



Metoda doboru pomp ciepła do modułowych budynków dworców kolejowych w różnych strefach klimatycznych Polski

Method for selecting heat pumps for modular railway station buildings in different climatic zones of Poland



Dr inż. Edward Bramson

ORCID ID: 0000-0001-9765-5123

Sieć Badawcza Łukasiewicz

- Instytut Elektrotechniki

edward.bramson@iel.lukasiewicz.gov.pl



Dr inż. Renata Sulima

ORCID ID: 0000-0002-5085-2274

Sieć Badawcza Łukasiewicz

- Instytut Elektrotechniki

renata.sulima@iel.lukasiewicz.gov.pl

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii (OZE), dobór pomp ciepła, budynki modułowe, dworce kolejowe, strefy klimatyczne, SCOP, zapotrzebowanie na ciepło

Streszczenie

W artykule przedstawiono autorską metodę doboru pomp ciepła przeznaczonych do ogrzewania w modułowych budynkach dworców kolejowych. Metoda uwzględnia zróżnicowanie stref klimatycznych Polski, charakterystykę energetyczną modułowych obiektów dworcowych oraz rzeczywiste parametry eksploatacyjne pomp ciepła. Opracowany algorytm, zaimplementowany w środowisku Python, wykorzystuje bazę danych urządzeń grzewczych i umożliwia półautomatyczny dobór źródła ciepła dostosowanego do lokalnych warunków klimatycznych i zapotrzebowania obiektu na ciepło. Zaprezentowane wyniki potwierdzają użyteczność metody w procesie projektowania instalacji grzewczych w obiektach użyteczności publicznej, głównie w modułowych dworcach PKP.

Keywords: renewable energy sources (RES), heat pump selection, modular buildings, railway stations, climatic zones, SCOP, heat demand

Abstract

The article presents an original method for selecting heat pumps intended for heating in modular railway station buildings. The method takes into account the diversity of Poland's climate zones, the energy characteristics of modular station facilities, and the actual operating parameters of heat pumps. The developed algorithm, implemented in the Python environment, uses a database of heating devices and enables semi-automatic selection of a heat source adapted to local climatic conditions and the building's energy demand. The presented results confirm the usefulness of the method in the design process of heating systems for public utility buildings, particularly modular PKP railway stations.

Wstęp

Rosnąca presja na dekarbonizację sektora budownictwa oraz zwiększenie efektywności energetycznej obiektów użyteczności publicznej powoduje dynamiczny wzrost zainteresowania pompami ciepła, głównie typu powietrze-woda, jako podstawowym źródłem ciepła (Carter & De Kock, 2019). Urządzenia te, dzięki wykorzystaniu ciepła powietrza zewnętrznego, pozwalają na znaczną redukcję emisji CO₂ oraz ograniczenie kosztów eksploatacyjnych w porównaniu z tradycyjnymi systemami opartymi na paliwach kopalnych. W budynkach użyteczności publicznej, charakteryzujących się długim okresem użytkowania oraz koniecznością spełniania coraz bardziej restrykcyjnych wymagań energetycznych i środowiskowych, pompy ciepła stają się jednym z kluczowych elementów nowoczesnych systemów grzewczych.

Szczególną grupę obiektów stanowią modułowe budynki dworców kolejowych eksploatowanych przez PKP. Obiekty te wyróżniają się krótkimi i często nieregularnymi czasami użytkowania, wynikającymi z rozkładów jazdy. W praktyce oznacza to znaczne wahania zapotrzebowania na ciepło i ciepłą wodę użytkową w ciągu doby oraz se-

zonu grzewczego. System grzewczy takich obiektów musi zatem charakteryzować się wysoką elastycznością pracy oraz pewnymi aspektami autonomiczności, gdyż budynki te są najczęściej bezobsługowe. Na Rysunku 1 przedstawiono przykładową instalację grzewczą proponowaną do zastosowania w modułowym budynku dworca PKP.

Parametry modułowych budynków dworcowych i porównanie z dworcem tradycyjnym

W ramach projektu Rail4EARTH Horizon Europe (JU-2022-FA4-01) opracowano koncepcję modułowych budynków dworcowych oraz przeprowadzono analizę porównawczą ich parametrów technicznych, energetycznych i środowiskowych względem tradycyjnych budynków dworcowych. Wyniki tych analiz zostały przedstawione w raporcie (Politechnika Poznańska, 2024) i stanowią podstawę zaprezentowanego porównania.

Modułowe budynki dworców kolejowych projektowane są jako obiekty o powtarzalnej konstrukcji, składające się z prefabrykowanych modułów o określonych funkcjach (m.in. poczekalnia, zaplecze techniczne, toalety). Przy-

kładowy obiekt odniesienia składa się z sześciu modułów, w tym modułów obsługowych, technicznych oraz opcjonalnej wieży dla instalacji. Konstrukcja ta umożliwia prefabrykację w warunkach fabrycznych i szybki montaż na miejscu (Politechnika Poznańska, 2024). Istotną cechą tych obiektów jest wysoki standard energetyczny przegród, zbliżony do budownictwa pasywnego, co przekłada się na ograniczenie strat ciepła. Dodatkowo uwzględniono rozwiązania takie jak zacienianie, wentylacja nocna oraz możliwość integracji odnawialnych źródeł energii (np. instalacji fotowoltaicznych). Wybrane wyniki analizy porównawczej przeprowadzonej w ramach projektu Rail4EARTH (Politechnika Poznańska, 2024) zestawiono w Tabeli 1.

Z przedstawionych danych wynika, że zapotrzebowanie na energię do ogrzewania budynku modułowego było ponad dwukrotnie niższe niż w przypadku obiektu tradycyjnego, co wynikało z lepszych parametrów izolacyjnych przegród oraz optymalizacji konstrukcji. Podobna tendencja występowała w przypadku chłodzenia, gdzie zapotrzebowanie na energię było niższe o około 65%.

Analiza wykazała również znaczącą redukcję emisji CO₂ na etapie produkcji materiałów i budowy (A1–A3), wynoszącą około 78%. Był to efekt zarówno mniejszego zapotrzebowania na energię, jak i zastosowania materiałów o niższym śladzie węglowym. Dodatkowo technologia modułowa umożliwiła skrócenie czasu realizacji inwestycji o ponad 50%, co ma generalnie istotne znaczenie ekonomiczne i organizacyjne.

Przeprowadzone w ramach projektu Rail4EARTH (Politechnika Poznańska, 2024) analizy wskazują, że modułowe budynki dworcowe charakteryzują się wyraźnie lepszą efektywnością energetyczną oraz niższym oddziaływaniem środowiskowym niż ich tradycyjne odpowiedniki. Osiągnięte wyniki potwierdzają zasadność stosowania



Rysunek 1. Przykład instalacji grzewczej opartej na pompie ciepła typu powietrze-woda zainstalowanej w hipotetycznym modułowym budynku dworca PKP. Źródło: opracowanie własne powstałe ze wsparciem AI

Figure 1. Analyses Example of a heating system based on an air-to-water heat pump installed in a hypothetical modular PKP railway station building. Source: Author's own work developed with AI support.

technologii modułowej jako rozwiązania odpowiadającego współczesnym wymaganiom zrównoważonego budownictwa oraz efektywności eksploatacyjnej.

Uwarunkowania doboru pomp ciepła

Profil zapotrzebowania na energię modułowych budynków dworcowych

Zapotrzebowanie na energię analizowanych obiektów było silnie zmienne w czasie i zależało od warunków klimatycznych oraz sposobu użytkowania obiektu. Dominującym składnikiem tego zapotrzebowania było ogrzewanie, natomiast zużycie ciepłej wody miało charakter nieregularny. Ze względu na zmienność obciążenia klasyczne metody doboru pomp ciepła, oparte na pojedynczych wartościach obliczeniowych, mogą prowadzić do błędów projektowych. Uzasadnia to zastosowanie podejścia algorytmicznego, co potwierdzają również współczesne badania nad optymalizacją pracy systemów grzewczych (Girón i in., 2025; Carter & De Kock, 2019).

Klimatyczne uwarunkowania doboru pomp ciepła

Warunki klimatyczne mają istotny wpływ na efektywność pomp ciepła, szczególnie typu powietrze-woda. Spadek temperatury zewnętrznej powoduje obniżenie współczynnika COP, a zatem wzrost zużycia energii elektrycznej (Nyers & Nyers, 2011). Z powodu zróżnicowania klimatycznego terenu Polski konieczne jest uwzględnienie wartości temperatury obliczeniowej oraz ich wpływu na sezonową efektywność (SCOP). Jednolite podejście projektowe w warunkach różnych lokalizacji może prowadzić do błędnego doboru urządzeń.

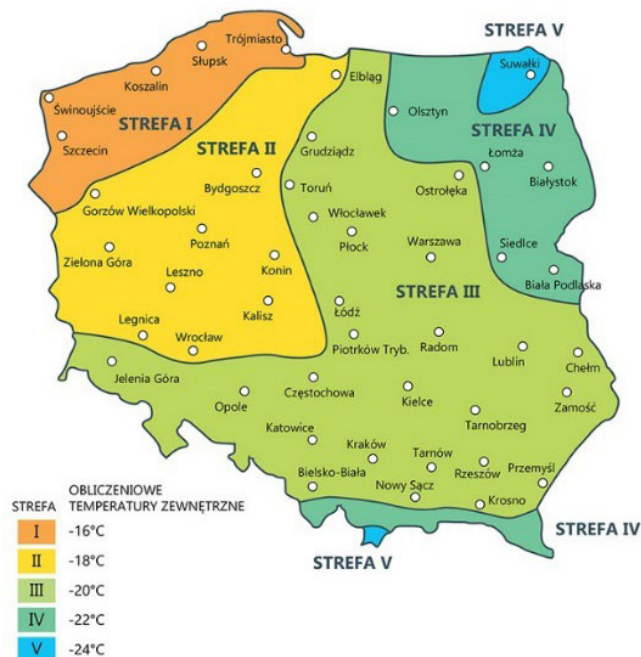
Strefy klimatyczne Polski

Polska znajduje się w strefie klimatu umiarkowanego, jednak ze względu na uwarunkowania geograficzne i lokalne różnice klimatyczne, na

Tabela 1. Analizy przeprowadzone w ramach raportu wskazują na istotne różnice pomiędzy budynkiem modułowym a tradycyjnym dworcem kolejowym (Politechnika Poznańska, 2024)

Table 1. Analyses conducted as part of the report indicate significant differences between a modular building and a traditional railway station (Politechnika Poznańska, 2024)

Parametr	Budynek tradycyjny (Biskupice Wlkp.)	Budynek modułowy
Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania	47,8 kWh/(m ² ·rok)	22,8 kWh/(m ² ·rok)
Zapotrzebowanie na energię do chłodzenia	35,0 kWh/(m ² ·rok)	12,3 kWh/(m ² ·rok)
Redukcja zapotrzebowania energii na ogrzewanie	–	ok. 52% niższe
Emisja CO ₂ (etap A1–A3)	994 kg CO ₂ e/m ²	220 kg CO ₂ e/m ²
Czas realizacji	ok. 17 tygodni	ok. 8 tygodni



Rysunek 2. Strefy klimatyczne Polski (Centrum Energii Odnawialnej)

Figure 2. Climatic zones of Poland (Centrum Energii Odnawialnej)

potrzeby projektowania wyróżniono kilka stref klimatycznych o zróżnicowanych wartościach temperatury obliczeniowej (Rysunek 2 i Tabela 2).

Wpływ temperatury zewnętrznej na efektywność pomp ciepła

Temperatura zewnętrzna istotnie wpływa na efektywność pomp ciepła, szczególnie typu powietrze-woda. Jej spadek powoduje obniżenie współczynnika COP, a zatem wzrost zużycia energii elektrycznej. Kluczowym parametrem eksploatacyjnym pozostaje sezonowy współczynnik efektywności SCOP, którego metodologia wyznaczania określona jest w normie PN-EN 14825 (PKN, 2022). W cieplejszych strefach klimatycznych osiąga on wyższe wartości, natomiast w chłodniejszych ulega obniżeniu, zwłaszcza przy eksploatacji w warunkach niskiej temperatury otoczenia.

Uwzględnienie wartości temperatury obliczeniowej oraz jej wpływu na sezonową efektywność pomp ciepła jest konieczne z punktu widzenia poprawności projektu (Piechurski & Szulgowska-Zgrzywa, 2016). Właściwości te uwzględniane są w procedurach obliczeniowych norm PN-EN 14825 (PKN, 2022) oraz EN 15316-4-2 (ESC, 2017). Współczynniki efektywności energetycznej pomp ciepła (COP i SCOP) przyjęto na podstawie danych katalogowych producentów pomp, przy czym metodologia wyznaczania wartości COP i SCOP została znormalizowana w normie PN-EN 14511 (PKN, 2023) oraz PN-EN 14825 (PKN, 2022). Przyjęte w analizie wartości temperatur obliczeniowych oraz odpowiadające im korekty sezonowego współczynnika efektywności SCOP zestawiono w Tabeli 3.

Założenia do procesu doboru pomp ciepła

Proces doboru pomp ciepła oparto na następujących założeniach:

Tabela 2. Przybliżone długości sezonu grzewczego źródło: opracowanie własne na podstawie temperatur obliczeniowych dla stref klimatycznych wg PN-EN 12831-1:2017-08 (PKN, 2017) oraz (Zubek, 2025)

Table 2. Approximate duration of the heating season Source: Author's own elaboration based on the design outdoor temperatures for climatic zones specified in PN-EN 12831-1:2017-08 (PKN, 2017) and (Zubek, 2025)

Strefa klimatyczna	Temperatura obliczeniowa [°C]	Długość sezonu grzewczego [dni/rok]	Charakterystyka
I	-16	180–200	Krótszy sezon grzewczy, łagodne zimy, korzystne warunki do stosowania pomp ciepła
II	-18	200–210	Umiarkowany klimat, sporadyczne okresy niskiej temperatury
III	-20	210–220	Warunki referencyjne, zrównoważony czas ogrzewania
IV	-22	220–240	Wydłużony sezon grzewczy, częstsze okresy niskiej temperatury
V	-24	240–260	Najdłuższy sezon grzewczy, wymagające warunki eksploatacyjne

Tabela 3. Wartości temperatury oraz korekta SCOP w zależności od strefy klimatycznej polski. Źródło: opracowanie własne

Table 3. Temperature values and SCOP corrections depending on the climatic zone of Poland. Source: authors' own study

Strefa klimatyczna	Temperatura obliczeniowa T_e [°C]	Charakter warunków pracy	Korekta SCOP
I	-16	Łagodny klimat, dominująca praca przy temperaturach dodatnich i przejściowych	+5%
II	-18	Dobre warunki sezonowe, sporadyczna praca w warunkach niskiej temperatury	+2%
III	-20	Warunki referencyjne – brak korekty	0%
IV	-22	Pogorszenie warunków pracy w okresach zimowych	-5%
V	-24	Surowy klimat, częsta praca w warunkach temperatury granicznej	-10%

- znana geometria i charakterystyka energetyczna budynku modułowego (typowo 6 modułów o funkcjach użytkowych i technicznych),
- znana strefa klimatyczna oraz temperatura obliczeniowa,
- wykorzystanie bazy danych rzeczywistych pomp ciepła,
- dobór urządzeń na podstawie kryteriów: pokrycie zapotrzebowania na moc cieplną, zapewnienie pracy przy temperaturze minimalnej T_{min} (do -24°C w strefie V), maksymalizacja efektywności sezonowej (SCOP), zapewnienie stabilnej pracy systemu.

W analizowanych budynkach modułowych przyjęto parametry wynikające z raportu (Politechnika Poznańska, 2024):

- standard przegród zbliżony do budownictwa pasywnego (niskie współczynniki U),
- zapotrzebowanie na energię do ogrzewania: ok. 22,8 kWh/(m²·rok),
- uproszczony współczynnik wentylacyjnych strat ciepła: 0,34·V·ΔT,
- temperatura wewnętrzna: 20°C,
- eksploatacja przy zmiennym obciążeniu cieplnym.

W celu weryfikacji metody opracowano aplikację obliczeniową umożliwiającą integrację obliczeń strat ciepła z procesem doboru pomp ciepła na podstawie rzeczywistych danych katalogowych. Aplikacja pozwala na: wyznaczenie zapotrzebowania na moc ciepłą budynku, analizę wpływu strefy klimatycznej, dobór urządzeń spełniających przyjęte kryteria energetyczne i eksploatacyjne.

Struktura danych wejściowych

W aplikacji wykorzystano dwa główne źródła danych: dane geometryczne i eksploatacyjne budynku oraz bazę danych pomp ciepła.

Dane geometryczne i eksploatacyjne budynku mogą być wprowadzone w dwóch trybach:

1. Baza przykładowa – zawierająca predefiniowane zestawy danych dla modułowych budynków dworcowych (typy A, B1, B2), powtarzalna konstrukcja modułowa (typowe moduły o wymiarach ok. 2,4 × 4,7 × 4,2 m), podział na strefy funkcjonalne (poczekalnia, zaplecze techniczne, sanitariaty), wysoka izolacyjność przegród, niewielka kubatura i intensywna wymiana powietrza.
2. Dane własne użytkownika – umożliwiające wprowadzenie parametrów geometrycznych bezpośrednio z dokumentacji technicznej.

Właściwości cieplne przegród budowlanych analizowanego obiektu wprowadzone do aplikacji przedstawiono w Tabeli 4.

Baza danych pomp ciepła została opracowana przez autorów na podstawie kart katalogowych pomp ciepła dostępnych na rynku. Baza zawiera zestawienie parametrów technicznych oraz danych ekonomicznych istotnych z punktu widzenia procesu doboru.

Baza danych, wczytywana z pliku Excel, obejmuje: nazwy modeli i producentów pomp ciepła, moce grzewcze w różnych punktach pracy (np. A-7/W35), współczynniki

efektywności energetycznej (COP, SCOP), ceny urządzeń, wybrane dane katalogowe.

Zastosowanie rzeczywistych danych rynkowych umożliwia przeprowadzenie analizy nie tylko pod kątem technicznym, ale również ekonomicznym.

Model obliczeniowy zapotrzebowania na moc

Zapotrzebowanie na moc ciepłą obiektu obliczane jest jako suma strat przez przenikanie oraz wentylację (Równanie 1).

$$\Phi = \Phi_T + \Phi_V \quad (1)$$

gdzie:

Φ_T – straty przez przenikanie, W,

Φ_V – straty wentylacyjne, W.

Straty przez przenikanie obliczane są według zależności (2).

$$\Phi_T = \sum (U_i \cdot A_i \cdot \Delta T) \quad (2)$$

gdzie:

U_i – współczynnik przenikania ciepła, W/(m²·K),

A_i – powierzchnia przegrody, m²,

ΔT – różnica wartości temperatury wewnętrznej i zewnętrznej, K.

W aplikacji uwzględniono: podłogi, dach, ściany zewnętrzne, powierzchnie dylatacyjne pomiędzy strefami.

Straty wentylacyjne określono wykorzystując uproszczoną zależność (3).

$$\Phi_V = 0,34 \cdot n \cdot V \cdot \Delta T \quad (3)$$

gdzie:

n – krotność wymian powietrza [1/h]

V – kubatura pomieszczeń, m³.

Model obliczeniowy pozwala na podział budynku na kilka stref temperaturowych, co jest szczególnie istotne w przypadku analizowanych obiektów modułowych.

Uwzględnienie stref klimatycznych

W aplikacji umożliwiono wybór strefy klimatycznej, dla której automatycznie przypisywana jest temperatura obliczeniowa. Ponadto zaimplementowano współczynniki korekcyjne SCOP, uwzględniające wpływ warunków klimatycznych na efektywność pracy pomp ciepła. Skorygowany współczynnik efektywności wyznaczany jest zgodnie z zależnością (4).

$$SCOP_{koryg} = SCOP_{katalog} (1 + k_{strefy}) \quad (4)$$

gdzie:

k_{strefy} – współczynnik korekcyjny zależny od strefy klimatycznej.

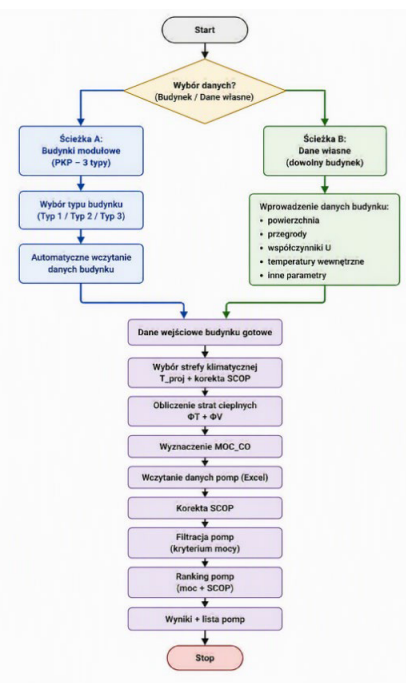
Interfejs użytkownika

Interfejs graficzny aplikacji umożliwia: wybór budynku i strefy klimatycznej, wprowadzanie danych własnych, edycję współczynników przenikania ciepła, wybór konkretnego modelu pompy ciepła, analizę wyników obliczeń, co przedstawiono na Rysunku 3. Po wprowadzeniu danych wejściowych i uruchomieniu obliczeń aplikacja wyznacza zapotrzebowanie budynku na moc ciepłą oraz

Tabela 4. Izolacyjność przegród w budynku modułowym dworca PKP (Politechnika Poznańska, 2024)

Table 4. Thermal insulation of partitions in a modular PKP railway station building (Politechnika Poznańska, 2024)

Przegroda	Współczynnik U, W/(m ² ·K)	Charakterystyka
Ściany zewnętrzne	0,10–0,15	Wysoka izolacyjność, przegrody warstwowe prefabrykowane
Dach	0,08–0,12	Najlepiej izolowana przegroda
Podłoga na gruncie	0,12–0,18	Zależne od sposobu posadowienia
Okna i drzwi	0,80–1,10	Stolarka o podwyższonej izolacyjności
Połączenia modułów	~ 0,15–0,20 (efektywne)	Uwzględnienie mostków cieplnych



oblicza skorygowaną wartość współczynnika SCOP z uwzględnieniem wybranej strefy klimatycznej. Przykładowe okno z wynikami obliczeń przedstawiono na Rysunku 4. Następnie program przeszukuje bazę danych pomp ciepła i generuje listę urządzeń spełniających przyjęte kryteria doboru, uporządkowaną według zadanych parametrów, co zilustrowano na Rysunku 5.

Rozwiązanie to stanowi praktyczne narzędzie wspierające projektowanie instalacji grzewczych powtarzalnych obiektów modułowych, w szczególności w kontekście infrastruktury kolejowej. Zastosowanie algorytmicznego podejścia umożliwia bardziej precyzyjne dopasowanie urządzeń do rzeczywistych warunków pracy, co znajduje potwierdzenie w badaniach nad optymalizacją parametrów pomp ciepła (Girón Cruz i in., 2025; Kimura & Fujimoto, 2025).

Wnioski

Dostępne narzędzia internetowe do doboru pomp ciepła, oferowane głównie przez producentów, mają zazwyczaj charakter uproszczony i ograniczony do własnej oferty urządzeń. Nie uwzględniają one w pełni zmienności obciążenia cieplnego, lokalnych uwarunkowań klimatycznych ani aspektów ekonomicznych, a także nie umożliwiają porównania urządzeń różnych producentów oraz przeprowadzenia optymalizacji wielokryterialnej.

Jednocześnie zastosowanie modułowych budynków dworcowych pozwala na istotne ograniczenie zapotrzebowania na ciepło, głównie dzięki wysokiej izolacyjności przegród oraz zoptymalizowanej konstrukcji. W analizowanym przypadku zapotrzebowanie na energię do ogrzewania jest ponad dwukrotnie niższe niż w budynku tradycyjnym. Zmienny charakter użytkowania tych obiektów powoduje jednak znaczne wahania obciążenia cieplnego, co stawia wysokie wymagania w stosunku do systemów grzewczych oraz procesu ich doboru.

Rysunek 3. Okno dialogowe aplikacji PKPomp oraz blokowy schemat działania aplikacji. Źródło: opracowanie własne

Figure 3. PKPomp application dialog window and application operation flowchart. Source: authors' own study

Rysunek 4. Wynik obliczeń aplikacji dla wybranego budynku. Źródło: opracowanie własne

Figure 4. Application calculation results for the selected building. Source: authors' own study

Dopasowanie mocy		Najwyższy SCOP W35					
Producent	Model	Moc @ A-7W35 [kW]	Dopasowanie [%]	COP @ A-7W35	SCOP W35 (kat.)	SCOP W35 (skoryg.)	
Bosch	Bosch	2.42	99.2	2.42	4.25	4.46	
Bosch	Bosch	2.42	99.2	2.42	4.25	4.46	
Bosch	Bosch	2.42	99.2	2.42	4.25	4.46	
Bosch	Bosch	2.42	99.2	2.42	4.25	4.46	
Siemens	AirMaster 100	2.47	101.2	2.47	4.02	4.22	
Siemens	AirMaster 150	2.47	101.2	2.47	4.02	4.22	
Atlantic	Atlantic Extensa	2.59	106.1	2.59	4.46	4.68	
Bosch	Bosch	2.63	107.8	2.63	4.77	5.01	
Bosch	Bosch	2.63	107.8	2.63	4.77	5.01	
Bosch	Bosch	2.63	107.8	2.63	4.77	5.01	
Bosch	Bosch	2.63	107.8	2.63	4.77	5.01	
Atlantic	Atlantic Extensa	2.63	107.8	2.63	4.46	4.68	
Siemens	AirMaster 100	2.68	109.8	2.68	3.88	4.07	
Siemens	AirMaster 150	2.68	109.8	2.68	3.88	4.07	
Siemens	AirMaster 100	2.72	111.5	2.72	3.92	4.12	
Siemens	AirMaster 150	2.72	111.5	2.72	3.92	4.12	

Rysunek 5. Wynik działania programu w postaci listy pomp ciepła odpowiednich w przypadku danego budynku. Źródło: opracowanie własne

Figure 5. Program output in the form of a list of heat pumps suitable for the given building. Source: authors' own study

Istotnym czynnikiem wpływającym na pracę pomp ciepła są warunki klimatyczne. W chłodniejszych strefach klimatycznych obserwuje się spadek sezonowej efektywności urządzeń oraz wzrost zapotrzebowania na moc szczytową, co zwiększa ryzyko błędów projektowych przy stosowaniu uproszczonych metod doboru. Wpływ temperatury zewnętrznej na wartości współczynników COP i SCOP znajduje potwierdzenie w literaturze przedmiotu (Piechurski & Szulgowska-Zgrzywa, 2016; Ashton i in., 2025; Nyers, & Nyers, 2011).

W konsekwencji tradycyjne podejścia projektowe mogą prowadzić do przewymiarowania lub niedowymiarowania mocy źródła ciepła, skutkującego obniżeniem efektywności energetycznej oraz wzrostem kosztów eksploatacyjnych. Zastosowanie podejścia algorytmicznego umożliwia natomiast dokładniejsze dopasowanie urządzeń do rzeczywistych warunków pracy, z uwzględnieniem zarówno charakterystyki budynku, jak i uwarunkowań klimatycznych.

Opracowana aplikacja wpisuje się w aktualne kierunki badań dotyczące optymalizacji systemów HVAC, w których wykorzystywane są metody obliczeniowe i modele predykcyjne zmierzające do poprawy energetycznej oraz ekonomicznej efektywności systemów (Carter & De Kock, 2019; Kimura & Fujimoto, 2025; Girón Cruz i in., 2025). Dodatkową zaletą aplikacji jest wykorzystanie autorskiej bazy danych zawierającej rzeczywiste parametry techniczne i ceny urządzeń, co umożliwia rozszerzenie procesu doboru o analizę ekonomiczną i zwiększa jego praktyczną użyteczność.

Opracowane narzędzie PKPomp umożliwia półautomatyczny, powtarzalny i obiektywny dobór pomp ciepła, ograniczając ryzyko błędów projektowych oraz wspierając podejmowanie decyzji inwestycyjnych. Zaprezentowana metoda stanowi rozwinięcie istniejących podejść projektowych i może być z powodzeniem stosowana również w innych obiektach użyteczności publicznej o zmiennym profilu obciążenia cieplnego.

Podziękowania

Projekt współfinansowany ze środków polskiego Ministerstwa Edukacji i Nauki w ramach programu pn. Projekty Międzynarodowe Współfinansowane pt. *Zrównoważone i ekologiczne systemy kolejowe (akronim: FP – Rail4EARTH) realizowanego w ramach międzynarodowego programu HORYZONT EUROPA na podstawie umowy zawartej z organizacją międzynarodową lub podmiotem zagranicznym o nr 101101917.*

Bibliografia

- Ashton, R. W., Roberti, D., & Michael, S. (2025). Factors Influencing Heat Pump COP and SCOP with Defrost Cycles: An Economic Perspective. In *2025 International Conference on Sustainable Technology and Engineering (i-COSTE)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/i-COSTE68047.2025.11467546>
- Carter, T. E., & De Kock, J. A. (2019). Optimization of a residential heat pump system. In *2019 International Conference on*

the Domestic Use of Energy (DUE) (pp. 1-6). IEEE.

- Centrum Energii Odnawialnej. Kiedy pompa ciepła się opłaca? <https://ceo-odnawialna.pl/aktualnosci1/kiedy-pompa-ciepła-sie-opłaca> (Dostęp z 29.07.2026)
- ESC. (2017). EN 15316-4-2:2017-06 Charakterystyka energetyczna budynków — Metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło przez instalację i sprawności układu — Część 4-2: Źródła ciepła w pomieszczeniach, instalacje z pompami ciepła, moduły M3-8-2 i M8-8-2. *European Committee for Standardization*
- Girón Cruz, P. J., Rodriguez Santiago, J., Härtel, P., & Dobschinski, J. (2025). Combining Learning-Based Cop Proxies and Formal Optimization for Residential Heat Pump System Operation. In *International Conference on the European Energy Market 2025*. <https://doi.org/10.1109/EEM64765.2025.11050098>
- Kimura, R., & Fujimoto, Y. (2025). Optimization of the Coefficient of Performance in Heat Pump Systems and its Application to Climate Intervention. In *2025 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICM62621.2025.10934943>
- Nyers, J. M., & Nyers, Á. J. (2011). COP of heating-cooling system with heat pump. In *2011 IEEE 3rd International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources (EXPRES)* (pp. 17-21). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EXPRES.2011.5741809>
- Piechurski, K., & Szulgowska-Zgrzywa, M. (2016). Wpływ warunków klimatycznych i obciążenia cieplnego budynku na efektywność energetyczną pomp ciepła powietrze/woda z płynną regulacją mocy. *Rynek Instalacyjny*, (10), 21–26.
- PKN. (2017). PN-EN 12831-1:2017-08 Charakterystyka energetyczna budynków — Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego — Część 1: Obciążenie cieplne, Moduł M3-3. *Polski Komitet Normalizacyjny*
- PKN. (2022). PN-EN 14825:2022-11 Klimatyzatory, agregaty do chłodzenia cieczy oraz pompy ciepła ze sprężarkami napędzanymi elektrycznie, do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń — Badanie i ocena w warunkach częściowego obciążenia oraz obliczanie wydajności sezonowej. *Polski Komitet Normalizacyjny*
- PKN. (2023). PN-EN 14511-3:2023-02 Klimatyzatory, agregaty chłodzące ciecz i pompy ciepła do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń oraz agregaty procesowe, ze sprężarkami o napędzie elektrycznym — Część 3: Metody badań. *Polski Komitet Normalizacyjny*
- Politechnika Poznańska. (2024). *Opracowanie modeli BIM na poziomie LOD2 elementów stacji modułowej* (Raport D11.6). Raport wewnętrzny projektu FP4–Rail4EARTH, HORIZON-ER-JU-2022-FA4-01, umowa grantowa nr 101101917.
- Zubek, A. (2025). Sezon grzewczy w Polsce – kiedy się zaczyna, kończy i ile trwa? Silesion.pl. <https://silesion.pl/sezon-grzewczy-w-polsce-kiedy-sie-zaczyna-konczy-i-ile-trwa> (Dostęp z 29.07.2026)

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.*