

# Dynamika przepływu powietrza przez klapę oddymiającą klatkę schodową w budynku średniowysokim

Dynamics of air flow through the staircase smoke vent in a medium-high building

ARLETA BOGUSŁAWSKA, DOROTA BRZEZIŃSKA

DOI 10.36119/15.2020.8.4

W artykule przedstawiono wyniki pomiaru przepływu powietrza wentylacyjnego w przestrzeni klatki schodowej średniowysokiego budynku LabFactor Politechniki Łódzkiej w różnych warunkach atmosferycznych. Realizowane badania polegały na pomiarze temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego oraz prędkości przepływu powietrza przez klapę dymową w czasie otwarcia klapy i drzwi zewnętrznych. W oparciu o uzyskane wyniki pomiarów przygotowano wykresy zmienności strumieni powietrza przepływających przez klapę w cyklu otwarcia, dla różnych temperatur powietrza zewnętrznego. Potwierdzono znaczącą zależność prędkości i kierunku przepływu przez klapę w zależności od różnic temperatur pomiędzy przestrzenią klatki schodowej a otoczeniem.

*Słowa kluczowe: wentylacja pożarowa, klatka schodowa, ciąg kominowy, oddymianie grawitacyjne, badania w skali rzeczywistej*

The article presents the results of measuring the ventilation air flow in the staircase of the LabFactor medium-high building of the Lodz University of Technology under various weather conditions. Measurements were carried out while the external door and the smoke damper were opened. During the research external and internal air temperature and the air flow velocity through the smoke damper was measured. Based on the obtained measurement results, graphs of the variability of air flows flowing through the smoke damper were prepared. A relationship between velocity and direction of the flow through the damper and temperature differences between the staircase space and the surroundings was demonstrated.

*Keywords: fire ventilation, staircase, stack effect, natural smoke exhausting, real-scale research*

## Wstęp

Klatki schodowe w budynkach pełnią nie tylko funkcję komunikacyjną, umożliwiającą przemieszczanie się między kondygnacjami, ale również ewakuacyjną umożliwiającą użytkownikom budynku opuszczenie go w sytuacji zagrożenia, jakim jest np. pożar. W zależności od przeznaczenia budynku oraz jego wysokości, zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami [3] w chronionych klatkach schodowych należy zastosować układ oddymiania grawitacyjnego lub układ nadciśnieniowego zabezpieczenia przed zadymieniem. W budynkach, w których dopuszcza się zastosowanie oddymiania grawitacyjnego, ale klatka schodowa nie ma zapewnionej kompensacji z zewnątrz (klatka schodowa zlokalizowana jest wewnątrz budynku, bez dostępu do ściany zewnętrznej) stosuje się często oddymianie z nawiewem mechanicznym.

Zadaniem instalacji oddymiającej, poza umożliwieniem bezpiecznej ewaku-

acji z budynku objętego pożarem jest również zwiększenie widoczności w przestrzeni klatki schodowej. Jest to realizowane poprzez usunięcie dymu i innych gazowych produktów spalania z przestrzeni klatki schodowej, co za tym idzie szybkość ich usuwania niejednokrotnie decyduje o zdrowiu i życiu ludzi.

W celu oceny efektywności działania systemu oddymiania grawitacyjnego w budynkach średniowysokich przeprowadzono badania wydajności przepływu powietrza przez klapę w różnych warunkach atmosferycznych.

## Zasada działania oddymiania grawitacyjnego

Zasada działania instalacji oddymiania grawitacyjnego jest dobrze znana i opisana matematycznie. Bazuje ona na zjawisku ciągu kominowego ([1], [2]), a więc pojawienia się naturalnego ruchu powietrza wywołanego różnicą temperatury, a w konsekwencji różnicą gęstości

