

4/2026
kwiecień

ISSN 0137-3676
e-ISSN 2449-9900
tom 57 (4)

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



®

ZPUM

LIDER NOWOCZESNYCH TECHNOLOGII



Produkcja rur metodą Conti

pojedyncze i podwójne, w zakresie średnic rury osłonowej do Dz355 mm z aluminiową bariera dyfuzyjną lub bez bariery

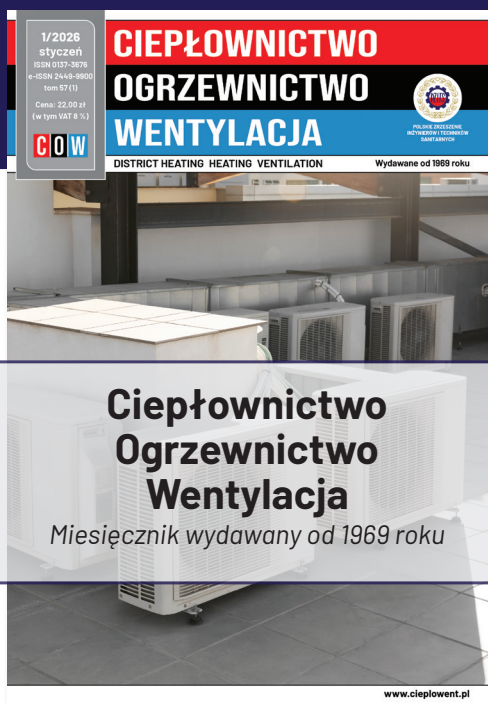


WWW.ZPUM.PL 

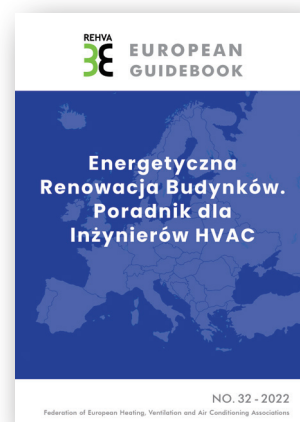


www.cieplownictwoogrzewnictwowentylacja.pl

Czasopisma Polskiego Zrzeszenia
Inżynierów i Techników Sanitarnych
w nowej odsłonie



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 stycznia bezpłatną
prenumeratę czasopism PZITS.

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



Szanowni Państwo,

w kwietniowym numerze przedstawiamy treści skoncentrowane wokół optymalizacji funkcjonowania systemów technicznych budynków w kontekście rosnących wymagań efektywności energetycznej, jakości powietrza oraz ograniczania emisji zanieczyszczeń. Prezentujemy spójny obraz współczesnych wyzwań stojących przed sektorem inżynierii środowiska i odnawialnych źródeł energii.

Istotnym elementem jest rola właściwej eksploatacji i serwisowania instalacji HVAC przedstawiona przez Angelike Baran. Regularne przeglądy techniczne oraz zgodność z obowiązującymi normami i przepisami stanowią podstawę utrzymania wysokiej sprawności energetycznej urządzeń, zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego oraz bezpieczeństwa użytkowników. W praktyce eksploatacyjnej oznacza to konieczność systematycznego monitorowania stanu instalacji, optymalizacji harmonogramów serwisowych oraz wdrażania dobrych praktyk wynikających z doświadczeń branżowych.

Równolegle obserwuje się rozwój rozwiązań technologicznych ukierunkowanych na zwiększenie efektywności energetycznej systemów wentylacyjnych, szczególnie w kontekście rosnącej szczelności budynków, co zostało omówione w materiale Beaty Galiszewskiej i Kingi Kujawskiej. Wentylacja mechaniczna, w tym rozwiązania zdecentralizowane z odzyskiem ciepła, stanowi odpowiedź na ograniczenia wentylacji naturalnej. Zastosowanie materiałów zmiennofazowych (PCM) w wymiennikach ciepła pozwala na zwiększenie sprawności odzysku energii, co potwierdzają wyniki badań eksperymentalnych. Wskazuje to na duży potencjał rozwoju innowacyjnych technologii magazynowania i odzysku ciepła w systemach wentylacyjnych.

Kolejnym istotnym obszarem jest integracja odnawialnych źródeł energii z systemami grzewczymi budynków przedstawiona przez Sylwię Wciślik i Alicję Kokosza. Analiza współpracy gruntowych pomp ciepła z instalacjami fotowoltaicznymi pokazuje, że możliwe jest znaczące ograniczenie zapotrzebowania na energię końcową oraz redukcja emisji CO₂. Tego typu rozwiązania wpisują się w koncepcję budynków niskoenergetycznych i zeroemisyjnych, zwiększając jednocześnie niezależność energetyczną użytkowników.

Nieodzowna jest także minimalizacja strat energii w infrastrukturze technicznej, czego przykładem są analizy strat ciepła w rurociągach opisane przez Sylwię Wciślik i Annę Wypych. Wyniki badań wskazują, że odpowiednia izolacja termiczna może ograniczyć straty nawet o 80–90%, co ma bezpośrednie przełożenie zarówno na koszty eksploatacyjne, jak i emisję gazów cieplarnianych. Optymalizacja w tym zakresie stanowi jeden z kluczowych, a jednocześnie relatywnie prostych środków poprawy efektywności energetycznej.

Ważnym obszarem zastosowań wentylacji są systemy stosowane w blokach operacyjnych. Odgrywają one klu-



czową rolę w zapobieganiu zakażeniu miejsca operowanego (SSI), stanowiąc jeden z podstawowych elementów kontroli środowiska wewnętrznego. Oprócz powszechnie stosowanych rozwiązań, takich jak systemy laminarnego przepływu powietrza (LAF) oraz wentylacja mieszająca (TMA), rozwijane są również kombinacje tych układów, jak na przykład opisywany przez Annę Bogdan system Temperature-controlled Airflow (TcAF).

Przedstawione w numerze zagadnienia wskazują na konieczność zintegrowanego podejścia do projektowania, eksploatacji i modernizacji systemów budynkowych. Kluczowe znaczenie ma jednocześnie uwzględnienie efektywności energetycznej, jakości powietrza oraz aspektów środowiskowych i ekonomicznych. Tylko takie podejście umożliwia skuteczne ograniczenie zużycia energii, redukcję emisji oraz poprawę komfortu i bezpieczeństwa użytkowników, wpisując się w globalne cele dekarbonizacji i zrównoważonego rozwoju sektora budownictwa.

Mając nadzieję, że niniejsze opracowanie rozbudziło Państwa zainteresowanie omawianą tematyką, zapraszamy do lektury pełnych artykułów.

Ewa Zender-Świercz

Odwiedź nową stronę czasopisma ciepłownictwoogrzewnictwowentylacja.pl



oraz nowe media społecznościowe:

www.facebook.com/COW.PZITS
www.linkedin.com/company/cow-ciepłownictwo-ogrzewnictwo-wentylacja

Zapraszamy na stronę internetową prowadzoną przez nowego wydawcę. Udostępniamy tam aktualne numery, materiały redakcyjne oraz bieżące informacje. Zachęcamy również do śledzenia naszych mediów społecznościowych.



Spis treści

Ewa Zender-Świercz – Na pierwszy rzut oka..... 1

Nauka i Technika

Sylwia Wciślik, Anna Wypych – Straty ciepła przez niez izolowane elementy węzła ciepłowniczego. Studium przypadku / Heat losses through uninsulated components of a heating substation. Case study 3

Angelika Baran – Serwis i przeglądy urządzeń klimatyzacyjnych i wentylacyjnych – znaczenie, wymagania prawno-normatywne oraz dobre praktyki eksploatacyjne / Maintenance and inspection of air conditioning and ventilation equipment – importance, legal and normative requirements and good operating practices 12

Sylwia Wciślik, Alicja Kokosza – Analiza efektywności energetycznej i emisji CO₂ w cyklu życia układu gruntowej pompy ciepła zintegrowanej z mikroinstalacją PV / Life-cycle analysis of energy efficiency and CO₂ emissions in a ground-source heat pump system integrated with a PV micro-installation..... 16

Beata Galiszewska, Kinga Kujawska – Analiza efektywności odzysku ciepła w zdecentralizowanym systemie wentylacji fasadowej z zastosowaniem materiałów zmienno fazowych (PCM) / Analysis of heat recovery efficiency in a decentralised façade ventilation system using phase change materials (PCM)..... 26

TECHMEDIS

Ana Bogdan – Temperature-Controlled Airflow Ventilation in Operating Rooms – inne podejście do kontroli zanieczyszczeń i prewencji zakażeń miejsca operowanego w salach operacyjnych..... 35

Sylwia Szczęśniak – Możliwości ograniczenia strumienia powietrza wentylującego 38

Prawo

Andrzej Falkowski – Kto powinien zapewnić wytyczenie i inwentaryzację geodezyjną? 41

Wydarzenia

COLD-TECH Poland..... 11

Dni Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego..... 42

Zostań inżynierem przyszłości! Weź udział w Konkursie „Zrównoważone Środowisko” i zdobądź Indeks PW! 43

Pomaganie Buduje 2026 45

Air, Heat and Energy 47

PZITS w działaniu

Główna Komisja Legislacyjna PZITS – głos środowiska w procesie stanowienia prawa..... 46

Nadchodzące wydarzenia 48

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, and 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 04/2026

Nakład: 250 egzemplarzy

INFORMACJE DODATKOWE

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

Czasopismo jest indeksowane w: BazTech,

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.



Straty ciepła przez niezaizolowane elementy węzła ciepłowniczego. Studium przypadku

Heat losses through uninsulated components of a heating substation. Case study



Dr inż. Sylwia Wciślik

ORCID ID: [0000-0003-2152-9686](https://orcid.org/0000-0003-2152-9686)
Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska
sylwiazw@tu.kielce.pl



Inż. Anna Wypych

Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska

Słowa kluczowe: termowizja, izolacja przewodów, straty ciepła, węzeł ciepłowniczy

Streszczenie

Artykuł analizuje straty ciepła w niezaizolowanych rurociągach węzłów ciepłowniczych. W analizie wykorzystano model ogólny oraz podejście szczegółowe, rozdzielające procesy fizyczne konwekcji i promieniowania. Badania wykazały, że promieniowanie stanowi aż 50–56% całkowitych strat ciepła rurociągów nieizolowanych. Największą redukcję strat (ponad 80–90%) uzyskuje się już przy zastosowaniu pierwszych 100–150 mm izolacji. Przykładowa analiza ekonomiczna wykazała, że straty ciepła na 10 m niezaizolowanej rury mogą kosztować około 620 zł netto miesięcznie przy niewielkiej temperaturze czynnika roboczego (60°C) i być wielokrotnie. Optymalizacja izolacji jest kluczowa dla dekarbonizacji sektora budowlanego, odpowiadającego za blisko 38% krajowej emisji CO₂.

Keywords: thermography, pipe insulation, heat losses, heat substation plant room

Abstract

This article analyzes heat losses in uninsulated pipelines in district heating systems. The analysis utilizes a general model and a detailed approach that separates the physics of convection and radiation. The studies have shown that radiation accounts for as much as 50–56% of the total heat losses in uninsulated pipelines. The greatest reduction in losses (over 80–90%) is achieved with the first 100–150 mm of insulation. A sample economic analysis showed that losses per 10 m of uninsulated pipe can cost approximately 620 PLN net per month at a low operating temperature (60°C) and can be multiplied. Insulation optimization is crucial for decarbonizing the construction sector, which accounts for nearly 38% of national CO₂ emissions.

Wstęp

Zagadnienie analizy strat ciepła w niezaizolowanych rurociągach ma kluczowe znaczenie w kontekście współczesnej eksploatacji systemów ciepłowniczych, dotykając trzech fundamentalnych aspektów: technicznego, ekonomicznego i środowiskowego. Strata ciepła w niezaizolowanych i źle zaizolowanych przewodach przekłada się bezpośrednio na zwiększone zapotrzebowanie na energię. Każdy 1 Wat utraconego ciepła to realny koszt operacyjny, powiązany ze zużyciem paliwa, obciążeniem źródła ciepła ale również skrócona żywotność komponentów. Izolacja rurociągów stanowi obszar uregulowany w polskim systemie prawnym (Polski Komitet Normalizacyjny, 192, 2022a, 2022b; Minister Rozwoju i Technologii, 2022). Kwestia doboru izolacji technicznej przewodów grzewczych stanowi jeden z kluczowych elementów optymalizacji efektywności energetycznej systemów budynkowych. Jak wykazuje analiza przeprowadzona przez (Knapik, 2020), redukcja strat ciepła na przesyłach pozwala na obniżenie kosztów eksploatacyjnych, zapewniając relatywnie szybki zwrot nakładów inwestycyjnych oraz umożliwiając bardziej precyzyjne dopasowanie mocy źródła ciepła do realnych

potrzeb budynku (Knapik, 2020). Ze względu na spadek zapotrzebowania miast na ciepło w sezonie letnim, udział procentowy strat ciepła w ogólnym bilansie sieci wzrasta (Niemyjski, 2013). W dobie postępującej transformacji energetycznej, dekarbonizacja zasobów budowlanych staje się priorytetem, co potwierdza analiza (Biniek, 2025), w której wskazano, że sektor budownictwa w Polsce odpowiada za blisko 38% krajowej emisji CO₂, przy czym kluczowym obszarem wymagającym interwencji jest faza operacyjna budynków, generująca 28% całkowitego śladu węglowego (Biniek, 2025). Prawidłowo zaprojektowana i wykonana izolacja techniczna stanowi zatem fundament zrównoważonego ciepłownictwa, bezpośrednio wpływając na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz redukcję kosztów operacyjnych systemów dystrybucji ciepła (Ryńska, 2011). Minimalna grubość izolacji cieplnej nie zależy wyłącznie od wielkości współczynnika przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego (Polski Komitet Normalizacyjny, 2009), średnicy przewodu lub komponentu, czy od transportowanego medium, ale również od miejsca montażu (Minister Rozwoju i Technologii, 2022), o czym wspomina Tabela 1.

Tabela 1. Wymagania dotyczące izolacji cieplnej przewodów i komponentów (Minister Rozwoju i Technologii, 2022)
Table 1. Requirements for thermal insulation of cables and components (Minister Rozwoju i Technologii, 2022)

L.p.	Rodzaj przewodu lub komponentu	Minimalna grubość izolacji cieplnej $\lambda=0,035$, W/(m·K)
1	Średnica wewnętrzna do 22 mm	20 mm
2	Średnica wewnętrzna od 22 do 35 mm	30 mm
3	Średnica wewnętrzna od 35 do 100 mm	równa średnicy wewnętrznej rury
4	Średnica wewnętrzna ponad 100 mm	100 mm
5	Przewody i armatura wg lp. 1-4 przechodzące przez ściany lub stropy, skrzyżowania przewodów	50% wymagań z lp. 1-4
6	Przewody ogrzewań centralnych, przewody wody ciepłej i cyrkulacji instalacji ciepłej wody użytkowej wg lp. 1-4, ułożone w komponentach budowlanych między ogrzewanymi pomieszczeniami różnych użytkowników	50% wymagań z lp. 1-4
7	Przewody wg lp. 6 ułożone w podłodze	6 mm
8	Przewody ogrzewania powietrznego (ułożone w części ogrzewanej budynku)	40 mm
9	Przewody ogrzewania powietrznego (ułożone w części nieogrzewanej budynku)	80 mm
10	Przewody instalacji wody lodowej prowadzone wewnątrz budynku 2)	50% wymagań z lp. 1-4
11	Przewody instalacji wody lodowej prowadzone na zewnątrz budynku 2)	100% wymagań z lp. 1-4

Uwaga: Przy zastosowaniu materiału izolacyjnego o innym współczynniku przewodzenia ciepła niż podany w tabeli – należy skorygować grubość warstwy izolacyjnej. Izolacja cieplna wykonana jako powietrzno-szczelna.

Tabela 2. Zależność grubości izolacji od współczynnika przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego dla rurociągu o średnicy $D = 22$ mm. Źródło: opracowanie własne

Table 2. Dependence of insulation thickness on the thermal conductivity coefficient of the insulating material for a pipeline with a diameter of $D = 22$ mm. Source: authors' own study

L.p.	Średnica przewodu	Współczynnik przewodzenia ciepła dowolnego materiału izolacyjnego	Obliczeniowa grubość izolacji	Dobrana grubość izolacji	Różnica bezwzględna w grubości izolacji	Różnica procentowa
	D , mm	λ , W/mK	e_i , mm	e_{iA} , mm	$\Delta e = e_{iA} - e $, mm	$\frac{\Delta e}{e} \cdot 100\%$
1	22	0,030	15,57	16	4,43	22,1
2		0,032	17,34	18	2,66	13,3
3		0,034	19,11	20	0,00	0,0
4		0,035	-	20	-	-
5		0,036	20,89	21	0,89	4,4
6		0,038	22,66	23	2,66	13,3
7		0,040	24,43	25	4,43	22,1

Grubości materiałów izolacyjnych o innym współczynniku przewodzenia ciepła niż wynika to z (Minister Rozwoju i Technologii, 2022) oraz z Tabeli 1 należy skorygować zgodnie z zależnością:

$$e_1 = \frac{D \left(\frac{D + 2e}{D} \right) \frac{\lambda_1}{0,035} - D}{2} \quad (1)$$

gdzie:

- e – grubość izolacji określona zgodnie z (Minister Rozwoju i Technologii, 2022), mm
- D – średnica zewnętrzna izolowanego przewodu, mm
- λ_1 – współczynnik przewodzenia ciepła materiału w temperaturze 40°C, W/(m·K)

Celem niniejszej analizy jest określenie, jak zmienia

się wymagana grubość izolacji cieplnej przewodów przy zastosowaniu materiałów o różnych współczynnikach przewodzenia ciepła λ , innych niż wartość referencyjna $\lambda=0,035$ W/(mK), wykorzystywana w (Minister Rozwoju i Technologii, 2022). W Tabeli 2 podano przykładowe wartości grubości izolacji w funkcji zmian współczynnika przewodzenia ciepła, $e_1(\lambda_1)$.

Metodologia obliczania strat ciepła przez nieizolowaną powierzchnię rury

Podejście ogólne

Podstawowy wzór do obliczania strat ciepła przez nieizolowaną powierzchnię rurociągu opiera się na zależ-

ności między współczynnikiem przenikania ciepła, powierzchnią wymiany ciepła oraz różnicą temperatur po obu stronach rurociągu przy uwzględnieniu zjawiska konwekcji oraz przewodzenia:

$$Q = U \cdot S \cdot (T_w - T_z) = U \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot (T_w - T_z) \quad (2)$$

gdzie:

U – współczynnik przenikania ciepła, zależny od materiału rurociągu oraz otoczenia w jakim jest on zainstalowany, W/m^2K

S – powierzchnia wymiany ciepła, m^2

T_w – temperatura powierzchni rurociągu, $^{\circ}C$ lub K

T_z – temperatura otoczenia, $^{\circ}C$ lub K

W celu określenia strat ciepła przez niezainstalowany odcinek rurociągu, w przypadku węzłów ciepłych zastosowano następujące założenia praktyczne:

1. powietrze znajduje się w spoczynku - zakłada się konwekcję swobodną (Chu, 1973; Bergman, 2016),
2. różnice w wymianie ciepła dla rury poziomej w porównaniu do ułożenia pionowego są pomijalnie małe,
3. temperatura powierzchni niezainstalowanej jest w przybliżeniu równa temperaturze medium grzewczego,
4. stałe warunki otoczenia.

Podejście szczegółowe - z rozbiem na mechanizmy wymiany ciepła

W kolejnym etapie obliczeń przyjęto podejście bardziej szczegółowe, w którym całkowita wymiana ciepła po stronie zewnętrznej została rozdzielona na dwie składowe – konwekcyjną oraz radiacyjną. Współczynnik konwekcyjnej wymiany ciepła określono na podstawie liczby Rayleigha (wzór (7)) i korelacji na kryterialną liczbę Nusselta (wzór (6)) dla konwekcji naturalnej wokół rury – cylindra; składową radiacyjną obliczono z kolei z wykorzystaniem zliniaryzowanego prawa Stefana-Boltzmana, na podstawie którego pracują urządzenia termowizyjne. Całkowity lokalny współczynnik przejmowania ciepła stanowiący sumę (wzór 3)) składowej konwekcyjnej h_{know} , (wzór (4)) oraz radiacyjnej, (wzór (5)) wynosi:

$$h_{tot} = h_{konw} + h_{rad}, \frac{W}{m^2K} \quad (3)$$

gdzie:

h_{know}, h_{know} – odpowiednio konwekcyjna oraz radiacyjna składowa współczynnika przejmowania ciepła (z korelacji Churchill-Chu dla konwekcji swobodnej) określone z zależności (4) oraz (7):

$$h_{konw} = \frac{Nu \cdot \lambda_{powietrza}}{D}, \frac{W}{m^2K} \quad (4)$$

gdzie:

Nu – kryterialna liczba Nusselta, –
 $\lambda_{powietrza}$ – przewodność cieplna powietrza, $\frac{W}{mK}$
 D – zewnętrzna średnica rurociągu, m

$$h_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_z + T_w) \cdot (T_z^2 + T_w^2), \frac{W}{m^2K} \quad (5)$$

gdzie:

ε – emisyjność powierzchni, –
 σ – stała Stefana-Boltzmana ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$)
 T_w – temperatura powierzchni rurociągu, $^{\circ}C$ lub K
 T_z – temperatura powietrza, otoczenia, $^{\circ}C$ lub K

$$Nu = \left[0,60 + \frac{0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad (6)$$

gdzie:

Ra – liczba Rayleigha, –

Pr – liczba Prandtla, –

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot D^3 \cdot Pr}{\nu^2} \quad (7)$$

gdzie:

g – przyspieszenie ziemskie, m/s^2

$\beta = 1/T$ – współczynnik rozszerzalności cieplnej płynu, $1/K$

ΔT – różnica temperatury między powierzchnią, a otoczeniem, K

D – wymiar charakterystyczny (tu: średnica rurociągu), m

ν – kinematyczna lepkość płynu, m^2/s

Całkowite straty ciepła w odniesieniu do jednostki długości rury określa się z zależności:

$$Q = (\dot{Q}_{konw} + \dot{Q}_{rad}) \cdot L \quad (8)$$

lub tożsamy zapis

$$\dot{q} = \pi \cdot D \cdot h_{tot} \cdot (T_w - T_z) \quad (9)$$

gdzie:

D – zewnętrzna średnica rurociągu, m

h_{tot} – całkowity lokalny współczynnik przejmowania ciepła, $\frac{W}{m^2K}$

$$\dot{Q}_{konw} = \pi \cdot D \cdot h_{konw} \cdot (T_w - T_z) \quad (10)$$

gdzie:

D – średnica zewnętrzna, m

h_{know} – konwekcyjna składowa współczynnika przejmowania ciepła (z korelacji dla konwekcji swobodnej (Chu, 1973; Bergman, 2016)

Radiacyjne straty ciepła z zewnętrznej powierzchni niezainstalowanego rurociągu uwzględnia się tu ze względu na ich wpływ na temperaturę powierzchni. Można je określić wykorzystując kamerę termowizyjną. Mierzy ona bezpośrednio temperaturę powierzchni, radiacyjny transfer ciepła został oszacowany w sposób jawny, korzystając z prawa Stefana-Boltzmana:

$$\dot{Q}_{rad} = \pi \cdot D \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_w^4 - T_z^4) \quad (11)$$

gdzie:

D – zewnętrzna średnica rurociągu, m

ε – emisyjność powierzchni, –

σ – stała Stefana-Boltzmana ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$)

Kamera termowizyjna nie pokazuje bezpośrednio radiacyjnych strat ciepła, ale mierzy promieniowanie podczerwone. Wartość emisyjności dobrano na podstawie właściwości materiału i skorygowano podczas pomiaru termograficznego. Straty ciepła radiacyjnego oszacowano oddzielnie, a następnie dodano do strat ciepła konwekcyjnego, aby uzyskać całkowitą stratę ciepła z rurociągu. Do pomiarów wykorzystano kamerę termowizyjną Testo 890 o rozdzielczości podczerwieni 640×480 px, czułości <40 mK przy 30°C oraz dokładności ±2°C tj. ±2% odczytu.

Badania termograficzne węzła ciepłowniczego

Charakterystyka węzła ciepłowniczego

Badania kamerą termowizyjną przeprowadzono w okresie zimowym. Objęło ono węzeł cieplny zlokalizowany w wolnostojącym budynku, na terenie osiedla Ślichowice w Kielcach. W momencie badania temperatura zewnętrzna wynosiła 3,6°C, temperatura zasilania i powrotu dla instalacji CO $t_z/t_p = 51,1/57,5^\circ\text{C}$ oraz temperatura CWU 57,6°C. Węzeł pracuje w układzie szeregowo-równoległym i zasilają instalacje odbiorcze budynków w ciepło dla potrzeb CO oraz CWU.

Projektowe zapotrzebowanie ciepła dla instalacji CO analizowanego węzła cieplnego wynosi 1144 kW. Obliczeniowe parametry wody sieciowej w sezonie grzewczym to 122,5/72,5°C, a poza sezonem grzewczym 70/35°C. Wewnętrzna instalacja CO zaprojektowana została na parametry 95/70°C. Wymienniki dla instalacji CO oraz CWU to wymienniki typu JAD 6.50. Po stronie sieciowej oraz po stronie instalacyjnej zastosowano rury stalowe przewodowe czarne, natomiast po stronie instalacyjnej CWU, cyrkulacji i wody zimnej zastosowano rury stalowe o pogrubionej warstwie cynku. Połączenia rurociągów po stronie sieciowej oraz po stronie instalacyjnej CO wykonano jako spawane, natomiast po stronie instalacyjnej CWU i wody zimnej wykonano jako gwintowane. Połączenia z urządzeniami i armaturą wykonano poprzez spawanie, kołnierze lub połączenia gwintowane. Rury czarne dwukrotnie pomalowano farbą silikonową odporną na temperaturę min. 150°C (po stronie pierwotnej – sieciowej) oraz min. 100°C (po stronie instalacyjnej – CO). Płaszcz powierzchniowy izolacji termicznej wykonano z folii twardej PVC a płaszcz izolacji oznaczony kolorowymi oznaczeniami, z folii miękkich PVC, określając rodzaj i kierunek przepływu czynnika. Termometry, z których dokonywano odczytu temperatury zlokalizowane są w taki sposób, aby elementy termoczułe znajdowały się w osi rurociągów. Na rys. 1 pokazano widok ogólny analizowanego pomieszczenia węzła ciepłowniczego.

Analiza termograficzna wybranych odcinków rur

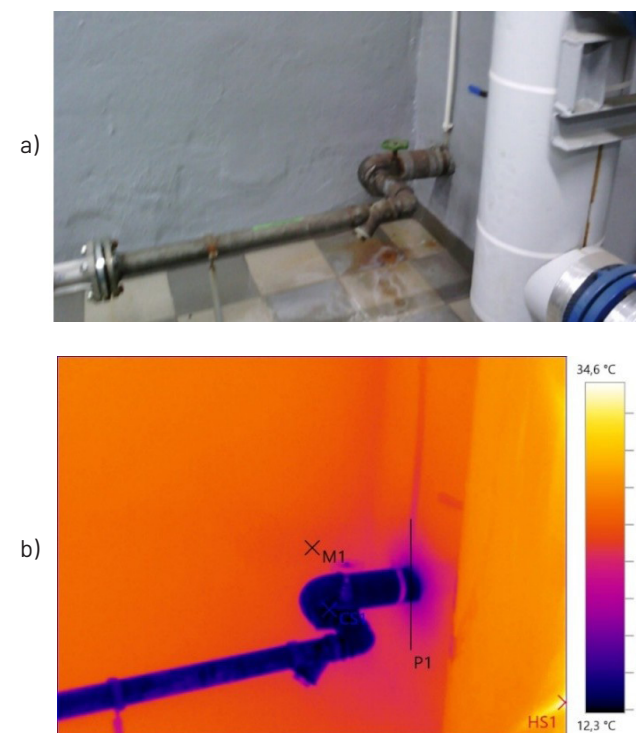
Badaniu objęto różne elementy węzła cieplnego: rurociągi zimnej i ciepłej wody użytkowej, centralnego ogrzewania, przewody zaizolowane, niez izolowane, niedokładnie zaizolowane oraz armaturę kontrolno-pomiarową. Pomiarów wykonano w warunkach ustabilizowanej pracy instalacji, bez bezpośredniego oddziaływania promieniowania słonecznego. Temperatura otoczenia w trakcie pomiarów była zbliżona do wartości pokojowej i nie wykazywała istotnych wahań w czasie badań. W niniejszym artykule przedstawiono wybrane zdjęcia termograficzne wykonane kamerą termowizyjną Testo 890 z konieczną analizą; współczynnik emisyjności przyjęto na poziomie $\varepsilon = 0,8$.

Rys. 2 przedstawia zdjęcie cyfrowe oraz termogram przewodu zimnej wody o średnicy nominalnej DN100 w miejscu wejścia sieci wodociągowej do budynku z zaznaczonymi znacznikami pomiarowymi – punktem M1 oraz linią P1, dla której profilowy rozkład temperatury przed-



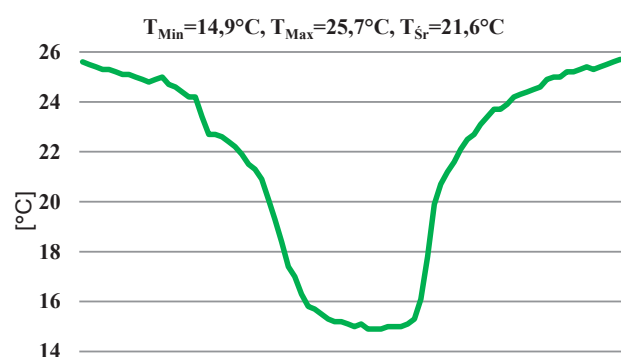
Rysunek 1. Analizowany węzeł ciepłowniczego. Źródło: opracowanie własne

Figure 1. The analyzed heating node. Source: authors' own study



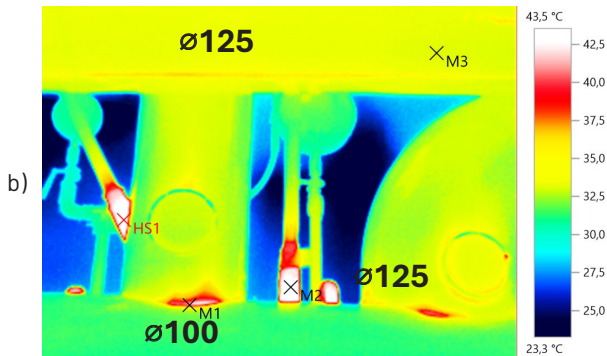
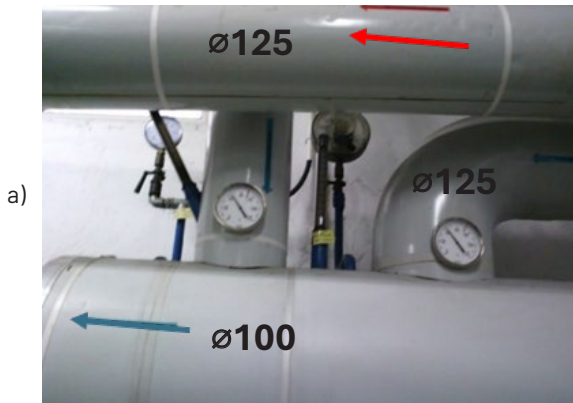
Rysunek 2. Przewód wody zimnej – wejście sieci wodociągowej do budynku DN100. Źródło: opracowanie własne

Figure 2. Cold water pipe - water supply network entry to the building DN100. Source: authors' own study

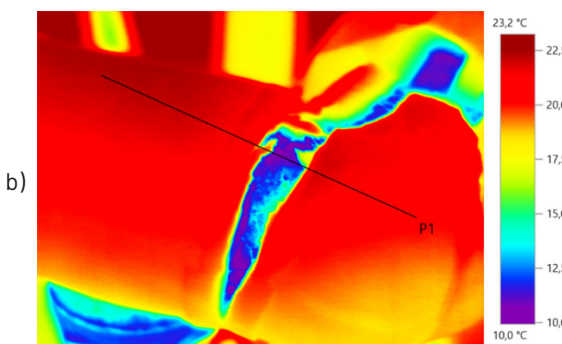


Rysunek 3. Profil rozkładu temperatury dla znacznika P1 widocznego na rysunku 2b. Źródło: opracowanie własne

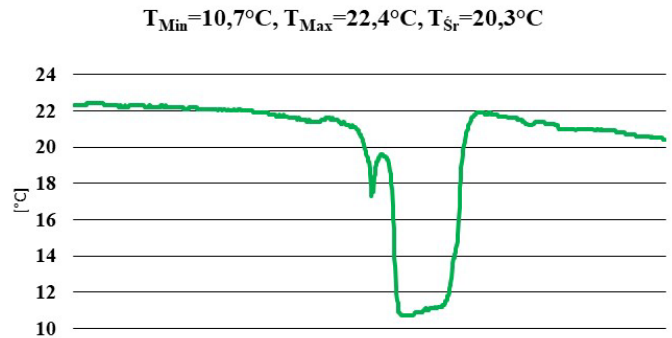
Figure 3. Temperature distribution profile for marker P1 visible in Figure 2b. Source: authors' own study



Rysunek 4. Rurociągi powrotu z instalacji CO (niebieska strzałka) oraz transportujące medium na wymienniki CO (czerwona strzałka); TM1 = 40,2°C, TM2 = 43,0°C, TM3 = 33,1°C, THS1=43,5°C. Źródło: opracowanie własne **Figure 4.** Return pipelines from the central heating system (blue arrow) and those transporting the medium to the central heating exchangers (red arrow); TM1 = 40.2°C, TM2 = 43.0°C, TM3 = 33.1°C, THS1 = 43.5°C. Source: authors' own study



Rysunek 5. Magnetyzery zainstalowane na przewodzie rurowym z uszkodzoną izolacją. Źródło: opracowanie własne **Figure 5.** Magnetizers installed on a pipe with damaged insulation. Source: authors' own study



Rysunek 6. Profil rozkładu temperatury dla znacznika P1 widocznego na rysunku 5b. Źródło: opracowanie własne **Figure 6.** Temperature distribution profile for marker P1 visible in figure 5b. Source: authors' own study

stawiono na rys. 3. Zarejestrowane wartości temperatury mieściły się w zakresie od 12,7°C do 22,3°C, co ewidentnie wskazuje na mostek cieplny związany z przejściem instalacyjnym i brakiem izolacji termiczną przewodu, co sprzyja także kondensacji pary wodnej oraz zwiększa straty ciepłne.

