

9/2026
wrzesień

ISSN 0137-3676
e-ISSN 2449-9900
tom 57 (9)

Cena: 18,50 zł
(w tym VAT 8%)

C O W

CIEPŁOWNICTWO OGRZEWNICTWO WENTYLACJA



POLSKIE ZRZESZENIE
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
SANITARNYCH

DISTRICT HEATING • HEATING • VENTILATION

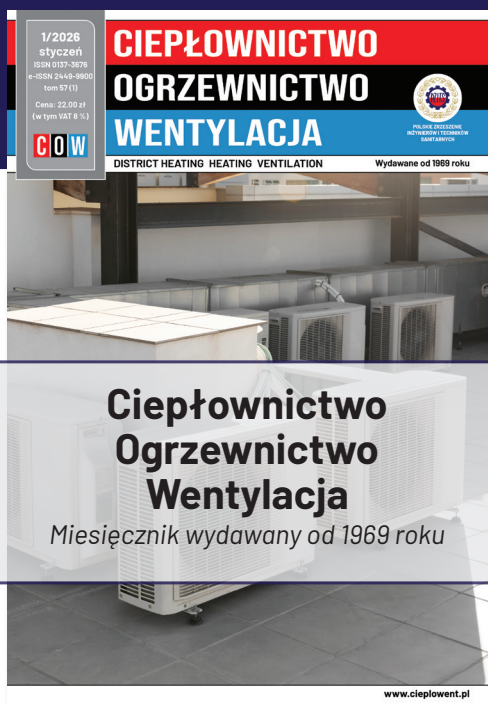
Wydawane od 1969 roku



**Sprawdzone rozwiązania dla środowiska
PZITS – certyfikacja Małych Oczyszczalni Ścieków (MOŚ)**

Więcej szczegółów str. 49

Czasopisma Polskiego Zrzeszenia
Inżynierów i Techników Sanitarnych
w nowej odsłonie



Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja

Miesięcznik wydawany od 1969 roku



Gaz Woda i Technika Sanitarna

Gas Water & Sanitary Engineering

Gaz Woda i Technika Sanitarna

Miesięcznik wydawany od 1921 roku

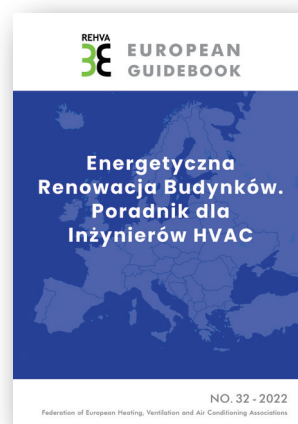
1

2026

www.gwits.pl

cena: 18,50 zł (w tym VAT 8%)

Zapisz się na **bezpłatną** prenumeratę
czasopism, a otrzymasz e-poradnik:
„REHVA GB.32: Energetyczna renowacja
budynków. Poradnik dla inżynierów HVAC”



Dołącz już dziś do grona
specjalistów i otrzymuj od bezpłatną
prenumeratę czasopism PZITS.



Więcej szczegółów na stronie:
www.pzits.pl/prenumerata



Szanowni Czytelnicy,

poprawa efektywności energetycznej budynków wymaga uważnego spojrzenia na warunki, w jakich rzeczywiście pracują ich instalacje. Parametry przyjmowane podczas projektowania i deklarowane właściwości urządzeń stanowią punkt wyjścia, jednak o uzyskanych efektach decydują również sposób użytkowania pomieszczeń, zmienne warunki zewnętrzne oraz jakość sterowania i obsługi technicznej. Artykuły zamieszczone w niniejszym numerze pokazują te zależności, łącząc zagadnienia oszczędności energii z troską o komfort i bezpieczeństwo użytkowników.

Ważne miejsce w numerze zajmuje wentylacja zdcenralizowana, rozpatrywana jako rozwiązanie przydatne szczególnie w budynkach poddawanych termomodernizacji, w których brakuje przestrzeni na rozprowadzenie tradycyjnej instalacji kanałowej. Kinga Kujawska przedstawia przegląd literatury dotyczącej systemów wentylacji fasadowej, analizując ich efektywność energetyczną, odzysk ciepła oraz możliwości zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego. Autorka zwraca uwagę zarówno na potencjał tych urządzeń, jak i na ograniczenia związane z wpływem różnic ciśnienia, ryzykiem przeciągu oraz hałasem towarzyszącym pracy przy większych strumieniach powietrza.

Uzupełnieniem tej problematyki jest artykuł Alicji Kokoszy i Anny Wypych poświęcony komfortowi cieplnemu w pomieszczeniach z wentylacją o naprzemiennym nawiewie i wywiewie. Autorki wskazują, że nominalna wydajność urządzenia i sprawność odzysku ciepła nie wystarczają do oceny warunków odczuwanych przez użytkowników. Znaczenie mają również długość cyklu pracy, zmienność temperatury nawiewu, prędkość strugi oraz rozmieszczenie urządzeń względem miejsc przebywania ludzi. Przegląd pokazuje potrzebę łącznej oceny skuteczności wymiany powietrza i lokalnego komfortu cieplnego, a także wskazuje obszary wymagające dalszych badań porównawczych.

Szerszą perspektywę przedstawiają Anna Wypych i Alicja Kokosza w drugim opracowaniu, dotyczącym optymalizacji zużycia energii na etapie projektowania i eksploatacji budynków. Omówione metody obejmują rozwiązania regulowe, modelowanie i symulacje, sterowanie predykcyjne oraz wykorzystanie sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Z przeprowadzonej analizy wynika, że dobór metody powinien uwzględniać charakter zadania, dostępność wiarygodnych danych i możliwości integracji z automatyką budynkową. Istotne pozostaje przy tym równoczesne rozpatrywanie zużycia energii, kosztów oraz jakości środowiska wewnętrznego.

Znaczenie rzeczywistego sposobu użytkowania obiektu dobrze ilustrują badania Katarzyny Ratajczak i Małgorzaty Kiesz-kowskiej-Krzewickiej przeprowadzone w hali krytej pływalni. Autorki porównują parametry powietrza podczas normalnej eksploatacji, przerwy nocnej i zawodów pływackich. Wyniki wskazują, że stężenie dwutlenku węgla odzwierciedla przede wszystkim całkowite obciążenie hali użytkownikami, natomiast stężenie trichloraminy jest silniej związane z użytkowaniem niecki i aktywnością pływaków. To istotna wskazówka dla opracowywania strategii sterowania wentylacją, które powinny uwzględniać specyfikę i zmienność obciążenia pływalni.

W części praktycznej Michał Hyncnar porządkuje zagadnienia klasyfikacji, badań i stosowania klap wentylacji pożarowej. Wyjaśnia znaczenie oznaczeń oraz zależności między zakresem



przeprowadzonych badań a dopuszczalnym miejscem i sposobem montażu. Szczególną uwagę poświęca zgodności deklarowanych właściwości użytkowych z dokumentacją techniczną, przypominając, jak duże znaczenie dla bezpieczeństwa ma właściwy dobór elementów całej instalacji.

Numer zawiera również omówienie zmian przepisów dotyczących stosowania warunków technicznych oraz odpowiedzialności zawodowej osób pełniących samodzielne funkcje techniczne w budownictwie. Z kolei materiał poświęcony certyfikacji serwisantów małych oczyszczalni ścieków przedstawia inicjatywę Wielkopolskiego Oddziału

PZITS, podkreślając rolę potwierdzonych kompetencji i rzetelnej obsługi w utrzymaniu sprawności instalacji oraz osiąganiu zakładanych efektów środowiskowych.

Wspólnym wnioskiem płynącym z prezentowanych opracowań jest potrzeba zachowania ciągłości między projektowaniem a codzienną eksploatacją. Pomiary prowadzone w użytkowanych obiektach, właściwa interpretacja dokumentacji i doświadczenie osób odpowiedzialnych za instalacje pozwalają weryfikować przyjęte założenia i doskonalić stosowane rozwiązania. Mam nadzieję, że lektura bieżącego numeru dostarczy Państwu przydatnych wskazówek oraz inspiracji do dalszych badań i działań zawodowych.

Życzymy Państwu interesującej lektury!

Anna Bogdan

Odwiedź nową stronę czasopisma

ciepłownictwoogrzewnictwowentylacja.pl

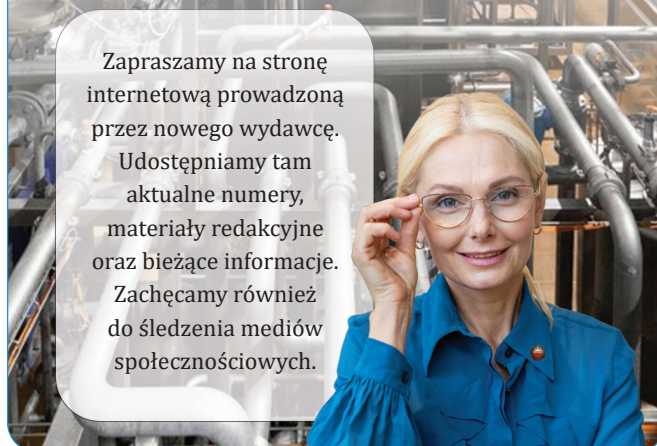


oraz nowe media społecznościowe:

www.facebook.com/COW.PZITS
www.linkedin.com/company/cow-
[ciepłownictwo-ogrzewnictwo-wentylacja](https://www.instagram.com/ciepłownictwo-ogrzewnictwo-wentylacja)

Zapraszamy na stronę internetową prowadzoną przez nowego wydawcę.

Udostępniamy tam aktualne numery, materiały redakcyjne oraz bieżące informacje. Zachęcamy również do śledzenia mediów społecznościowych.



Anna Bogdan – Na pierwszy rzut oka 1

Nauka i Technika

Kinga Kujawska – Zdecentralizowane systemy wentylacji fasadowej – przegląd literatury / Decentralized façade ventilation systems – a literature review 3

Anna Wypych, Alicja Kokosza – Optymalizacja zużycia energii w budynkach na etapie projektowania i eksploatacji – przegląd wybranych metod i kierunków rozwoju / Optimization of energy consumption in buildings at the design and operation stages – a review of selected methods and development directions 10

Alicja Kokosza, Anna Wypych – Komfort cieplny w pomieszczeniach z zdecentralizowaną wentylacją o naprzemiennym nawiewie i wywiewie – przegląd stanu badań / Thermal comfort in rooms with decentralised alternating supply and exhaust ventilation – a review of current research 18

Katarzyna Ratajczak, Małgorzata Kieszowska-Krzewicka – Wpływ sposobu użytkowania krytej pływalni na jakość powietrza w hali basenowej – studium przypadku / The impact of indoor swimming pool usage patterns on air quality in the pool hall – a case study 26

Partnerzy w technologii

Michał Hycnar – Klapy wentylacji pożarowej – klasyfikacja, badania i zasady stosowania w świetle aktualnych wymagań normowych 34

Prawo

Andrzej Falkowski – Prawo budowlane po nowelizacji – 18 miesięcy wyboru WT i zmiany w odpowiedzialności zawodowej 40

Wydarzenia

XII Podlaska Konferencja Ciepłownicza – o bezpieczeństwie, efektywności i przyszłości sektora ciepłowniczego 17

Jubileuszowa, 25. edycja Forum Termomodernizacja 2026: Nowe możliwości techniczne i finansowe termomodernizacji budynków 43

Powrót do korzeni – przyjeżdż na Światowy Kongres Absolwentów Politechniki Wrocławskiej 43

NFOŚiGW inwestuje w bezpieczeństwo energetyczne i produkcję czystej energii z biogazu 44

Kolejne środki z KPO wpłynęły do NFOŚiGW na finansowanie programu Czyste Powietrze 44

Nasza misja: woda dla Polski Przeciwdziałanie suszy i zmianom klimatu w centrum nowej kampanii NFOŚiGW 45

SaniEvent 2027 – nowe ogólnopolskie wydarzenie dla branży inżynierii sanitarnej 46

Dni Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego (DBPiE) 2026 47

PZITS w działaniu

Nadchodzące Wydarzenia 48

Certyfikacja serwisantów MOŚ – nowy standard jakości i ochrony środowiska 49

Grafika na okładce została wygenerowana z wykorzystaniem narzędzi AI.

Informacje dla autorów znajdują się na stronie:

www.cieplownictwoogrzewnictwowentylacja.pl/wspolpraca-z-autorami

Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, Miesięcznik Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych, Rok założenia: 1969

Czasopismo recenzowane

Wersja pierwotna czasopisma: elektroniczna

ISSN 0137-3676, e-ISSN 2449-9900

KOLEGIUM REDAKCYJNE/Editorial Board

REDAKTOR NACZELNY/Editor in Chief

dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. PW

REDAKTORZY TEMATYCZNI/Subject Editors

Ciepłownictwo/District heating

– dr hab. inż. Bożena Babiarz, prof. PRz

– mgr inż. Ewa Kręcielewska

– mgr inż. Barbara Rubik

– prof. dr hab. inż. Robert Sekret

Chłodnictwo i pompy ciepła/Refrigeration and heat pumps

– mgr inż. Paweł Lachman

– dr inż. Marian Rubik

– dr inż. Piotr Ziętek

Jakość powietrza/Air quality

– dr hab. inż. Robert Cichowicz, prof. PŁ

Wentylacja, klimatyzacja, ogrzewnictwo/Ventilation, air conditioning, heating

– dr hab. inż. Tomasz Cholewa, prof. PL

– dr hab. inż. Joanna Ferdyn-Grygierek, prof. PŚ

– dr inż. Andrzej Górka

– mgr inż. Wojciech Ratajczak

– dr inż. Sylwia Szczęśniak

– dr hab. inż. Ewa Zender-Świercz, prof. PŚk

WYDAWNICTWO POLSKIEGO ZRZESZENIA INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH

ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa

tel: 22 826 28 94

e-mail: wydawnictwo@pzits.pl, www.pzits.pl

Szczegóły prenumeraty:

www.pzits.pl/prenumerata

ADRES REDAKCJI

ul. Czackiego 3/5 pokój 217

00-043 Warszawa

redakcja@cieplownictwoogrzewnictwowentylacja.pl

www.cieplownictwoogrzewnictwowentylacja.pl

SKŁAD I OPRACOWANIE GRAFICZNE

Agnieszka Chojnacka

Polskie Zrzeszenie Inżynierów

i Techników Sanitarnych

DRUK

Zakład Poligrafii i Kolportażu Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o. o.

ul. Ks. J. Popiełuszki 19/21, 01-595 Warszawa

Miejsce i data wydania: Warszawa 09/2026

Nakład: 260 egzemplarzy

INFORMACJE DODATKOWE

Czasopismo znajduje się w wykazie czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Czasopismo jest indeksowane w: BazTech, EBSCO, Index Copernicus ICV 2024 = 75.74

oraz w Polskiej Bibliografii Naukowej (PBN),

będącej częścią Zintegrowanego Systemu

Informacji o Szkolnictwie Wyższym i Nauce

POL-on. Artykuły są rejestrowane w bazie

danych CrossRef. Każdy artykuł ma numer

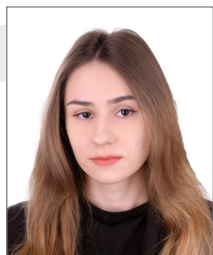
identyfikacyjny DOI.

Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za treść ogłoszeń.



Zdecentralizowane systemy wentylacji fasadowej – przegląd literatury

Decentralized façade ventilation systems – a literature review



Mgr inż. Kinga Kujawska

ORCID ID: 0009-0009-7503-2502

Absolwentka

Wydział Inżynierii Środowiska,

Geodezji i Energetyki Odnawialnej

Politechnika Świętokrzyska

kujawskakinga4@gmail.com

Słowa kluczowe: wentylacja zdecentralizowana, wentylacja fasadowa, naprzemienny nawiew/wywiew, odzysk ciepła, jakość powietrza wewnętrznego, PCM

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat zdecentralizowanych systemów wentylacji fasadowej, w szczególności w aspekcie efektywności odzysku ciepła oraz wpływu warunków zewnętrznych na pracę takich urządzeń. Analizie poddano artykuły naukowe oraz materiały konferencyjne dotyczące zdecentralizowanych systemów wentylacji fasadowej z ostatnich 11 lat, które wyszukiwano w wybranych bazach naukowych. Publikacje wyselekcjonowano na podstawie określonych kryteriów, obejmujących m.in.: dostępność pełnego tekstu („open access”) oraz skupienie na materiałach opublikowanych w języku polskim i angielskim. Wyszukiwanie artykułów przeprowadzono z wykorzystaniem odpowiednio dobranych słów kluczowych. Wyselekcjonowane publikacje podzielono na kilka części tematycznych, które obejmowały: efektywność energetyczną urządzeń fasadowych, utrzymanie odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego, efektywność odzysku ciepła, wpływ czynników zewnętrznych na pracę tego typu urządzeń oraz ich wady. Przegląd literatury pozwolił stwierdzić, że systemy wentylacji zdecentralizowanej stanowią efektywne rozwiązanie pozwalające utrzymać odpowiednie warunki wewnętrzne w obiektach. Istotnym problemem jest natomiast wpływ niekorzystnych czynników zewnętrznych, które mogą obniżać sprawność odzysku ciepła oraz wpływać na wielkość strumienia powietrza.

Keywords: decentralized ventilation, façade ventilation, alternative supply/exhaust airflow, heat recovery, indoor air quality, PCM
Abstract

The aim of this article is to present the current state of knowledge on decentralized façade ventilation systems, particularly with regard to the efficiency of heat recovery and the impact of external conditions on the operation of such systems. The analysis covered articles and conference papers of decentralized façade ventilation systems from the last 11 years, which were obtained from selected databases. The publications were selected on the basis of specific criteria, including, amongst others: the availability of the full text (“open access”), and materials published in Polish and English. The search for articles was carried out using appropriately selected keywords. The selected publications were divided into several thematic sections, which included: the energy efficiency of façade systems, the ability to maintain appropriate indoor air quality, heat recovery efficiency, the impact of external factors on the operating of this type of systems and their disadvantages. A review of the literature has shown that decentralised ventilation systems are an effective solution for maintaining suitable indoor conditions. A significant problem is the impact of adverse external conditions, which can reduce the efficiency of heat recovery and affect the air flow rate.

Wstęp i cel

Współczesny człowiek spędza zdecydowaną większość swojego życia wewnątrz budynków (Mannan & Al-Ghamdi, 2021). Z tego powodu zapewnienie we wnętrzach odpowiednich warunków mikroklimatycznych ma kluczowe znaczenie dla zdrowia i komfortu przebywających w nich użytkowników. W celu utrzymania właściwej jakości środowiska wewnętrznego, pomieszczenia powinny być właściwie wentylowane – zapewnienie odpowiedniej wymiany powietrza umożliwia utrzymanie prawidłowych

parametrów powietrza wewnętrznego, takich jak temperatura, wilgotność względna oraz stężenie zanieczyszczeń, a także ogranicza rozwój i rozprzestrzenianie się mikroorganizmów mogących mieć negatywny wpływ na ludzkie zdrowie (Pekdogan i in., 2020). Obecne trendy dotyczące zwiększania efektywności energetycznej budynków sprawiają, że nowe obiekty są bardzo szczelne, co z jednej strony ogranicza straty ciepła (Zender-Świercz, 2020), ale w konsekwencji tych działań, wymiana powietrza przez nieszczelności budynku, zachodząca wskutek różnicy ciśnienia pomiędzy środowiskiem wewnętrznym

i zewnętrznym, zostaje istotnie ograniczona (Pekdogan i in., 2020). W przypadku nowo wznoszonych obiektów, problem niewystarczającej wymiany powietrza można łatwo rozwiązać, stosując system wentylacji centralnej. Wówczas, wszelkie niezbędne rozwiązania konstrukcyjne i instalacyjne mogą zostać uwzględnione już na etapie projektowania budynku. Z kolei, w przypadku obiektów poddawanych termomodernizacji, często niemożliwe jest rozprowadzenie rozległej instalacji wentylacji centralnej z uwagi na brak miejsca (Zender-Świercz, 2020; Koper, 2024). Najprostszym i najtańszym rozwiązaniem tego problemu jest wykonanie dodatkowych otworów wentylacji naturalnej. Opcja ta, nie jest jednak w pełni polecana z uwagi na ryzyko wychładzania pomieszczeń (Zender-Świercz, 2020a, 2020b). W takich przypadkach efektywną alternatywę może stanowić zastosowanie zdecentralizowanych systemów wentylacji, służących do wymiany powietrza w pojedynczych pomieszczeniach lub strefach budynku (Amanowicz i in., 2019; Davidson i in., 2022; Pomorski & Kim, 2023). Systemy te dzieli się na urządzenia pracujące w sposób ciągły, które wyposażone są w dwa wentylatory oraz na urządzenia pracujące w cyklach naprzemiennego nawiewu i wywiewu powietrza (Amanowicz i in., 2019). Takie urządzenia posiadają kompaktowe rozmiary i są montowane w fasadzie budynku (Davidsson & Chowdary, 2022; Pomorski & Kim, 2023; Koper i in., 2020; Amanowicz i in. 2023). Najczęściej stosuje się je parami i umieszcza po przeciwległych stronach pomieszczenia (Amanowicz i in., 2019). Pracują one naprzemiennie – gdy jedno z nich działa w trybie nawiewu, drugie pracuje w trybie wywiewu. Obecne rozwiązania komercyjne wykorzystują najczęściej wentylator rewersyjny, który umożliwia zmianę kierunku przepływu powietrza po upływie określonego czasu. W literaturze spotyka się również urządzenia wykorzystujące układ przepustnic otwierających i zamykających się w odpowiedniej sekwencji, co umożliwia zmianę cykli pracy (Zender-Świercz, 2021).

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat zdecentralizowanych systemów wentylacji fasadowej na podstawie dostępnej literatury naukowej. Analizie poddano aspekty dotyczące efektywności energetycznej tego typu systemów, ich możliwości utrzymania odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego, efektywność odzysku ciepła przy zastosowaniu różnych wymienników ciepła oraz wpływ czynników zewnętrznych na pracę urządzeń fasadowych.

Metodologia

Analiza literatury obejmowała artykuły naukowe i materiały konferencyjne identyfikowane za pomocą numeru DOI oraz książki posiadające numer ISBN. Podczas przeglądu literatury uwzględniono publikacje wydane w latach 2015–2026. Korzystano z baz naukowych, takich jak Research Gate, Science Direct, MDPI, Google Scholar. Podczas wyszukiwania publikacji przyjęto następujące kryteria kwalifikacji:

- dostępność pełnego tekstu (tzw. „open access”),
- publikacja w języku polskim lub angielskim,
- materiały opublikowane w analizowanym okresie czasu (2015–2026),
- materiały mające bezpośredni związek z zagadnieniem zdecentralizowanych systemów wentylacji fasadowej

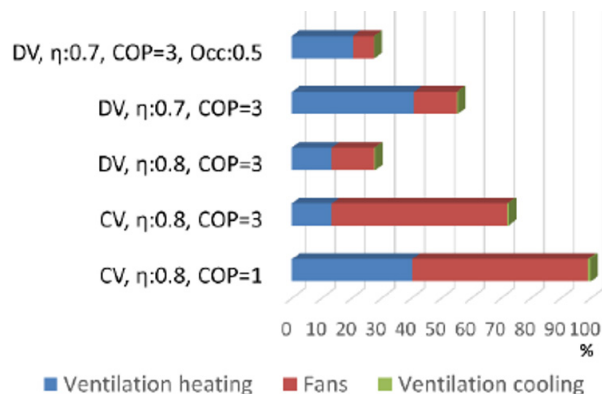
(w szczególności w kontekście jakości powietrza wewnętrznego oraz efektywności odzysku ciepła).

Wyszukiwanie przeprowadzono dla określonych słów kluczowych, takich jak: *decentralized ventilation, decentralized façade ventilation, decentralized heat recovery, single room ventilation unit, single duct ventilation, façade ventilation, alternative supply/exhaust airflow, decentralna wentylacja, wentylacja zdecentralizowana, wentylacja fasadowa, naprzemienny nawiew/wywiew, jednorurowe urządzenia wentylacyjne*. Wyniki wyszukiwania poddano analizie pod kątem zgodności tematycznej. Następnie wyselekcjonowano najbardziej reprezentatywne artykuły, które poddano szczegółowej analizie. Ostatecznie liczba publikacji, które wykorzystano do przeglądu literaturowego wyniosła 28 pozycji. Przegląd literatury podzielono na kilka bloków tematycznych obejmujących: efektywność energetyczną urządzeń fasadowych, jakość powietrza wewnętrznego, efektywność odzysku ciepła, ich wady oraz wpływ różnic ciśnienia na pracę takich systemów.

Przegląd literatury

Efektywność energetyczna

Badania na temat efektywności energetycznej systemów wentylacji zdecentralizowanej bazują głównie na porównaniu ich pracy z systemami wentylacji centralnej. Przykładem takich badań jest publikacja konferencyjna (Pomorski & Kim, 2023), opisująca wyniki symulacji, której celem było określenie zużycia energii do napędu wentylatora w systemie wentylacji zdecentralizowanej i centralnej z odzyskiem ciepła. Symulację wykonano dla mieszkania zlokalizowanego w Oslo w Norwegii. Przeanalizowano różne warianty systemów, różniące się sprawnością odzysku ciepła oraz wartością współczynnika efektywności zainstalowanej pompy ciepła. Wyniki wykazały, że zapotrzebowanie na energię było niższe w przypadku systemu zdecentralizowanego (Rysunek 1). Zaobserwowano również, że system wentylacji zdecentralizowanej charakteryzuje się mniejszym spadkiem ciśnienia, co ma bezpośredni związek z krótką drogą dystrybucji powietrza.



Rysunek 1. Porównanie różnych wariantów wentylacyjnych w budynku mieszkalnym w Oslo: CV (wentylacja centralna), DV (wentylacja zdecentralizowana), η (sprawność odzysku ciepła (0:zero–1:sto procent)), Occ (wskaźnik obecności (0–1)) (tłumaczenie własne). (Pomorski & Kim, 2023)

Figure 1. Comparisons of different ventilation strategies at a residential building in Oslo: CV (centralized ventilation), DV (decentralized ventilation), η (heat recovery unit efficiency (0:zero–1:hundred percent)), Occ (occupancy ratio (0–1)). (Pomorski & Kim, 2023)

Innym przykładem publikacji porównującej efektywność energetyczną systemów wentylacji zdecentralizowanej i centralnej jest artykuł (Kim i in., 2024). Badania opierały się na symulacji numerycznej dla modelowego pomieszczenia biurowego zlokalizowanego w trzech miastach w Norwegii – Oslo, Bergen i Kirkenes. Wyniki wykazały, że systemy wentylacji zdecentralizowanej z wysoką efektywnością odzysku ciepła mają niższe zapotrzebowanie na energię do napędu wentylatora oraz ogrzewania i chłodzenia powietrza wentylacyjnego. System wentylacji zdecentralizowanej o sprawności odzysku ciepła równemu 70%, przyczynił się do zaoszczędzenia 14,5% całkowitej energii niezbędnej do pokrycia potrzeb HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) w porównaniu do systemu wentylacji centralnej.

Komfort termiczny

Jednym z zagadnień podejmowanych w literaturze dotyczącej zdecentralizowanych systemów wentylacji jest ich wpływ na komfort cieplny użytkowników. Zender-Świercz (2020a) prowadziła badania w pomieszczeniu biurowym wyposażonym w zdecentralizowany system wentylacyjny. Ocenę komfortu cieplnego przeprowadzano w strefie pracy oraz w centralnej części pomieszczenia. Analizie poddano pracę systemu o długościach cykli 2, 4 i 10 min. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że zarówno w miejscu pracy, jak i w centralnej części pomieszczenia spełniono wymagania komfortu termicznego odnośnie temperatury, podczas wszystkich długości cykli. W przypadku wilgotności względnej wymagania dotyczące komfortu cieplnego zostały spełnione tylko dla części analizowanych wariantów długości cyklu pracy.

Kubacka & Heim (2015) przeprowadzili symulację dla czterech różnych konfiguracji umieszczenia otworów wlotowych i wylotowych w pomieszczeniu biurowym, które wyposażone było w zdecentralizowaną jednostkę nawiewną. Temperatura powietrza nawiewanego była stała i wynosiła 20°C, natomiast wywiew zużytego powietrza odbywał się za pomocą wyciągu grawitacyjnego. Dla każdego wariantu oceniono komfort cieplny w dwóch strefach pomieszczenia – w centralnej jego części i przy oknie. Do oceny komfortu termicznego wykorzystano wskaźniki PMV i PPD. Wyniki wykazały, że komfort termiczny został zachowany we wszystkich analizowanych wariantach, w obu strefach pomieszczenia.

Usuwanie zanieczyszczeń

Istotnym aspektem oceny zdecentralizowanych systemów wentylacji jest również ich skuteczność w usuwaniu zanieczyszczeń z powietrza wewnętrznego. Badania Zender-Świercz (2021) objęły efektywność redukcji zanieczyszczeń (CO_2) z powietrza wewnętrznego przez jednostkę fasadową. Badania wykazały, że wentylacja fasadowa pozwala na skuteczną redukcję stężenia CO_2 . Najwyższą efektywność zaobserwowano dla cykli wywiewu oraz cyklu dwuminutowego, podczas którego stężenie CO_2 zostało zredukowane o połowę w stosunku do stężenia początkowego.

Zender-Świercz (2020b) analizowała również potencjał usuwania zanieczyszczeń przez jednostkę fasadową przy pomocy gazu wskaźnikowego, którym był dwutlenek węgla. W celu określenia efektywności redukcji CO_2 , zba-

dano ilość wymian powietrza oraz stopień rozcieńczenia zanieczyszczeń. Dla każdego z analizowanych długości cykli wynoszących 2, 4 i 10 min zaobserwowano redukcję stężenia CO_2 . Największy spadek zanieczyszczeń w powietrzu wewnętrznym zaobserwowano podczas najdłuższego cyklu pracy.

Altendorf i in. (2022) zbadali efektywność redukcji radonu w powietrzu wewnętrznym mieszkania zlokalizowanego na terenie dawnej eksploatacji uranu. Podczas pracy systemu wentylacji zdecentralizowanej stężenie radonu ulegało redukcji nawet do 83%. Po wyłączeniu wentylacji stężenie radonu w powietrzu gwałtownie wzrastało.

Odzysk ciepła

Urządzenia do wentylacji fasadowej najczęściej wyposażone są w akumulacyjny wymiennik do odzysku ciepła. Odbiera on energię ciepłą z powietrza wywiewanego, a następnie oddaje ją do powietrza nawiewanego po zmianie cyklu. Powszechnie stosuje się ceramiczny wymiennik, jednak wraz z postępem badań nad urządzeniami do naprzemiennego nawiewu i wywiewu obserwuje się wprowadzanie nowych rozwiązań np. materiałów zmiennofazowych PCM (Phase Change Materials).

Urządzenia z ceramicznym wymiennikiem do odzysku ciepła

Koper (2019) badaniami objął jednoprzewodowe urządzenia wentylacyjne wyposażone w wymiennik ceramiczny, pracujące z trzema prędkościami wentylatora. Pomiary temperatury wykonywano za pomocą termopar umieszczonych w odpowiednich miejscach. Pomiary przeprowadzano dla kilku cykli, a następnie obliczono średnie temperatury w każdym punkcie pomiarowym. Określono dwie sprawności odzysku ciepła – osobno dla cyklu nawiewu i wywiewu. Wyniki wykazały, że sprawność odzysku ciepła jest wyższa dla niższych prędkości wentylatora, co ma związek z wydłużonym czasem kontaktu powietrza z wymiennikiem ciepła. Podczas najniższego biegu wentylatora sprawność odzysku ciepła wyniosła 79% w cyklu nawiewu. Zaobserwowano również, że sprawność odzysku ciepła jest wyższa dla cykli wywiewu, niż dla nawiewu.

Pekdogan i in. (2020) badali wydajność pracy jednostki wentylacji zdecentralizowanej z ceramicznym wymiennikiem do odzysku ciepła. Stanowisko badawcze stanowiło pomieszczenie ze ścianą betonową, która dzieliła pomieszczenie na dwie części. Znajdowały się w niej dwa kanały wentylacyjne – jeden z nich działał jako kanał wywiewny, a drugi jako nawiewny. Części pomieszczenia oddzielone od siebie ścianą betonową symulowały środowisko wewnętrzne i zewnętrzne. Badanie wykonano dla warunków zimowych i letnich, dlatego część reprezentująca środowisko zewnętrzne była wyposażona w chłodnicę oraz nagrzewnicę elektryczną. Zastosowano termopary w wyznaczonych miejscach, co pozwoliło obliczyć ciepło zgromadzone i oddane z wymiennika. Badania wykonano dla długości cykli wynoszących: 1, 2, 5, 7,5 i 10 min. Dla warunków zimowych stwierdzono, że najwyższą efektywność odzysku ciepła w cyklu nawiewu występuje w cyklu dwuminutowym (82%), a najniższa podczas cyklu trwającego 7,5 minuty (73%). Dla warunków letnich stwierdzono, że w cyklu nawiewu efektywność odzysku ciepła wynosi 89% przy cyklu wynoszącym 7,5 minuty oraz 81% przy cyklu wynoszącym 10 minut. Zestawienie efektywności

odzysku ciepła dla poszczególnych cykli przedstawiono w Tabeli 1.

Koper i in. (2020) sprawdzili rzeczywiste parametry pracy urządzenia fasadowego z wymiennikiem ceramicznym, celem porównania ich z wartościami deklarowanymi przez producenta. Wyniki wykazały, że uzyskane parametry nie różniły się znacznie względem wartości podanych przez producenta. Dodatkowo, zaobserwowano rozbieżność pomiędzy wartościami temperatury mierzonej w środowisku wewnętrznym, oraz tej mierzonej w miejscu pomiędzy wentylatorem, a wymiennikiem do odzysku ciepła. Stwierdzono, że inne elementy urządzenia mogą akumulować energię ciepłą, co sugeruje ich wpływ na końcową wartość sprawności.

Alternatywne materiały akumulacyjne stosowane w wymiennikach regeneracyjnych

W literaturze, poza tradycyjnie stosowanymi wymiennikami ceramicznymi, obserwuje się również możliwość zastosowania alternatywnych materiałów akumulacyjnych do odzysku ciepła. Badaniami (Zender-Świercz, 2024) objęto zdecentralizowane urządzenie wentylacyjne wyposażone w wymiennik, którego materiał wypełniający stanowiły żwir oraz gips. Badania przeprowadzono dla trzech długości cyklu – 2, 6 i 10 min. Wyniki badań wykazały, że rodzaj materiału wypełniającego wpływa na średnią sprawność odzysku ciepła. W przypadku wymiennika wypełnionego gipsem najwyższą sprawność uzyskano dla cyklu trwającego dwie minuty, osiągając 86%. Wydłużenie czasu cyklu do 6 i 10 minut spowodowało obniżenie średniej sprawności do odpowiednio 70% i 71%. Z kolei wymiennik wypełniony żwirem charakteryzował się wyższą i bardziej stabilną sprawnością odzysku ciepła, wynoszącą 92–93%, niezależnie od długości cyklu pracy.

W podobnych badaniach (Romaniec i in., 2023) większą efektywność i stabilność odzysku ciepła uzyskano dla wymiennika z wypełnieniem żwirowym. W przypadku wymiennika wypełnionego żwirem, sprawność odzysku ciepła utrzymywała się na wysokim poziomie i wynosiła odpowiednio 92%, 93% oraz 92% dla cykli trwających 2, 6 i 10 minut. Natomiast dla wymiennika wypełnionego gipsem odnotowano niższe wartości, osiągające 86%, 70% i 71% dla analogicznych długości cyklu.

Wymienniki z materiałami zmiennofazowymi PCM

Zasada działania materiałów zmiennofazowych PCM polega na naprzemiennej akumulacji i oddawaniu ciepła jawnego i utajonego poprzez cykliczną zmianę stanu skupienia ze stałego na ciekły w zależności od wahań temperatury otoczenia. Podczas wzrostu temperatury otoczenia, materiał PCM topnieje, czemu towarzyszy pochłanianie energii cieplnej. Następnie, kiedy temperatura otoczenia maleje, PCM krzepnie, przez co oddaje zgromadzone ciepło. Każdy materiał zmiennofazowy ma określony zakres temperatur topnienia i krzepnięcia, w których zachodzą opisane procesy. Obecnie obserwuje się rosnące zainteresowanie zastosowaniem materiałów PCM np. w przegrodach budowlanych czy instalacjach wentylacyjnych (Laafer i in., 2026). Pomimo rosnącej liczby badań poświęconych wykorzystaniu PCM w systemach HVAC, ich zastosowanie w zdecentralizowanych systemach wentylacji jest nadal stosunkowo słabo opisane w literaturze.

Tabela 1. Wyniki efektywności energetycznej systemu wentylacji z odzyskiem ciepła jawnego (tłumaczenie własne). (Pekdogan i in., 2020)

Table 1. Energy efficiency results for the ventilation system with sensible heat recovery (author's own translation). (Pekdogan et al., 2020)

	Czas, min	Efektywność w cyklu wywiewu, %	Efektywność w cyklu nawiewu, %
Zima	1	73	75
	2	67	82
	5	73	76
	7,5	58	73
	10	52	77
Lato	7,5	61	89
	10	45	81

Przykładem badań poświęconych wentylacji fasadowej z wykorzystaniem PCM są prace Galiszewska & Zender-Świercz (2023a) przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych badanie efektywności odzysku ciepła trzech wariantów konstrukcyjnych wymiennika zbudowanego z aluminiowych cylindrów o różnej średnicy. Cylindry wypełniano materiałami zmiennofazowymi, tj. woda, olej kokosowy i olej jojoba. Badania wykazały, że najwyższą efektywność odzysku ciepła otrzymano dla cylindrów o najmniejszej średnicy oraz podczas najkrótszego cyklu pracy, który trwał 1 minutę. W takiej konfiguracji materiałem zmiennofazowym, który wykazał największą sprawność odzysku ciepła okazał się być olej jojoba. Przy temperaturze powietrza zewnętrznego równego 0°C, wymiennik o średnicy cylindrów 10 mm wypełniony olejem jojoba osiągnął sprawność równą 76,29%. Kontynuacja tych badań, przedstawiona w (Galiszewska & Zender-Świercz, 2023) miała na celu m.in. sprawdzenie zgodności wyników otrzymanych eksperymentalnie, z wynikami symulacji numerycznej. Przeprowadzono ją na podstawie opracowanego modelu CFD wymienników wypełnionych materiałami PCM. Wykazano, że wyniki otrzymane oboma drogami były do siebie zbliżone, a maksymalne odchylenia sprawności wynosiły około 6%.

Podobne badania przeprowadziły Galiszewska & Kujawska (2026), które badały efektywność odzysku ciepła wymienników wypełnionych materiałami zmiennofazowymi w warunkach rzeczywistych. Wymienniki były umieszczone w urządzeniu fasadowym do naprzemiennego nawiewu i wywiewu powietrza. Zastosowano wymiennik o konstrukcji cylindrów, których średnica zewnętrzna wynosiła 10 mm. Badaniom poddano trzy materiały zmiennofazowe – wodę, olej kokosowy i olej jojoba. Porównanie średnich sprawności urządzenia i samego wymiennika wykonano dla dwóch wariantów różnicy temperatury pomiędzy środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym – 20 i 30 K. Wyniki wykazały, że najwyższą sprawność urządzenia uzyskano dla wariantu z wymiennikiem wypełnionym olejem jojoba (68,5% przy ΔT równej 20K, czyli przy temperaturze zewnętrznej ok. 0°C oraz 67,67% przy ΔT równej 30K, czyli przy temperaturze zewnętrznej ok. -10°C). Podobne zależności zaobserwowano dla sprawności samego wymiennika, gdzie również dla wariantu z olejem jojoba otrzymano najwyższą efektywność odzysku ciepła (51,59% przy ΔT równej 20K i 51,85% przy ΔT równej 30K).

Wpływ różnic ciśnienia na pracę systemów wentylacji zdecentralizowanej

Sprawność odzysku ciepła oraz wielkość strumienia powietrza w zdecentralizowanych urządzeniach do wentylacji fasadowej w dużym stopniu zależą od różnicy ciśnienia pomiędzy środowiskiem zewnętrznym i wewnętrznym. Penev & Tsokov (2023) zbadali wpływ warunków zewnętrznych na sprawność odzysku ciepła jednostki do wentylacji fasadowej umieszczonej na ósmym piętrze budynku. Urządzenie wyposażone było w ceramiczny wymiennik do odzysku ciepła. Przeanalizowano pracę dwóch wariantów wymiennika o strukturze plastra miodu, które różniły się gęstością oraz wielkością oczek. Wyniki wykazały, że w warunkach zimowych sprawność odzysku ciepła oraz wydajność nawiewu świeżego powietrza do pomieszczenia wykazują znaczną zmienność. Dodatkowo, w warunkach letnich odzyskiwanie ciepła z powietrza wywiewanego sprzyja zatrzymywaniu energii cieplnej w pomieszczeniu zamiast jej odprowadzania na zewnątrz.

Pracę jednostki do wentylacji fasadowej oceniono pod kątem wpływu różnicy ciśnienia pomiędzy środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym (Zemitis & Bogdanovics, 2020). Badania wykonano w warunkach laboratoryjnych. Wyniki wykazały wyraźne obniżenie efektywności odzysku ciepła wraz ze wzrostem różnicy ciśnienia. Ponadto, zaobserwowano wzrost prędkości przepływu powietrza przez jednostkę wraz ze wzrostem różnicy ciśnienia. Może to prowadzić do negatywnego odczucia cieplnego użytkowników znajdujących się w zasięgu strugi powietrza.

Mikola i in. (2019) zbadali wpływ ciśnienia powietrza (ciągu kominowego) w budynku wielopiętrowym na pracę zdecentralizowanych jednostek wentylacyjnych. Porównano pracę dwóch jednostek wentylacyjnych: z płytowym wymiennikiem ciepła i dwoma wentylatorami promieniowymi oraz z ceramicznym wymiennikiem ciepła i wentylatorem osiowym. Dla obu wariantów stwierdzono, że ilość przepływającego przez urządzenie powietrza jest różna dla cyklu nawiewu i wywiewu. W przypadku wariantu z wentylatorem osiowym zaobserwowano niemal całkowity zanik zdolności odzysku ciepła. Wariant z wentylatorami promieniowymi wykazał lepsze zbilansowanie ilości przepływającego powietrza w cyklach nawiewu i wywiewu. Również w tym przypadku zaobserwowano niższe zmiany w efektywności odzysku ciepła. Potwierdzeniem tych wyników są również badania Carbonare i in. (2020), który wykazali negatywny wpływ wiatru na pracę wentylatorów osiowych.

Podobne badania przeprowadzili Penev & Tsokov (2021) na temat wpływu siły wyporu w okresie zimowym na pracę zdecentralizowanych jednostek wentylacyjnych w budynku wielopiętrowym. Badania opierały się na wykonaniu symulacji CFD budynku pięciokondygnacyjnego, ze wspólnym pionem wentylacyjnym oraz jednostką do wentylacji fasadowej na każdym z pięter. Wykazano, że ciąg kominowy powoduje, że ilość powietrza przepływającego w cyklach nawiewu i wywiewu nie pokrywa się na każdej kondygnacji oraz zmienia się prędkość przepływu powietrza przez urządzenie. Dodatkowo, stwierdzono spadek efektywności odzysku ciepła wraz ze wzrostem wysokości budynku.

Również Koper (2019) wykazał, że różnice ciśnienia pomiędzy środowiskiem wewnętrznym, a zewnętrznym powodują zwiększenie przepływu powietrza w cyklu wywiewu w jednostce do wentylacji fasadowej. W konsekwencji miało to wpływ na nierównomierną efektywność odzysku ciepła (wyższą uzyskano w cyklu wywiewu).

Problemy związane z wpływem różnicy ciśnienia mogą zostać zminimalizowane dzięki zastosowaniu dodatkowych układów sterowania. Koper (2024) przeanalizował ich skuteczność w zakresie bilansowania ilości powietrza nawiewanego i wywiewanego oraz poprawy efektywności odzysku ciepła. Zbadano dwa sposoby sterowania pracą urządzenia: regulację prędkości wentylatora opartą na pomiarze strumienia powietrza oraz regulację długości cyklu w zależności od temperatury powietrza opuszczającego wymiennik. Wykazano, że zastosowanie obu sposobów sterowania przyczynia się do lepszego zbilansowania strumieni powietrza oraz wzrostu efektywności odzysku ciepła.

Wady systemów wentylacji zdecentralizowanej

Pomimo licznych zalet zdecentralizowanych systemów wentylacji, ich zastosowanie wiąże się również z pewnymi ograniczeniami i problemami. Jedną z wad urządzeń do wentylacji fasadowej jest możliwość wystąpienia przeciągu, na który szczególnie narażeni są użytkownicy przebywający w zasięgu strumienia powietrza podczas długich cykli pracy (Zender-Świercz, 2020a). Autorka wskazuje, że skutecznym sposobem ograniczenia tego zjawiska jest zastosowanie wymiennika do odzysku ciepła oraz nagrzewnicy. Zender-Świercz i in., (2022) zalecili kierowanie strumienia powietrza wentylacyjnego pionowo ku górze zamiast równoległe do podłogi, co przyczynia się do ograniczenia możliwości wystąpienia przeciągu.

Ryzyko mieszania się ze sobą strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego jest w urządzeniach fasadowych przez długi czas budziło dyskusję co do bezpieczeństwa ich stosowania w aspekcie higienicznym. Naukowcy przeprowadzili badania na temat mieszania się ze sobą obu strumieni (Amanowicz i in., 2019). Wizualizacja rozprzysygu dymu wokół czepnio-wyrzutni oraz pomiary stężenia CO₂, wykazały, że nie dochodziło do mieszania się ze sobą strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego. Podobne badania z wykorzystaniem wizualizacji rozprzysygu powietrza oraz pomiarów CO₂ (Amanowicz i in., 2019), również wykazały, że wokół czepnio-wyrzutni nie następowało mieszanie się ze sobą strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego.

Kolejnym ograniczeniem stosowania urządzeń fasadowych jest ryzyko emisji hałasu podczas ich pracy przy wysokiej wydajności. Davidsson i in. (2022) ocenili poziom hałasu zdecentralizowanej jednostki wentylacyjnej przy trzech różnych wartościach strumienia powietrza. Wykazano, że przyjęta, maksymalna wartość hałasu wynosząca 30 dB(A) została spełniona dla niskiej i średniej wydajności, natomiast przy najwyższym strumieniu powietrza poziom hałasu istotnie wzrastał. Jako metody ograniczenia hałasu wskazano zastosowanie materiałów dźwiękochłonnych, płyt perforowanych oraz wentylatorów o lepszych parametrach akustycznych.

Wnioski i podsumowanie

Rosnąca szczelność współczesnych budynków ogranicza naturalną wymianę powietrza, co prowadzi do konieczności stosowania różnych systemów wentylacyjnych. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku budynków istniejących, poddawanych termomodernizacji, w których ze względu na ograniczoną przestrzeń zastosowanie tradycyjnych systemów wentylacji może być utrudnione. Zdecentralizowane urządzenia wentylacyjne stanowią w takich przypadkach alternatywne rozwiązanie, umożliwiające utrzymanie odpowiednich warunków wewnętrznych bez konieczności rozprowadzania rozległej instalacji kanałów. Najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonego przeglądu literatury na temat systemów wentylacji zdecentralizowanej są następujące:

- wykazują one niższe zapotrzebowanie na energię do napędu wentylatora oraz ogrzewania i chłodzenia powietrza wentylacyjnego niż systemy centralne,
- pozwalają zachować komfort termiczny w pomieszczeniach,
- efektywnie usuwają zanieczyszczenia z pomieszczeń,
- wykazują wysoką sprawność odzysku ciepła przy zastosowaniu wymienników regeneracyjnych tj.: wymienniki ceramiczne, wymienników z alternatywnymi materiałami akumulacyjnymi (np. żwir, gips) oraz wymienników z materiałami zmiennofazowymi PCM,
- sprawność odzysku ciepła oraz wielkość strumienia powietrza jest uzależniona od różnicy ciśnienia pomiędzy środowiskiem zewnętrznym i wewnętrznym (wraz ze wzrostem różnicy ciśnienia obserwuje się spadek efektywności odzysku ciepła),
- zastosowanie dodatkowych mechanizmów sterowania pracą jednostki pozwala zredukować negatywny wpływ różnicy ciśnienia na ich efektywność,
- istnieje ryzyko wystąpienia przeciągu bezpośrednio w zasięgu strumienia powietrza w dłuższych cyklach pracy, które można zniwelować stosując odzysk ciepła, nagrzewnicę oraz poprzez kierowanie strumienia powietrza pionowo ku górze,
- nie istnieje ryzyko mieszania się ze sobą strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego w zintegrowanej czepnio-wyrzutni,
- istnieje ryzyko występowania hałasu przy wysokich poziomach przepływu powietrza, który można ograniczyć stosując specjalne materiały i wentylatory.

Aktualna wiedza na temat systemów wentylacji zdecentralizowanej pozwala stwierdzić, że są to urządzenia, które w efektywny sposób zapewniają odpowiednie warunki wewnętrzne w pojedynczych pomieszczeniach. Charakteryzują się skuteczną redukcją zanieczyszczeń oraz wysoką efektywnością odzysku ciepła. Cechy te w połączeniu z ich kompaktowymi rozmiarami oraz łatwością montażu, sprawiają, że systemy wentylacji zdecentralizowanej stanowią szansę na zachowanie odpowiednich warunków mikroklimatycznych, szczególnie w budynkach poddanych termomodernizacji. Jednocześnie, konieczne jest prowadzenie dalszych badań nad zmniejszeniem negatywnego wpływu warunków zewnętrznych na pracę urządzeń fasadowych. Należy również podjąć działania mające na celu ograniczenie emisji hałasu generowanego przez urządzenia podczas pracy z wysoką wydajnością.

Bibliografia

- Altendorf, D., Grünewald, H., Liu, T., Dehnert, J., Trabitzsch, R., & Weiß, H. (2022). Decentralised ventilation efficiency for indoor radon reduction considering different environmental parameters. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 58(2), 195–213. <https://doi.org/10.1080/10256016.2022.2047960>
- Amanowicz, Ł., Ratajczak, K., & Szczechowiak, E. (2019). Badania jednorurowych systemów wentylacyjnych pod kątem oceny mieszania się strumieni powietrza w czepni i wyrzutni. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 50(6). <https://doi.org/10.15199/9.2019.6.4>
- Amanowicz, Ł., Ratajczak, K., & Dudkiewicz, E. (2023). Recent Advancements in ventilation systems used to Decrease energy Consumption in Buildings—Literature review. *Energies*, 16(4), 1853. <https://doi.org/10.3390/en16041853>
- Amanowicz, Ł., Ratajczak, K., & Szczechowiak, E. (2019). Analiza możliwości stosowania systemu wentylacji zdecentralizowanej w budynkach edukacyjnych. *Instal*, 20–26. <https://doi.org/10.36119/15.2019.10.3>
- Carbonare, N., Fugmann, H., Asadov, N., Pflug, T., Schnabel, L., & Bongs, C. (2020). Simulation and measurement of energetic performance in decentralized regenerative ventilation systems. *Energies*, 13(22), 6010. <https://doi.org/10.3390/en13226010>
- Davidsson, H., Johansson, D., & Chowdary, S. K. (2022). Decentralized ventilation unit for window frame integration. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1085(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1085/1/012030>
- Galiszewska, B., & Kujawska, K. (2026). Analiza efektywności odzysku ciepła w zdecentralizowanym systemie wentylacji fasadowej z zastosowaniem materiałów zmiennofazowych (PCM). *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 57(4), 26. <https://doi.org/10.65545/cow.2026.04.04>
- Galiszewska, B., & Zender-Świercz, E. (2023). Development of a numerical simulation methodology for PCM-Air heat exchangers used in decentralised façade ventilation units. *Energies*, 16(15), 5610. <https://doi.org/10.3390/en16155610>
- Galiszewska, B., & Zender-Świercz, E. (2023a). Heat recovery using PCM in decentralised façade ventilation. *Energies*, 16(8), 3310. <https://doi.org/10.3390/en16083310>
- Kim, M. K., Liu, J., & Baldini, L. (2024). Numerical analysis, design and application of a decentralized ventilation system with a heat recovery unit adapting to Nordic climates: A case study in Norway. *Energy Reports*, 11, 3863–3875. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.11.050>
- Koper, P. (2019). Badanie działania jednorurowego urządzenia wentylacyjnego z odzyskiem ciepła. *Współczesne Problemy Ochrony Środowiska i Energetyki*, s. 23–34,
- Koper, P. (2024). Influence of control strategy on heat recovery efficiency in a Single-Duct periodic ventilation device. *Energies*, 17(22), 5801. <https://doi.org/10.3390/en17225801>
- Koper, P., Palmowska, A., & Myszkowska, A. (2020). Research of single room decentralized heat recovery unit. *Architecture Civil Engineering Environment*, 12(4), 109–114. <https://doi.org/10.21307/acee-2019-056>

- Kubacka, E., & Heim, D. (2015). Komfort termiczny w pomieszczeniu ze zdecentralizowanym, mechanicznym systemem doprowadzenia powietrza. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, XXXII(2/2015). <https://doi.org/10.7862/rb.2015.53>
- Laafer, A., Hammouma, T., Hmida, A., & Bourouis, M. (2026). Comprehensive Review of Phase change Materials for building Applications: Passive, Active, and Hybrid Systems (2022–2025). *Energies*, 19(5), 1151. <https://doi.org/10.3390/en19051151>
- Mannan, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). Indoor air quality in buildings: A comprehensive review on the factors influencing air pollution in residential and commercial structure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 3276. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063276>
- Mikola, A., Simson, R., & Kurnitski, J. (2019). The impact of air pressure conditions on the performance of single room ventilation units in Multi-Story buildings. *Energies*, 12(13), 2633. <https://doi.org/10.3390/en12132633>
- Pekdogan, T., Tokuç, A., Ezan, M. A., & Başaran, T. (2020). Experimental investigation of a decentralized heat recovery ventilation system. *Journal of Building Engineering*, 35, 102009. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102009>
- Penev, A. D., & Tsokov, L. P. (2023). Experimental study of the influence of external factors on the functionality of a regenerative decentralized ventilation unit. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1128(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1128/1/012007>
- Penev, A., & Tsokov, L. (2021). Influence of buoyancy forces in multi-storey buildings on the efficiency of a regenerative air handling unit with heat recovery. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 1032(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1032/1/012029>
- Pomorski, P. P., & Kim, A. M. K. (2023). Numerical performance investigation of decentralized ventilation compared to centralized ventilation system at a residential building: A case study in Norway. *E3S Web of Conferences*, 396, 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339603001>
- Romaniec, W., Wrzochal, A., & Zender-Świercz, E. (2023). (2023). Experimental study on the performance of a heat recovery exchanger filled with gypsum and gravel. *Journal of Building Engineering*, 80, 108034. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.108034>
- Zemītis, J., & Bogdanovičs, R. (2020). Heat recovery efficiency of local decentralized ventilation devices. *Magazine of Civil Engineering*, 94(2), 120–128. <https://doi.org/10.18720/mce.94.10>
- Zender-Świercz, E. (2020a). Microclimate in Rooms Equipped with Decentralized Façade Ventilation Device. *Atmosphere*, 11(8), 800. <https://doi.org/10.3390/atmos11080800>
- Zender-Świercz, E. (2020b). Improvement of indoor air quality by way of using decentralised ventilation. *Journal of Building Engineering*, 32, 101663. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101663>
- Zender-Świercz, E. (2021). Assessment of Indoor Air Parameters in Building Equipped with Decentralised Façade Ventilation Device. *Energies*, 14(4), 1176. <https://doi.org/10.3390/en14041176>
- Zender-Świercz, E. (2024). Heat recovery of decentralised façade units: A case study. *Energy and Buildings*, 315, 114338. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114338>
- Zender-Świercz, E., Telejko, M., Galiszewska, B., & Starzomska, M. (2022). Assessment of Thermal Comfort in Rooms Equipped with a Decentralised Façade Ventilation Unit. *Energies*, 15(19), 7032. <https://doi.org/10.3390/en15197032>

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. *The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.*



POLSKIE ZRZESZENIE
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
SANITARNYCH

Kim jesteśmy?

PZITS to ogólnopolska organizacja skupiająca ok. 3 200 techników, inżynierów i naukowców działających w obszarze inżynierii sanitarnej i środowiska.

Misją PZITS jest działalność na rzecz społeczeństwa poprzez rozwój rozwiązań technicznych służących ochronie zdrowia i środowiska naturalnego. PZITS jest jedynym polskim członkiem REHVA oraz International Gas Union, co umożliwia aktywną współpracę międzynarodową.

Więcej szczegółów:

www.pzits.pl/czlonkostwo

Zostań członkiem Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych

Członkostwo w PZITS obejmuje:

Otrzymywanie:

- zaproszeń na seminaria, konferencje i szkolenia organizowane przez PZITS,
- dostępu do nagrań z wydarzeń organizowanych przez Zarząd Główny PZITS,
- zaproszeń do udziału w wycieczkach technicznych oraz spotkaniach integracyjnych,
- bieżących informacji o zmianach w przepisach i legislacji branżowej,
- informacji o ofertach pracy w branży.

Możliwość:

- Udziału w opracowywaniu przepisów oraz zgłaszania propozycji zmian w obowiązujących regulacjach,
- nawiązywania bezpośrednich kontaktów z ekspertami i przedstawicielami branży,
- uzyskiwania porad i opinii w sprawach technicznych związanych z zakresem działalności PZITS,
- współpracy i wymiany doświadczeń z organizacjami zrzeszonymi m.in. w REHVA i IGU,
- publikowania artykułów w czasopiśmie PZITS,
- aktywnego udziału w pracach sekcji branżowych,
- otrzymania odznaczeń honorowych PZITS.

Dostęp do:

- materiałów, poradników i wytycznych opracowywanych przez PZITS,
- działalności szkoleniowej i rozwojowej organizowanej w całej Polsce,
- stowarzyszeniowej wspólnoty i wsparcia środowiska inżynierskiego.



Optimalizacja zużycia energii w budynkach na etapie projektowania i eksploatacji – przegląd wybranych metod i kierunków rozwoju

Optimization of energy consumption in buildings at the design and operation stages – a review of selected methods and development directions



Mgr inż. Anna Wypych

ORCID ID: [0009-0009-8695-4895](https://orcid.org/0009-0009-8695-4895)

Absolwent

Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska

ania.wypych@icloud.com



Mgr inż. Alicja Kokosza

ORCID ID: [0009-0002-9943-7685](https://orcid.org/0009-0002-9943-7685)

Absolwent

Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska

alicia.kokosza@gmail.com

Słowa kluczowe: optymalizacja zużycia energii w budynkach, efektywność energetyczna budynków, optymalizacja projektowa, optymalizacja eksploatacyjna

Streszczenie

W artykule przedstawiono przegląd metod optymalizacji zużycia energii w budynkach na etapie projektowania i eksploatacji. Omówiono metody regułowe, modele matematyczne i symulacyjne, algorytmy metaheurystyczne, sterowanie predykcyjne oraz rozwiązania wykorzystujące sztuczną inteligencję i uczenie maszynowe; uwzględniono także optymalizację wielokryterialną i podejścia hybrydowe. Metody i podejścia porównano pod względem zakresu zastosowania, wymagań dotyczących danych i modeli, złożoności obliczeniowej oraz możliwości pracy w czasie rzeczywistym i uwzględniania kilku funkcji celu. Przeprowadzony przegląd wskazuje, że wybór metody zależy od charakteru problemu, dostępności danych i możliwości integracji z automatyką budynkową. Wskazano również główne ograniczenia wdrożeniowe i kierunki dalszego rozwoju.

Keywords: building energy consumption optimization, building energy efficiency, design optimization, operational optimization

Abstract

This article presents a review of methods for optimizing energy consumption in buildings at the design and operation stages. The approaches discussed include rule-based methods, mathematical and simulation models, metaheuristic algorithms, model predictive control, as well as solutions based on artificial intelligence and machine learning. Multi-objective optimization and hybrid approaches are also considered. The methods and approaches are compared in terms of their scope of application, data and model requirements, computational complexity, real-time operation capabilities, and the ability to consider multiple objective functions. The review indicates that the choice of method depends on the nature of the problem, data availability, and the possibility of integration with building automation systems. The main implementation barriers and directions for further development are also identified.

Wstęp

Sektor budynków odgrywa istotną rolę w realizacji celów związanych z ograniczeniem zużycia energii i redukcją emisji gazów cieplarnianych. Pomimo postępu technologicznego oraz wdrażania coraz bardziej rygorystycznych wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej budynków pozostaje on jednym z największych odbiorców energii na świecie. Według raportu w 2023 r. sektor budynków i budownictwa odpowiadał za około 32% światowego zużycia energii oraz 34% globalnych emisji CO₂ (UN, 2025). Znaczący udział sektora w globalnym bilansie energetycznym sprawia, że poprawa efektywności energetycznej i ograniczenie zużycia energii należą do kluczowych działań wspierających transformację energetyczną. Realizacja tych celów wymaga nie tylko stosowania energooszczędnych technologii, lecz także racjonalnego projektowania budynków oraz efektywnego zarządzania ich pracą podczas eksploatacji.

Optymalizacja sposobu działania systemów technicznych budynku stanowi istotny kierunek ograniczania zu-

życia energii, szczególnie w sytuacji, gdy dalsza poprawa izolacyjności cieplnej przegród przynosi coraz mniejsze efekty (Pavlenko & Mikieliewicz, 2026).

W ostatnich latach opublikowano liczne prace dotyczące optymalizacji zużycia energii zarówno na etapie projektowania, jak i eksploatacji budynków. Opracowania te różnią się przedmiotem analizy, przyjętymi funkcjami celu, zakresem ograniczeń oraz sposobem oceny wyników, a część z nich koncentruje się na wybranych grupach metod lub pojedynczym etapie cyklu życia budynku.

W niniejszym artykule wybrane metody i podejścia rozpatrzono z perspektywy projektowania i eksploatacji a ich porównanie przeprowadzono na podstawie wspólnych kryteriów, uwzględniono także zakres zastosowania, wymagania dotyczące danych i modeli, złożoność obliczeniową oraz możliwość działania w czasie rzeczywistym i uwzględniania wielu funkcji celu. Celem artykułu jest zatem przegląd, usystematyzowanie i porównanie wybranych metod i podejść stosowanych do zmniejszenia zużycia energii w budynkach, z uwzględnieniem ich zalet, ograniczeń, barier wdrożeniowych oraz kierunków dalszego rozwoju.

Materiały i metody

Artykuł ma charakter narracyjnego przeglądu literatury dotyczącej metod optymalizacji zużycia i zapotrzebowania na energię w budynkach. Analizą objęto polsko- i anglojęzyczne publikacje z lat 2022–2026, w tym artykuły przeglądowe, prace badawcze i studia przypadków. Publikacje wyszukiwano głównie za pomocą Google Scholar oraz na platformach ScienceDirect i MDPI, wykorzystując polskie i angielskie hasła związane z efektywnością energetyczną budynków, modelowaniem energetycznym, sterowaniem systemami HVAC, sterowaniem predykcyjnym, algorytmami metaheurystycznymi, sztuczną inteligencją, uczeniem maszynowym i optymalizacją wielokryterialną. Do końcowej analizy zakwalifikowano 24 publikacje dotyczące ograniczania zużycia lub zapotrzebowania na energię, także w powiązaniu z kosztami, komfortem cieplnym i jakością powietrza wewnętrznego. Z wybranych prac pozyskiwano informacje o rodzaju metody, etapie zastosowania, wymaganiach dotyczących danych i modeli, złożoności obliczeniowej, możliwości działania w czasie rzeczywistym oraz zaletach i ograniczeniach. Następnie przeprowadzono syntezę opisową i porównawczą. Ze względu na zróżnicowanie analizowanych badań pod względem rodzaju budynków, warunków eksploatacyjnych, funkcji celu i sposobu prezentowania wyników, nie przeprowadzono ilościowej syntezy rezultatów. Ze względu na szeroki zakres zagadnienia przegląd skoncentrowano na metodach i podejściach najczęściej reprezentowanych w analizowanych publikacjach.

Zakres optymalizacji energetycznej budynków

Proces optymalizacji polega na wyborze najkorzystniejszego rozwiązania spośród dostępnych wariantów zgodnie z przyjętymi kryteriami. Przyjęte kryteria mogą być przedstawiane matematycznie w postaci jednej lub kilku funkcji celu podlegających minimalizacji lub maksymalizacji (Al Mindeel i in., 2024).

Analizy mogą być prowadzone zarówno dla budynków nowo projektowanych, jak i dla obiektów już istniejących. W obu przypadkach dokonuje się porównania wariantów rozwiązań wpływających na charakterystykę energetyczną budynku, jednak zakres rozpatrywanych działań jest dostosowany do rodzaju analizowanego obiektu (Zangheri i in., 2022). Rzeczywiste zużycie energii może bowiem odbiegać od wartości przewidywanych na etapie projektowania. Różnica ta nazywana jest luką w charakterystyce energetycznej budynku. W przeglądzie dotyczącym budynków mieszkalnych wskazano, że jej występowanie może wynikać z niedokładności założeń modelowych i danych klimatycznych, nieprawidłowego odwzorowania zachowań użytkowników, niewłaściwej jakości wykonania budynku, awarii urządzeń, braku odpowiedniego dopasowania systemów oraz stosowania nieskutecznych strategii sterowania. Znaczenie mają również harmonogramy pracy urządzeń, wartości zadane instalacji HVAC oraz sposób użytkowania obiektu, obejmujący między innymi otwieranie okien, korzystanie z osłon przeciwsłonecznych i oświetlenia (Zare i in., 2022).

Optymalizacja na etapie projektowania

Na etapie projektowania podejmowane są decyzje kształtujące późniejszą charakterystykę energetyczną budynku. Optymalizacja projektowa polega na porównywaniu wariantów rozwiązań architektonicznych, materiałowych i instalacyjnych oraz wyborze rozwiązania najkorzystniejszego z punktu widzenia przyjętych kryteriów (Elbeltagi i in., 2023). Do podstawowych zmiennych projektowych wpływających na charakterystykę energetyczną budynku należy między innymi jego orientacja, geometria i układ przestrzenny. Parametry te wpływają między innymi na wielkość zysków słonecznych, straty ciepła przez przegrody, wykorzystanie światła dziennego i warunki wentylacji pomieszczeń (Latha i in., 2023). W analizach uwzględniane są także właściwości obudowy budynku, w tym parametry cieplne przegród, rodzaj i grubość izolacji oraz właściwości stolarki okiennej. Zmienne decyzyjne mogą stanowić powierzchnia i rozmieszczenie przeszkleń, stosunek powierzchni okien do powierzchni ścian, parametry oszklenia oraz rodzaj i geometria osłon przeciwsłonecznych. Analizy mogą obejmować również sposób użytkowania pomieszczeń, obecność użytkowników, obciążenia wewnętrzne, oświetlenie oraz wybrane parametry systemów HVAC (Harshalatha i in., 2024). Poszczególne zmienne projektowe oddziałują na siebie i mogą jednocześnie wpływać na kilka składników bilansu energetycznego budynku. Z tego względu zmienne projektowe powinny być rozpatrywane łącznie, a nie jako niezależne elementy budynku (Latha i in., 2023).

Kryteria energetyczne stosowane na etapie projektowania mogą obejmować minimalizację zapotrzebowania lub zużycia energii przez budynek, w tym energii związanej z systemami HVAC. Cele energetyczne mogą być analizowane łącznie z komfortem cieplnym oraz jakością powietrza wewnętrznego – w takim przypadku problem ma charakter wielokryterialny, a wynikiem analizy może być zbiór rozwiązań przedstawiających różne kompromisy pomiędzy przyjętymi celami (Al Mindeel i in., 2024). W analizach optymalizacyjnych opartych na symulacji ocena dużej liczby wariantów projektowych jest prowadzona z wykorzystaniem programów symulacyjnych połączonych z algorytmami optymalizacyjnymi. Model energetyczny umożliwia określenie charakterystyki analizowanych wariantów, natomiast algorytm służy do przeszukiwania przestrzeni możliwych rozwiązań zgodnie z przyjętymi funkcjami celu i ograniczeniami (Harshalatha i in., 2024).

Optymalizacja na etapie eksploatacji

Optymalizacja na etapie eksploatacji polega na dostosowywaniu sposobu działania systemów technicznych budynku do zmieniających się warunków zewnętrznych, obciążeń wewnętrznych oraz harmonogramów obecności i użytkowania pomieszczeń. W odróżnieniu od optymalizacji projektowej dotyczy ona przede wszystkim doboru ustawień operacyjnych w ramach istniejącego budynku i jego systemów technicznych. Jej celem jest możliwie efektywne wykorzystanie dostępnych urządzeń i systemów przy jednoczesnym zachowaniu komfortu użytkowników oraz właściwych warunków środowiska wewnętrznego (Pan i in., 2023).

Do podstawowych zmiennych eksploatacyjnych mogą należeć harmonogramy pracy systemów ogrzewania,

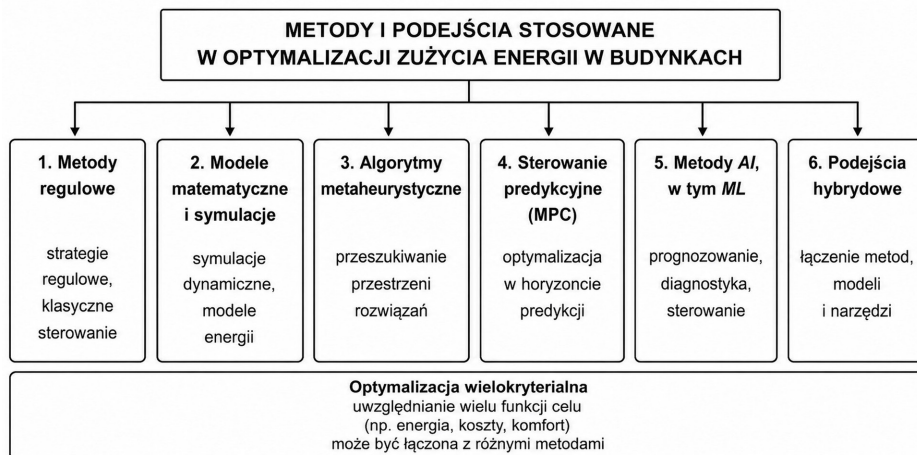
chłodzenia i wentylacji, wartości zadane temperatury, strumienie powietrza nawiewanego czy prędkości obrotowe wentylatorów. Optymalizacja może obejmować także sterowanie oświetleniem, otwieraniem okien oraz podgrzewaniem wody użytkowej. Dobór wartości zmiennych sterujących może uwzględniać warunki pogodowe, obecność użytkowników oraz informacje o bieżącym działaniu systemów budynku. Metody oparte na danych mogą być wykorzystywane do optymalizacji sterowania i diagnostyki usterek, której zastosowanie wspiera poprawę efektywności energetycznej eksploatacji (Das i in., 2024).

Tradycyjne sterowanie oparte na stałych harmonogramach i wartościach zadanych nie zawsze odpowiada rzeczywistemu użytkownikowi pomieszczeń. Sterowanie zorientowane na użytkowników wykorzystuje dane o obecności, aktywności i potrzebach cieplnych, co pozwala dostosować pracę systemów do bieżącego zapotrzebowania bez pogorszenia komfortu (Yuan i in., 2024). Optymalizacja eksploatacyjna może być prowadzona w sposób ciągły lub okresowy, a strategie sterowania aktualizowane na podstawie nowych danych pomiarowych, co umożliwia reagowanie na zmienne warunki i nieprzewidziane odchylenia (Das i in., 2024; Yuan i in., 2024).

Podstawą skutecznej optymalizacji eksploatacyjnej jest dostęp do wiarygodnych danych dotyczących funkcjonowania budynku. Dane mogą pochodzić z liczników energii, czujników temperatury, wilgotności i stężenia CO₂, systemów detekcji obecności użytkowników oraz systemów automatyki rejestrujących stan pracy urządzeń i instalacji. Systemy automatyki i zarządzania energią umożliwiają gromadzenie danych w czasie rzeczywistym, natomiast metody analityczne i modele uczenia maszynowego mogą służyć do identyfikowania nieprawidłowości, prognozowania zapotrzebowania na energię oraz dostosowywania działania urządzeń do aktualnych warunków (Das i in., 2024).

Metody i podejścia stosowane w optymalizacji zużycia energii w budynkach

Metody i podejścia stosowane w optymalizacji zużycia energii w budynkach różnią się sposobem wykorzystania, wymaganiami dotyczącymi danych i modeli, złożonością obliczeniową oraz możliwością reagowania na zmienne warunki (Das i in., 2024; Harshalatha i in., 2024). Na podstawie przeglądu literatury wyodrębniono główne grupy metod i podejść opisywanych w badaniach nad optymalizacją energetyczną budynków. Należą do nich metody regułowe, modele matematyczne i symulacyjne, algorytmy metaheurystyczne, sterowanie predykcyjne, metody wykorzystujące sztuczną inteligencję i uczenie maszynowe oraz podejścia hybrydowe i optymalizacja wielokryterialna. Przyjęty podział ma charakter funkcyj-



Rysunek 1. Klasyfikacja metod i podejść stosowanych w optymalizacji zużycia energii w budynkach. Źródło: opracowanie własne

Figure 1. Classification of methods and approaches used in building energy consumption optimization. Source: authors' own study

nalny i porządkujący. Poszczególne grupy nie są całkowicie rozłączne, ponieważ w jednym rozwiązaniu mogą być jednocześnie wykorzystywane modele, algorytmy optymalizacyjne, metody predykcyjne oraz techniki oparte na danych. Na Rysunku 1 przedstawiono przyjęte w artykule uporządkowanie metod i podejść.

Metody regułowe i klasyczne strategie sterowania

Metody regułowe, określane również jako Rule-Based Control (RBC), polegają na sterowaniu systemami technicznymi budynku według wcześniej zdefiniowanych zasad. Reguły mogą przyjmować postać warunków typu „jeżeli-to”, wartości progowych lub harmonogramów określających reakcję urządzeń na zmiany parametrów środowiska wewnętrznego, porę dnia lub sposób użytkowania pomieszczeń (Kluczbeg i in., 2023; Savadkoohi i in., 2024). W podstawowej postaci nie wykorzystują prognoz przyszłego zachowania budynku, a ich działanie opiera się na wcześniej określonych zasadach i doświadczeniu operatora (Savadkoohi i in., 2024).

W systemach HVAC reguły mogą określać moment uruchomienia i wyłączenia urządzeń, wartości zadane temperatury oraz tryb pracy instalacji. Sterowanie może uwzględniać porę dnia, harmonogram użytkowania, temperaturę zewnętrzną, stężenie CO₂ i obecność użytkowników (Kluczbeg i in., 2023; Savadkoohi i in., 2024).

Realizacja strategii regułowych może odbywać się w ramach lokalnych regulatorów lub zintegrowanego systemu automatyki. System BMS umożliwia monitorowanie i sterowanie ogrzewaniem, chłodzeniem, wentylacją, klimatyzacją, oświetleniem oraz przygotowaniem ciepłej wody użytkowej. Integracja automatyki z licznikami i systemami pomiarowymi pozwala rejestrować zużycie energii przez poszczególne instalacje, porównywać efektywność ich działania oraz identyfikować nieprawidłowości lub utratę efektywności (Kluczbeg i in., 2023).

Skuteczność sterowania regułowego zależy jednak od poprawności przyjętych zasad, harmonogramów i nastaw regulatorów. W podstawowej postaci system regułowy nie przewiduje przyszłych zmian warunków zewnętrznych ani przyszłego sposobu użytkowania budynku (Savadkoohi i in., 2024).

Metody oparte na modelach matematycznych i symulacjach

Modele matematyczne stosowane w analizach energetycznych budynków często klasyfikuje się jako modele typu white-box, black-box oraz modele hybrydowe typu grey-box (Yu i in., 2022). W Tabeli 1 przedstawiono porównanie modeli prognozowania zużycia energii w budynkach.

Tabela 1. Porównanie modeli prognozowania zużycia energii w budynkach. Źródło: opracowanie własne, na podstawie (Yu i in., 2022)

Table 1. Comparison of building energy consumption prediction models. Source; authors' own elaboration based on Yu et al. (2022)

Model	Podstawa	Zalety	Ograniczenia
White-box	Równania fizyczne i dane o budynku	Interpretowalność, brak potrzeby danych historycznych	Wymaga szczegółowych danych i dużego nakładu obliczeń
Black-box	Zależności wyznaczone z danych	Prosta budowa, możliwość opisu zależności nieliniowych	Zależność od jakości danych, mała interpretowalność
Grey-box	Połączenie równań fizycznych i danych pomiarowych	Kompromis między dokładnością, szybkością i interpretowalnością	Konieczność identyfikacji parametrów modelu

Moździerz i Kołek (2024) opracowali model, w którym jako wielkości wejściowe przyjęto temperaturę zewnętrzną i moc grzejnika, natomiast wielkością wyjściową była temperatura wewnętrzna. Model wykorzystano do symulacyjnego wyznaczania momentu ponownego uruchomienia ogrzewania, tak aby przywrócić wymaganą temperaturę przed rozpoczęciem użytkowania pomieszczenia. Modele energetyczne mogą być opracowywane na podstawie modeli BIM z wykorzystaniem narzędzi BEM. Borkowski i in. (2022) wskazali, że sparametryzowany model umożliwia analizę wariantów dotyczących orientacji budynku, przeszkleń, konstrukcji przegród, oświetlenia, systemu HVAC i harmonogramu użytkowania oraz ponowne obliczenia po zmianie parametrów projektu.

Symulacje mogą być wykorzystywane do porównywania wariantów działania systemu w określonych warunkach użytkowania. W jednym z badań zastosowano sprzężoną symulację dynamiczną EnergyPlus–CONTAM do oceny czterech wariantów wentylacji z uwzględnieniem rzeczywistych harmonogramów użytkowania budynku szkoły, emisji zanieczyszczeń oraz zmienności warunków zewnętrznych. Analiza umożliwiła równoczesną ocenę zużycia energii i jakości powietrza wewnętrznego (Ferdyn-Grygierek & Grygierek, 2026).

Wyniki analiz zależą od sposobu opracowania modelu i jakości danych wejściowych. Rezultaty uzyskiwane we wczesnej fazie projektu mogą mieć charakter orientacyjny, a nieprawidłowe zdefiniowanie pomieszczeń może powodować błędy obliczeniowe (Borkowski i in., 2022). Opracowany model, pomimo satysfakcjonującego odwzorowania dynamiki pomieszczenia, może być również obciążony niedokładnościami wynikającymi między innymi

z nieuwzględnionych zakłóceń związanych z wentylacją, otwieraniem okien i drzwi, zyskami od użytkowników i urządzeń oraz wpływem pomieszczeń sąsiednich (Moździerz & Kołek, 2024).

Algorytmy metaheurystyczne

Algorytmy metaheurystyczne są iteracyjnymi metodami przeszukiwania rozwiązań, stosowanymi w złożonych problemach optymalizacyjnych. Ich działanie polega na generowaniu i ocenie wariantów oraz równoważeniu szerokiego przeszukiwania z dokładniejszym badaniem obszarów uznanych za perspektywiczne (Pillay & Saha, 2024).

W optymalizacji budynków algorytm metaheurystyczny może wyznaczać wartości zmiennych decyzyjnych, takich jak orientacja i geometria obiektu, parametry przegród i przeszkleń, rozwiązania zacieniające oraz parametry pracy systemów HVAC. Dla każdej kombinacji program symulacyjny oblicza wartości funkcji celu, a wyniki służą do generowania następnych wariantów. Umożliwia to analizowanie wielu kombinacji przy uwzględnieniu jednego lub kilku kryteriów, takich jak zapotrzebowanie na energię, koszty i komfort użytkowników (Harshalatha i in., 2024).

Do metaheurystyk stosowanych w analizach energetycznych budynków należą między innymi Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO) oraz Cuckoo Search (CS). Metody te różnią się sposobem tworzenia i modyfikowania rozwiązań oraz równoważenia przeszukiwania nowych obszarów i doskonalenia wariantów (Pillay & Saha, 2024).

Przykładem zastosowania algorytmu genetycznego jest analiza rozmieszczenia paneli fotowoltaicznych na płaskim dachu budynku jednorodzinne. W badaniu wykorzystano projektowanie generatywne i optymalizację genetyczną do poszukiwania konfiguracji instalacji z uwzględnieniem nasłonecznienia i zapotrzebowania na energię wynikającego z obecności i aktywności użytkowników (Sitek, 2022).

Metaheurystyki mogą być również wykorzystywane do optymalizacji pracy systemów HVAC. W badaniu zastosowano hybrydowy algorytm HCRPN do jednoczesnej optymalizacji zużycia energii i średniej temperatury promieniowania związanej z komfortem cieplnym w budynku biurowym. Obliczenia prowadzono w programie EnergyPlus, a zmienne decyzyjne obejmowały parametry pracy systemu HVAC (Akraminejad i in., 2025).

Zaletą metaheurystyk jest możliwość przeszukiwania wielu rozwiązań i uwzględniania licznych zmiennych oraz kryteriów. Ograniczenie stanowi wykorzystanie elementów losowych, przez co wyniki kolejnych uruchomień mogą się różnić (Harshalatha i in., 2024; Pillay & Saha, 2024).

Sterowanie predykcyjne z wykorzystaniem modelu

Sterowanie predykcyjne z wykorzystaniem modelu (MPC) polega na włączeniu optymalizacji bezpośrednio do procesu sterowania. Model dynamiczny jest wykorzystywany do przewidywania przyszłego zachowania budynku w określonym horyzoncie czasowym, a następnie wyznaczana jest sekwencja działań sterujących prowadzących do osiągnięcia przyjętego celu (Das i in., 2024).

Przykładem zastosowania uproszczonego sterowania predykcyjnego jest analiza przeprowadzona dla pojedynczego pomieszczenia biurowego. Opracowany model,

wykorzystujący temperaturę zewnętrzną i moc grzejnika, służył do prognozowania temperatury pomieszczenia na godzinę rozpoczęcia jego użytkowania i podejmowania decyzji o uruchomieniu ogrzewania. W przeprowadzonej symulacji uzyskano zużycie energii cieplnej niższe o około 34% w porównaniu z wariantem ciągłego utrzymywania temperatury 21°C. W strategii predykcyjnej przyjęto jednak temperaturę komfortu 20°C, dlatego wynik odnosi się do warunków analizowanych w badaniu i nie powinien być bezpośrednio uogólniany na inne obiekty (Moździerz & Kołek, 2024).

Zaletą MPC jest możliwość uwzględniania prognozowanych zmian warunków pracy budynku, co pozwala na wcześniejsze uruchamianie ogrzewania lub chłodzenia oraz wykorzystanie jego pojemności cieplnej do ograniczania zużycia energii i obciążeń szczytowych. Skuteczność metody zależy jednak od dokładności modelu, jakości prognoz i doboru horyzontu predykcji, a jej ograniczeniem jest konieczność wielokrotnego rozwiązywania problemu optymalizacyjnego (Das i in., 2024).

Metody wykorzystujące sztuczną inteligencję i uczenie maszynowe

Sztuczna inteligencja obejmuje metody umożliwiające systemom komputerowym wykonywanie zadań związanych z uczeniem się, rozpoznawaniem wzorców, przewidywaniem i podejmowaniem decyzji. Jednym z jej obszarów jest uczenie maszynowe (ML), w którym zależności są wyznaczane na podstawie danych, bez konieczności bezpośredniego zapisywania wszystkich reguł działania. Do często stosowanych metod należą sztuczne sieci neuronowe, modele regresyjne, maszyny wektorów nośnych i drzewa decyzyjne (Ali & Motuzienė, 2024; Das i in., 2024).

W zależności od sposobu uczenia wyróżnia się uczenie nadzorowane, nienadzorowane oraz uczenie ze wzmocnieniem. W pierwszym przypadku model jest opracowywany na podstawie danych zawierających znane wyniki, natomiast uczenie nienadzorowane służy do rozpoznawania struktur w danych bez przypisanych etykiet. W uczeniu ze wzmocnieniem algorytm podejmuje działania i otrzymuje informację zwrotną za pomocą funkcji nagrody (Das i in., 2024).

W analizach energetycznych budynków ML może służyć między innymi do prognozowania zużycia, obciążeń związanych z ogrzewaniem czy chłodzeniem, obecności użytkowników, otwierania okien. Metody te są także wykorzystywane do wykrywania nieprawidłowości w pracy systemów HVAC i przewidywania komfortu cieplnego (Ali & Motuzienė, 2024). Należy jednak odróżnić prognozowanie od optymalizacji. Model może przewidywać przyszłe zapotrzebowanie na energię, temperaturę pomieszczenia lub produkcję energii odnawialnej, ale sama prognoza nie wyznacza jeszcze sposobu sterowania. Może natomiast stanowić dane wejściowe dla algorytmu optymalizacyjnego, MPC lub systemu zarządzania energią (Das i in., 2024).

Przykładem zastosowania ML jest prognozowanie produkcji energii przez małą instalację fotowoltaiczną. Na podstawie rzeczywistych danych z systemu o mocy 3,0 kWp porównano kilka modeli predykcyjnych, a najlepsze wyniki uzyskano dla MLPRegressor, CatBoostRegressor i Support Vector Regression (Idźkowski & Sumorek, 2024).

Skuteczność metod ML zależy od jakości, liczebności

i reprezentatywności danych, a różnice między zbiorem uczącym a obiektem docelowym mogą obniżać dokładność prognoz. Bariery wdrożeniowe obejmują również koszty pozyskania danych, wymagania obliczeniowe oraz kwestie bezpieczeństwa i prywatności (Ali & Motuzienė, 2024; Das i in., 2024).

Optymalizacja wielokryterialna i podejścia hybrydowe

Optymalizacja wielokryterialna uwzględnia kilka, często konkurencyjnych funkcji celu (Al Mindeel i in., 2024). Jej wynikiem może być zbiór rozwiązań niezdominowanych, w przypadku których poprawa jednego kryterium wymaga pogorszenia co najmniej jednego z pozostałych. Zbiór ten przedstawia się w postaci frontu Pareto, obrazującego rozwiązanie kompromisowe (Izadi i in., 2023).

Podejścia hybrydowe łączą w jednym procesie analizy różne metody, modele lub narzędzia obliczeniowe, np. model energetyczny, symulację, prognozowanie i algorytm optymalizacyjny. Nie są tożsame z optymalizacją wielokryterialną, ponieważ mogą dotyczyć zarówno problemów jedno-, jak i wielokryterialnych, a kilka funkcji celu może być analizowanych także za pomocą jednego algorytmu (Li i in., 2025).

Przykładem integracji metod jest analiza budynku ENERGIS Politechniki Świętokrzyskiej, w której połączono model EnergyPlus, dane z systemu BMS, prognozowanie zapotrzebowania na ciepło z wykorzystaniem rekurencyjnej sieci neuronowej oraz optymalizację wielokryterialną. Badanie objęło reprezentatywne pomieszczenia, a kryteriami były koszty ogrzewania i komfort cieplny. Dla jednego ze scenariuszy prognozowane ograniczenie kosztów wyniosło około 12% przy wartości PPD równej 12%, przy czym wynik dotyczył warunków przyjętych w analizie (Pavlenko & Mikieliewicz, 2026).

Łączenie modeli, symulacji i algorytmów może zwiększać złożoność obliczeniową, szczególnie gdy ocena każdego wariantu wymaga odrębnej symulacji energetycznej (Izadi i in., 2023; Akraminejad i in., 2025).

Analiza porównawcza metod i podejść

Porównanie metod optymalizacji przeprowadzono z uwzględnieniem ich obszarów zastosowania, wymagań dotyczących danych i modeli, złożoności obliczeniowej, możliwości pracy w czasie rzeczywistym oraz zdolności do uwzględniania wielu funkcji celu. Przyjęte kryteria umożliwiają ocenę przydatności poszczególnych podejść zarówno na etapie projektowania, jak i eksploatacji budynku. W Tabeli 2 przedstawiono porównanie wybranych metod i podejść stosowanych w optymalizacji zużycia energii w budynkach. Zestawienie opracowano na podstawie publikacji analizowanych w poprzednich częściach artykułu.

Przeprowadzone porównanie wskazuje, że przydatność poszczególnych metod zależy przede wszystkim od etapu zastosowania oraz charakteru analizowanego problemu. Metody regułowe są wykorzystywane głównie podczas eksploatacji budynków, natomiast modele symulacyjne i algorytmy metaheurystyczne znajdują szerokie zastosowanie w analizie wariantów projektowych. Sterowanie predykcyjne oraz metody oparte na danych są ukierunkowane przede wszystkim na dostosowywanie pracy systemów technicznych do zmiennych warunków

Tabela 2. Porównanie wybranych metod i podejść stosowanych w optymalizacji zużycia energii w budynkach. Źródło: opracowanie własne
Table 2. Comparison of selected methods and approaches used in building energy consumption optimization. Source: authors' own study

Kryterium	Metody regułowe	Modele i symulacje	Metaheurystyki	MPC	AI i ML	Podejścia hybrydowe
Etap zastosowania	głównie eksploatacja	oba etapy	oba etapy	głównie eksploatacja	oba etapy	oba etapy
Sposób wykorzystania modelu	zwykle niewymagany	stanowi podstawę analizy	model lub funkcja oceny wariantów	model predykcyjny	tworzony na podstawie danych	zależny od połączonych metod
Zapotrzebowanie na dane	małe	zależne od rodzaju i szczegółowości modelu	zależne od sposobu oceny wariantów	średnie-duże	duże	zależne od rozwiązania
Złożoność obliczeniowa	mała	mała-duża	duża	średnia-duża	zależna od modelu i procesu uczenia	zależna od liczby i rodzaju połączonych metod; często duża
Możliwość pracy w czasie rzeczywistym	tak	możliwa dla modeli uproszczonych	ograniczona	możliwa, jeżeli czas obliczeń nie przekracza kroku sterowania	możliwa po wytrenowaniu modelu	zależna od rozwiązania
Możliwość kilku funkcji celu	ograniczona	możliwa	duża	możliwa	zależna od zastosowania	duża
Główne zalety	prostota, przejrzystość i łatwe wdrożenie	analiza wariantów oraz odwzorowanie zjawisk	przeszukiwanie rozległej przestrzeni rozwiązań	uwzględnianie prognoz, ograniczeń i bezwładności budynku	rozpoznawanie złożonych zależności w danych	łączenie metod, modeli i narzędzi
Główne ograniczenia	reaktywność, brak prognoz i potrzeba dostrajania	zależność od jakości, kalibracji i dokładności modelu	losowość wyników i długi czas obliczeń	wymagania dotyczące modelu, prognoz i obliczeń	zależność od jakości danych i ograniczona interpretowalność	duża złożoność i trudniejsza interpretacja wyników

eksploatacyjnych. Podejścia hybrydowe i wielokryterialne umożliwiają łączenie różnych narzędzi i funkcji celu, lecz wiążą się ze wzrostem złożoności obliczeniowej oraz wymagań dotyczących danych i modeli.

Ograniczenia wdrażania i kierunki rozwoju

Praktyczne wdrażanie zaawansowanych metod optymalizacji ograniczają problemy z dostępnością i jakością danych, dokładnością modeli oraz integracją algorytmów z automatyką budynkową. Uprozczone modele ograniczają wymagania dotyczące danych i obliczeń, lecz mogą nie odwzorowywać części zjawisk i zakłóceń wpływających na zachowanie budynku, co obniża dokładność prognoz i decyzji sterujących. W przypadku uczenia maszynowego dodatkową barierą jest ograniczona możliwość przenoszenia modeli między budynkami różniącymi się konstrukcją, funkcją i sposobem użytkowania. Na wiarygodność prognoz wpływają również niepewności związane z właściwościami budynku, zachowaniem użytkowników i warunkami pogodowymi. Istotne znaczenie mają ponadto łączność urządzeń, przygotowanie techniczne obiektów oraz koszty wdrożenia (Yu i in., 2022; Das i in., 2024; Savadkoobi i in., 2024).

Kierunki rozwoju obejmują przede wszystkim integrację modeli fizycznych z uczeniem maszynowym, co pozwala łączyć opis procesów zachodzących w budynku z możliwością rozpoznawania złożonych zależności w danych (Das i in., 2024). Istotne jest również wykorzystywanie danych eksploatacyjnych do aktualizowania modeli i strategii sterowania, tak aby mogły one dostosowywać się do zmian warunków funkcjonowania budynku (Das i in., 2024; Savadkoobi i in., 2024). Rozwijane są także rozwiązania uwzględniające

rzeczywistą obecność i potrzeby użytkowników oraz zwiększające elastyczność energetyczną przez zarządzanie popytem i magazynowanie energii (Das i in., 2024).

Podsumowanie

Przeprowadzony przegląd wskazuje, że optymalizacja zużycia energii w budynkach może być prowadzona zarówno na etapie projektowania, jak i podczas eksploatacji, jednak zakres podejmowanych decyzji oraz wykorzystywane metody są odmienne. W fazie projektowej szczególne znaczenie mają modele energetyczne, symulacje oraz algorytmy metaheurystyczne, które umożliwiają porównywanie wariantów geometrii, obudowy i systemów technicznych. Na etapie eksploatacji większą rolę odgrywają natomiast strategie sterowania regułowego, MPC oraz metody oparte na danych, służące do dostosowywania działania instalacji do zmiennych warunków pogodowych i sposobu użytkowania budynku.

Nie można wskazać jednej metody, która byłaby najkorzystniejsza we wszystkich zastosowaniach. Wybór rozwiązania zależy między innymi od celu analizy, etapu cyklu życia budynku, dostępności danych, rodzaju modelu, wymaganej dokładności oraz dopuszczalnej złożoności obliczeniowej. Proste metody regułowe są łatwiejsze do wdrożenia, lecz mają ograniczoną zdolność przewidywania zmian warunków. Modele symulacyjne umożliwiają analizę wielu wariantów, ale ich wyniki zależą od przyjętych założeń i jakości odwzorowania budynku. Metaheurystyki pozwalają przeszukiwać rozległą przestrzeń rozwiązań, natomiast MPC i metody uczenia maszynowego mogą uwzględniać prognozy oraz bieżące dane eksploatacyjne, wiążą się jednak z większymi wymaganiami dotyczącymi modeli, danych i obliczeń.

Istotnym elementem optymalizacji jest równoczesne uwzględnianie zużycia energii, komfortu cieplnego, jakości powietrza wewnętrznego i kosztów. Cele te mogą pozostawać ze sobą w konflikcie, dlatego wynik analizy wielokryterialnej nie zawsze stanowi jedno rozwiązanie, lecz zbiór wariantów przedstawiających różne kompromisy. Coraz większe znaczenie mają podejścia hybrydowe, łączące modele fizyczne, dane pomiarowe, metody prognozowania i algorytmy optymalizacyjne.

Praktyczne wdrażanie zaawansowanych metod nadal ograniczają problemy związane z dostępnością i jakością danych, niedokładnością modeli, integracją z istniejącą automatyką oraz złożonością obliczeniową. Dalszy rozwój powinien zatem obejmować nie tylko doskonalenie algorytmów, lecz także poprawę interoperacyjności systemów, wykorzystanie danych z BMS, uwzględnianie rzeczywistej obecności użytkowników oraz weryfikację opracowanych rozwiązań w eksploatowanych budynkach. Perspektywny kierunek stanowi również integracja modeli fizycznych z uczeniem maszynowym oraz rozwój strategii wspierających elastyczne zarządzanie zapotrzebowaniem i współpracę budynków z odnawialnymi źródłami i magazynami energii.

Bibliografia

- Akraminejad, R., Zhao, T., Rezgui, Y., Ghoroghi, A., & Shahbazi Razlighi, Y. (2025). Hybrid metaheuristic optimization of HVAC energy consumption and thermal comfort in an office building using EnergyPlus. *Buildings*, 15(14), 2568. <https://doi.org/10.3390/buildings15142568>
- Al Mindeed, T., Spentzou, E., & Eftekhari, M. (2024). Energy, thermal comfort, and indoor air quality: Multi-objective optimization review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 202, 114682. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114682>
- Ali, D. M. T. E., & Motuzienė, V. (2024). AI applications in buildings: A review of energy management advancements. *Journal of New Technologies in Environmental Science*, 2024(1), 3–11. <https://doi.org/10.53412/jntes-2024-1-1>
- Borkowski, A. S., Osińska, N., & Szymańska, N. (2022). Analizy energetyczne w modelach BIM 6D. *Materiały Budowlane*, (8), 52–56. <https://doi.org/10.15199/33.2022.08.07>
- Das, H. P., Lin, Y.-W., Agwan, U., Spangher, L., Devonport, A., Yang, Y., Drgoňa, J., Chong, A., Schiavon, S., & Spanos, C. J. (2024). Machine learning for smart and energy-efficient buildings. *Environmental Data Science*, 3, e1. <https://doi.org/10.1017/eds.2023.43>
- Elbeltagi, E., Wefki, H., & Khallaf, R. (2023). Sustainable building optimization model for early-stage design. *Buildings*, 13(1), 74. <https://doi.org/10.3390/buildings13010074>
- Ferdyn-Grygierek, J., & Grygierek, K. (2026). Analiza wpływu systemu wentylacji na jakość powietrza i zapotrzebowanie na energię w zmodernizowanym budynku szkoły. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 57(6), 14–23. <https://doi.org/10.65545/COW.2026.06.02>
- Harshalatha, Patil, S., & Kini, P. G. (2024). A review on simulation-based multi-objective optimization of space layout design parameters on building energy performance. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 9, 69. <https://doi.org/10.1007/s41024-024-00425-3>
- Idzkowski, A., & Sumorek, M. (2024). Zastosowanie metod uczenia maszynowego do predykcji generowanej energii w małym systemie PV. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 28(2), 37–43. <https://doi.org/10.14313/PAR.252/37>
- Izadi, A., Sanaieian, H., Farazjou, F., & Minooee Sabery, S. (2023). A systematic review of multi-objective optimization methods of building energy performance. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*, 33(3), 1–20. <https://doi.org/10.22068/ijaup.802>
- Kluczbeg, B., Kluczbeg, I., & Żurawski, J. (2023). Integracja automatyki budynkowej a efektywność energetyczna. *Rynek Instalacyjny*, (4), 76–87. <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/projektowanie-c-o/157164,integracja-automatyki-budynkowej-a-efektywnosc-energetyczna> (Dostęp 28.08.2026)
- Latha, H., Patil, S., & Kini, P. G. (2023). Influence of architectural space layout and building perimeter on the energy performance of buildings: A systematic literature review. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 14, 431–474. <https://doi.org/10.1007/s40095-022-00522-4>
- Li, R., Shari, Z., & Ab Kadir, M. Z. A. (2025). A review on multi-objective optimization of building performance—Insights from bibliometric analysis. *Heliyon*, 11(4), e42480. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42480>
- Moździerz, K., & Kołek, K. (2024). Modelowanie oraz sterowanie temperaturą wewnątrz budynku użyteczności publicznej. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 28(4), 87–96. <https://doi.org/10.14313/PAR.254/87>
- Pan, Y., Zhu, M., Lv, Y., Yang, Y., Liang, Y., Yin, R., Yang, Y., Jia, X., Wang, X., Zeng, F., Huang, S., Hou, D., Xu, L., Yin, R., & Yuan, X. (2023). Building energy simulation and its application for building performance optimization: A review of methods, tools, and case studies. *Advances in Applied Energy*, 10, 100135. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100135>
- Pavlenko, A., & Mikieliewicz, D. (2026). Optimizing energy consumption in buildings. *Environmental and Climate Technologies*, 30(1), 353–365. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2026-0023>
- Pillay, T. L., & Saha, A. K. (2024). A review of metaheuristic optimization techniques for effective energy conservation in buildings. *Energies*, 17(7), 1547. <https://doi.org/10.3390/en17071547>
- Savadkoobi, M., Macarulla, M., Tejedor, B., & Casals, M. (2024). Analyzing the implementation of predictive control systems and application of stored data in non-residential buildings. *Energy Efficiency*, 17(7), 70. <https://doi.org/10.1007/s12053-024-10249-2>
- Sitek, M. (2022). Optymalizacja ustawienia paneli PV z wykorzystaniem symulacji – „ClimateStudio” by Solemma. *Builder*, 296(3), 74–78. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.7525>
- UN. (2025). Global status report for buildings and construction 2024/2025: Not just another brick in the wall. *United Nations Environment Programme, & Global Alliance for Buildings and Construction*. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025> (Dostęp 28.08.2026)
- Yu, J., Chang, W.-S., & Dong, Y. (2022). Building energy prediction models and related uncertainties: A review. *Buildings*, 12(8), 1284. <https://doi.org/10.3390/buildings12081284>

Yuan, Y., Song, C., Gao, L., Zeng, K., & Chen, Y. (2024). A review of current research on occupant-centric control for improving comfort and energy efficiency. *Building Simulation*, 17(10), 1675–1692. <https://doi.org/10.1007/s12273-024-1170-1>

Zangheri, P., D'Agostino, D., Armani, R., & Bertoldi, P. (2022). Review of the cost-optimal methodology implementation in Member States in compliance with the Energy

Performance of Buildings Directive. *Buildings*, 12(9), 1482. <https://doi.org/10.3390/buildings12091482>

Zare, N., Shafaat, A., & Asadi, S. (2022). Review of energy performance gap and solutions in residential buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1085(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1085/1/012013>

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.

XII Podlaska Konferencja Ciepłownicza – o bezpieczeństwie, efektywności i przyszłości sektora ciepłowniczego

W dniach 8–9 października 2026 r. w Warchałach odbędzie się XII Podlaska Konferencja Ciepłownicza – jedno z najważniejszych regionalnych wydarzeń branży ciepłowniczej, organizowane przez **Oddział Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych w Białymstoku** oraz **Koło Zakładowe PZITS przy Enea Ciepło**. Partnerem strategicznym konferencji jest **Enea Ciepło**.

Tegoroczna edycja będzie poświęcona wyzwaniom transformacji sektora ciepłowniczego, koncentrując się na zagadnieniach efektywności energetycznej, bezpieczeństwa dostaw oraz wdrażania nowoczesnych technologii. Centralnym punktem pierwszego dnia będzie debata pt. **„Między efektywnością a bezpieczeństwem – bez kompromisów i bez złudzeń”**, podczas której eksperci, przedstawiciele przedsiębiorstw ciepłowniczych oraz instytucji publicznych porozmawiają o dekarbonizacji systemów ciepłowniczych, nowych technologiach oraz planowaniu bezpiecznej transformacji lokalnych systemów ciepła.

Program konferencji obejmuje również liczne wystąpienia poświęcone cyfryzacji i automatyzacji ciepłownictwa, zarządzaniu sieciami ciepłowniczymi, modelowaniu cieplno-hydraulicznemu, nowoczesnym rozwiązaniom dla infrastruktury oraz poprawie efektywności i niezawodności systemów ciepłowniczych. Wśród prelegentów znajdą się

przedstawiciele przedsiębiorstw branżowych, środowiska naukowego oraz instytucji wspierających transformację energetyczną, w tym Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Drugiego dnia uczestnicy będą mogli wysłuchać prezentacji dotyczących kierunków rozwoju systemów ciepłowniczych oraz praktycznych zastosowań nowoczesnych technologii w przedsiębiorstwach ciepłowniczych. Konferencję zakończy podsumowanie najważniejszych wniosków oraz wspólna inicjatywa promująca zrównoważony rozwój – spacer terenowy pod hasłem **„Odłóż telefon i chodź do lasu”**.

XII Podlaska Konferencja Ciepłownicza stanowi forum wymiany doświadczeń i wiedzy dla przedstawicieli przedsiębiorstw ciepłowniczych, producentów technologii, projektantów, naukowców oraz wszystkich osób zaangażowanych w rozwój nowoczesnego i bezpiecznego ciepłownictwa.

Serdecznie zapraszamy przedstawicieli branży do udziału w wydarzeniu. Patronat medialny nad konferencją objął m.in. miesięcznik **Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja**.

Szczegóły:

<https://pzits.bialystok.pl/xii-podlaska-konferencja-cieplownicza>



PATRONAT HONOROWY



PARTNER STRATEGICZNY



PATRONAT MEDIALNY



XII PODLASKA KONFERENCJA CIEPŁOWNICZA

8–9 październik 2026 / Warchały



POLSKIE ZRZESZENIE
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
SANITARNYCH
Oddział Białystok

PARTNERZY WSPIERAJĄCY





Komfort cieplny w pomieszczeniach z decentralizowaną wentylacją o naprzemiennym nawiewie i wywiewie – przegląd stanu badań

Thermal comfort in rooms with decentralised alternating supply and exhaust ventilation – a review of current research



Mgr inż. Alicja Kokosza

ORCID ID: [0009-0002-9943-7685](https://orcid.org/0009-0002-9943-7685)

Absolwent

Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska

alicja.kokosza@gmail.com



Mgr inż. Anna Wypych

ORCID ID: [0009-0009-8695-4895](https://orcid.org/0009-0009-8695-4895)

Absolwent

Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska

ania.wypych@icloud.com

Słowa kluczowe: komfort cieplny, wentylacja zdecentralizowana, wentylacja rewersyjna, naprzemienny nawiew i wywiew, odzysk ciepła, ryzyko przeciągu

Streszczenie

Celem pracy jest przegląd badań dotyczących komfortu cieplnego w pomieszczeniach wyposażonych w zdecentralizowaną wentylację z naprzemiennym nawiewem i wywiewem powietrza. Przeanalizowano wpływ długości cyklu, strumienia i temperatury nawiewu, odzysku ciepła, rozmieszczenia urządzeń oraz warunków zewnętrznych. Wyniki wskazują, że nominalna wydajność i deklarowana sprawność odzysku ciepła nie wystarczają do oceny działania systemu. Istotne są również zmienność temperatury nawiewu, prędkość strugi, odległość użytkownika od urządzenia oraz różnica ciśnienia między wnętrzem a otoczeniem. Zwiększenie strumienia powietrza może poprawiać jakość powietrza, lecz równocześnie zwiększać ryzyko przeciągu. W analizowanej literaturze nie uwzględniono porównawczych badań lokalizacji i wysokości montażu urządzeń prowadzonych w jednakowych warunkach.

Keywords: thermal comfort, decentralised ventilation, reversible ventilation, alternating supply and exhaust, heat recovery, draught risk

Abstract

The paper reviews studies on thermal comfort in rooms equipped with decentralised ventilation systems providing alternating air supply and exhaust. The analysis covers cycle duration, supply airflow rate and temperature, heat recovery, unit arrangement and external conditions. The results show that nominal airflow rate and declared heat recovery efficiency are insufficient to assess system performance. Supply-air temperature variations, jet velocity, distance from the unit and pressure differences across the external wall are also important. Higher airflow may improve indoor air quality while increasing the risk of draught. The reviewed literature does not include comparative studies on unit location and installation height conducted under identical conditions.

Wstęp

Znaczenie wentylacji w budynkach o wysokiej szczelności

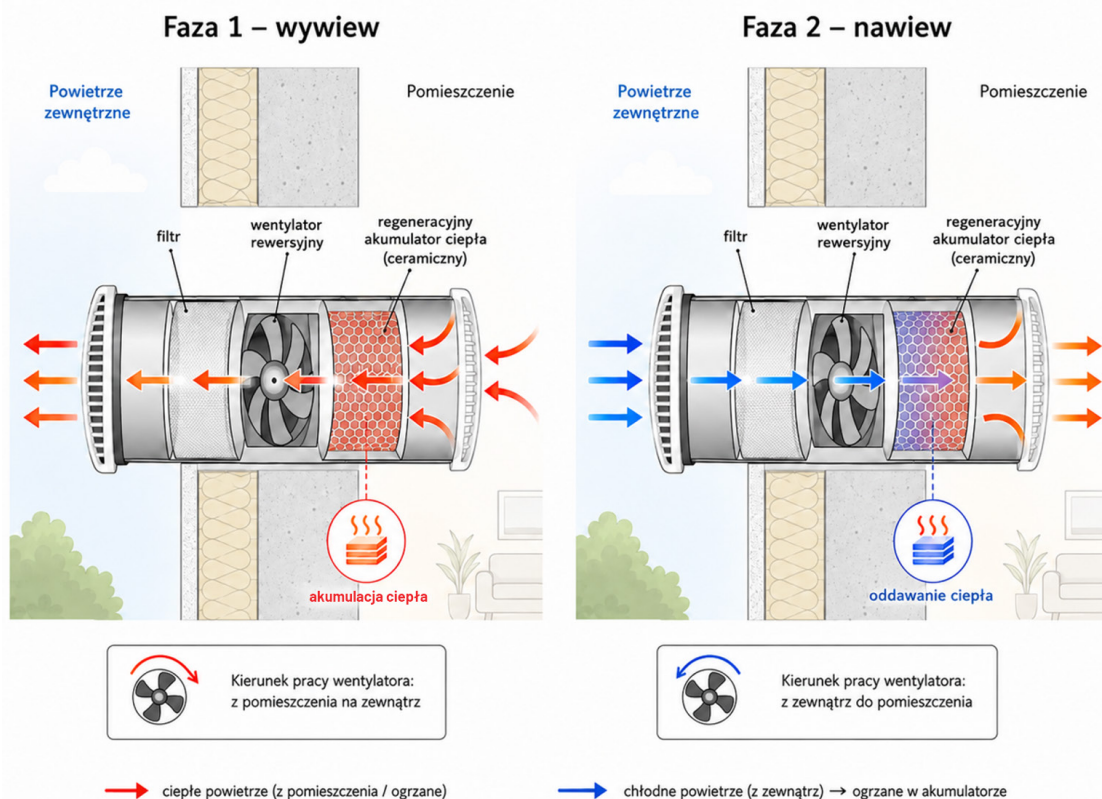
Współczesne działania termomodernizacyjne obejmują przede wszystkim poprawę izolacyjności cieplnej przegród oraz wymianę stolarki okiennej na rozwiązania o wysokiej szczelności. Ogranicza to niekontrolowaną infiltrację powietrza i straty ciepła, lecz jednocześnie zmniejsza naturalny dopływ powietrza zewnętrznego. Jeżeli modernizacji obudowy budynku nie towarzyszy zapewnienie skutecznej wentylacji, w pomieszczeniach może dochodzić do wzrostu stężenia dwutlenku węgla i wilgotności względnej oraz pogorszenia jakości środowiska wewnętrznego (Zender-Świercz, 2020).

Zapewnienie wymaganej wymiany powietrza powinno być rozpatrywane łącznie z ograniczaniem zapotrzebowania budynku na energię. Wentylacja usuwa z pomieszczeń zanieczyszczenia i nadmiar wilgoci, ale w sezonie grzewczym powoduje również straty ciepła związane z usuwaniem ogrzanego powietrza. Z tego względu w budynkach

nowych i modernizowanych coraz większe znaczenie mają systemy umożliwiające kontrolowanie strumienia powietrza oraz odzysk ciepła z powietrza wywiewanego. Przegląd badań dotyczących urządzeń fasadowych wskazuje, że mogą one poprawiać jakość powietrza wewnętrznego, jednak ich skuteczność zależy między innymi od warunków zewnętrznych, organizacji przepływu oraz parametrów pracy urządzenia (Zender-Świercz, 2021b).

Zastosowanie wentylacji zdecentralizowanej

W istniejących budynkach zastosowanie centralnej wentylacji mechanicznej bywa utrudnione z powodu braku przestrzeni na przewody, ograniczeń konstrukcyjnych oraz konieczności prowadzenia rozległych prac instalacyjnych. Alternatywę stanowią urządzenia zdecentralizowane, montowane bezpośrednio w przegrodzie zewnętrznej i obsługujące pojedyncze pomieszczenie albo grupę pomieszczeń. Ograniczenie długości przewodów upraszcza montaż i może ułatwiać zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła podczas



Rysunek 1. Zasada działania zdecentralizowanego urządzenia wentylacyjnego z naprzemiennym nawiewem i wywiewem powietrza.
Źródło: opracowanie własne

Figure 1. Operating principle of a decentralised ventilation unit with alternating air supply and exhaust. Source: authors' own study

modernizacji budynków mieszkalnych (Wirnsberger i in., 2019; Zender-Świercz, 2021a).

Jedną z odmian wentylacji zdecentralizowanej stanowią urządzenia pracujące w sposób naprzemienny, w których ten sam kanał służy okresowo do nawiewu i wywiewu powietrza. Zasadę działania takiego urządzenia oraz proces akumulacji i oddawania ciepła przedstawiono na Rysunku 1. W typowym rozwiązaniu wentylator okresowo zmienia kierunek przepływu powietrza. Umieszczony w kanale wymiennik akumulacyjny jest ogrzewany przez powietrze usuwane. Następnie w cyklu nawiewnym oddaje zgromadzone ciepło strumieniu powietrza. Urządzenia często pracują parami: podczas gdy jedna jednostka nawiewa powietrze, druga je wywiewa, po czym następuje zmiana kierunku przepływu. Taki sposób pracy pomaga ograniczyć różnicę ciśnienia w budynku. Jednocześnie powoduje okresową zmianę kierunku i parametrów strugi w pomieszczeniu, co ma znaczenie zarówno dla efektywności wymiany powietrza, jak i lokalnego komfortu cieplnego (Wirnsberger i in., 2019; Zender-Świercz i in., 2022).

Problem komfortu cieplnego

Komfort cieplny jest wynikiem łącznego oddziaływania parametrów środowiskowych i indywidualnych. Do podstawowych wielkości środowiskowych należą temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, prędkość i wilgotność powietrza, natomiast po stronie użytkownika uwzględnia się aktywność metaboliczną i izolacyjność cieplną odzieży. Ogólną ocenę środowiska umiarkowanego prowadzi się najczęściej z wykorzystaniem wskaźników PMV i PPD, natomiast komfort lokalny ocenia się między innymi na podstawie ryzyka przeciągu, pionowej różnicy temperatury, asymetrii

temperatury promieniowania oraz temperatury podłogi (ISO, 2025; PKN, 2019).

W przypadku wentylacji naprzemiennej szczególnego znaczenia nabierają krótkotrwałe i lokalne zmiany temperatury oraz prędkości powietrza. Parametry uśrednione dla całego pomieszczenia lub pełnego cyklu pracy mogą nie ujawniać chwilowego wychłodzenia użytkownika znajdującego się w zasięgu strugi nawiewnej. Z tego względu ocena powinna obejmować nie tylko średnią temperaturę operatywną i wskaźniki PMV-PPD, lecz także przebieg parametrów podczas poszczególnych faz oraz pomiary w kilku odległościach od urządzenia. Potrzebę takiego podejścia potwierdzają wyniki badań wskazujące na przestrzenną niejednorodność wymiany powietrza oraz możliwość występowania dyskomfortu w pobliżu jednostki fasadowej (Auerswald i in., 2020; Zender-Świercz i in., 2022).

Cel i zakres artykułu

Celem artykułu jest uporządkowanie aktualnego stanu wiedzy dotyczącego wpływu zdecentralizowanej wentylacji z naprzemiennym nawiewem i wywiewem na komfort cieplny w pomieszczeniach. Przegląd obejmuje zasadę działania urządzeń rewersyjnych, stosowane kryteria komfortu oraz wpływ długości cyklu, strumienia i temperatury powietrza nawiewanego, sprawności odzysku ciepła, warunków zewnętrznych i rozmieszczenia jednostek na komfort cieplny. Szczególną uwagę poświęcono lokalizacji urządzenia, kierunkowi doprowadzania powietrza i odległości użytkownika od strugi nawiewnej, ponieważ dotychczasowe badania wykazują silną zależność efektów wentylacji od warunków brzegowych i organizacji przepływu w pomieszczeniu (Auerswald i in., 2020; Carbonare i in., 2020; Pekdogan i in., 2021).

Metoda przeglądu literatury

Przegląd literatury przeprowadzono na podstawie publikacji odnalezionych w serwisach wydawców i repozytoriach naukowych, w tym ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, MDPI, BazTech, AIVC, IBPSA oraz Fraunhofer Publica. Wyszukiwanie prowadzono z wykorzystaniem anglojęzycznych słów kluczowych decentralised ventilation, push-pull ventilation, alternating supply and exhaust, reversible airflow, single-room heat recovery ventilation i thermal comfort, łączonych z hasłami dotyczącymi prędkości oraz temperatury powietrza, ryzyka przeciągu, lokalizacji urządzeń, skuteczności wymiany powietrza i odzysku ciepła. Analizę uzupełniono o publikacje wskazane w bibliografiach najważniejszych prac dotyczących wentylacji rewersyjnej (Amanowicz i in., 2023).

Do przeglądu włączano przede wszystkim recenzowane badania eksperymentalne, terenowe i numeryczne dotyczące zdecentralizowanych urządzeń z okresową zmianą kierunku przepływu. Warunkiem kwalifikacji było przedstawienie wyników związanych z komfortem cieplnym, temperaturą lub prędkością powietrza, skutecznością wentylacji, jakością powietrza wewnętrznego bądź odzyskiem ciepła. Z każdej pracy pozyskiwano informacje o rodzaju urządzenia, geometrii pomieszczenia, lokalizacji jednostki, strumieniu powietrza, długości cyklu, warunkach cieplnych oraz zastosowanej metodzie oceny. Ze względu na różnice pomiędzy stanowiskami badawczymi i sposobami przedstawiania wyników zastosowano porównawczą syntezę opisową i tabelaryczną, bez prowadzenia metaanalizy statystycznej (Grant & Booth, 2009).

Wyniki przeglądu literatury

Budowa i zasada działania zdecentralizowanych urządzeń rewersyjnych

Zdecentralizowane urządzenie rewersyjne jest zwykle montowane w otworze wykonanym w ścianie zewnętrznej i obsługuje pomieszczenie bez rozbudowanej sieci przewodów. Podstawowy tor przepływu obejmuje osłonę zewnętrzną, filtr, wentylator o zmiennym kierunku pracy, wymiennik akumulacyjny oraz osłonę wewnętrzną. W zależności od kierunku przepływu wymiennik pochłania ciepło z powietrza usuwanego albo oddaje je powietrzu nawiewanemu. W badaniach najczęściej stosowano ceramiczne wkłady o strukturze kanalikowej, chociaż analizowano także akumulatory aluminiowe (Carbonare i in., 2020; Wirnsberger i in., 2019).

Praca urządzenia ma charakter cykliczny i obejmuje naprzemienne fazy wywiewu i nawiewu. Czas pojedynczej fazy zależy od konstrukcji i sposobu sterowania urządzeniem. W badaniach systemów typu push-pull często stosowano zmianę kierunku przepływu po około 60–70 s, natomiast w eksperymentach dotyczących właściwości cieplnych analizowano również cykle kilkuminutowe. Wydłużenie fazy zwiększa objętość powietrza przepływającą w danym kierunku, ale jednocześnie prowadzi do stopniowego rozładowania akumulatora i zmiany temperatury nawiewu (Auerswald i in., 2020; Pekdogan i in., 2021).

W instalacjach mieszkaniowych jednostki rewersyjne są najczęściej łączone parami i sterowane przeciwnie, tj. gdy jedna pracuje w trybie nawiewu, druga pracuje w try-

bie wywiewu, a następnie urządzenia zamieniają funkcje. Para urządzeń może obsługiwać jedno pomieszczenie albo stworzyć przepływ między pomieszczeniami przez szczelinę pod drzwiami lub inny element transferowy. W badaniu mieszkania testowego zastosowano urządzenia o maksymalnym strumieniu $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, fazę przepływu trwającą 60 s i 10-sekundową przerwę przed zmianą kierunku. Są to jednak parametry konkretnego modelu; istotniejszym wnioskiem ogólnym jest konieczność zachowania równowagi nawiewu i wywiewu oraz zapewnienia swobodnego przepływu na drodze pomiędzy jednostkami (Wirnsberger i in., 2019).

Metody i wskaźniki oceny komfortu cieplnego

Ocena komfortu cieplnego nie opiera się wyłącznie na pomiarze temperatury powietrza – na odczucia użytkownika wpływają równocześnie temperatura powietrza i przegród, prędkość oraz wilgotność powietrza, a także aktywność fizyczna i izolacyjność cieplna odzieży. Aktualna norma ISO 7730:2025 rozróżnia ocenę ogólnego komfortu cieplnego, opartą przede wszystkim na wskaźnikach PMV i PPD, oraz ocenę dyskomfortu lokalnego, związanego między innymi z przeciągiem, pionowym zróżnicowaniem temperatury i asymetrią temperatury promieniowania (ISO, 2025).

Wskaźnik PMV, czyli przewidywana średnia ocena odczuć cieplnych, pozwala określić ogólne wrażenie cieplne grupy użytkowników, natomiast PPD oznacza przewidywany odsetek osób niezadowolonych z warunków cieplnych. Wartości te odnoszą się do całego organizmu i mogą nie ujawniać dyskomfortu występującego w obrębie wybranej części ciała. W pomieszczeniu z urządzeniem rewersyjnym użytkownik może zatem odczuwać chłodną strugę na wysokości głowy, karku albo kończyn dolnych, mimo że średnie warunki cieplne w centralnej części pomieszczenia wskazują na stan zbliżony do neutralnego (ISO, 2025; Tawackolian i in., 2020).

W przypadku wentylacji naprzemiennej szczególne znaczenie ma ryzyko przeciągu, określające udział użytkowników, którzy mogą negatywnie odbierać miejscowe ochłodzenie spowodowane ruchem powietrza. Na wartość tego wskaźnika wpływają temperatura, średnia prędkość oraz intensywność turbulencji powietrza. Ponieważ w urządzeniu rewersyjnym kierunek i prędkość przepływu zmieniają się cyklicznie, pomiar powinien być prowadzony z krokiem umożliwiającym rozpoznanie przebiegu pojedynczej fazy, zamiast średniej z kilkunastu minut lub całego cyklu pracy. Badania nawiewu przerywanego, choć nie dotyczyły bezpośrednio jednostek fasadowych, potwierdzają, że krótkotrwałe wzrosty prędkości mogą nasilać odczucie przeciągu, mimo że średnie parametry wskazują na warunki neutralne (ISO, 2025; Tawackolian i in., 2020).

Najważniejsze wielkości, które powinny być uwzględniane podczas oceny komfortu cieplnego w pomieszczeniu wyposażonym w wentylację naprzemienną, zestawiono w Tabeli 1. Zestawienie obejmuje zarówno parametry służące do oceny całego pomieszczenia, jak i wielkości pozwalające rozpoznać dyskomfort w bezpośrednim sąsiedztwie nawiewnika oraz w poszczególnych częściach strefy przebywania ludzi (ISO, 2025; Tawackolian i in., 2020; Zhou i in., 2023).

Tabela 1. Wskaźniki i parametry stosowane w ocenie komfortu cieplnego w pomieszczeniach z wentylacją naprzemienną. Źródło: opracowanie własne na podstawie ISO (2025), Tawackolian i in. (2020) i Zhou i in. (2023)

Table 1. Indicators and parameters used to assess thermal comfort in rooms with alternating ventilation. Source: authors' own study based on ISO (2025), Tawackolian i in. (2020) and Zhou i in. (2023)

Parametr lub wskaźnik	Znaczenie	Zastosowanie w ocenie wentylacji naprzemiennej
Temperatura powietrza, t_a	Temperatura powietrza w określonym punkcie pomiarowym	Umożliwia określenie chwilowego ochłodzenia podczas fazy nawiewu oraz różnic pomiędzy strefą nawiewnika i pozostałą częścią pomieszczenia
Średnia temperatura promieniowania, t_r	Wypadkowa oddziaływania ciepłego otaczających przegród	Pozwala uwzględnić wpływ chłodnej ściany zewnętrznej, okna i pozostałych powierzchni na odczucia użytkownika
Temperatura operatywna, t_{op}	Wielkość łącząca oddziaływanie temperatury powietrza i promieniowania	Służy do ogólnej oceny warunków cieplnych w strefie przebywania ludzi
Prędkość powietrza, v_a	Średnia lub chwilowa prędkość przepływu w punkcie	Określa zasięg strugi oraz umożliwia wskazanie miejsc narażonych na nadmierny ruch powietrza
Intensywność turbulencji, Tu	Miara zmienności prędkości powietrza	Jest potrzebna do oceny charakteru strugi i ryzyka przeciągu
PMV	Przewidywana średnia ocena odczuć cieplnych grupy użytkowników	Umożliwia porównanie ogólnego komfortu w różnych wariantach pracy urządzenia
PPD	Przewidywany procent osób niezadowolonych	Pozwala przedstawić wynik oceny komfortu w formie procentowej
Ryzyko przeciągu, DR	Przewidywany udział osób odczuwających miejscowe wychłodzenie wskutek ruchu powietrza	Ma podstawowe znaczenie w pobliżu jednostki i w osi strugi nawiewnej
Pionowa różnica temperatury	Różnica warunków cieplnych pomiędzy poziomem głowy i kończyn dolnych	Pozwala ocenić nierównomierność warunków w strefie przebywania ludzi
Oceny subiektywne użytkowników	Odczucia cieplne, komfortu, akceptacji ruchu powietrza i preferencji	Umożliwiają sprawdzenie, czy wskaźniki obliczeniowe prawidłowo odwzorowują reakcje osób w warunkach zmiennych

Tabela 2. Wpływ strumienia powietrza i długości cyklu na wybrane parametry pracy zdecentralizowanych urządzeń rewersyjnych. Źródło: opracowanie własne na podstawie Auerswald i in. (2020), Carbonare i in. (2020), Pekdogan i in. (2021) i Koper (2024)

Table 2. Influence of airflow rate and cycle duration on selected operating parameters of decentralised reversible ventilation units. Source: authors' own study based on Auerswald i in. (2020), Carbonare i in. (2020), Pekdogan i in. (2021) and Koper (2024)

Publikacja	Analizowane parametry	Najważniejszy wynik
Auerswald i in. (2020)	Dwie jednostki push-pull, zmienne warunki cieplne, strumień w przykładowym wariancie $28 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	Nominalny strumień nie przesądzał o równomiernej wymianie; efektywność wzrosła maksymalnie do około 0,6 po zastosowaniu źródła ciepła o mocy 300 W
Carbonare i in. (2020)	Fazy 60 i 180 s; 50 i 100% prędkości obrotowej wentylatora	Dla fazy 60 s uzyskano sprawność 83% przy połowie prędkości obrotowej i 75% przy pełnej prędkości obrotowej; dla 180 s odpowiednio 80 i 66%
Pekdogan i in. (2021)	Czas pracy 2, 5, 7,5 i 10 min; ceramiczny akumulator	Najlepsze parametry uzyskano dla 2 min: sprawność nawiewu 82%, sprawność wywiewu 67%
Koper (2024)	Regulacja prędkości wentylatora lub długości cyklu na podstawie sygnałów z czujników	Obie strategie zbilansowały strumienie nawiewu i wywiewu, a sprawność odzysku wzrosła o ponad 10% względem trybu standardowego

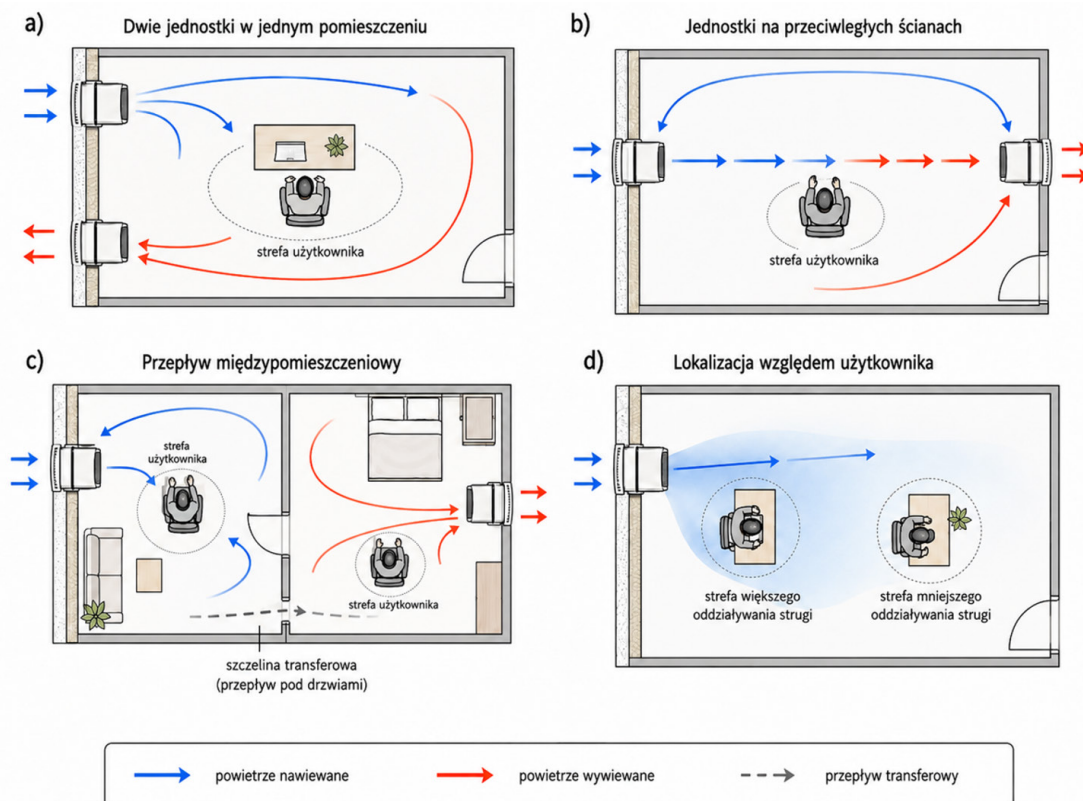
W badaniach dotyczących jednostki fasadowej bez wymiennika odzysku ciepła i bez nagrzewnicy wykazano, że prawidłowa temperatura w centralnej części pomieszczenia nie gwarantowała komfortu w pobliżu urządzenia. W odległości 70 cm od otworu nawiewno-wywiewnego uzyskano wartości PMV od $-4,1$ do $-1,6$, którym odpowiadały wartości PPD od 54,8 do 100%. Wyniki wskazują, że punkty pomiarowe powinny być rozmieszczane nie tylko w środku pomieszczenia, ale również w osi strugi i w przewidywanych miejscach przebywania użytkowników (Zender-Świercz i in., 2022).

Wpływ strumienia powietrza i długości cyklu pracy

Strumień powietrza i długość cyklu wpływają jednocześnie na skuteczność wymiany, temperaturę nawiewu i odzysk ciepła. Zwiększenie wydajności może poprawiać usuwanie zanieczyszczeń, lecz zwiększa prędkość

strugi, natomiast wydłużenie fazy sprzyja rozładowaniu akumulatora. Wyniki najważniejszych badań zestawiono w Tabeli 2 (Auerswald i in., 2020; Carbonare i in., 2020; Pekdogan i in., 2021).

Z punktu widzenia komfortu cieplnego zwiększanie wydajności lub wydłużanie fazy nawiewu wymaga ostrożności. Większy strumień może zwiększyć zasięg strugi i skuteczniej usuwać zanieczyszczenia, ale jednocześnie podnosi prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi. Z kolei podczas długiej fazy nawiewu temperatura powietrza za wymiennikiem akumulacyjnym powinna być oceniana łącznie: na podstawie rzeczywistej wymiany powietrza, przebiegu temperatury nawiewu, sprawności odzysku ciepła i lokalnego ryzyka przeciągu, a nie tylko w odniesieniu do nominalnego strumienia podawanego dla urządzenia (Auerswald i in., 2020; Carbonare i in., 2020; Pekdogan i in., 2021).



Rysunek 2. Przykładowe warianty rozmieszczenia zdecentralizowanych urządzeń rewersyjnych i organizacji przepływu powietrza.
Źródło: opracowanie własne

Figure 2. Examples of reversible decentralised ventilation unit arrangements and airflow organisation. Source: authors' own study

Temperatura powietrza nawiewanego i odzysk ciepła

Cykliczny przebieg temperatury potwierdzono w badaniach ceramicznego regeneratora prowadzonych w rzeczywistych warunkach sezonu grzewczego. Niemierka i Jadwiszczak (2023) rozróżnili chwilową, cykliczną i długookresową efektywność cieplną urządzenia. Efektywność chwilowa była najwyższa bezpośrednio po rozpoczęciu nawiewu, po czym zmniejszała się od wartości zbliżonej do 100% do około 63–67% pod koniec fazy, zależnie od temperatury zewnętrznej. Średnia efektywność określona dla całej fazy nawiewu wyniosła 80–81%, natomiast w dłuższym okresie pracy osiągała 62–63%. Różnice te pokazują, że pojedyncza wartość sprawności nie opisuje w pełni temperatury powietrza, z którą użytkownik ma kontakt podczas całego cyklu urządzenia (Niemierka & Jadwiszczak, 2023).

Ocena odzysku ciepła powinna obejmować nie tylko wartość średnią, lecz także minimalną temperaturę nawiewu i jej zmienność w cyklu. Pojedynczy wskaźnik sprawności może prowadzić do zbyt optymistycznej oceny warunków odczuwanych przez użytkownika, zwłaszcza pod koniec fazy nawiewu (Niemierka & Jadwiszczak, 2023).

Lokalizacja urządzenia i sposób doprowadzania powietrza

Rozmieszczenie jednostek rewersyjnych wpływa na rzeczywistą drogę przepływu powietrza i możliwość wystąpienia krótkiego spięcia pomiędzy nawiewem i wywiewem. W badaniach komorowych z dwiema jednostkami fasadowymi lokalna skuteczność wymiany zmieniała się zależnie od odległości punktu pomiarowego od otworów oraz od różnicy temperatury pomiędzy wnętrzem i otoczeniem. W większości analizowanych wariantów ogólna

efektywność wymiany była niższa od 0,5, co wskazywało, że część świeżego powietrza nie docierała równomiernie do całej objętości pomieszczenia (Auerswald i in., 2020).

Przykładowe warianty rozmieszczenia urządzeń oraz organizacji przepływu powietrza przedstawiono na Rysunku 2. Znaczenie organizacji przepływu potwierdzono w mieszkaniu badawczym o powierzchni 70 m², w którym urządzenia zamontowano na wysokości 1,7 m. Porównano układ pokojowy, w którym para jednostek obsługiwała jedno pomieszczenie oraz układ międzypomieszczeniowy, wykorzystujący szczelinę transferową pod drzwiami. Dla całego mieszkania przyjęcie układu międzypomieszczeniowego obniżyło średni wiek powietrza z 2,2 do 2,0 h i zwiększyło efektywność wymiany z 0,33 do 0,36. Układ pokojowy był jednak korzystniejszy dla warunków panujących w samej sypialni, w której średni wiek powietrza wynosił 1,6 h wobec 1,8 h w wariancie międzypomieszczeniowym (Wirnsberger i in., 2019).

Wyniki nie wskazują jednej uniwersalnej lokalizacji urządzeń. Rozwiązanie korzystne dla intensywnej wentylacji pojedynczego pomieszczenia może powodować słabszą wymianę w dalszych częściach mieszkania, natomiast przepływ międzypomieszczeniowy poprawia równomierność kosztem nieznacznego pogorszenia warunków w wybranej strefie. W analizowanych pracach wysokość montażu i kierunek wypływu były najczęściej przyjmowane jako parametry stałe, a nie warianty porównawcze. Uzasadnia to prowadzenie badań obejmujących położenie urządzenia na ścianie, kierunek strugi, odległość od użytkownika oraz współdziałanie z drogami transferu powietrza i systemem ogrzewania (Auerswald i in., 2020; Wirnsberger i in., 2019).

Wpływ warunków zewnętrznych i różnicy ciśnienia

Siła wiatr oraz efekt kominowy powodują różnicę ciśnienia po obu stronach przegrody, która może zaburzać równowagę nawiewu i wywiewu. W badaniu komorowym przy różnicy ciśnienia 30 Pa strumień powietrza podczas wywiewu zmniejszył się nawet o $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a sprawność odzysku ciepła spadła z około 96% do 76%. Urządzenie dostarczało wówczas więcej powietrza niż usuwało, co w sezonie grzewczym może zwiększać ryzyko nawiewania chłodnego powietrza do pomieszczenia (Zemitis i in., 2024).

Podatność urządzenia na warunki ciśnieniowe zależy między innymi od rodzaju wentylatora. W symulacjach uwzględniających wyłącznie oddziaływanie wiatru odzysk ciepła zmniejszał się maksymalnie o 8% dla urządzeń z wentylatorami promieniowymi i o 22% dla jednostek z wentylatorami osiowymi. Po równoczesnym uwzględnieniu efektu kominowego spadki osiągały odpowiednio 20 i 52%. Wentylatory osiowe, często stosowane w kompaktowych jednostkach ściennych, okazały się zatem bardziej wrażliwe na zmienne ciśnienie zewnętrzne (Filis i in., 2021).

W pomiarach prowadzonych w rzeczywistym mieszkaniu, przy stosunkowo łagodnych warunkach pogodowych i małej prędkości wiatru, nie stwierdzono jednoznacznej zależności efektywności wentylacji od temperatury zewnętrznej lub wiatru. Widoczny był jednak wpływ nierównoważenia instalacji, tj. uruchomienie dodatkowego wentylatora wywiewnego obniżyło efektywność wymiany powietrza z około 0,48 do wartości poniżej 0,39. Oznacza to, że wpływ pogody należy analizować łącznie ze szczelnością budynku, pracą pozostałych wentylatorów oraz rzeczywistą różnicą ciśnienia na elewacji (Auerswald i in., 2022).

Jakość powietrza wewnętrznego a komfort cieplny

Ocena wentylacji rewersyjnej powinna obejmować jednocześnie jakość powietrza i warunki cieplne. Zwiększenie strumienia powietrza sprzyja ograniczeniu stężenia CO_2 , lecz może zwiększać prędkość strugi w strefie przebywania ludzi oraz obniżać temperaturę nawiewu pod koniec cyklu. Parametry urządzenia nie powinny być zatem dobierane wyłącznie na podstawie wymaganej wymiany powietrza albo sprawności odzysku ciepła (Carbonare i in., 2020; Tawackolian i in., 2020).

W badaniu urządzenia rewersyjnego określono wydajność konieczną do utrzymania stężenia CO_2 poniżej 1000 ppm przy różnej liczbie użytkowników. Dla jednej osoby wymagany strumień wynosił około $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, dla dwóch osób $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, natomiast dla pięciu osób przekraczał $160 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Wyniki dotyczą konkretnego pomieszczenia i urządzenia, ale wskazują, że kompaktowe jednostki o niewielkiej wydajności mogą nie zapewniać odpowiedniej jakości powietrza przy dużym zagęszczeniu użytkowników (Monarkin, 2023).

Zwiększanie wydajności urządzenia nie może jednak odbywać się kosztem lokalnego komfortu. W badaniach wentylacji przerywanej wzrost prędkości i czasu oddziaływania strugi zwiększał odczucie przeciągu, mimo utrzymywania neutralnej temperatury ogólnej w pomieszczeniu. Z tego względu sterowanie zależne od stężenia CO_2 powinno uwzględniać również temperaturę nawiewu i ograniczenie prędkości powietrza w strefie użytkownika. Najkorzystniejszy wariant powinien utrzymywać wymagane stężenie CO_2 przy możliwie małym ryzyku miejscowego wychłodzenia (Monarkin, 2023; Tawackolian i in., 2020).

Wpływ sposobu ogrzewania i obciążeń cieplnych pomieszczenia

Chociaż badanie Sobhi i Khalila (2019) nie dotyczyło bezpośrednio wentylacji rewersyjnej, wykazało, że sposób ogrzewania wpływa na konwekcję naturalną, pionowy rozkład temperatury oraz kierunek przemieszczania się strugi wentylacyjnej. W analizie CFD pomieszczenia wentylowanego przy krotności wymiany 6 h^{-1} porównano ogrzewanie podłogowe, ściennie oraz grzejniki średnio- i wysokotemperaturowe. Ogrzewanie powierzchniowe zapewniało bardziej równomierny rozkład temperatury i mniejszy pionowy gradient niż ogrzewanie grzejnikowe, chociaż we wszystkich wariantach wartości PMV i PPD mieściły się w przyjętym zakresie komfortu (Sobhi & Khalil, 2019).

Wpływ wewnętrznych zysków ciepła stwierdzono również bezpośrednio w badaniach urządzeń typu push-pull. W warunkach izotermicznych ogólna efektywność wymiany powietrza była niższa od 0,5, natomiast umieszczenie w pomieszczeniu manekina termicznego o mocy 300 W zwiększyło ją maksymalnie do około 0,6. Powstająca struga konwekcyjna zmieniała rozkład przepływu i poprawiała transport powietrza poza bezpośrednie sąsiedztwo jednostek (Auerswald i in., 2020).

Dostępne wyniki wskazują, że lokalizacja urządzenia nie powinna być analizowana niezależnie od źródeł ciepła. Grzejnik umieszczony pod oknem może wzmacniać ruch konwekcyjny przy ścianie zewnętrznej, natomiast ogrzewanie podłogowe tworzy bardziej rozproszony strumień wznoszący. W literaturze dotyczącej wentylacji rewersyjnej sposób ogrzewania jest jednak zwykle traktowany jako stały warunek brzegowy, a nie jako porównywany wariant. Brakuje zwłaszcza badań zestawiających różne położenia nawiewnika przy ogrzewaniu grzejnikowym i podłogowym oraz przy zmiennej obecności użytkowników (Auerswald i in., 2020; Sobhi & Khalil, 2019).

Dyskusja

Najważniejsze ustalenia wynikające z dotychczasowych badań

Z przeprowadzonego przeglądu wynika, że ocena zdecentralizowanej wentylacji rewersyjnej nie powinna ograniczać się do nominalnego strumienia powietrza ani średniej sprawności odzysku ciepła. O komforcie użytkownika decydują także zmienność temperatury nawiewu w obrębie cyklu, zasięg strugi oraz równomierność wymiany powietrza. Krótsze cykle mogą sprzyjać utrzymaniu wyższej temperatury nawiewu, natomiast zwiększenie wydajności poprawia usuwanie zanieczyszczeń, ale może nasilać lokalne odczucie przeciągu. Dobór parametrów pracy wymaga więc równoczesnego uwzględnienia jakości powietrza, odzysku ciepła i komfortu lokalnego (Auerswald i in., 2020; Carbonare i in., 2020; Pekdogan i in., 2021).

Rozbieżności pomiędzy wynikami publikacji

Różnice pomiędzy wynikami poszczególnych prac wynikają głównie z odmiennych konstrukcji urządzeń, długości cyklu, warunków cieplnych oraz sposobu rozmieszczenia punktów pomiarowych. W badaniach komorowych efektywność wymiany zależała od obecności źródła ciepła, natomiast w analizach całego mieszkania istotne były drogi przepływu pomiędzy pomieszczeniami. Rozbieżne

wartości sprawności odzysku mogą ponadto wynikać z przyjęcia chwilowej, cyklicznej albo długookresowej definicji wskaźnika. Bez uwzględnienia metodyki i warunków brzegowych bezpośrednie porównywanie pojedynczych wartości liczbowych może prowadzić do błędnych wniosków (Auerswald i in., 2020; Carbonare i in., 2020; Wirnsberger i in., 2019).

Ograniczenia dotychczasowych metod badawczych

W wielu analizowanych pracach lokalizacja i wysokość montażu urządzenia były przyjmowane jako stałe, a nie jako porównywane warianty. Badania laboratoryjne zapewniały kontrolowane warunki, lecz nie zawsze odwzorowywały wpływ wiatru, efektu kominowego, zachowania użytkowników i współpracy z innymi wentylatorami. Z kolei badania terenowe obejmowały zwykle konkretny układ pomieszczeń i urządzeń, co ogranicza możliwość uogólnienia rezultatów. Niewiele opracowań łączyło pomiary chwilowej prędkości i temperatury powietrza z oceną komfortu użytkowników oraz analizą całego cyklu nawiewu i wywiewu (Auerswald i in., 2020; Wirnsberger i in., 2019; Zemitis i in., 2024).

Luki badawcze

Najważniejsza zidentyfikowana luka badawcza dotyczy braku porównawczych badań lokalizacji urządzenia i sposobu wprowadzania powietrza prowadzonych przy jednakowych warunkach brzegowych. Niedostatecznie rozpoznany jest łączny wpływ wysokości montażu, kierunku nawiewu lub wywiewu strugi, odległości użytkownika, sposobu ogrzewania i różnicy ciśnienia na komfort lokalny. Jak wynika z przeglądu wielu publikacji – w literaturze częściej analizowane są pojedyncze urządzenie lub konkretny układ mieszkania niż systematycznie porównuje kilka wariantów rozmieszczenia (Auerswald i in., 2020; Wirnsberger i in., 2019; Zemitis i in., 2024).

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu można stwierdzić, że zdecentralizowana wentylacja o naprzemiennym nawiewie i wywiewie może zapewniać kontrolowaną wymianę powietrza przy jednoczesnym ograniczeniu strat ciepła. Nominalny strumień powietrza i deklarowana sprawność odzysku ciepła nie są jednak wystarczające do pełnej oceny działania systemu, ponieważ istotne znaczenie mają również organizacja przepływu oraz rzeczywiste warunki pracy urządzenia.

Temperatura powietrza nawiewanego i sprawność odzysku ciepła zmieniają się w trakcie cyklu pracy. Krótsze fazy mogą ograniczać wychłodzenie akumulatora, natomiast zwiększenie strumienia lub wydłużenie fazy nawiewu może prowadzić do obniżenia temperatury powietrza doprowadzanego do pomieszczenia oraz wzrostu ryzyka lokalnego dyskomfortu. Ocena komfortu powinna więc obejmować nie tylko wartości uśrednione, lecz także chwilową temperaturę i prędkość powietrza, wskaźniki PMV i PPD oraz ryzyko przeciągu.

Lokalizacja jednostek oraz sposób organizacji przepływu pomiędzy pomieszczeniami wpływają na wiek powietrza i równomierność wentylacji. Układ korzystny dla pojedynczego pomieszczenia nie musi zapewniać najlepszych wa-

runków w całym mieszkaniu, dlatego dobór konfiguracji powinien uwzględniać geometrię pomieszczeń, miejsca przebywania użytkowników oraz drogi przepływu transferowego.

Na działanie urządzeń wpływają również warunki zewnętrzne, w szczególności wiatr, efekt kominowy i związane z nimi różnice ciśnienia. Mogą one powodować nierównowagę pomiędzy nawiewem i wywiewem, a tym samym zmieniać strumień powietrza i rzeczywistą sprawność odzysku ciepła. Z tego względu ocena urządzeń powinna obejmować także warunki odpowiadające ich rzeczywistej eksploatacji w budynkach.

Najważniejszą zidentyfikowaną luką badawczą jest brak porównawczych analiz różnych wysokości i miejsc montażu urządzeń, kierunku strugi oraz odległości użytkownika od nawiewnika prowadzonych w jednakowych warunkach brzegowych. Dalsze badania powinny łączyć przestrzenne pomiary parametrów cieplnych z oceną skuteczności wymiany powietrza oraz uwzględniać długość cyklu, sposób ogrzewania i zmienne warunki zewnętrzne, co pozwoli wskazać rozwiązania zapewniające korzystny kompromis pomiędzy jakością powietrza, odzyskiem ciepła i komfortem cieplnym.

Bibliografia

- Amanowicz, Ł., Ratajczak, K., & Dudkiewicz, E. (2023). Recent advancements in ventilation systems used to decrease energy consumption in buildings—Literature review. *Energies*, 16(4), 1853. <https://doi.org/10.3390/en16041853>
- Auerswald, S., Devineni, R., Pflug, T., & Bongs, C. (2022). Ventilation effectiveness of alternating façade-integrated ventilation devices in a dwelling. W: *Transitioning from IAQ to IEQ: IAQ 2020 Indoor Environmental Quality Performance Approaches*. ASHRAE. <https://doi.org/10.24406/h-441343>
- Auerswald, S., Hörberg, C., Pflug, T., Pfafferott, J., Bongs, C., & Henning, H.-M. (2020). Experimental investigation of the air exchange effectiveness of push-pull ventilation devices. *Energies*, 13(21), 5817. <https://doi.org/10.3390/en13215817>
- Carbonare, N., Fugmann, H., Asadov, N., Pflug, T., Schnabel, L., & Bongs, C. (2020). Simulation and measurement of energetic performance in decentralized regenerative ventilation systems. *Energies*, 13(22), 6010. <https://doi.org/10.3390/en13226010>
- Filis, V., Kolarik, J., & Smith, K. M. (2021). The impact of wind pressure and stack effect on the performance of room ventilation units with heat recovery. *Energy and Buildings*, 234, 110689. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110689>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- ISO. (2025). ISO 7730:2025 Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Organization for Standardization <https://www.iso.org/standard/85803.html>
- Koper, P. (2024). Influence of control strategy on heat recove-

- ry efficiency in a single-duct periodic ventilation device. *Energies*, 17(22), 5801. <https://doi.org/10.3390/en17225801>
- Monarkin, N. (2023). Reversible decentralized ventilation: Experimental determination of efficiency by carbon dioxide level. *Journal of Building Engineering*, 78, 107675. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107675>
- Niemierka, E., & Jadwiszczak, P. (2023). Experimental investigation of a ceramic heat regenerator for heat recovery in a decentralized reversible ventilation system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 146, 106899. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.106899>
- Pekdogan, T., Tokuç, A., Ezan, M. A., & Başaran, T. (2021). Experimental investigation of a decentralized heat recovery ventilation system. *Journal of Building Engineering*, 35, 102009. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102009>
- PKN. (2019). PN-EN 16798-1:2019-06. Charakterystyka energetyczna budynków — Wentylacja budynków — Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki — Moduł M1-6. Polski Komitet Normalizacyjny.
- Sobhi, M., & Khalil, E. E. (2019). CFD investigation of air flow patterns and thermal comfort in a room with diverse heating systems. *Current Environmental Engineering*, 6(2), 150–158. <https://doi.org/10.2174/2212717806666190527090231>
- Tawackolian, K., Lichtner, E., & Kriegel, M. (2020). Draught perception in intermittent ventilation at neutral room temperature. *Energy and Buildings*, 224, 110268. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110268>
- Wirnsberger, M., Buttinger, F., & Krause, H. (2019). Ventilation efficiency of push-pull ventilation systems in residential buildings—CFD simulation and validation of the model with measurements in a research apartment. W: *Proceedings of the 16th IBPSA Conference, Building Simulation 2019* (s. 785–790). *International Building Performance Simulation Association*. <https://doi.org/10.26868/25222708.2019.211281>
- Zemitis, J., Bogdanovics, R., Prozuments, A., & Borodinecs, A. (2024). Study of pressure difference influence on air flow, heat recovery efficiency and acoustic performance of a local decentralized ventilation device. *Journal of Building Engineering*, 86, 108900. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108900>
- Zender-Świercz, E. (2020). Microclimate in rooms equipped with decentralized façade ventilation device. *Atmosphere*, 11(8), 800. <https://doi.org/10.3390/atmos11080800>
- Zender-Świercz, E. (2021a). Assessment of indoor air parameters in building equipped with decentralised façade ventilation device. *Energies*, 14(4), 1176. <https://doi.org/10.3390/en14041176>
- Zender-Świercz, E. (2021b). Review of IAQ in premises equipped with façade-ventilation systems. *Atmosphere*, 12(2), 220. <https://doi.org/10.3390/atmos12020220>
- Zender-Świercz, E., Telejko, M., Galiszewska, B., & Starzomska, M. (2022). Assessment of thermal comfort in rooms equipped with a decentralised façade ventilation unit. *Energies*, 15(19), 7032. <https://doi.org/10.3390/en15197032>
- Zhou, B., Li, Z., Yang, B., Li, X., Wang, F., & Wei, S. (2023). Thermal and draught perception in fluctuating stratified thermal environments with intermittent impinging jet ventilation. *Building and Environment*, 229, 109934. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109934>

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.



**22-23 PAŹDZIERNIKA 2026, TRESNA
HOTEL LAKE VIEW ŻYWIEC RESORT & SPA**

<https://pzits.krakow.pl/konferencja-2026/>



**CIEPŁOWNICTWO I OGRZEWNICTWO
– DROGA DO DEKARBONIZACJI**



**WENTYLACJA I KLIMATYZACJA
– KOMFORT, ZDROWIE**



**ŚRODOWISKO
I GOSPODARKA OBIEGU ZAMKNIĘTEGO**

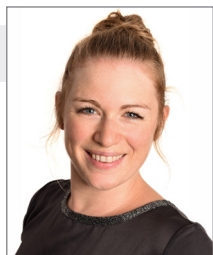


NOWOCZESNE ZARZĄDZANIE



Wpływ sposobu użytkowania krytej pływalni na jakość powietrza w hali basenowej – studium przypadku

The impact of indoor swimming pool usage patterns on air quality in the pool hall – a case study



Dr hab. inż. Katarzyna Ratajczak, prof. PP

ORCID ID: [0000-0002-6950-8262](https://orcid.org/0000-0002-6950-8262)
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Poznańska
katarzyna.m.ratajczak@put.poznan.pl



Mgr inż. Małgorzata Kieszowska-Krzewicka

ORCID ID: [0009-0002-7763-3327](https://orcid.org/0009-0002-7763-3327)
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Poznańska

Słowa kluczowe: basen, wentylacja, jakość powietrza w pomieszczeniach

Streszczenie

Kryte pływalnie są obiektami o specyficznych warunkach środowiska wewnętrznego, wynikających z podwyższonej temperatury i wilgotności powietrza oraz obecności lotnych ubocznych produktów dezynfekcji wody basenowej. Celem badań była ocena wpływu sposobu użytkowania krytej pływalni na wybrane parametry powietrza w hali basenowej. Badania przeprowadzono w rzeczywistym obiekcie basenowym w okresie sześciu dni. W analizowanym okresie wyróżniono trzy tryby użytkowania obiektu: normalny, nocny oraz intensywny, obejmujący zawody pływackie. W sposób ciągły rejestrowano temperaturę i wilgotność względną powietrza oraz stężenia dwutlenku węgla (CO_2) i trichloraminy (NCl_3), a podczas zawodów dodatkowo liczbę osób przebywających w hali. Temperatura powietrza pozostawała stosunkowo stabilna we wszystkich analizowanych trybach. W trybie nocnym stwierdzono najwyższą średnią wilgotność względną oraz najniższe stężenia NCl_3 , które przez część okresu były zbliżone do zera. Podczas normalnego i intensywnego użytkowania niecki stężenia NCl_3 były wyraźnie wyższe i charakteryzowały się dużą zmiennością. Najwyższe średnie stężenie CO_2 odnotowano w trybie intensywnego użytkowania, kiedy w hali przebywała największa liczba osób. Wyniki wskazują, że sposób użytkowania obiektu jest związany ze zmianami parametrów powietrza, szczególnie stężeń CO_2 i NCl_3 . Stężenie CO_2 odzwierciedla przede wszystkim całkowite obciążenie hali użytkownikami, natomiast stężenie NCl_3 było silniej związane z użytkowaniem niecki i aktywnością pływaków. Uzyskane wyniki mogą być przydatne przy opracowywaniu sposobów sterowania wentylacją uwzględniających zmienne obciążenie pływalni.

Keywords: swimming pool, ventilation, indoor air quality

Abstract

Indoor swimming pools are characterized by specific indoor environmental conditions resulting from elevated air temperature and humidity, as well as the presence of volatile disinfection by-products formed in pool water. The aim of the study was to assess the impact of the mode of use of an indoor swimming pool on selected air parameters in the pool. The study was conducted in an operating indoor swimming pool facility over a six-day period. Three modes of facility use were distinguished: normal use, night-time operation, and intensive use, including swimming competitions. Air temperature, relative humidity, carbon dioxide (CO_2) concentration, and trichloramine (NCl_3) concentration were monitored continuously, and during the competitions the number of occupants in the pool was additionally recorded. Air temperature remained relatively stable in all analysed operating modes. During the night-time mode, the highest mean relative humidity and the lowest NCl_3 concentrations were observed, with values close to zero during part of this period. During normal and intensive use of the pool, NCl_3 concentrations were clearly higher and showed considerable variability. The highest mean CO_2 concentration was recorded during intensive use, when the number of occupants in the pool was also the highest. The results indicate that the mode of facility use is associated with changes in air parameters, particularly CO_2 and NCl_3 concentrations. CO_2 concentration primarily reflects the total occupancy load of the pool, whereas NCl_3 concentration was more strongly associated with pool use and swimmers' activity. The results may be useful in developing ventilation control strategies that account for variable occupancy and use of indoor swimming pool facilities.

Wstęp

Ludzie są narażeni zarówno na zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego, jak i na zanieczyszczenia emitowane wewnątrz pomieszczeń (Lovrić i in., 2025). Osoby żyjące we współczesnych społeczeństwach spędzają nawet 90% czasu w zamkniętych pomieszczeniach (Wu i in., 2007). Zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza wewnątrz-

nego w przestrzeniach zamkniętych jest zatem istotne dla zdrowia i komfortu użytkowników (Quang i in., 2025). Dotyczy to również obiektów sportowych, w których znaczna liczba osób podejmuje regularną aktywność fizyczną. Według danych Eurobarometru wynika, że 38% respondentów podejmuje aktywność fizyczną co najmniej raz w tygodniu, natomiast 6% pięć razy w tygodniu lub częściej. Najwyższy odsetek osób regularnie uprawiających sport

(co najmniej raz w tygodniu) odnotowano w Finlandii (71%), Luksemburgu (63%) i Holandii (60%) (European Commission, 2022).

Obiekty sportowe stanowią więc istotną kategorię przestrzeni, w których użytkownicy mogą spędzać znaczną część czasu przeznaczoną na aktywność fizyczną. Szczególnym rodzajem takich obiektów są kryte pływalnie. Na świecie istnieje około 13 milionów basenów, z czego około 4,4 miliona znajduje się w Europie (Mplougoura i in., 2025). Pływanie jest jedną z najpopularniejszych form aktywności fizycznej (Ward, 2017), a kryte baseny umożliwiają całoroczne uprawianie pływania niezależnie od warunków atmosferycznych.

Środowisko krytej pływalni obejmuje dwa wzajemnie powiązane obszary: środowisko wodne, czyli wodę w nieckach basenowych, oraz środowisko powietrzne hali basenowej. W Polsce wymagania jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach określono w Obwieszczeniu Ministra Zdrowia z dnia 10 maja 2022 r. (Dz.U. 2022 poz. 1230), które wskazuje dopuszczalne wartości wybranych parametrów oraz zasady monitorowania jakości wody. Właściwy państwowy inspektor sanitarny dokonuje zbiorczej rocznej oceny, czy woda na pływalni odpowiada wymaganiom. Nie rzadziej niż co 4 godziny, w czasie funkcjonowania pływalni, należy rejestrować w wodzie wartość pH, potencjał redox, stężenie chloru wolnego i temperaturę, natomiast nie rzadziej niż raz na dobę należy rejestrować chlor związany. Dodatkowe wymagania fizykochemiczne wody w nieckach basenowych obejmują również okresowe oznaczanie m.in. mętności, chloroformu oraz sumy trihalometanów (THM), do których należą oznaczanie mętności, chloroformu i sumy trihalometanów (THM), do których zalicza się trichlorometan, bromodichlorometan, dibromochlorometan i tribromometan. Oznacza to, że jakość wody basenowej podlega systematycznej kontroli. Odmienne przedstawia się natomiast kwestia jakości powietrza w hali basenowej, dla której wymagania nie są równie jednoznacznie sprecyzowane.

W odniesieniu do warunków termiczno-wilgotnościowych przyjmuje się, że temperatura powietrza powinna być wyższa od temperatury wody o około 2 K (co zazwyczaj oznacza zakres od 28 do 32°C dla basenów rekreacyjnych i sportowych), a wilgotność względna mieści się w przedziale 50–60%. W Europie, wobec braku ujednoliconych przepisów wymagania dotyczące parametrów powietrza są przyjmowane na poziomie krajowym lub lokalnym (Gabriel i in., 2019). W Polsce parametry powietrza takie jak stężenie CO₂, stężenie chloraminy lub THM nie są rutynowo monitorowane w powietrzu na hali basenowej. Tymczasem ocena warunków w tego typu obiektach nie powinna ograniczać się wyłącznie do temperatury i wilgotności powietrza. Jakość powietrza w obiektach basenowych jest związana z powstawaniem i obecnością lotnych ubocznych produktów dezynfekcji (DBP, Disinfection By-Products), a na ich powstawanie i emisję mogą wpływać m.in. liczba kąpielących oraz zachowania higieniczne użytkowników (Lee i in., 2023). Hale basenowe są uznawane za środowisko agresywne, a występujące w nich zanieczyszczenia mogą oddziaływać na zdrowie użytkowników i pracowników. Część autorów podkreśla związek ekspozycji na chloraminy z występowaniem niekorzystnych skutków zdrowotnych m.in. podrażnienia oczu czy górnych dróg od-

dechowych (Chowdhury i in., 2014); (Lévesque i in., 2015); (Blatchley i in., 2026). Jednym z istotnych zanieczyszczeń występujących w krytych halach basenowych jest trichloramina (NCl₃), która jest lotnym związkiem o wyczuwalnym zapachu (Schmalz i in., 2011). Trichloramina jest przenoszona z fazy ciekłej do fazy gazowej w wyniku emisji z powierzchni wody basenowej (Weng i in., 2011). Znaczenie tego zanieczyszczenia potwierdzają również badania epidemiologiczne prowadzone wśród osób zawodowo przebywających w halach basenowych. Badania pracowników krytych pływalni wykazują, że szczególnie narażeni na działanie trichloraminy są ratownicy i trenerzy, którzy częściej zgłaszali objawy kataru, utraty głosu czy przeziębienia (Fantuzzi i in., 2013).

Stężenie zanieczyszczeń w powietrzu hali basenowej jest jednak wynikiem nie tylko procesów zachodzących w wodzie i intensywności użytkowania niecki, lecz także sposobu wentylacji obiektu. Ograniczenie stężenia trichloraminy w powietrzu zależy nie tylko od procesów zachodzących w wodzie basenowej, lecz także od działania systemu wentylacji mechanicznej (Proulx & Hallé, 2022). System wentylacji mechanicznej jest jednym z kluczowych elementów wyposażenia technicznego krytych basenów, odpowiadającym m.in. za odprowadzenie zysków ciepła i wilgoci w celu utrzymania wymaganych warunków środowiska wewnętrznego (Ciuman & Lipska, 2018). Organizacja nawiewu i wywiewu powietrza w hali basenowej może odbywać się na kilka sposobów, przy czym jednym z często stosowanych rozwiązań jest wentylacja mieszająca z przepływem powietrza od dołu do góry. W tego typu systemach spotyka się różne lokalizacje elementów nawiewnych i wywiewnych. Jednym z rozwiązań są nawiewniki szczelinowe umieszczone w podłodze po obu stronach hali przy przeszkleń, przy jednoczesnym usuwaniu powietrza przez wywiewniki zlokalizowane centralnie nad nieką pod sufitem (Ciuman & Kaczmarczyk, 2021). W przypadku obiektów o wysokiej efektywności energetycznej możliwe jest obniżenie krotności wymian powietrza, a także ograniczenie lub wyeliminowanie recyrkulacji powietrza, bez jednoczesnego zwiększania ryzyka kondensacji (Rojas & Grove-Smith, 2018). Należy przy tym podkreślić, że brak systemu wentylacji lub jego niewłaściwe działanie w krytej pływalni może powodować m.in. skraplanie pary wodnej, sprzyjające rozwojowi grzybów i pleśni (Ciuman & Lipska, 2018). Prawidłowa kontrola temperatury i wilgotności nie oznacza jednak automatycznie zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza pod względem obecności zanieczyszczeń chemicznych. Konwencjonalne systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji stosowane w krytych basenach mogą nie być wystarczająco skuteczne w ograniczaniu krótkotrwałych wzrostów stężenia NCl₃ (Blatchley i in., 2026).

Warunki w hali basenowej mogą przy tym ulegać istotnym zmianom w zależności od sposobu użytkowania obiektu. Szczególnym przypadkiem są okresy intensywnego użytkowania, takie jak zawody pływackie, podczas których jednocześnie wzrasta liczba osób przebywających w hali oraz aktywność pływaków w nieckach. Może to prowadzić do zmian zarówno parametrów związanych z obecnością użytkowników, takich jak stężenie CO₂, jak i stężenia zanieczyszczeń charakterystycznych dla środowiska basenowego, w tym trichloraminy. W związku

z powyższym celem niniejszej pracy jest ocena wpływu sposobu użytkowania krytej pływalni na wybrane parametry jakości powietrza w hali basenowej. Analizie poddano trzy charakterystyczne tryby funkcjonowania obiektu: normalne użytkowanie, okres nocny bez użytkowników oraz intensywne użytkowanie podczas zawodów pływackich. Oceniono zmienność temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz stężenia CO_2 i NCl_3 , ze szczególnym uwzględnieniem różnic pomiędzy analizowanymi trybami użytkowania.

Materiały i metody

Badania przeprowadzono w krytej pływalni wyposażonej w system wentylacji nawiewno-wywiewnej obsługujący halę basenową i trybuny. W obiekcie zastosowano cztery centrale wentylacyjne. Maksymalna wydajność powietrza pojedynczej centrali wynosi $25\,000\text{ m}^3/\text{h}$ (łącznie $100\,000\text{ m}^3/\text{h}$). Dwie centrale obsługują nawiewy podłogowe na hali basenowej, natomiast pozostałe dwie obsługiwały strefę trybun. Temperatura wody wynosiła 28°C , stężenie chloru wolnego i związanego utrzymywano na poziomie zgodnym z obowiązującymi wymaganiami dotyczącymi jakości wody basenowej.

Studium przypadku dotyczyło obiektu składającego się z dwóch nieek:

- basenu sportowego - o wymiarach $51,5\text{ m} \times 26\text{ m} \times 2,5\text{ m}$, wyposażonego w 10 torów pływackich. W zależności od potrzeb basen może zostać podzielony za pomocą ruchomego pomostu na dwa odcinki po 25 metrów.
- basenu z ruchomą podłogą – o wymiarach $30\text{ m} \times 25\text{ m}$, z możliwością regulacji głębokości w zakresie od 0 do 5 m. Ruchome dno może być regulowane niezależnie w dwóch częściach niecki.

Od 22 do 27 listopada 2024, w okresie zimowym przy użyciu przenośnego urządzenia NEMO TC (Ethera, France) umożliwiającego ciągłą rejestrację wybranych parametrów jakości powietrza. Pomiary wykonywano w interwałach dziesięciominutowych i obejmowały one: temperaturę, ($^\circ\text{C}$), wilgotność względną (%), stężenie dwutlenku węgla (CO_2 , ppm) i stężenie trichloraminy (NCl_3 , $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Lokalizacja punktu pomiarowego została dobrana tak, aby rejestrowane wartości odzwierciedlały warunki w strefie przebywania użytkowników hali.

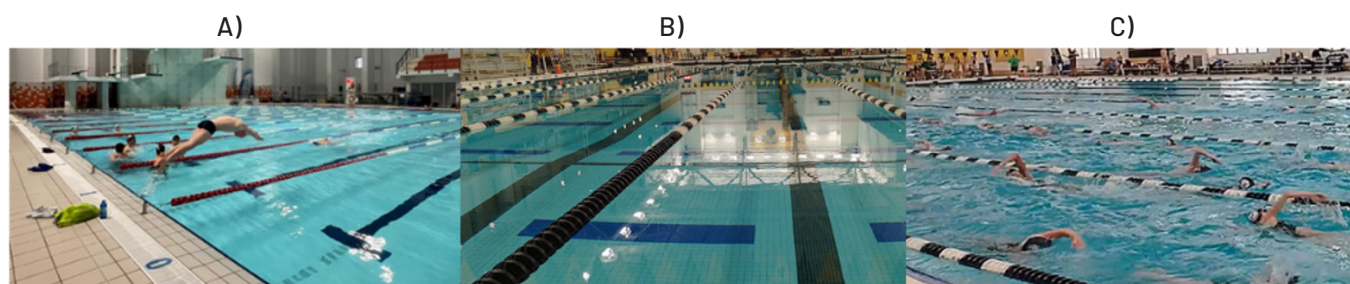
W czasie zawodów dodatkowo rejestrowano liczbę osób przebywających w hali basenowej. W okresie badania wyróżniano trzy sposoby użytkowania, które przedstawiono na fotografiach zamieszczonych na Rysunku 1:

- **tryb normalny (A)** – w czasie którego, odbywają się normalne zajęcia lub pływanie rekreacyjne (w zależności od rodzaju i przeznaczenia basenu);
- **tryb nocny (B)** – obejmuje godziny zamknięcia basenu. W tym okresie powierzchnia wody pozostawała niewzbudzona, co ograniczało procesy związane z aktywnym użytkowaniem niecki;
- **tryb intensywny (C)** (w tym zawody pływackie) – obejmujący okresy zawodów pływackich i towarzyszących im rozgrzewek, charakteryzujące się zwiększoną liczbą użytkowników oraz dużą intensywnością aktywności w wodzie. Podczas rozgrzewek jednocześnie w wodzie mogło przebywać do około 200 pływaków, natomiast

Tabela 1. Okresy funkcjonowania basenu. Źródło: opracowanie własne

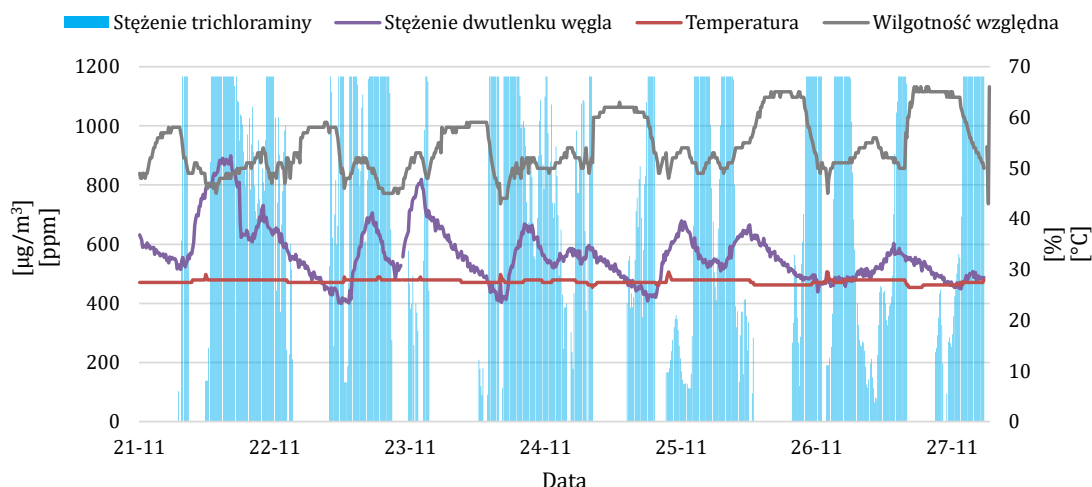
Table 1. Periods of pool operation. Source: authors' own study

Data	Godziny	Tryb	Okres
22.11	00:00–05:30	Nocny	B1
	05:31–07:59	Normalny	A1
	08:00–13:00	Intensywny (zawody)	C1
	13:01–22:59	Normalny	A2
	23:00–23:59	Nocny	B2
23.11	00:00–05:30		B3
	05:31–07:59	Normalny	A3
	08:00–19:00	Intensywny (zawody)	C2
	19:01–23:59	Nocny	B4
24.11	00:00–05:30		B5
	05:31–07:59	Normalny	A4
	08:00–12:00	Intensywny (zawody)	C3
	12:01–22:59	Normalny	A5
	23:00–23:59	Nocny	B6
25.11	00:00–05:30		B7
	05:31–07:59	Normalny	A6
	08:00–12:00	Intensywny (zawody)	C4
	12:01–22:59	Normalny	A7
	23:00–23:59	Nocny	B8
26.11	00:00–05:30		B9
	05:31–22:59	Normalny	A8
	23:00–23:59	Nocny	B10
27.11	00:00–05:30		B11
	05:31–10:00	Normalny	A9



Rysunek 1. Przykładowy wygląd hali basenowej w trzech analizowanych trybach użytkowania: normalny (A), nocny (B) oraz intensywny (C). Źródło: opracowanie własne

Figure 1. Example view of the swimming pool hall during the three analyzed operating modes: normal (A), night (B), and intensive use (C). Source: authors' own study



Rysunek 2. Przebieg zmienności wybranych parametrów powietrza w hali basenowej: stężenia CO_2 (ppm), stężenia NCl_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$) oraz wilgotności względnej (%). Źródło: opracowanie własne
Figure 2. Time variation of selected air parameters in the indoor swimming pool hall: CO_2 concentration (ppm), NCl_3 concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), air temperature ($^{\circ}\text{C}$), and relative humidity (%). Source: authors' own study

w trakcie właściwych konkurencji jednocześnie startowało od 8 do 10 zawodników. W hali przebywali ponadto zawodnicy oczekujący na start, sędziowie, trenerzy oraz kibice. Powodowało to okresowe znaczne zwiększenie całkowitej liczby użytkowników hali w porównaniu z normalnym trybem pracy obiektu.

Okres zawodów obejmował cztery analizowane przedziały intensywnego użytkowania, oznaczone jako C1–C4. Każdy z nich obejmował okres zawodów wraz z rozgrzewką poprzedzającą rozpoczęcie konkurencji. Szczegółowy podział całego okresu pomiarowego na tryby A, B i C przedstawiono w Tabeli 1.

Wyniki

W okresie od 22 do 27 listopada 2024 analizowano zmienność temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz stężeń CO_2 i NCl_3 w trzech trybach użytkowania hali basenowej: normalnym (A), nocnym (B) oraz intensywnym (C). Przebieg zmian analizowanych parametrów w poszczególnych trybach przedstawiono na kolejnych rysunkach. Wyniki dla całego okresu pomiarowego przedstawiono na Rysunku 2.

W całym okresie pomiarowym temperatura powietrza mieściła się w zakresie 26,5–29,5 $^{\circ}\text{C}$ i charakteryzowała się stosunkowo niewielką zmiennością. Wilgotność względna wykazywała większe różnice pomiędzy analizowanymi trybami użytkowania, a najwyższe wartości rejestrowano w okresach nocnych, kiedy wartość maksymalna osiągnęła 66%. Stężenie CO_2 w całym okresie badania mieściło się w zakresie 400–898 ppm, przy średniej około 564 ppm. Największą zmiennością spośród analizowanych parametrów charakteryzowało się stężenie trichloraminy, którego rejestrowane wartości mieściły się w zakresie od 0 do 1167,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W interpretacji wyników NCl_3 należy jednak uwzględnić górną granicę zakresu pomiarowego zastosowanego urządzenia, która wynosiła 1250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

W trybie nocnym w hali nie przebywali użytkownicy. Największe obciążenie obiektu odnotowano 22 listopada, kiedy maksymalna liczba osób przebywających jednocześnie w hali wyniosła 625. Wysokie wartości występowały

również 23 listopada (maksymalnie 422 osoby), 25 listopada (410 osób) oraz 24 listopada (350 osób). Wyraźnie mniejsze obciążenie hali odnotowano 26 listopada, kiedy maksymalnie przebywało w niej 67 osób. Najwięcej użytkowników przypadało zatem na okresy intensywnego użytkowania obiektu związane z zawodami pływackimi. Jednocześnie w tych okresach obserwowano najwyższe średnie stężenie CO_2 spośród trzech analizowanych trybów.

Tryb normalnego użytkowania A

Na Rysunku 3 zaprezentowano dane dla okresów przypisanych do trybu normalnego, oznaczonych jako A1–A9.

Średnia temperatura powietrza w tym trybie wyniosła 27,8 $^{\circ}\text{C}$, a średnie wartości dla poszczególnych okresów A1–A9 mieściły się w zakresie od 27,4 $^{\circ}\text{C}$ do 28,0 $^{\circ}\text{C}$, co wskazuje na niewielką zmienność warunków termicznych. Średnia wilgotność względna wyniosła 52,7%, przy średnich dla poszczególnych okresów od 48,6% (A4) do 56,8% (A9).

Średnie stężenie CO_2 dla całego trybu normalnego wyniosło 551 ppm. Najniższą średnią wartość odnotowano w okresie A3 (431 ppm), natomiast najwyższą w A2 (688 ppm). Niższe wartości obserwowano przede wszystkim w godzinach porannych.

Średnie stężenie trichloraminy wyniosło 754,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, przy średnich dla poszczególnych okresów od 474,9 do 1088,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najniższe wartości średnie obserwowano w okresach A1, A3 i A5, natomiast najwyższą średnią wartość odnotowano w A4. W przeciwieństwie do temperatury i CO_2 , stężenie NCl_3 wykazywało więc znaczną zmienność również w warunkach normalnego użytkowania obiektu.

Tryb nocny

Rysunek 4 przedstawia okresy przypisane do trybu nocnego, oznaczone jako B1–B11.

Średnia temperatura powietrza wyniosła 27,3 $^{\circ}\text{C}$, przy zakresie od 26,5 do 28,0 $^{\circ}\text{C}$. Podobnie jak w trybie normalnym temperatura pozostawała stosunkowo stabilna.

Średnia wilgotność względna wyniosła 60,1%, a więc była wyższa niż w pozostałych analizowanych trybach. Jej wartości mieściły się w zakresie 48–66%. W kolejnych dniach obserwowano stopniowy wzrost wilgot-

ności względnej w okresach nocnych: od 51,2–54,1% w B1–B2, przez około 57–58% w B3–B4 i około 61,8% w B7–B8, do wartości przekraczających 64% w B9–B11. Najwyższą średnią wartość odnotowano w okresie B11 (64,9%).

Średnie stężenie CO_2 wyniosło 526 ppm. Najniższą średnią wartość odnotowano w B7 (483 ppm), a najwyższą w B4 (613 ppm); w pozostałych okresach wartości mieściły się przeważnie w zakresie około 490–575 ppm.

Najbardziej charakterystyczną cechą trybu nocnego były niskie stężenia NCl_3 . Średnie stężenie dla całego trybu wyniosło około $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w kilku okresach nocnych (B1, B4, B6, B8 i B10) rejestrowano wartości równe $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Stężenia NCl_3 były zatem wyraźnie niższe niż w okresach, w których niecki były użytkowane przez pływaków.

Tryb intensywnego użytkowania

Rysunek 5 przedstawia dane dla okresów intensywnego użytkowania, oznaczonych jako C1–C4.

Średnia temperatura powietrza dla całego trybu wyniosła $27,9^\circ\text{C}$, a średnie dla poszczególnych okresów mieściły się w zakresie od $27,6^\circ\text{C}$ (C3) do $28,1^\circ\text{C}$ (C1). Średnia wilgotność względna wyniosła 49,2%. W okresach C1–C3 wartości były zbliżone i wynosiły odpowiednio 48,1%, 48,8% i 49,0%, natomiast w C4 wzrosły do 52%.

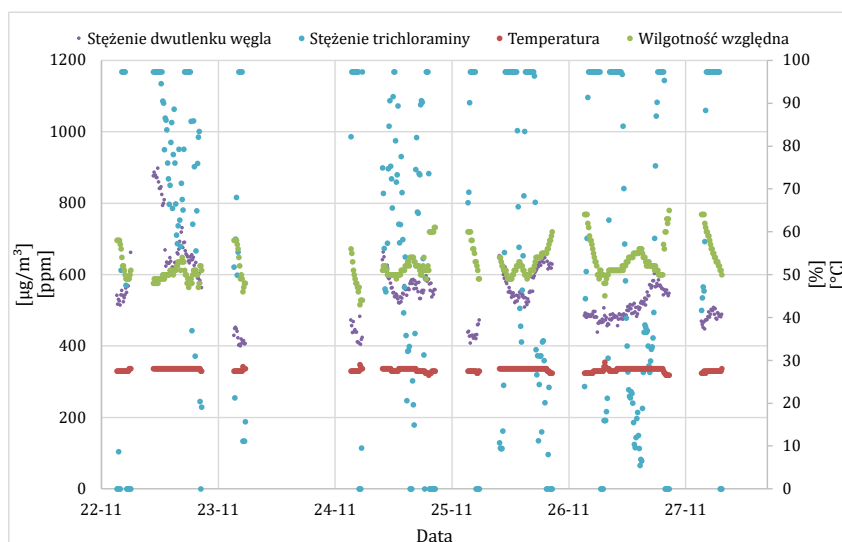
W trybie intensywnego użytkowania najwyższe spośród trzech analizowanych trybów było średnie stężenie CO_2 , które wyniosło 638 ppm. Najwyższą średnią wartość odnotowano w C1 (782 ppm), natomiast w C2, C3 i C4 wynosiła ona odpowiednio 608 ppm, 569 ppm i 605 ppm. W okresach zawodów obserwowano jednocześnie największą liczbę osób przebywających w hali, co wskazuje na zbieżność zmian frekwencji i stężenia CO_2 .

Średnie stężenie trichloraminy dla całego trybu intensywnego wyniosło $677 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W okresach C1–C4 średnie wartości wynosiły odpowiednio 557; 725; 1054 i $224 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najwyższą średnią wartość odnotowano zatem w okresie C3, natomiast najniższą w C4. Duże różnice pomiędzy kolejnymi okresami zawodów wskazują, że samo zakwalifikowanie obiektu do trybu intensywnego nie wyjaśnia w pełni zmienności stężenia NCl_3 .

Porównanie trybów użytkowania

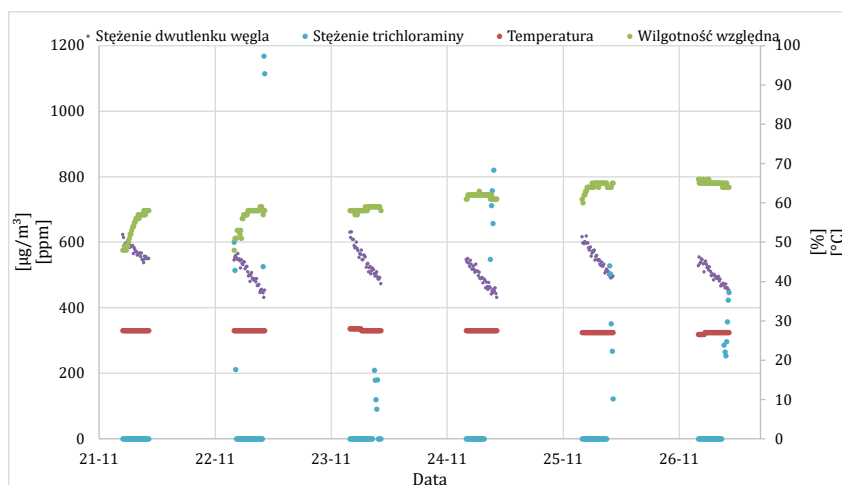
Porównanie średnich wartości dla trzech analizowanych trybów wskazuje na odmienne zachowanie poszczególnych parametrów jakości powietrza (Tabela 2).

Temperatura była zbliżona we wszystkich trybach i wynosiła średnio $27,8^\circ\text{C}$ w trybie normalnym, $27,3^\circ\text{C}$ w trybie nocnym oraz $27,9^\circ\text{C}$ w trybie intensywnego użytkowania. Większe różnice obserwowano dla wilgotności względnej, której najwyższą średnią wartość stwierdzono w trybie nocnym (60,1%), wobec 52,7% w trybie normalnym



Rysunek 3. Przebieg zmienności wybranych parametrów powietrza w hali basenowej podczas normalnego trybu użytkowania (A): stężenia CO_2 (ppm), stężenia NCl_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), temperatury powietrza ($^\circ\text{C}$) oraz wilgotności względnej (%). Źródło: opracowanie własne

Figure 3. Variation of selected air parameters in the swimming pool hall during normal use (A): CO_2 concentration (ppm), NCl_3 concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), air temperature ($^\circ\text{C}$), and relative humidity (%). Source: authors' own study



Rysunek 4. Przebieg zmienności wybranych parametrów powietrza w hali basenowej podczas trybu nocnego (B): stężenia CO_2 (ppm), stężenia NCl_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), temperatury powietrza ($^\circ\text{C}$) oraz wilgotności względnej (%). Źródło: opracowanie własne

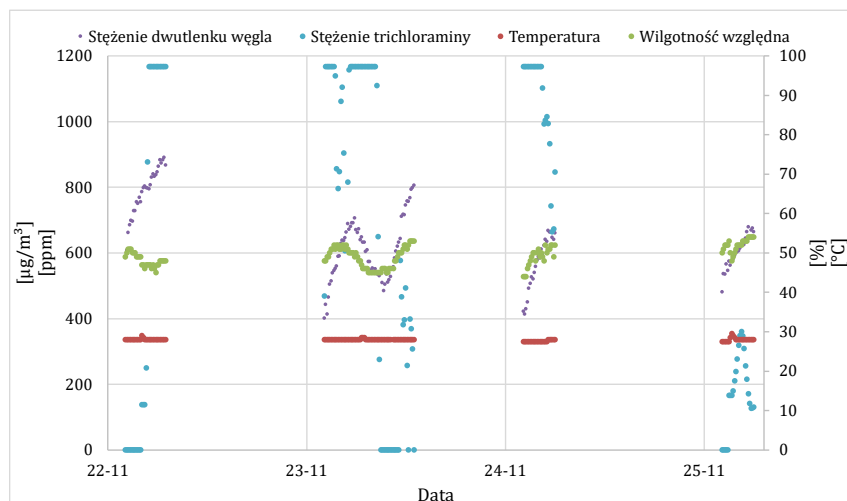
Figure 4. Variation of selected air parameters in the swimming pool hall during night operating mode (B): CO_2 concentration (ppm), NCl_3 concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), air temperature ($^\circ\text{C}$), and relative humidity (%). Source: authors' own study

i 49,2% w trybie intensywnym.

Średnie stężenie CO_2 było najwyższe w trybie intensywnym (638 ppm), niższe w trybie normalnym (551 ppm) i najniższe w trybie nocnym (526 ppm). Odmienne przebieg obserwowano dla NCl_3 . Najniższe średnie stężenie występowało zdecydowanie w trybie nocnym (około $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$), natomiast wysokie i silnie zmienne wartości występowały zarówno podczas normalnego, jak i intensywnego użytkowania niecek.

Dyskusja

Uzyskane wyniki wskazują, że sposób użytkowania hali basenowej był związany ze zmianami analizowanych parametrów powietrza. Największą dynamikę zmian obserwowano szczególnie w przypadku stężenia dwutlenku węgla i trichloraminy. Z kolei znacznie mniejsze różnice



Rysunek 5. Przebieg zmienności wybranych parametrów powietrza w hali basenowej podczas trybu intensywnego (C): stężenia CO₂ (ppm), stężenia NCl₃ (µg/m³), temperatury powietrza (°C) oraz wilgotności względnej (%). Źródło: opracowanie własne

Figure 5. Variation of selected air parameters in the swimming pool hall during intensive operating mode (C): CO₂ concentration (ppm), NCl₃ concentration (µg/m³), air temperature (°C), and relative humidity (%). Source: authors' own study

Tabela 2. Porównanie średnich wartości wybranych parametrów jakości powietrza w zależności od trybu użytkowania hali basenowej. Źródło: opracowanie własne
Table 2. Comparison of the average values of selected air quality parameters depending on the operating mode of the indoor swimming pool hall. Source: authors' own study

Parametr	Normalny (A)	Nocny (B)	Intensywne użytkowanie(C)
Temperatura, °C	27,8	27,3	27,9
Wilgotność względna, %	52,7	60,1	49,2
Stężenie CO ₂ , ppm	551	526	638
Stężenie NCl ₃ , µg/m ³	754	59	677

w wartościach parametrów powietrza w różnych trybach użytkowania obserwowano w przypadku temperatury powietrza. Wilgotność względna wykazywała umiarkowane zróżnicowanie. Najwyższą średnią wartość wilgotności względnej stwierdzono w trybie nocnym – 60%, natomiast w trybie normalnym i intensywnym wyniosła ona odpowiednio 52,7% i 49,2%. Wyższa wilgotność względna w trybie nocnym, pomimo braku użytkowników w hali, wskazuje, że parametr ten nie był bezpośrednio związany z liczbą osób przebywających w obiekcie. Zmienność wilgotności względnej mogła wynikać m.in. ze sposobu pracy instalacji wentylacyjnej, ponieważ wilgotność względna jest jednym z parametrów kontrolowanych przez system wentylacji hali basenowej. Należy jednak podkreślić, że nie rejestrowano na bieżąco chwilowego strumienia powietrza nawiewanego ani rzeczywistej krotności wymian powietrza w hali basenowej, dlatego nie można jednoznacznie określić przyczyn obserwowanych zmian wilgotności względnej.

Największe różnice pomiędzy wartościami parametrów powietrza dotyczyły stężenia trichloraminy. Obecność trichloraminy w powietrzu hal basenowych jest silnie związana z użytkowaniem niecki basenowej, co znajduje odzwierciedlenie w wynikach. W trybie nocnym przez większość czasu wartości stężenia były zbliżone do 0 µg/m³. Brak pływaków ograniczał wzburzanie powierzchni wody, co ograniczało przenoszenie NCl₃ z fazy ciekłej do gazowej.

Podczas zawodów obserwowano okresowe wzrosty stężenia trichloraminy, czemu towarzyszyły zwiększona liczba pływaków oraz większa intensywność aktywności w wodzie, szczególnie podczas rozgrzewki. Podobne zależności zaobserwowali inni badacze (Weng i in., 2011), którzy przeanalizowali zależność pomiędzy obciążeniem niecki basenowej, a stężeniem NCl₃. Weng i in. stwierdzili, że im więcej osób korzystało z basenu, tym większe było stężenie NCl₃ w powietrzu, ale podkreślili także, że charakter aktywności pływaków wpływał na jakość powietrza. W niniejszym badaniu nie zaobserwowano jednak proporcjonalnego wzrostu stężenia NCl₃ wraz ze wzrostem całkowitej liczby osób przebywających w hali. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że podczas zawodów znaczna część osób przebywała na trybunach, a nie bezpośrednio w niecce. W nocy wartości stężenia trichloraminy były zbliżone do zera przy braku użytkowników w wodzie.

Temperatura powietrza w całym okresie badań mieściła się w zakresie 26,5–29,5°C, a wartości średnie w każdym trybie były do siebie zbliżone. Wskazuje to, że zmiana sposobu użytkowania hali i pory dnia wiązała się jedynie z niewielkimi zmianami temperatury powietrza. Może to świadczyć o skutecznym utrzymywaniu warunków temperaturowych przez instalację obsługującą halę basenową.

Bardziej widoczny związek z użytkowaniem obiektu stwierdzono w przypadku stężenia dwutlenku węgla. Średnie stężenie wyniosło około 526 ppm w trybie nocnym, 551 ppm podczas trybu normalnego i 638 ppm w trybie intensywnego użytkowania. Najwyższą wartość średnią uzyskano w okresie, w którym hala była najbardziej obciążona. Tendencja ta jest zgodna z innymi badaniami (Nitter & Hirsch Svendsen, 2020), w których wykazano korelacje pomiędzy stężeniem CO₂ i liczbą użytkowników ($\rho = 0,82$, $p = 0,01$). Nitter i Hirsch Svendsen wykazali również zależność pomiędzy stężeniem dwutlenku węgla a stężeniem trichloraminy, wskazując możliwość wykorzystywania pomiarów dwutlenku węgla do dostosowania strumienia powietrza do aktualnego obciążenia obiektu. Podkreślili, że wyższe stężenia zarówno CO₂, jak i NCl₃, występowały po południu, gdy w basenie było więcej pływaków.

W badaniu obejmującym 20 krytych pływalni w Portugalii (Gabriel i in., 2019) przedstawiono podobne obserwacje. Autorzy wykorzystali stężenie CO₂ jako wskaźnik warunków wentylacyjnych. Dodatkowo wykazali, że wartości tego parametru zwiększały się w okresie największej frekwencji. Dla wszystkich badanych basenów, średnia zmierzona stężenia CO₂ nie przekroczyła 1000 ppm, a w niniejszym badaniu maksymalne stężenie dwutlenku węgla wyniosło 898 ppm. Pomimo znacznego okresowego obciążenia hali nie obserwowano zatem wysokich wartości stężenia CO₂. Może to wskazywać na skuteczne ograniczanie jego akumulacji przez system wentylacji. Ma to prawdopodobnie związek z dużą

krotnością wymian powietrza w hali basenowej, gdyż wentylacja basenów projektowana jest m.in. w oparciu o kryterium usuwania zysków wilgoci wynikających z parowania. Z uwagi na znaczne parowanie wody w tych obiektach strumień powietrza doprowadzany do hali basenowej jest zazwyczaj duży i obejmuje udział powietrza zewnętrznego o stosunkowo niskim stężeniu CO₂. Może to ograniczać ryzyko nadmiernego wzrostu stężenia tego parametru.

Uzyskane wyniki wskazują, że instalacja wentylacji w analizowanym basenie umożliwiała utrzymanie względnie stabilnych warunków temperaturowych pomimo zmian obciążenia obiektu. Największą zmiennością charakteryzowały się stężenia trichloraminy i dwutlenku węgla. Dwutlenek węgla wykazywał bardziej bezpośredni związek z całkowitą liczbą osób przebywających w hali, co jest zgodne z jego emisją metaboliczną przez użytkowników, natomiast poziom stężenia trichloraminy był silniej związany z użytkowaniem niecki i aktywnością pływaków. Wskazuje to, że przy dostosowywaniu pracy instalacji wentylacyjnej do aktualnego obciążenia obiektu warto uwzględniać nie tylko całkowitą liczbę użytkowników, lecz również sposób użytkowania samej niecki. Szczególne znaczenie może to mieć przy okresowym występowaniu trybu intensywnego użytkowania obiektu. W badaniu z 2015 roku (Lévesque i in., 2015) stwierdzono także zmienność stężenia trichloraminy w zależności od pory dnia. Średnie stężenie wyniosło 350 µg/m³ rano, 360 µg/m³ po południu i 510 µg/m³ wieczorem. Autorzy nie wyróżniali odrębnych trybów użytkowania, jednak stwierdzili, że prawdopodobnie wyższe wartości wieczorne były związane ze wzrostem aktywności w basenie w ciągu dnia.

Należy podkreślić, że uboczne produkty dezynfekcji (w tym trichloramina) mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie człowieka (Chowdhury i in., 2014); (Lévesque i in., 2015); (Fantuzzi i in., 2013); (Blatchley i in., 2026). Z tego względu istotne znaczenie może mieć możliwość wykorzystania parametrów środowiskowych do pośredniej oceny jakości powietrza w halach basenowych, co znajduje potwierdzenie w literaturze (Ahmadpour i in., 2023). Wykazano, że łatwo mierzalne parametry, takie jak stężenie dwutlenku węgla i wilgotność względna, mogą stanowić użyteczne wskaźniki zmian stężeń produktów ubocznych dezynfekcji w powietrzu basenowym. Może to wspierać bieżące monitorowanie warunków panujących w hali, a także umożliwiać szybszą identyfikację niekorzystnych zmian jakości powietrza.

Przedstawione badanie ma charakter studium przypadku i obejmuje jeden obiekt oraz sześciodniowy okres pomiarowy, dlatego uzyskanych wyników nie należy bezpośrednio uogólniać na wszystkie kryte pływalnie. Ograniczeniem badania był również brak ciągłej rejestracji chwilowego strumienia powietrza wentylacyjnego, co uniemożliwia jednoznaczną ocenę wpływu aktualnej wydajności systemu wentylacji na obserwowane zmiany jakości powietrza. Dodatkowym ograniczeniem był zakres pomiarowy urządzenia stosowanego do oznaczania NCl₃, który ograniczał możliwość dokładnego określenia najwyższych stężeń. Pomimo tych ograniczeń pomiary prowadzone podczas rzeczywistego i zmiennego użytkowania obiektu umożliwiły identyfikację różnic w zachowaniu analizowanych parametrów pomiędzy normalnym, nocnym i intensywnym trybem użytkowania hali.

Wnioski

Sposób użytkowania hali basenowej był związany ze zmianami analizowanych parametrów jakości powietrza, przy czym największe różnice obserwowano dla stężeń CO₂ i NCl₃. Temperatura powietrza pozostawała stosunkowo stabilna we wszystkich analizowanych trybach, natomiast najwyższą średnią wilgotność względną stwierdzono w trybie nocnym. Najniższe stężenia trichloraminy obserwowano w okresach nocnych, gdy niecka nie była użytkowana, natomiast podczas aktywnego użytkowania basenu wartości NCl₃ były wyraźnie wyższe i charakteryzowały się dużą zmiennością. Stężenie CO₂ wykazywało bardziej bezpośredni związek z całkowitą liczbą osób przebywających w hali, podczas gdy stężenie NCl₃ było silniej związane z użytkowaniem niecki i aktywnością pływaków. Największe obciążenie hali występowało podczas intensywnego trybu użytkowania związanego z zawodami pływackimi; w tym trybie odnotowano również najwyższe średnie stężenie CO₂. Uzyskane wyniki wskazują, że przy ocenie jakości powietrza w krytych pływalniach warto uwzględniać nie tylko całkowitą liczbę użytkowników, lecz także rzeczywisty sposób użytkowania niecki. Informacja ta może być istotna również przy opracowywaniu strategii sterowania wentylacją dostosowanych do zmiennego obciążenia obiektu.

Finansowanie

Badania sfinansowano ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (0713/SBAD/1014).

Bibliografia

- Ahmadpour, E., Delpla, I., Debia, M., Simard, S., Proulx, F., Sérodes, J.-B., Valois, I., Tardif, R., Haddad, S., & Rodriguez, M. (2023). Full-scale multisampling and empirical modeling of DBPs in water and air of indoor pools. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9), 1128. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11619-6>
- Blatchley, E. R., Coletto, A., & Pochini, I. (2026). Active air stripping and direct point exhaust of trichloramine (NCl₃) from indoor pools. *Chemosphere*, 409, 145000. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2026.145000>
- Chowdhury, S., Alhooshani, K., & Karanfil, T. (2014). Disinfection byproducts in swimming pool: Occurrences, implications and future needs. *Water Research*, 53, 68–109. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.017>
- Ciuman, P., & Kaczmarczyk, J. (2021). Numerical Analysis of the Energy Consumption of Ventilation Processes in the School Swimming Pool. *Energies*, 14(4), 1023. <https://doi.org/10.3390/en14041023>
- Ciuman, P., & Lipska, B. (2018). Experimental validation of the numerical model of air, heat and moisture flow in an indoor swimming pool. *Building and Environment*, 145, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.009>
- European Commission. Directorate General for Education, Youth, Sport and Culture. (2022). Sport and physical activity: Full report. *Publications Office*. <https://doi.org/10.2766/356346>
- Fantuzzi, G., Righi, E., Predieri, G., Giacobazzi, P., Petra, B., & Aggazzotti, G. (2013). Airborne trichloramine (NCl₃) levels

- and self-reported health symptoms in indoor swimming pool workers: Dose-response relationships. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 23(1), 88–93. <https://doi.org/10.1038/jes.2012.56>
- Gabriel, M. F., Felgueiras, F., Mourão, Z., & Fernandes, E. O. (2019). Assessment of the air quality in 20 public indoor swimming pools located in the Northern Region of Portugal. *Environment International*, 133, 105274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105274>
- Lee, L. T., Wu, T., Boor, B. E., & Blatchley, E. R. (2023). Dynamic behavior of gas-phase NCl_3 and CO_2 in indoor pool facilities. *Building and Environment*, 233, 110088. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110088>
- Lévesque, B., Vézina, L., Gauvin, D., & Leroux, P. (2015). Investigation of Air Quality Problems in an Indoor Swimming Pool: A Case Study. *Annals of Occupational Hygiene*, 59(8), 1085–1089. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mev038>
- Lovrić, M., Gajski, G., Fernández-Agüera, J., Pöhlker, M., Gursch, H., The EDIAQI Consortium, Borg, A., Switters, J., & Mureddu, F. (2025). Evidence driven indoor air quality improvement: An innovative and interdisciplinary approach to improving indoor air quality. *BioFactors*, 51(1), e2126. <https://doi.org/10.1002/biof.2126>
- Mplougoura, A., Kloná, K., Mavridou, A., & Mandilara, G. D. (2025). An Assessment of Hazards and Associated Risks in Greek Swimming Pools. *Water*, 17(7), 929. <https://doi.org/10.3390/w17070929>
- Nitter, T. B., & Hirsch Svendsen, K. V. (2020). Covariation amongst pool management, trichloramine exposure and asthma for swimmers in Norway. *Science of The Total Environment*, 723, 138070. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138070>
- Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 10 maja 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach, Dz.U. 2022 poz. 1230 (2022).
- Proulx, H., & Hallé, S. (2022). A numerical study of the impacts of outdoor air intake and air changes per hour on the trichloramine concentrations in a swimming pool enclosure. *Frontiers in Built Environment*, 8, 957973. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.957973>
- Quang, T. V., Doan, D. T., Ngarambe, J., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., & Zhang, T. (2025). AI management platform for privacy-preserving indoor air quality control: Review and future directions. *Journal of Building Engineering*, 100, 111712. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111712>
- Rojas, G., & Grove-Smith, J. (2018). Improving Ventilation Efficiency for a Highly Energy Efficient Indoor Swimming Pool Using CFD Simulations. *Fluids*, 3(4), 92. <https://doi.org/10.3390/fluids3040092>
- Schmalz, C., Frimmel, F. H., & Zwiener, C. (2011). Trichloramine in swimming pools – Formation and mass transfer. *Water Research*, 45(8), 2681–2690. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.02.024>
- Ward, M. (2017). Swimming in a contained space: Understanding the experience of indoor lap swimmers. *Health & Place*, 46, 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2016.09.006>
- Weng, S.-C., Weaver, W. A., Zare Afifi, M., Blatchley, T. N., Cramer, J. S., Chen, J., & Blatchley, E. R. (2011). Dynamics of gas-phase trichloramine (NCl_3) in chlorinated, indoor swimming pool facilities: Dynamics of gas-phase NCl_3 in pools. *Indoor Air*, 21(5), 391–399. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00710.x>
- Wu, F., Jacobs, D., Mitchell, C., Miller, D., & Karol, M. H. (2007). Improving Indoor Environmental Quality for Public Health: Impediments and Policy Recommendations. *Environmental Health Perspectives*, 115(6), 953–957. <https://doi.org/10.1289/ehp.8986>

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.



Platforma wiedzy dla specjalistów infrastruktury medycznej

TECHMEDIS to polska platforma wiedzy techniczno-medycznej, której celem jest wspieranie zdrowego i bezpiecznego środowiska w obiektach ochrony zdrowia. Projekt integruje środowisko naukowe, inżynieryjne i medyczne, tworząc przestrzeń współpracy między badaniami B+R, uczelniami, a praktyką techniczną w szpitalach i przychodniach.

Szczegóły:

www.techmedis.pl



Klapy wentylacji pożarowej – klasyfikacja, badania i zasady stosowania w świetle aktualnych wymagań normowych



Mgr inż. Michał Hycnar

TROX Polska Sp. z o.o.

Wstęp

Klapy odcinające stosowane w systemach wentylacji pożarowej są wyrobami budowlanymi objętymi normą zharmonizowaną **PN-EN 12101-8:2012** *Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła — Część 8: Klapy odcinające w systemach wentylacji pożarowej*. Zgodnie z art. 5 ust. 1 Ustawy o wyrobach budowlanych (Dz. U. 2004 Nr 92 poz. 881) mogą być one wprowadzane do obrotu lub udostępniane na rynku wyłącznie na zasadach określonych w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011.

Konkretne właściwości użytkowe klapy, w postaci kodu klasyfikacyjnego oraz dodatkowych informacji, powinny być ściśle określone przez producenta w (Europejskiej) Deklaracji Właściwości Użytkowych. Odpowiednia norma wskazuje dopuszczalne sposoby montażu oraz miejsca stosowania klapy, wynikające z zadeklarowanych właściwości, które szczegółowo powinna opisywać Instrukcja Montażu. Dobrą praktyką jest sygnowanie instrukcji montażu numerem Deklaracji Właściwości Użytkowych. Dzięki temu użytkownik otrzymuje jasną informację o tym, czy posiadany przez niego egzemplarz jest aktualny, czyli zgodny z obowiązującą deklaracją. Nieaktualna Instrukcja może zawierać rozwiązania, które utraciły ważność np. wskutek zmian w normach, wymaganiach badawczych lub w zakresie certyfikacji.

Klapy wentylacji pożarowej, mogą być stosowane w przewodach oddymiających oraz (warunkowo) w przewodach wentylacji bytowej pełniących rolę przewodów wentylacji oddymiającej. Oprócz wentylacji oddymiającej norma **PN-EN 12101-8** wymienia również instalacje napowietrzające, instalacje do utrzymywania nadciśnienia, a także instalacje do usuwania gazów toksycznych i gazów gaśniczych jako właściwe obszary zamierzonego zastosowania dla klapy wentylacji pożarowej.

Z funkcjonalnego punktu widzenia, zgodnie z normą **PN-EN 12101-8**, klapy do wentylacji pożarowej to przepustnice odcinające stanowiące zintegrowany element w przewodach instalacji kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Warunek integralności przewodów oddymiających i klapy wentylacji pożarowej odnajdujemy w analogii badań obu elementów, analogii wielu właściwości użytkowych a także w analogii wymagań do

stosowania, wynikających choćby ze wspólnego paragrafu (§270 pkt.1 i 2) w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2019 r. poz. 1065).

Nieco inne podejście należy stosować do klapy przeciwpożarowych **PN-EN 15650:2010** *Wentylacja budynków. Przeciwpowarowe klapy odcinające montowane w przewodach*, zgodnie z treścią normy klapy przeciwpożarowe służą do zabezpieczenia (zamknięcia) otworów w elementach oddzielenia przeciwpożarowego (art. 268 ust. 4), powstałych w miejscach w których wentylacja bytowa przechodzi przez przegrodę. Wymagania w zakresie ognioodporności ogniowej klapy przeciwpożarowych są ściśle związane z przegrodą, w której klapa jest ona zamontowana, przy czym dla samej instalacji wentylacji (połączonej z klapą) nie stawia się praktycznie żadnych wymagań.

Klapy odcinające w systemach wentylacji pożarowej

Do cech wspólnych, przynależnych przewodom i kłacom wentylacji pożarowej (poza klasą odporności ogniowej) na pewno możemy zaliczyć:

- klasę ciśnieniową (pożarową!) np. S1500,
- przeznaczenie do instalacji jedno- „single” lub wielostrefowych „multi,
- dopuszczalną pozycję montażu: pionową „ve” lub poziomą „ho”.

Ponadto, w odróżnieniu do klapy przeciwpożarowych, klapy do wentylacji pożarowej mają także określone:

- typ instalacji w jakiej mogą być stosowane, związany z klasą trwałości pewności działania (C_{300} , $C_{10.000}$, C_{mod})
- sposób aktywacji AA (automatyczna) lub MA (z możliwością zmiany położenia w trakcie pożaru)
- funkcjonalność HOT 400/30 czyli zdolność pracy w podwyższonej temperaturze do 400°C przez 30 minut.

Do oceny właściwości użytkowych klapy wentylacji pożarowej przewidziano normę badawczą **PN-EN 1366-10+A1:2025-03** *Badania odporności ogniowej instalacji użytkowych. Część 10: Klapy odcinające do systemów kontroli rozprzestrzeniania dymu*. Warto nadmienić, że stosunkowo niedawno ukazały się dwie aktualizacje tej normy, w roku 2023 oraz w roku 2025, które

porządkują wiele kwestii budzących kontrowersje czy sprzeczne interpretacje występujących w poprzednim wydaniu. Zgodnie z tą normą, kłapy wentylacji pożarowej podawane są testom zarówno w pozycji zamkniętej jak i otwartej z uwzględnieniem ciśnienia roboczego gorących gazów (oddymianie) jakie znajdują się w bezpośrednim kontakcie z klapą. Między innymi, z tego względu, nie należy montować klap przeciwpożarowych zgodnych z **PN-EN 15650:2010**, w miejscach kontaktu z instalacją oddymiającą, nawet jeśli pozycja kłapy przeciwpożarowej jest zamknięta. W praktyce oznacza to, że przewód wentylacji bytowej odchodzący od np. centralnego szachtu oddymiająco-wywiewnego powinniśmy separować klapą do wentylacji pożarowej (zgodną z **PN-EN 1366-10**) a nie klapą przeciwpożarową (zgodną z **PN-EN 15650:2010**) przeznaczoną do wentylacji bytowej.

Badania klap wentylacji pożarowej. Odporność ogniowa oraz zachowanie otworu przelotowego

Badania klap wentylacji pożarowej mają na celu potwierdzenie ich funkcjonalności i przydatności w warunkach realnego pożaru. Podstawowa ocena klap sprowadza się do sprawdzenia ich odporności ogniowej (pozycja zamknięta) oraz zdolności zachowania otworu przelotowego (pozycja otwarta).

Odporność ogniowa to właściwość użytkowa związana ze zdolnością zatrzymania płomienia, izolacyjnością termiczną (dla klap wielostrefowych) oraz szczelnością dymową. Izolacyjność termiczna badana jest za pomocą termopar (czujników temperatury) umieszczonych w różnych, reprezentatywnych miejscach na klapie i jej otoczeniu, a szczelność dymowa – związana z zapobieganiem dostania się zewnętrznego powietrza do przewodu (a nie odwrotnie) – testowana jest metodą pomiaru przyrostu stężenia tlenu w cyrkulującym, gorącym powietrzu. Zachowanie otworu przelotowego to gwarancja utrzymania przepływu strumienia powietrza oddymianego, a sprawdzana jest przez pomiar masowy ilości przepływającego gazu.

Dla klap wentylacji pożarowej wyznaczono dwa podstawowe modele badawcze („duct” oraz „wall”), a w każdym z nich przewidziano dwie pozycje montażu kłapy („vertical” oraz „horizontal”). Mamy zatem:

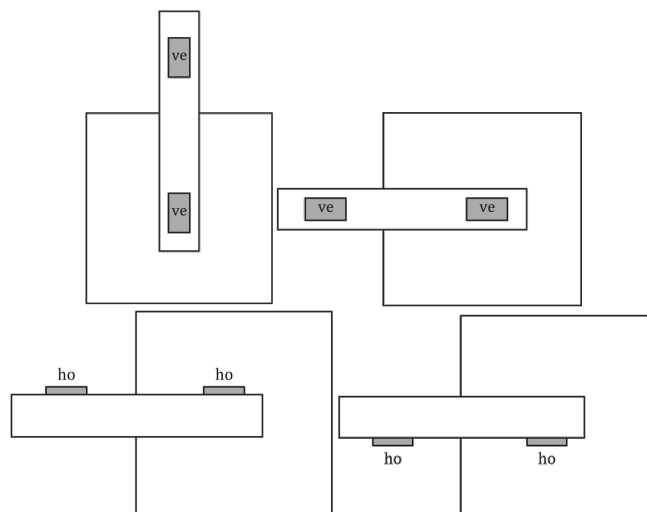
- montaż w przewodzie, tj. poza przegrodą oddzielenia pożarowego [indeks „d” jak „duct”]
- montaż w przegrodzie oddzielenia przeciwpożarowego [indeks „w” jak „wall”]

oraz

- montaż w pozycji pionowej [indeks „ve” jak vertical]
- montaż w pozycji poziomej [indeks „ho” jak horizontal]

W efekcie powstają cztery możliwe oznaczenia klasyfikacyjne wynikające wprost z przeprowadzonego zakresu badań: ved, hod, vew, how. Możliwość montażu kłapy w danym obszarze zastosowania wynika bezpośrednio z oznaczenia klasyfikacyjnego (indeksu).

Na Rysunku 1 wyjaśniono różnice w schematach pomiędzy badaniami „vertical” i „horizontal”, dla aplikacji „duct” oraz zasygnalizowano w jaki sposób należy wykorzystywać w praktyce oznaczenia indeksu ve lub ho.

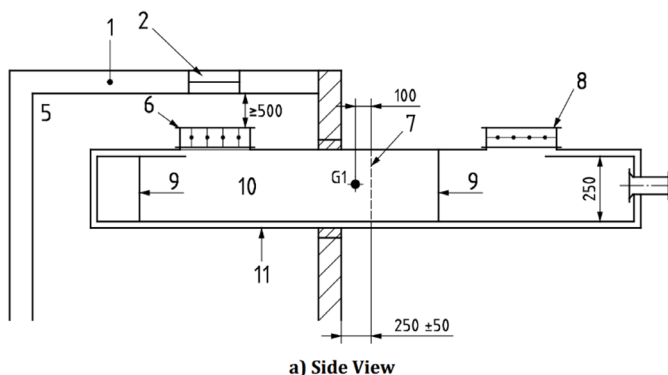


Rysunek 1. Usytuowanie kłapy wentylacji pożarowej w zależności od orientacji montażu: ve – orientacja pionowa, ho – orientacja pozioma Źródło: PN-EN 1366-10+A1:2025-03

Badanie do aplikacji „duct” (ved, hod)

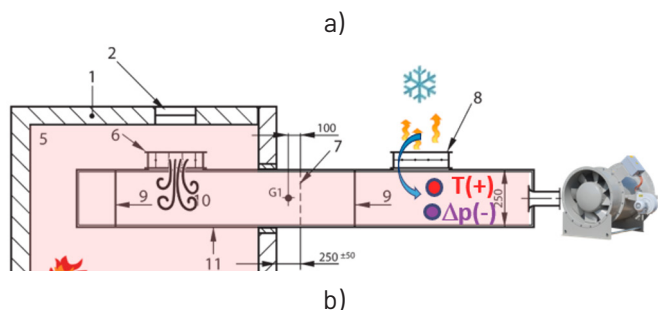
Co do zasady test „duct” daje odpowiedź na pytanie, jak zachowuje się kłapa przy współpracy z przewodem oddymiającym tzn. czy wolno zawieszona kłapa (lub kłapa wmontowana w przewód) zachowa szczelność i izolacyjność ogniową oraz swoją geometrię. W jednym teście sprawdzane jest jednocześnie działanie kłapy w pozycji zamkniętej i otwartej. Schemat stanowiska badawczego stosowanego w teście „duct” (horizontal) przedstawiono na Rysunku 2.

Uwaga! Badanie „duct” przeprowadzane jest zawsze z klapą na powierzchni przewodu ale umożliwia montaż kłapy zarówno na przewodzie jak i w przewodzie przy zachowaniu odpowiedniej orientacji kłapy (pionowo ve lub poziomo ho) zgodnie z indeksem.

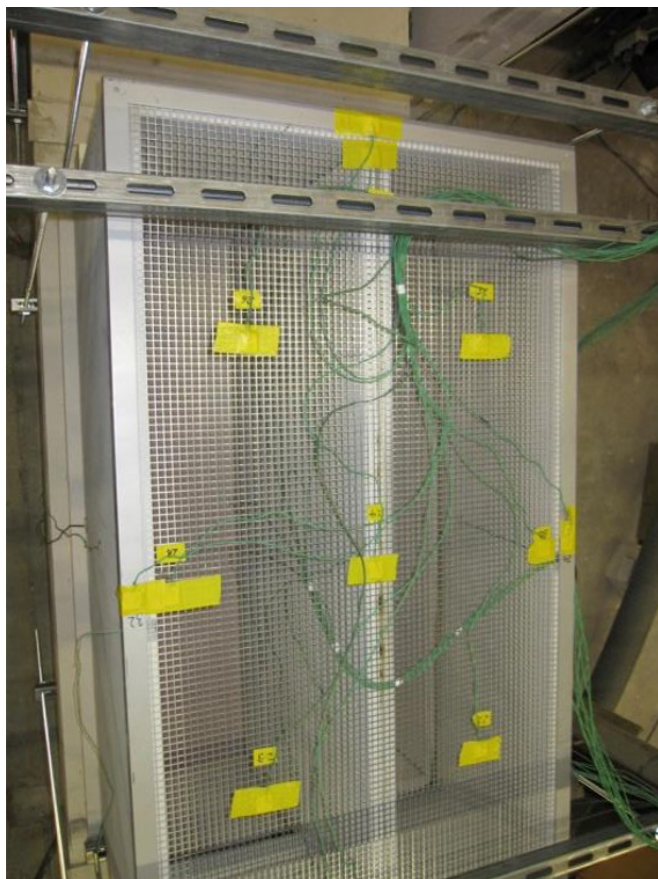


Rysunek 2. Schemat stanowiska do badania kłapy wentylacji pożarowej w modelu „duct” – widok z boku. Źródło: PN-EN 1366-10+A1:2025-03

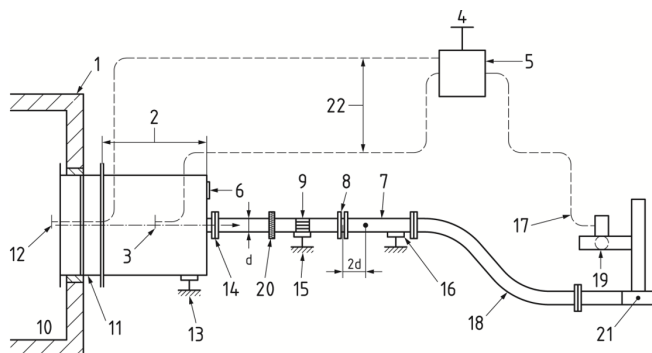
Jeśli kłapa ma być połączona z przewodem z krzemianu wapnia (tzw. „promat”) to rozwiązanie produkcyjne powinno szczegółowo przedstawiać detal takiego połączenia. W przypadku przewodów stalowych z izolacją z wełny mineralnej również należy ocenić takie połączenie i zamieścić je w dokumentacji kłapy. Szczegóły łączenia izolacji różnych typów (wełna ↔ „promat”) to bardzo istotny element bezpieczeństwa i nie powinien być pozostawiony Wykonawcy do samodzielnego rozwiązania.



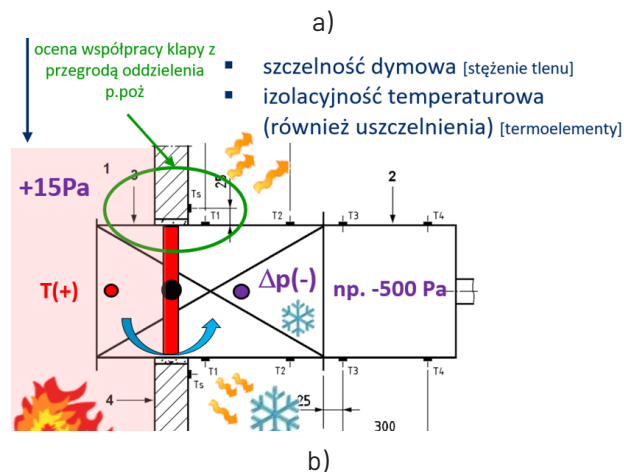
Rysunek 3. Badanie kłapy wentylacji pożarowej zamontowanych na powierzchni przewodu w modelu „duct”: a) widok stanowiska laboratoryjnego, b) schemat układu badawczego. Źródło: materiały własne Laboratorium TROX



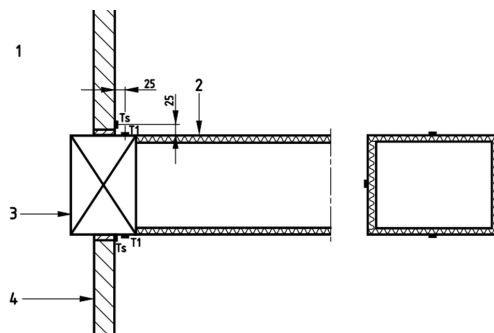
Rysunek 4. Rozmieszczenie termopar na kratce osłonowej podczas badania kłapy wentylacji pożarowej z wolnym wlotem. Źródło: materiały własne firmy TROX



Rysunek 5. Ogólny schemat stanowiska do badania kłapy wentylacji pożarowej wraz z układem pomiaru przepływu i kontroli ciśnienia. Źródło: PN-EN 1366-10+A1:2025-03



Rysunek 6. Badanie kłapy wentylacji pożarowej zamontowanych w przegrodzie pionowej, w modelu „wall”: a) widok stanowiska laboratoryjnego, b) schemat układu badawczego. Źródło: materiały własne Laboratorium TROX



Rysunek 7. Ogólne rozmieszczenie termopar dla testu w przegrodzie oddzielenia pożarowego zachowania otworu przelotowego kłapy. Źródło: PN-EN 1366-10+A1:2025-03

Warunki testu „duct” w pełni odpowiadają warunkom panującym w rzeczywistości (na obiekcie), co przedstawiono na Rysunku 3. Kłapa w pomieszczeniu objętym pożarem (otwarta) poddawana jest działaniu ognia praktycznie z każdej strony, a na klapę w dalszej części instalacji (zamknięta) podciśnienie i temperatura działają od jednej, tej samej strony tj. od wnętrza przewodu oddymniającego.

Jeżeli kłapa ma mieć możliwość montowania z wolnym wlotem, to powinna być (dodatkowo) przetestowana z kratką osłonową i termoparami umieszczonymi na kracie testowej w sposób prezentowany na Rysunku 4.

Badanie do aplikacji „wall” (vew, how)

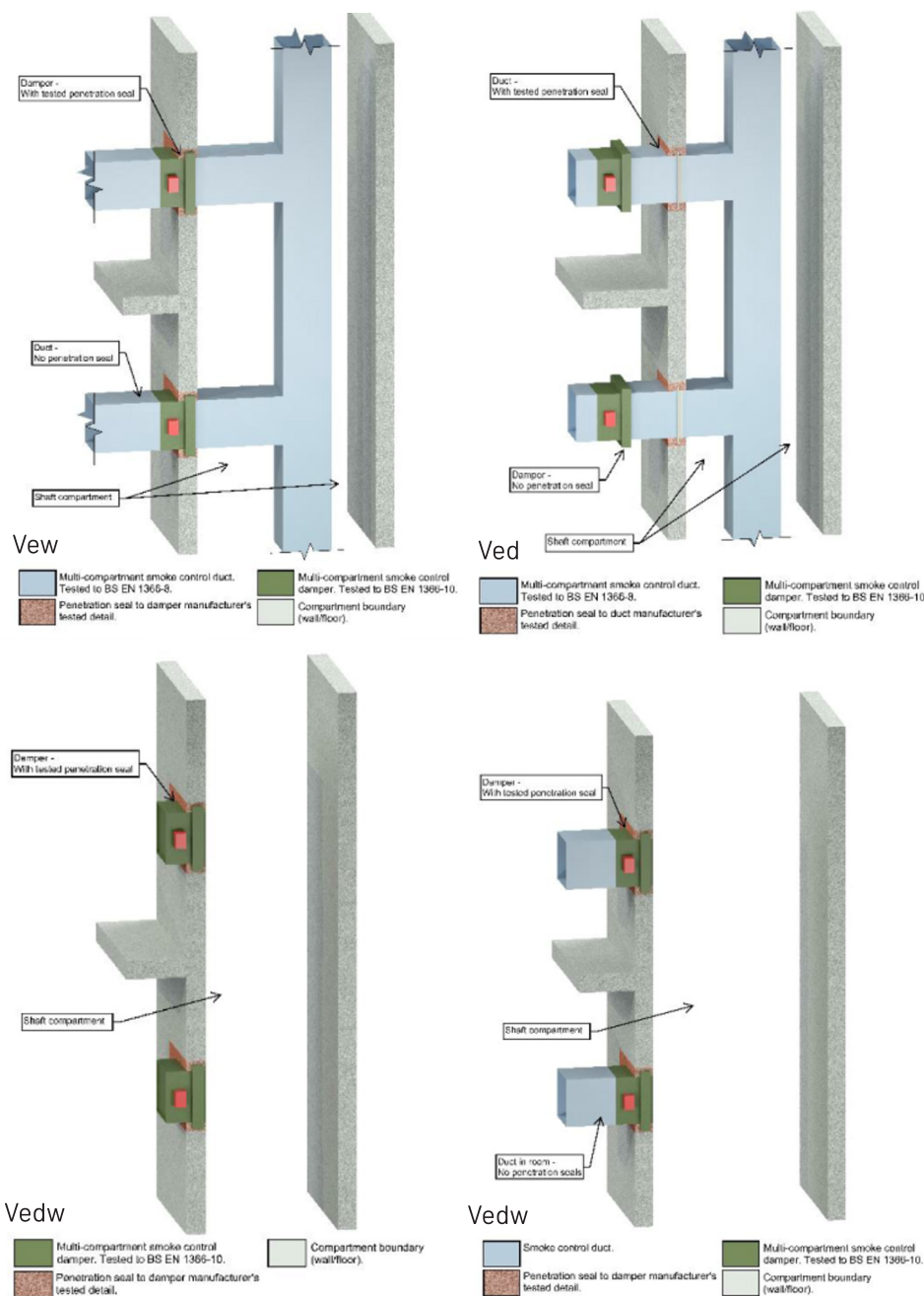
Model badawczy „wall” ma za zadanie ocenić bezpieczeństwo układu jaki stanowi kłapa i ściana/strop, w której jest ona zamontowana. W uproszczeniu można powiedzieć, że

klapa stanowi pewnego rodzaju osłabienie w konstrukcji budowlanej o znanej odporności ogniowej dlatego w teście sprawdzamy także odpowiednie parametry bezpośrednio na ścianie/stropie po stronie „zimnej” i to zarówno przy klapie zamkniętej jak i otwartej. Jeżeli chcemy, aby kłapa była przeznaczona do różnych typów ścian niezbędne jest przeprowadzenie szeregu testów, każdy z danym typem przegrody. Warto wspomnieć, że zgodnie z **PN-EN 1366-2:2015-08** *Badania odporności ogniowej instalacji użytkowych. Część 2: Przeciwpowarowe kłapy odcinające* badanie „wall” przy klapie zamkniętej wykorzystuje schemat badawczy jak dla kłap przeciwpożarowych z pewnymi modyfikacjami (np. zróżnicowanie ciśnienia testowego w zależności od klasy dymoszczelności pożarowej). Ogólny schemat stanowiska badawczego do aplikacji „wall” przedstawiono na Rysunku 5, natomiast przykładowe stanowisko laboratoryjne do przeprowadzenia takiego badania przedstawiono na Rysunku 6.

Aplikacja „wall” wymaga przeprowadzenia kolejno dwóch testów: pierwszy, przy klapie zamkniętej, potwierdza szczelność ogniową izolacyjność i dymoszczelność kłapy i drugi, z klapą w pozycji otwartej, potwierdza zachowanie geometrii otworu przelotowego czyli przepustowość kłapy. W teście z klapą otwartą, poza wielkością przepływu, również ocenia się oddziaływanie kłapy na przegrodę poprzez umieszczenie termopary Ts po „zimnej” stronie przegrody oddzielenia przeciwpożarowego. Szczegóły obrazuje Rysunek 7.

Szachty oddymiające vedw

Przypadkiem szczególnym który wymaga kompilacji dwóch modeli badawczych tj. „duct” i „wall” jest przewód o konstrukcji budowlanej pełniący rolę przewodu oddymniającego zwany potocznie szachtem oddymiającym. Ponieważ szacht oddymiający pełni rolę przewodu oddymniającego wymagane jest tu badanie i klasyfikacja „duct”. W tym konkretnie przypadku ściana przewodu oddymniającego jest tworem budowlanym w związku z powyższym wymaga sprawdzenia również na okoliczność oddziaływania jak ze ścianą. Dlatego kłapy które chcemy stosować w szachtach budowlanych pełniących rolę przewodu oddymniającego powinny posiadać dwie klasyfikacje „duct” oraz „wall”. Takie stanowisko zajmują oficjalnie wszystkie jednostki



Rysunek 8. Przykładowe warianty montażu wielostrefowych kłap wentylacji pożarowej w przegrodzie szachtu oddymniającego – z podłączeniem przewodu oddymniającego oraz z wolnym wlotem. Źródło: materiały własne firmy TROX

notyfikowane, zajmujące się badaniem i certyfikacją klap wentylacji pożarowej. Klapy w szachtach, które nie będą podłączone do przewodu oddymiającego od strony pomieszczenia wymagają także badania „z kratką”.

Wymagane klasyfikacje dla przykładowych wariantów usytuowania klap względem przewodu oraz przegrody szachtu oddymiającego przedstawiono na Rysunku 8.

Uwaga. Nazwa szacht została zdefiniowana w normie **PN-EN 1366-5:2021-07** *Badania odporności ogniowej instalacji użytkowych. Część 5: Kanały i szyby instalacyjne* (art. 3.2) i odnosi się do wydzielonej przestrzeni technicznej do prowadzenia innych instalacji (jak kable, rury, etc.). W takim przypadku ściana szachtu jest faktycznie przegrodą oddzielania pożarowego między dwoma pomieszczeniami i wymaga klasyfikacji „wall” (vew). Dobierając klapę należy zwrócić szczególną uwagę na przeznaczenie szachtu i dla szachtów oddymiających poszukiwać klasyfikacji vedw, natomiast dla szachtów serwisowych (instalacyjnych) wystarczy samo vew.

Nowa edycja normy **PN-EN 1366-10** uporządkowała i uszczegółowiła wiele spraw związanych z badaniem klap wentylacji pożarowej. Uzupełniono opisy, dodano szereg rysunków. Pojawiły się jasno zdefiniowane definicje choćby jak należy traktować minimalne odległości między klapami montowanymi w przegrodach, uzupełniono schematy dotyczące testów „vertical duct”, „horizontal duct” oraz „horizontal wall”, ustanowiono oddzielne badanie dla montażu „horizontal” od góry i oddzielnie od dołu przewodu.

W chwili obecnej na wprowadzenie czekają dwie kolejne modyfikacje w oznaczeniu klasyfikacyjnym, wymuszone Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2024/1681 uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 305/2011. Wprowadzony zostanie obowiązek informowania użytkownika, z poziomu deklaracji właściwości użytkowych, o dopuszczalnym położeniu osi obrotu klapy. W tym celu pojawią się dodatkowe oznaczenia **H**, **V** w miejscu jak na przykładzie poniżej.

Przykład nowego oznaczenia: EI 120 (Vedw, hodw i↔o)
S1500 [HV] C_{mod} MA multi

Druga zmiana jaka ma pojawić się w oznaczeniu klasyfikacyjnym klapy jest informacja czy klapa została testowana pod obciążeniem (bez oznaczenia) lub bez obciążenia (litera **(N)** po oznaczeniu C₃₀₀(N), C₁₀₀₀₀(N), C_{mod}(N)). Badanie pod obciążeniem umożliwia przesterowanie klapy przy włączonej instalacji oddymiającej. Klapy testowane bez obciążenia (N) mogą być przesterowywane jedynie bez przepływu powietrza tj. przy zatrzymanych wentylatorach.

Przykład nowego oznaczenia: EI 120 (Vedw, hodw i↔o)
S1500 [HV] C_{mod} (N) MA multi

Uruchamianie/przesterowywanie klap do wentylacji pożarowej

Na koniec artykułu należy zwrócić uwagę na nabierający znaczenia symbol MA w oznaczeniu klasyfikacyjnym klapy. Oznaczenie MA umożliwia przesterowanie klapy (zmianę położenia) w czasie rozgorzałego pożaru. Cecha ta wynika z odpowiedniego sposobu badania i w skrócie otwarcie klapy testowane jest po 25 minutach aktywacji palników w piecu testowym, w momencie w którym temperatura w otoczeniu klapy przekracza 800°C. Przesterowanie klapy ma miejsce np. w scenariuszach dwu-stadionowych, tj. takich, w których klapa automatycznie ustawiana jest w jednym położeniu a po pewnym czasie będzie ponownie przesterowana do drugiego położenia.

Cecha MA jest wykorzystywana również, gdy zachodzi niebezpieczeństwo, że aktywacja klapy nastąpi z opóźnieniem w momencie gdy mamy już rozwinięty pożar przy klapie. Przykładem może być parking podziemny z wentylacją strumieniową ze stanowiskiem parkingowym w pobliżu centralnego szachtu oddymiającego. Pożar samochodu (szczególnie elektrycznego) w bezpośrednim sąsiedztwie baterii klap pożarowych może uszkodzić te urządzenia zanim dojdzie do ich otwarcia wywołanego automatycznym systemem detekcji. Aktywację klap zwykle poprzedza szereg czynności jak detekcja dymu (który jest wynikiem pojawienia się ognia), koincydencja wykrycia przez 2 czujki, czas zwłoki na potwierdzenie/anulowanie alarmu, wysłanie sygnału do siłowników klap z poleceniem otwarcia. Klapy AA są testowane na błyskawiczną reakcję w warunkach narastania temperatury (30 sekunda od uruchomienia palników) podczas gdy klapy MA „czekają” 25 minut i dopiero po takim czasie otrzymują sygnał do otwarcia.

Podsumowanie

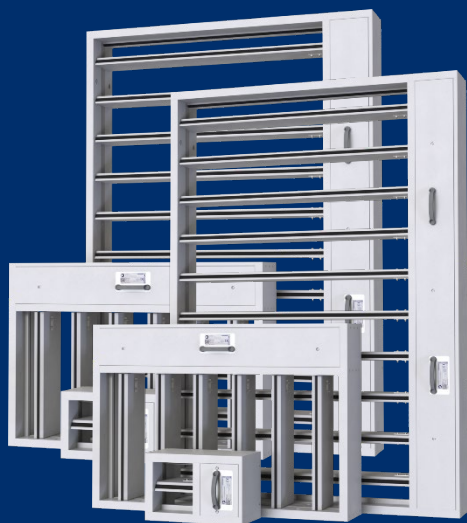
Wyspecyfikowanie samego kodu klasyfikacyjnego klapy odcinającej nie zawsze pozwala w pełni ocenić przydatność tego urządzenia do zastosowania w konkretnym miejscu instalacji. Ważne jest, aby sprawdzić w dokumentacji technicznej klapy również takie informacje jak: możliwość montażu z pionową osią obrotu, możliwość montażu klap w baterii, minimalną grubość przegrody budowlanej w której ma być osadzona klapa, możliwość montażu w danym typie konstrukcji budowlanej lub w danym typie przewodu oddymiającego. Dobrze sporządzona Deklaracja Właściwości Użytkowych zawiera wiele z w/w informacji i daje pewność użytkownikowi co do obszaru zastosowania. Instrukcja montażu powinna w pełni odpowiadać zakresowi deklaracji, być jasno i jednoznacznie przypisana zarówno do danego urządzenia jak i do aktualnego wydania deklaracji oraz nie może zwierać „opcji” nie mających pokrycia w badaniach i deklaracji. Z tej przyczyny dobrą praktyką jest wyraźne naniesienie informacji do której deklaracji właściwości użytkowych odnosi się dane wydanie instrukcji.

Klapy odcinające
do wielostrefowej wentylacji pożarowej

TROX

EK-JZ

El 120 (v_{edw} , h_{odw} i $\leftrightarrow$ o) S1000 C_{mod}
HOT400/30 MA multi



- aerodynamiczne, cienkościenne lamele ze zintegrowanymi uszczelkami
- największa powierzchnia czynna do **78,2%**
- wielkość: do 1200 x 2030 (**131.500 m³/h**)
- certyfikowana do przesterowania/uruchomienia **w czasie rozgorzałego pożaru (MA)**
- dowolna pozycja osi obrotu **0°–360°**
- dowolna pozycja montażu (pionowo **ve**, poziomo **ho**)
- montaż w **szachcie oddymiającym vedw**
- montaż w **baterii**
- prosty montaż w przewodach **stalowych** i z **krzemianu wapnia**
- **bez wymagań*** dla odstępu do sąsiedniej przegrody budowlanej

- wielkość: do 1500 x 800 do **43.200 m³/h**
- certyfikowana do przesterowania/uruchomienia **w czasie rozgorzałego pożaru (MA)**
- dowolna pozycja osi obrotu **0°–360°**
- dowolna pozycja montażu (pionowo **ve**, poziomo **ho**)
- montaż w **szachcie oddymiającym vedw**
- montaż w **baterii**
- prosty montaż w przewodach **stalowych** i z **krzemianu wapnia**
- **bez wymagań*** dla odstępu do sąsiedniej przegrody budowlanej

EK2-EU

El 120 (v_{edw} , h_{odw} i $\leftrightarrow$ o) S1500 C_{mod}
HOT400/30 MA multi



EKA2-EU

El 120 (v_{edw} , h_{ow} i $\leftrightarrow$ o) S1000/1500 C_{mod} AA



- wielkość: do 1500 x 800 do **43.200 m³/h**
- dowolna pozycja osi obrotu **0°–360°**
- dowolna pozycja montażu (pionowo **ve**, poziomo **ho**)
- montaż w **szachcie oddymiającym vedw**
- montaż w **baterii**
- **zredukowane wymagania** dla odstępu do sąsiedniej przegrody budowlanej do 40 mm

* zależności od wyboru sposobu uszczelnienia

www.trox.pl

Prawo budowlane po nowelizacji – 18 miesięcy wyboru WT i zmiany w odpowiedzialności zawodowej



Andrzej Falkowski

Przewodniczący Głównej Komisji Legislacyjnej
Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych

Niniejszy artykuł jest poświęcony istotnej nowelizacji Prawa budowlanego oraz ustawy o samorządach zawodowych architektów oraz inżynierów Budownictwa, która właśnie została opublikowana w Dz. U. Dotyczy ona dwóch ważnych obszarów, w szczególności wprowadzenia 18-miesięcznego okresu, w którym będzie można stosować dotychczasowe przepisy techniczno-budowlane.

18 miesięcy na wybór warunków technicznych

Przypomnijmy, że w dniu 19 września 2026 r. kończy się moc dotychczasowego rozporządzenia z 2002 roku w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i usytuowanie, a także innych przepisów techniczno-budowlanych, które nie zostały odnowione. Wynika to z upływu 84 miesięcy od wejścia w życie ustawy o zapewnianiu dostępności. W związku z tym od 20 września 2026 r. planowane jest wejście w życie m.in. nowego rozporządzenia (WT2026), które na dzień pisania niniejszego artykułu nie zostało jeszcze opublikowane. Duża zmiana przepisów techniczno-budowlanych nastąpi więc w ostatniej chwili.

Do Prawa budowlanego w ostatnich dniach dodano więc rozdział 10a z przepisami epizodycznymi. Mówi on o tym, że od 20 września 2026 r. do **20 marca 2028 r.** inwestor będzie mógł zdecydować, czy zamierzenie realizuje według nowych przepisów techniczno-budowlanych, czy według przepisów obowiązujących do 19 września 2026 r.

Nie jest to przedłużenie obowiązywania starych WT dla wszystkich inwestycji, lecz możliwość wyboru. PZT lub PAB będzie mógł zostać sporządzony według dotychczasowych przepisów i dołączony do wniosku o pozwolenie na budowę, wniosku o odrębne zatwierdzenie albo do zgłoszenia budowy, **jeżeli inwestor złoży organowi oświadczenie o chęci stosowania "starych" WT.**

Wybór będzie miał znaczenie dla całego zamierzenia budowlanego. Po złożeniu takiego oświadczenia również PT będzie musiał być sporządzony zgodnie z przepisami obowiązującymi do 19 września 2026 r., a ten sam reżim będzie stosowany do decyzji administracyjnych dotyczących całego zamierzenia. Nie będzie więc można przygotować PZT i PAB według starych WT, a PT według nowych.

Analogiczna możliwość obejmie dokumenty legalizacyjne oraz dokumentację sporządzaną na podstawie art. 51 ust. 1 pkt 3

Prawa budowlanego. Natomiast przy budowie i robotach niewymagających pozwolenia ani zgłoszenia, wskazanych w art. 29 ust. 2 i 4, stare przepisy będzie można stosować do 20 marca 2028 r. bez oświadczenia.

Uwaga na roboty wymagające zgłoszenia

Na szczególną uwagę zasługuje sytuacja robót wykonywanych na podstawie art. 29 ust. 3 Prawa budowlanego, czyli robót wymagających zgłoszenia.

Art. 102a posługuje się pojęciem „zgłoszenia budowy”, natomiast art. 102b obejmuje jedynie przypadki wskazane w art. 29 ust. 2 i 4. Ustawodawca nie wymienił więc robót z art. 29 ust. 3, mimo że Prawo budowlane w innych przepisach rozróżnia zgłoszenie budowy od zgłoszenia wykonywania innych robót budowlanych. Ma to znaczenie także dlatego, że w części przypadków do takiego zgłoszenia dołącza się dokumentację projektową – co wynika z art. 30 Prawa budowlanego.

Literalne brzmienie nowych przepisów prowadzi zatem do wniosku, że dla robót wymagających zgłoszenia na podstawie art. 29 ust. 3 nie przewidziano 18-miesięcznego okresu wyboru. Od 20 września 2026 r. trzeba będzie więc stosować do nich nowe przepisy techniczno-budowlane.

Natomiast dopuszczono do 20 marca 2028 r. utrzymywanie i użytkowanie budynków mieszkalnych zgodnie z dotychczasowymi przepisami dotyczącymi warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych.

Uprawnienia budowlane i członkostwo w izbie

Druga grupa zmian dotyczy odpowiedzialności zawodowej i członkostwa w samorządzie zawodowym. Dotychczas art. 42 ustawy o samorządach zawodowych przewidywał skreślenie z listy członków okręgowej izby w przypadku orzeczenia o stwierdzeniu utraty uprawnień budowlanych. Po zmianie nastąpi ono dopiero wtedy, gdy ukarany utraci wszystkie posiadane uprawnienia budowlane.

Podobnie zakaz wykonywania samodzielnej funkcji technicznej będzie powodował zawieszenie w prawach członka izby tylko wtedy, gdy obejmie wszystkie funkcje, do których dana osoba była uprawniona. Utrata części uprawnień albo częściowy zakaz nie będą więc automatycznie oznaczały utraty możliwości wykonywania pozostałych funkcji.

Jednocześnie przepisy przesądzają, że osoba zawieszona w prawach członka izby nie może w okresie zawieszenia wykonywać samodzielnych funkcji technicznych wskazanych w art. 12 ust. 1 pkt 1–5 Prawa budowlanego. Nowe brzmienie art. 43 ustawy samorządowej porządkuje też dotychczasowe wadliwe odesłanie.

Odpowiedzialność zawodowa – egzamin i utrata uprawnień

Doprecyzowano również skutki niezdania egzaminu nałożonego w ramach odpowiedzialności zawodowej. Dodatkowy termin, wynoszący od 3 do 6 miesięcy, funkcjonował już wcześniej. Nowelizacja wskazuje jednak, że wyznacza go właściwa okręgowa komisja kwalifikacyjna. Jeżeli egzamin nie zostanie zdany również w tym terminie, właściwy okręgowy sąd dyscyplinarny stwierdzi utratę uprawnień budowlanych w specjalności i zakresie objętych egzaminem.

To istotne doprecyzowanie, ponieważ dotychczasowy przepis mówił szerzej o utracie „uprawnień do pełnienia samodzielnej funkcji technicznej w budownictwie”, co mogło rodzić wątpliwości co do zakresu sankcji.

Wykonywanie orzeczeń dyscyplinarnych

Zmienia się też sposób wykonywania prawomocnych orzeczeń sądów dyscyplinarnych. Przy karze zawieszenia w prawach członka albo skreślenia z listy nie będzie potrzebna dodatkowa uchwała okręgowej rady izby. Po otrzymaniu prawomocnego orzeczenia przewodniczący rady dokona odpowiednio skreślenia z listy albo wpisze informację o zawieszeniu.

Doprecyzowano także zasady dotyczące zaległości składowych: zawieszenie będzie mogło nastąpić po okresie dłuższym niż 6 miesięcy, a skreślenie – po roku. Do postępowań dyscyplinarnych i spraw odpowiedzialności zawodowej wszczętych i niezakończonych przed wejściem nowych regulacji będą stosowane przepisy dotychczasowe.

Korzystając z okazji przypominamy, że tego rodzaju szersze komentarze do wybranych ważniejszych zmian przepisów z zakresu budownictwa są publikowane na stronie: <https://pzits.pl/informacje-o-zmianach-przepisow>.

2026

MATERIALS, STRUCTURES, TECHNOLOGIES AND MANAGEMENT IN CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

INTERNATIONAL CONFERENCE

ORGANIZERS

QPM
OD 2019 ROKU
QUALITY AND PRODUCTION MANAGERS ASSOCIATION

[KIPB]
DEPARTMENT OF BUILDING PROCESSES ENGINEERING,
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,
CZĘSTOCHOWA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

THE CONFERENCE IS POINTED ON MODERN AND INNOVATIVE THEORETICAL AND PRACTICAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE BUILDING AND EXCHANGE OF KNOWLEDGE AND EXPERIENCE BETWEEN THE SCIENTIFIC COMMUNITY AND INDUSTRY.

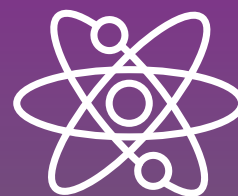
THE AIM OF THE CONFERENCE IS TO PRESENT THE LATEST MATERIAL, TECHNOLOGICAL, CONSTRUCTION AND SAFE SOLUTIONS FOR MANAGING THE INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROCESS IN MODERN CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING.

<https://wb.pcz.pl/nauka/mstm>

Czestochowa, Poland

NOV | 25-26 | 2026

NOWOCZESNE PRZEDSIĘBIORSTWO CIEPŁOWNICZE
BEZPIECZEŃSTWO, EFEKTYWNOŚĆ I INNOWACJE



XXIII KONFERENCJA TECHNICZNA

JÓZEFÓW k. WARSZAWY | 4-6 XI 2026

Izba Gospodarcza Ciepłownictwo Polskie zaprasza na: XXIII Konferencję Techniczną,
która odbędzie się w dniach 4-6 XI 2026 r. w Hotelu Holiday Inn
w Józefowie k. Warszawy przy ul. Telimeny 1.

PLANOWANY PROGRAM MERYTORYCZNY KONFERENCJI

- Finansowanie transformacji ciepłownictwa – aktualne programy wsparcia i kierunki finansowania inwestycji
- Ciepło ze ścieków w miejskim systemie ciepłowniczym – doświadczenia z realizacji projektu WROMPA we Wrocławiu. Studium przypadku
- Kiedy magazyn ciepła się opłaca? Techniczne i ekonomiczne kryteria inwestycyjne na przykładzie ORLEN Termika
- Nowa rola wysokosprawnej kogeneracji w systemach ciepłowniczych – usługi bilansujące, rynek mocy i elastyczność.
- Transformacja małego przedsiębiorstwa ciepłowniczego – doświadczenia MPEC Nowy Sącz. Studium przypadku
- Kotły elektryczne w ciepłownictwie systemowym – techniczne i ekonomiczne warunki zastosowania na przykładzie kotłów elektrodowych ECO Opole
- Power-to-Heat z perspektywy operatorów systemów dystrybucyjnych – możliwości, ograniczenia i warunki rozwoju
- Cyberbezpieczeństwo przedsiębiorstw ciepłowniczych w świetle wymagań NIS2 oraz KSC
- Małe reaktory modułowe (SMR) – możliwości zastosowania na potrzeby systemów ciepłowniczych
- Aktualne regulacje unijne i krajowe w kontekście wykorzystywanych technologii w transformacji sektora
- Prezentacje technologii wspierających transformację przedsiębiorstw ciepłowniczych

Szczegóły, w tym zaproszenie i karta zgłoszenia:
www.igcp.pl



Izba Gospodarcza
Ciepłownictwo Polskie

Patronat medialny: COW | INSTAL

Jubileuszowa, 25. edycja Forum Termomodernizacja 2026: Nowe możliwości techniczne i finansowe termomodernizacji budynków

Praktycy, naukowcy, biznes oraz przedstawiciele administracji publicznej spotkają się 14 października 2026 roku w Warszawie, aby podjąć kluczową dyskusję o przyszłości polskiego budownictwa. Zrzeszenie Audytorów Energetycznych (ZAE) ogłasza jubileuszową, 25. edycję Forum Termomodernizacja. Tematem przewodnim tegorocznego wydarzenia będą „Nowe możliwości techniczne i finansowe termomodernizacji budynków”.

Forum Termomodernizacja to jedno z najważniejszych, cyklicznych wydarzeń branżowych w Polsce, stanowiące platformę wymiany wiedzy dla ekspertów zajmujących się szeroko pojętym efektywnym zarządzaniem energią. W obliczu unijnych celów neutralności klimatycznej oraz dynamicznie zmieniających się programów wsparcia finansowego, tegoroczna edycja skupi się na praktycznych rozwiązaniach wspierających transformację energetyczną budynków.



FORUM TERMOMODERNIZACJA 2026
25lat

Podczas paneli dyskusyjnych i prelekcji uczestnicy poruszą tematy innowacyjnych technologii budowlanych, racjonalnego wykorzystania zasobów oraz nowych mechanizmów dotacyjnych i pożyczkowych, które pozwalają na sfinansowanie nawet najbardziej wymagających inwestycji.

Kluczowe informacje:

- **Data:** 14 października 2026 r.
- **Miejsce:** Warszawa, budynek Tower-Service (ul. Tytusa Chałubińskiego 8)
- **Formuła:** Hybrydowa (stacjonarnie oraz online)
- **Rejestracja:** Rusza we wrześniu 2026 r.
- **Więcej informacji:** Szczegółowa agenda oraz formularz rejestracyjny będą dostępne na stronie:

zae.org.pl/forum-termomodernizacja-2026



O organizatorze: Zrzeszenie Audytorów Energetycznych (ZAE) – od 2000 roku zrzesza najwyższej klasy specjalistów i praktyków z zakresu efektywności energetycznej. Organizacja aktywnie wspiera procesy modernizacyjne w polskiej gospodarce poprzez doradztwo, edukację oraz wyznaczanie standardów w obszarze audytów energetycznych.

Serdecznie zapraszamy do udziału!

Powrót do korzeni – przyjedź na Światowy Kongres Absolwentów Politechniki Wrocławskiej

Światowy Kongres Absolwentów Politechniki Wrocławskiej to międzynarodowe wydarzenie organizowane z myślą o absolwentach z każdego środowiska – niezależnie od ich obecnego zamieszkania. Ma ono łączyć społeczność dyplomantów, środowisko akademickie, biznes i administrację publiczną, a także budować przestrzeń do odnowienia starych znajomości i tworzenia nowych kontaktów.

Dlaczego warto wziąć udział w Kongresie?

Kto nie pamięta szybkiej powtórki przed egzaminami, poczucia wolności, kiedy wybijały ostatnie godziny na uczelni przed długo wyczekiwany weekend – ale i tęsknoty za powrotem i możliwości spotkania się ze znajomymi z kierunku?

Miedzy innymi dlatego warto przyjechać na Kongres. Te momenty już nie wrócą fizycznie, ale można o nich powspominać – szczególnie z osobami, z którymi się je przeżywało. Będzie to wyjątkowa okazja, by spotkać ludzi z różnych pokoleń oraz branż, posłuchać ich historii, a może nawet utożsamić się z nimi i zawrzeć nowe przyjaźnie.

Co w programie wydarzenia?

Nie będzie nudy! W programie przewidziane jest wiele atrakcji, a do najważniejszych należą:

- ▶ spotkania na wydziałach – chyba każdy na swój sposób czuje sentyment do budynku, w którym spędził tyle niezapomnianych chwil,
- ▶ uroczysta kolacja i impreza taneczna, gdzie każdy będzie mógł odetchnąć od codzienności i dobrze się bawić,
- ▶ przerwy kawowe, podczas których nie starczy czasu na przegadanie wszystkich studenckich szaleństw,
- ▶ krótkie wystąpienia na przeróżne tematy – od technologii, przez biznes, well-being, po społeczne zaangażowanie i kulturę, co najważniejsze – prowadzone przez absolwentów,
- ▶ wystawa projektów z Politechniki Wrocławskiej – jak komputer może zbierać informacje o aktywności mózgowej? Jak łazik jeździ po Ziemi zamiast po Marsie? Te, jak i inne projekty będą dostępne do przetestowania.

Najważniejsze informacje

Wszystkie niezbędne informacje znajdują się na oficjalnej stronie Światowego Kongresu Absolwentów PWr i są na bieżąco aktualizowane.

Data: 16–17 października w 2026 roku

Miejsca: Kampus Politechniki Wrocławskiej – Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, Wrocław.

Stowarzyszenie Absolwentów Politechniki Wrocławskiej serdecznie zaprasza do wzięcia udziału w tym wyjątkowym wydarzeniu!

<https://absolwent.pwr.edu.pl/kongres>



NFOŚiGW inwestuje w bezpieczeństwo energetyczne i produkcję czystej energii z biogazu



NARODOWY FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ



Dofinansowane przez Unię Europejską

System handlu emisjami
Fundusz Modernizacyjny

Warszawa, 27 sierpnia 2026 r.

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) ogłasza pierwszy nabór wniosków w ramach programu Wysokosprawna kogeneracja z biogazu wytwarzanego z biomasy, w tym z odpadów komunalnych. O wsparcie mogą starać się przedsiębiorcy, których inwestycje przyczynią się do uniezależnienia systemu energetycznego od konwencjonalnych źródeł energii i wzmocnią potencjał sektora biogazu w Polsce.

- ▶ **Nabór potrwa od 31 sierpnia do 30 listopada 2026 r.**
- ▶ **Budżet naboru w wysokości 400 mln zł zapewniono z Funduszu Modernizacyjnego.**

– *Rozwój biogazu to inwestycja w bezpieczeństwo energetyczne Polski, większą niezależność od importowanych paliw oraz efektywne wykorzystanie krajowych zasobów biomasy i bioodpadów. Dzięki wsparciu NFOŚiGW przedsiębiorcy będą mogli realizować nowoczesne instalacje, które zapewniają stabilną produkcję energii i ciepła, ograniczają emisję gazów cieplarnianych i wspierają gospodarkę o obiegu zamkniętym. To program, który łączy cele energetyczne, klimatyczne i gospodarcze, przynosząc korzyści zarówno przedsiębiorcom, jak i całej gospodarce* – powiedział Paweł Augustyn, Zastępca Prezesa Zarządu NFOŚiGW.

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

ul. Pańska 97, 00-834 Warszawa

tel.: +48 22 45 90 800

Przedsiębiorcy mogą uzyskać dofinansowanie na: budowę nowych, a także rozbudowę lub modernizację istniejących instalacji fermentacji biomasy, w tym z odpadów komunalnych. Użytkany biogaz zapewni wytwarzanie energii w warunkach wysokosprawnej kogeneracji.

Minimalna moc wytwarzania energii w warunkach wysokosprawnej kogeneracji po realizacji inwestycji: od 1 MW (dotyczy sumy mocy elektrycznej oraz cieplnej zainstalowanej).

Wsparcie ze środków Funduszu Modernizacyjnego będzie udzielane w formie dotacji do 40% kosztów kwalifikowanych oraz pożyczki do 100% kosztów kwalifikowanych.

Planowane efekty programu:

- ▶ masa odpadów netto przeznaczonych do recyklingu: co najmniej 320 000 Mg/rok
- ▶ wytworzenie co najmniej 40 mln m³ biogazu rocznie.

Realizację programu Wysokosprawna kogeneracja z biogazu wytwarzanego z biomasy, w tym z odpadów komunalnych zaplanowano na lata 2025-2030. Całkowity budżet programu wynosi 1 mld zł.

Link do naboru: <https://www.govpl/web/nfosigw/nabor-20219>

www.nfosigw.gov.pl

e-mail: fundusz@nfosigw.gov.pl

NIP: 522-00-18-559

Kolejne środki z KPO wpłynęły do NFOŚiGW na finansowanie programu Czyste Powietrze



Fundusze Europejskie
na Infrastrukturę,
Klimat, Środowisko



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



KRAJOWY
PLAN
ODBUUDOWY

Dofinansowane przez Unię Europejską – NextGenerationEU

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej otrzymał kolejny 1 mld zł z Polskiego Funduszu Rozwoju na finansowanie programu Czyste Powietrze. Wypłata środków została zrealizowana po uzyskaniu akceptacji Ministerstwa Klimatu i Środowiska oraz Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej.

Na program Czyste Powietrze, w ramach którego można uzyskać dofinansowanie do termomodernizacji domów oraz wymiany nieefektywnych źródeł ciepła, NFOŚiGW pozyskał w latach 2022-2026 już ponad 10,6 mld zł z Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO). Obecnie przygotowywane są wnioski o przekazanie kolejnych 1,8 mld zł.

W ubiegłym roku Komisja Europejska potwierdziła realizację śródwskazników programu Czyste Powietrze w ramach KPO, w tym m.in. liczby wymienionych źródeł ciepła oraz budynków poddanych termomodernizacji. NFOŚiGW wraz z 16 wojewódzkimi funduszami ochrony środowiska i gospodarki wodnej, odpowiedzialnymi za rozliczanie umów o dofinansowanie i wypłatę dofinansowania beneficjentom, jest gotowy do rozliczenia finalnych wskaźników programu Czyste Powietrze w ramach KPO w sierpniu br.

Na realizację programu Czyste Powietrze w ramach KPO zaplanowano 13,9 mld zł.

Nasza misja: woda dla Polski Przeciwdziałanie suszy i zmianom klimatu w centrum nowej kampanii NFOŚiGW

Warszawa, 6 sierpnia 2026 r.

Polska należy do krajów o najniższych zasobach wodnych w Unii Europejskiej, a susza staje się jednym z najważniejszych skutków zmian klimatu. Dlatego Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) rozpoczął ogólnopolską kampanię informacyjną, w której przekonuje, że każda kropla ma znaczenie dla ludzi i natury. Z kolei walka z suszą nie zaczyna się i nie kończy na jednym programie. To system wzajemnie uzupełniających się działań finansowanych ze środków krajowych i Funduszy Europejskich, od mikroretencji po renaturyzację rzek oraz adaptację miast do zmian klimatu.

W kampanii „Nasza misja: woda dla Polski” NFOŚiGW podkreśla, że adaptacja do zmian klimatu i walka z suszą nie są odległą strategią ani zbiorem abstrakcyjnych działań. To konkretne rozwiązania, które można zobaczyć, zmierzyć i odczuć w codziennym życiu. Zanim zabraknie wody, musimy nauczyć się ją zatrzymywać, bo każda kropla, która zostaje w środowisku, to kolejny krok w stronę bezpieczniejszego i bardziej odpornego na zmiany klimatu miejsca, w którym żyjemy.

Jeden cel, wiele sposobów na zatrzymanie wody

Dzięki szerokiej ofercie wsparcia, NFOŚiGW odpowiada na różne obszary tego samego wyzwania jakim jest susza i zmiany klimatyczne, bo skuteczna odpowiedź na nie wymaga działań na wielu poziomach. Samorządy, parki narodowe, spółki wodno-kanalizacyjne czy właściciele domów jednorodzinnych mogą liczyć na dofinansowanie projektów skupionych wokół:

- ▶ retencji i zagospodarowaniu wód opadowych,
- ▶ renaturyzacji rzek i przywracaniu naturalnych procesów wodnych,
- ▶ ochronie i odtwarzaniu mokradeł oraz torfowisk,
- ▶ rozwoju zielono-niebieskiej infrastruktury w miastach,
- ▶ opracowaniu miejskich planów adaptacji do zmian klimatu,
- ▶ zwiększeniu bezpieczeństwa dostaw wody dla mieszkańców,
- ▶ rozwoju sieci kanalizacji.

Od własnego ogrodu po wielkie inwestycje

Retencja zaczyna się od codziennych działań mieszkańców, ale bazuje również na dużych inwestycjach realizowanych przez samorządy i instytucje. Pozwala zatrzymać wodę tam, gdzie jest najbardziej potrzebna, wspiera zasoby wód podziemnych, chroni przyrodę oraz zwiększa bezpieczeństwo wodne mieszkańców i całego kraju.

Dotychczas dzięki wsparciu NFOŚiGW powstało 60 tys. przydomowych instalacji do gromadzenia deszczówki, która jest wykorzystywana np. do podlewania ogrodów. Kolejne będą dofinansowane w ramach trwającego programu [Mikroretencja](#).

Jednocześnie Fundusz finansuje działania o znacznie większej skali. Wspiera odtwarzanie mokradeł i torfowisk, które są naturalnymi magazynami wody, a także projekty renaturyzacji rzek. Dzięki takim przedsięwzięciom rzeki odzyskują swoje naturalne funkcje, wspierają bioróżnorodność i pomagają ograniczać skutki suszy oraz powodzi. Dofinansowanie trafia także do Wód Polskich, których inwestycje zwiększają bezpieczeństwo przeciwpowodziowe w wielu miejscach w Polsce.

Czysta woda i nowoczesna infrastruktura

Bezpieczeństwo wodne to także dostęp do czystej wody oraz sprawnie działającej infrastruktury wodno-kanalizacyjnej. Choć na co dzień pozostaje niewidoczna dla mieszkańców, ma kluczowe znaczenie dla jakości życia i ochrony środowiska. Wsparcie NFOŚiGW pozwoliło dotychczas wybudować lub zmodernizować 1600 oczyszczalni ścieków oraz ponad 89 tys. km sieci kanalizacyjnej, z której korzysta dziś około 20 mln mieszkańców. Równolegle NFOŚiGW inwestuje w projekt budowy i modernizacji infrastruktury wodociągowej – obecnie to blisko 60 inwestycji o łącznej wartości dofinansowania prawie 1,3 mld zł.

Od pojedynczej kropli po bezpieczeństwo wodne miasta, regionu i kraju

Taką drogę pokazuje kampania „Nasza misja: woda dla Polski”, prezentując inwestycje, które realnie pomagają lepiej przygotować się na skutki suszy i zmian klimatu. Każde działanie ma znaczenie, niezależnie od tego, czy dotyczy przydomowego zbiornika na deszczówkę, tworzenia parków kieszonkowych, odtwarzania mokradeł czy budowy dużego zbiornika retencyjnego.

Zapraszamy na stronę kampanii: [Woda dla Polski](#)



Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

ul. Pańska 97, 00-834 Warszawa

tel.: +48 22 45 90 800

www.nfosigw.gov.pl

e-mail: fundusz@nfosigw.gov.pl

NIP: 522-00-18-559

SaniEvent 2027 – nowe ogólnopolskie wydarzenie dla branży inżynierii sanitarnej

dniach **27–28 kwietnia 2027 roku** w Hotelu Binkowski w Kielcach odbędzie się premierowa edycja **SaniEvent 2027**, czyli nowego ogólnopolskiego wydarzenia dedykowanego specjalistom z branży inżynierii sanitarnej. Konferencja została stworzona z myślą o **projektantach, instalatorach, integratorach oraz producentach i dystrybutorach** nowoczesnych technologii dla infrastruktury budynkowej. Dynamiczny rozwój technologii i zmieniające się wymagania prawne sprawiają, że branża inżynierii sanitarnej potrzebuje miejsc, w których można nie tylko zdobywać wiedzę, ale również wymieniać doświadczenia i budować relacje zawodowe.

Lokalizacja wydarzenia nie jest przypadkowa. **Kielce**, położone w centrum Polski, od lat są miejscem ważnych spotkań branżowych i biznesowych. Dzięki dogodnemu położeniu uczestnicy z różnych regionów kraju mogą łatwo dotrzeć na wydarzenie. Hotel Binkowski oferuje nowoczesne sale konferencyjne, komfortowe noclegi oraz strefę wellness. To dobre miejsce zarówno do udziału w wykładach i warsztatach, jak i do spotkań biznesowych oraz rozmów w mniej formalnej atmosferze.

Tematyka wydarzenia koncentruje się na:

- ▶ wentylacji i klimatyzacji (HVAC),
- ▶ technice grzewczej,
- ▶ instalacjach wodno-kanalizacyjnych,
- ▶ instalacjach i sieciach gazowych,
- ▶ nowoczesnych rozwiązaniach dla infrastruktury budynkowej,
- ▶ aktualnych trendach i zmianach technologicznych w branży.

Wiedza, praktyka i nowoczesne technologie

Integralną częścią **SaniEvent** będzie rozbudowana **strefa wystawiennicza**, w której producenci i dystrybutorzy zaprezentują najnowsze urządzenia oraz technologie dla branży sanitarnej. Uczestnicy będą mogli zapoznać się z nowościami rynkowymi, porównać dostępne rozwiązania oraz skonsultować ich zastosowanie bezpośrednio z ekspertami technicznymi.

Dwudniowy program obejmie również wykłady ekspertów, prezentacje innowacyjnych technologii oraz praktyczne warsztaty dotyczące projektowania i realizacji inwestycji. Dodatkowo, networking oraz wieczorna integracja stworzą przestrzeń do budowania długofalowej współpracy.

Jak wygląda model uczestnictwa w wydarzeniu? SaniEvent będzie spotkaniem skupiającym wyselekcjonowaną grupę projektantów, instalatorów i integratorów instalacji sanitarnych oraz infrastruktury budynkowej. Starannie dobrane grono uczestników stanowi jedną z najważniejszych wartości naszego wydarzenia i wyróżnia je na tle tradycyjnych targów branżowych, gdzie kontakt pomiędzy producentami a odbiorcami często ogranicza się do krótkich rozmów przy stoiskach.

W wydarzeniu wezmą udział:

Partnerzy i Wystawcy:

- ▶ producenci urządzeń i technologii dla branży sanitarnej,
- ▶ dystrybutorzy nowoczesnych systemów instalacyjnych,
- ▶ dostawcy rozwiązań dla infrastruktury budynkowej.

Uczestnicy:

- ▶ projektanci instalacji sanitarnych,
- ▶ projektanci HVAC,
- ▶ projektanci instalacji gazowych i wodno-kanalizacyjnych,
- ▶ instalatorzy,
- ▶ integratorzy infrastruktury budynkowej.

Organizatorem wydarzenia jest **LOCKUS K2**, firma od wielu lat specjalizująca się w organizacji konferencji branżowych stanowiących platformę wymiany wiedzy, doświadczeń oraz prezentacji nowoczesnych technologii dla środowiska projektantów, wykonawców i producentów.

Zapraszamy do kontaktu!

Bernadetta Tomalska

e-mail: btomalska@lockus-k2.pl

tel.: +48 693 907 904

Więcej informacji:

www.sanievent.pl

SaniEvent 2027



Dni Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego (DBPiE) 2026

W dniach 12–13 maja 2026 roku na Politechnice Poznańskiej odbyła się siódma edycja Dni Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego (DBPiE). Wydarzenie zgromadziło pierwszego dnia ponad 230 uczestników, a drugiego dnia około 100 uczestników – w tym przedstawicieli świata nauki, doświadczonych praktyków biznesu, inżynierów branży HVAC, a także studentów kierunków technicznych z całej Polski!

W dniach 12–13 maja 2026 roku na Politechnice Poznańskiej odbyła się kolejna edycja Dni Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego. Wydarzenie zgromadziło pierwszego dnia ponad 230 uczestników, a drugiego dnia około 100 uczestników – w tym przedstawicieli świata nauki, doświadczonych praktyków biznesu, inżynierów branży HVAC, a także studentów kierunków technicznych z całej Polski!



Dzień 1 (12 maja) – Część konferencyjna

Pierwszy dzień poświęcony był teorii, analizom rynkowym oraz prezentacji projektów. Cały program podzielono na trzy bloki tematyczne:

► I Blok: Efektywność energetyczna budynków

Konferencję rozpoczęto od prezentacji historii DBPiE oraz działalności Koła Naukowego Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej (KNIŚ). Następnie mgr inż. Łukasz Malewski zaprezentował nowoczesne systemy HVAC wdrożone w nowym Rektoracie Politechniki Poznańskiej. Tę część zamknęło wystąpienie firmy Mitsubishi Electric, dotyczące zasad prawidłowego doboru pomp ciepła, wpływających na ich maksymalną wydajność.

► II Blok: Projektowanie budynków energooszczędnych

W drugim bloku mgr inż. Adam Masłowski (akademiioprojektanta.pl) podkreślił jak kluczowy dla oszczędności energii jest etap koncepcji projektowej, natomiast dr inż. Sylwia Szczęśniak (PZITS, PWR) omówiła ciekawostki i trudności związane z wykonawstwem instalacji HVAC. Pani Anna Głębocka z Wielkopolskiej Okręgowej Izby Inżynierów budownictwa (WOIIB) przybliżyła temat uprawnień budowlanych, a Pani Kinga Świtalska z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (WFOŚiGW), omówiła dostępne źródła dofinansowania inwestycji proekologicznych.

► III Blok: Nowoczesne rozwiązania dla energooszczędności

Ostatnią część zdominowały technologie przyszłości i analizy ekonomiczne. Firma Klima-Therm przedstawiła realne koszty ogrzewania pompami ciepła na bazie twardych danych z zimy 2025/26. O krok dalej poszli dr inż. Dawid Czajor i prof. PP Łukasz Amanowicz, omawiając wykorzystanie sztucznej inteligencji w nowoczesnym ciepłownictwie. Na koniec dr inż. arch. Agnieszka Kasińska-Andruszkiewicz zaprezentowała model transformacji kampusu PUT, a studenci z AGH Kliwent podzieliли się swoimi autorskimi inicjatywami dla branży HVAC.

Dopełnieniem całego dnia była sesja posterowa, która stworzyła przestrzeń do kuluarowych dyskusji i swobodnej wymiany myśli między prelegentami a uczestnikami.

Dzień 2 (13 maja) – Część warsztatowa

Drugi dzień w całości stanowiły zajęcia praktyczne, podczas których uczestnicy mogli poznać wybrane tajniki rzeczywistej, codziennej pracy inżyniera środowiska.

Warsztaty obejmowały:

- Spacer edukacyjny: Prof. dr hab. inż. arch. Sławomir Rosolski przeprowadził wycieczkę oraz przedstawił analizę eksploatacyjną budynku WAIWIZ po pięciu latach od jego otwarcia.
- Projektowanie instalacji wodnych i grzewczych: Firma Nueva Terrain poprowadziła warsztaty z projektowania w budownictwie pasywnym przy użyciu systemu Terrain SDP.
- Montaż i instalacja urządzeń: Firmy Mitsubishi Electric oraz Bud-went zorganizowały kurs „ABC Młodego Instalatora”, obejmujący lutowanie, skręcanie rur oraz eliminację błędów montażowych w pompach ciepła i klimatyzacji.
- Centrale wentylacyjne: Firma Lindab omówiła budowę i zasadę działania centrali z obrotowym wymiennikiem ciepła
- Świadectwa energetyczne: Firma Dembski&Nowak poprowadziła zajęcia dotyczące faktów i mitów w obszarze charakterystyki energetycznej.
- Wentylacja obiektów wielorodzinnych i przemysłowych: Firma Brookvent zaprezentowała systemy higrosterowane oraz instalacje z odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego.
- Programy doborowe: Firma Swegon przeszkoliła uczestników z obsługi narzędzi inżynierskich Room Unit Design oraz AHU Design.

W dniu warsztatowym, uczestnicy DBPiE 2026 zdobyli praktyczne umiejętności manualne i projektowe!



Nadchodzące Wydarzenia

Ochrona drewnianych budynków zabytkowych instalacją mgły wodnej niskociśnieniowej

Szkolenie poświęcone będzie zagadnieniom związanym z ochroną przeciwpożarową drewnianych budynków zabytkowych z wykorzystaniem instalacji mgły wodnej niskociśnieniowej. Omówiony zostanie wpływ lokalizacji obiektu i sposobu zaopatrzenia w wodę na wybór rozwiązania oraz wymagania konserwatora zabytków i konieczność współpracy wielu branż.

W trakcie spotkania przedstawione zostaną również przykładowe projekty oraz możliwe kierunki rozwiązań pozwalających na optymalne zabezpieczenie obiektów zabytkowych.

Wykładowca: mgr inż. Małgorzata Sawczuk

Termin: 15 października 2026 r., godz. 11:00–14:00

Miejsce: on-line

Szczegóły: pzits.com.pl/index.php/szkolenia-seminaryjne

Oprogramowanie wspierające projektowanie rurociągów preizolowanych – produkty, zastosowania, możliwości i ograniczenia

Szkolenie poświęcone będzie narzędziom wspierającym projektowanie rurociągów preizolowanych oraz ich praktycznemu zastosowaniu. Omówione zostaną rodzaje i zastosowania rur preizolowanych – stalowych i elastycznych – a także narzędzia wykorzystywane do obliczeń statycznych rurociągów stalowych.

Uczestnicy poznają również przykładowe zastosowania rur typu Isoplus oraz możliwości wykorzystania omawianych rozwiązań w praktyce projektowej.

Wykładowca: Marcin Dyśko (ISOPLUS)

Termin: 27 października 2026 r., godz. 11:00–14:00

Miejsce: szkolenie online

Szczegóły: pzits.com.pl/index.php/szkolenia-seminaryjne

Webinar: Bezwykopowa renowacja sieci kanalizacyjnych i wodociągowych

Główna Sekcja Wodociągów i Kanalizacji PZITS zaprasza na dwuczęściowe szkolenie online poświęcone planowaniu, projektowaniu i realizacji bezwykopowych renowacji sieci kanalizacyjnych i wodociągowych.

Podczas spotkań omówione zostaną zagadnienia związane z oceną stanu technicznego przewodów, identyfikacją problemów eksploatacyjnych, doбором odpowiedniej technologii renowacji oraz przygotowaniem dokumentacji projektowej. Program obejmuje również wymagania odbiorowe i kontrolę jakości, problemy wykonawcze oraz doświadczenia praktyczne i studia przypadków.

Pierwsza część szkolenia dotyczyć będzie renowacji sieci kanalizacyjnych, natomiast druga – sieci wodociągowych. Szkolenie skierowane jest m.in. do projektantów, inwestorów, eksploataatorów oraz osób uczestniczących w planowaniu i realizacji prac renowacyjnych.

Termin: Część I – renowacja sieci kanalizacyjnych: 13 października 2026 r., godz. 9:00–13:00

Część II – renowacja sieci wodociągowych: 1 grudnia 2026 r., godz. 9:00–13:00

Miejsce: on-line

Szczegóły: <https://pzits.pl/webinar-bezwykopowa-renowacja-sieci-kanalizacyjnychiwodociagowych-planowanie-projektowanie-wykonawstwo>

XIX Konferencja Naukowo-Techniczna „Wentylacja, Klimatyzacja, Ogrzewnictwo, Środowisko” 2026

PZITS Oddział w Krakowie wraz ze współorganizatorami zaprasza na XIX Konferencję Naukowo-Techniczną „Wentylacja, Klimatyzacja, Ogrzewnictwo, Środowisko”. Wydarzenie będzie okazją do wymiany wiedzy i doświadczeń przedstawicieli nauki, branży instalacyjnej, przedsiębiorstw komunalnych oraz specjalistów z zakresu inżynierii środowiska i energetyki.

Program obejmuje cztery główne obszary: ciepłownictwo i ogrzewnictwo w kontekście dekarbonizacji, wentylację i klimatyzację, środowisko i gospodarkę obiegu zamkniętego oraz nowoczesne zarządzanie. Poruszone zostaną m.in. zagadnienia pomp ciepła, magazynowania energii, jakości powietrza, odzysku ciepła, gospodarki wodnej, sztucznej inteligencji i cyfryzacji.

Termin: 22–23 października 2026 r.

Miejsce: Lake View Żywiec Resort & Spa, Tresna

Szczegóły: <https://pzits.krakow.pl/konferencja-2026>

Certyfikacja serwisantów MOŚ – nowy standard jakości i ochrony środowiska

Zrównoważony rozwój i dbałość o środowisko naturalne wymuszają na branży sanitarnej ciągłe podnoszenie standardów. Jednym z kluczowych obszarów, który w ostatnich latach wymagał pilnej interwencji i uporządkowania, jest rynek małych oczyszczalni ścieków. W odpowiedzi na rosnące zapotrzebowanie oraz zgłaszane przez użytkowników problemy, Wielkopolski Oddział Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych zainicjował i z sukcesem prowadzi pionierski w skali kraju projekt certyfikacji serwisantów tych obiektów.

Małe oczyszczalnie ścieków cieszą się w Polsce coraz większą popularnością, stanowiąc ważny element gospodarki wodno-ściekowej. Należy jednak pamiętać, że samo zainstalowanie urządzenia to dopiero początek drogi do osiągnięcia zamierzonego efektu ekologicznego, ale jak się okazuje, i ekonomicznego. Do prawidłowego serwisowania tych instalacji brakuje niestety wykwalifikowanych specjalistów.



Jak pokazują obserwacje rynku oraz sygnały od samych użytkowników na forach internetowych i w prasie, jakość usług serwisowych często budzi poważne zastrzeżenia. Nierzadko spotykać się można z praktyką tzw. „fikcyjnych przeglądów”, które ograniczają się jedynie do wizualnych oględzin, wypisania dokumentów lub powierzchownego umycia elementów instalacji. Prowadzi to do szybkiej utraty rentowności urządzeń i braku deklarowanych przez producenta efektów oczyszczania. Problem ten dawno przestał dotyczyć wyłącznie hermetycznego środowiska branżowego, gdyż to zaniechanie uderza w tysiące właścicieli przydomowych oczyszczalni oraz narusza ogólnospołeczny interes.

Aby poprawić jakość serwisowania i zapobiec postępującej degradacji urządzeń, PZITS podjęło się opracowania planu szkolenia oraz możliwości zdobycia kwalifikacji wolnorynkowej dla serwisantów. W ramach Zintegrowanego Systemu Kwalifikacji (ZSK), PZITS zostało instytucją certyfikującą (obecnie jedyną w Polsce uprawnioną do tego zadania), która prowadzi walidację – sprawdza, czy kandydat faktycznie posiada wymaganą wiedzę oraz umiejętności praktyczne. Kwalifikacja ta została włączona do Zintegrowanego Systemu Kwalifikacji na poziomie PRK 4.



Jak tłumaczy dr hab. inż. Dobrochna Ginter-Kramarczyk, Przewodnicząca Komisji Walidacyjnej: „Certyfikacja to bynajmniej nie „uzyskanie papierka”. To nie kolejny, wewnętrzny dokument, który warto oprawić w ramkę, a faktyczne potwierdzenie kompetencji serwisanta w ramach kwalifikacji wolnorynkowej wpisanej do Zintegrowanego Systemu Kwalifikacji. Tym samym to gwarancja, iż serwisant, który pozytywnym wynikiem ukończył walidację, jest fachowcem biegłym w swoim fachu.”

Historyczna, pierwsza w Polsce walidacja serwisantów MOŚ, zrealizowana przez Wielkopolski Oddział PZITS, odbyła się 21 czerwca 2024 r. Jej część praktyczna miała miejsce na obiektach w podpoznańskim Zakrzewie i Skórzewie. Zainicjowanie tego procesu w Wielkopolsce podkreśla rolę tego obszaru jako prekursora zmian.





„Ranga tego wydarzenia wykracza daleko poza granice samego regionu. Wprowadzenie certyfikacji serwisantów MOŚ przez PZITS to milowy krok w kierunku profesjonalizacji branży i poprawy standardów ochrony środowiska w Polsce” – zaznacza dr inż. Teresa Kubiak, prezes Wielkopolskiego Oddziału PZITS.

Inicjatywa spotkała się z odzewem rynku. Do chwili obecnej Oddział Wielkopolski PZITS przeprowadził już pięć edycji certyfikacji, w wyniku których na rynek trafiło 27 rzetelnie zweryfikowanych specjalistów. Każdy z nich, aby zdobyć uprawnienia, musiał pomyślnie przejść proces walidacyjny, czyli zdać egzamin teoretyczny i praktyczny przed specjalnie powołanym do tego zadania składem asesorów Komisji Walidacyjnej.

„Choć liczba przeprowadzonych dotąd egzaminów może z pozoru wydawać się niezbyt spektakularna, należy wziąć pod uwagę czas, jaki musimy poświęcić każdemu uczestnikowi. Wynika to bezpośrednio ze złożonej procedury określonej w ramie kwalifikacyjnej oraz naszych bezwzględnych zobowiązań do należytego przeprowadzenia egzaminu. Warto mocno podkreślić, że walidacja jest obiektywnym procesem podlegającym ściśle określonym wytycznym. Z tego względu jedna edycja pozwala nam na ten moment na rzetelne przeegzaminowanie maksymalnie 5-6 osób. Wierzymy jednak, że w miarę rozwoju naszej inicjatywy, to grono będzie sukcesywnie rosnąć, a liczbę przeprowadzonych dotąd procedur uznać należy za wynik bardzo dobrze rokujący” – mówi Jakub Skrzypczak, koordynator walidacji z ramienia Wielkopolskiego Oddziału PZITS.

Wielkopolski Oddział PZITS stale udoskonala wprowadzane rozwiązania, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom uczestników, którzy zjeżdżają na egzaminy z różnych zakątków Polski. Organizacja oddzielnego kursu przygotowawczego w innym terminie zmuszałaby kandydatów do dwukrotnego przyjazdu. Dlatego od kilku edycji praktyczna część kursu przygotowawczego realizowana jest bezpośrednio w dniu walidacji. Takie podejście nie tylko pozwala na znaczną optymalizację kosztów dojazdu i zakwaterowania po stronie uczestników, ale również umożliwia im wcześniejsze zapoznanie się z obiektami i instalacjami, na których później zdają egzamin praktyczny.

Pojawiają się również bardzo budujące informacje zwrotne od osób, które pomyślnie przeszły proces walidacji. Z relacji samych serwisantów wynika, że certyfikacja realnie pomogła im rozwinąć się zawodowo, a ich potwierdzone kompetencje zostały szybko dostrzeżone przez potencjalnych pracodawców. Jeden z uczestników, posługując się uzyskanym certyfikatem, rozpoczął nawet współpracę z Generalną Dyrekcją Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), co stanowi najlepszy dowód na rynkową wartość tego dokumentu.

Nadrzędnym celem działań związanych z certyfikacją serwisantów MOŚ jest dalsza, systemowa profesjonalizacja tej gałęzi rynku. O ile na ten moment posiadanie certyfikatu jest pożądaną i dobrą praktyką, o tyle docelowym założeniem jest wprowadzenie standardu, w którym taki dokument będzie formalnym obowiązkiem przy serwisowaniu MOŚ na wzór rozwiązań funkcjonujących m.in. w Niemczech.



O uzyskanie certyfikatu mogą ubiegać się m.in.: pracownicy firm serwisujących oraz dokonujących montażu MOŚ, technicy i inżynierowie z branży ochrony środowiska, pracownicy gminnych zakładów komunalnych, zarządcy nieruchomości i obiektów użyteczności publicznej, a także osoby prowadzące szkolenia dla użytkowników.

Korzyści z wdrożenia systemu są wielorakie. Dla użytkowników MOŚ to pewność, że powierzają swój sprzęt fachowcowi, co gwarantuje długowieczność instalacji. Dlatego wbrew pozorom to właśnie oni są największymi beneficjentami prowadzonych walidacji. Dla samego serwisanta certyfikat to ważny atut i dowód na jego profesjonalizm, co znacząco zwiększa jego potencjał na rynku pracy. Niemniej ważny pozostaje realny efekt ekologiczny dla środowiska.

Aby ułatwić znalezienie rzetelnego fachowca, PZITS prowadzi ogólnodostępną listę osób certyfikowanych, która znajduje się na stronach Stowarzyszenia. Ponadto Oddział Wielkopolski PZITS już teraz planuje organizację specjalnego panelu dyskusyjnego. Uczestniczyć w nim będą certyfikowani serwisanci, którzy podzielą się swoimi realnymi doświadczeniami z szerszym audytorium podczas konferencji „Ochrona środowiska w praktyce”, organizowanej w ramach Międzynarodowych Targów Ochrony Środowiska POLECO.

**Szczegółowe informacje
dotyczące certyfikacji
serwisantów MOŚ dostępne
są na stronie:**

www.pzits.pl/mos