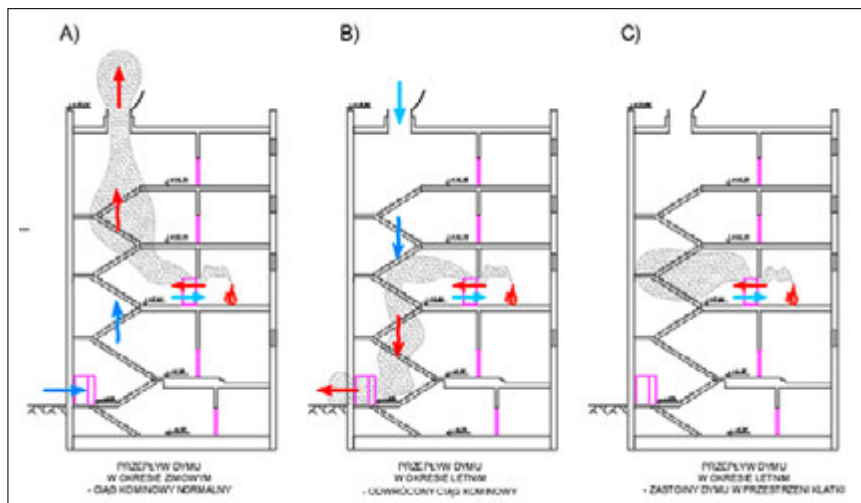
powietrza. Wzór opisujący różnicę ciśnień ciągu kominowego ma postać:

$$p_s = h \cdot g \cdot (\rho_{zew} - \rho_{wew}) \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

gdzie:

- $p_s$  – ciąg kominowy [Pa],
- $h$  – efektywna wysokość klatki schodowej (komina) [m],
- $g$  – przyspieszenie ziemskie [ $\text{m/s}^2$ ],
- $\rho_{zew}$  – gęstość powietrza zewnętrznego [ $\text{kg/m}^3$ ],
- $\rho_{wew}$  – gęstość powietrza wewnętrznego [ $\text{kg/m}^3$ ].

Analizując wzór (1) można zauważyć, że zjawisko ciągu kominowego jest uzależnione od wysokości komina oraz różnicy gęstości powietrza. Podobną zależność należy się spodziewać na klatkach schodowych, szczególnie w budynkach wysokich i wysokościowych. Gęstość powietrza jest odwrotnie proporcjonalna do jego temperatury (im niższa temperatura tym większa gęstość powietrza), zatem zjawisko ciągu kominowego nasila się wraz ze spadkiem temperatury



Rys. 1. System oddymiania grawitacyjnego: a) zima, b) lato, c) lato.

zewnątrznej. Powietrze wewnętrzne jest wtedy cieplejsze, zatem ma mniejszą gęstość, co wywołuje jego ruch ku górze. W takim przypadku instalacja oddymiania grawitacyjnego działa w sposób prawidłowy usuwając dym przez klapę dymową zlokalizowaną w dachu. W okresach letnich, gdy temperatura powietrza zewnętrznego jest wyższa niż temperatura w budynku, panuje niekorzystny rozkład ciśnienia i ciepłe powietrze wlatuje do budynku przez klapę dymową. Zjawisko to nazywane jest odwróconym ciągiem kominowym. W praktyce wywołuje to powstawanie zastoin dymu w obrębie klatki schodowej, lub usuwanie dymu przez otwory kompensacyjne co ma bardzo niekorzystny wpływ na warunki ewakuacji, właściwie uniemożliwiając jej przeprowadzenie w sposób bezpieczny.

Na rys. 1 przedstawiono uproszczony układ oddymiania w różnych warunkach atmosferycznych.

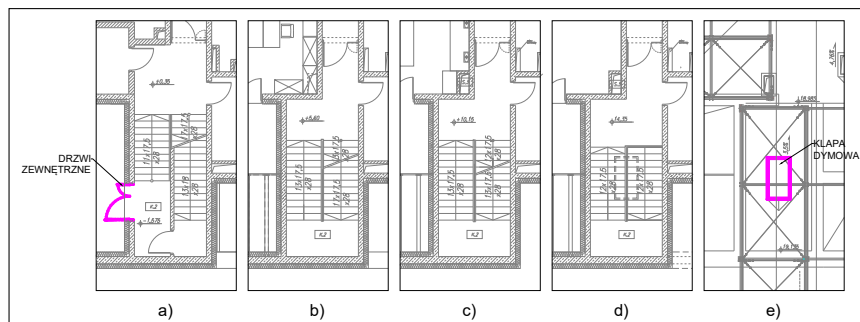
Instalacja oddymiania klatek schodowych może być uruchamiana ręcznie poprzez RPO (ręczny przycisk ostrzeżenia) lub automatycznie przez czujnik dymu. Zadziałanie jednego z tych elementów powoduje automatyczne otwarcie klapy dymowej. Do wywołania ruchu powietrza (zadziałania całego systemu oddymiania) niezbędne jest również otwarcie drzwi zewnętrznych lub innych otworów napływu powietrza uzupełniającego.