Na kolejnych termogramach (rys. 4–9) przeprowadzono podobną analizę odcinków transportujących czynnik grzewczy w obrębie węzła ciepłowniczego z zaznaczonymi średnicami nominalnymi.

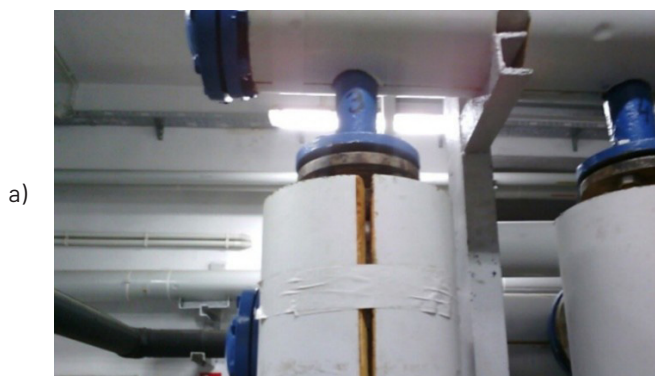
Analiza termogramu umożliwiła ocenę rozkładu temperatury na powierzchni izolowanych przewodów oraz w rejonach połączeń instalacyjnych i armatury. Zarejestrowane temperatury wskazują na lokalne zróżnicowanie cieplne, szczególnie w miejscach występowania elementów metalowych, czy przerw w ciągłości izolacji. Temperatury uzyskane w charakterystycznych punktach pomiarowych M1, M2, M3 oraz HS1 zaznaczono w opisie rys. 4. Wiedząc, że temperatura czynnika grzewczego w tych odcinkach wynosi 42°C można wnioskować co do wielkości mostków ciepła.

Najniższa zarejestrowana temperatura, wynosząca 33,1°C świadczy o skuteczniejszym działaniu izolacji termicznej w tym punkcie w porównaniu z pozostałymi, chociaż różnica temperatur pomiędzy zewnętrznym płaszczem rury, a czynnikiem grzewczym jest wciąż znacząca i wynosi $dT \sim 20^\circ\text{C}$.

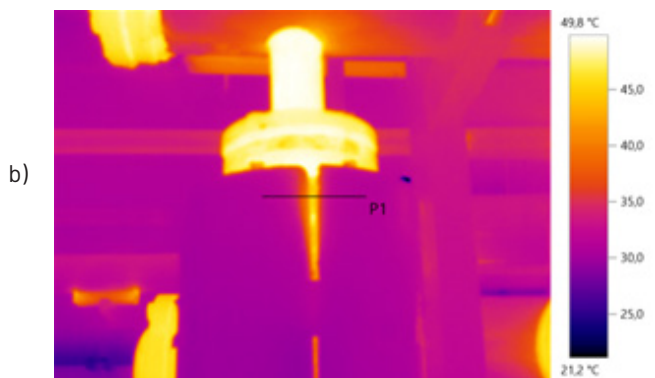
Na rys. 5 przedstawiono podobny problem, gdzie widać fragment instalacji rurowej wyposażonej w magnetyzery, zamontowane na przewodzie wody zimnej z widocznym uszkodzeniem izolacji cieplnej/przeciwwilgociowej. W miejscu ubytku izolacji odsłonięta została powierzchnia przewodu, a lokalny spadek temperatury powierzchniowej przewodu w miejscu ubytku sięga $dT \sim 12^\circ\text{C}$.

Na rys. 7b pokazano wymiennik typu JAD z zastosowaną izolacją termiczną. Widoczny jest fragment pionowego odcinka wraz z połączeniem kołnierzowym, stanowiącym lokalną nieciągłość materiałową izolacji.

Na rys. 8 przedstawiono ciekawy przypadek fragmentu przewodu wychodzącego ze stabilizatora ciepłej wody użytkowej, na którym widoczny jest jednorodny rozkład podwyższonej temperatury na niezainstalowanym odcinku. Różnica pomiędzy sąsiednimi punktami zaznaczonymi w niedalekiej odległości sięga $dT \sim 27^\circ\text{C}$.



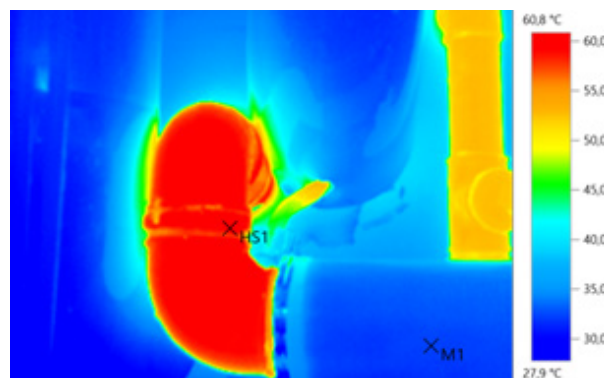
a)



b)



a)



b)

Rysunek 7. Wymiennik typu JAD. Źródło: opracowanie własne
Figure 7. JAD type exchanger. Source: authors' own study

Rysunek 8. Rurociąg o średnicy DN100 mm wychodzący ze stabilizatora c.w.u. Źródło: opracowanie własne
Figure 8. Pipeline with a diameter of DN100 mm coming from the domestic hot water stabilizer. Source: authors' own study

Obliczenia strat ciepła przez nieciągłości w izolacji – nieizolowany rurociąg

Podejście ogólne – Metoda 1

W pierwszym kroku, na podstawie przedstawionej metodologii oraz prostej zależności (wzór (2)) określono ogólne straty ciepła przy uwzględnieniu przewodzenia i konwekcji, które wynoszą:

$$Q = 10 \cdot \pi \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (60 - 20) = 125,6 \frac{W}{m};$$

tu ze względu na przyjęty jednostkowy odcinek rurociągu równy 1m: $Q=125,6$ W. Straty ciepła można także określić odnosząc się do jednostki powierzchni nieizolowanej.

W analizowanym węźle ciepłowniczym, wybrano jeden z niewralgicznych, nieizolowanych odcinków rurowych o średnicy DN=100 (stal), gdzie różnica temperatury pomiędzy czynnikiem roboczym, a otoczeniem wynosi odpowiednio $dT=10^{\circ}C$ i $40^{\circ}C$. Współczynnik przenikania ciepła założono na poziomie 10 (Bergman, 2016). Przyjęcie takiej wartości odpowiada powszechnie stosowanej praktyce inżynierskiej i umożliwia szybkie obliczenie całkowitych strat ciepła. Jeżeli przewód rurowy będzie zaizolowany należy dokonać korekty współczynnika przenikania ciepła U za pomocą wzoru (12).

$$U_0 = \frac{1}{R_{tot}A_0} = \frac{1}{(R_{izol} + R_{konw,0}) 2\pi r_2} = \frac{1}{[\ln(r_2/r_1)/2\pi\lambda + (1/(h_0 2\pi r_2))] 2\pi r_2} \quad (12)$$

gdzie:

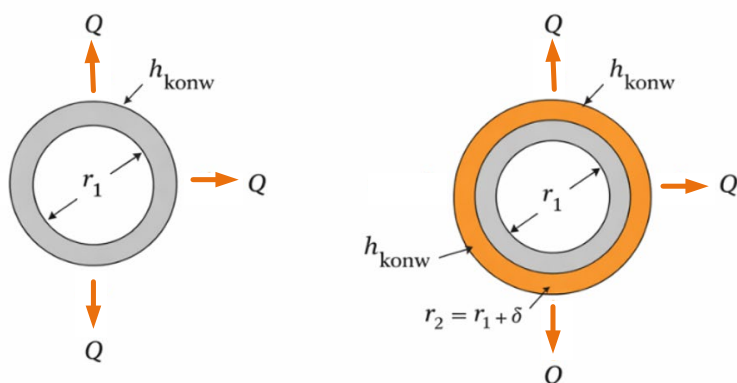
- R – opór cieplny,
- $r_1=D_0/2$ – promień wewnętrzny warstwy izolacji (ze wewnętrzny promień rury stalowej),
- $r_2=r_1+d_{izol}$ – promień zewnętrzny warstwy izolacji (ze wewnętrzny promień zaizolowanego rurociągu; (rys. 9)

Ostatecznie, uwzględniając grubość izolacji, współczynnik przenikania ciepła przyjmuje postać, jak we wzorze (13).

$$U(\delta) = \frac{Q(\delta)}{2\pi r_2 \Delta T} \quad (13)$$

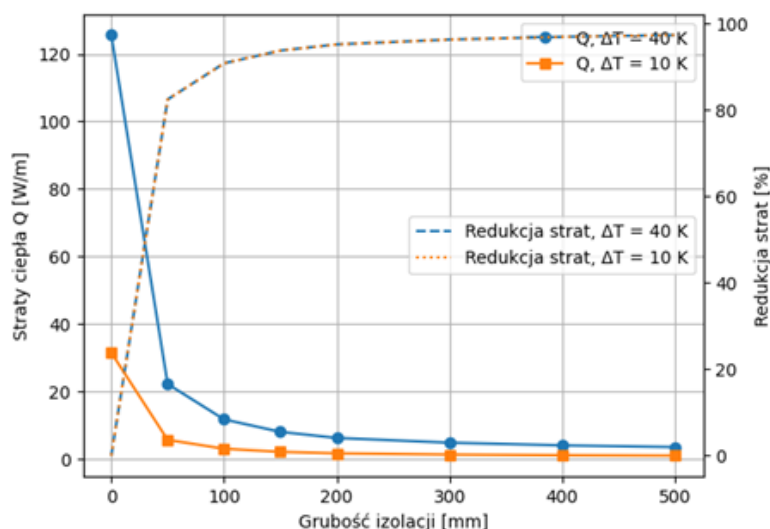
Zakładając izolację cieplną o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda=0,035 \frac{W}{m K}$, ogólne straty ciepła Q maleją wykładniczo, co pokazano na rys. 10.

Jak wynika z rys. 10 straty ciepła są liniowo proporcjonalne do różnicy temperatury pomiędzy czynnikiem roboczym a powietrzem. W obu przypadkach, temperatura powietrza omywającego rurociąg wynosiła $20^{\circ}C$. Dla każdej grubości izolacji wartości Q przy $\Delta T=10$ K są dokładnie czterokrotnie mniejsze niż przy $\Delta T=40$ K, co potwierdza liniową zależność strat ciepła od różnicy temperatury między medium grzewczym, a otoczeniem. Jak wynika z przeprowadzonych analiz, efektywność izolacji (w ujęciu procentowym) nie zależy od ΔT . Krzywe procentowej redukcji strat (na rys. 10 linia przerywana) dla obu przypadków praktycznie się pokrywają, co oznacza, że względna skuteczność izolacji zależy głównie od jej grubości i wla-



Rysunek 9. Model geometryczny rurociągu niez izolowanego i zaizolowanego stosowany w analizie strat ciepła – definicja promieni r_1 , r_2 oraz kierunku strumienia ciepła Q . Źródło: opracowanie własne

Figure 9. Geometric model of an uninsulated and insulated pipeline used in the analysis of heat losses – definition of radii r_1 , r_2 and the direction of heat flux Q . Source: authors' own study



Rysunek 10. Straty ciepła przez rurociąg vs. grubość izolacji termicznej w zależności od temperatury czynnika roboczego METODA 1; linia niebieska $T_w=60^\circ\text{C}$, linia pomarańczowa $T_w=30^\circ\text{C}$. Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Wyniki obliczeń konwekcyjnych oraz radiacyjnych strat ciepła przez rurociąg bez izolacji. Źródło: opracowanie własne

Parametr	$\Delta T=10\text{K}$	$\Delta T=40\text{K}$
$T_w, ^\circ\text{C}$	30	60
$T_z, ^\circ\text{C}$	20	20
Ra	$9,6 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^6$
Nu	14,4	20,2
$h_{konw}, \text{W/m}^2\text{K}$	3,78	5,52
$h_{rad}, \text{W/m}^2\text{K}$	4,81	5,59
$h_{tot} = h_{konw} + h_{rad}, \text{W/m}^2\text{K}$	11,11	8,59
$Q_{kon}, \text{W/m}^2\text{K}$	11,88	69,37
$Q_{rad}, \text{W/m}^2\text{K}$	15,11	70,25
$Q_{tot}, \text{W/m}^2\text{K}$	26,99	139,61

ściwości materiału, a nie od samej różnicy temperatury.

Największy efekt redukcji strat ciepła uzyskuje się dla pierwszych 100–150 mm izolacji. Już przy 50 mm izolacji straty ciepła maleją o ponad 80%, a przy 100 mm redukcja przekracza 90%. Dalsze zwiększanie grubości izolacji prowadzi do coraz mniejszych przyrostów efektu energetycznego. Powyżej 300 mm izolacji obserwuje się wyraźny efekt malejących korzyści. Zwiększanie grubości izolacji powyżej 300–400 mm skutkuje jedynie niewielkim dalszym obniżeniem strat ciepła, co w praktyce może być nieuzasadnione technicznie i ekonomicznie.

Ograniczenia zastosowanego modelu strat ciepła

W analizie wpływu grubości izolacji na straty ciepła przyjęto podejście oparte na zastępczym oporze zewnętrznym wyznaczonym na podstawie przypadku referencyjnego rurociągu niez izolowanego. W konsekwencji mechanizmy wymiany ciepła po stronie otoczenia (konwekcja naturalna oraz promieniowanie cieplne) są w modelu uwzględnione łącznie, bez ich jawnego rozdzielania. Takie podejście upraszcza obliczenia i pozwala skupić się na wpływie przewodzenia przez izolację, jednak nie umożliwia oceny udziału promieniowania ani analizy wpływu emisyjności powierzchni. Ponadto, zmiany intensywności konwekcji naturalnej oraz udziału promieniowania wraz ze zmianą temperatury powierzchni nie są modelowane explicite, co może wpływać na dokładność przy dużych zmianach temperatury.

Podejście rozdzielające fizykę procesu konwekcji oraz radiacji – Metoda 2

W celu określenia ilości ciepła oddawanego przez niez izolowany rurociąg stalowy ($\varepsilon \approx 0,8$) na drodze radiacji Q_{rad} oraz konwekcji Q_{kon} i przy założeniu różnicy temperatur jak w poprzednim przypadku, ze wzorów (3)–(11) oblicza się całkowity współczynnik przejmowania ciepła oraz inne wielkości wprowadzone od modelu. Wyniki zestawiono w Tabeli 3.

Jak można zauważyć, w obu przypadkach promieniowanie stanowi bardzo istotną część całkowitych strat ciepła, czyli $\sim 50\%$ i 56% dla odpowiednio i. Przy mniejszej różnicy temperatur spada intensywność konwekcji naturalnej (czyli mniejsze wartości Ra oraz Nu), dlatego udział radiacji procentowo rośnie, mimo że Q_{tot} jest niższe. Jest to zgodne z procesami zachodzącymi przy konwekcji naturalnej: słabsza wyporność (mniejsze ΔT) generuje mniej intensywny ruch powietrza przy powierzchni cylindra. Z kolei współczynnik h_{rad} zależy głównie od poziomu temperatur bezwzględnych (T_w i T_z), stąd jego spadek między $60/20^\circ\text{C}$ a $30/20^\circ\text{C}$ jest relatywnie mniejszy niż zmniejszenie współczynnika h_{konw} . W efekcie udział promieniowania w całkowitej wymianie ciepła może być porównywal-

ny z konwekcją, szczególnie przy mniejszych różnicach temperatur ΔT .

Ponadto, dla rurociągu niez izolowanego, całkowity zewnętrzny współczynnik przejmowania ciepła powinien uwzględniać oba mechanizmy. W analizowanych przypadkach h_{tot} jest istotnie większa niż sam h_{know} , co potwierdza, że pomijanie promieniowania prowadziłyby do zaniżenia szacowanych strat ciepła.

Wzór ogólny (2) w praktyce opisuje jedynie zewnętrzną wymianę ciepła. Przyjęta tu wartość współczynnika $U=10 \text{ W/m}^2\text{K}$ wynika z ogólnych założeń literaturowych (Bergman, 2016) i nie daje możliwości oszacowania w sposób dokładny udziału radiacyjnych strat ciepła, natomiast druga metoda jest bardziej fizyczna i wynika z korelacji na konwekcję i modelu promieniowania.

Różnice między uzyskanymi wynikami strat całkowitych dla dwóch z angliczowanych metod wynoszą 11% i są to wartości typowe spotykane w literaturze (Bergman, 2016).

Teraz należy policzyć jednostkowe straty ciepła po dołożeniu izolacji cieplnej, jak w metodzie 1. Zależność (8) uogólniono, wprowadzając opór cieplny cylindra R , jak we wzorze (14):

$$Q'(\delta) = \frac{\Delta T}{R'(\delta)} \quad (14)$$

gdzie:

$R'(\delta)$ – grubość izolacji cieplnej obliczona z zależności (15)

$$R'(\delta) = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} + \frac{1}{h_{tot} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_2} \quad (15)$$

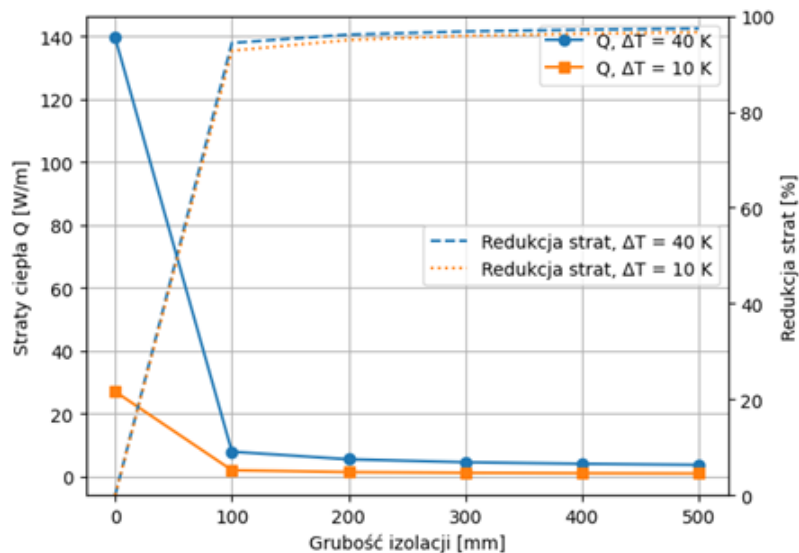
gdzie:

$r_1=D_0/2$ – promień wewnętrzny warstwy izolacji (zewnątrzny promień rury stalowej),
 $r_2=r_1+d_{izol}$ – promień zewnętrzny warstwy izolacji (zewnątrzny promień zaizolowanego rurociągu)

$r_1=D_0/2$ – korelacja Churchill-Chu dla konwekcji swobodnej (wzór (3))

Na rys. 11 przedstawiono zależność strat ciepła na jednostkę długości rurociągu od grubości izolacji o parametrach cieplnych jak w Metodzie 1 dla dwóch różnic temperatur: $\Delta T=40 \text{ K}$ i $\Delta T=10 \text{ K}$. W obliczeniach wykorzystano model oporów cieplnych dla geometrii cylindrycznej uwzględniając całkowity współczynnik przejmowania ciepła, h_{tot} stanowiący sumę konwekcyjnej i radiacyjnej składowej.

Dla obu przypadków największa redukcja strat ciepła występuje po zastosowaniu pierwszych 100 mm izolacji, gdzie straty zmniejszają się o ponad 90% w porównaniu z rurociągiem niez izolowanym. Dalsze zwiększanie grubości izolacji prowadzi do coraz mniejszych przyrostów efektu energetycznego, co jest charakterystyczne dla logarytmicznego przebiegu przewodzenia ciepła w układzie cylindrycznym. Pomimo wyższych bezwzględnych strat ciepła dla $\Delta T=40 \text{ K}$, przebieg względnej redukcji strat jest zbliżony w obu analizowanych przypadkach, co wskazuje, że skuteczność izolacji zależy głównie od jej grubości



Rysunek 11. Straty ciepła przez rurociąg vs. grubość izolacji termicznej w zależności od temperatury czynnika roboczego METODA 2; linia niebieska $T_w=60^\circ\text{C}$ ($\Delta T=40 \text{ K}$), linia pomarańczowa $T_w=30^\circ\text{C}$ ($\Delta T=10 \text{ K}$). Źródło: opracowanie własne

Figure 11. Heat losses through the pipeline vs. thermal insulation thickness depending on the temperature of the working medium METHOD 2; blue line $T_w=60^\circ\text{C}$ ($\Delta T=40 \text{ K}$), orange line $T_w=30^\circ\text{C}$ ($\Delta T=10 \text{ K}$). Source: authors' own study

i właściwości materiałowych, a w mniejszym stopniu od różnicy temperatur.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza strat ciepła dla niez izolowanego rurociągu przy relatywnie niewielkiej różnicy temperatur rzędu 40 K pokazuje, że nawet krótkie odcinki instalacji generują istotne koszty eksploatacyjne. Dla jednostkowej straty ciepła na poziomie 140 W/m i długości rury 10 m całkowita strata mocy wynosi 1,4 kW, co przekłada się na zużycie energii rzędu 33,6 kWh na dobę.

Przy cenie energii cieplnej 170 zł/GJ (około 0,61 zł/kWh netto) oznacza to koszt około 20–21 zł netto na dobę, a w skali miesiąca około 620 zł netto. Warto podkreślić, że są to wartości uzyskane dla umiarkowanej różnicy temperatur, często niższej niż rzeczywistość występująca w sieciach i węzłach ciepłownicznych.

Wraz ze wzrostem temperatury medium, a tym samym różnicy temperatur pomiędzy rurociągiem a otoczeniem, straty ciepła – i odpowiadające im koszty – rosną w przybliżeniu proporcjonalnie. Oznacza to, że w typowych warunkach pracy sieci ciepłownicznych rzeczywiste straty finansowe mogą być wielokrotnie wyższe od przedstawionych w przykładzie.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania dla MPEC Sp. z o.o. Kielce za udostępnienie danych technicznych węzła ciepłowniczego oraz za umożliwienie przeprowadzenia inwentaryzacji technicznej wraz z badaniami termowizyjnymi.

W przygotowaniu pracy wykorzystano narzędzie oparte na modelu językowym AI jako wsparcie redakcyjne i obliczeniowe. Odpowiedzialność za treść ponoszą autorzy.

Bibliografia

- Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2016). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). Wiley.
- Chu, H. H. S., Goldstein, R. J. (1973). Turbulent convection in air from a heated horizontal cylinder. *Journal of Heat Transfer*, 95(3), 420–422.
- Biniek, M. (2025) Termomodernizacja i OZE – kluczowe elementy na drodze do dekarbonizacji budownictwa, *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 56(2), 36–40.
- Niemyski, O. (2013) Straty ciepła w sieciach ciepłownicznych. *Inżynier Budownictwa*. <https://inzynierbudownictwa.pl/straty-ciepła-w-sieciach-ciepłownicznych> (Dostęp z 11.02.2026)
- Knapik, M. (2020) Analiza doboru oraz wpływu izolacji cieplnej rur na koszty eksploatacji instalacji grzewczych, *Rynek Instalacyjny*. <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/izolacje-techniczne/44575,analiza-doboru-oraz-wplywu-izolacji-cieplnej-rur-na-koszty-eksploatacji-instalacji-grzewczych> (Dostęp z 11.02.2026)
- Polski Komitet Normalizacyjny. (1992). PN92/B01706 Instalacje wodociągowe. Wymagania przy projektowaniu
- Polski Komitet Normalizacyjny. (2009). PN-EN ISO 10456:2009 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabełaryczne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych
- Polski Komitet Normalizacyjny. (2022a). PN-EN ISO 12241:2022-12 Izolacja cieplna wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych – Zasady obliczania.
- Polski Komitet Normalizacyjny. (2022b). PNEN 139411+A1:202205 Sieci ciepłownicze — Projektowanie i montaż systemu izolowanych termicznie zespołów rur pojedynczych i podwójnych do sieci wody gorącej układanych bezpośrednio w gruncie – Część 1: Projektowanie
- Minister Rozwoju i Technologii. (2022). Obwieszczenie z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2022 poz. 1225)
- Ryńska, J. (2011) Izolacje rurociągów ciepłowniczych wodnych. *Rynek Instalacyjny*. <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/izolacje-techniczne/105421,izolacje-rurociagow-cieplowniczych-wodnych> (Dostęp z 11.02.2026)

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.*

COLD-TECH
Poland

2.EDYCJA

BRANŻOWE TARGI
TECHNOLOGII CHŁODZENIA

PARTNER TARGÓW I KONFERENCJI

**&Chłodnictwo
&Klimatyzacja**

ZESKANUJ KOD QR
I ODBIERZ
DARMOWY BILET

9 - 11 | 06 | 2026

**COOLING
TECH
Summit**

WARSZAWA | PTAK WARSAW EXPO

**PTAK
WARSAW
EXPO**



Serwis i przeglądy urządzeń klimatyzacyjnych i wentylacyjnych – znaczenie, wymagania prawno-normatywne oraz dobre praktyki eksploatacyjne

Maintenance and inspection of air conditioning and ventilation equipment – importance, legal and normative requirements and good operating practices



Mgr inż. **Angelika Baran**

ORCID ID: [0009-0005-3832-2261](https://orcid.org/0009-0005-3832-2261)
Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska
abaran@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: HVAC, klimatyzacja, wentylacja, przegląd techniczny, serwis, efektywność energetyczna

Streszczenie

W artykule przedstawiono zasady organizacji i realizacji serwisu oraz okresowych przeglądów urządzeń klimatyzacyjnych i wentylacyjnych. Omówiono podstawy prawne wynikające z ustaw i rozporządzeń krajowych oraz wybranych aktów Unii Europejskiej, a także odniesienia do aktualnych norm PN-EN i ISO. Szczególną uwagę zwrócono na znaczenie przeglądów w utrzymaniu efektywności energetycznej, higieny systemów HVAC oraz bezpieczeństwa użytkownika. Zaprezentowano przykładowy zakres czynności serwisowych i harmonogram ich wykonywania, a także omówiono doświadczenia zawodowe z praktyki serwisowej.

Keywords: HVAC, air conditioning, ventilation, technical inspection, maintenance, energy efficiency

Abstract

This article presents the principles governing the organization and execution of maintenance services and periodic inspections of air-conditioning and ventilation systems. It discusses the legal foundations arising from national acts and regulations, as well as selected documents of the European Union, and provides references to current PN-EN and ISO standards. Particular attention is given to the role of inspections in maintaining energy efficiency, ensuring hygienic conditions within HVAC systems, and safeguarding operational safety. The paper also outlines a representative scope of service activities and a corresponding maintenance schedule, complemented by professional insights derived from practical field experience.

Wstęp

Systemy klimatyzacyjne i wentylacyjne (HVAC) stanowią integralny element infrastruktury technicznej nowoczesnych obiektów budowlanych. Ich zadaniem jest zapewnienie właściwych warunków mikroklimatu, w tym temperatury, wilgotności oraz jakości powietrza wewnętrznego (Indoor Air Quality – IAQ). Właściwe utrzymanie tych systemów jest kluczowe nie tylko z punktu widzenia komfortu użytkowników, lecz również efektywności energetycznej budynku i bezpieczeństwa sanitarnego.

Brak regularnych przeglądów technicznych może prowadzić do spadku wydajności urządzeń, zwiększenia zużycia energii oraz pogorszenia jakości powietrza (Kaiser 2017). Ponadto, zgodnie z obowiązującymi przepisami, właściciele i zarządcy obiektów są zobowiązani do zapewnienia okresowych kontroli systemów klimatyzacyjnych i wentylacyjnych.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie aktualnych wymagań prawnych i normatywnych w zakresie serwisowania systemów HVAC oraz wskazanie dobrych praktyk eksploatacyjnych.

Podstawy prawne i normatywne

Regulacje krajowe

Podstawowym aktem prawnym nakładającym obowiązek kontroli systemów klimatyzacyjnych jest Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz.U. 2014 poz. 1200). Artykuł 23 tej Ustawy zobowiązuje właściciela lub zarządcę budynku do zapewnienia okresowej kontroli efektywności energetycznej systemów klimatyzacji o mocy chłodniczej powyżej 70 kW – nie rzadziej niż raz na 5 lat.

W Rozporządzeniu Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z późniejszymi zmianami (Dz.U. 2022 poz. 1225) zapisano, że przewody i urządzenia instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych należy projektować i wykonywać w sposób umożliwiający ich czyszczenie i konserwację. Dodatkowo obowiązuje Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/573 z dnia 7 lutego 2024 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych (tzw. rozporządzenie F-gazowe), nakładające obowiązek regularnych kontroli szczelności układów chłodniczych. W aspekcie higienicz-

nym w obiektach medycznych istotne jest Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 26 marca 2019 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i urządzenia podmiotu wykonującego działalność leczniczą.

Normy europejskie i krajowe

- Zakres wymagań dotyczących projektowania, użytkowania i kontroli instalacji HVAC określają między innymi:
- PN-EN 16798-3:2025-10 – Charakterystyka energetyczna budynków – Wentylacja budynków – Część 3: Wentylacja budynków niemieszkalnych – Wymagania dotyczące właściwości systemów wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń (moduły M5-1, M5-4),
 - PN-EN 16798-17:2017-07 – Charakterystyka energetyczna budynków – Wentylacja budynków – Część 17: Wytyczne dotyczące inspekcji systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych (Moduł M4-11, M5-11, M6-11, M7-11),
 - PN-EN 12097:2007 – Przewody wentylacyjne. Wymagania dotyczące elementów ułatwiających konserwację i czyszczenie,
 - PN-EN 15780:2011 – Wentylacja budynków – Sieć przewodów – Czystość systemów wentylacji,
 - PN-EN ISO 16890:2017 – Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej - Część 1: Specyfikacje techniczne, wymagania i system klasyfikacji określony na podstawie skuteczności filtracji cząstek pyłu (ePM).

