slightly reduce the risk of inhaling carbon monoxide. Still with the issues related to fans equipped with combustion engines, the requirements for their proper operation and maintenance should also be mentioned. Assessment of the oil level (preferably before each start-up), cyclical oil change or periodic engine inspections are

Analizując zagadnienia dotyczące konstrukcji wirnika oraz formowanej strugi powietrza, należy wspomnieć, że typ wentylatora, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów wpływających na kształt i profil prędkości, będzie determinował również bardzo istotny parametr – dystans pozycjonowania jednostki przed otworem drzwiowym. W literaturze przedmiotu [5–6, 9, 11, 14–15] dostępne są wyniki badań empirycznych, na podstawie których opracowano rekomendacje w zakresie optymalnego sytuowania jednostek określanymi mianem konwencjonalnych oraz typu „turbo”. W przypadku wentylatorów konwencjonalnych wykazano, że wentylator (w zależności od typu jednostki) powinien być pozycjonowany w odległościach odpowiednio od 2 do 5 m od otworu wlotowego, przy kącie nachylenia od 15 do 30 stopni, tak aby struga obejmowała ściśle wspomniany otwór. W odniesieniu do pozycjonowania wentylatorów typu „turbo”, ww. parametry deklarowane przez producentów zawierają się odpowiednio w przedziałach: odległość: 3–7 m, kąt nachylenia: 8–25°. Zagadnienia dotyczące odległości pozycjonowania wentylatora są bardzo istotne w kontekście realizowania efektywnej wentylacji taktycznej. Właściwie dobrany dystans i kąt nachylenia jednostki pozwala wspierać pewne techniki wentylacji, wykorzystujące atrybut kształtu wytworzonej strugi.

Układ napędowy

Kolejnym ważnym komponentem mobilnego wentylatora, warunkującym jego efektywność, jest jednostka napędowa, w jaką został wyposażony. Na rynku mobilnych wentylatorów PPV wyróżnia się odpowiednio trzy typy jednostek napędowych: silniki spalinowe (najpowszechniejsze rozwiązanie), silniki elektryczne oraz napęd hydrauliczny (wodny).

Na uwagę zasługuje fakt, że zdecydowana większość jednostek wentylatorowych nie posiada przekładni napędowych – wirnik wentylatora osadzany jest bezpośrednio na wale napędowym. Na rynku są jednak dostępne nieliczne jednostki wyposażone w przekładnię cięgnową. Silniki spalinowe charakteryzują się największą mocą przekazywaną na wał wentylatora – w zakresie od 2 do 18 [KM]. Niewątpliwą zaletą stosowania tego typu jednostek jest możliwość ich wygodnego przemieszczania podczas akcji ratowniczej. Do eksploatacji takiej jednostki, nie jest potrzebna dodatkowa infrastruktura, niezbędna do zasilania napędu (energia elektryczna czy strumień wody).

Rozpatrując wady związane z eksploatacją silników spalinowych, należy pamiętać, że tego typu jednostki – w porównaniu do innych napędów – generują największy poziom hałasu, który jest niepożądanym czynnikiem w trakcie prowadzonych działań (może utrudniać komunikację pomiędzy ratownikami). Ponadto spaliny produkowane w wyniku pracy silnika, obecne w bezpośrednim obszarze wentylatora, mogą być przyczyną dyskomfortu ratowników, a przy dłuższym czasie ekspozycji (wewnątrz pomieszczeń), w wyniku zawartości tlenu węgla, mogą spowodować zatrucie. W celu zredukowania efektu niekorzystnego oddziaływania gazów spalinowych, generowanych przez pracujący silnik, istnieje możliwość zastosowania przewodu odprowadzającego, który – odpowiednio ukierunkowany – pozwoli nieco zmniejszyć zagrożenie powodowane wdychaniem tlenu węgla. Pozostając jeszcze przy kwestiach dotyczących wentylatorów

just some of the required activities to ensure the correct operation of the combustion engine.

Another type of drive for mobile fans are electric motors powered by various sources of energy: single-phase (230V), three-phase (400V) or accumulator batteries. As a rule, the used electric motors are characterized by lower power compared to internal combustion engines. This, in turn, also affects the aerodynamic efficiency achieved. Describing the advantages of the electric drive, it should be noted that it generates slightly lower noise values and is not accompanied by exhaust emissions. The absence of harmful combustion products means that electric fans can also be used to supply air to hard-to-reach places where the injured may be (e.g. wells). Electric units are also lighter in weight and dimensions, making them easier to place and transport in fire vehicles. On the other hand, the disadvantages that may accompany the operation of electric fans include the limitations of battery operation time and some difficulties in the possibility of moving the unit (if the fan is powered from the mains). In addition, when carrying out the activities, attention should be paid to the substrate on which the power cord may be located. Sharp edges present in the substrate can damage the cable sheath, potentially endangering the rescuers and the bystanders.

The third type of power used to drive mobile fans is water propulsion. The principle of operation of this drive is to connect the fan to a section of the hose line, where the pumped water drives the impeller, and then returns to the tank or is directed to another location. It should be noted that this type of unit generates performance in terms of the efficiency of forced air similar to that of internal combustion or electric engines, with much lower noise emissions. Water driven fans can be successfully used in spaces where explosive atmospheres are present. The inconvenience of operating such a unit is the fact that the spacing of water-driven fans takes much longer, which may turn out to be critical in the context of carrying out rescue operations in a time pressure situation (which often occurs during fires). The aforementioned inconvenience should also be taken into account when it is necessary to change the location of the fan during the action.

Other elements

The basic structural elements determining the operating parameters of positive pressure ventilation fans have been discussed above. They are complemented by:

- mechanism for changing the angle of the air stream – this system is an essential part of the fan, conditioning the effectiveness of ventilation; according to a study by Cimolino et al. [14], changing the angle of the fan impeller can increase the airflow rate by up to 30%;
- transport wheels – in case of fan units with a greater

wyposażonych w silniki spalinowe, należy również wspomnieć o wymaganiach w zakresie prawidłowej ich eksploatacji i konserwacji. Ocena poziomu oleju (najlepiej przed każdym uruchomieniem), cykliczna wymiana oleju czy wykonywanie okresowych przeglądów silnika to tylko niektóre wymagane czynności, zapewniające prawidłowość działania silnika spalinowego.

Innym rodzajem napędu mobilnych wentylatorów są silniki elektryczne, zasilane z różnych źródeł energii: z sieci napięciem jednofazowym (230V), trójfazowym (400V), bądź z baterii akumulatorowych. Co do zasady, stosowane silniki elektryczne charakteryzują się mniejszą mocą w porównaniu do silników spalinowych. To z kolei ma przełożenie również na osiąganą wydajność aerodynamiczną. Opisując zalety elektrycznego napędu, należy zauważyć, że generuje on nieco mniejsze wartości hałasu oraz nie towarzyszy mu emisja spalin. Brak szkodliwych produktów spalania sprawia, że wentylatory elektryczne mogą być wykorzystywane również na potrzeby dostarczania powietrza do trudno dostępnych miejsc, gdzie mogą znajdować się poszkodowani (np. do studni). Jednostki elektryczne charakteryzują się także mniejszym ciężarem oraz wymiarami, dzięki czemu łatwiejsze jest ich umieszczenie i transport w pojazdach pożarniczych. Z kolei wśród wad, które mogą towarzyszyć pracy wentylatorów elektrycznych, należy wskazać ograniczenia czasu pracy akumulatorów oraz pewne utrudnienia w możliwości przemieszczania jednostki (jeśli wentylator zasilany jest z sieci elektrycznej). Ponadto w trakcie realizacji działań, należy zwrócić uwagę na podłoże, na którym może znajdować się kabel zasilający. Ostre krawędzie obecne w podłożu mogą uszkodzić powłokę kabla, co potencjalnie tworzy zagrożenie dla ratowników i osób postronnych.

Trzecim typem zasilania wykorzystywanym do napędzania mobilnych wentylatorów jest napęd wodny. Zasada działania tego napędu polega na podłączeniu wentylatora do odcinka linii węzowej, gdzie tłoczona woda napędza wirnik, a następnie wraca do zbiornika lub jest kierowana w inne miejsce. Należy wskazać, że tego typu jednostki wytwarzają osiągi w zakresie wydajności tłoczonego powietrza podobne jak w przypadku silników spalinowych czy elektrycznych, przy znacznie mniejszej emisji hałasu. Wentylatory z napędem wodnym mogą być z powodzeniem stosowane w przestrzeniach, w których obecne są atmosfery wybuchowe. Niedogodnością eksploatacji takiej jednostki jest fakt, że rozstawienie wentylatorów z napędem wodnym trwa znacznie dłużej, co może okazać się krytyczne w kontekście prowadzenia działań ratowniczych w sytuacji presji czasowej (a taka występuje często w trakcie pożarów). Wspomnianą niedogodność należy także brać pod uwagę w przypadku konieczności zmiany miejsca ustawienia wentylatora w czasie akcji.

Pozostałe elementy

Powyżej omówiono podstawowe elementy konstrukcyjne, warunkujące parametry pracy wentylatorów nadciśnieniowych. Ich dopełnienie stanowią:

- mechanizm zmiany kąta nawiewu strugi powietrza – system ten jest istotną częścią wentylatora, warunkującą efektywność realizowanej wentylacji; według opracowania wykonanego przez Cimolino i in. [14], zmiana kąta ustawienia wirnika wentylatora może zwiększyć wielkość nawiewu nawet o 30%;

- mass (exceeding 35 kg), the fans can be equipped with transport wheels enabling efficient movement within the area of the rescue operation;
- carrying handles – they are an indispensable element of the fan's equipment for its correct positioning and moving in difficult terrain (e.g. between the storeys of a building).

Technical parameters of mobile fans and methods of their verification

Taking into account the dedicated purpose of using mobile fans, it should be pointed out that this type of unit – as mentioned earlier – should be characterized by such features as: mobility, durability, reliability and efficiency. To confirm the characteristics mentioned above, it is necessary to select appropriate testing procedures. Selected testing methodologies are characterized below, together with an attempt to indicate recommendations in the context of their usefulness for the purpose of assessing the aforementioned functional features of mobile positive pressure ventilation fans.

Aerodynamic efficiency

When attempting to quantify the above, generally presented features, which are important from the point of view of the operation of mobile fans, it should be stated that the most important feature for this type of units (which determines mainly the effectiveness of operation) is aerodynamic efficiency. It is a component of such elements as:

- engine power (the indicated parameter depends in particular on the rotational speed of the rotor and the force transmitted to the rotor blades),
- rotor diameter (the larger the area of the blades, the greater the possibility of conveying air masses),
- the method of making the rotor (with particular emphasis on the precision of the blade geometry, in particular its leading edge),
- other components, e.g. the rotor housing (which, due to its design, can act as a guide shaping the flow of the generated air stream).

Despite the apparent simplicity of operation of a mobile fan (connection of the drive system with the rotor mounted on the frame), it should be emphasized that the phenomena related to the generation of flows intended for effective ventilation are quite complex. It is worth noting that the field of science – fluid mechanics – is one of the most complex problems in physics – especially when considering turbulent flows of fluids (in this case gases) with different compositions, densities and temperatures. As for the quality of the pressed air stream – understood as its ability to generate flow through the ventilated volumes – it should be noted that it depends primarily on the rush stream of the generated stream. Fan units producing a stream with a lower degree of turbulence, due to the reduction of the stream loss

- koła transportowe – w przypadku jednostek wentylatorowych o większej masie (przekraczającej 35 kg) wentylatory mogą być wyposażone w koła transportowe umożliwiające sprawne przemieszczanie w obszarze akcji ratowniczej;
- uchwyty do przenoszenia – stanowią niezbędny element wyposażenia wentylatora do jego prawidłowego pozycjonowania oraz przemieszczania w trudnym terenie (np. pomiędzy kondygnacjami budynku).

Parametry techniczne mobilnych wentylatorów i metody ich weryfikacji

Biorąc pod uwagę dedykowane przeznaczenie stosowania mobilnych wentylatorów, należy wskazać, że tego typu jednostki – o czym nadmieniano już wcześniej – powinny charakteryzować się cechami, takimi jak: mobilność, trwałość, niezawodność oraz skuteczność działania. Aby potwierdzić ww. cechy, niezbędne jest wytypowanie odpowiednich procedur badawczych. Poniżej scharakteryzowano wybrane metodyki badawcze z jednoczesną próbą wskazania rekomendacji w kontekście ich przydatności na potrzeby oceny wspomnianych cech użytkowych mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych.

Wydajność aerodynamiczna

Podejmując próbę kwantyfikacji (zwartościowania) powyższych, ogólnie przedstawionych cech, które są istotne z punktu widzenia eksploatacji mobilnych wentylatorów, należy stwierdzić, że najważniejszą cechą dla tego typu jednostek (determinującą w głównej mierze skuteczność działania) stanowi wydajność aerodynamiczna. Jest ona składową takich elementów, jak:

- moc silnika (od wskazanego parametru zależy w szczególności prędkość obrotowa wirnika i siła przekazywana na łopaty wirnika),
- średnica wirnika (im większa powierzchnia łopatek, tym większa możliwość tłoczenia mas powietrza),
- sposób wykonania wirnika (ze szczególnym uwzględnieniem precyzji wykonania geometrii łopaty, a w szczególności jej krawędzi natarcia),
- inne komponenty, np. obudowa wirnika (która ze względu na swoją konstrukcję może pełnić rolę kierownicy kształtującej przepływ generowanej strugi powietrza).

Pomimo pozornej prostoty działania mobilnego wentylatora (połączenie układu napędowego z wirnikiem osadzonego na ramie) należy podkreślić, że zjawiska związane z generowaniem przepływów przeznaczonych do skutecznej wentylacji są dość złożone. Warto przy tym zauważyć, że dziedzina nauki – mechanika płynów – stanowi jedno z najbardziej złożonych zagadnień fizyki – w szczególności, jeśli rozpatrywane są przepływy turbulentne płynów (w tym przypadku gazów) o zróżnicowanych składach, gęstości i temperaturze. Jeśli chodzi o kwestie jakości tłoczonej strugi powietrza – rozumianej jako jej zdolność do wytwarzania przepływu przez objętości wentylowane – należy nadmienić, że jest ona zależna przede wszystkim od strumienia pędu generowanej strugi. Jednostki wentylatorowe wytwarzające strugę o mniejszym

velocity, will be able to forcing air masses over longer distances. Fans, characterized by a significant flow turbulence, will work less effectively – the stream they generate in the presence of turbulence (where the mass of the air stream increases by strong induction of ambient air) will reduce speed much faster and may change the direction of the flow. With regard to the parameter of the aerodynamic performance, the methodology by which the indicated parameter can be determined should also be mentioned. There are many methodologies that can be used to test aerodynamic performance. Depending on which methodology is selected for testing, the obtained results may differ significantly, and their incorrect interpretation may mislead potential users in the context of their actual usefulness in rescue operations. Therefore, it is very important that the selected methodology most accurately reflects the potential operating conditions of the mobile fan during rescue operations. Modified traversing method (i.e. measurement of the flow velocity in close proximity to the rotor), evaluation of the air supply in open flow, tests according to PN-EN ISO 5801 or ANSI/AMCA 240-15, are just some of the methods that can be used to evaluate the performance aerodynamics of the mobile fans.

For example, as a result of measuring the flow velocity with an anemometer in the immediate area of the fan rotor, using the previously mentioned traverse method, dividing the surface of the rotor into equal rings [16–17], the amount of air flow just behind the rotor is assessed. On the other hand, the indicated method does not take into account the losses that may occur during the transport of the air stream over a specified distance. As a result of this method of measurement, the highest velocity values will be obtained. Moreover, the described measurement is burdened with the risk of significant inaccuracies due to the possible fluctuations and uneven flows of the air stream. The method in question does not allow for the assessment of the air stream additionally induced by the stream mixing with the environment – this is because this phenomenon occurs at a certain distance behind the fan. The above conditions justify the lack of recommendation of such a measurement method to assess the aerodynamic efficiency of the considered devices.

Another test that can be performed to assess the aerodynamic performance of mobile fans is the study of speed profiles at varying distances from the fan. This test allows you to evaluate the amount of air flow in an open flow. The test method consists of measuring (at appropriately defined points) the value of the air stream velocity generated by the fan, which is set at a certain distance in front of the test stand. The undoubted advantage of the described test is the possibility of introducing obstacles (e.g. a fragment of a wall with an opening) between the fan and the measuring plane. This gives an opportunity to estimate the amount of flow in conditions similar to the real ones. It is also possible to estimate the value of the air mass flux transported inside a building, as well as to estimate the losses caused by the presence of a given obstacle. Additionally, the indicated test takes into account the geometric parameters related to the fan positioning, i.e. the setting distance or the angle of the impeller inclination. Recognizing the advantages of the above method, it was decided to recommend its use for the purpose of assessing

stopniu turbulentności, dzięki ograniczeniu wytracania prędkości strugi, będą zdolne do przetłaczania mas powietrza na większe odległości. Wentylatory, charakteryzujące się znaczną burzliwością przepływu, będą pracować mniej efektywnie – struga, którą wytworzą w obecności turbulencji (gdzie nastąpi wzrost masy strumienia powietrza poprzez silną indukcję powietrza z otoczenia), znacznie szybciej będzie wytracać prędkość, a ponadto może zmienić kierunek przepływu. W odniesieniu do parametru wydajności aerodynamicznej należy również wspomnieć o metodyce, w oparciu o którą wskazany parametr może być wyznaczony. Otóż istnieje wiele metodyk, które można wykorzystać na potrzeby badania wydajności aerodynamicznej. W zależności od tego, jaka metodyka zostanie wytypowana do badań, uzyskane wyniki mogą znacząco się różnić, a ich niewłaściwa interpretacja może wprowadzać potencjalnych użytkowników w błąd w kontekście rzeczywistej przydatności w działaniach ratowniczych. Dlatego bardzo ważne jest, aby wytypowana metodyka jak najwierniej odzwierciedlała potencjalne warunki pracy mobilnego wentylatora podczas działań ratowniczych. Zmodyfikowana metoda trawersowania (czyli pomiar prędkości przepływu w bliskiej odległości od wirnika), ocena wielkości nawiewu w przepływie otwartym, badania wg PN-EN ISO 5801 lub wg ANSI/AMCA 240-15, to tylko niektóre metody, jakie mogą zostać wykorzystane do oceny wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów.

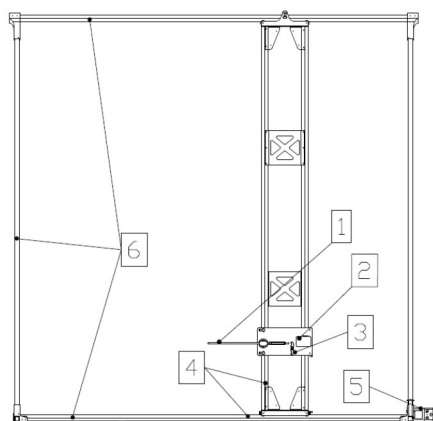
Na przykład w wyniku pomiaru prędkości przepływu za pomocą anemometru w bezpośrednim obszarze wirnika wentylatora, z wykorzystaniem przywołanej już wcześniej metody trawersowania, dzielącej płaszczyznę powierzchni wirnika na równe pierścienie [16–17], dokonuje się oceny wielkości przepływu powietrza tuż za wirnikiem. Natomiast wskazana metoda nie uwzględnia w żaden sposób strat, jakie mogą wystąpić podczas transportu strugi powietrza na określoną odległość. W efekcie takiego sposobu pomiaru zostaną uzyskane największe wartości prędkości. Ponadto opisany pomiar obarczony jest ryzykiem wystąpienia znaczącej niedokładności z uwagi na mogące pojawić się fluktuacje i nierównomierne napływy strugi powietrza. Przedmiotowa metoda nie pozwala również ocenić strumienia powietrza dodatkowo zaindukowanego przez strugę mieszącą się z otoczeniem – dzieje się tak, ponieważ zjawisko to zachodzi na określonym dystansie za wentylatorem. Powyższe uwarunkowania uzasadniają brak rekomendacji takiego sposobu pomiaru do oceny wydajności aerodynamicznej rozpatrywanych urządzeń.

Innym testem, który może zostać wykonany na potrzeby oceny wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów, jest badanie profili prędkości w zmiennych odległościach od wentylatora. Pozwala ono ocenić wielkość przepływu strugi powietrza w przepływie otwartym. Metoda badania polega na zmierzeniu (w odpowiednio zdefiniowanych punktach) wartości prędkości strugi powietrza generowanej przez wentylator, który ustawiany jest w określonej odległości przed stanowiskiem badawczym. Niewątpliwą zaletą opisywanego badania jest możliwość wprowadzenia przeszkód (np. fragmentu ściany z otworem) pomiędzy wentylator a płaszczyznę pomiarową. Daje to sposobność oceny wielkości przepływu w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Istnieje również możliwość oszacowania wartości strumienia mas powietrza transportowanych do wnętrza obiektu, jak również oszacowania

the operational parameters of tactical fans, with the provision that the measurement results obtained in this way (in open flow) should not be used in the context of the assessment of the pressure values that may be generated inside the volume of a facility.

Following the above recommendation, CNBOP-PIB prepared a concept of an appropriate test stand, the diagram of which is presented in Figure 3. It includes such components as:

- 1 – a measuring probe for the assessment of flow velocity, mounted on the transporting element;
- 2 – measurement module enabling the acquisition of measurement data;
- 3 – laser pointer for assessing the positioning distance of the mobile fan in front of the test stand;
- 4 – vertical and horizontal guides for moving the transporting element;
- 5 – drive system;
- 6 – station body;
- 7 – fan;
- 8 – platform for PPV fan positioning.



strat powodowanych przez obecność danej przeszkody. Dodatkowo wskazany test uwzględni parametry geometryczne związane z pozycjonowaniem wentylatora, tj. odległość ustawienia czy kąt nachylenia wirnika. Dostrzegając zalety powyższej metody, postanowiono rekomendować jej wykorzystanie na potrzeby oceny parametrów użytkowych wentylatorów taktycznych, z zastrzeżeniem, że uzyskanych w ten sposób wyników pomiarów (w przepływie otwartym) nie należy wykorzystywać w kontekście oceny wartości ciśnień, jakie mogą zostać wygenerowane wewnątrz kubatury obiektu.

W ślad za powyższą rekomendacją w CNBOP-PIB przygotowano koncepcję odpowiedniego stanowiska badawczego, którego schemat został przedstawiony na rycinie 3. W jego ramach przewidziano takie elementy składowe, jak:

- 1 – sonda pomiarowa do oceny prędkości przepływu, osadzona na elemencie transportującym;
- 2 – moduł pomiarowy umożliwiający akwizycję danych pomiarowych;
- 3 – wskaźnik laserowy do oceny odległości pozycjonowania mobilnego wentylatora przed stanowiskiem badawczym;
- 4 – pionowe i poziome prowadnice do przemieszczania elementu transportującego;
- 5 – układ napędowy;
- 6 – korpus stanowiska;
- 7 – wentylator;
- 8 – podest do pozycjonowania wentylatora.

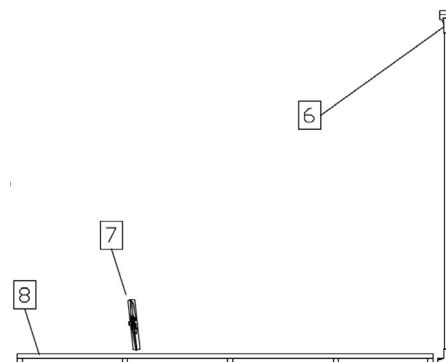


Figure 3. Diagram of a test stand for measuring the distribution of stream velocity generated by mobile positive pressure ventilation fans – front view (on the left) and side view (on the right)

Rycina 3. Schemat stanowiska badawczego do pomiaru rozkładu prędkości strugi generowanej przez mobilne wentylatory nadciśnieniowe – widok od frontu (po lewej) oraz widok boczny (po prawej)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Using the indicated stand, it will be possible to assess the speed of the air stream generated by a mobile fan in three dimensions (length, height and width). The functionality of the stand will enable the assessment of the size of the airflow streams generated by the mobile fans, taking into account the variable test parameters, i.e. different types of fans, variable positioning conditions, the presence of obstacles, etc. The device will also enable the assessment of the shape of the air stream and the area of effective distribution. In addition, the test stand under development will allow to measure the flow rate in field conditions

Za pomocą wskazanego stanowiska możliwa będzie ocena prędkości przepływu strugi powietrza generowanej przez mobilny wentylator w trzech wymiarach (długość, wysokość i szerokość). Funkcjonalność stanowiska umożliwi ocenę wielkości strumieni przepływu strugi powietrza generowanej przez mobilne wentylatory przy uwzględnieniu zmiennych parametrów badań, tj. różne typy wentylatorów, zmienne warunki pozycjonowania, obecność przeszkód itd. Dzięki zastosowanej aparaturze będzie można dokonać oceny kształtu strugi powietrza, powierzchni efektywnego rozkładu. Dodatkowo opracowywane stanowisko badawcze pozwoli

inside the existing buildings on the surface of door and/or window openings.

A test method based on PN-EN ISO 5801 Fans – Performance testing using standardized airways [18] is also used to assess the aerodynamic efficiency of the fans. The scheme of the test stand (channel configuration, type B) described by this standard is shown in Figure 4. In the adopted layout of the stand, the following equipment was assumed:

- 1 – fan positioning area;
- 2 – simulation section (channel confusor designed to adjust the dimensions of the fan rotor to the diameter of the test channel);
- 3 – round stand channel/static pressure measurement section;
- 4 – round channel equipped with a star-shaped flow straightener;
- 5 – circular channel, area for static and dynamic pressure measurement;
- 6 – fan air flow throttling section.

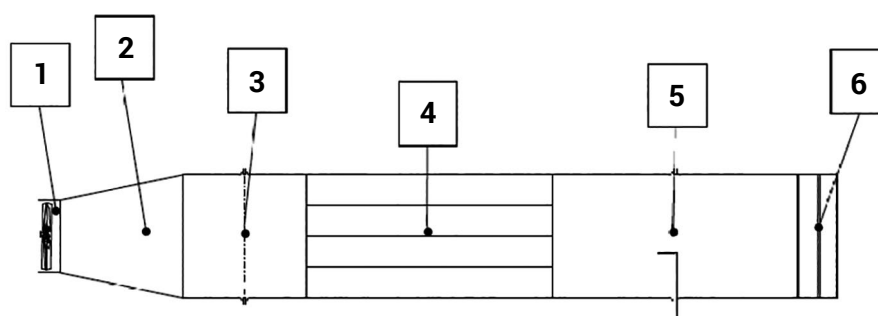


Figure 4. Diagram of the test stand constructed on the basis of the requirements of PN-EN ISO 5801 test standard (side view)

Rycina 4. Schemat stanowiska badawczego wykonanego w oparciu o wymagania standardu badawczego PN-EN ISO 5801 (widok boczny)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

During the test, the fan is mounted directly to the test channel inlet using a confusor that adjusts the rotor size to the test channel diameter. It should be noted here that PN-EN ISO 5801 (configuration of the stand in the form of a pipe channel) defined the relationship between the minimum and maximum diameter of the rotor that could be adapted to the test channel. Due to the indicated limitation, in order to carry out testing on the aerodynamic efficiency of the fan family (with a variable rotor size), it would be necessary to build at least a few pipe channels with a diameter similar to the size of the fan rotor. The principle of measuring the amount of air flow in accordance with PN-EN ISO 5801 is carried out by measuring the static and dynamic pressure values with the use of pressure transducers and Prandtl tubes. On the basis of the measured pressure values obtained under the conditions of variable position of the throttle (choke element), the fan characteristics are determined after appropriate conversion (dependence of the generated stream on the

na przeprowadzenie pomiarów wielkości przepływu w warunkach poligonowych wewnątrz istniejących obiektów budowlanych na powierzchni otworów drzwiowych i/lub okiennych.

Do oceny wydajności aerodynamicznej wentylatorów stosowana jest również metoda badawcza realizowana w oparciu o standard PN-EN ISO 5801 Wentylatory – Badania właściwości użytkowych z zastosowaniem stanowisk znormalizowanych [18]. Schemat stanowiska badawczego (konfiguracja kanałowa, typ B), jakie opisuje ten standard, przedstawiono na rycinie 4. W przyjętym układzie stanowiska założono jego następujące wyposażenie:

- 1 – obszar pozycjonowania wentylatora;
- 2 – sekcja symulacyjna (konfuzor kanałowy mający na celu dopasować wymiary wirnika wentylatora do średnicy kanału badawczego);
- 3 – okrągły kanał stanowiska / sekcja pomiaru ciśnienia statycznego;
- 4 – okrągły kanał wyposażony w prostownicę przepływu w kształcie gwiazdy;
- 5 – okrągły kanał obszar pomiaru ciśnienia statycznego oraz dynamicznego;
- 6 – sekcja dławienia przepływu powietrza wentylatora.

Podczas testu wentylator montowany jest bezpośrednio do otworu wlotowego kanału badawczego z wykorzystaniem konfuzora dopasowującego wymiar wirnika do średnicy kanału badawczego. Należy tutaj wskazać, że norma PN-EN ISO 5801 (konfiguracja stanowiska w postaci kanału rurowego) określiła relację pomiędzy minimalną i maksymalną średnicą wirnika, jaka może zostać dopasowana do kanału badawczego. Ze względu na wskazane ograniczenie, w celu realizacji badań wydajności aerodynamicznej rodziny wentylatorów (o zmiennej wielkości wirnika), należałoby wybudować co najmniej kilka kanałów rurowych średnicą zbliżonych do wielkości wirnika wentylatora. Zasada pomiaru wielkości przepływu powietrza wg PN-EN ISO 5801 realizowana jest poprzez pomiar wartości ciśnienia statycznego oraz dynamicznego z wykorzystaniem przetworników ciśnienia oraz rurki Prandtla. Na podstawie zmierzonych wartości ciśnienia, uzyskanych w warunkach zmiennego położenia przepustnicy (elementu dławiącego), po odpowiednim przeliczeniu

back pressure). Considering the possibility of using the indicated methodology to assess the aerodynamic efficiency of mobile fans, it should be stated that due to the test conditions (evaluation of the flow rate in the duct), the test will be inappropriate. It is true that the described test is carried out on the basis of a widely recognized, international test standard, which is undoubtedly an advantage, but due to the nature of the operation of mobile fans (free flow), the methodology indicated is not recommended in this regard. The described standard has been designed to evaluate fan units intended to work as ducted – mounted, for example, in ventilation shafts.

The test dedicated mainly to mobile fans is the test designed by the American National Standard Institute, which is described in a research standard ANSI/AMCA 240 Laboratory methods of testing mobile positive pressure ventilation fans in order to assess their aerodynamic efficiency [19]. The diagram of the test stand used to conduct the test is presented in Figure 5. The test channel consists of:

- 1 – a platform for mounting a mobile fan;
- 2 – test stand opening, dimensions 2.03 x 0.9 m, imitating an actual door opening;
- 3 – rectangular test chamber/static pressure measuring section;
- 4 – a set of flow equalizing nets with appropriate perforation;
- 5 – measuring chamber/static pressure measurement section;
- 6 – a set of standardized measuring nozzles;
- 7 – measuring chamber/static pressure measurement section;
- 8 – a set of flow equalizing nets;
- 9 – shaped piece changing the cross-section from square to round;
- 10 – reversible system equipped with an auxiliary fan, enabling the discharge and supply of air.

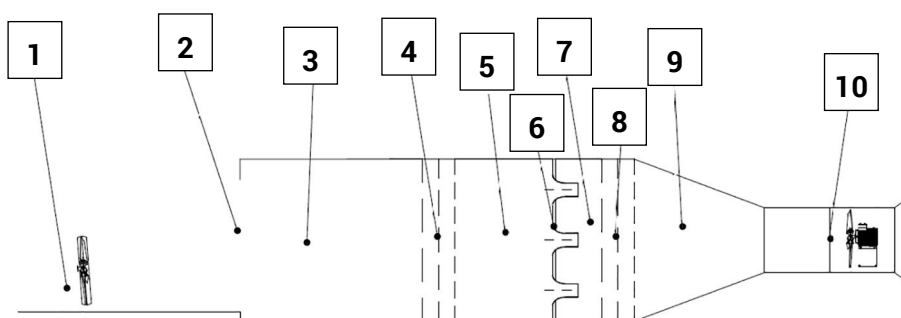


Figure 5. Diagram of a test stand constructed on the basis of ANSI-AMCA 240-15 test standard (side view)

Rycina 5. Schemat stanowiska badawczego wykonanego w oparciu o wymagania standardu badawczego ANSI-AMCA 240-15 (widok boczny)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The test performed on the basis of ANSI/AMCA 240 consists of setting a mobile positive pressure ventilation fan (in free-flow conditions) at a specified distance in front of the door opening

określana jest charakterystyka wentylatora (zależność generowanego strumienia od przeciwcisnienia). Rozpatrując możliwość zastosowania wskazanej metodyki do oceny wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów, należy stwierdzić, że ze względu na warunki testów (ocena wielkości przepływu w kanale) badanie będzie niewłaściwe. Co prawda opisany test realizowany jest w oparciu o powszechnie uznaną, międzynarodową normę badawczą, co niewątpliwie jest pewną zaletą, ale ze względu na charakter pracy mobilnych wentylatorów (wolny przepływ) wskazana metodyka nie jest rekomendowana w tym zakresie. Opisany standard został zaprojektowany do oceny jednostek wentylatorowych przeznaczonych do pracy jako kanałowe – montowanych np. w szachtach wentylacyjnych.

Badaniem dedykowanym głównie wentylatorom mobilnym jest test zaprojektowany przez American National Standard Institute, który opisano w standardzie badawczym ANSI/AMCA 240 Laboratoryjne metody badań mobilnych wentylatorów nadciśnieniowych w celu oceny ich wydajności aerodynamicznej [19]. Schemat stanowiska badawczego służącego przeprowadzaniu przedmiotowego testu został przedstawiony na rycinie 5. Kanał badawczy zbudowany jest z:

- 1 – podest do mocowania mobilnego wentylatora;
- 2 – otwór stanowiska badawczego o wymiarach 2,03 x 0,9 m, imitujący rzeczywisty otwór drzwiowy;
- 3 – prostokątna komora badawcza / sekcja pomiarowa ciśnienia statycznego;
- 4 – zestaw siatek wyrównujących przepływ o stosownej perforacji;
- 5 – komora pomiarowa / sekcja pomiaru ciśnienia statycznego;
- 6 – zestaw znormalizowanych dysz pomiarowych;
- 7 – komora pomiarowa / sekcja pomiaru ciśnienia statycznego;
- 8 – zestaw siatek wyrównujących przepływ;
- 9 – kształtka zmiany przekroju z kwadratowego na okrągły;
- 10 – rewersyjny układ wyposażony w wentylator pomocniczy, umożliwiający odprowadzanie i dostarczanie powietrza.

Test wykonywany w oparciu o standard ANSI/AMCA 240 polega na ustawieniu mobilnego wentylatora nadciśnieniowego (w warunkach wolnego przepływu) w określonej odległości przed

of the test chamber, in which there are flow straighteners, standardized nozzles, equipment for multi-point static pressure measurement and an auxiliary fan (located at the end of the tunnel). The activated fan, from a certain distance (without the presence of a duct), blows a stream of air onto the surface of the door opening, which then (under the prevailing negative pressure [-25Pa] or overpressure [+25Pa] – generated by the auxiliary fan) spreads inside the test chamber, displacing through the flow straightener and the corresponding measuring nozzles. Based on the measured pressure values inside the test chamber, under the test conditions described above, the fan characteristics are determined, supplemented with free-flow phenomena under standardized conditions.

It should be stated that the test based on the American ANSI/AMCA 240-15 standard is the most appropriate test for this type of device. Compared to the other described test methods, this test best reflects the end-use conditions of mobile fans. In addition, the test is carried out on the basis of an internationally recognized test procedure, which strictly describes the requirements for the test stand in terms of the used measuring equipment, taking into account the accuracy of the installed devices. An additional distinguishing advantage of the stand is the fact that the described method, when assessing aerodynamic performance, also takes into account the geometric parameters of fan positioning in front of the test stand (i.e. distance from the stand, rotor inclination angle and its height from the ground). Due to the wide functionality of the equipment intended for the assessment of aerodynamic efficiency of mobile fans, CNBOP-PIB undertakes efforts aimed at designing and creating the described testing infrastructure.

Air stream shape (effective distribution area)

Another feature, of which assessment is important in terms of determining the usefulness of tactical fans, is the shape of the generated air stream. As mentioned earlier, the effective air stream distribution area may determine the effectiveness of the ventilation. In case of unfavourable fan positioning, the ventilation efficiency may be reduced.

Identification of the considered shape is possible with the use of a dedicated measurement plane and tools for recording a visual image. Additionally, in order to obtain an appropriate contrast, paraffinic smoke from a set of at least two smoke generators with appropriate capacity is forced through the fan. The visualization of such a study is presented in Figure 6.

Another method that allows to determine the shape of the stream is to study surface distribution of velocity. It can be performed using the aforementioned stand for assessing the characteristics of the velocity profile of the air stream. As part of this method, the values of the flow velocity at varying distances in front of the plane of the fan impeller are assessed. The method developed at CNBOP-PIB – as opposed to the visualization (with the use of generators and a mesh plane) – enables to obtain quantitative data, defining the characteristics of the stream

otworem drzwiowym komory badawczej, w której obecne są prostownice przepływu, znormalizowane dysze, aparatura do wielopunktowego pomiaru ciśnienia statycznego oraz wentylator pomocniczy (zlokalizowany na końcu tunelu). Uruchomiony wentylator, z pewnej odległości (bez obecności kanału), nawiewa strugę powietrza na powierzchnię otworu drzwiowego, która następnie (w warunkach panującego podciśnienia [-25Pa] lub nadciśnienia [+25Pa] – wytworzonego przez wentylator pomocniczy) rozprzestrzenia się wewnątrz komory badawczej, przemieszczając się przez prostownicę przepływu oraz odpowiednie dysze pomiarowe. Na podstawie zmierzonych wartości ciśnień wewnątrz komory badawczej, w warunkach testu opisanych jak wyżej, wyznaczana jest charakterystyka wentylatora uzupełniona o zjawiska strumienia swobodnego w znormalizowanych warunkach.

Należy stwierdzić, że test przeprowadzany w oparciu o amerykański standard ANSI/AMCA 240-15 jest najodpowiedniejszym badaniem przeznaczonym dla tego typu urządzeń. W porównaniu do innych opisanych metod badawczych, niniejsze badanie najlepiej odzwierciedla końcowe warunki stosowania wentylatorów mobilnych. Ponadto test realizowany jest w oparciu o międzynarodową, uznaną procedurę badawczą, która ściśle opisuje wymagania dotyczące stanowiska badawczego w zakresie zastosowanej aparatury pomiarowej z uwzględnieniem dokładności instalowanych urządzeń. Dodatkową zaletą wyróżniającą stanowisko jest fakt, że opisana metoda podczas oceny wydajności aerodynamicznej uwzględnia również geometryczne parametry pozycjonowania wentylatora przed stanowiskiem badawczym (tj. odległość od stanowiska, kąt nachylenia wirnika oraz jego wysokość od podłoża). Ze względu na szeroką funkcjonalność aparatury przeznaczonej do oceny wydajności aerodynamicznej mobilnych wentylatorów, CNBOP-PIB podejmuje starania ukierunkowane na zaprojektowanie oraz wytworzenie opisanej infrastruktury badawczej.

Kształt strugi powietrza (powierzchnia efektywnego rozkładu)

Kolejną cechą, której ocena jest istotna w aspekcie określenia przydatności wentylatorów taktycznych, jest kształt generowanej strugi powietrza. Jak wspomniano już wcześniej, powierzchnia rozkładu efektywnego strumienia powietrza może warunkować skuteczność realizowanej wentylacji. W przypadku zastosowania niekorzystnego pozycjonowania wentylatora skuteczność wentylacji może ulec zmniejszeniu.

Dokonanie identyfikacji rozpatrywanego kształtu możliwe jest z zastosowaniem dedykowanej płaszczyzny pomiarowej oraz narzędzi do rejestracji obrazu wizyjnego. Dodatkowo na potrzeby uzyskania stosownego kontrastu, przez wentylator przetłaczany jest dym parafinowy z zestawu co najmniej dwóch generatorów dymu o stosownej wydajności. Wizualizacja takiego badania została przedstawiona na rycinie 6.

Inną metodą, pozwalającą określić kształt strugi, jest badanie powierzchniowego rozkładu prędkości. Może ono zostać wykonane z wykorzystaniem wspomnianego wcześniej stanowiska do oceny charakterystyki profilu prędkości przepływu strugi powietrza. W ramach tej metody ocenie poddawane są wartości prędkości przepływu w zmiennych odległościach przed płaszczyzną wirnika wentylatora. Opracowywana w CNBOP-PIB metoda

in three dimensional planes (length, height and width). Moreover, it also allows to estimate the mass and momentum flux for the analysed geometrical quantities. The diagram of the visualization of the test results of velocity distribution for the selected distance of 3 m is presented in Figure 7.

– w odróżnieniu od wizualizacji (z wykorzystaniem wytwornicy oraz płaszczyzny siatkowej) – umożliwia uzyskanie danych o charakterze ilościowym, określających charakterystykę strugi w trzech płaszczyznach wymiarowych (długość, wysokość i szerokość). Ponadto pozwala oszacować również strumień masy i pędu dla analizowanych wielkości geometrycznych. Schemat wizualizacji wyników badań rozkładu prędkości dla wybranej odległości 3 m został przedstawiony na rycinie 7.



Figure 6. Visualization of the shape of the air stream generated by a “turbo” fan – experimental research
Rycina 6. Wizualizacja kształtu strugi powietrza wygenerowanej przez wentylator typu „turbo” – badania eksperymentalne
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

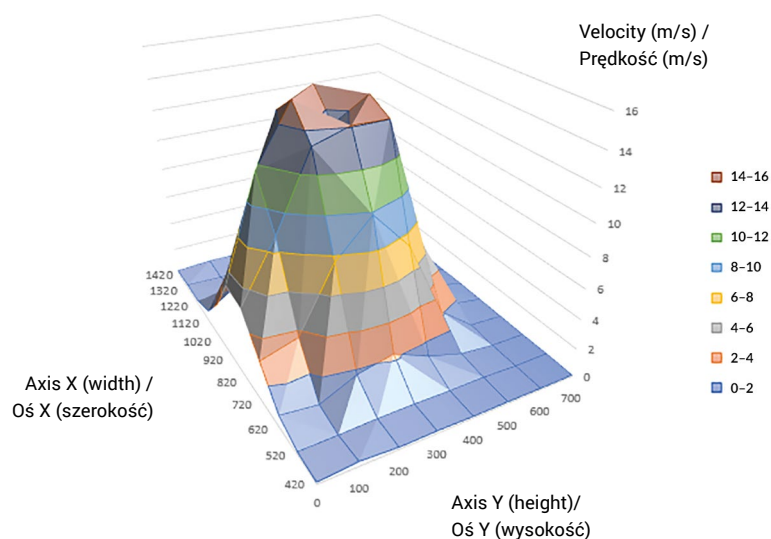


Figure 7. Distribution of the velocity profile of the air stream generated by a representative mobile turbo fan – measurement at a distance of 3 m from the measuring surface

Rycina 7. Rozkład profilu prędkości strugi powietrza generowanej przez reprezentatywny mobilny wentylator typu turbo – pomiar w odległości 3 m od powierzchni pomiarowej

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Other features: noise, working time, weight and dimensions

Determining (measuring) the remaining parameters that should be confirmed in the test process of fans is a relatively simpler task in relation to the parameters discussed above. In this context, the following measurement methods and tools are recommended:

Pozostałe cechy: hałas, czas pracy, masa oraz wymiary

Określenie (pomiar) pozostałych parametrów, jakie powinny zostać potwierdzone w procesie badawczym wentylatorów, jest zadaniem relatywnie prostszym w odniesieniu do parametrów omówionych powyżej. W tym kontekście rekomenduje się następujące metody i narzędzia pomiarowe:

- fan operation time – a parameter important to determine both for units powered by an internal combustion engine and an electric engine. On the basis of its measurement, it is possible to specify how long the fan will be able to pump the air stream into the building interior, while maintaining appropriate operating parameters (whether it is for the evacuation of people from the facility or to facilitate access for rescue teams). Confirmation of the parameter under consideration on the fan sample may be made using the measuring equipment in the form of a time meter and equipment allowing to determine the maintenance function of specific aerodynamic parameters (e.g. a duct test stand according to ISO 5801);
- noise – as already mentioned, excessive noise is a factor that hinders rescue operations (e.g. interfering with communication between the rescuers). It can also cause additional discomfort to the evacuees; as part of the recommended set of testing methodologies for measuring the parameter in question, it is proposed to use digital sound intensity meters, positioned at varying distances from the fan sample. Moreover, it is assumed that the measurement will be performed in a soundproof room (e.g. inside an anechoic chamber);
- size of the fan unit – confirmation of fan sizes will allow the user to verify (before purchase) whether the device can be placed in the standard construction of the fire vehicles or will require the preparation of dedicated means of transport. In addition, due to the specificity of the operation of mobile fans, it is also recommended to evaluate the mechanism of changing the angle of the fan impeller; to confirm the geometrical parameters, the use of a tape measure and a spirit level is assumed;
- fan weight – determining this parameter is important, among others, in the context of assessing the absorption of the appropriate number of the rescuers necessary to provide a given type of a ventilator. To confirm the mass of the fan unit, it is possible to use a balance with an appropriate measuring range.
- czas pracy wentylatora – parametr istotny do określenia zarówno dla jednostek napędzanych silnikiem spalinowym, jak i elektrycznym. Na podstawie jego pomiaru możliwe jest sprecyzowanie, jak długo wentylator będzie mógł tłoczyć strugę powietrza do wnętrza budynku, utrzymując przy tym odpowiednie parametry pracy (czy to na potrzeby prowadzenia ewakuacji osób z obiektu, czy ułatwienia dostępu dla ekip ratowniczych). Potwierdzenie rozpatrywanego parametru na próbce wentylatora może zostać wykonane za pomocą wyposażenia pomiarowego w postaci miernika czasu oraz aparatury pozwalającej na określenie funkcji utrzymania określonych parametrów aerodynamicznych (np. kanałowego stanowiska pomiarowego wg ISO 5801);
- hałas – jak już wspomniano, nadmierny hałas jest czynnikiem, który utrudnia prowadzenie działań ratowniczych (np. zakłócanie komunikacji między ratownikami). Może także powodować dodatkowy dyskomfort wśród osób ewakuowanych; w ramach rekomendowanego zestawu metodyk badawczych do pomiaru przedmiotowego parametru proponuje się wykorzystanie cyfrowych mierników natężenia dźwięku, pozycjonowanych w zmiennych odległościach od próbki wentylatora. Ponadto zakłada się, że pomiar będzie przeprowadzany w wyłumionym pomieszczeniu (np. wewnątrz komory bezechowej);
- rozmiar jednostki wentylatora – potwierdzenie rozmiarów wentylatora pozwoli zweryfikować użytkownikowi przed zakupem, czy urządzenie będzie mogło być umieszczane w standardowej zabudowie pojazdów pożarniczych, czy też będzie wymagało przygotowania dedykowanych środków transportu. Ponadto – ze względu na specyfikę pracy mobilnych wentylatorów – rekomenduje się również ocenę mechanizmu zmiany kąta wirnika wentylatora; do potwierdzenia parametrów geometrycznych zakłada się wykorzystanie przymiaru wstęgowego oraz poziomic;
- masa wentylatora – określenie tego parametru jest istotne m.in. w kontekście oceny absorbowania odpowiedniej liczby ratowników, niezbędnych do sprawienia danego typu wentylatora. Do potwierdzenia masy jednostki wentylatorowej możliwe jest wykorzystanie wagi o odpowiednim zakresie pomiarowym.

Summary and conclusions

Mobile fans used by the fire protection units are an important tool supporting the effectiveness of rescue operations in certain situations. However, in order for them to be used in an optimal way, it is necessary to comprehensively examine the technical parameters, and then – adequately to these parameters – develop appropriate procedures for their use, including the selection of an appropriate location and positioning parameters. In the context of the aforementioned testing, despite the large scientific achievements in this field, there are still areas that require improvement, with particular emphasis on standardized testing methodologies and the measurement infrastructure dedicated

Podsumowanie i wnioski

Mobilne wentylatory, stosowane przez jednostki ochrony przeciwpożarowej, stanowią ważne narzędzie, wspomagające w określonych sytuacjach efektywność prowadzonych działań ratowniczych. Jednak aby mogły być one wykorzystywane w sposób optymalny, konieczne jest wszechstronne zbadanie parametrów technicznych, a następnie – adekwatnie do tych parametrów – opracowanie odpowiednich procedur ich użycia, włączając w to wybór odpowiedniego miejsca ustawienia i parametrów pozycjonowania. W kontekście wspomnianych badań, pomimo dużego dorobku naukowego w tej dziedzinie, nadal można dostrzec obszary wymagające doskonalenia, ze

to them. For this reason, the authors indicated important technical and functional features that determine the effectiveness of mobile fans and recommended selected methods on the basis of which the indicated features can be verified.

Ultimately, based on the aforementioned recommendations, creating several new test stands and using the existing ones at CNBOP-PIB is planned, which will allow for a comprehensive assessment of the most important operational parameters of the mobile fans. The intention of this undertaking is to provide the rescuers with greater convenience in selecting and using the devices in question. The basis for this comfort is to be aware of the availability of the equipment with confirmed functional characteristics and the possibility of referring to the developed guidelines for the proper use of the fans in accordance with their parameters. Defining the operational parameters under consideration will also translate into issues of a logistic nature, e.g. facilitating the process of defining the specifications of contract conditions in the procedures of public procurement. Currently, many manufacturers and distributors offer devices on the market that are characterized by many variable and often incompatible parameters.

As a continuation of the experimental work, the researchers also plan to carry out field tests with the use of multi-storey facilities, which will allow to assess and compare the effectiveness of the selected types of mobile fans in the field conditions.

The research presented in the article was carried out as part of the Ministry of Education and Science programme "Implementation Doctorate" executed in 2020–2024 (agreement no. DWD/4/22/2020).

szczególnym uwzględnieniem znormalizowanych metodyk badawczych oraz dedykowanej im infrastruktury pomiarowej. Z tego względu zespół autorski wskazał istotne cechy techniczno-użytkowe warunkujące efektywność działania mobilnych wentylatorów oraz zarekomendował wybrane metody, na podstawie których wskazane cechy mogą zostać zweryfikowane.

Docelowo, w oparciu o wspomniane rekomendacje, przewidywane jest stworzenie kilku nowych oraz wykorzystanie już istniejących w CNBOP-PIB stanowisk badawczych pozwalających na kompleksową ocenę najistotniejszych parametrów użytkowych mobilnych wentylatorów. Intencją tego przedsięwzięcia jest zapewnienie ratownikom większej wygody przy wyborze oraz korzystaniu z omawianych urządzeń. Podstawą tego komfortu ma być świadomość dysponowania sprzętem o potwierdzonych cechach użytkowych oraz możliwość odwołania się do opracowanych wytycznych w zakresie prawidłowego użytkowania wentylatorów zgodnie z posiadanymi przez nie parametrami.

Definiowanie rozpatrywanych parametrów użytkowych będzie miało również przełożenie na kwestie o charakterze logistycznym, np. ułatwienie procesu określania specyfikacji warunków zamówienia w postępowaniach o udzielenie zamówienia publicznego. Obecnie na rynku wielu producentów i dystrybutorów oferuje urządzenia, które charakteryzują się wieloma zmiennymi oraz nierzadko nieporównywalnymi parametrami.

W ramach kontynuacji prac eksperymentalnych zespół badaczy planuje również wykonać badania poligonowe z wykorzystaniem obiektów wielokondygnacyjnych, co pozwoli ocenić i porównać skuteczność działania wybranych typów mobilnych wentylatorów w warunkach poligonowych.

Badania przedstawione w artykule zostały przeprowadzone w ramach programu „Doktorat Wdrożeniowy” Ministerstwa Edukacji i Nauki realizowanego w latach 2020–2024 (umowa nr DWD/4/22/2020).

Literature / Literatura

- [1] Krawiec P., Warguła Ł., Małozieć D., Kaczmarzyk P., Dziechciarz A., Czarnańska-Komorowska D., *The Toxicological Testing and Thermal Decomposition of Drive and Transport Belts Made of Thermoplastic Multilayer Polymer Materials*, „Polymers” 2020, 12, 2232, <https://doi.org/10.3390/polym12102232>.
- [2] Krawiec P., Warguła Ł., Czarnańska-Komorowska D., Janik P., Dziechciarz A., Kaczmarzyk P., *Chemical compounds released by combustion of polymer composites flat belts*, „Scientific Reports” 2021, 11(1), 1–10, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87634-9>.
- [3] Krawiec P., Warguła Ł., Dziechciarz A., Małozieć D., Ondrušová D., *Evaluation of chemical compound emissions during thermal decomposition and combustion of V-belts*, „Przemysł Chemiczny” 2020, 99(1), 92–98, <https://doi.org/10.15199/62.2020.1.12>.
- [4] Rabajczyk A., Zielecka M., Małozieć D., *Hazards Resulting from the Burning Wood Impregnated with Selected Chemical Compounds*, „Applied Sciences” 2020, 10, 6093, <https://doi.org/10.3390/app10176093>.
- [5] Bugaj G., *Wentylacja nadciśnieniowa (cz. 1)*, „Przegląd Pożarniczy” 2013, 12, 27–31, <https://www.ppoz.pl/images/dokumenty/pp/pppw/122013pw.pdf>.
- [6] Loughheed G.D., McBride P.J., Carpenter D.W., *Positive pressure ventilation for high-rise buildings*, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, 2002, <https://doi.org/10.4224/20378500>.

- [7] Kerber S., Walton W.D., *Characterizing positive pressure ventilation using computational fluid dynamics*, US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2003, <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.7065>.
- [8] Ezekoye O.A., Svensson S., Nicks R., *Investigating positive pressure ventilation*, In Proceedings of 11th international fire science and engineering conference (Interflam'07), 3rd–5th September 2007, London.
- [9] Panindre P., Mousavi N.S., Kumar S., *Improvement of Positive Pressure Ventilation by optimizing stairwell door opening area*, „Fire Safety Journal” 2017, 92, 195–198, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.06.007>.
- [10] Fritsche M., Epple, P., Delgado, *A Development of a Measurement Method for the Classification and Performance Evaluation of Positive Pressure Ventilation (PPV) Fans*, Conference: ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Division Summer Meetin, American Society of Mechanical Engineers, <https://doi.org/10.1115/FEDSM2018-83278>.
- [11] Kokot-Góra S., *Poznaj swoje narzędzia pracy (cz. 1)*, „Przeгляд Pożarniczy” 2014, 8, 16.
- [12] <https://strazakom.pl/turbowentylatory/turbowentylator-gx-350.html> [dostęp: 20.09.2021].
- [13] <https://klimasklep.pl/dmuchawa-strazacka-fogo-mw-22-wentylator-oddymiajacy-p-1671.html> [dostęp: 20.09.2021].
- [14] Cimolino U., Emrich C., Svensson, S., *Taktische Ventilation: Be-und Entlüftungssysteme im Einsatz*, Ecomed-Storck GmbH 2012.
- [15] Kerber S., Walton W.D., *Effect of positive pressure ventilation on a room fire. Gaithersburg, US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology 2005*, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-C-13-c343e6873147b69465bad279479bb4de/pdf/GOVPUB-C13-c343e6873147b69465bad279479bb4de.pdf>
- [16] PN-ISO 5221 Rozprowadzanie i rozdział powietrza – Metody pomiaru przepływu strumienia powietrza w przewodzie.
- [17] ISO 3966:2008 Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pitot static tubes.
- [18] PN-EN 5801:2017-12 Wentylatory – Badanie właściwości użytkowych z zastosowaniem stanowisk znormalizowanych.
- [19] ANSI/AMCA Standard 240-15 Laboratory Methods of Testing Positive Pressure Ventilators for Aerodynamic Performance Rating.

PIOTR KACZMARZYK, M.SC. ENG. – a graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering at The Main School of Fire Service. Since 2015 he has been working in the Laboratory of Combustion Processes and Explosions at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute. His professional activity is associated with reaction to fire of building materials, explosion and fire protection systems, fire ventilation systems effectiveness evaluation using CFD tools. He is an author of many publications, technical standards and elaboration associated with building fire safety.

JUNIOR BRIG. WOJCIECH KLAPSA, M.SC. ENG. – a graduate of the Main School of Fire Service in Warsaw and the Military University of Technology in Warsaw, Faculty of Chemistry. Currently, he serves at Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej – Państwowy Instytut Badawczy in the Laboratory of Combustion Processes and Explosions as a manager. Author or co-author of articles on fire safety and flammable properties of building materials. At CNBOP-PIB, he deals with the subject of technical expertise of buildings, court opinions in the field of determining the causes of fires and research in the field of reaction to fire of construction products, as well as determining the explosive parameters of flammable substances. A speaker at national and international conferences, as well as a lecturer during exercises, workshops and training during training courses and other course

MGR INŻ. PIOTR KACZMARZYK – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Obecnie pracuje w Laboratorium Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym. Działalność zawodowa autora jest związana z takimi zagadnieniami jak: reakcja na ogień materiałów budowlanych, systemy zabezpieczeń przeciwpożarowych i przeciwwybuchowych obiektów budowlanych, ocena skuteczności działania systemów wentylacji pożarowej wykorzystujących narzędzia CFD. Jest autorem wielu publikacji, standardów technicznych oraz opracowań związanych z bezpieczeństwem pożarowym budynków.

ML. BRYG. MGR INŻ. WOJCIECH KLAPSA – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie i Wydziału Chemii na Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Obecnie pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości na stanowisku Kierownika. Autor lub współautor artykułów o tematyce bezpieczeństwa pożarowego oraz właściwości palnych materiałów budowlanych. W CNBOP-PIB zajmuje się tematyką ekspertyz technicznych budynków, opinii sądowych w zakresie ustalania przyczyn pożarów oraz badaniami w zakresie reakcji na ogień wyrobów budowlanych, jak również wyznaczaniem parametrów wybuchowych substancji palnych. Prelegent na konferencjach krajowych i zagranicznych, a także wykładawca podczas ćwiczeń oraz warsztatów i treningów na szkoleniach i kursach.

SENIOR BRIG. PAWEŁ JANIK, PH.D. ENG. – he completed his master's studies at the Main School of Fire Service in Warsaw and doctoral studies at the Poznań University of Economics (now Poznań University of Economics), as well as post-graduate studies in IT at the Lodz University of Technology and crisis management at the Central School of the Fire Service. Since 2018, he has been the director of CNBOP-PIB. Specialty: safety science.

PIOTR KRAWIEC, PH.D. ENG. PP PROF. – a graduate of the Faculty of Mechanical Engineering at the Poznan University of Technology. He obtained his doctoral degree in 2002 and in 2011 a postdoctoral degree. Since 1994, he has been working at the Department of Fundamentals of Machine Design. His specialization includes: machine-construction and operation, computer aided design, material testing, drive control, cargo transportation safety

ST. BRYG. DR INŻ. PAWEŁ JANIK – ukończył studia magisterskie w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz studia doktorskie w Akademii Ekonomicznej w Poznaniu (obecnie Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu), a także studia podyplomowe z zakresu informatyki na Politechnice Łódzkiej oraz zarządzania kryzysowego w SGSP. Od 2018 r. jest dyrektorem CNBOP-PIB. Specjalność: nauki o bezpieczeństwie.

DR HAB. INŻ. PIOTR KRAWIEC, PROFESOR PP – ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej. Stopień doktora uzyskał w 2002 r., natomiast w 2011 r. stopień doktora habilitowanego. Od 1994 r. pracuje w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Specjalność – budowa i eksploatacja maszyn, komputerowe wspomaganie projektowania, badania materiałów, sterowanie napędami, bezpieczeństwo transportu ładunków