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów przepływu powietrza przez klapę dymową zamontowaną na klatce schodowej należącej do Laboratorium Dymu, znajdującej się w budynku LabFactor Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Badania miały na celu weryfikację, czy w przypadku klatek występujących w budynkach średniowysokich, również występuje silny wpływ warunków pogodowych na skuteczność

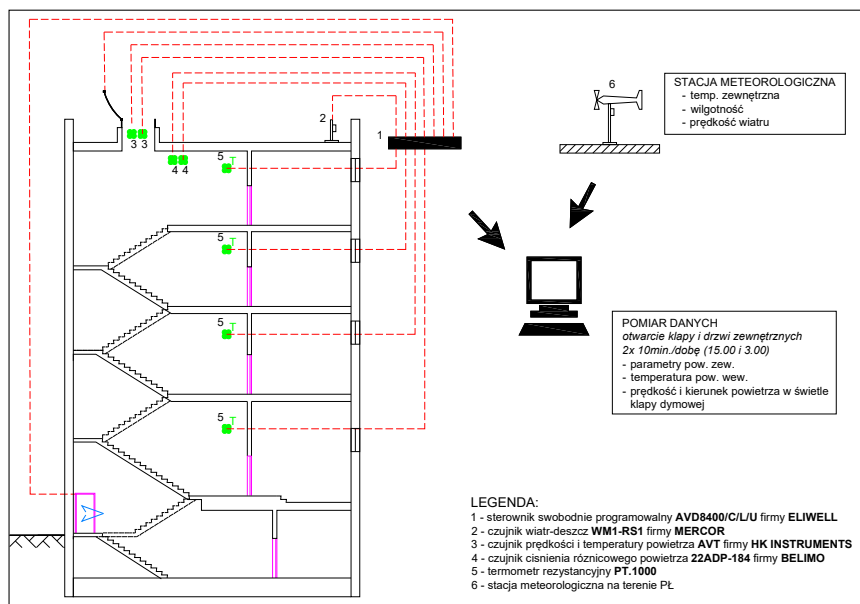
działania instalacji oddymiającej. Pomiary prowadzono w okresie 6 miesięcy, przy różnych warunkach pogodowych.

### Obiekt badawczy i aparatura pomiarowa

Budynek LabFactor należy do grupy budynków średniowysokich i ma 3 kondy-



Rys. 3. Rzut budynku: a) poziom 0, b) poziom +1, c) poziom +2, d) poziom +3, e) dach.



Rys. 4. Schemat układu badawczego.

gnacje nadziemne (rys. 2). Rzuty poszczególnych kondygnacji, z zaznaczeniem drzwi zewnętrznych oraz klapy dymowej zostały przedstawione na rys. 3.



Rys. 2. Widok z zewnątrz na analizowaną klatkę schodową.

W ramach badań w obrębie klatki schodowej została zainstalowana aparatura pomiarowa, której schemat instalacyjny przedstawiono na rys. 4. System pomiarowy składa się z następujących elementów:

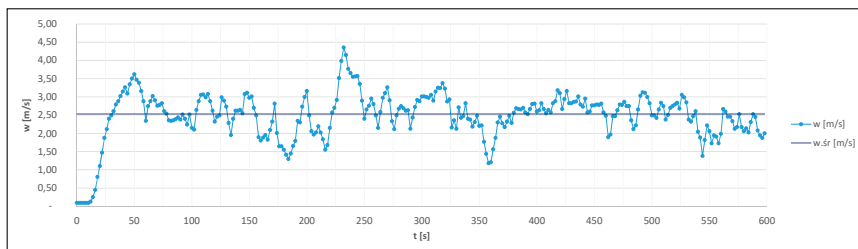
- termometrów rezystancyjnych PT.1000, zlokalizowanych pod stropem każdej kondygnacji (4 szt.), w przestrzeni biegu schodów,
- czujnika wiatr-deszcz WM1-RS1 firmy MERCOR, zlokalizowanego na dachu budynku,
- czujników prędkości i temperatury powietrza (2 szt.) AVT firmy HK INSTRUMENT S, zlokalizowanego w świetle kłapy dymowej,
- czujników ciśnienia różnicowego powietrza (2 szt.) 22ADP-184 firmy BELIMO,
- sterownika swobodnie programowalnego AVD8400/C/L/U firmy ELLWELL, realizującego cyfrową akwizycję danych pomiarowych i sterującego układem otwierania i zamykania kłapy dymowej oraz drzwi zewnętrznych w zadanych przedziałach czasowych.