Normy te definiują kryteria oceny stanu technicznego, efektywności energetycznej oraz czystości systemów, stanowiąc podstawę do opracowania procedur serwisowych.

Zakres i częstotliwość przeglądów

Zgodnie z wytycznymi PN-EN 16798-3 oraz PN-EN 16798-17:2017-07, zakres przeglądu powinien obejmować:

- ocenę stanu technicznego jednostek wewnętrznych i zewnętrznych,
- kontrolę szczelności układu chłodniczego,
- czyszczenie wymienników ciepła (skraplaczy, parowników),
- kontrolę i wymianę filtrów powietrza (klasy ePM wg ISO 16890),
- pomiar przepływu powietrza, temperatury i wilgotności,
- sprawdzenie działania automatyki, czujników i zabezpieczeń,
- ocenę czystości kanałów wentylacyjnych (wg PN-EN 15780),
- kontrolę stanu izolacji cieplnej i akustycznej przewodów.

Wszystkie czynności powinny być udokumentowane w raporcie serwisowym wraz z zaleceniami dotyczącymi ewentualnych napraw. W Tabeli 1 przedawniono zalecaną częstotliwość wykonywania przeglądów systemów HVAC.

Większość producentów urządzeń klimatyzacyjnych, w swoich dokumentacjach techniczno-ruchowych (DTR) dotyczących konkretnych modeli, określa wymaganą częstotliwość przeglądów serwisowych w określonym czasie, traktując ich przestrzeganie jako warunek utrzymania gwarancji. Obowiązek ten spoczywa na użytkowniku lub

właścicielu instalacji i ma na celu zapewnienie prawidłowej eksploatacji, zachowanie parametrów pracy urządzenia oraz przedłużenie jego trwałości technicznej.

Znaczenie serwisu w kontekście efektywności energetycznej oraz aspektów higieniczno-zdrowotnych

Sprawność energetyczna systemów HVAC w dużym stopniu zależy od ich czystości oraz stanu technicznego. Zabrudzenie filtrów powietrza prowadzi do zwiększenia oporów przepływu oraz wzrostu spadku ciśnienia w układzie, co bezpośrednio wpływa na zwiększone zapotrzebowanie energetyczne wentylatorów. Jak wskazują badania, wzrost oporów przepływu związany z filtracją powoduje zmiany parametrów pracy systemu, w tym spadek przepływu powietrza oraz zmianę charakterystyki energetycznej instalacji HVAC. Zależność pomiędzy spadkiem ciśnienia na filtrze a zużyciem energii wynika z konieczności pokonania dodatkowych oporów przez układ wentylacyjny (Zhai, 2017; Nassif, 2012). Zgodnie z normą PN-EN 16798-3, ocena efektywności energetycznej systemu powinna być elementem każdej kontroli okresowej, z uwzględnieniem charakterystyki budynku, strat ciepłych i sprawności odzysku ciepła.

Systemy wentylacyjne i klimatyzacyjne stanowią potencjalne źródło zanieczyszczeń biologicznych. W kanałach powietrznych oraz na wilgotnych powierzchniach wymienników mogą rozwijać się bakterie, w tym *Legionella pneumophila*, a także grzyby pleśniowe. Norma PN-EN 15780:2011 definiuje trzy klasy czystości systemów wentylacyjnych: niską (L), średnią (M) i wysoką (H). Dla obiektów o podwyższonych wymaganiach higienicznych (szpitale, laboratoria, serwerownie) zaleca się utrzymanie klasy H.

W praktyce serwisowej stosuje się następujące metody czyszczenia:

Tabela 1. Zalecana częstotliwość przeglądów systemów HVAC
Table 1. Recommended HVAC system inspection frequency

Źródło/Source: Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej. (2024). Rozporządzenie (UE) 2024/573 z dnia 7 lutego 2024 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L, 2024/573; Polski Komitet Normalizacyjny. (2025). PN-EN 16798-3:2025-10 Charakterystyka energetyczna budynków – Wentylacja budynków – Część 3: Wentylacja budynków niemieszkalnych – Wymagania dotyczące; Polski Komitet Normalizacyjny. (2017). PN-EN 16798-17:2017-07 Charakterystyka energetyczna budynków – Wentylacja budynków – Część 17: Wytyczne dotyczące inspekcji systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych (Moduły M4-11, M5-11, M6-11, M7-11); Polski Komitet Normalizacyjny. (2011). PN-EN 15780:2011 Wentylacja budynków – Sieć przewodów – Czystość systemów wentylacji; Polski Komitet Normalizacyjny. (2017). PN-EN ISO 16890-1:2017 Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Część 1: Specyfikacje techniczne, wymagania i system klasyfikacji określony na podstawie skuteczności filtracji cząstek pyłu (ePM); Daikin, LG, Mitsubishi Electric. (b.d.). Materiały techniczne producentów.

Typ urządzenia / systemu	Zalecana częstotliwość	Uwagi
Klimatyzatory typu split	2× rocznie (wiosna, jesień)	lub wg DTR Producenta
Centrale wentylacyjne	1× rocznie	Kontrola filtrów co 3–6 miesięcy
Systemy VRF/VRV	2–4× rocznie	Kontrola szczelności zgodnie z F-gaz
Układy z odzyskiem ciepła	1× rocznie	Czyszczenie wymienników
Pompy ciepła powietrze–powietrze	1× rocznie	Sprawdzenie odprowadzenia kondensatu

- mechaniczne (szczotkowanie, odkurzanie przemysłowe),
- pneumatyczne (sprężone powietrze, czyszczenie suchym lodem),
- chemiczne i dezynfekcyjne (środki biobójcze, ozonowanie, UV-C).

Zgodnie z postanowieniami normy ISO 5149:2014 *Mechaniczne instalacje ziemnicze do oziębiania i ogrzewania – Wymagania bezpieczeństwa*, regularna kontrola czystości kanałów wentylacyjnych oraz elementów nawiewnych stanowi istotny element profilaktyki zdrowotnej, ograniczając ryzyko występowania chorób układu oddechowego i podnosząc jakość środowiska wewnętrznego. Należy jednak podkreślić, że norma ta została wycofana i obecnie nie posiada bezpośredniego dokumentu zastępującego, co wymaga interpretacji jej zapisów w oparciu o aktualnie obowiązujące regulacje oraz dobre praktyki inżynierskie.

Dokumentacja serwisowa i wymagania formalne

Zgodnie z PN-EN 16798-17:2017-07, każda kontrola systemu klimatyzacyjnego powinna zakończyć się raportem zawierającym: opis instalacji i urządzeń, wyniki pomiarów parametrów eksploatacyjnych, ocenę efektywności energetycznej, wykaz wykrytych nieprawidłowości, zalecenia dotyczące napraw lub modernizacji.

Dla urządzeń zawierających czynniki chłodnicze, objętych rozporządzeniem F-gazowym wymagane jest prowadzenie rejestru kontroli szczelności. Dane te wprowadza się do krajowego systemu CRO lub do ewidencji przedsiębiorstwa posiadającego certyfikat F-gazowy. Dla urządzeń z czynnikami HFC prowadzi się kartę urządzenia w systemie CRO (UDT). Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/573 brak ewidencji skutkuje karami administracyjnymi. Natomiast z Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. zarządca budynku powinien przechowywać dokumentację przeglądów przez minimum 5 lat.

Analiza doświadczeń eksploatacyjnych w obszarze serwisu i diagnostyki systemów HVAC

Utrzymanie wysokiej sprawności i niezawodności systemów HVAC wymaga wdrożenia zintegrowanego planu obsługi technicznej. Do najważniejszych działań zalicza się zgodnie ze wskazaniem producentów urządzeń:

- opracowanie harmonogramu przeglądów dla poszczególnych urządzeń,
- włączenie systemów HVAC do nadzoru BMS (Building Management System),
- prowadzenie ewidencji zużycia energii i analizy trendów,
- okresowe szkolenie personelu technicznego,
- współpracę z certyfikowanymi firmami serwisowymi posiadającymi uprawnienia SEP i F-gazowe,
- stosowanie oryginalnych materiałów eksploatacyjnych (filtrów, pasków, smarów).

W dużych obiektach (centra handlowe, biurowce klasy A) zaleca się wdrożenie systemu zarządzania utrzymaniem ruchu (CMMS) umożliwiającego bieżące planowanie i archiwizację czynności serwisowych

Z praktyki serwisowej wynika, że regularne wykonywanie przeglądów technicznych urządzeń klimatyzacyjnych pozwala technikom na bieżąco oceniać kondycję układów chłodniczych, a także szybko identyfikować symptomy potencjalnych usterek. Doświadczony technik, analizując parametry pracy układu, jest w stanie określić, czy niewielki ubytek czynnika chłodniczego wynika z warunków eksploatacyjnych (np. naturalnych strat w wyniku procesu serwisowego, minimalnych nieszczelności na złączach serwisowych), czy też może być skutkiem poważniejszej nieszczelności instalacji freonowej. W praktyce serwisowej uzupełnianie niewielkiego ubytku czynnika chłodniczego (do wartości rzędu 5% całkowitej ilości napełnienia układu) jest często wliczane w standardową usługę przeglądu. Z punktu widzenia ekonomicznego jest to korzystne dla Inwestora, gdyż pozwala na zachowanie prawidłowych parametrów pracy urządzenia bez konieczności angażowania osobnej interwencji serwisowej. Brak systematycznych przeglądów skutkuje natomiast koniecznością przeprowadzenia znacznie bardziej złożonej diagnostyki w momencie wystąpienia awarii. W takich przypadkach technicy muszą ustalić rzeczywistą ilość ubytku czynnika, wykonać test szczelności, przeprowadzić próbę ciśnieniową instalacji oraz zidentyfikować przyczynę nieszczelności. Proces ten wymaga większego nakładu pracy, czasu oraz użycia specjalistycznych urządzeń pomiarowych (np. detektorów HFC, zestawów do prób azotowych, pomp próżniowych). Zdarza się, że nieszczelność układu chłodniczego jest na tyle trudna do zlokalizowania, iż technicy serwisowi zmuszeni są do częściowej ingerencji w instalację – poprzez jej rozcięcie w wytypowanych odcinkach w celu eliminacji potencjalnych miejsc wycieku. Po zidentyfikowaniu i usunięciu nieszczelności instalacja zostaje ponownie zlutowana, a następnie poddana próbie szczelności oraz wytworzeniu próżni roboczej, zgodnie z obowiązującymi procedurami serwisowymi. W praktyce oznacza to, że z pozornie niewielkiej awarii może powstać czasochłonny i wymagający technicznie proces naprawy, obejmujący zarówno prace mechaniczne, jak i kontrolno-pomiarowe, które generują dodatkowe koszty eksploatacyjne oraz przestoje w pracy urządzenia.

Obowiązek zgłoszenia ubytku czynnika chłodniczego

Zgodnie z rozporządzeniem *Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 2024/573 z dnia 7 lutego 2024 w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych*, każdy przypadek uwolnienia czynnika chłodniczego do atmosfery należy niezwłocznie odnotować w karcie urządzenia prowadzonej przez podmiot posiadający certyfikat F-gazowy. W Polsce dane te wprowadza się do Centralnego Rejestru Operatorów (CRO), prowadzonego przez Urząd Dozoru Technicznego (UDT). Obowiązkowi zgłoszenia podlega: ilość uwolnionego czynnika (w kilogramach), rodzaj czynnika (np. R410A, R32, R134a), okoliczności emisji (awaria, serwis, demontaż), sposób postępowania z czynnikiem (odzysk, utylizacja, uzupełnienie). Zgodnie z art. 52 *Ustawy z dnia 15 maja 2015 r. o substancjach zubożających warstwę ozonową i niektórych fluorowanych gazach cieplarnianych (Dz.U. 2015 poz. 881)*, za niezgłoszenie emisji czynnika lub brak wpisu do CRO grożą kary administracyjne do 30 000 zł oraz cofnięcie certyfikatu F-gazowego przedsiębiorstwa.

Przykład własny z praktyki serwisowej – awaria układu chłodniczego w serwerowni

Podczas jednego z interwencyjnych serwisów technicy zostali wezwani do usterki układu klimatyzacji precyzyjnej w pomieszczeniu serwerowni. Urządzenie sygnalizowało błąd pracy sprężarki. Zgodnie z procedurą diagnostyczną technicy odczytali kod błędu z panelu sterowania – większość producentów posiada zdefiniowaną listę błędów i komunikatów serwisowych, ułatwiających lokalizację usterek. Po wstępnych oględzinach jednostki i konsultacji z autoryzowanym serwisem producenta ustalono, że urządzenie miało zbyt dużą moc chłodniczą w stosunku do zapotrzebowania cieplnego pomieszczenia. W praktyce oznaczało to, że przy niewielkich zyskach ciepła sprężarka wchodziła w wysoki tryb pracy, szybko schładzała powietrze i powodowała częste cykle załączania i wyłączania. Producent zalecił montaż modułu elektronicznego ograniczającego moc sprężarki. Jak się jednak okazało, pierwotną przyczyną problemu były błędne dane dotyczące zapotrzebowania na chłód przekazane na etapie projektowania systemu. W wyniku wielokrotnego przegrzewania sprężarki doszło do jej uszkodzenia oraz zakwaszenia oleju w układzie.

Podczas naprawy wykonano pełen proces serwisowy, tj.:

- odzysk czynnika chłodniczego do butli z odzyskiem,
- demontaż sprężarki i przekazanie jej do ekspertyzy producenta wraz z danymi (masa sprężarki, średnice rur, czas pracy, liczba startów, ostatnie błędy, odczyty czujników),
- wlotowanie nowej sprężarki wraz z filtrem odkwaszającym,
- wykonanie próby szczelności i wytworzenie próżni roboczej w układzie chłodniczym
- napełnienie czynnikiem i ponowny rozruch urządzenia.

Podczas testów końcowych stwierdzono, że urządzenie po 5 minutach pracy osiąga temperaturę zadaną i wyłącza się, a moduł redukcji mocy (obniżenie wydajności o 50%) aktywuje się dopiero po 10 minutach ciągłej pracy. Taki stan mógłby ponownie prowadzić do przeciążenia sprężarki. Po analizie możliwości systemu BMS (Building Management System) ustalono, że klimatyzator pracuje jedynie na pierwszym biegu, bez możliwości dalszej regulacji mocy z poziomu automatyki. Zaproponowano trzy możliwe rozwiązania:

1. zwiększenie zysków ciepła w pomieszczeniu (np. przez dodanie serwerów),
2. zastosowanie dodatkowego źródła ciepła – grzejnika elektrycznego sterowanego z BMS,
3. wymianę urządzenia na jednostkę o mniejszej mocy chłodniczej.

Wariant (3) wymagałby jednak wymiany instalacji chłodniczej zawierającej chłodniczy czynnik HFC, biegną-

cej przez szacht techniczny między piętrami +6 a +13, co wiązało się z wysokimi kosztami inwestycyjnymi i ryzykiem technicznym.

Analizowany przypadek wskazuje, że systematyczne przeglądy okresowe oraz bieżąca ocena rzeczywistych warunków eksploatacyjnych stanowią kluczowy element prewencji awarii. Regularna diagnostyka umożliwia wczesną identyfikację odchyłeń w doborze, konfiguracji lub pracy urządzeń, co znacząco ogranicza ryzyko eskalacji usterek. Ponadto działania te pozwalają personelowi technicznemu na przewidywanie potencjalnych nieprawidłowości oraz formułowanie rekomendacji eksploatacyjnych dla Inwestora, sprzyjających minimalizacji ryzyka przyszłych awarii lub ich całkowitemu wyeliminowaniu.

Podsumowanie

Doświadczenia zawodowe serwisantów potwierdzają, że właściwa diagnostyka i regularne przeglądy techniczne mają kluczowe znaczenie zarówno z punktu widzenia efektywności eksploatacyjnej, jak i ekonomicznej. Regularne przeglądy stanowią warunek utrzymania sprawności, higieny i trwałości systemów HVAC, a obowiązki w tym zakresie wynikają wprost z przepisów krajowych oraz europejskich. Brak systematycznej konserwacji prowadzi do zwiększenia awaryjności, wzrostu kosztów eksploatacyjnych i ryzyka emisji czynników chłodniczych do atmosfery. Wczesne wykrycie niewielkich ubytków czynnika chłodniczego, prawidłowe prowadzenie dokumentacji w Centralnym Rejestrze Operatorów oraz wdrażanie działań prewencyjnych minimalizują ryzyko poważnych awarii i ograniczają straty finansowe inwestora. Dobre praktyki serwisowe, obejmujące terminową konserwację, właściwą diagnostykę oraz stosowanie oryginalnych podzespołów, są istotnym elementem zapewnienia trwałości, bezpieczeństwa i niezawodności współczesnych systemów klimatyzacyjnych i wentylacyjnych.

Bibliografia

- Zhai, Z. J., & Johnson, S. N. (2017). Full-scale laboratory test on energy dependence on pressure drops in HVAC systems. *Procedia Engineering*, 205, 2133-2140. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.138>
- Nassif, N. (2012). The impact of air filter pressure drop on the performance of typical air-conditioning systems. *Building Simulation*, 5(4), 345-350. <https://doi.org/10.1007/s12273-012-0091-6>
- Kaiser, K. (2017). Cel: powietrze o odpowiedniej jakości. Eksploatacja instalacji klimatyzacji i wentylacji. *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, (3), 34-41. <https://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/artykuly/267-wydanie-03-2017/4095-cel-powietrze-o-odpowiedniej-jakosci-eksploatacja-instalacji-klimatyzacji-i-wentylacji.html>

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*.



Analiza efektywności energetycznej i emisji CO₂ w cyklu życia układu gruntowej pompy ciepła zintegrowanej z mikroinstalacją PV

Life-cycle analysis of energy efficiency and CO₂ emissions in a ground-source heat pump system integrated with a PV micro-installation



Dr inż. Sylwia Wciślik

ORCID ID: [0000-0003-2152-9686](https://orcid.org/0000-0003-2152-9686)
Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska
sylwiawz@tu.kielce.pl



Inż. Alicja Kokosza

Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska
alicia.kokosza@gmail.com

Słowa kluczowe: pompa ciepła, instalacja fotowoltaiczna, charakterystyka energetyczna budynku, autokonsumpcja energii, ślad węglowy, energia użytkowa

Streszczenie

Celem pracy jest określenie rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną kotłowni z gruntową pompą ciepła w budynku jednorodzinnym oraz ocena, w jakim stopniu instalacja fotowoltaiczna może pokryć to zapotrzebowanie. Metodyka opiera się na obliczeniach energii użytkowej, końcowej i pomocniczej zgodnie z obowiązującymi normami oraz na analizie parametrów technicznych budynku i pompy ciepła.

Wyniki wskazują, że budynek charakteryzuje się niskim zapotrzebowaniem na energię użytkową (68,6 kWh/m²rok) oraz wysoką efektywnością systemów technicznych. Roczne zużycie energii końcowej przez kotłownię wynosi ok. 6900 kWh. Aby pokryć 50% tego zapotrzebowania, wystarczą cztery moduły PV o mocy 450 Wp. Zastosowanie fotowoltaiki obniża wskaźnik EP z 67,6 do 33,4 kWh/(m²rok) i redukuje emisję CO₂ o ok. 50%.

Wnioski potwierdzają, że integracja pompy ciepła z instalacją PV znacząco poprawia efektywność energetyczną, zmniejsza ślad węglowy i zwiększa niezależność energetyczną budynku.

Keywords: ground-source heat pump, photovoltaic installation, building energy performance, energy self-consumption, carbon footprint, useful energy

Abstract

The aim of the study is to determine the annual electricity demand of a boiler room equipped with a ground-source heat pump in a single-family house, and to assess the extent to which a photovoltaic installation can cover this demand. The methodology is based on calculations of useful, final, and auxiliary energy in accordance with applicable standards, as well as an analysis of the technical parameters of the building and the heat pump.

The results show that the building has a low useful energy demand (68.6 kWh/m²year) and high efficiency of its technical systems. The annual final energy consumption of the boiler room is approximately 6900 kWh. To cover 50% of this demand, four PV modules with a capacity of 450 Wp each are sufficient. The use of photovoltaics reduces the EP indicator from 67.6 to 33.4 kWh/(m²year) and lowers CO₂ emissions by around 50%. The conclusions confirm that integrating a heat pump with a PV installation significantly improves energy efficiency, reduces emissions, and increases the building's energy independence. fessional insights derived from practical field experience.

Wstęp oraz zarys problemu

Dynamiczny wzrost zainteresowania pompami ciepła jako podstawowym źródło ciepła sprawia, że precyzyjna ocena ich zapotrzebowania na energię elektryczną staje się kluczowa zarówno na etapie projektowym, jak i eksploatacyjnym. W przeciwieństwie do urządzeń spalających, koszty pracy pomp ciepła wynikają bezpośrednio z poboru energii elektrycznej, który zależy od warunków pracy, sprawności systemu oraz charakterystyki energetycznej budynku. Istotnym czynnikiem jest także rodzaj zastosowanego dolnego źródła ciepła, którym jest powietrze, grunt, woda, ale coraz częściej także i ścieki (Stokowiec & Berezowska-Kominek, 2025).

Projektowanie kotłowni i pomieszczeń technicznych musi odbywać się zgodnie z wytycznymi producentów

oraz normami (Polski Komitet Normalizacyjny, 2017a, 2017b, 2019) oraz Warunkami Technicznymi (Minister Rozwoju i Technologii, 2022).

W literaturze dotyczącej projektowania nowoczesnych systemów grzewczych coraz większy nacisk kładzie się na precyzyjne określanie zapotrzebowania na energię elektryczną w instalacjach wykorzystujących pompy ciepła. Artykuł (Siergiejuk & Gajewski, 2012) przedstawia szczegółową analizę pracy pompy ciepła w kontekście bilansowania energii w budynkach o zabudowie szeregowej. Autorzy analizują obiekt o zapotrzebowaniu na moc cieplną 148,97 kW dla 63 użytkowników ciepłej wody użytkowej. Dobrano tam cztery jednostki grzewcze Vaillant geoTHERM VWS 460/2, każda o mocy grzewczej 42,5 kW. Energia końcowa potrzebna do pracy sprężarek i pomp obiegowych wyniosła 145036,39 kWh/rok, co przełożyło

się na koszt eksploatacyjny 69990,18 zł rocznie w taryfie G11, która jest najpopularniejsza dla większości gospodarstw domowych w Polsce. Analiza wykazała, że mimo niższych kosztów eksploatacyjnych pompy ciepła, jej koszt inwestycyjny jest ponad dwukrotnie wyższy niż w przypadku kotłowni na pelety.

Z kolei w opracowaniu (Kwestar & Kostrzevska, 2023) zwraca się uwagę na to, że analiza zapotrzebowania na energię elektryczną dla pomp ciepła powinna obejmować nie tylko pracę sprężarki, lecz także wpływ elementów pomocniczych oraz współpracę z innymi źródłami energii. Autorzy analizują budynek jednorodzinny o powierzchni użytkowej 204,3 m², wyposażony w ogrzewanie podłogowe oraz instalację CWU z wymiennikiem pojemnościowym. Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania wynosi 18343,0 kWh, natomiast zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania CWU dla 4-osobowej rodziny – 2470,2 kWh/rok. W tym hybrydowym układzie zastosowano pompę ciepła powietrze–woda Termet Heat Platinum 13 EVI o mocy grzewczej 13,5 kW, współpracującą z indywidualnym zasobnikiem ciepła ITES o pojemności 11,45 m³ i mocy 395 kWh, co pozwala na pokrycie potrzeb cieplnych budynku przez około 2,5 doby w okresie najniższych temperatur. W artykule zwrócono również uwagę na znaczenie analizy profilu zużycia energii elektrycznej w ciągu roku. Roczne zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła i grzałkę wspomagającą wynosi 13564,81 kWh, natomiast pozostałe odbiorniki domowe zużywają około 2500,0 kWh/rok. Łączne zużycie energii elektrycznej gospodarstwa domowego wynosi zatem ok. 16065,0 kWh/rok. W związku z tym dobrano 70 paneli fotowoltaicznych o sumarycznej mocy 27,65 kWp. Roczna produkcja energii elektrycznej z instalacji PV, przy optymalnej orientacji wschód–zachód, wynosi 22220,90 kWh. Oznacza to, że teoretycznie instalacja jest w stanie pokryć całkowite roczne zużycie energii elektrycznej budynku, a w miesiącach letnich generuje znaczną nadwyżkę energii oddawaną do sieci w systemie net-billingu (Ustawa o odnawialnych źródłach energii, 2015). Takie podejście umożliwia ocenę efektywności energetycznej całego układu oraz stanowi podstawę do optymalizacji doboru mocy fotowoltaiki w zależności od przewidywanej autokonsumpcji. Włączenie tych zagadnień do obliczeń jest istotne przy projektowaniu kotłowni wyposażonej w pompę ciepła, ponieważ pozwala na precyzyjne określenie rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną oraz ocenę opłacalności zastosowanych rozwiązań. Ponadto, literatura potwierdza, że taki zintegrowany układ pompy ciepła oraz instalacji fotowoltaicznej redukuje koszty eksploatacyjne oraz emisję CO₂, co dąży do wzrostu niezależności energetycznej (Kłobus, 2025).

W pracy (Perzyński et al., 2024) pojawiają się również opracowania oparte na danych rzeczywistych, które pozwalają ocenić, jak praca pompy ciepła wpływa na bilans energii elektrycznej w budynku oraz na stopień wykorzystania energii produkowanej lokalnie. Artykuł dostarcza szczegółowych danych dotyczących energii wygenerowanej (E_g), oddanej do sieci (E_{exp}) oraz zużytej na miejscu (E_a). W roku 2022, kiedy budynek ogrzewany był jeszcze kotłem, instalacja PV wyprodukowała 12957,0 kWh, z czego 10914,0 kWh oddano do sieci, a jedynie 2043,0 kWh zużyto lokalnie. Odpowiadało to współczynnikowi auto-

konsumpcji 15,77%. Po wymianie źródła ciepła na pompę ciepła w roku 2023 produkcja PV wyniosła 13784,0 kWh, z czego 10436,0 kWh oddano do sieci, a 3348,0 kWh zużyto na miejscu, co podniosło autokonsumpcję do 24,29%. Oznacza to wzrost o 8,52 punktu procentowego, wynikający bezpośrednio ze zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną przez pompę ciepła. Wyniki badań pokazują, że po zastąpieniu tradycyjnego źródła ciepła pompą ciepła znacząco wzrasta zapotrzebowanie na energię elektryczną, co przekłada się na wyższy poziom autokonsumpcji energii z instalacji PV. W miesiącach zimowych 2023 roku współczynnik autokonsumpcji osiągał wartości rzędu 40–45%, podczas gdy latem spadał do 18–20%, co odzwierciedla sezonową zmienność obciążeń cieplnych i pracy pompy ciepła. W artykule obliczono również współczynnik wykorzystania energii z modułów PV (WPV). W 2022 roku wynosił on średnio 74,7%, natomiast w 2023 roku wzrósł do 77,3%, co oznacza poprawę o 2,6 punktu procentowego. W miesiącach zimowych WPV przekraczał 80%, co wynikało z większego zapotrzebowania na energię elektryczną w okresie grzewczym.

Włączenie tych wyników do procesu obliczeniowego pozwala lepiej oszacować energię użytkową, końcową i pomocniczą potrzebną do pracy pompy ciepła oraz ocenić, w jakim stopniu instalacja PV może pokryć to zapotrzebowanie.

Współczynnik autokonsumpcji k_{ak} określa udział energii elektrycznej wytworzonej w instalacji fotowoltaicznej, która została zużyta bezpośrednio na potrzeby własne odbiorcy, bez wprowadzania jej do sieci elektroenergetycznej, podczas gdy współczynnik samopokrycia k_{sk} wyraża stopień, w jakim energia ta pokrywa roczne zapotrzebowanie obiektu na energię elektryczną (Luthander et al., 2015), co zapisuje się wzorami (1) i (2).

$$k_{ak} = \frac{E_{PV \rightarrow load}}{E_{PV}} \quad (1)$$

gdzie:

$E_{PV \rightarrow load}$ – ilość energii elektrycznej wytworzonej przez instalację fotowoltaiczną, która została zużyta bezpośrednio w obiekcie, kWh

E_{PV} – całkowita energia wyprodukowana przez instalację PV w danym okresie, kWh

$$k_{sk} = \frac{E_{PV \rightarrow load}}{E_{load}} \quad (2)$$

gdzie:

$E_{PV \rightarrow load}$ – ilość energii elektrycznej wytworzonej przez instalację fotowoltaiczną, która została zużyta bezpośrednio w obiekcie, kWh

E_{load} – całkowite zapotrzebowanie energetyczne obiektu na energię elektryczną, kWh

Jak się okazuje, wysoka wartość autokonsumpcji nie oznacza samowystarczalności energetycznej, nawet przy zastosowaniu magazynu energii elektrycznej, co wynika z sezonowości produkcji energii z instalacji fotowoltaicznej w warunkach klimatu umiarkowanego oraz niskiej ilości godzin słonecznych w sezonie grzewczym (patrz Tabela 1).

Niniejszy artykuł przedstawia analizę energetyczną jednorodzinny budynek mieszkalny wyposażony w kotłownię z gruntową pompą ciepła oraz określenie

Tabela 1. Współczynnik autokonsumpcji i samopokrycia energii elektrycznej systemowej w instalacjach PV współpracujących z pompą ciepła, Źródło: opracowanie własne

Table 1. The self-consumption and self-sufficiency coefficient of system electrical energy in PV installations operating with a heat pump, Source: authors' own study

Układ energetyczny	Współczynnik autokonsumpcji (k_{ak})	Współczynnik samokonsumpcji (k_{sk})	Komentarz techniczny
PV + zapotrzebowanie bytowe (bez PC*)	0,25–0,35	0,15–0,25	Typowy profil dzienny, wysoka nadprodukcja w południe
PV + pompa ciepła (bez magazynu)	0,30–0,45	0,25–0,40	PC zwiększa zużycie w ciągu dnia, ale sezonowość nadal istotna
PV + PC + bufor ciepła (sterowanie PV-first)	0,40–0,55	0,35–0,50	Bezładność cieplna pozwala przesunąć pracę sprężarki
PV + PC + magazyn energii (5–10 kWh)	0,55–0,70	0,45–0,65	Magazyn przesunął energię z dnia na noc
PV + PC + magazyn energii (10–15 kWh)	0,65–0,80	0,55–0,75	Ograniczenie przez sezonowość produkcji PV
PV + PC + magazyn + sterowanie prognostyczne	0,70–0,85	0,60–0,80	Wysoki poziom optymalizacji, nadal brak sezonowej autonomii

*PC – pompa ciepła

rocznego zużycia energii elektrycznej przez cały system grzewczy na potrzeby CO oraz CWU. W opracowaniu obliczono kolejno energię użytkową potrzebną do ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, a następnie energię końcową i pomocniczą zużywaną przez pompę ciepła i urządzenia współpracujące. Wyniki te pozwoliły wyznaczyć rzeczywiste roczne zapotrzebowanie kotłowni na energię elektryczną, z uwzględnieniem współczynnika efektywności SCOP/COP oraz pracy pomp obiegowych, automatyki i pozostałej infrastruktury technicznej. Analizę rozszerzono o możliwości pokrycia połowy tego zapotrzebowania energią z instalacji fotowoltaicznej. W tym celu dobrano moc systemu PV z uwzględnieniem liczby godzin słonecznych w sezonie oraz poza sezonem grzewczym (Wciślik i Kotrys-Działak, 2021). Opracowanie stanowi więc kompleksowe wyznaczenie bilansu energetycznego kotłowni z pompą ciepła oraz ocenę, w jakim stopniu instalacja fotowoltaiczna może ograniczyć pobór energii z sieci i poprawić efektywność całego układu. Wykonano ponadto obliczenia śladu węglowego w 25 letnim cyklu życia instalacji PV.

Materiały i metody

Do obliczenia rocznego zapotrzebowania na energię użytkową Q_u , według rozporządzenia (Minister Infrastruktury i Rozwoju, 2015), należy obliczyć $Q_{W,nd}$ roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz $Q_{H,nd}$ roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji.

$$Q_u = Q_{W,nd} + Q_{H,nd} \quad (3)$$

gdzie:

$Q_{W,nd}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej, kWh/rok

$Q_{H,nd}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji, kWh/rok

Parametr $Q_{W,nd}$ pozwala określić, ile faktycznej energii potrzeba, aby podgrzać wymaganą ilość wody do temperatury użytkowej, niezależnie od zastosowanej techno-

logii czy rodzaju instalacji. Dzięki temu można w sposób porównywalny oceniać różne systemy przygotowania ciepłej wody, np. kotły gazowe, elektryczne, pompy ciepła, kolektory słoneczne czy ciepło z sieci. Wynik ten stanowi podstawę do dalszych obliczeń energii końcowej oraz energii pierwotnej, które ostatecznie decydują o wskaźniku zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP i klasie energetycznej budynku, której to obowiązek określenia wejdzie w życie jeszcze w 2026 r. Wyznacza się, w sposób określony wzorem (4).

$$Q_{W,nd} = \frac{V_{Wi} \cdot A_f \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot (\theta_w - \theta_0) \cdot k_R \cdot t_R}{3600}, \frac{\text{kWh}}{\text{rok}} \quad (4)$$

gdzie:

V_{Wi} – jednostkowe dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową, dm³/(m²doła)

A_f – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (powierzchnia ogrzewana), m²

c_w – ciepło właściwe wody (równe 4,19), kJ/(kg·K)

ρ_w – gęstość wody (równa 1), kg/dm³

θ_w – obliczeniowa temperatura ciepłej wody użytkowej w zaworze czerpalnym, °C

θ_0 – obliczeniowa temperatura wody przed podgrzaniem, °C

k_R – współczynnik korekcyjny ze względu na przerwę w użytkowaniu ciepłej wody użytkowej, –

t_R – liczba dni w roku (jest równa 365), doba

Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji stanowi podstawę oceny izolacyjności budynku w kontekście bilansu zysków oraz strat ciepła. Na tej podstawie wyznacza się energię końcową i pierwotną (5).

$$Q_{H,nd} = \sum_s Q_{H,nd,s}, \frac{\text{kWh}}{\text{rok}} \quad (5)$$

gdzie:

$Q_{H,nd,s}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji w strefie ogrzewanej, kWh/rok

s – liczba stref ogrzewania, –

Kluczową rolę odgrywają tu również parametry wentylacji, zarówno naturalnej, jak i mechanicznej. Znajomość strumieni powietrza, rodzaju systemu oraz sprawności odzysku ciepła umożliwia określenie strat wynikających z wymiany powietrza. Dane te, ujęte w standardowych wartościach w metodologii, pozwalają na ograniczenie wielkości wymaganej energii użytkowej (Minister Infrastruktury i Rozwoju, 2015).

Obliczenia wymagają również klimatycznego profilu temperatury zewnętrznej, przyjmowanego zgodnie ze standardowym klimatem referencyjnym, oraz podziału budynku na strefy cieplne o określonych parametrach eksploatacyjnych. Dopiero zestawienie wszystkich tych informacji umożliwia sporządzenie rocznego bilansu energetycznego stref ogrzewanych, którego wynikiem jest właśnie wartość $Q_{H,nd}$.

Aby jednak przejść od energii użytkowej do energii końcowej, niezbędne jest uwzględnienie charakterystyki zastosowanych systemów technicznych, takich jak ogrzewanie, wentylacja, przygotowanie ciepłej wody czy chłodzenie. Na tym etapie analizuje się ich sprawność, sposób regulacji oraz straty towarzyszące procesowi dostarczania energii do poszczególnych stref budynku.

Wyznaczenie rocznego zapotrzebowania na energię końcową dostarczoną do budynku lub części budynku dla systemów technicznych wyznacza się według wzoru (6).

$$Q_k = Q_{k,H} + Q_{k,W} + Q_{k,C} + Q_{k,L} + E_{el,pom}, \frac{\text{kW}}{\text{rok}} \quad (6)$$

gdzie:

$Q_{k,H}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ogrzewania, kW/rok

$Q_{k,W}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej, kW/rok

$Q_{k,C}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu chłodzenia, kW/rok

$Q_{k,L}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia, kW/rok

$E_{el,pom}$ – roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemów technicznych, kW/rok

Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemów technicznych Q_p wyznacza się ze wzoru (7).

$$Q_p = Q_{p,H} + Q_{p,W} + Q_{p,C} + Q_{p,L}, \frac{\text{kW}}{\text{rok}} \quad (7)$$

gdzie:

$Q_{p,H}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu ogrzewania, kW/rok

$Q_{p,W}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej, kW/rok

$Q_{p,C}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu chłodzenia, kW/rok

$Q_{p,L}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia, kW/rok

Roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemów technicznych $E_{el,pom}$ określa się z zależności (8).

$$E_{el,pom} = E_{el,pom,H} + E_{el,pom,W} + E_{el,pom,C}, \frac{\text{kWh}}{\text{rok}} \quad (8)$$

gdzie:

$E_{el,pom,H}$ – roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ogrzewania, kWh/rok

$E_{el,pom,W}$ – roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej, kWh/rok

$E_{el,pom,C}$ – roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu chłodzenia, kWh/rok

Sumarycznie, dla wszystkich systemów technicznych można zapisać następująco:

$$E_{el,pom,H,W,C} = \sum_i q_{el,H,W,C,i} \cdot t_{te,i} \cdot A_f \cdot 10^{-3}, \frac{\text{kWh}}{\text{rok}} \quad (9)$$

gdzie:

$q_{el,H,W,C,i}$ – zapotrzebowanie na moc elektryczną do napędu i-tego urządzenia pomocniczego w danym systemie, W/m²

$t_{te,i}$ – czas działania i-tego urządzenia pomocniczego w systemie ogrzewania w ciągu roku, h/rok

A_f – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (powierzchnia ogrzewana), m²

Wartości $q_{el,i}$ oraz $t_{te,i}$ określa się według (Minister Infrastruktury i Rozwoju, 2015) lub na podstawie rzeczywistych danych odczytanych z tablic znamionowych.

W przypadku pompy ciepła zasilanej energią elektryczną systemową rozważa się montaż mikroinstalacji PV w celu obniżenia kosztów za energię elektryczną. Średni dobowy czas efektywnego pozyskiwania energii przez ogniwa fotowoltaiczne w okresie zimowym w Kielcach wynosi około 3,5–4,5 godziny dziennie. To oszacowanie opiera się na danych klimatycznych oraz analizach nasłonecznienia w regionie. Według danych z Geoportalu Gminy Kielce (Geoportal Polski średnie dzienne nasłonecznienie w okresie zimowym wynosi około 167,75 Wh/m²/dobę. Przy założeniu, że panele fotowoltaiczne mają efektywność konwersji energii na poziomie około 15–20%, można oszacować, że średni dobowy czas efektywnego pozyskiwania energii w okresie zimowym w Kielcach wynosi około 3,5–4,5 godziny dziennie (Geoportal Kielce – Fotowoltaika Kielce).

To oznacza, że w okresie zimowym, przy odpowiednich warunkach pogodowych, instalacje fotowoltaiczne w Kielcach mogą efektywnie produkować energię przez około 3,5 do 4,5 godziny dziennie. Warto jednak pamiętać, że rzeczywisty czas efektywnego pozyskiwania energii może się różnić w zależności od konkretnych warunków lokalnych, takich jak kąt nachylenia paneli, orientacja względem stron świata, obecność zacienienia czy też stan techniczny samej instalacji.

Niezbędną ilość paneli fotowoltaicznych wyznacza się z algorytmu (10).

$$P_h = \frac{P_{dobowe}}{t} \quad (10)$$

gdzie:

$P_{h,P_{dobowe}}$ – odpowiednio godzinowy oraz dobowy wymagany uzysk mocy z instalacji PV, kWp
 t – czas, dni

$$P_{dobowe} = (B_{PC} + E_{el,pom}) \cdot 24h \cdot t_s/365 \quad (11)$$

gdzie:

$B_{PC} + E_{el,pom}$ – zapotrzebowanie na energię elektryczną przez pompę ciepła i armaturę służącą do przygotowania ciepła na cele CO ($B_{PC,H}$, $E_{el,pom,H}$) oraz CWU ($B_{PC,W}$, $E_{el,pom,W}$), kWp; wielkości wynikające z wykonanych wyżej obliczeń charakterystyki energetycznej
 t_s – sezon pracy pompy ciepła, dni

Niezbędną ilość modułów fotowoltaicznych o danej mocy oblicza się z następującej zależności (12).

$$n = \frac{P_h}{P_{PV}} \quad (12)$$

gdzie:

P_h – godzinowy wymagany uzysk mocy PV, kWp
 P_{PV} – stanowi moc pojedynczego panelu fotowoltaicznego, kWp

Emisja całkowita kotłowni wynika z jednostkowych wskaźników emisji dla danego paliwa określana jest zgodnie ze wzorem (13).

$$E_{tot,CO_2} = \sum B \cdot WE_{el.,CO_2} \quad (13)$$

gdzie:

ΣB – sumaryczna ilość energii elektrycznej dla całej kotłowni, kWh/rok
 $WE_{el.,CO_2}$ – jednostkowy wskaźnik emisji zastosowanego paliwa, kg CO₂/kWh

Całkowita produkcja energii z mikroinstalacji wynikająca z cyklu życia określana jest zgodnie z (14).

$$E_{life} = P_{pk} \cdot H \cdot L \quad (14)$$

gdzie:

P_{pk} – zainstalowana moc instalacji PV, kWp
 H – średni roczny uzysk energetyczny (PVGIS, 2024), kWh/kWp/rok
 L – czas eksploatacji, lata

Wskaźnikowo, łącznej emisyjności wszystkich faz okresu (15).

$$e_{tot} = e_{mod} + e_{inv} + e_{BOS} + e_{tr} + e_{O\&M} + e_{EoL} \quad (15)$$

gdzie:

e_{mod} – emisja związana z produkcją modułów fotowoltaicznych, gCO₂e/kWh
 e_{inv} – emisja związana z produkcją modułów fotowoltaicznych, gCO₂e/kWh
 e_{BOS} – emisje związane z pozostałymi elementami instalacji, gCO₂e/kWh
 e_{tr} – emisja związana z transportem wszystkich, gCO₂e/kWh
 $e_{O\&M}$ – emisja wynikająca z eksploatacji i serwisu, gCO₂e/kWh
 e_{EoL} – emisja związana z końcem użycia i utylizacją, gCO₂e/kWh

Całkowita emisja CO₂e mikroinstalacji wynikająca z cyklu życia określana jest na podstawie (16).

$$CF_{total} = E_{life} \cdot e_{tot} \quad (16)$$

gdzie:

E_{life} – całkowita energia wyprodukowana przez instalację w całym okresie użytkowania, kWh
 e_{tot} – łączna jednostkowa emisja wszystkich faz cyklu życia instalacji PV, kgCO₂e/kWh

Studium przypadku

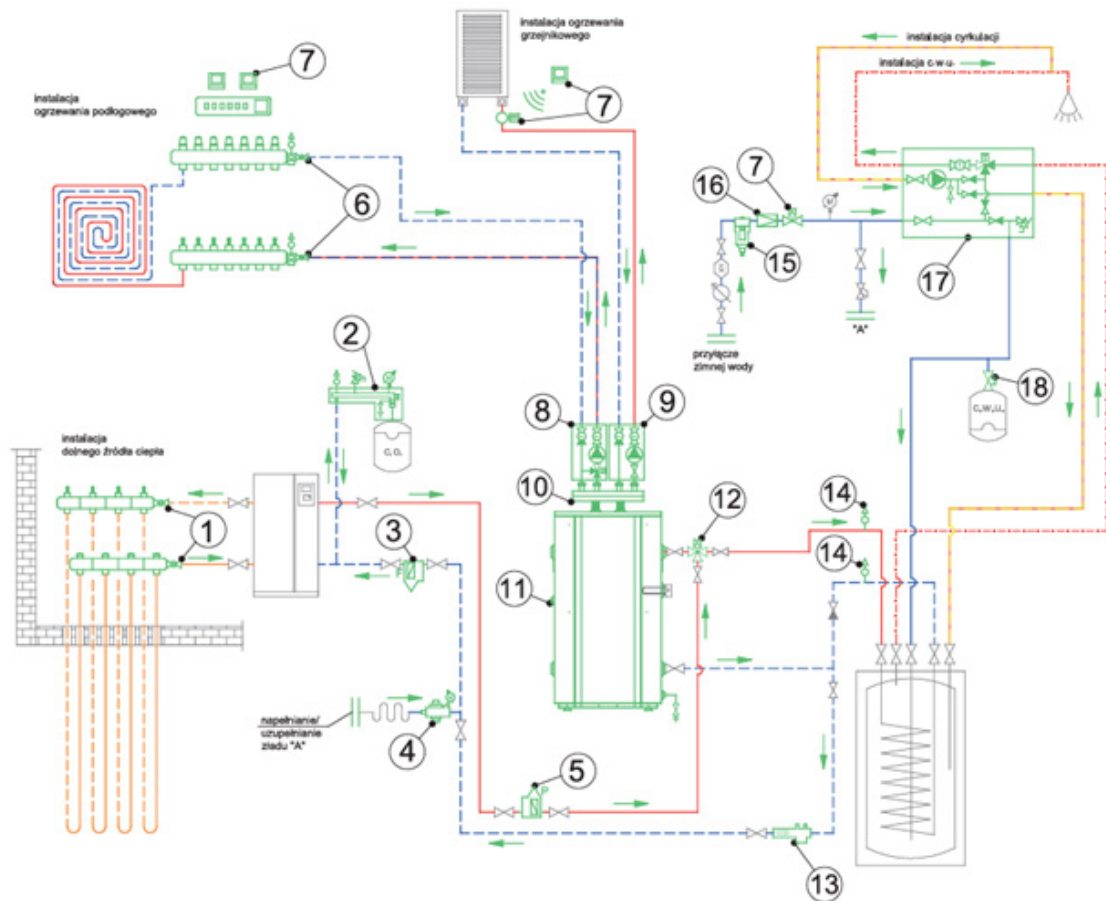
Analizowany obiekt dla którego sporządzono świadectwo charakterystyki energetycznej to budynek mieszkalny jednorodzinny o danych technicznych oraz parametrach systemów technicznych zestawionych odpowiednio w Tabeli 2 i Tabeli 3. W pierwszym wariantcie założono instalację wyposażoną w grzewczą pompę ciepła bez wspomagania przez instalację PV (Rysunek 1). Wariant drugi

Tabela 2. Parametry techniczne analizowanego budynku, Źródło: opracowanie własne
Table 2. Technical parameters of the analyzed building, Source: authors' own study

Nazwa	Jednostka	Wartość
Powierzchnia użytkowa budynku	m ²	258,2
Kubatura budynku	m ³	499,3
Liczba osób w budynku	os.	4
Współczynnik przenikania ciepła, U		
Ściana zewnętrzna	W/(m ² K)	0,16
Dach		0,15
Podłoga na gruncie		0,14
Stolarka okienna		0,90
Drzwi zewnętrzne		1,10

Tabela 3. Parametry systemów technicznych dla analizowanego budynku, Źródło: opracowanie własne
Table 3. Technical system parameters for the analyzed building, Source: authors' own study

Rodzaj sprawności	Wartość sprawności
System ogrzewania	
Wytwarzanie ciepła	4,8
Przesył ciepła	0,96
Akumulacja ciepła	0,95
Regulacja i wykorzystanie ciepła	0,89
Średnio, $n_{H,tot}$	3,90
System przygotowania ciepłej wody użytkowej	
Wytwarzanie ciepła	3,3
Przesył ciepła	0,70
Akumulacja ciepła	0,85
Regulacja i wykorzystanie ciepła	1,0
Średnio, $n_{W,tot}$	1,96



Rysunek 1. Schemat kotłowni z grzewczą pompą ciepła (AFRISO, 2024). Oznaczenie przyjęte na rysunku: 1 – Rozdzielacz do dolnego źródła ciepła, moduł podstawowy, obieg zasilający i powrotny, zawory kulowe, 2 – Grupa bezpieczeństwa, 3 – Separator zanieczyszczeń, 4 – Zawór do automatycznego napełniania instalacji, 5 – Separator powietrza, 6 – Rozdzielacz poliamidowy, siłowniki termoelektryczne, zawory odcinające z termometrami, 7 – Przewodowy zestaw sterowania ogrzewaniem podłogowym i bezprzewodowy system sterowania ogrzewaniem grzejnikowym, 8 – Grupa pompowa, 9 – Grupa pompowa, 10 – Rozdzielacz dla 2 obiegów, 11 – Zbiornik buforowy, 12 – 3-drogowy zawór strefowy, 13 – Zespół armatury serwisowej do pompy ciepła, 14 – Odpowietrznik automatyczny pionowy z zaworem stopowym, 15 – Filtr do wody, 16 – Kompaktywny reduktor ciśnienia wody, 17 – Grupa pompowa do cyrkulacji CWU, 18 – Szybkołączące do naczynia wzbiorczego z zaworem rewizyjnym

Figure 1. Boiler room diagram with a ground-source heat pump (AFRISO, 2024). Legend used in the figure: 1 – Manifold for the lower heat source, basic module, supply and return circuits, ball valves, 2 – Safety group, 3 – Dirt separator, 4 – Automatic filling valve, 5 – Air separator, 6 – Polyamide manifold, thermoelectric actuators, shut-off valves with thermometers, 7 – Wired control set for underfloor heating and wireless control system for radiator heating, 8 – Pump group, 9 – Pump group, 10 – Manifold for 2 circuits, 11 – Buffer tank, 12 – Three-way zone valve, 13 – Service valve assembly for the heat pump, 14 – Vertical automatic air vent with shut-off valve, 15 – Water filter, 16 – Compact water pressure reducing valve, 17 – Pump group for DHW circulation, 18 – Quick connector for expansion vessel with inspection valve

uzupełniono o panele fotowoltaiczne pokrywające 50% zapotrzebowania na energię elektryczną dla kotłowni.

Z punktu widzenia bilansu energetycznego, dla kotłowni opartej o pompę ciepła, całkowite roczne zużycie energii można zapisać jako (17).

$$E = E_{co} + E_{cwu} + E_{pom} \quad (17)$$

gdzie:

- E – całkowite zużycie energii elektrycznej, kWh/rok
- E_{co} – zużycie energii na cele ogrzewania, kWh/rok
- E_{cwu} – zużycie energii na przygotowanie CWU, kWh/rok
- E_{pom} – energia pomocnicza (zazwyczaj 5–10% sumy), kWh/rok (Minister Infrastruktury i Rozwoju, 2015)

Systemy techniczne analizowanego budynku obejmują centralne wodne ogrzewanie z lokalnego źródła ciepła umieszczonego wewnątrz ogrzewanej przestrzeni, z zizolowanymi przewodami i elementami instalacji. Jest to system o ogrzewaniu wodnym podłogowym, wyposażony w regulację centralną i miejscową oraz sprawnos-

ściami sezonowymi. Źródłem ciepła dla ogrzewania jest grzewcza pompa ciepła o sezonowej sprawności 4,8. Wentylacja ma charakter grawitacyjny.

Certyfikat energetyczny wykonano w programie Instal-System5 (wersja edukacyjna) i dla dwóch wariantów uzyskano następujące wyniki i zestawiono w Tabeli 4.

Wyniki potwierdzają, że budynek jest wykonany w standardzie energooszczędnym, spełnia wszystkie aktualne wymagania prawne dotyczące izolacyjności cieplnej i wskaźnika EP oraz charakteryzuje się umiarkowanym zapotrzebowaniem na energię, wynikającym zarówno z dobrej izolacyjności, jak i wysokosprawnych systemów technicznych (Minister Infrastruktury i Rozwoju, 2015). Zapotrzebowanie na energię elektryczną dla danego systemu technicznego, jakie wykazano w Tabeli 4. wynika z konkretnego modelu wybranego urządzenia – Viessmann Vitolac 333-G model BWT 331 C12 o parametrach jak w Tabeli 5.

Tabela 4. Zestawienie wskaźników zapotrzebowania na energię, Źródło: opracowanie własne
Table 4. Summary of energy demand indicators, Source: authors' own study

Nazwa wskaźnika	Skrót	Jednostka	Wariant 1	Wariant 2
Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną	$EP_{uzyskane}$	kWh/(m ² rok)	67,6	33,4
	$EP_{wymagane}$	kWh/(m ² rok)	70,0	
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową	EK	kWh/(m ² rok)	27,0	22,7
Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową	EU	kWh/(m ² rok)	68,6	
Jednostkowa wielkość emisji CO ₂	E_{CO_2}	tCO ₂ /(m ² rok)	0,009	0,005
Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową	U_{oze}	%	0,0	38,6
Roczne zapotrzebowanie na:				
– nieodnawialną energię pierwotną	Q_p	kWh/rok	17443	8619
– energię końcową	Q_k	kWh/rok	6977	6895
– energię użytkową	Q_u	kWh/rok	17703	
– energię pomocniczą końcową	$E_{el,pom}$	kWh/rok	781	781
– energię pierwotną przez system ogrzewania i wentylacji	$Q_{p,H}$	kWh/rok	10013	4236
– energię końcową dostarczoną przez system ogrzewania i wentylacji	$Q_{k,H}$	kWh/rok	3564	2948
– na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji	$Q_{H,nd}$	kWh/rok	11484	
– na energię pomocniczą końcową dostarczoną dla systemu ogrzewania i wentylacji	$E_{el,pom,H}$	kWh/rok	441	
– na energię pierwotną przez systemy przygotowania CWU	$Q_{p,W}$	kWh/rok	7430	4383
– na energię końcową dostarczoną przez system przygotowania CWU	$Q_{k,W}$	kWh/rok	2633	3167
– na energię użytkową do przygotowania CWU	$Q_{W,nd}$	kWh/rok	6219	
– na energię pomocniczą końcową dostarczoną dla systemu przygotowania CWU	$E_{el,pom,W}$	kWh/rok	339	

Tabela 5. Parametry techniczne pompy ciepła, Źródło: opracowanie własne na podstawie danych katalogowych pompy ciepła Viessmann i-tocal 333-G model BWT 331 C12

Table 5. Technical parameters of the heat pump, Source: authors' own elaboration based on catalogue data for the Viessmann Vitocal 333-G BWT 331.C12 heat pump

Parametr	Jednostka	Wartość
Znamionowa moc cieplna	kW	5,3
Zakres modulacji	kW	2,4–11,4
Współczynnik efektywności COP w trybie CO	–	4,8
Współczynnik efektywności COP w trybie CWU	–	3,3
Maksymalna temperatura zasilania	°C	65
SCOP dla klimatu umiarkowanego i W55	–	3,97

Technologia kotłowni z pompą ciepła

Schemat analizowanej kotłowni za (AFRISO, 2024) zamieszczono na Rysunku 1., z którego wynika, że całkowite zużycie energii elektrycznej przez kotłownię obejmuje nie tylko sprężarkę pompy ciepła, ale również urządzenia pomocnicze takie jak: grupy pompowe (8,9) – każda grupa pompowa zawiera silnik elektryczny pompy i elektronikę regulacji czasu pracy, grupa pompowa do cyrkulacji CWU (17), przewodowy zestaw sterowania ogrzewaniem podłogowym (7) – wszystkie elementy sterowania pokojowego i podłogówki, siłowniki termoelektryczne (6) oraz zespół armatury serwisowej do pompy ciepła (13).

Mikroinstalacja PV dla pokrycia zapotrzebowania na CO i CWU

W odniesieniu do przedstawionych parametrów efek-

tywności energetycznej analizowanego budynku, zakłada się, że w pierwszym wariantcie źródłem ciepła dla instalacji CO oraz CWU jest grzewcza pompa ciepła napędzana energią elektryczną systemową. Uwzględniono tutaj także pracę armatury kotłowej. W drugim wariantcie przyjęto, że instalacja fotowoltaiczna pokryje 50% zapotrzebowania na energię elektryczną całej kotłowni; dobrano minimalną moc wymaganą dla takiej instalacji oraz określono ślad węglowy całego jej cyklu życia.

Wytyczne do doboru modułów fotowoltaicznych przyjęto następujące:

- szacunkowy średni dobowy czas pozyskiwania energii przez ogniwa fotowoltaiczne dla okresu zimowego/sezonu grzewczego: $t = 4$ h,
- szacunkowy średni dobowy czas pozyskiwania energii przez ogniwa fotowoltaiczne dla okresu poza sezonem grzewczym: $t = 6$ h,
- powierzchnia pojedynczego panelu fotowoltaicznego: $A_{PV} = 2$ m²,
- uzysk mocy elektrycznej z pojedynczego panelu fotowoltaicznego: $P_{PV} = 450$ Wp,
- t_s – czas pracy instalacji PV; zakłada się całoroczną pracę instalacji CWU; czas trwania sezonu grzewczego 220 dni.

Niezbędną ilość paneli fotowoltaicznych wyznacza się z poniższego algorytmu. Użyte wzory opisano w rozdziale „Materiały i metody”.

$$P_h = \frac{P_{dobowe}}{t} \quad (10)$$

$$P_{dobowe} = (B_{PC} + E_{el,pom}) \cdot 24h \cdot t_s / 365 \quad (11)$$

W pierwszej kolejności, na podstawie parametrów charakterystyki energetycznej analizowanego budynku (patrz Tabela 4.) obliczono zapotrzebowanie na energię elektryczną przez pompę ciepła i armaturę kotłową służące do przygotowania ciepła na cele CO ($B_{PC,H}$, $E_{el,pom,H}$) oraz CWU ($B_{PC,W}$, $E_{el,pom,W}$).

$$B_{PC} = B_{PC,H} + B_{PC,W} = (2948 + 3167) \cdot 0,5 = 3057,5 \text{ kWh/rok}$$

$$E_{el,pom} = E_{el,pom,H} + E_{el,pom,W} = (441 + 339) \cdot 0,5 = 390 \text{ kWh/rok}$$

$$B_{PC,H} + E_{el,pom,H} = (2948 + 441) \cdot 0,5 = 1694,5 \text{ kWh/rok}$$

$$B_{PC,W} + E_{el,pom,W} = (3167 + 339) \cdot 0,5 = 1753 \text{ kWh/rok}$$

W związku z powyższymi założeniami, przez 220 dni w roku szacunkowy średni dobowy czas pozyskiwania energii przez ogniwa fotowoltaiczne dla okresu zimowego to $t = 4h$, czyli $t_s = 220$ dni; dla reszty roku czyli 145 dni $t = 6h$ co należy uwzględnić we wzorze 11.

$$P_{dobowe,c.o.} + P_{dobowe,c.w.u.} = \left(\frac{1695 \text{ kWh}}{(365 \cdot 24)h} \cdot 24h \cdot \frac{220}{365} \right) + \left[\left(\frac{1753 \text{ kWh}}{(365 \cdot 24)h} \cdot 24h \cdot \frac{145}{365} \right) + \left(\frac{1753 \text{ kWh}}{(365 \cdot 24)h} \cdot 24h \cdot \frac{220}{365} \right) \right] = 7,60 \text{ kWh} \cong 8 \text{ kWh}$$

$$P_h = 8 \text{ kWh}/(4 + 6)/2 \text{ h} = 1,6 \text{ kW}$$

Niezbędna ilość modułów fotowoltaicznych o mocy 450 Wp dla pokrycia połowy zapotrzebowania na energię elektryczną zużywaną przez armaturę kotłową oraz pompę ciepła pracującą na potrzeby CO oraz CWU wyniesie 4.

$$n = \frac{1,6 \text{ kW}}{0,45 \text{ kW}} \cong 4 \text{ szt.}$$

Przyjęto 4 moduły PV o mocy 450 Wp każdy, które należy rozlokować na powierzchni dachu lub konstrukcji wolnostojącej zachowując podstawowe zasady optymalizacyjne.

W przypadku pompy ciepła grunt - woda paliwem będzie energia elektryczna o wartości opałowej oraz wskaźniku emisji wynoszących odpowiednio 1,0001 kWh/kWh i 0,337 kg CO₂/kWh.

$$WO_{el.} = 3,6 \text{ MJ/kWh} \cdot 0,2778 = 1,0001 \text{ kWh/kWh}$$

$$WE_{el.,CO_2} = 93,55 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \cdot 0,0036 \text{ TJ/kWh} = 0,337 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$$

Ilość energii elektrycznej, czyli zapotrzebowania tego paliwa dla całej kotłowni, uwzględniając również armaturę kotłową, będzie równe 6895 kWh/rok.

$$\sum B = B_{PC} + E_{el,pom} = \frac{Q_k}{WO_{el.}} = \frac{6895}{1} = 6895 \text{ kWh/rok}$$

Z kolei emisja całkowita kotłowni wyniesie 2323,62 kgCO₂/rok.

$$E_{tot,CO_2} = \sum B \cdot WE_{el.,CO_2} = 6895 \cdot 0,337 = 2323,62 \text{ kgCO}_2/\text{rok}$$

Dobrana moc instalacji PV dla pokrycia 50% zapotrzebowania na energię elektryczną przez kotłownię ma jedynie pokazać skalę problemu. W praktyce, wielkość planowanej instalacji PV uwzględnia również pokrycie potrzeb bytowych mieszkańców. Czasami także zdeterminowana jest także dostępnością miejsca na dachu lub konstrukcji wolnostojącej. Najczęściej jednak, dla podobnej wielkości budynku w Polsce (PVGIS, 2024) stosowane są instalacje fotowoltaiczne o mocy 4–7 kWp w systemie on-grid oraz 7–10 kWp w połączeniu z magazynem energii o pojemności 5–15 kWh, w zależności od profilu zużycia energii elektrycznej (Gramwielone.pl, 2023).

W związku z powyższym, w kolejnym podrozdziale obliczono ślad węglowy przykładowej instalacji PV o mocy 7 kWp.

Ślad węglowy przykładowej instalacji PV

Pomysł systematycznego obliczania śladu węglowego pochodzi z podejścia LCA (Life Cycle Assessment) (International Organization for Standardization, 2006a, 2006b), rozwijanego już od lat 90. XX w. oraz z międzynarodowych porozumień klimatycznych (Protokół z Kioto, 1997; Porozumienie Paryskie, 2015). W dzisiejszej rzeczywistości ślad węglowy służy nie tylko jako narzędzie badawcze, ale także jako czynnik strategii zrównoważonego rozwoju, pozwalając wytwórcom i społecznościom mierzyć i raportować postępy w walce z kryzysem klimatycznym, choć ten jest także kwestią sporną politycznie. Poniżej przedstawiono przykład obliczeniowy śladu węglowego (LCA) dla typowej mikroinstalacji PV o założonej i typowej mocy 7 kWp, wraz z analizą całości emisji w cyklu jej życia. Tabela 6. zawiera założenia wstępne do obliczenia śladu węglowego.

Obliczenie całkowitej produkcji energii z mikroinstalacji wykazało 175 000 kWh.

$$E_{life} = 7 \text{ kWp} \cdot 1000 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp} \cdot \text{rok}} \cdot 25 \text{ lat} = 175 \text{ 000 kWh}$$

Obliczenie wskaźnikowo łącznej emisyjności poprzez zsumowanie wszystkich faz wyniosło 52 gCO₂e/kWh.

Tabela 6. Założenia wyjściowe do obliczenia śladu węglowego dla przykładowej mikroinstalacji fotowoltaicznej o mocy 7 kWp, Źródło: opracowanie własne na podstawie ogólnej wiedzy technicznej Table 6. Initial assumptions for calculating the carbon footprint of a sample 7 kWp photovoltaic micro-installation, Source: authors' own elaboration based on general technical knowledge.

Parametr	Symbol	Wartość
Moc instalacji	P_{pk}	7 kWp
Czas eksploatacji	L	25 lat
Średni roczny uzysk energetyczny (PVGIS, 2024)	H	1000 kWh/kWp/rok
Emisyjność poszczególnych faz (średnio, w g CO ₂ e/kWh):		
- BOS (konstrukcja, okablowanie, itp.)	e_{BOS}	5
- koniec życia i utylizacja	e_{EoL}	2
- produkcja falownika	e_{inv}	8
- produkcja modułów	e_{mod}	30
- eksploatacja i serwis (O&M)	$e_{O\&M}$	3
- transport i montaż	e_{tr}	4

Tabela 7. Emisja CO₂e dla poszczególnych faz cyklu życia przykładowej mikroinstalacji PV, Źródło: opracowanie własne na podstawie ogólnej wiedzy technicznej oraz (Hsu et al., 2012) oraz (PVGIG, 2016)
Table 7. CO₂e emissions for the individual life-cycle phases of a sample PV micro-installation, Source: authors' own elaboration based on general technical knowledge and (Hsu et al., 2012) and (PVGIG, 2016)

Faza	e_i [g CO ₂ e/Wh]	Emisja [t CO ₂ e]
Produkcja modułów (Hsu et al., 2012)	30	175 000·0,030 = 5,25
Produkcja falownika (PVGIG, 2016)	8	175 000·0,008 = 1,40
BOS	5	175 000·0,005 = 0,88
Transport i montaż	4	175 000·0,004 = 0,70
Eksploatacja i serwis	3	175 000·0,003 = 0,53
Koniec życia i utylizacja	2	175 000·0,002 = 0,35
Razem	52	≈9,1 t CO ₂ e

$$e_{tot} = e_{mod} + e_{inv} + e_{BOS} + e_{tr} + e_{O\&M} + e_{EOL} = 30 + 8 + 5 + 4 + 3 + 2 = 52 \text{ g CO}_2\text{e/kWh}$$

Obliczenie całkowitej emisji CO₂e dało 9,1 tCO₂e.

$$CF_{total} = 175\,000 \text{ kWh} \cdot 52 \text{ g/kWh} = 9\,100\,000 \text{ gCO}_2\text{e} = 9,1 \text{ tCO}_2\text{e}$$

W Tab.7. przedstawiono emisję CO₂e w rozbiu na poszczególne fazy.

Dla porównania, przyjmując średnią emisję spalin dla samochodu osobowego na poziomie 120 g CO₂/km (EEA, 2021), otrzymana wartość emisji dla mikroinstalacji PV odpowiada przejechaniu autem ~75 800 km ($\frac{9\,100 \text{ kg CO}_2}{0,12 \text{ kg/km}} \approx 75\,800 \text{ km}$) (Wciślik, 2025). Trzeba jednak zaznaczyć, że w ciągu eksploatacji (25 lat) mikroinstalacja wytworzy ponad 175 000 kWh czystej energii, unikając spalania paliw kopalnych. Zatem już po ok. 1–2 latach pracy bilans netto (wyemitowane vs. uniknięte emisje) staje się ujemny, a potem instalacja przynosi realne oszczędności w postaci nieemitowanego CO₂. Co więcej, aby skompensować 9,1 t CO₂e z cyklu życia mikroinstalacji 7 kWp, należy posadzić ok. 17 drzew rocznie (zakładając, że każde przez 25 lat pochłonie średnio 550 kg CO₂).

Przedstawiona wyżej analiza odnosi się wyłącznie do kategorii Global Warming Potential (GWP), czyli emisji gazów cieplarnianych właśnie w ekwiwalencie CO₂. Istnieją jednak inne dodatkowe wskaźniki stanowiące odrębne kategorie wpływu środowiskowego, które w tradycyjnym ujęciu śladu węglowego nie są uwzględniane, czyli m.in.: ślad wodny, potencjał zakwaszenia, potencjał eutrofizacji, toksyczność. Pełny obraz wpływu dane inwestycji na środowisko naturalne można przeprowadzić poprzez kompletną analizę Life Cycle Impact Assessment, raportując każdą kategorię oddzielnie. Może się okazać, że chociaż instalacja ma niskie emisje CO₂, to też zużywa pewną ilość wody i generuje inne obciążenia środowiskowe, które warto monitorować.

Bibliografia

AFRISO (2024) Katalog schematów, Instalacje grzewcze do 70kW (za zgodą Afriso Sp. z o.o.)

- European Environment Agency (EEA). (2021). Average CO₂ emissions from new passenger cars. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/co2-performance-of-new-passenger/average-co2-emissions-from> (Dostęp z 23.02.2026)
- Geoportal Kielce – Fotowoltaika Kielce. (n.d.). <https://on-geo.pl/geoportal/kielce/fotowoltaika>
- Geoportal Polski, wszystkie działki na mapie | Geoportal360.pl. (n.d.). Geoportal360.pl. <https://geoportal360.pl> (Dostęp z 23.02.2026)
- Gramwzielone.pl. (2023). *Jak dobrać moc instalacji fotowoltaicznej dla domu jednorodzinnego.* <https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/20340680/dobor-mocy-instalacji-fotowoltaicznej-dla-domu-jednorodzinnego> (Dostęp z 23.02.2026)
- Hsu, D. D., O'Donoghue, P., Fthenakis, V., Heath, G. A., Kim, H. C., Sawyer, P., Choi, J., & Turney, D. E. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions of crystalline silicon photovoltaic electricity generation. *Journal of Industrial Ecology*, 16(s1). <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00439.x>
- International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS). (2024). Task 12 – LCA of Photovoltaic Systems. https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_Task_12_LCI_LCA.pdf (Dostęp z 23.02.2026)
- International Organization for Standardization. (2006a). ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. ISO.
- International Organization for Standardization. (2006b). ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. ISO.
- JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) – European Commission. (2016, January 11). https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en
- Kłobus, U. (2025). *PL: Ekonomiczne i ekologiczne uwarunkowania użytkowania zintegrowanego systemu pompy ciepła i mikroinstalacji fotowoltaicznej. EN: Economic and Ecological Benefits of Using an Integrated Heat Pump and Photovoltaic Micro System.* <https://agris.fao.org/search/en/providers/125456/records/68b6deba68d9e6806700b695> (Dostęp z 23.02.2026)
- Kwestarz, M., & Kostrzewska, W. (2023). Koncepcja hybrydowego OZE dla domu jednorodzinnego. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, (5), 27-33. <https://doi.org/10.15199/17.2023.5.5>
- Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., & Palm, J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied energy*, 142, 80-94. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>
- Minister Infrastruktury i Rozwoju. (2015). Rozporządzenie z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. 2015 poz. 376)
- Minister Rozwoju i Technologii. (2022). Obwieszczenie z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2022 poz. 1225).
- Perzyński, M., Knaga, J., & Nęcka, K. (2024). Autokonsump-

cja energii elektrycznej na przykładzie domu jednorodzinnego wyposażonego w instalację fotowoltaiczną ogrzewanego pompą ciepła. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 19.

Polski Komitet Normalizacyjny. (2017a). PN-EN 15316-4-2:2017-01 *Systemy ogrzewania w budynkach – Metoda obliczania zużycia energii i sprawności systemów – Część 4-2: Systemy wytwarzania ciepła – Pompy ciepła*. PKN.

Polski Komitet Normalizacyjny. (2017b). PN-EN 378-1:2017-03 *Układy chłodnicze i pompy ciepła – Wymagania bezpieczeństwa i ochrony środowiska – Część 1: Wymagania podstawowe, definicje, klasyfikacja i kryteria doboru*. PKN.

Polski Komitet Normalizacyjny. (2019). PN-EN IEC 60335-2-40:2019-02 *Bezpieczeństwo użytkowania urządzeń elektrycznych do użytku domowego i podobnego – Część 2-40: Wymagania szczegółowe dotyczące elektrycznych pomp ciepła, klimatyzatorów i osuszaczy powietrza*. PKN.

Siergiejuk, J., & Gajewski, A. (2012). Wybór źródła zasilania pomiędzy kotłownią na biopaliwo a pompą cie-

pła dla obiektów w zabudowie szeregowej. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 3(2), 95-102.

Stokowiec, K., Berezowska-Kominek, P. (2025). Odzysk ciepła ze ścieków – przegląd literatury. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 1(9), 24-30. <https://doi.org/10.15199/17.2025.9.4>

Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. (2015). *Dziennik Ustaw*, 2015, poz. 478. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20150000478>

Wciślik, S. (2025) Materiały dydaktyczne do przedmiotu Ogrzewnictwo z elementami OZE opracowane w ramach realizacji Projektu „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki, FERS.01.05-IP.08-0234/23, Kielce, 2025 <https://dkpsk.tu.kielce.pl/wp-content/materialy-dydaktyczne/Ogrzewnictwo%20z%20elementami%20OZE.pdf> (Dostęp z 23.02.2026)

Wciślik, S., & Kotrys-Działak, D. (2021). Thermal building upgrade with off-grid PV system: a Polish case. *Energy Efficiency*, 14(7). <https://doi.org/10.1007/s12053-021-09980-x>

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*.

Alezio M R290

pompa ciepła powietrze/woda



ZAPISZ SIĘ
NA SZKOLENIA

DEDIETRICH.PL/SZKOLENIA

ZOSTAŃ AUTORYZOWANYM INSTALATOREM kotłów i pomp ciepła

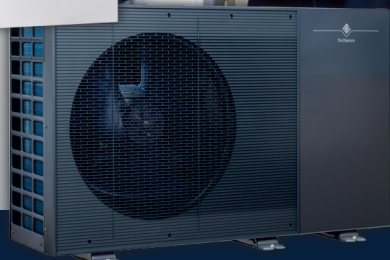
Dołącz do **Klubu Złotego Instalatora** i otrzymaj premie:

- za montaż urządzenia
- za pierwsze uruchomienie urządzenia
- za promocję sprzedaży

Korzystaj z wyjątkowych promocji!

Zbieraj punkty KZI i wykorzystaj je na:

- wyjazd na Szkolenie Pod Palmami KZI
- wymianę na urządzenia BDR Thermea
- przelew pieniężny na kartę Mastercard



www.dedietrich.pl

De Dietrich



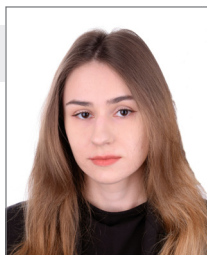
Analiza efektywności odzysku ciepła w zdecentralizowanym systemie wentylacji fasadowej z zastosowaniem materiałów zmienno fazowych (PCM)

Analysis of heat recovery efficiency in a decentralised façade ventilation system using phase change materials (PCM)



Dr inż. Beata Galiszewska

ORCID ID: [0000-0001-6384-994X](https://orcid.org/0000-0001-6384-994X)
Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska
bgaliszewska@tu.kielce.pl



Inż. Kinga Kujawska

Wydział Inżynierii Środowiska,
Geodezji i Energetyki Odnawialnej
Politechnika Świętokrzyska

Słowa kluczowe: decentralna wentylacja, wentylacja fasadowa, naprzemienny nawiew/wywiew, odzysk ciepła, PCM

Streszczenie

Wprowadzenie. Aktualne wymagania dotyczące energooszczędności budynków, powodują konieczność ich wysokiego uszczelniania. W wyniku tego, obiekty nie są w stanie utrzymać odpowiedniej wymiany powietrza za pomocą wentylacji naturalnej. Wówczas należy zastosować instalację wentylacji mechanicznej, która zapewni wymuszony przepływ powietrza. W przypadku budynków istniejących, często niemożliwe jest zastosowanie rozbudowanej instalacji wentylacji centralnej. W takiej sytuacji, alternatywnym rozwiązaniem jest wykorzystanie wentylacji zdecentralizowanej o przemiennym nawiewie i wywiewie. Dodatkowo zastosowanie odzysku ciepła przyczynia się do ograniczenia strat ciepła oraz zwiększenia sprawności energetycznej. W rezultacie, urządzenia zdecentralizowane stanowią obiecujący kierunek rozwoju w obszarze wentylacji.

Cel. Celem opracowania jest analiza efektywności odzysku ciepła wymienników wypełnionych materiałem zmienno fazowym PCM (Phase Change Material), umieszczonych w zdecentralizowanym urządzeniu fasadowym.

Metody. Poddano jednorurowe zdecentralizowane urządzenie wentylacyjne do naprzemiennego nawiewu i wywiewu, realizowanego przez wentylator rewersyjny. Urządzenie wyposażone jest w aluminiowy wymiennik do odzysku ciepła składający się z 313 cylindrów wypełnionych materiałem zmienno fazowym PCM. Badano trzy warianty wypełnienia (wymiennik wypełniony wodą, olejem kokosowym i olejem jojoba). Badania wykonano dla długości cyklu 1 min. Analizę przeprowadzono w warunkach rzeczywistych w zakresach temperatury zewnętrznej od 0 do -10°C, przy temperaturze wewnętrznej około 20°C.

Wnioski. Wyniki badań wykazały, że najwyższą efektywnością odzysku ciepła charakteryzuje się wymiennik wypełniony olejem jojoba, który osiągnął sprawność urządzenia równą 68,5% przy temperaturze zewnętrznej 0°C oraz 67,67% przy temperaturze zewnętrznej -10°C. Najniższą efektywność odzysku ciepła uzyskano dla wymiennika wypełnionego wodą, dla którego odnotowano sprawność urządzenia równą 66,54% przy temperaturze zewnętrznej 0°C oraz 65,46% przy temperaturze zewnętrznej -10°C. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość efektywnego wykorzystania materiałów zmienno fazowych w systemach wentylacji zdecentralizowanej.

Keywords: decentralized ventilation, façade ventilation, alternative supply/exhaust airflow, heat recovery, PCM

Abstract

Introduction. Current energy efficiency requirements for buildings necessitate high levels of airtightness. As a result, buildings are unable to maintain adequate air exchange through natural ventilation. In such cases, a mechanical ventilation system must be installed to ensure forced air flow. In existing buildings, it is often impossible to install an extensive central ventilation system. In such situations, an alternative solution is to use decentralised ventilation with alternating supply and exhaust. The additional use of heat recovery contributes to reducing heat loss and increasing energy efficiency. As a result, decentralised devices represent a promising direction for development in the field of ventilation.

Aim. The purpose of the study is to analyse the heat efficiency of heat exchangers filled with phase change materials (PCM) placed in decentralised ventilation unit.

Methods. The decentralised single-duct ventilation unit for alternating exhaust and supply has been analysed. The alternate flow was caused by reversible fan. The unit is equipped with aluminium heat exchanger composed of 313 cylinders filled with Phase Change Material (PCM). Three variants of filling were studied (heat exchanger filled with water, coconut oil and jojoba oil). The tests were performed for a cycle length of 1 minute. Analysis was conducted under real conditions with the outdoor temperature ranging from 0 to -10°C, and the indoor temperature of approximately 20°C.

Conclusions. The test results showed that the highest heat recovery efficiency was achieved by the exchanger filled with jojoba oil, which reached a device efficiency of 68,5% at an external temperature of 0°C and 67,67% at an external temperature of -10°C. The lowest heat recovery efficiency was obtained for the exchanger filled with water, which achieved a device efficiency of 66,54% at an external temperature of 0°C and 65,46% at an external temperature of -10°C. The results obtained indicate the possibility of effective use of phase change materials in decentralised ventilation systems.

Wstęp

Ludzie spędzają większość swojego życia wewnątrz budynków (Mannan i Al-Ghamdi, 2021). Z tego powodu niezwykle istotne jest, aby panujące w nich warunki sprzyjały komfortowi i zdrowiu przebywających tam osób. Kluczowe znaczenie ma zapewnienie właściwej wymiany powietrza w pomieszczeniach. Niewystarczająca wentylacja, prowadzi do wzrostu temperatury, wilgotności i stężenia zanieczyszczeń w pomieszczeniu (Wolkoff i in., 2021, Kelley i Gilbert, 2013, Del Ama Gonzalo i in., 2022). W następstwie tego, budynek zostaje narażony na ogólne pogorszenie warunków wewnętrznych oraz rozwój mikroorganizmów tj. wirusy czy bakterie (Kelley i Gilbert, 2013)

Warunki niespełniające wymaganych standardów stanowią zagrożenie dla zdrowia ludzi oraz mają istotny wpływ na jakość życia użytkowników budynku (Wolkoff i in., 2021)

Nieefektywne wentylowanie pomieszczeń, wpływa w negatywny sposób na wydajność uczenia się i pracy (Telejko i in., 2025, Grineski i in., 2019, Marcotte, 2016, 2016b). Obecnie, z uwagi na regulacje prawne oraz wzrastającą świadomość ekologiczną, dąży się do konstruowania budynków wysoce energooszczędnych. Z tego powodu nowo wznoszone budynki posiadają bardzo dobrą izolacyjność oraz szczelną obudowę, aby ograniczyć straty ciepła (Papadopoulos, 2016). Przynosi to znaczne korzyści energetyczne, jednakże ma to również swoje minusy. Szczelnie wykonane budynki nie są w stanie wentylować się naturalnie, w wyniku czego zostaje zaburzony mikroklimat wewnętrzny (Niculita-Hirzel, 2022, Zamytskyi i Yalova, 2025).

Najprostszym i najtańszym sposobem na wymianę powietrza w budynkach jest wentylacja naturalna. Posiada ona jednak wady, ponieważ w dużym stopniu zależy od warunków atmosferycznych, tj.: siły wiatru czy różnicy ciśnienia powietrza zewnętrznego i wewnętrznego. W konsekwencji, wentylacja naturalna nie zawsze zapewnia wymaganą intensywność wymiany powietrza (Sakiyama i in., 2020). Występują również znaczne straty ciepła, ponieważ do budynku trafia nieogrzone powietrze z zewnątrz (Borodinecs i in., 2016). Jednym z najbardziej efektywnych rozwiązań jest zastosowanie instalacji wentylacji mechanicznej (Rashid i in., 2025). System ten opiera się na wymuszonym przepływie powietrza wentylacyjnego, które w odpowiedniej ilości dostarczane jest do poszczególnych pomieszczeń. Należy jednak zaznaczyć, że instalacja taka, pozbawiona dodatkowych elementów przygotowujących powietrze, może powodować znaczne straty energii. Zastosowanie układów odzysku ciepła umożliwi ich istotne ograniczenie poprzez przekazywanie energii cieplnej z powietrza wywiewanego do powietrza nawiewanego (Aridi i in., 2021). Najpopularniejszym rozwiązaniem, szczególnie w nowych budynkach jest centralna wentylacja mechaniczna. Niestety zastosowanie tego systemu nie jest zawsze możliwe, gdyż wymaga znaczącej wolnej przestrzeni do umieszczenia centrali oraz rozprowadzenia kanałów wentylacyjnych w całym budynku. Jest to szczególnie utrudnione w przypadku starszych obiektów poddanych termomodernizacji, charakteryzujących się zazwyczaj ograniczoną powierzchnią (Hamburg i in., 2025).

Alternatywnym rozwiązaniem jest zastosowanie syste-

mu wentylacji zdecentralizowanej, polegającej na naprzemiennym nawiewie i wywiewie powietrza. Nie wymaga ona dużej wolnej przestrzeni, ponieważ urządzenia wentylacyjne są montowane w fasadzie budynku. Składają się one z kompaktowych filtrów powietrza, wentylatorów i wymienników do odzysku ciepła (Kim i in., 2024, Zender-Świercz i in., 2022b, Davidsson i in., 2022). Mogą występować jako pojedyncza jednostka, ale bardziej wskazane jest montowanie ich w parach, po przeciwnych stronach pomieszczenia (Koper, 2024, Pekdogan i in., 2020). W czasie, gdy jedno z urządzeń pracuje w cyklu nawiewu, drugie usuwa zużyte powietrze z pomieszczenia. Zmiana cykli następuje po określonym czasie i jest możliwa dzięki zastosowaniu wentylatorów rewersyjnych lub układu przepustnic, które otwierają się i zamykają w odpowiedniej konfiguracji (Zender-Świercz i in., 2022). Urządzenia zdecentralizowane charakteryzują się małym zużyciem energii do napędu wentylatorów (Zender-Świercz, 2024, Amanowicz i in., 2023), ponieważ powietrze wentylacyjne transportowane jest najkrótszą i najprostszą drogą do pomieszczenia (Świercz, 2024) (Romaniec i in., 2023, Kim i in., 2024). Badania dotyczące kształtowania mikroklimatu w pomieszczeniach wyposażonych w urządzenie zdecentralizowane (Zender-Świercz, 2021) wykazały poprawę warunków wewnętrznych. Badania i symulacja CFD dowiodły, że praca urządzenia pozwala na spełnienie wymagań komfortu cieplnego i oczyszczenia powietrza z zanieczyszczeń, bez wychłodzenia pomieszczenia (Zender-Świercz, 2020).

Najpowszechniejszym sposobem odzysku ciepła w systemach wentylacji zdecentralizowanej jest zastosowanie wymiennika w postaci bloku ceramicznego. Jego zadaniem jest akumulowanie ciepła jawnego, odebranego z powietrza wywiewanego i następnie oddawanie ciepła do powietrza nawiewanego po zmianie cyklu (Pekdogan i in., 2020).

Obecnie, coraz więcej uwagi skupia się na rozwiązaniu polegającym na wypełnieniu wymiennika materiałem zmiennofazowym (PCM), tworząc system wentylacji zdecentralizowanej z odzyskiem ciepła jawnego i utajonego (Amanowicz i in., 2023). Zasada działania materiałów zmiennofazowych polega na naprzemiennym akumulowaniu i oddawaniu ciepła poprzez zmianę stanu skupienia (Galiszewska i Zender-Świercz, 2023a). Badania dotyczące oceny efektywności odzysku ciepła w zdecentralizowanej jednostce wentylacyjnej, wyposażonej w wymiennik wypełniony materiałami zmiennofazowymi wykazały dużą skuteczność takiego rozwiązania (Galiszewska i Zender-Świercz, 2023a). W warunkach laboratoryjnych poddano badaniom trzy wielkości wymiennika – o średnicy cylindrów 10, 25 i 40 mm i wypełniano je materiałami zmiennofazowymi tj.: woda, olej kokosowy i olej jojoba. Wykazano, że najlepszą efektywnością odzysku ciepła charakteryzuje się wymiennik o najmniejszej średnicy cylindrów (10 mm), pracujący w najkrótszym cyklu (1 min). W takiej konfiguracji, najwyższą sprawność odzysku ciepła osiągnął olej jojoba.

Celem badań przedstawionych w niniejszym artykule była analiza efektywności odzysku ciepła w warunkach rzeczywistych w zdecentralizowanym urządzeniu fasadowym przy zastosowaniu różnych materiałów zmiennofazowych jako wypełnienie wymiennika. Aktualnie dostęp-



Rysunek 1. Zdecentralizowane urządzenie fasadowe. Źródło: zasoby własne
Figure 1. Decentralised facade unit. Source: authors' own study



Rysunek 2. Wymiennik do odzysku ciepła. Źródło: zasoby własne
Figure 2. Heat exchanger. Source: authors' own study

ne badania nad urządzeniami zdecentralizowanymi są niewystarczające i skupiają się głównie na aspekcie jakości powietrza. Badania dotyczące odzysku ciepła koncentrują się przede wszystkim na wymiennikach ceramicznych, podczas gdy analiza rozwiązań wykorzystujących materiały zmiennofazowe była prowadzona w warunkach laboratoryjnych.

Metoda badań

Badanie w warunkach rzeczywistych zostało przeprowadzone w Laboratorium Mikroklimatu MIBIOL Politechniki Świętokrzyskiej w pomieszczeniu o wymiarach wewnętrznych wynoszących 3,2 m długości, 2,97 m szerokości i 2,9 m wysokości. Badaniami objęte było jedno-rurowe zdecentralizowane urządzenie wentylacyjne do naprzemiennego nawiewu i wywiewu (Rysunek 1). Jed-



Rysunek 3. Rejestrator ALMEMO 2890-9. Źródło: zasoby własne
Figure 3. ALMEMO 2890-9 recorder. Source: authors' own study

nostka wyposażona jest w wentylator rewersyjny zmieniający kierunek przepływu powietrza w zależności od cyklu. Czas trwania cyklu jest regulowany za pomocą automatyki. Funkcję czepni i wyrzutni pełni kratka, która umiejscowiona jest na ścianie zewnętrznej. Urządzenie posiada skrzynkę, w której znajduje się wymiennik do odzysku ciepła. Nawiew i wywiew powietrza realizowany jest przez końcowy element w postaci kratki, znajdującej się w pomieszczeniu 1 m ponad podłogą. Urządzenie nie stanowi rzeczywistej instalacji wentylacyjnej i służy jedynie do oceny jego pracy.

Wykorzystano wymiennik zbudowany z 313 aluminiowych rurek o średnicy zewnętrznej 10 mm, grubości ścianki rurki 1 mm, średnicy wewnętrznej 8 mm oraz wysokości 300 mm (Rysunek 2). Sumaryczna objętość cylindrów wynosi 4,72 dm³, a powierzchnia wymiany ciepła wynosi 2,95 m².

Badania przeprowadzono w okresie zimowym. Pomiary temperatury powietrza wykonywano przy pomocy sześciu termopar typu K i dwóch czujników rezystancyjnych. Jeden z czujników rezystancyjnych umieszczono po stronie środowiska zewnętrznego (M00), a drugi w pomieszczeniu, po stronie środowiska wewnętrznego (M08). Trzy termopary typu K umieszczono bezpośrednio przed wymiennikiem do odzysku ciepła na wysokościach 4 cm, 12 cm, 24 cm ponad dnem kanału wentylacyjnego i oznaczono je odpowiednio jako M01, M02, M03. Kolejne trzy termopary umieszczono bezpośrednio za wymiennikiem do odzysku ciepła, na tych samych wysokościach w kanale (4 cm, 12 cm, 24 cm) i oznaczono je kolejno jako M04, M05, M06. Dane pomiarowe rejestrowano za pomocą rejestratora ALMEMO 2890-9 producenta Ahlborn (Rysunek 3). Pomiary prowadzono z krokiem czasowym co 5 sekund. Zgromadzone dane wykorzystano do obliczenia efektywności odzysku ciepła przez urządzenie zdecentralizowane.

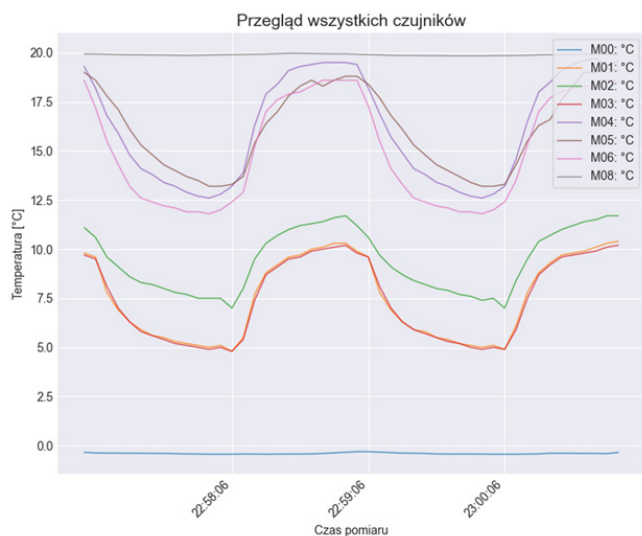
Analizie poddano urządzenie fasadowe pracujące w cyklach 1-minutowych dla trzech różnych wariantów wypełnienia wymiennika do odzysku ciepła materiałem zmiennofazowym:

- wymiennik wypełniony wodą,
- wymiennik wypełniony olejem kokosowym,
- wymiennik wypełniony olejem jojoba.

Wybór użytych materiałów zmiennofazowych został dokonany na podstawie ich właściwości termofizycznych,

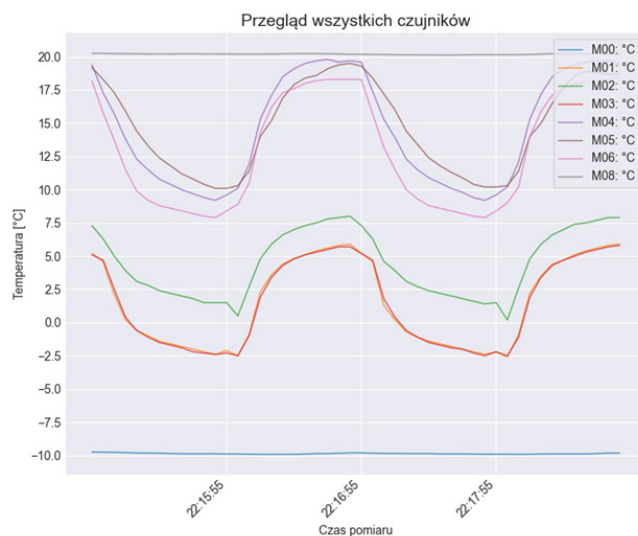
Tabela 1. Właściwości termofizyczne wybranych materiałów zmiennofazowych (Galiszewska, B., & Zender-Świercz, E., 2023a)
Table 1. Thermophysical properties of selected phase change materials (Galiszewska, B., & Zender-Świercz, E., 2023a)

Materiał zmiennofazowy	Ciepło właściwe, J/gK	Ciepło topnienia, J/g	Ciepło krzepnięcia, J/g	Temperatura topnienia, °C	Pojemność cieplna, J/K
Olej kokosowy	1,67	103,02	86,68	25	0,0156
Olej jojoba	10,81	130,7	132,6	14,7	0,1046
Woda	19,88	330,4	258,9	0,3	0,260



Rysunek 4. Przebieg zmian temperatury wyznaczony przez termopary i czujniki M00–M08 przy wypełnieniu wymiennika wodą i ΔT równej 20K. Źródło: zasoby własne

Figure 4. Change in temperature in measuring points marked M00–M08, when heat exchanger filled with water was used at ΔT equal to 20K. Source: authors' own study



Rysunek 5. Przebieg zmian temperatury wyznaczony przez termopary i czujniki M00–M08 przy wypełnieniu wymiennika wodą i ΔT równej 30K. Źródło: zasoby własne

Figure 5. Change in temperature in measuring points marked M00–M08, when heat exchanger filled with water was used at ΔT equal to 30K. Source: authors' own study

które przedstawiono w Tabeli 1.

Sprawność urządzenia określono na podstawie sprawności temperaturowej odzysku ciepła, przy pomocy wzoru:

$$\eta_{urządzenia} = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} \times 100, \quad \%$$

gdzie:

- t_1 – średnia temperatura powietrza zewnętrznego danego cyklu (czujnik M00), °C
- t_2 – średnia temperatura powietrza nawiewanego dla danego cyklu (średnia temperatura z termopar M04, M05, M06), °C
- t_3 – średnia temperatura powietrza wewnętrznego dla danego cyklu (czujnik M08), °C

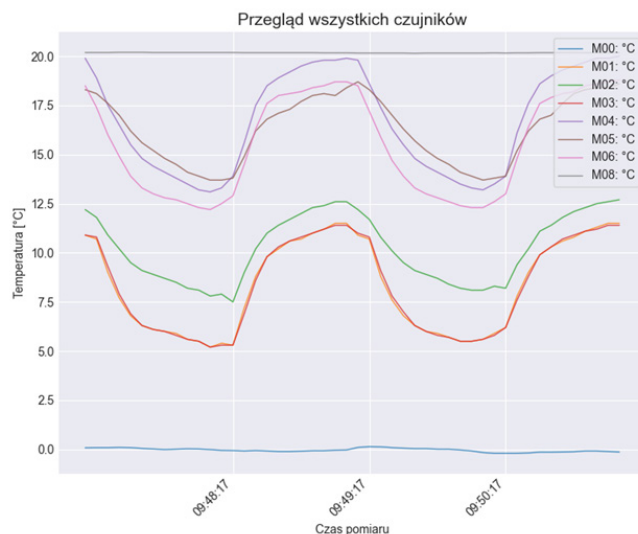
Sprawność wymiennika określono na podstawie sprawności temperaturowej odzysku ciepła, przy pomocy wzoru:

$$\eta_{wymiennika} = \frac{t_2 - t_4}{t_3 - t_4} \times 100, \quad \%$$

gdzie:

- t_2 – średnia temperatura powietrza nawiewanego dla danego cyklu (średnia temperatura z termopar M04, M05, M06), °C
- t_3 – średnia temperatura powietrza wewnętrznego dla danego cyklu (czujnik M08), °C
- t_4 – średnia temperatura powietrza przed wymiennikiem dla danego cyklu (średnia temperatura z termopar M01, M02, M03), °C

Obliczenia wykonano dla ustabilizowanych cykli nawiewu i wywiewu, pomijając pierwsze 30 sekund pomiarów z uwagi na bezwładność cieplną czujników.



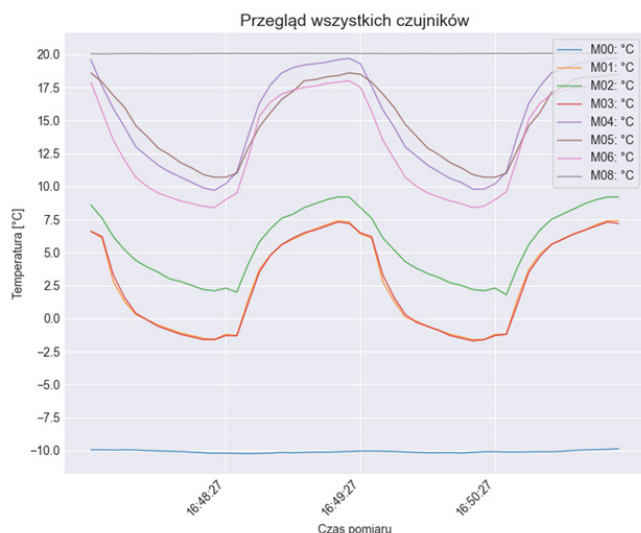
Rysunek 6. Przebieg zmian temperatury wyznaczony przez termopary i czujniki M00–M08 przy wypełnieniu wymiennika olejem kokosowym i ΔT równej 20K. Źródło: zasoby własne

Figure 6. Change in temperature in measuring points marked M00–M08, when heat exchanger filled with coconut oil was used at ΔT equal to 20K. Source: authors' own study

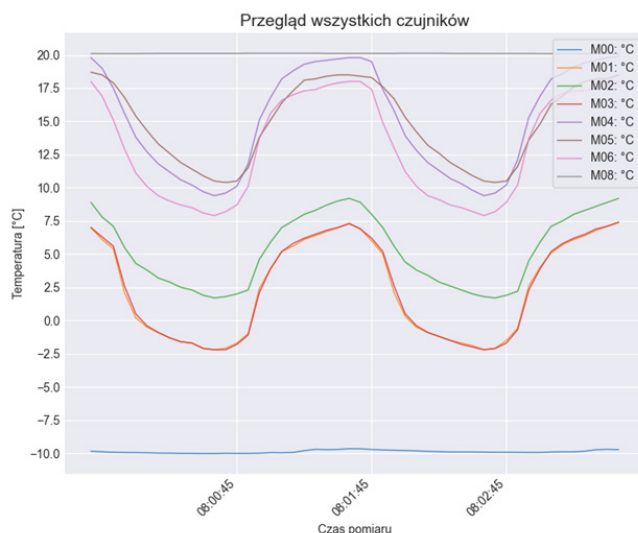
Wyniki i analiza

Przebieg zmian temperatury

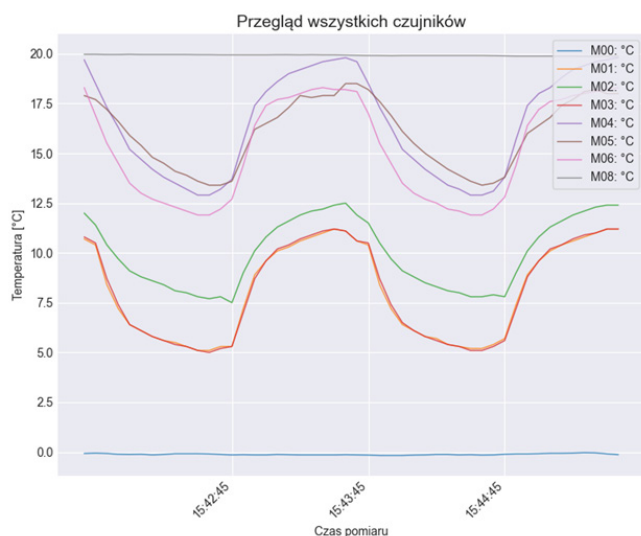
Rysunki 4–9 przedstawiają przebieg zmian temperatury powietrza zmierzonej przez termopary i czujniki rezystancyjne M00–M08 dla wybranych dwóch ustabilizowanych cykli nawiewu i wywiewu w zależności od zastosowanego materiału zmiennofazowego i różnicy temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego.



Rysunek 7. Przebieg zmian temperatury wyznaczony przez termopary i czujniki M00–M08 przy wypełnieniu wymiennika olejem kokosowym i ΔT równej 30K. Źródło: zasoby własne
Figure 7. Change in temperature in measuring points marked M00–M08, when heat exchanger filled with coconut oil was used at ΔT equal to 30K. Source: authors' own study



Rysunek 9. Przebieg zmian temperatury wyznaczony przez termopary i czujniki M00–M08 przy wypełnieniu wymiennika olejem jojoba i ΔT równej 30K. Źródło: zasoby własne
Figure 9. Change in temperature in measuring points marked M00–M08, when heat exchanger filled with jojoba oil was used at ΔT equal to 30K. Source: authors' own study



Rysunek 8. Przebieg zmian temperatury wyznaczony przez termopary i czujniki M00–M08 przy wypełnieniu wymiennika olejem jojoba i ΔT równej 20K
Figure 8. Change in temperature in measuring points marked M00–M08, when heat exchanger filled with jojoba oil was used at ΔT equal to 20K. Source: authors' own study

Przebieg zmian temperatury powietrza przedstawiony na Rysunkach 4–9 dla termopar umieszczonych przed i za wymiennikiem do odzysku ciepła ma charakter sinusoidalny dla wszystkich analizowanych wariantów. Podczas cykli wywiewu, odnotowano wzrost temperatury powietrza w kanale wentylacyjnym, co ma związek z ogrzewaniem się materiału zmiennofazowego PCM od usuwanego powietrza. Z kolei, podczas cykli nawiewu zaobserwowano spadek temperatury w kanale, spowodowany przekazywaniem ciepła zmagazynowanego w wymienniku ciepła powietrzu nawiewanemu.

Zaobserwowano, że przebieg zmian temperatury powietrza przed wymiennikiem, wyznaczony przez termopary M01 i M03 (umieszczone odpowiednio na wysokościach 4 cm i 24 cm nad dnem kanału) jest niemal identyczny w każdym z analizowanych przypadków. Jednocześnie

linia wyznaczona przez termoparę M02 umieszczoną w centralnej części kanału (12 cm nad dnem), przebiega powyżej nich i osiąga wyższe wartości temperatury.

W przypadku rozkładu temperatury za wymiennikiem do odzysku ciepła, linie odpowiadające poszczególnym termoparom znajdują się na różnych poziomach, co świadczy o większym zróżnicowaniu temperatury w przekroju kanału.

W Tabeli 2 przedstawiono średnie wartości temperatury powietrza przed wymiennikiem (termopary M01, M02, M03) i za wymiennikiem (termopary M04, M05, M06) w czasie analizowanych cykli przedstawionych na Rysunek 4–9.

Średnia temperatura powietrza przed wymiennikiem, wyznaczona za pomocą termopar M01, M02, M03 dla analizowanych cykli nawiewu i wywiewu (Rysunek 4–9) wyraźnie spada przy temperaturze zewnętrznej -10°C w porównaniu z wartościami uzyskanymi przy temperaturze zewnętrznej 0°C dla wszystkich badanych substancji zmiennofazowych. Przy temperaturze zewnętrznej 0°C oraz -10°C najwyższe wartości temperatury powietrza za wymiennikiem (termopary M04, M05, M06) uzyskano dla oleju kokosowego, co świadczy o jego dużej zdolności do magazynowania ciepła. Z kolei najniższe wartości temperatury powietrza w kanale zarówno dla różnicy wartości temperatury 20K, jak i 30K, odnotowano w przypadku wody.

Efektywność odzysku ciepła

Zgromadzone dane pomiarowe pozwoliły określić efektywność odzysku ciepła dla trzech wariantów wypełnienia wymiennika materiałem zmiennofazowym. W Tabeli 3 przedstawiono ilość ustabilizowanych cykli nawiewu i wywiewu dla których przeprowadzono dalszą analizę.

Na podstawie wyników przedstawionych w Tabeli 4 można zauważyć, że najwyższe sprawności urządzenia otrzymano dla oleju jojoba w obu wariantach różnicy temperatur. Nieco niższe sprawności otrzymano dla oleju kokosowego, a najniższe dla wody. Analogicznie, najwyższą

Tabela 2. Porównanie średniej temperatury powietrza przed i za wymiennikiem do odzysku ciepła w zależności od zastosowanego materiału zmiennofazowego PCM i temperatury zewnętrznej. Źródło: zasoby własne

Table 2. Comparison of the average air temperature before and after the heat recovery exchanger depending on the applied phase change material (PCM) and the outdoor temperature. Source: authors' own study

Różnica temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego	Woda		Olej kokosowy		Olej jojoba	
	Przed wymiennikiem	Za wymiennikiem	Przed wymiennikiem	Za wymiennikiem	Przed wymiennikiem	Za wymiennikiem
$\Delta T = 20K$	6,11	13,02	6,59	13,55	6,30	13,24
$\Delta T = 30K$	-0,67	9,8	0,09	10,37	-0,25	10,3

Tabela 3. Ilość cykli nawiewu i wywiewu zrealizowanych w analizie. Źródło: zasoby własne

Table 3. Number of supply and exhaust cycles analyzed. Source: authors' own study

Różnica temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego	Woda	Olej kokosowy	Olej jojoba
$\Delta T = 20 K$	359	378	277
$\Delta T = 30 K$	25	18	199

Tabela 4. Porównanie otrzymanych średnich wartości sprawności urządzenia i wymiennika w zależności od zastosowanego materiału zmiennofazowego i różnicy temperatur. Źródło: zasoby własne

Table 4. Comparison of the obtained average efficiency values of the device and the heat exchanger depending on the applied phase change material and the temperature difference. Source: authors' own study

Różnica temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego	Woda		Olej kokosowy		Olej jojoba	
	Sprawność urządzenia	Sprawność wymiennika	Sprawność urządzenia	Sprawność wymiennika	Sprawność urządzenia	Sprawność wymiennika
	%	%	%	%	%	%
$\Delta T = 20K$	66,54	50,48	67,50	51,09	68,50	51,59
$\Delta T = 30K$	65,46	50,20	67,36	51,39	67,67	51,85

sprawność wymiennika otrzymano dla oleju jojoba, a najniższą dla wody. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku oleju kokosowego oraz oleju jojoba przy większej różnicy temperatury powietrza ($\Delta T = 30K$) uzyskano wyższe wartości sprawności wymiennika niż przy $\Delta T = 20K$. Przeprowadzono analizę statystyczną, umożliwiającą identyfikację występujących odchyłań w wynikach. Na Rysunkach 10–13 przedstawiono wykresy pudełkowe ilustrujące rozkład cechy Sprawność urządzenia i Sprawność wymiennika w grupach wyznaczonych przez poziomy czynnika Materiał zmiennofazowy. Na pojedynczym wykresie pudełkowym zobrazowano zakres wartości dolny, kwartył dolny, medianę przedstawioną jako czerwona linia, wartość średnią przedstawioną jako znak „x”, kwartył górny, zakres wartości górny i wartości odstające. Obszar wyznaczony przez różnicę kwartyła dolnego i górnego informuje o zakresie połowy centralnie położonych wyników.

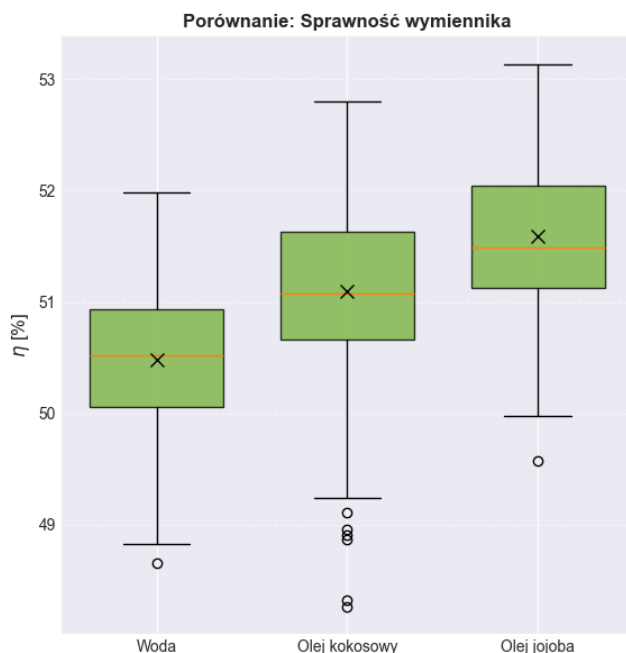
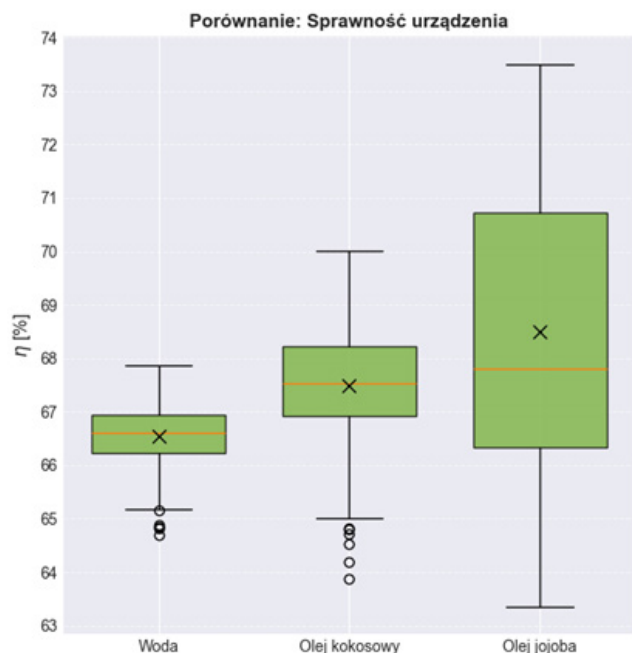
Z wykresów pudełkowych (Rysunek 10 i 11) wynika, że wartość cechy Sprawność urządzenia zależy od poziomów czynnika Materiał zmiennofazowy. Największe zróżnicowanie otrzymanych wartości otrzymano dla oleju jojoba zarówno w przypadku różnicy ΔT równej 20K, jak i 30K. Bardziej spójne dane otrzymano dla wody i oleju kokosowego. Przy różnicy temperatur $\Delta T = 30K$ zaobserwowano znacznie odstające wartości poniżej dolnego zakresu wartości dla oleju kokosowego i oleju jojoba. Tak zróżnicowane wyniki mogły w istotnym stopniu wpłynąć na uzyskane wartości sprawności urządzenia, przedstawione w Tabeli 4.

Z wykresów pudełkowych (Rysunek 12 i 13) wynika, że wartość cechy Sprawność wymiennika zależy od poziomów czynnika Materiał zmiennofazowy. W przypadku różnicy temperatur ΔT równej 30K dla oleju jojoba zaob-

serwowano znaczną ilość wartości odstających poniżej zakresu dolnego i powyżej zakresu górnego. Dodatkowo, górny zakres wartości jest znacznie dłuższy od dolnego, co sugeruje asymetrię układu. Może to przekładać się na wartości sprawności wymiennika uzyskane w Tab. 4.

Dyskusja

Podobne badania na temat efektywności odzysku ciepła przy zastosowaniu materiałów zmiennofazowych w systemach wentylacji zdecentralizowanej zostały przeprowadzone przez Galiszewska B. i Zender-Świercz E. (Galiszewska i Zender-Świercz, 2023, 2023a). Eksperyment przeprowadzono z użyciem komory klimatycznej symulującej warunki wewnętrzne i zewnętrzne. Obiektem badań były aluminiowe wymienniki w postaci cylindrów o średnicach 10, 25 i 40 mm, wypełnionych materiałami zmiennofazowymi tj.: woda, olej kokosowy, olej jojoba. Badano ich efektywność w czasie cykli o długości 1, 2, 3, 5 min w trzech wariantach temperatury zewnętrznej (0, -10, -20°C) i przy stałej temperaturze wewnętrznej 20°C. Badania wykazały, że najwyższą efektywnością odzysku ciepła w cyklach 1 minutowych charakteryzuje się olej jojoba, który przy temperaturze zewnętrznej równej 0°C osiągnął sprawność urządzenia równą 76,29%, a przy temperaturze -10°C wynosiła ona 75,72%. Olej kokosowy osiągnął sprawność urządzenia na poziomie 75,10% przy temperaturze zewnętrznej 0°C oraz 70,56% przy -10°C. W przypadku wody sprawność wyniosła 72,70% dla 0°C oraz 71,30% dla -10°C. Podobne badania przeprowadzone przez Pekdogan T i inni wykazały, że zdecentralizowane systemy wentylacji z ceramicznym wymiennikiem ciepła stanowią skuteczną alternatywę dla systemów centralnych, szczególnie w zakresie poprawy jakości powie-

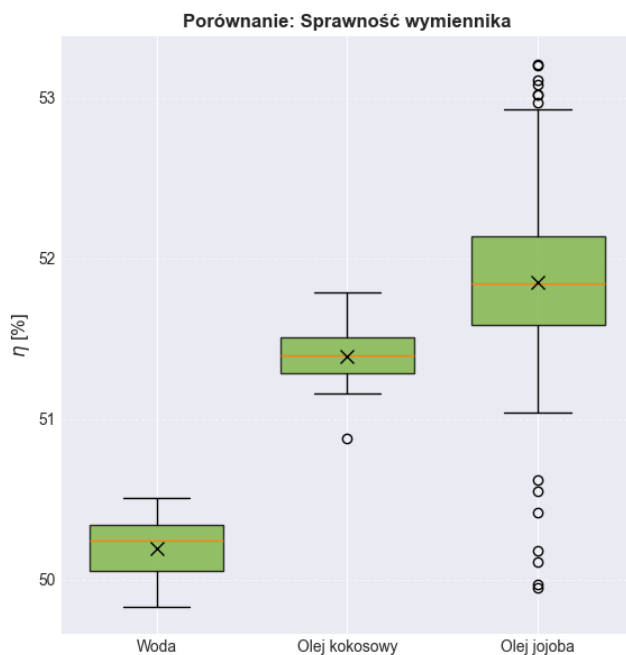
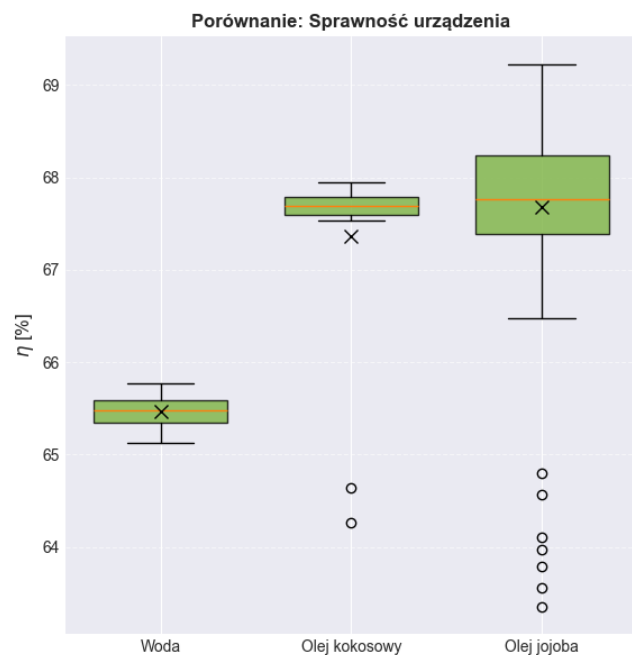


Rysunek 10. Wykresy pudełkowe ilustrujące rozkład cechy Sprawność urządzenia w grupach wyznaczonych przez poziomy czynnika Materiał zmiennofazowy przy ΔT równej 20K. Źródło: zasoby własne

Figure 10. Box plots illustrating the Device efficiency characteristic in groups determined by the levels of Phase change material at ΔT equal to 20K. Source: authors' own study

Rysunek 12. Wykresy pudełkowe ilustrujące rozkład cechy Sprawność wymiennika w grupach wyznaczonych przez poziomy czynnika Materiał zmiennofazowy przy ΔT równej 20K. Źródło: zasoby własne

Figure 12. Box plots illustrating the Heat exchanger efficiency characteristic in groups determined by the levels of Phase change material at ΔT equal to 20K. Source: authors' own study



Rysunek 11. Wykresy pudełkowe ilustrujące rozkład cechy Sprawność urządzenia w grupach wyznaczonych przez poziomy czynnika Materiał zmiennofazowy przy ΔT równej 30K. Źródło: zasoby własne

Figure 11. Box plots illustrating the Device efficiency characteristic in groups determined by the levels of Phase change material at ΔT equal to 30K. Source: authors' own study

Rysunek 13. Wykresy pudełkowe ilustrujące rozkład cechy Sprawność wymiennika w grupach wyznaczonych przez poziomy czynnika Materiał zmiennofazowy przy ΔT równej 30K. Źródło: zasoby własne

Figure 13. Box plots illustrating the Heat exchanger efficiency characteristic in groups determined by the levels of Phase change material at ΔT equal to 30K. Source: authors' own study

trza wewnętrznego przy jednoczesnym ograniczeniu strat energii. Kluczowym wnioskiem jest stwierdzenie, że optymalną wydajność termiczną oraz najniższe zużycie energii uzyskuje się przy zastosowaniu 2-minutowego cyklu pracy (naprzemiennego nawiewu i wywiewu). W takich warunkach system osiągnął wysoką sprawność odzysku ciepła, wynoszącą 82% dla trybu nawiewu oraz 67% dla trybu wywiewu w symulowanych warunkach zimowych. Analiza rozkładu temperatury wewnątrz ceramicznego bloku potwierdziła występowanie wyraźnego gradientu termicznego, co jest bezpośrednio związane z procesem jawnego akumulowania energii (Pekdogan i in., 2020). Otrzymane wyniki są porównywalne z wynikami badań przedstawionymi w niniejszym artykule. Różnica wartości wyniku z oddziaływania czynników zewnętrznych na pracę urządzenia, które nie były uwzględnione w warunkach laboratoryjnych.

Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono wyniki analizy efektywności odzysku ciepła dla zdecentralizowanego systemu wentylacji do naprzemiennego nawiewu i wywiewu pracującego w warunkach rzeczywistych. Zastosowano aluminiowe wymienniki cylindryczne, wypełnione materiałami zmiennofazowymi PCM. Długość cyklu wynosiła 1 min. Przeprowadzone badania wykazały, że:

- najwyższe temperatury powietrza w kanale wentylacyjnym przed i za wymiennikiem otrzymano dla oleju kokosowego,
- najniższe temperatury powietrza w kanale wentylacyjnym przed i za wymiennikiem otrzymano dla wody,
- najwyższą sprawność urządzenia otrzymano dla oleju jojoba (68,5% przy ΔT równej 20K i 67,67% przy ΔT równej 30K),
- najniższą sprawność urządzenia otrzymano dla wody (66,54% przy ΔT równej 20K i 65,46% przy ΔT równej 30K),
- najwyższą sprawność wymiennika otrzymano dla oleju jojoba (51,59% przy ΔT równej 20K i 51,85% przy ΔT równej 30K),
- najniższą sprawność wymiennika otrzymano dla wody (50,48% przy ΔT równej 20K i 50,20% przy ΔT równej 30K).

Podsumowując, przeprowadzona analiza wykazała, że zastosowanie materiałów zmiennofazowych (PCM) w zdecentralizowanych systemach wentylacji stanowi efektywny sposób odzysku ciepła, przyczyniając się do ograniczenia strat energii w budynkach. Spośród badanych materiałów najwyższą efektywność odzysku ciepła wykazał olej jojoba. Dalsze badania są niezbędne, aby uwzględnić dodatkowe czynniki wpływające na pracę urządzenia, takie jak ciśnienie powietrza, które wykraczają poza zakres niniejszego artykułu.

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>

- Aridi, R., Faraj, J., Ali, S., El-Rab, M. G., Lemenand, T., & Khaled, M. (2021). Energy recovery in air conditioning Systems: Comprehensive review, classifications, critical analysis, and potential recommendations. *Energies*, 14(18), 5869. <https://doi.org/10.3390/en14185869>
- Borodinecs, A., Nazarova, J., Zajacs, A., Malyshev, A., & Pronin, V. (2016). Specifics of building envelope air leakage problems and airtightness measurements. *MATEC Web of Conferences*, 73, 02020. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167302020>
- 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>
- Del Ama Gonzalo, F., Griffin, M., Laskosky, J., Yost, P., & González-Lezcano, R. A. (2022). Assessment of Indoor Air Quality in Residential Buildings of New England through Actual Data. *Sustainability*, 14(2), 739. <https://doi.org/10.3390/su14020739>
- 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>
- Grineski, S. E., Collins, T. W., & Adkins, D. E. (2019). Hazardous air pollutants are associated with worse performance in reading, math, and science among US primary schoolchildren. *Environmental Research*, 181, 108925. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108925>
- Hamburg, A., Palmiste, Ü., Mikola, A., & Kalamees, T. (2025). Ventilation Strategies for Deep Energy Renovations of High-Rise Apartment Buildings: Energy efficiency and implementation challenges. *Energies*, 18(11), 2785. <https://doi.org/10.3390/en18112785>
- Kelley, S. T., & Gilbert, J. A. (2013). Studying the microbiology of the indoor environment. *Genome Biology*, 14(2), 202. <https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-2-202>
- 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.egyrep.2023.11.050>
- 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>
- 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>
- Marcotte, D. E. (2016). Something in the air? Pollution, allergens and children's cognitive functioning. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2725050>
- Marcotte, D. E. (2016b). Something in the air? Air quality and children's educational outcomes. *Economics of Education Review*, 56, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2016.12.003>
- Niculita-Hirzel, H. (2022). Latest Trends in Pollutant Accumulations at Threatening Levels in Energy-Efficient Residential Buildings with and without Mechanical Ventilation: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3538. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063538>
- Papadopoulos, A. M. (2016). Forty years of regulations on the thermal performance of the building envelope in Europe: Achievements, perspectives and challenges. *Energy and Buildings*, 127, 942–952. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.051>
- 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.jobe.2020.102009>
- Rashid, F. L., Al-Obaidi, M. A., Maimuri, N. M. L. A., Ameen, A., Agyekum, E. B., Chibani, A., & Kezzar, M. (2025). Mechanical Ventilation Strategies in Buildings: A comprehensive review of climate management, indoor air quality, and energy efficiency. *Buildings*, 15(14), 2579. <https://doi.org/10.3390/buildings15142579>
- Romaniec, W., Wrzochal, A., & Świercz, E. Z. -. (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.jobe.2023.108034>
- Sakiyama, N., Carlo, J., Frick, J., & Garrecht, H. (2020). Perspectives of naturally ventilated buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109933. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109933>
- Telejko, M., Zender-Świercz, E. J., Galiszewska, B., & Wojcieszak, R. (2025). COGNITIVE FUNCTIONS OF CHILDREN IN GRADES 5-8 – CASE STUDY. *Structure and Environment*, 17(3), 137–149. <https://doi.org/10.30540/sae-2025-014>
- Wolkoff, P., Azuma, K., & Carrer, P. (2021). Health, work performance, and risk of infection in office-like environments: The role of indoor temperature, air humidity, and ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233, 113709. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113709>
- Zamytskyi, O. V., & Yalova, A. M. (2025). Research of natural ventilation in a thermally modernized building. *Municipal Economy of Cities*, 3(191), 314–320. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-3-191-314-320>
- 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. (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., Telejko, M., Galiszewska, B., & Starzomska, M. (2022b). Assessment of Thermal Comfort in Rooms Equipped with a Decentralised Façade Ventilation Unit. *Energies*, 15(19), 7032. <https://doi.org/10.3390/en15197032>
- 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>
- Zender-Świercz, E. (2024). Heat recovery of decentralized façade units: A case study. *Energy and Buildings*, 315, 114338. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114338>

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

8–9 październik 2026 / Warchały



PÓLSKIE ZRZESZENIE
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
SANITARNYCH
Oddział Białystok

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

Temperature-Controlled Airflow Ventilation in Operating Rooms – inne podejście do kontroli zanieczyszczeń i prewencji zakażeń miejsca operowanego w salach operacyjnych



Dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. PW

Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska

Systemy wentylacji operacyjnej odgrywają istotną rolę w zapobieganiu zakażeniom miejsca operowanego (SSI). Pomimo wieloletniego stosowania systemów laminarnego przepływu (LAF) i wentylacji mieszającej (TMA) należy pamiętać, że istnieje jeszcze jedno rozwiązanie, które może być stosowane w salach operacyjnych. W artykule zaprezentowano zasadę działania, charakterystykę przepływu powietrza, efektywność energetyczną oraz wpływ kliniczny systemu Temperature-controlled Airflow (TcAF), który łączy cechy LAF i TMA, dodatkowo wykorzystując różnice temperatur do wspomaganie kierunku przepływu powietrza. Analizę oparto na przeglądzie literatury, w szczególności art. przedstawionych w bibliografii.

Wprowadzenie

W środowisku sali operacyjnej, gdzie występuje wysokie ryzyko zakażenia, jakość powietrza ma fundamentalne znaczenie. Zakażenia miejsca operowanego (SSI) stanowią jedną z najczęstszych przyczyn powikłań pooperacyjnych, przyczyniając się do zwiększenia śmiertelności, przedłużenia hospitalizacji oraz znacznych kosztów leczenia. W literaturze podkreśla się, że 80–90% mikroorganizmów obecnych w powietrzu sali operacyjnej pochodzi z naskórka i układu oddechowego personelu medycznego. Częsteczki te – tzw. Bacteria-Carrying Particles (BCP) – mają zwykle rozmiar od 0,5 do 20 μm i łatwo osiadają na powierzchniach sterylnych, narzędziach chirurgicznych oraz bezpośrednio w polu operacyjnym.

Zgodnie z wytycznymi WHO, wentylacja stanowi jeden z filarów ochrony mikrobiologicznej w pomieszczeniach zabiegowych. Rosnące wymagania jakościowe oraz zwiększona liczba procedur wysokiego ryzyka (np. endoprotezoplastyki, neurochirurgia, operacje hybrydowe) wskazują na potrzebę rozwoju technologii wentylacyjnych. Z tej przyczyny cały czas trwa poszukiwanie nowych pomysłów i udoskonalanie istniejących systemów wentylacji w salach operacyjnych oraz dążenie do uzyskania jak najlepszych efektów, zarówno pod kątem ochrony pacjenta, jak i komfortu personelu oraz oszczędności energii.

Od lat 60. XX wieku dominowały dwa rozwiązania: turbulentna wentylacja mieszająca (TMA) oraz laminarna

wentylacja pionowa (LAF). Systemy TMA, choć przyjazne finansowo w instalacji i eksploatacji, nie zapewniają równomiernego rozcieńczania powietrza, a ich skuteczność zależy od wysokiej liczby wymian powietrza na godzinę (ACH). Z kolei LAF generuje jednokierunkowy strumień powietrza, który teoretycznie usuwa cząstki z pola operacyjnego. Niemniej jednak, badania wykazały wrażliwość LAF na przeszkody i zakłócenia w postaci ruchu personelu oraz obecności lamp i aparatury.

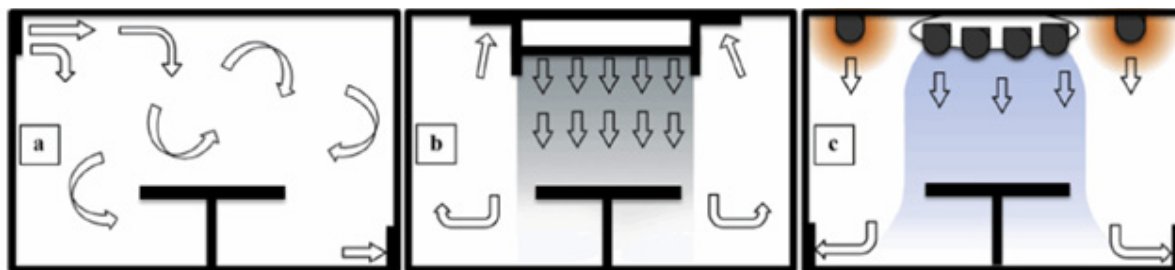
W odpowiedzi na te wyzwania opracowano system Temperature-controlled Airflow (TcAF), który wykorzystuje efekt różnicy temperatury powietrza w poszczególnych strefach sali operacyjnej do wspomaganie naturalnego przepływu powietrza (Hu i in., 2024). Ten system zyskuje na popularności jako kompromis między jakością powietrza a efektywnością energetyczną i komfortem użytkownika, choć jeszcze nie jest zainstalowany w tylu obiektach, aby móc dokonywać pełnych porównań z systemami TMA i LAF.

Zasada działania systemu TcAF

System TcAF (Temperature-controlled Airflow) bazuje na koncepcji podziału sali operacyjnej na dwie strefy: centralną, z bezpośrednim nawiewem chłodniejszego powietrza oraz peryferyjną, gdzie powietrze ma wyższą temperaturę i zapewnia mieszanie. W praktyce, system TcAF składa się z:

- Centralnych nawiewników (UDAF), które nawiewają powietrze o temperaturze niższej o 1–3°C od temperatury otoczenia,
- Obwodowych nawiewników zlokalizowanych w bocznych częściach sufitu lub ścianach, które dostarczają powietrze cieplejsze,
- Systemu kontrolno-regulacyjnego, który umożliwia dostosowanie parametrów nawiewu w czasie rzeczywistym.

Schemat (Rysunek 1.) ilustruje porównanie sposobu działania systemu TcAF w stosunku do konwencjonalnej wentylacji mieszającej (TMA) oraz systemu laminarnego (LAF). W TcAF zimniejsze powietrze z nawiewników centralnych opada grawitacyjnie w kierunku pola operacyjnego, two-



Rysunek 1. Schematyczne rysunki przedstawiające zasady przepływu powietrza w trzech systemach wentylacji: (a) turbulentny mieszający przepływ powietrza; (b) laminarny przepływ powietrza, (c) przepływ powietrza o kontrolowanej temperaturze (Alsved i in., 2017)

rzając strefę ochronną. Jednocześnie cieplejsze powietrze dostarczane obwodowo zapobiega tworzeniu się stref stagnacji i wspiera stabilność przepływu.

Systemy TcAF wyposażone są w czujniki temperatury, wilgotności, obecności personelu oraz systemy zarządzania energią. Dzięki temu możliwe jest automatyczne dopasowanie parametrów przepływu powietrza do bieżących warunków zabiegu. W trybie adaptacyjnym, nawiewniki centralne mogą chwilowo zwiększyć wydajność w przypadku np. otwarcia drzwi lub wejścia dodatkowego personelu.

Skuteczność w kontroli zanieczyszczeń

Wyniki badań CFD

W badaniach numerycznych z wykorzystaniem modelu CFD typu RANS (Reynolds-Averaged Navier–Stokes) oraz modeli śledzenia cząstek (Lagrangian Particle Tracking) analizowano rozkład prędkości, temperatur i stężeń cząstek BCP w salach operacyjnych wyposażonych w systemy TcAF. Wyniki wskazują na stabilny, niemal jednolity strumień opadający w strefie centralnej z minimalnym poziomem turbulencji (Wang i in., 2018). Nawiew chłodniejszego powietrza centralnego w połączeniu z cieplejszym powietrzem obwodowym skutecznie tworzy gradient, który zapobiega recyrkulacji zanieczyszczeń.

Wpływ przeszkód i rozkład przepływów

Obecność przeszkód, takich jak lampy operacyjne, urządzenia obrazujące czy personel, wpływa na strukturę przepływu. W porównaniu z LAF, system TcAF wykazuje znacznie mniejszą podatność na zakłócenia — nawet przy obecności przeszkód nie dochodzi do wtórnej kontaminacji pola operacyjnego. Przepływ powietrza podąża naturalnie w dół, wypłukując zanieczyszczenia, które są natychmiast usuwane przez strategicznie rozmieszczone kratki wyciągowe przy podłodze.

Porównania z TMA i LAF

W badaniach klinicznych oraz laboratoryjnych TcAF zapewniał skuteczność mikrobiologiczną porównywalną z systemami LAF, lecz bez ograniczenia „czystej strefy” do jedynie kilku metrów kwadratowych. Podczas gdy TMA nie spełnia norm $<10 \text{ CFU/m}^3$, a LAF ogranicza się do centralnej strefy operacyjnej, TcAF osiąga te wartości w całej objętości sali, co ma kluczowe znaczenie dla przechowywania narzędzi i implantów w peryferiach.

Wpływ na rozprzestrzenianie się BCP

Zastosowanie TcAF ogranicza migrację cząstek BCP. Dzięki naturalnemu wymuszaniu przepływu przez gradient temperatury system skutecznie kontroluje dyfuzję cząstek i zapobiega ich gromadzeniu się w obszarach martwych. Jest to szczególnie istotne w salach o nieregularnej geometrii i podczas operacji wymagających dużej liczby personelu.

Wpływ na wyniki kliniczne

W retrospektywnej analizie 2000 przypadków (1000 przed i 1000 po wdrożeniu TcAF), zaobserwowano spadek liczby zakażeń SSI o ponad 50%, co przekładało się bezpośrednio na zmniejszenie liczby rehospitalizacji, powikłań pooperacyjnych oraz kosztów leczenia. Dodatkowo, w badaniach prospektywnych wykazano mniejsze stężenia markerów zapalnych u pacjentów operowanych w warunkach TcAF.

Przykłady zastosowań klinicznych

Szpital Regionalny w Amberg (Niemcy)

W Regionalnym Centrum Ortopedycznym w Amberg, Niemcy, system TcAF został zainstalowany w trzech salach operacyjnych przeznaczonych do endoprotezoplastyki (Bulitta et al., 2020). Po instalacji przeprowadzono retrospektywną analizę porównawczą 1000 operacji przeprowadzonych w systemie TMA i 1000 operacji po wdrożeniu TcAF. Odnotowano 56% redukcję zakażeń miejsca operowanego oraz skrócenie średniego czasu hospitalizacji z 11,4 do 9,2 dnia. Zespół operacyjny zgłaszał poprawę komfortu cieplnego i redukcję przeciągów.

Szpital Uniwersytecki w Lund (Szwecja)

W szpitalu uniwersyteckim w Lund przeprowadzono badania porównawcze trzech sal operacyjnych – jednej z systemem TMA, jednej z LAF i jednej z TcAF (Alsved et al., 2017). W trakcie 45 operacji ortopedycznych mierzono poziomy CFU w trzech lokalizacjach: przy ranie, przy stolek narzędziowym i w peryferiach. Jedynie system TcAF zapewnił poziomy $<10 \text{ CFU/m}^3$ we wszystkich lokalizacjach w każdym zabiegu. Zużycie energii przez TcAF było o 28% niższe niż w przypadku LAF.

Szpital prywatny w Holandii – operacje z użyciem ramienia C i obrazowania śródoperacyjnego

W jednym z prywatnych szpitali w Holandii wdrożono TcAF w sali hybrydowej, w której wykonywano operacje naczyniowe z użyciem śródoperacyjnego obrazowania (Hu i in., 2024). Mimo obecności wielu urządzeń generujących ciepło oraz częstych zmian personelu i otwierania drzwi (średnio 25 otwarć na godzinę), TcAF utrzymał stabilny poziom CFU poniżej 5 w całej sali. Personel raportował wysoką jakość środowiska pracy, brak przeciągów oraz brak lokalnych przegrzań w pobliżu lamp.

Wnioski i zalecenia projektowe

System TcAF stanowi kolejne rozwiązanie wentylacyjne do zastosowania w salach operacyjnych, które łączy zalety LAF i TMA. Poprzez zastosowanie różnicy temperatur jako czynnika wspomagającego przepływ, TcAF zapewnia stabilny, opadający strumień powietrza w całej sali operacyjnej. Efektem tego jest utrzymanie wysokiej jakości powietrza i znaczne zmniejszenie ryzyka zakażeń. Rozważając zainstalowanie systemu TcAF należy pamiętać o następujących kwestiach:

- TcAF powinien być preferowanym rozwiązaniem w nowoprojektowanych salach operacyjnych wysokiego ryzyka.
- Należy uwzględnić pełną integrację systemu TcAF z infrastrukturą HVAC oraz systemami zarządzania budynkiem (BMS).
- Kluczowe jest odpowiednie rozmieszczenie nawiewników i wyciągów, a także uwzględnienie gradientu temperatury nie mniejszego niż 1,5°C między strefą centralną a peryferyjną.
- Systemy sterujące powinny automatycznie dostosowywać parametry nawiewu w odpowiedzi na liczbę osób, drzwi otwarte oraz generowane obciążenie cieplne.

Bibliografia

- Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelin, A., Andersson, A. E., Jakobsson, J., Svensson, T., Ramstorp, M., Sadrizadeh, S., Larsson, P., Bohgard, M., Šantl-Temkiv, T., & Löndahl, J. (2017). Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. *Journal of Hospital Infection*, 98(2), 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2017.10.013>
- Wang, C., Holmberg, S., & Sadrizadeh, S. (2018). Numerical study of temperature-controlled airflow in comparison with turbulent mixing and laminar airflow for operating room ventilation. *Building and Environment*, 144, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.010>
- Hu, N., Lans, J., Gram, A., Luscuere, P., & Sadrizadeh, S. (2024). Ventilation performance evaluation of an operating room with temperature-controlled airflow system in contaminant control: A numerical study. *Building and Environment*, 259, 111619. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111619>
- Bulitta, C., Vasiuk, S., Vasylychshyn, Y., Vasyuk, V., Guttenberger, R., & Buhl, S. (2020). Clinical validation and efficacy of a temperature-controlled ventilation system (TcAF) in the OR to reduce surgical site infections. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 6(3), 301–303. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2020-3077>

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki/Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa II” nr projektu NdS-II/SN/0008/2024/01, kwota dofinansowania 775 500,00 zł, całkowita wartość projektu 775 500,00 zł.



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



Możliwości ograniczenia strumienia powietrza wentylującego



Dr inż. Sylwia Szczęśniak

Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Wrocławska

Systemy wentylacyjne i klimatyzacyjne charakteryzują się wysokim zapotrzebowaniem na energię cieplną oraz elektryczną, które znacząco przekracza wartości charakterystyczne dla innych budynków użyteczności publicznej. Jest ona wykorzystywana do realizacji procesów ogrzewania, ochładzania, osuszania i nawilżania powietrza, a także do jego transportu w instalacjach nawiewnych i wywiewnych. W odniesieniu do części cieplnej zużycie to pozostaje w bezpośrednim związku z chwilową mocą wymaganą do pokrycia aktualnych obciążeń cieplnych i wilgotnościowych, wynikających m.in. z charakterystyki cieplnej budynku, oddziaływania wewnętrznych i zewnętrznych źródeł ciepła, chłodu i wilgoci, przyjętej metody automatycznej regulacji i sterowania oraz możliwości systemu determinowanych jego konfiguracją i zastosowanymi wymiennikami ciepła i masy. Zapotrzebowanie związane z transportem powietrza zależy natomiast od chwilowej mocy układu wentylator-silnik, rozumianej jako funkcja aktualnego strumienia objętościowego powietrza, strat ciśnienia towarzyszących jego przepływowi oraz rodzaju i sprawności zastosowanego wentylatora i silnika. Zarówno w przypadku energii cieplnej, jak i elektrycznej całkowite zużycie w danym okresie eksploatacji jest wyznaczone przez wartości mocy chwilowej oraz czas pracy urządzeń. Oznacza to, że im dłuższy czas pracy urządzeń tym większe jego zapotrzebowanie na energię (Hohne i in., 2020; Hyseni i in., 2020; Szczęśniak, 2023).

W pomieszczeniach służby zdrowia, w których wymagane jest utrzymanie nie tylko odpowiednich warunków ciepłno-wilgotnościowych, lecz także warunków higienicznych, w tym niskiego stężenia zanieczyszczeń pyłowych i mikrobiologicznych, układy wentylacyjne i klimatyzacyjne pracują w trybie całodobowym. Skutkuje to bardzo wysokim zapotrzebowaniem na energię oraz znacznymi kosztami eksploatacji systemów wentylacji i klimatyzacji. Skrócenie czasu pracy instalacji

lub ograniczenie chwilowych mocy niezbędnych do transportu powietrza, a więc zmniejszenie strumienia powietrza wentylującego, stanowi jedną z najprostszych metod redukcji zużycia energii elektrycznej, a w konsekwencji kosztów eksploatacyjnych układów wentylacyjnych. Należy przy tym zauważyć, że obniżenie strumienia powietrza wentylującego o połowę powoduje niemal ośmiokrotne zmniejszenie mocy wymaganej do napędu, przy pominięciu zmian sprawności samego wentylatora i silnika. Po uwzględnieniu zmian charakterystyki pracy układu możliwe jest ograniczenie zużycia energii elektrycznej najmniej sześciokrotnie przy redukcji strumienia powietrza o 50% (Szczęśniak, 2023). Ograniczanie strumienia powietrza nawiewanego (tzw. tryb turndown lub setback) stanowi dopuszczalną, a wręcz rekomendowaną metodę poprawy efektywności energetycznej instalacji wentylacyjnych. Warunkiem jej stosowania jest jednak bezwzględne zachowanie bezpieczeństwa higienicznego pomieszczeń oraz stabilności kaskady ciśnień.

W budynkach o standardowych lub niskich wymaganiach dotyczących czystości powietrza rozwiązania tego typu są stosowane powszechnie i na ogół nie stwarzają zagrożeń. W przypadku pomieszczeń czystych, w których konieczne jest utrzymanie odpowiedniej gradacji ciśnień oraz wymaganej czystości pyłowej i mikrobiologicznej, a strumień powietrza wynika często z minimalnej krotności wymian powietrza, jego ograniczenie może być realizowane zazwyczaj jedynie w okresach przerw w użytkowaniu pomieszczeń. Z tego względu możliwość redukcji strumienia powietrza w pomieszczeniach czystych jest istotnie ograniczona a zakres dopuszczalnych działań związanych z redukcją strumienia powietrza, warunki brzegowe determinujące bezpieczeństwo ich stosowania oraz wymagania dotyczące powrotu instalacji do stanu projektowego przed ponownym użytkowaniem pomieszczeń muszą być szczegółowo określone.

Tabela 1. Wytyczne i procedury ograniczania i zwiększania strumienia powietrza wentylującego

Standard / Źródło	Warunki i zakres ograniczania (Turndown)	Procedury czasowe ograniczania	Procedury czasowe zwiększania (Regeneracja)	Kluczowe wymogi techniczne
Charkowska i in., 2018	W klasie S1 dopuszczalne zmniejszenie strumienia nawiewu do minimum 50% wartości nominalnej w przerwach między operacjami.	Nie zaleca się całkowitego wyłączenia systemu w salach operacyjnych.	System musi pracować w trybie nominalnym co najmniej 60 minut przed operacją lub zapewnić 30 wymian powietrza zewnętrznego.	Zakaz odwrócenia kierunku przepływu powietrza; zachowanie nadciśnienia.
DIN 1946-4	Redukcja dozwolona dla Klasy I poza czasem użytkowania. Całkowite wyłączenie dopuszczalne tylko dla Klasy II.	System można wyłączyć dopiero > 30 min po ostatnim sprzątaniu lub do całkowitego usunięcia wilgoci.	Praca nominalna musi być wznowiona z wyprzedzeniem gwarantującym utrzymanie wyników kwalifikacji przed startem czynności medycznych.	Podczas operacji w klasie Ia zakaz podnoszenia temperatury nawiewu (ryzyko niestabilności strugi).
ASHRAE 170	Dozwolone w pomieszczeniach oznaczonych w tabelach jako „Yes” (Unoccupied Turndown).	W wybranych strefach (np. poczekalnie, triaż) wymagana zwłoka 20 minut po opuszczeniu sali przed redukcją strumienia.	Pełne parametry muszą być przywrócone w każdym momencie, gdy sala zostaje ponownie zajęta.	Wilgotność w trybie turndown nie może przekroczyć 60% (zapobieganie wzrostowi mikrobiologicznemu).
SWKI VA 105-01	Redukcja strumienia/ czasów pracy jest dopuszczalna jako element optymalizacji operacyjnej.	Ograniczanie odbywa się w okresach braku aktywności (np. noc, weekendy) po uzgodnieniu z użytkownikami.	Wymagany odpowiednio długi czas „płukania” (Vorspülzeit) przed użyciem sali, aby usunąć kontaminację.	Bezwzględny wymóg zapobiegania inwersji przepływu w kanałach, aby nie „odkurzyć” filtrów wstępnych.
NF S 90-351	Wprowadza „stan czuwania” (veille) z obniżoną wydajnością dla okresów braku aktywności (nocy/ weekendów).	Procedura manualna lub automatyczna (np. czujnik obecności ze zwłoką 3 min przed powrotem do trybu nominalnego).	Każdy powrót musi zainicjować sekwencję trwającą co najmniej $3 \times$ czas kinetyki eliminacji cząstek (CP).	Utrzymanie nadciśnienia 15 Pa (± 5 Pa) jest priorytetem nawet w stanie czuwania.
PN-EN ISO 14644-16	Promuje sterowanie adaptacyjne; redukcja o 50% obniża pobór mocy wentylatora nawet 8-krotnie.	Wyłączenie systemu wymaga szczegółowej oceny ryzyka depozycji cząstek z filtrów terminalnych.	Przy reaktywacji wymagane jest stopniowe zwiększanie wydajności (ramping up), by nie porywać zanieczyszczeń z filtrów.	Zaleca się stosowanie liczników cząstek w czasie rzeczywistym do automatycznego sterowania wydajnością.

W obowiązujących standardach projektowych i eksploatacyjnych dopuszcza się możliwość okresowej redukcji strumienia powietrza w wybranych pomieszczeniach, najczęściej w czasie ich braku użytkowania. Zakres tej redukcji zależy od klasy pomieszczenia, wymaganej czystości powietrza oraz przyjętych warunków bezpieczeństwa eksploatacyjnego. Niezależnie od dopuszczalnego zakresu redukcji strumienia powietrza, warunkiem jej zastosowania jest zachowanie stabilnej gradacji ciśnień pomiędzy pomieszczeniami oraz wymaganej jakości powietrza. Ograniczenie wentylacji nie może prowadzić do odwrócenia kierunku przepływu powietrza ani do pogorszenia warunków higienicznych, w szczególności w zakresie wilgotności i czystości mikrobiologicznej. Przed ponownym użytkowaniem pomieszczeń wymagane jest pełne przywrócenie parametrów mikroklimatu oraz jakości powietrza do wartości projektowych. Obejmuje to odpowiedni czas pracy instalacji wentylacyjnej umożliwiający usunięcie zanieczyszczeń oraz nadmiaru wilgoci powstałych w okresie

obniżonej wentylacji. Dalsze zwiększenie efektywności energetycznej instalacji możliwe jest poprzez zastosowanie zaawansowanych strategii sterowania, umożliwiających dynamiczne dostosowanie strumienia powietrza do rzeczywistych warunków eksploatacyjnych przy jednoczesnym zachowaniu wymaganej jakości powietrza.

Wszystkie źródła wskazane w Tabeli 1 zakazują ograniczania wentylacji, dopóki w pomieszczeniu zalega wilgoć po sprzątaniu, ze względu na ryzyko namnażania grzybów i bakterii (np. *Bacillus cereus*). Redukcja strumienia powietrza wentylującego nie może naruszać kaskady ciśnień – system automatyki musi korygować strumień wywiewny proporcjonalnie do nawiewnego. Zaleca się stosowanie wskaźników świetlnych przy wejściu do sal operacyjnych, informujących personel o zakończeniu fazy regeneracji i pełnej gotowości sali do pracy.

Termin Unoccupied Turndown (lub setback), który pojawia się w Tabeli 1, wprowadza norma

Tabela 2. Dopuszczalność trybu Unoccupied Turndown w pomieszczeniach medycznych (ASHRAE, 2021)

Pomieszczenie	Unoccupied Turndown (Dopuszczalne)	Uwagi i warunki dodatkowe
Sale operacyjne (OR), sale do cięć cesarskich, sale cystoskopowe	TAK	Wymagane zachowanie nadciśnienia i parametrów wilgotności.
Sale izolacji zakaźnej (AII) i ich śluzy	TAK	Tryb dopuszczalny tylko, gdy pacjent nie jest w fazie izolacji; wymagane zachowanie podciśnienia.
Środowisko ochronne (PE) i ich śluzy	NIE	Wymagany stały strumień powietrza dla ochrony pacjentów wysokiego ryzyka.
Połączone sale AII/PE i ich śluzy	NIE	Zakaz redukcji ze względu na złożone wymagania ochrony i izolacji.
Sale chorych, sale intensywnej terapii (ICU, NICU), sale wybudzeń (PACU)	TAK	-
Sale diagnostyki obrazowej (Klasa 1, 2 i 3)	TAK	Obejmuje m.in. RTG, MRI, CT, angiografię.
Obszary SOR (Emergency): sale urazowe, segregacja (Triage), poczekalnia	TAK	Wymagana zwłoka czasowa (np. 20 min) po opuszczeniu sali przed redukcją strumienia
Gabinety zabiegowe, sale badań, endoskopia	TAK	-
Laboratoria (bakteriologiczne, biochemiczne, patologia)	TAK	Redukcja dopuszczalna, o ile nie wpływa na bezpieczeństwo (HSE).
Centralna sterylizatornia: pakowanie, brudownik	NIE	Wymagana stała wentylacja w strefach krytycznych (z pewnymi wyjątkami dla stref czystych).
Pomieszczenia supportu: magazyny sterylne, brudowniki, odpady medyczne	NIE	Zazwyczaj wymagany stały wyciąg lub nawiew dla kontroli zakażeń i zapachów [1436-1438].
Administracja, gabinety lekarskie, korytarze	TAK	Standardowe oszczędności energii.
Autopsja i kostnica	NIE	Wymagany stały wyciąg powietrza bezpośrednio na zewnątrz.

ASHRAE 170-2021 i odnosi się on do kontrolowanego zmniejszenia strumienia objętości powietrza lub jego prędkości w okresach, gdy pomieszczenie nie jest użytkowane, w celu oszczędności energii. W Tabeli 2 zestawiono wytyczne dotyczące dopuszczalności stosowania tego trybu w poszczególnych pomieszczeniach.

Bibliografia

- Afnor (2013). NF S 90-351:2013-04, Établissements de santé – Zones à environnement maîtrisé – Exigences relatives à la maîtrise de la contamination aéroportée. *Association Française de Normalisation*
- ASHRAE. (2021). ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021: Ventilation of Health Care Facilities. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.
- Charkowska, A., Różycki, A., Sobierajska, A. i Lenarski, R. (2018). Wytyczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji systemów wentylacji i klimatyzacji dla podmiotów wykonujących działalność leczniczą. *Pracodawcy Rzeczypospolitej Polskiej*.
- DIN. (2018). DIN 1946-4:2018-09: Ventilation and air conditioning - Part 4: Ventilation in buildings and rooms of health care. *Deutsches Institut für Normung*
- Hohne, P. A., Kusakana, K., & Numbi, B. P. (2020). Improving energy efficiency of thermal processes in healthcare institutions: A review on the latest sustainable energy management strategies. *Energies*, 13(3), 569. <https://doi.org/10.3390/en13030569>
- Hyseni, D., Tashevski, D. J., Filkoski, R. V., & Shesho, I. K. (2020). Energy efficiency in complex buildings. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 410, 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012024>
- SWKI VA105-01. (2015). Lüftungstechnische Anlagen in Gebäuden des im Gesundheitswesen (Ventilation and air conditioning systems in healthcare buildings). *Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren*.
- Szczeńniak, S. (2023). Możliwości ograniczenia energii niezbędnej do utrzymania systemów wentylacji mechanicznej i klimatyzacji z odzyskiem ciepła w obiektach szpitalnych. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 54(3), 12–22. <https://doi.org/10.15199/9.2023.3.2>

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki/Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa II” nr projektu NdS-II/SN/0008/2024/01, kwota dofinansowania 775 500,00 zł, całkowita wartość projektu 775 500,00 zł.

Kto powinien zapewnić wytyczenie i inwentaryzację geodezyjną?



Andrzej Falkowski

Przewodniczący Głównej Komisji Legislacyjnej
Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych

Kontynuując cykl odpowiedzi na pytania czytelników, dzisiaj zajmiemy się kwestiami geodezyjnymi jakie towarzyszą realizacji obiektów budowlanych, w tym przy budowie sieci sanitarnych.

1. *Pytanie: Kto na budowie powinien wykonać geodezyjne wytyczenie obiektów budowlanych oraz geodezyjną inwentaryzację powykonawczą tych obiektów – inwestor czy kierownik budowy, czy może inspektor nadzoru inwestorskiego?*

Odpowiedź: zgodnie z art. 43 ust. 1b ustawy - Prawo budowlane zapewnienie wykonania obowiązku geodezyjnego wyznaczenia w terenie, a po wybudowaniu - geodezyjnej inwentaryzacji powykonawczej należy do kierownika budowy. Jednak w przypadku, gdy kierownik budowy nie zostanie ustanowiony – ten obowiązek należy do inwestora.

Powyższy przepis wskazuje więc, że przede wszystkim jest to obowiązek kierownika budowy. Jednak nie wszystkie obiekty budowlane, które podlegają obowiązkowi wyznaczenia w terenie i inwentaryzacji, wymagają ustanowienia kierownika budowy – takim przykładem mogą być wolno stojące, nie więcej niż dwukondygnacyjne budynki mieszkalne jednorodzinne o powierzchni zabudowy do 70 m², których obszar oddziaływania mieści się w całości na działce lub działkach, na których zostały zaprojektowane, a budowa jest prowadzona w celu zaspokojenia własnych potrzeb mieszkaniowych inwestora. Jeśli w takim przypadku inwestor skorzysta z prawa nieustanowienia kierownika budowy, wówczas obowiązek wyznaczenia w terenie, a po wybudowaniu – geodezyjnej inwentaryzacji powykonawczej należy do niego.

Oczywiście powyższy obowiązek nie oznacza, że są oni zobowiązani do wykonania tych pomiarów osobiście. Oni odpowiadają za to, aby wytyczenie i inwentaryzacja w ogóle się odbyły. Natomiast same pomiary i wykonanie odpowiednich czynności administracyjnych z nimi związanych, są realizowane przez wykonawcę prac geodezyjnych, którego szczegółowa definicja i obowiązki zostały zdefiniowane w Rozdziale 3 ustawy z dnia 17 maja 1989 r. - Prawo geodezyjne i kartograficzne.

2. *Pytanie: Co należy rozumieć pod pojęciem geodezyjnej inwentaryzacji powykonawczej obiektów budowlanych, kto może ją przeprowadzić i w jakich warunkach?*

Odpowiedź: geodezyjna inwentaryzacja powykonawcza obiektów budowlanych jest niezbędnym elementem załączanym do zawiadomienia o zakończeniu budowy obiektu budowlanego lub do wniosku o udzielenie pozwolenia na użytkowanie takiego obiektu. Mówi o tym art. 57 ust. 1 pkt 5 Prawa budowlanego. Dokładna jej definicja zawarta jest w art. 2 pkt 7b ustawy - Prawo geodezyjne i kartograficzne. Przepis ten precyzuje, że rozumie się przez to wykonanie pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych mających na celu zebranie aktualnych danych o przestrzennym rozmieszczeniu elementów zagospodarowania terenu objętego zamierzeniem budowlanym i sporządzenie dokumentacji geodezyjnej zawierającej wyniki tych pomiarów, w tym mapę opatrzoną klauzulą urzędową, o której mowa w art. 40 ust. 3g pkt 3, stanowiącą potwierdzenie przyjęcia do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego zbiorów danych lub dokumentów, o których mowa w art. 12a ust. 1, w oparciu o które mapa ta została sporządzona, albo oświadczenie wykonawcy prac geodezyjnych o uzyskaniu pozytywnego wyniku weryfikacji

Należy jednak zwrócić uwagę na bardzo istotną treść art. 43 ust. 3 ustawy - Prawo budowlane. Otóż ten przepis precyzuje, że obiekty lub elementy obiektów budowlanych, ulegające zakryciu, wymagające inwentaryzacji, podlegają tej inwentaryzacji **przed ich zakryciem**.

Ma to szczególne znaczenie w przypadku np. sieci uzbrojenia terenu. Przykładowo - pomiar elementów sieci uzbrojenia terenu, która wcześniej uległa zakryciu, nie będzie de iure stanowił geodezyjnej inwentaryzacji powykonawczej tego przewodu w rozumieniu art. 43 ust. 3 ustawy - Prawo budowlane. I to bez względu na to, czy jego usytuowanie po zakryciu będzie zidentyfikowane w terenie na podstawie wskazań inwestora, czy kierownika budowy, czy też przy pomocy innych urządzeń, np. wykrywacza przewodów.

Jak stwierdza Główny Urząd Geodezji i Kartografii na stronie <https://www.gov.pl/web/gugik/co-nalezyc>

-rozumiec-pod-pojciem-geodezyjnej-inwentaryzacji-powykonawczej-objektow-budowlanych-realizowanych-w-ramach-zgloszonych-prac-ktorych-cel-zostal-okreslony-zgodnie-z-art-12-ust-1-pkt-3-lit-c-ustawy-pgik:

„Wyniki takiego pomiaru nie mogą też stanowić dokumentacji geodezyjnej, o której mowa w art. 57 ust. 1 pkt 5 ustawy Prawo Budowlane, która jest niezbędna do dołączenia do zawiadomienia o zakończeniu budowy obiektu budowlanego lub wniosku o udzielenie pozwolenia na użytkowanie wybudowanego obiektu, skoro pomiary te zostały wykonane z naruszeniem przepisów prawa, tj. art. 43 ust. 3 ww. ustawy. Pomiary takie mogą natomiast być wykorzystane do pozyskania informacji o obiekcie GESUT (§ 5 ust. 3 pkt 2 i 8 rozporządzenia GESUT3) podczas pomiarów sytuacyjno-wysokościowych wykonywanych, np. w ramach sporządzenia mapy do celów projektowych lub w ramach zgłoszonych prac, które zostały wskazane w art. 12 ust. 1 pkt 3 lit. l ustawy pGİK.”

Ministerstwo zwraca również przy tym uwagę, że niedopełnienie obowiązku niezapewnienia wykonawcy prac geodezyjnych możliwości pomiaru obiektów budowlanych przed ich zakryciem, nie może być przyczyną późniejszego „wymuszania” na geodecie realizowania przez niego zlecenia niezgodnie z przepisami prawa.

Należy więc bardzo rozważnie podchodzić do kwestii geodezyjnych pomiarów powykonawczych, gdyż niedopełnienie odpowiedniej kolejności, może skutkować odmową przyjęcia dokumentacji geodezyjnej przez organ nadzoru budowlanego.

Zapraszamy Czytelników do przesyłania pytań związanych z tematyką budownictwa i instalacji sanitarnych. Postaramy się na nie odpowiadać w kolejnych artykułach. Pytania prosimy kierować na adres: biuro@pzits.pl

Koło Naukowe Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej zaprasza do udziału w 7. edycji Dni Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego (DBPiE) – 12–13 maja 2026

DBPiE jest to wydarzenie, które od ponad 13 lat integruje środowisko akademickie z przedstawicielami branży budowlanej, instalacyjnej oraz projektowej w zakresie energooszczędności w budownictwie. Konferencja jest organizowana cyklicznie (co 2 lata) przez Koło Naukowe Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej (KNIS PP) i stanowi przestrzeń wymiany wiedzy i doświadczeń w zakresie nowoczesnych, energooszczędnych i proekologicznych rozwiązań budowlanych i instalacyjnych. Tegoroczna edycja odbędzie się w dniach 12–13 maja (wtorek–środa) na terenie Politechniki Poznańskiej.

12 maja odbędą się wykłady eksperckie, przygotowane przez przedstawicieli firm branżowych i środowiska naukowego. Ich program przewiduje możliwość bezpośredniego kontaktu uczestników z przedstawicielami branży. Wystąpienia dotyczyć będą zagadnień związanych z budownictwem pasywnym i energooszczędnym, efektywnością energetyczną budynków oraz nowoczesnymi technologiami HVAC. Tego dnia odbędzie się także sesja posterowa przygotowana przez studentów kół naukowych, prezentująca wizję przyszłości budownictwa energooszczędnego z perspektywy młodych inżynierów.

13 maja odbędą się warsztaty praktyczne, prowadzone przez doświadczonych inżynierów HVAC związanych z ogrzewaniem, wentylacją i klimatyzacją. Uczestnicy będą mieli możliwość przełożyć wiedzę zdobytą podczas wykładów na konkretne działania projektowe – od analiz energetycznych i pracy z dokumentacją techniczną, po praktyczne aspekty projektowania oraz montażu wybranych systemów instalacyjnych.



KOKON 2025 – I nagrodę w kategorii Edukacja dla DBPiE odbiera Przewodnicząca KNIS PP: Klaudia Piecka

W roku 2025 Dni Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego zostały nagrodzone I miejscem w kategorii Edukacja w ogólnopolskim konkursie KOKON organizowanym przez Forum Uczelni Technicznych przy wsparciu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

DBPiE to dla nas znacznie więcej niż wydarzenie — to przestrzeń do rozmów, wymiany wiedzy, współpracy z branżą i miejsce, w którym studenci mogą zobaczyć, jak ich przyszły zawód wpływa na komfort życia i rozwój zrównoważonego budownictwa. Serdecznie zapraszamy do udziału w DBPiE 2026 wszystkich zainteresowanych tematyką budownictwa energooszczędnego!

Szczegóły w mediach:

<https://dbpie.put.poznan.pl>

<https://www.facebook.com/KNISPP>

https://www.instagram.com/knis_poznan

Koło Naukowe Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej



Zostań inżynierem przyszłości! Weź udział w Konkursie „Zrównoważone Środowisko” i zdobądź Indeks PW!



Politechnika Warszawska zaprasza uczniów szkół średnich i techników do udziału w Konkursie „Zrównoważone Środowisko”!

Masz głowę pełną pomysłów i chcesz zmieniać otoczenie na lepsze? Interesujesz się technologiami przyjaznymi środowisku? Ten konkurs jest dla Ciebie!

W tej edycji zmierzmy się z problemem zanieczyszczenia powietrza. Twoim zadaniem będzie przyjrzeć się wybranemu obszarowi miejskiemu, ocenić jakość powietrza, rozpoznać źródła zanieczyszczeń i stworzyć koncepcję rozwiązania problemu i poprawy jakości życia mieszkańców.

Do wygrania:

- Indeks na Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej – gwarantowane miejsce w rekrutacji na kolejne 3 lata,
- Atrakcyjne nagrody rzeczowe: główna nagroda to Apple iPad,
- Rzutnik multimedialny dla Twojej szkoły.

Konkurs „Zrównoważone Środowisko” to:

- szansa na rozwinięcie swoich pasji i zainteresowań
- możliwość zdobycia wiedzy na temat inżynierii środowiska
- okazja do realnego wpływu na swoje otoczenie
- prestiżowe nagrody i uznanie w oczach ekspertów

Nie wahaj się! Zgłoś swoją pracę do **30 kwietnia 2026 r.!**

Więcej informacji:

- Szczegółowy opis zadania, regulamin konkursu i materiały pomocnicze znajdziesz na stronie: <https://is.pw.edu.pl/konkurs-o-indeks-4ed>
- Zapraszamy do kontaktu z organizatorami: lukasz.krysiak@pw.edu.pl

Patronat honorowy Konkursu:

- Ministerstwo Klimatu i Środowiska
- Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej
- Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych
- Polska Izba Inżynierów Budownictwa



Partnerem Konkursu „Zrównoważone Środowisko” jest Arcadis Sp. z o.o.

„Inspirowanie młodego pokolenia i uwrażliwienie go na sprawy związane z ochroną naszego środowiska i zmiany klimatu jest dziś ważniejsze niż kiedykolwiek” – **Jarosław Miziołek**, CEO Arcadis w Polsce. „Misją Arcadis jest poprawa jakości życia. Od ponad 130 lat realizujemy ją w miastach i społecznościach lokalnych na całym świecie dzięki różnorodnym talentom, które wnoszą w nasze działania nowe perspektywy i świeże spojrzenie. **Potrzebna jest nam wyobraźnia młodych ludzi, ich pasja i ambicja.** Potrzebujemy ich zdolności do innego sposobu myślenia i nieustannej gotowości do kwestionowania dotychczasowych metod postępowania. Pełni pasji, innowacyjni ludzie są siłą napędową naszego sukcesu i zajmują miejsce w samym sercu naszej organizacji i działalności, od tworzenia lepszych warunków mieszkaniowych i rewolucjonizowania systemów komunikacji i transportu, po tworzenie kultowych przestrzeni i znajdowanie nowych rozwiązań dla złożonych wyzwań związanych z ochroną środowiska”.

Według badań przeprowadzonych przez Centrum Edukacji Obywatelskiej młodzi Polacy i młode Polki są świadomi obecnej sytuacji na świecie i zauważają skutki zmiany klimatu. Wiedzę w tematyce zmiany klimatu czerpią przede wszystkim z Internetu oraz programów telewizyjnych – wiadomości, filmów dokumentalnych oraz kanałów przyrodniczych. Do najbardziej popularnych działań podejmowanych na rzecz klimatu przez młodych ludzi należą przede wszystkim: segregacja odpadów (66 proc.), ograniczanie zużycia wody (62 proc.) oraz ograniczanie zakupów (56 proc.).

Link do opracowania „Edukacja klimatyczna w Polsce 2022”:

<https://ungc.org.pl/wp-content/uploads/2022/06/Edukacja-klimatyczna-w-Polsce.pdf>

Program ramowy Konkursu „Zrównoważone Środowisko”

Edycja 2025/26 – Jakość powietrza

15.01.2026 r.	Rozpoczęcie Konkursu i otwarcie możliwości zgłaszania prac dla uczniów liceów i techników z całej Polski. Promocja medialna, komunikaty do szkół. Uruchomienie strony internetowej
30.04.2026 r.	Zamknięcie możliwości zgłaszania prac w tej edycji Konkursu
Kwiecień–Maj 2026 r.	Prace Kapituły Konkursu mające na celu wyłonienie Laureatów oraz prac Wyróżnionych w Konkursie
31.05.2026 r.	Najpóźniejszy termin opublikowania rankingu najlepszych prac na stronie internetowej wydarzenia
Czerwiec 2026 r.	Organizacja uroczystości podsumowania edycji i wręczenia nagród w Konkursie
30.06.2026 r.	Zamknięcie wydarzenia, raporty i komunikaty podsumowujące dla patronów i mediów

Branża budowlana wsiada na rower. „Pomaganie Buduje” wraca po raz trzeci

 **POMAGANIE
BUDUJE**

**FUNDACJA**
Rodziny Maj im. Piotra Maja

Już 30–31 maja w Podłężu koło Krakowa odbędzie się trzecia edycja wyjątkowego wydarzenia branżowego – Pomaganie Buduje. To inicjatywa organizowana przez Fundację Rodziny Maj, która łączy środowisko biznesowe, sport i działalność charytatywną. Wydarzenie przyciąga liderów polskiego biznesu – szczególnie z branży budowlanej – a także media, sportowców i ambasadorów społecznych. Wspólnym celem jest pomoc dzieciom zmagającym się z chorobami oraz kryzysem zdrowia psychicznego.

Miliony w 48 godzin

Poprzednia edycja wydarzenia pokazała skalę zaangażowania branży. W ciągu dwóch dni w inicjatywie uczestniczyło blisko **2700** osób, a dzięki ich wsparciu udało się zebrać ponad **2,5 mln zł** na pomoc potrzebującym.

Do akcji włączyły się także ogólnopolskie media, m.in. **RMF FM** i „Dzień Dobry TVN”, a wydarzenie wspierały znane osobowości – wśród nich Dorota Wellman, prof. Marek Krzystanek czy Jasiek Mela.

Jednym z najbardziej spektakularnych momentów był sportowy wyczyn **Joanny Balawajder**, mistrzyni świata w ultrakolarstwie, która podczas wydarzenia ustanowiła **Rekord Polski w jeździe na rowerze non stop przez 48 godzin**.

Pomoc, która trwa

Środki z tegorocznej edycji zostaną przeznaczone na projekty Fundacji Rodziny Maj, w tym programy SENS i Oddech, zapewniające wsparcie psychologiczne dzieciom w kryzysie zdrowia psychicznego oraz pomoc dla podopiecznych z terenów powodziowych.

Równolegle trwa również budowa domu dla Kubusia – chłopca, który w wyniku choroby stracił obie nogi i potrzebuje przestrzeni dostosowanej do swoich potrzeb.

— Nie interesuje nas pomoc, która kończy się wraz z wydarzeniem — podkreśla Marzena Maj, prezes Fundacji Rodziny Maj. — Jeśli podejmujemy się projektu, bierzemy za niego odpowiedzialność na lata.

Program wydarzenia

Tegoroczna edycja Pomaganie Buduje obejmuje kilka wydarzeń towarzyszących.

16 maja odbędzie się charytatywna gala Majowa Noc Zwycięzców w Hotelu Narvil pod Warszawą.

23 maja zaplanowano oficjalny trening kolarski z Tomaszem Marczyńskim, mistrzem kolarstwa szosowego i ambasadorem wydarzenia.

Kulminacją będzie weekend **30–31 maja w Podłężu koło Krakowa**, gdzie odbędą się:

- ▶ III Mistrzostwa Polski Branży Budowlanej w Kolarstwie Szosowym
- ▶ Miasteczko Relacji – przestrzeń spotkań i networkingu branżowego
- ▶ wydarzenia sportowe i charytatywne
- ▶ kolarskie after party „Maj pod Gwiazdami”
- ▶ Gravel & MTB Bike Challenge – otwarty dla wszystkich miłośników rowerów.

Organizatorzy podkreślają, że wydarzenie to nie tylko sportowa rywalizacja, ale przede wszystkim przestrzeń do budowania relacji i wspólnych inicjatyw.

Szczegóły wydarzenia oraz zapisy dostępne są na stronie: www.pomaganiebuduje.pl

DOŁĄCZ NA:
pomaganiebuduje.pl



Główna Komisja Legislacyjna PZITS – głos środowiska w procesie stanowienia prawa



Przewodniczącym Sekcji jest kol. Andrzej Falkowski

Współczesne otoczenie prawne sektora ciepłownictwa, ogrzewnictwa, wentylacji i szeroko rozumianej inżynierii sanitarnej podlega dynamicznym zmianom. Nowe regulacje krajowe i europejskie, rosnące wymagania środowiskowe oraz konieczność dostosowania przepisów do postępu technologicznego sprawiają, że rola eksperckiego wsparcia legislacyjnego staje się szczególnie istotna. W tym kontekście na szczególną uwagę zasługuje działalność Głównej Komisji Legislacyjnej działającej przy Polskim Zrzeszeniu Inżynierów i Techników Sanitarnych.

Komisja ta stanowi jedno z najważniejszych ciał merytorycznych PZITS, będąc platformą integrującą wiedzę, doświadczenie i kompetencje specjalistów reprezentujących różne obszary branży. Jej działalność wpisuje się w szerszą misję Stowarzyszenia, polegającą na wspieraniu rozwoju techniki sanitarnej oraz zapewnianiu wysokiej jakości rozwiązań inżynierskich w praktyce projektowej i eksploatacyjnej.

Proces legislacyjny w obszarze infrastruktury technicznej i instalacji sanitarnych charakteryzuje się dużym stopniem złożoności. Wymaga on nie tylko znajomości zasad prawodawstwa, lecz przede wszystkim głębokiego zrozumienia uwarunkowań technicznych, eksploatacyjnych i ekonomicznych. W praktyce oznacza to, że skuteczne i racjonalne przepisy mogą powstawać wyłącznie w wyniku dialogu pomiędzy administracją publiczną a środowiskiem inżynierskim. Główna Komisja Legislacyjna PZITS pełni w tym procesie rolę reprezentanta branży – podmiotu, który potrafi przełożyć doświadczenia praktyczne na język legislacji, dzięki czemu możliwe jest nie tylko identyfikowanie potencjalnych problemów wynikających z projektowanych regulacji, ale również formułowanie konstruktywnych propozycji zmian.

Główna Komisja Legislacyjna działa jako organ opiniodawczo-doradczy władz PZITS. Jej skład tworzą eksperci o wysokich kwalifikacjach zawodowych, reprezentujący zarówno środowisko naukowe, jak i praktykę inżynierską – projektantów, wykonawców, konsultantów oraz specjalistów zajmujących się eksploatacją systemów. Prace Komisji mają charakter zespołowy i opierają się na analizie dokumentów legislacyjnych, konsultacjach wewnętrznych oraz – w razie potrzeby – współpracy z innymi podmiotami branżowymi. Istotnym elementem jej funkcjonowania jest również szybkie reagowanie na pojawiające się projekty aktów prawnych, często w krótkich terminach konsultacyjnych.

Jednym z filarów działalności Głównej Komisji Legislacyjnej jest prowadzenie stałego **monitoringu legislacyjnego**. Obejmuje on zarówno projekty ustaw i rozporządzeń na etapie konsultacji, jak i zmiany w obowiązujących już przepisach. Monitoring ten ma charakter ciągły i uporządkowany. Jego efektem jest nie tylko identyfikacja nowych regulacji, ale również ocena ich potencjalnego wpływu na: proces projektowania instalacji i systemów, realizację inwestycji, eksploatację obiektów i urzędzeń, obowiązki uczestników procesu budowlanego. Dzięki temu środowisko inżynierskie może z wyprzedzeniem przygotować się na nadchodzące zmiany, ograniczając ryzyko błędów interpretacyjnych oraz problemów wdrożeniowych.

Szczególnym przejawem aktywności Komisji są opracowywane **stanowiska dotyczące projektowanych lub obowiązujących regulacji prawnych**. Dokumenty te mają charakter ekspercki i stanowią istotny wkład PZITS w proces konsultacji publicznych. Stanowiska GKL nie ograniczają się do ogólnych ocen. Zawierają one: szczegółową analizę proponowanych przepisów, identyfikację ich mocnych i słabych stron, wskazanie możliwych konsekwencji technicznych, konkretne propozycje zmian redakcyjnych i merytorycznych. W praktyce oznacza to, że Komisja nie tylko diagnozuje problemy, ale również aktywnie uczestniczy w ich rozwiązywaniu, dostarczając gotowych, przemyślanych rekomendacji.

Uzupełnieniem bieżącej działalności opiniodawczej są **raporty opracowywane przez GKL**. Stanowią one identyfikację zmian zachodzących w kolejnych miesiącach w zakresie legislacji oraz standardów technicznych.

Nie mniej istotnym obszarem działalności Komisji jest **upowszechnianie wiedzy o zmianach w przepi-**

sach. W tym celu GKL przygotowuje syntetyczne informacje i opracowania, które w przystępny sposób wyjaśniają znaczenie nowych regulacji. Działania te mają szczególne znaczenie w kontekście rosnącej złożoności prawa oraz częstych nowelizacji. Umożliwiają one: szybką orientację w aktualnym stanie prawnym, właściwą interpretację nowych wymagań, ograniczenie ryzyka błędów w projektowaniu i realizacji inwestycji. W ten sposób Komisja pełni również funkcję edukacyjną, wspierając podnoszenie kompetencji zawodowych w branży.

Analizując zakres i charakter działalności Głównej Komisji Legislacyjnej, można stwierdzić, że pełni ona rolę swoistego „filtra jakości” w procesie legislacyjnym. Dzięki zaangażowaniu ekspertów możliwe jest wczesne wychwytywanie nieścisłości, luk czy rozwiązań trudnych do zastosowania w praktyce. Do prawodawcy należy jednak ostateczna decyzja o wykorzystaniu, bądź nie, tych porad.

Główna Komisja Legislacyjna PZITS jest istotnym elementem systemu współpracy pomiędzy środowiskiem inżynierskim a administracją publiczną. Jej działalność pokazuje, że aktywne uczestnictwo ekspertów w procesie legislacyjnym jest nie tylko możliwe, ale wręcz niezbędne dla tworzenia racjonalnych i skutecznych regulacji. W warunkach dynamicznych zmian technologicznych i rosnących wymagań środowiskowych znaczenie takiego dialogu będzie systematycznie rosło. GKL, jako forum wymiany wiedzy i doświadczeń, pozostaje jednym z kluczowych narzędzi jego realizacji.

Strona internetowa Komisji: <https://pzits.pl/glowna-komisja-legislacyjna/>



XVII edycja międzynarodowej konferencji z cyklu **Air, Heat and Energy**

pamięci prof. dr. inż. Gerarda Jana Beslera

16–19 czerwca 2026

Artus Resort
ul. Wilcza 9

58-540 Karpacz

Organizatorzy



Politechnika Wroclawska

Wydział Inżynierii Środowiska



www.airandheat.pl



Konferencja
Air, Heat and Energy

Partner wydarzenia



Patronat honorowy



PAN
POLSKA AKADEMIA NAUK

Patronat medialny i czasopisma



& Chłdnictwo
& Klimatyzacja



OGRZEWNICTWO | WENTYLACJA | CIEPŁOWNICTWO | KLIMATYZACJA | MIKROKLIMAT | MAGAZYN Y ENERGII
SIECI I INSTALACJE SANITARNE I GAZOWE | EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA | JAKOŚĆ POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

Nadchodzące Wydarzenia

Poniżej przedstawiono zestawienie nadchodzących wydarzeń związanych z działalnością Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych. Obejmują one konferencje, szkolenia, seminaria oraz inne inicjatywy branżowe organizowane przez PZITS, jego struktury terenowe, a także wydarzenia realizowane pod patronatem Zrzeszenia. Wydarzenia te stanowią istotny element wymiany wiedzy, doświadczeń i dobrych praktyk w obszarze ciepłownictwa, ogrzewnictwa, wentylacji oraz techniki sanitarnej.

Szkolenie: Instalacje sanitarne w obiektach obrony cywilnej

Szkolenie obejmuje kluczowe zagadnienia projektowania i eksploatacji instalacji sanitarnych w budowlach ochronnych, ze szczególnym uwzględnieniem aktualnych wymagań prawnych. Uczestnicy poznają zasady projektowania oraz wykonania instalacji wodociągowych i kanalizacyjnych w schronach, w tym rozwiązania zapewniające niezawodność działania w warunkach kryzysowych. Omówione zostaną również kwestie zaopatrzenia w wodę (studnie, uzdatnianie), zabezpieczenia przyłączy oraz specyfika odprowadzania ścieków, w tym zastosowanie kanalizacji żeliwnej.

Wykładowcy: Wojciech Mordec (NAVITEL), Tomasz Obratański (RSP), Zbigniew Sochacki (Kessel)

Termin: 15 maja 2026 r., godz. 11:00-14:00

Miejsce: szkolenie online

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

Szkolenie: Odporność kinetyczna infrastruktury wodno-kanalizacyjnej na skutki działań wojennych

Szkolenie poświęcone jest odporności infrastruktury wodno-kanalizacyjnej na oddziaływania dynamiczne i ekstremalne warunki eksploatacyjne. Omówione zostaną właściwości rur PEHD w kontekście przemieszczeń gruntu, obciążeń udarowych oraz sytuacji kryzysowych, takich jak powódzie czy działania wojenne. Program obejmuje również analizę rzeczywistych realizacji – m.in. z terenów szkód górniczych, inwestycji w Nowym Sączu oraz doświadczeń z infrastruktury narażonej na oddziaływania wybuchowe. Szczególny nacisk położono na znaczenie połączeń przenoszących siły osiowe oraz praktyczne rekomendacje projektowe dla systemów o podwyższonej odporności.

Wykładowcy: Dr inż. Paweł Grajper, Joanna Szafron (UPONOR Infra), Krzysztof Kacaliński (PELTER)

Termin: 19 maja 2026 r., godz. 11:00-14:00

Miejsce: szkolenie online

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

Konferencja naukowo-techniczna „Woda, Ścieki, Odpady – Infrastruktura i Technologia”



Politechnika Wrocławska
WODA, ŚCIEKI, ODPADY
INFRASTRUKTURA I TECHNOLOGIA
Wydział Inżynierii Środowiska

Konferencja Naukowo-Techniczna
WODA, ŚCIEKI, ODPADY
– Infrastruktura i technologia

20-22 maja 2026 r. Trzebnica

Rejestracja

PAN
B METERS
metering solutions
Gaz, Woda i Technika Sanitarna
INSTAL

Konferencja stanowi interdyscyplinarne forum wymiany wiedzy i doświadczeń w obszarze nowoczesnej gospodarki wodno-ściekowej oraz odpadowej. Wydarzenie koncentruje się na aktualnych wyzwaniach związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa i ciągłości działania infrastruktury, efektywnością energetyczną oraz dostosowaniem systemów do zmian klimatycznych i rosnących wymagań środowiskowych.

W programie przewidziano prezentacje rozwiązań technologicznych, wyników badań naukowych oraz przykładów praktycznych wdrożeń, obejmujących m.in. procesy uzdatniania wody, oczyszczania ścieków, zarządzania osadami i odpadami, a także modernizacji i eksploatacji systemów infrastrukturalnych. Istotnym elementem są również zagadnienia związane z gospodarką o obiegu zamkniętym, cyfryzacją sektora oraz zwiększaniem odporności infrastruktury na sytuacje kryzysowe.

Konferencja skierowana jest do przedstawicieli środowiska naukowego, projektantów, inżynierów, eksploataatorów systemów komunalnych, administracji publicznej oraz firm technologicznych. Spotkanie sprzyja nawiązywaniu współpracy, transferowi wiedzy

oraz prezentacji innowacyjnych rozwiązań wspierających rozwój sektora.

Termin: 20–22 maja 2026 r.

Miejsce: Hotel Trzebnica, ul. Leśna 2, 55-100 Trzebnica

Szczegóły: <https://wso.pwr.edu.pl/konferencja>

Szkolenie: Bezwykopowa rehabilitacja kanałów. Jak właściwości tworzyw połączyć z wytrzymałością stali

Szkolenie prezentuje nowoczesne metody bezwykopowej naprawy i renowacji sieci kanalizacyjnych, łączące właściwości tworzyw sztucznych z wytrzymałością konstrukcji stalowych. Omówione zostaną zasady eksploatacji sieci, metody diagnostyki (monitoring CCTV) oraz identyfikacji uszkodzeń wraz z oceną stanu technicznego kanałów.

Program obejmuje przegląd technologii rehabilitacyjnych, w tym napraw miejscowych, shortliningu, slipliningu, rękawów utwardzanych (CIPP), metod spiralnych (SPR), burstliningu oraz mikrotunelingu. Uczestnicy poznają także kryteria doboru technologii oraz aspekty ekonomiczne związane z modernizacją infrastruktury kanalizacyjnej.

Wykładowcy: Jacek Kulig (ROMOLD tak), Paweł Jagielski (Tracto- Technik)

Termin: 22 maja 2026 r., godz. 11:00–14:00

Miejsce: szkolenie online

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

Konferencja naukowo-techniczna: Nowe kierunki badań i rozwoju w inżynierii lądowej, środowiska i geodezji

Interdyscyplinarna konferencja stanowi platformę wymiany wiedzy pomiędzy środowiskiem naukowym a praktyką inżynierską, koncentrując się na najnowszych kierunkach badań oraz wdrażaniu innowacyjnych technologii w obszarze infrastruktury technicznej. Szczególny nacisk położono na zagadnienia związane z trwałością i bezpieczeństwem obiektów budowlanych, efektywnością eksploatacji systemów oraz adaptacją infrastruktury do zmieniających się warunków klimatycznych i środowiskowych.

Zakres tematyczny obejmuje szerokie spektrum zagadnień – od projektowania i modernizacji konstrukcji oraz infrastruktury transportowej i hydrotechnicznej, przez gospodarkę wodno-ściekową i odpadową, aż po ochronę środowiska morskiego i przybrzeżnego. Istotnym obszarem są również nowoczesne metody pomiarowe, monitoring obiektów inżynierskich oraz rozwój systemów informacji przestrzennej (GIS), wspierających zarządzanie infrastrukturą.

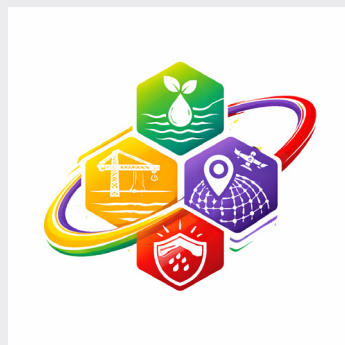
Program konferencji przewiduje sesje referatowe, prezentacje wyników badań, panele dyskusyjne oraz sesje techniczne, uzupełnione o elementy praktyczne, takie jak wizyty studyjne w obiektach infrastrukturalnych. Taka formuła sprzyja bezpośredniej konfrontacji wiedzy teoretycznej z doświadczeniami eksploatacyjnymi oraz prezentacji sprawdzonych rozwiązań wdrożeniowych.

Wydarzenie skierowane jest do pracowników naukowych, projektantów, inżynierów, przedstawicieli administracji oraz firm branżowych, a także doktorantów i studentów kierunków technicznych. Konferencja stwarza warunki do nawiązywania współpracy, wymiany doświadczeń oraz dyskusji nad przyszłymi kierunkami rozwoju inżynierii i technologii infrastrukturalnych.

Termin: 26–30 maja 2026 r.

Miejsce: Gdańsk – Sztokholm – Tallin – Sztokholm – Gdańsk

Szczegóły: <https://ros.i234.me>



Szkolenie: Zgrzewanie doczołowe i elektrooporowe rur z tworzyw sztucznych

Szkolenie obejmuje zagadnienia związane z technologią zgrzewania rur z tworzyw sztucznych, ze szczególnym uwzględnieniem metod doczołowych i elektrooporowych stosowanych w instalacjach wodociągowych, kanalizacyjnych i gazowych. Program obejmuje zarówno część teoretyczną, dotyczącą właściwości materiałów, norm i zasad prawidłowego wykonania połączeń, jak i część praktyczną z obsługi urządzeń oraz wykonywania zgrzewów.

Uczestnicy zdobywają wiedzę na temat nowoczesnych technologii, kontroli jakości połączeń oraz najczęstszych błędów wykonawczych. Szkolenie przygotowuje do bezpiecznego i zgodnego z wymaganiami technicznymi wykonywania prac instalacyjnych, a także umożliwi uzyskanie kwalifikacji potwierdzonych egzaminem.

Termin: 27–29 maja 2026 r., godz. 8:00–18:00

Miejsce: Budynek NOT we Wrocławiu przy ul. J. Piłsudskiego 74 (p. 230)

Szczegóły: <https://www.pzits.not.pl/zgrzew.html>

Szkolenie: Komputerowe wspomaganie projektowania instalacji wewnętrznych wod-kan, z przykładowym wykorzystaniem oprogramowania InstalSoft

Szkolenie obejmuje kompleksowy proces tworzenia projektu instalacji sanitarnych – od konfiguracji danych ogólnych, przez modelowanie sieci, aż po obliczenia i przygotowanie dokumentacji. Uczestnicy poznają zasady ustawiania parametrów projektu, doboru elementów instalacji oraz pracy zgodnie z obowiązującymi normami.

Program obejmuje praktyczną pracę na rzutach i w modelu 3D, w tym wstawianie przyborów, prowadzenie instalacji, konfigurację węzłów oraz analizę poprawności modelu. Omówione zostaną również zagadnienia obliczeń hydraulicznych, interpretacji wyników i diagnostyki błędów. Szkolenie kończy się przygotowaniem rysunków technicznych i dokumentacji gotowej do wydruku lub eksportu.

Wykładowca: Krzysztof Miś (InstalSoft)

Termin: 25 maja 2026 r., godz. 11:00–14:00

Miejsce: szkolenie online

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

#MisjaInstalacja

Inżynieria środowiska w 120 sekund

Pokaż instalacje i sieci techniczne w kreatywny sposób!

W świecie zafascynowanym sztuczną inteligencją coraz częściej pojawiają się pytania czy pozostaną obszary życia, w których AI nie będzie mogła zastąpić pracy człowieka. I tu przypominamy sobie o zawodach wymagających precyzji, pracy rąk własnych oraz cech czy umiejętności niedostępnych dla AI. O ile sztuczna inteligencja poda nam np. przepis na ciasto, określi proporcje oraz kolejność połączenia składników i sposób jego przygotowania, tak już nie stwierdzi czy smak, konsystencja wypieku przypadną do gustu konsumentom.

Dlatego w całej Polsce powstają **Branżowe Centra Umiejętności (BCU)** – nowoczesne centra szkoleniowe, w których można zdobyć praktyczne umiejętności i nowe kwalifikacje zawodowe. BCU łączą szkoły, uczelnie, pracodawców i ekspertów z różnych branż, dzięki czemu oraz wsparciu z Krajowego Planu Odbudowy (KPO), stały się miejscami, w których młodzież i dorośli rozwijają kompetencje potrzebne na współczesnym rynku pracy i uczą się w warunkach zbliżonych do rzeczywistej pracy w danym zawodzie.

Jedno z takich Centrów zostało utworzone przy Zespole Szkół Budowlano-Drzewnych im. Armii Krajowej w Żywcu, które specjalizuje się w dziedzinach: instalacji sanitarnych, grzewczych i gazowych. Znajdują się tu stanowiska do montażu i serwisowania pomp ciepła, systemów centralnego ogrzewania, instalacji wodno-kanalizacyjnych oraz nowoczesnych urządzeń grzewczych. Oprócz szerokiej oferty kształcenia, nowoczesnych pracowni wyposażonych dzięki dofinansowaniu z KPO, BCU w Żywcu współpracuje z partnerami przemysłowymi oraz z uczelnią wyższą - Politechniką Śląską w Gliwicach, która drugi rok z rzędu współorganizuje Ogólnopolską Olimpiadę Wiedzy i Umiejętności Instalacyjnych oraz – w roku bieżącym – zaprasza studentów do ogólnopolskiego konkursu **#MisjaInstalacja – Inżynieria Środowiska w 120 sekund**.

Konkurs skierowany jest do studentów kształcących się w Polsce na kierunkach związanych z instalacjami sanitarnymi, grzewczymi, wentylacyjnymi, klimatyzacyjnymi, wodno-kanalizacyjnymi lub gazowymi.

Zadaniem uczestników jest przygotowanie krótkiego, maksymalnie 120-sekundowego filmu pokazującego w ciekawy sposób działanie instalacji technicznych w budynkach i przestrzeni publicznej, takich jak: instalacje grzewcze, instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne, instalacje wodne i kanaliza-



Dodatkowo przyznana zostanie

 Nagroda publiczności

na podstawie głosowania na Instagramie @isie_polst



cyjne lub instalacje gazowe. Celem filmu powinna być popularyzacja wiedzy z zakresu inżynierii środowiska i instalacji budynkowych.

Uczestnicy mogą się zgłaszać indywidualnie lub w maksymalnie 3-osobowych zespołach. Termin nadsyłania prac upływa 19 kwietnia 2026 roku.

Szczegóły konkursu oraz regulamin dostępne są na stronie organizatora – Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej:

Konkurs studencki #MisjaInstalacja – Inżynieria Środowiska w 120 sekund | Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Na laureatów czekają atrakcyjne nagrody. Oprócz laureatów wyróżnionych przez członków komisji konkursowej, przyznana zostanie również nagroda publiczności.

Opracowanie tekstu: Aleksandra Lipczyńska, Małgorzata Kwiatosz

Organizacja konkursu „**#MisjaInstalacja – Inżynieria Środowiska w 120 minut**” została dofinansowana ze środków projektu „Utworzenie Branżowego Centrum Umiejętności przy Zespole Szkół Budowlano-Drzewnych im. Armii Krajowej w Żywcu w dziedzinie: instalacje sanitarne, grzewcze i gazowe”, w ramach Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO) współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej.

Politechnika Śląska jest partnerem naukowym projektu.



instalacje grzewcze



instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne



instalacje wodne i kanalizacyjne



instalacje gazowe

Nagraj krótki film (maks. 2 minuty) i wygraj nagrody!



Termin zgłoszeń:
19 kwietnia 2026



Konkurs przeznaczony jest dla studentów I oraz II stopnia uczelni technicznych w Polsce. Szczegółowe informacje znajdują się w Regulaminie konkursu dostępnym na stronie: <https://www.olimpiadawui.polst.pl/dokumentyEd2.html>.

ORGANIZATOR:



Politechnika Śląska



Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

W RAMACH:



Branżowe Centrum Umiejętności w dziedzinie: instalacje sanitarne, grzewcze i gazowe przy Zespole Szkół Budowlano-Drzewnych im. Armii Krajowej w Żywcu



KRAJOWY PLAN ODBUDOWY



Rzeczpospolita Polska

Sfinansowane przez Unię Europejską NextGenerationEU