Dodatkowo, do analizy uzyskanych wyników pomiarów wykorzystano dane ze stacji meteorologicznej znajdującej się na budynku A6 Politechniki Łódzkiej, zlokalizowanej w odległości ok. 150 m od badanego obiektu.

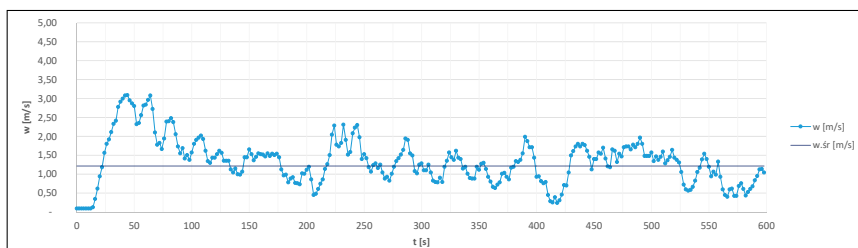
W celu uzyskania statystycznej wiarygodności badań i zróżnicowania temperatur zewnętrznych pomiary wykonywano dwa razy dziennie (o godzinie 3.00 oraz 15.00) przez okres 6 miesięcy. Kłapa dymowa i drzwi zewnętrzne były otwierane na okres 10 min. W tym czasie mierzono i rejestrowano w odstępach 2-sekundowych parametry powietrza zewnętrznego, temperaturę powietrza wewnętrznego, różnicę ciśnień pomiędzy otoczeniem a klatką schodową oraz prędkości przepływu powietrza przez kłapę dymową. Na podstawie powyższych danych opracowano charakterystykę przepływu powietrza przez kłapę dymową w ciągu 10 minut od uruchomienia systemu oddymiania klatki schodowej.

### Wyniki pomiarów średniej prędkości chwilowej w świetle przekroju kłapy dymowej

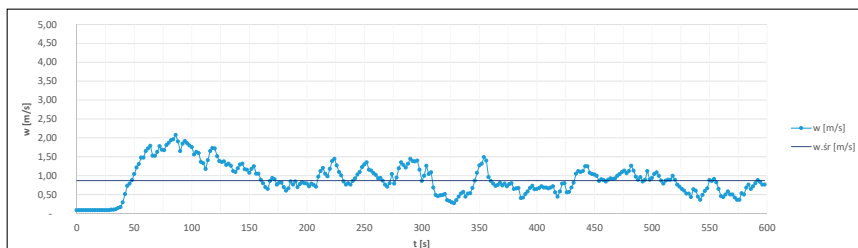
W okresie prowadzenia badań występowały znaczne różnice warunków pogodowych (lato – zima), które w istotny sposób rzutowały na ciąg kominowy powstający na badanej klatce schodowej. Zgodnie z przytoczoną na wstępie teorią, przy



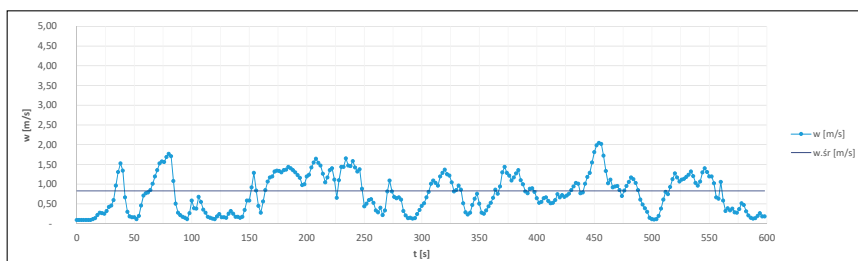
Rys. 5. Zmienność prędkości w czasie otwarcia kłapy dymowej (13.02.2019, 3:00).



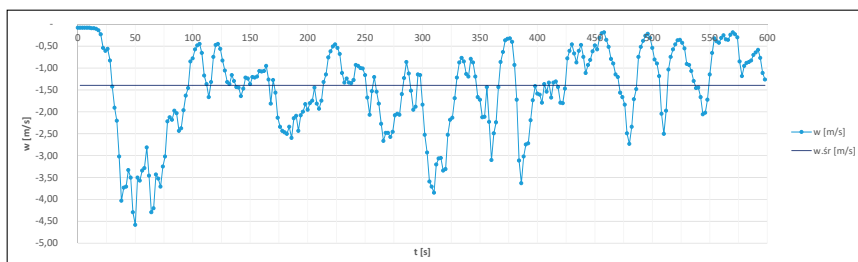
Rys. 6. Zmienność prędkości w czasie otwarcia kłapy dymowej (21.03.2019, 3:00).



Rys. 7. Zmienność prędkości w czasie otwarcia kłapy dymowej (18.02.2019, 15:00).



Rys. 8. Zmienność prędkości w czasie otwarcia kłapy dymowej (04.04.2019, 15:00).



Rys. 9. Zmienność prędkości w czasie otwarcia kłapy dymowej (30.06.2019, 15:00).

niskich temperaturach zewnętrznych uzyskiwano najwyższe wartości prędkości przepływu w świetle kłapy oddymiającej, natomiast w okresie letnim dochodziło do odwracania kierunku przepływu przez kłapę. We wszystkich przypadkach obserwuje się charakterystyczny okres „rozruchu”, w czasie którego po otwarciu kłapy i drzwi następuje, z pewnym opóźnieniem,

wzrost mierzonej prędkości przepływu, z charakterystycznym wyniesieniem po zakończeniu procesu otwierania. We wszystkich przypadkach widoczna jest duża turbulencja przepływu, wynikająca ze złożonej struktury geometrycznej kanału (klatki schodowej, kłapy, drzwi) oraz niekontrolowanych warunków zewnętrznych (podmuchy wiatru). Przykładowe

przebiegi zmian prędkości dla różnych temperatur powietrza zewnętrznego przy niskich prędkościach wiatru ( $w < 0,3 \text{ m/s}$ ) przedstawiono na rys. 5-9.

Na rys. 5 przedstawiono przebieg zmienności prędkości przepływu powietrza w świetle kłapy dymowej, uzyskany przy początkowej różnicy temperatur ok. 20K. Obserwujemy ok. 50 s odcinek rozruchowy, a następnie w miarę stabilny przepływ średni, zakłócany silnymi fluktuacjami o charakterze turbulentnym.

Przy wzroście temperatury powietrza zewnętrznego, powodującym zmniejszenie początkowej różnicy temperatur do ok. 15K obserwujemy obniżenie się prędkości przepływu w przekroju kłapy dymowej. Odcinek rozruchowy wykazuje duże podobieństwo do wcześniejszego przypadku. Również w tym przypadku obserwujemy turbulentne fluktuacje prędkości wokół prędkości średniej, co przedstawiono na rys. 6.

Dalszy wzrost temperatury zewnętrznej ( $T_{zew} - T_{zew} \approx 10 \text{ K}$ ) powoduje zmniejszenie prędkości przepływu w przekroju kłapy, co jest widoczne na rys. 7. W dalszym ciągu obserwowany jest odcinek rozbiegowy ze znacznym, chwilowym, zwiększeniem prędkości powyżej wartości średniej. Utrzymuje się turbulentny charakter przebiegu prędkości chwilowej, choć ze znacznie zmniejszonymi amplitudami.

W przypadku niewielkich dodatnich różnic temperatur (0-2K) prędkość średnia

w dalszym ciągu spada, a w wyniku turbulentnych fluktuacji chwilowa prędkość przepływu osiąga wartość 0. Oznacza to, że występują przejściowe zaniki ciągu w badanej klatce schodowej. Efekt ten widoczny jest na rys. 8.

W gorących okresach letnich, kiedy temperatura otaczającego powietrza osiąga wartości rzędu 35°C obserwujemy odwrócenie kierunku przepływu powietrza przez kłapę, co ilustruje rys. 9. Turbulentny charakter przepływu nie ulega zmianie, niemniej jednak maksymalne amplitudy odchylenia od wartości średniej ulegają zmniejszeniu.

### Podsumowanie

Przeprowadzone w okresie półrocznym pomiary przepływu powietrza przez kłapę oddymiającą klatki schodowej potwierdzają silną zależność wielkości strumienia objętości powietrza przepływającego przez kłapę od warunków atmosferycznych tj. temperatury otoczenia jak i temperatury utrzymywanej w klatce schodowej, nawet w przypadku budynków średniowysokich. Wzrost różnicy temperatur powoduje zwiększony przepływ przez kłapę przy czym kierunek przepływu zależy od relacji temperatury otoczenia do temperatury w przestrzeni klatki schodowej. Temperatura otoczenia niższa od temperatury w klatce powoduje wypływ powietrza przez kłapę, sytuacja odwrotna (temperatura powietrza zewnętrznego jest

wyższa od wewnętrznego – lato) powoduje napływ ciepłego powietrza przez kłapę do przestrzeni klatki schodowej.

W trakcie otwierania kłapy i drzwi zarejestrowano w badanej klatce wyraźny okres rozruchowy, w którym następował wzrost prędkości przepływu od 0 do wydajności maksymalnej, po którym z kolei następował spadek do prędkości średniej. Czas rozruchowy jest uzależniony od czasu otwarcia kłapy dymowej i otworów kompensacyjnych (w analizowanym przypadku drzwi zewnętrznych).

Wyniki badań wykazały ponadto, że przepływ przez kłapę jest bardzo niestabilny i charakteryzuje się dużymi fluktuacjami turbulentnymi. Charakter tych zmian będzie poddawany dalszej analizie, z uwzględnieniem większej liczby danych.

### LITERATURA:

- [1] Firląg Sz., Miszczuk A, Efektywność działania wentylacji naturalnej i możliwości jej usprawnienia, Rynek Instalacyjny 6/2016.
- [2] Rokita M, Regulacja ciągu kominowego, Rynek Instalacyjny 7-8/2017.
- [3] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2012 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 75 poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami).
- [4] SITP dolnośląski, Systemy usuwania dymu z klatek schodowych, rew. A.1:2016-11.
- [5] Skaźnik M., Urządzenia do usuwania dymu z przestrzeni klatek schodowych, Ochrona Przeciwpożarowa 4/2011.



## XV Konferencja Naukowa POL-EMIS 2020 Aktualne trendy w ochronie powietrza i klimatu – kontrola, monitoring, prognozowanie i ograniczanie emisji 19-21.10.2020 r., Wrocław

Tegoroczna, 15. już edycja konferencji naukowo-technicznej, gościć będzie naukowców i ekspertów z Polski i zagranicy, którzy przedstawią najlepsze rozwiązania w dziedzinie: ochrony powietrza, ochrony przed zmianami klimatycznymi, a także energetyki odnawialnej i konwencjonalnej.

W trakcie konferencji zaprezentowane zostaną najbardziej aktualne problemy związane z ochroną powietrza i zmianami klimatycznymi, w tym:

- nowe badania nad niskoemisyjnymi: paliwami, technologiami przemysłowymi i sposobami pozyskiwania energii, w tym OZE;
- perspektywiczne sposoby ograniczania/eliminowania emisji z niskich źródeł komunalnych i z transportu;
- innowacyjne metody oczyszczania gazów odlotowych;
- rozwój metod kontroli emisji i imisji;
- perspektywiczne sposoby przeciwdziałania zmianom klimatycznym;

- innowacyjne metody ochrony powietrza wewnętrznego;
- rozwój metod matematycznego modelowania jakości powietrza;
- nowe tendencje w prognozowaniu skutków zanieczyszczenia powietrza i zmian klimatycznych;
- nowe trendy w zarządzaniu jakością powietrza.

Miejsce konferencji:  
**Centrum Kongresowe Politechniki Wrocławskiej**  
ul. Janiszewskiego 8, bud. D-20

Organizator:  
**Politechnika Wroclawska**  
Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska

**Serdecznie zapraszamy do udziału w konferencji !**

Więcej informacji na stronie internetowej:  
<http://pol-emis.pwr.edu.pl/>

XV Konferencja Naukowa POL-EMIS'2020 uzyskała dofinansowanie  
z programu „Doskonała nauka”  
Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



**Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego**