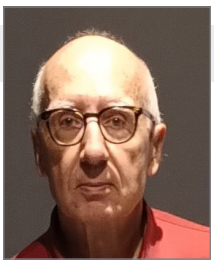
DOI: 10.65545/COW.2026.10.07



Analiza i ocena metod określania rzeczywistych oszczędności zużycia ciepła na potrzeby ogrzewania budynków

Analysis and evaluation of the methodology for determining actual heat savings for building heating purposes



Dr hab. inż. Paweł Michnikowski

Specjalista ds. rozliczania ciepła i wody
pawel.michnikowski@op.pl



Dr hab. inż. Tomasz Cholewa, prof. PL

ORCID ID: 0000-0002-5310-2508
Wydział Inżynierii Środowiska
i Energetyki
Politechnika Lubelska



Mgr inż. Piotr Szpryngiel

Almot-Eco Bis Sp. z o.o.



Mgr inż. Wojciech Ciejka

Stowarzyszenie Polskich Firm
Rozliczających Media

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, zużycie ciepła na potrzeby ogrzewania, oszczędności zużycia ciepła, metoda określania oszczędności

Streszczenie

Określenie oszczędności zużycia ciepła, dostarczanego na potrzeby ogrzewania budynku dzięki wykonaniu danego działania modernizacyjnego, jest istotną kwestią dla inwestora, jak i dostawcy danego systemu. W ramach niniejszego artykułu przedstawiono różne metody określania rzeczywistych oszczędności zużycia ciepła na potrzeby ogrzewania budynków na przykładzie wymiennikowni grupowej, w której został zastosowany system sterowania prognozowego ogrzewaniem.

Keywords: energy efficiency, heat consumption for heating purposes, energy savings, method for determining energy savings

Abstract

Determining the heat savings achieved through a specific modernization measure is a key issue for both the investor and the system provider. This article presents various methods for calculating actual heat savings for heating of building, using the example of a group heat substation where a predictive heating control system was implemented.

Wstęp

Zwiększenie efektywności energetycznej istniejących budynków jest istotną kwestią na potrzeby zmniejszenia poziomu energii końcowej i następnie osiągnięcia neutralności węglowej. Dostępnych jest na rynku wiele możliwości w tym zakresie (Cholewa i in., 2022). Przykładowe działania zwiększające efektywność energetyczną w istniejącym budynku użyteczności publicznej zostały pokazane przez Jerominko i Cichowicz (2025). Z kolei Amanowicz i in. (2023) pokazali szczegółowo możliwości zwiększenia efektywności energetycznej w zakresie systemów wentylacji również przy uwzględnieniu potrzeby zachowania parametrów jakości środowiska w różnych typach budynków (Ratajczak i in., 2023). Dalsze etapy ukierunkowane na osiągnięcie neutralności węglowej istniejących budynków zostały przedstawione w formie pokazania możliwości integracji odnawialnych źródeł energii przez Skwarczyński i in. (2025) czy też hybrydowych węzłów cieplnych (Trzciński i Turski, 2026). Jednak nadal są pewne bariery w zakresie wdrażania rozwiązań w zakresie efektywności energetycznej między innymi z uwagi na obawy odnośnie metod określania rzeczywistych oszczędności zużycia ciepła na potrzeby ogrzewania budynków. Z tej przyczyny w niniejszym artykule postanowiono omówić ten temat na przykładzie metody określania rzeczywistych oszczędności zużycia ciepła na potrzeby ogrzewania budynków.

Określenie warunków brzegowych kalkulacji oszczędności ciepła dostarczanego przez system ogrzewania

W celu określenia oszczędności w zakresie zużycia ciepła wynikających z przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, które wpływa na ilość ciepła dostarczanego do systemu

ogrzewania danego budynku, konieczna jest standaryzacja warunków meteorologicznych porównywanych sezonów ogrzewczych lub okresów rozliczeniowych. Często, gdy inwestycja została wprowadzona w trakcie trwania sezonu ogrzewczego, konieczne jest porównanie kolejnych miesięcy przed i po jej wprowadzeniu.

Metoda określania oszczędności po zabiegu termomodernizacyjnym wymaga zgromadzenia danych dotyczących zużycia ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania z okresu przed interesującą nas inwestycją. Należy pamiętać, że zakres czasu przed inwestycją to okres po przeprowadzeniu ostatnich kompleksowych działań termomodernizacyjnych. Dane mogą być gromadzone w dwóch trybach: (1) w układzie rocznym – w przypadku przeprowadzenia inwestycji przed rozpoczęciem sezonu ogrzewczego, lub (2) w układzie miesięcznym – poprzez zestawienie analogicznych miesięcy z lat poprzedzających inwestycje, jeśli termomodernizacja została dokonana w trakcie trwania sezonu ogrzewczego. W celu umożliwienia porównania wyników pomiędzy poszczególnymi, różniącymi się sezonami ogrzewczymi, zgromadzone dane muszą zostać zobiektywizowane z uwzględnieniem różnic w liczbie stopniodni. Do realizacji tego zadania stosuje się wskaźnik będący ilorazem zużycia ciepła i liczby stopniodni (GJ/STD). Zastosowanie tego wskaźnika wymaga zdefiniowania tzw. metody stopniodni. Jednostka *stopniodni ogrzewania* informuje, jak bardzo (w stopniach) i jak długo (w dniach) temperatura panująca na zewnątrz w danym roku była niższa niż przyjęta *temperatura bazowa* budynku np. 15°C, 18°C czy nawet temperatura projektowa 20°C. Ze względu na fakt, że do ogrzania budynku do danej temperatury wewnętrznej wykorzystywane jest ciepło dostarczone ze źródeł zewnętrznych oraz ciepło pochodzące z zysków ciepła, w przypadku temperatury otoczenia wyższej niż temperatura bazowa charakterystyczna dla danego budynku, zakłada się, że począwszy od dnia osiągnięcia tej temperatury w otoczeniu budynku, nie jest wymagana dostawa ciepła ze źródeł zewnętrznych.

Temperatura bazowa, inaczej zwana *temperaturą punktu równowagi* lub *temperaturą granicy ogrzewania*, jest to wartość temperatury powietrza w otoczeniu budynku, w której chwilowe zapotrzebowanie na ciepło dostarczone przez instalację centralnego ogrzewania do budynku wynosi zero, tzn. straty ciepła przez przenikanie i wentylację są w całości pokrywane przez zyski ciepła pochodzące z nasłonecznienia, źródeł wewnętrznych oraz antropogenicznych.

Mając powyższe na uwadze, można obliczyć liczbę stopniodni korzystając z Równania (1).

$$SD = z_0(t_i - t_{me}) \quad (1)$$

gdzie:
- SD – liczba stopniodni okresu ogrzewania, (K·dzień)/rok,
- z_0 – liczba dni sezonu ogrzewczego w roku, dzień/rok,
- t_i – projektowa temperatura wewnętrzna lub temperatura bazowa (temperatura granicy ogrzewania), °C,
- t_{me} – średnia temperatura powietrza zewnętrznego w danym okresie, °C.

Praktyczne zastosowanie standaryzacji zużycia ciepła przedstawiono na przykładzie obliczenia oszczędności zużycia ciepła na potrzeby ogrzewania dzięki montażowi układu sterowania prognozowego ogrzewaniem forHeat (Cholewa i Siuta-Olcha, 2022a; Cholewa i Siuta-Olcha, 2022b). Układ automatyki prognostycznej centralnego ogrzewania systemu ForHeat jest sterowaniem układu zasilania grzejników w budynkach wielorodzinnych czy też użyteczności publicznej, polegającym na doborze odpowiedniej temperatury zasilania grzejników w funkcji wielu parametrów, w szczególności temperatury zewnętrznej oraz prognozowanych zmian innych warunków meteorologicznych. Układ ten różni się od klasycznej, nadążnej automatyki pogodowej tym, że jest układem działającym z wyprzedzeniem wyłącznie w przypadku prognozowanego wzrostu temperatury zewnętrznej. Dzięki wcześniejszemu obniżeniu temperatury zasilania grzejników system zapobiega przegrzewaniu pomieszczeń w okresach ocieplenia, co pozwala uzyskać znaczące oszczędności w zakresie ciepła dostarczanego do systemu ogrzewania. W przypadku spadku temperatury zewnętrznej, układ działa jak klasyczna automatyka pogodowa, reagując dopiero na faktyczną zmianę warunków zewnętrznych.

Kluczową informacją służącą do oceny skuteczności układu forHeat jest wielkość uzyskanych oszczędności po jego montażu. Określa się je w stosunku do okresu przed montażem, w przedziałach miesięcznych (układ zamontowany w trakcie sezonu ogrzewczego) lub rocznych, które są okresami odniesienia (referencyjnymi) do wyznaczania oszczędności. W celu określenia zużycia ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania przed zamontowaniem układu systemu forHeat, bierze się pod uwagę miesiące lub lata po ostatniej kompleksowej termomodernizacji budynku, polegającej na: wymianie lub modernizacji źródła ciepła (w tym także węzła ciepłowniczego), zwiększeniu izolacji cieplnej obudowy budynku lub kompleksowej wymianie stolarki okiennej. Wskazane działania termomodernizacyjne nazywa się często w literaturze przedmiotu *kompleksowym działaniem podnoszącym efektywność energetyczną budynku*. W ramach tego określenia nie uwzględnia się drobnych prac modernizacyjnych takich jak: pojedyncze wymiany okien, zmniejszone powierzchnie grzejników na klatkach schodowych, indywidualne przeróbki instalacji wewnętrznej w lokalach obejmujące np. wymianę grzejników lub zmianę liczby użytkowników instalacji centralnego ogrzewania.

W ramach niniejszego artykułu wykorzystanie narzędzia standaryzacji zużycia ciepła na cele ogrzewania przedstawiono na przykładzie wieloletnich danych z węzła grupowego w Spółdzielni Mieszkaniowej w województwie wielkopolskim. W Tabeli 1 przedstawiono, w rozbiciu na poszczególne miesiące oraz pełne sezony ogrzewcze w okresie 2016–2026, następujące dane:
- zużycie ciepła na potrzeby ogrzewania,
- długość sezonu ogrzewczego w dniach,
- temperatury bazowe obliczone w oparciu o metodę zaczerpniętą z (Michnikowski, 2025) oraz (Michnikowski i Cholewa, 2021),
- liczbę stopniodni obliczoną wg Równania 1 po przyjęciu temperatur: t_i = 12,71°C oraz zmierzonych średnich wartości temperatury zewnętrznej t_me.

Tabela 1. Dane dotyczące zużycia ciepła w analizowanym węźle grupowym w okresie 2016–2026. Źródło: opracowanie własne
Table 1. Data on heat consumption for analyzed group substation for the period 2016–2026. Source: authors' own study

2016/2017	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie	0	324	594	692	880	682	396	300	82	3950	03.10.2016-15.05.2017
temp. śr	0,00	7,97	3,18	1,62	-2,86	0,70	6,62	7,63	10,85	3,990133929	
ilość dni	0	28	30	31	31	28	31	30	15	224	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa	0,00	13,34	12,55	12,18	10,57	12,22	12,66	12,36	13,44	12,33	2,022270575
STD	0,00	135,52	285,90	343,79	482,67	336,28	188,79	152,40	27,90	1953,25	
2017/2018	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie	43	232	502	622	753	759	695	110	0	3716	18.09.2017-09.04.2018
temp. śr	12,51	6,70	5,33	2,70	2,53	-2,48	0,98	9,59	0,00	3,581773399	
ilość dni	12	31	30	31	31	28	31	9	0	203	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa	14,20	10,24	13,24	12,19	14,02	10,34	11,58	15,37	0,00	12,24	2,005364187
STD	2,40	186,31	221,40	310,31	315,58	425,32	363,63	28,08	0,00	1853,03	
2018/2019	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie	0	266	458	704	854	570	443	213	129	3637	01.10.2018-23.04.2019
temp. śr	23,00	10,67	5,11	3,00	-0,09	3,21	6,37	9,41	9,01	5,580580357	29.04.2019-17.05.2019
ilość dni	0	31	30	31	31	28	31	25	17	224	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa	0,00	14,73	12,33	13,74	12,94	12,84	13,13	13,44	12,60	13,26	2,277409376
STD	0,00	63,24	228,00	301,01	396,80	266,00	196,54	82,50	62,90	1596,99	
2019/2020	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie	35	225	447	644	677	519	503	234	87	3371	23.09.2019-26.04.2020
temp. śr	14,24	10,66	6,73	3,68	2,85	5,05	5,02	8,64	10,78	6,64777417	01.05.2020-14.05.2020
ilość dni	9	31	30	31	31	28	31	26	14	231	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa	16,08	14,09	13,78	13,51	13,18	13,82	12,69	12,90	13,72	13,55	2,407213786
STD	-13,77	63,55	179,40	279,93	305,66	214,48	238,39	105,71	27,02	1400,37	
2020/2021	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie	27	266	528	648	771	777	604	398	96	4115	28.09.2020-10.05.2021
temp. śr	12,78	11,04	5,99	2,66	-0,25	-0,35	4,16	6,42	9,77	4,642000	
ilość dni	3	31	30	31	31	28	31	30	10	225	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa	17,04	15,10	14,31	12,55	11,51	12,78	13,38	12,70	14,31	13,29	2,266842946
STD	-0,21	51,77	201,60	311,55	401,76	365,68	265,05	188,70	29,40	1815,30	
2021/2022	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie	57	250	424	698	621	504	467	225	5	3251	20.09.2021-01.05.2022
temp. śr	13,90	10,01	5,50	0,48	2,01	4,37	4,10	7,62	11,87	5,297892377	
ilość dni	10	31	30	31	31	28	31	30	1	223	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa	16,60	13,82	12,18	11,13	11,49	12,88	11,23	11,17	14,23	12,19	1,966846149
STD	-11,90	83,70	216,30	379,13	331,70	233,52	266,91	152,70	0,84	1652,90	
2022/2023	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie	81	190	445	666	554	528	438	273	40	3215	19.09.2022-09.05.2023
temp. śr	9,84	11,70	4,76	1,52	3,45	2,43	5,04	7,67	10,64	5,680818966	
ilość dni	11	31	30	31	31	28	31	30	9	232	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa	13,32	14,60	11,78	11,68	11,90	11,35	11,72	11,97	12,74	12,24	1,971461334
STD	31,57	31,31	238,50	346,89	287,06	287,84	237,77	151,20	18,63	1630,77	
2023/2024	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie		151	423	551	695	383	303	184	0	2690	09.10.2023-29.04.2024
temp. śr		10,52	5,19	2,86	0,65	6,75	8,17	11,03	0,00	6,228168317	
ilość dni		22	30	31	31	28	31	29	0	202	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa		13,77	11,86	11,27	11,25	13,22	12,79	14,03	0,00	12,53	2,054485882
STD		0,00	48,18	225,60	305,35	373,86	166,88	140,74	48,72	0,00	1309,33
2024/2025	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie	0	207	448	596	623	608	338	158	85	3063	30.09.2024-12.05.2025
temp. śr	8,54	11,22	4,34	2,84	2,38	-0,27	5,83	11,35	11,16	5,967564103	17.05.2025-26.05.2025
ilość dni	1	3	30	31	31	28	31	30	21	234	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa	8,54	14,38	11,40	11,93	11,89	10,00	10,99	13,84	13,07	12,16	1,941396817
STD	4,17	46,19	151,10	305,97	320,25	363,44	213,28	40,80	32,55	1577,73	
2025/2026	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	dane roczne	długość okresu rozl.
zużycie	41	257	490	580	793	682	296	215	21	3375	22.09.2025-08.05.2026
temp. śr	11,13	9,33	4,22	2,13	-2,21	0,06	6,74	8,30	14,52	4,722815789	
ilość dni	8	31	30	31	31	28	31	30	8	228	wskaźnik zużycie /STD
temp.bazowa	13,55	13,25	11,95	10,98	9,89	11,58	11,26	11,69	15,76	11,73	1,854691132
STD	12,64	104,78	254,70	327,98	462,52	354,20	185,07	132,30	-14,48	1819,71	

Przyjęto do analizy wspomniany wcześniej węzeł grupowy zasilający w ciepło 8 budynków wielorodzinnych o projektowym obciążeniu cieplnym oraz powierzchniach przedstawionych w Tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie budynków wielorodzinnych zasilanych z węzła grupowego. Źródło: opracowanie własne
Table 2. List of multi-family buildings supplied from a group substation. Source: authors' own study

L.p.	Budynek	Obciążenie cieplne, W	Powierzchnia, m²
1	A	104679	1387
2	B	125894	1800
3	C	82991	1064
4	D	129400	1800
5	E	88770	1200
6	F	91763	1200
7	G	125650	1732
8	H	180713	2331
Suma		929860	12514
średnia jednostkowa w W/m²			74,3055

Na Rysunku 1 przedstawiono zależność rzeczywistego zużycia ciepła od liczby stopniodni (STD_{20}) dla sezonów ogrzewczych, w okresie od 2016/2017 do 2023/2024. Na wykresie nie ujęto okresów 2024/2025 i 2025/2026, ponieważ montaż układu sterowania forHeat przeprowadzony był w lutym 2025, co mogło zafałszować przebieg charakterystyki zużycia w tym okresie. Do obliczeń przyjęto sumaryczne projektowe obciążenie cieplne analizowanego węzła grupowego wynoszące $\dot{Q}$ = 929860 W. Dodatkowo na Rysunku 1 ujęto korelację teoretycznego zużycia Q_{teor} od liczby stopniodni (STD_{20}), przy takiej samej liczbie stopniodni danego sezonu ogrzewczego. Teoretyczne (prognozowane) zużycie ciepła wyznaczono w oparciu o Równanie 2 lub podstawiając zależność na liczbę stopniodni – Równanie 3.

$$Q_{teor} = \frac{(t_i - t_{me})}{(t_i - t_{oe})} \cdot \dot{Q} \cdot 10^{-3} \cdot z_0 \cdot 24 \cdot 0{,}0036 \quad GJ \qquad (2)$$

$$Q_{teor} = \frac{STD_{20}}{(t_i - t_{oe})} \cdot \dot{Q} \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 0{,}0036 \quad GJ \qquad (3)$$

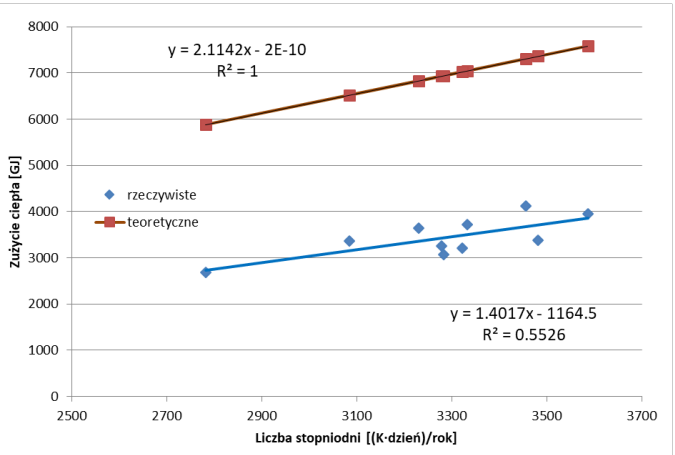
gdzie:

t_{oe} – temperatura obliczeniowa zewnętrzna dla strefy klimatycznej posadowienia obiektu badań, dla II strefy t_{oe} = −18°C ,

$\dot{Q}$ – projektowe obciążenie cieplne, W,

STD_{20} – liczba stopniodni dla temperatury bazowej t_b = 20°C, (K·dzień)/rok.

Analizując Rysunek 1 zastanawia duża rozbieżność pomiędzy teoretycznym a rzeczywistym zużyciem ciepła dla badanego węzła grupowego, mimo tej samej liczbie stopniodni, która wynosi prawie 100%. Teoretyczne zużycie ciepła zostało obliczone przy uwzględnieniu temperatury bazowej t_{b20} = 20°C, średniej temperatury zewnętrznej sezonu ogrzewczego i rzeczywistej długości sezonu ogrzewczego. Warto wspomnieć, że w przypadku rzeczywistego zużycia ciepła, przy tej samej liczbie dni sezonu ogrzewczego, budynki zasilane ze źródła zewnętrznego musiały być ogrzewane do niższej temperatury a powyżej tej temperatury, budynek ogrzewany był przez ciepło z zysków wewnętrznych i nasłonecznienia. Zatem temperatura bazowa, począwszy od której nie trzeba dostarczać do budynku ciepła ze źródeł zewnętrznych, musiała wynosić zdecydowanie mniej niż przyjęta do wstępnych obliczeń 20°C. Z tej przyczyny teoretyczne zużycie ciepła nie jest tożsame z zapotrzebowaniem na ciepło, ponieważ zapotrzebowanie jest prognozą ilości ciepła dostarczonego ze wszystkich źródeł, konieczną do utrzymania projektowej temperatury pomieszczeń w standardowym sezonie ogrzewczym. Teoretyczne zużycie ciepła jest natomiast obliczonym strumieniem ciepła ze źródeł zewnętrznych, w bieżącym sezonie ogrzewczym, przy uwzględnieniu wszystkich zysków ciepła.

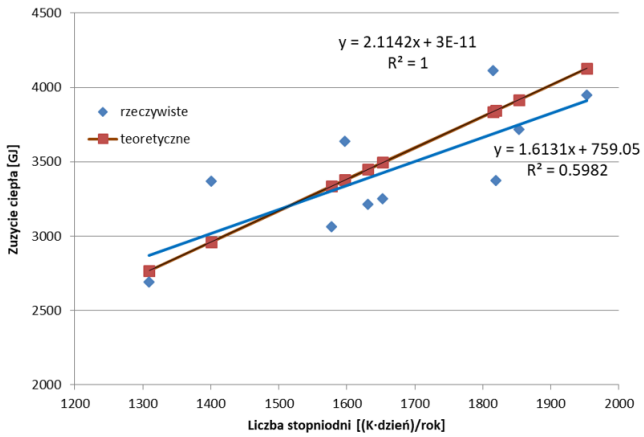


Rysunek 1. Korelacji pomiędzy liczbą stopniodni dla temperatury bazowej 20°C oraz zapotrzebowania ciepła i rzeczywistego zużycia dla badanego węzła. Źródło: opracowanie własne
Figure 1. Correlation between the number of degree-days (based on a 20°C reference temperature) and both the heat demand and actual heat consumption for the studied heat substation. Source: authors' own study

W odniesieniu do węzła grupowego, dla sezonów z okresu 2016–2024 (Tabela 1), wyznaczono temperatury bazowe metodą opisaną w (Michnikowski, 2025) oraz (Michnikowski i Cholewa, 2021). Wynosi ona dla wszystkich analizowanych sezonów średnio t_b = 12,71°C. Temperaturę tą przyjęto jako średnią bazową dla 8 sezonów ogrzewczych obejmujących okres 2016–2024. Graficzny obraz obu zależności, tj. prognozowanego oraz rzeczywistego zużycia ciepła od liczby stopniodni, przedstawiono na Rysunku 2, przy przyjęciu do obliczeń średniej temperatury bazowej dla wszystkich analizowanych sezonów równej t_b = 12,71°C.

Jak wynika z przedstawionej analizy, przyjęcie do zależności na liczbę stopniodni temperatury bazowej obliczonej wcześniej w oparciu o (Michnikowski, 2025) oraz (Michnikowski i Cholewa, 2021), zamiast przyjmowanych arbitralnie wartości 20°C lub 18°C, powoduje lepszą estymację rzeczywistego zużycia ciepła przez jego teoretyczną prognozę. Przyjęcie w kalkulacji liczby stopniodni wartości 20°C sprawdza się tylko w przypadku obliczania zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynku, jeżeli prognoza ma obejmować strumień ciepła ze wszystkich źródeł do zapewnienia temperatury projektowej w pomieszczeniach budynków mieszkalnych lub użyteczności publicznej. W prognozach dotyczących ilości ciepła ze źródeł zewnętrznych zdecydowanie lepsze odwzorowanie uzyskuje się stosując rzeczywiste wartości temperatury

bazowej, które lepiej charakteryzują zakończony sezon ogrzewczy pod względem profilu użytkowania i jakości regulacji automatyki centralnej i miejscowej.



Rysunek 2. Wykres korelacji pomiędzy liczbą stopniodni dla temperatury bazowej 12,71°C oraz teoretycznego i rzeczywistego zużycia ciepła dla badanego węzła. Źródło: opracowanie własne
Figure 2. Correlation plot between the number of degree-days (based on a 12.71°C base temperature) and the theoretical and actual heat consumption for the analyzed heating node. Source: authors' own study

Przegląd stosowanych metod

W tej części artykułu przytoczono stosowane aktualne metody służące do wyznaczania efektywności energetycznej poszczególnych zabiegów termomodernizacyjnych wpływających na ilość ciepła dostarczanego przez system ogrzewania, w celu wykazania ich skuteczności i zasadności ich stosowania.

Metoda obliczania wartości referencyjnych

W przypadku zużycia ciepła wartość referencyjna jest obliczana na podstawie uśrednionego dla okresu trzech lat kalendarzowych, standaryzowanego zużycia energii wyrażonego w jednostce zużycia (j.z) przypadającego na (K·d) (liczba stopniodni ogrzewania, z temperaturą bazowa przyjęta w granicach 10°C–20°C, w zależności od charakterystyki energetycznej budynku). Obliczanie wartości referencyjnych prowadzone jest na podstawie poniższych wzorów określonych dla okresu ogrzewczego, znanego odbiorcy ciepła, w następujących po sobie trzech krokach:

Krok 1: Obliczenie standaryzowanego zużycia ciepła dla 3 kolejnych lat poprzedzających pierwszy rok realizacji projektu – Równanie 4.

$$\frac{zużycie\ energii\ zmierzone\ dla\ danego\ roku, j.z}{roczna\ liczba\ stopniodni\ grzania, K \cdot d = zużycie\ odniesione\ do\ (K \cdot d),\ j.z./(K \cdot d)} \quad (4)$$

Krok 2: Obliczenie średniej arytmetycznej z powyższych wartości w celu otrzymania uśrednionego, standaryzowanego zużycia energii – Równanie 5.

$$\frac{\begin{array}{c} zużycie\ odniesione\ do\ (K \cdot d)\ w\ roku\ 1 + \\ zużycie\ odniesione\ do\ (K \cdot d)\ w\ roku\ 2 + \\ zużycie\ odniesione\ do\ (K \cdot d)\ w\ roku\ 3 \end{array}}{3} \quad (5)$$

Krok 3: Obliczenie wartości referencyjnej (zużycia referencyjnego), do którego będzie porównywane rzeczywiste zużycie w roku A (pierwszy rok realizacji inwestycji projektu) – Równanie 6.

$$\begin{array}{c} Liczba\ stopniodni\ ogrzewania\ dla\ roku\ A, K \cdot d \\ * uśrednione\ dla\ trzech\ lat, standaryzowane\ zużycie\ ciepła, j.z\ /K \cdot d \\ = Zużycie\ referencyjne, j.z. \end{array} \quad (6)$$

Krok 4: Obliczenie oszczędności energii w danym roku realizacji projektu – Równanie 7.

$$\begin{array}{c} Zużycie\ referencyjne\ -\ zużycie\ rzeczywiste = \\ ilość\ zaoszczędzonej\ energii \end{array} \quad (7)$$

<u>Obliczenie oszczędności dla rzeczywistych danych wg metody wartości referencyjnych</u>

W celu zobrazowania tej metody dokonano obliczenia oszczędności wykorzystując rzeczywiste dane zawarte w Tabeli 1. Ponieważ opisywany wcześniej system sterowania forHeat montowany był w lutym 2025 roku, to w analizie pominięto sezon 2024/2025 i określono oszczędności dla pełnego sezonu 2025/2026 w stosunku do okresu trzech sezonów ogrzewania: 2021/2022, 2022/2023 i 2023/2024. Do analizy wzięto pod uwagę dane z poszczególnych lat w okresie 2016 do 2026, dotyczące miesięcznego i rocznego zużycia ciepła, średnich wartości temperatury zewnętrznej, ilości dni ogrzewczych, stopniodni wyrażonych w STD, $K \cdot d$, znajdujące się w Tabeli 1.

Następnie wykonano cztery kroki opisane wcześniej, jednak Krok 1 pominięto, gdyż w Tabeli 1 zawarto już tzw. wskaźnik zużycia, wyrażony w *j.z./°C dzień*.

W Kroku 2 obliczono średniej wartości z ostatnich 3 lat przed realizacją inwestycji 2021/2022, 2022/2023, 2023/2024 (nie wzięto pod uwagę sezonu 2024/2025, gdyż montaż układu forHeat nastąpił w lutym 2025):

$$\frac{1{,}9668 + 1{,}9714 + 2{,}0544}{3} = 1{,}9975\ [j.z./(K \cdot d)]$$

W Kroku 3 określono wartość referencyjną zużycia dla stopniodni ogrzewania w okresie 2025/2026:

$$1819{,}71\ K \cdot d * 1{,}9975\ j.z./(K \cdot d) = 3634{,}87 j.z.$$

przy czym w tym przypadku symbol j.z. oznacza GJ.

W Kroku 4 obliczono oszczędności dla sezonu 2025/26 (różnica wartości zużycia referencyjnego z Kroku 3 i rzeczywistego wynikającego z bieżącego pomiaru):

$$3634{,}87 - 3375 = 259{,}87\ GJ \text{ czyli } 7{,}15\ \%$$

A analizach warto również sprawdzić, jakich oszczędności można oczekiwać hipotetycznie w przypadku dokładnie takich samych parametrów zużycia i warunków meteorologicznych w następnym sezonie ogrzewczym 2026/2027. Ponieważ dane pochodzą z tego samego okresu co w przypadku sezonów 2021/2022, 2022/2023 i 2023/2024, to wartość referencyjna zużycia dla stopniodni ogrzewania także wynosi 3634,87 GJ, a zużycie z sezonu 2026/2027 jest takie samo jak 2025/2026 wynosi 3375 GJ, zatem oszczędności wynoszą 7,15 % – czyli przeliczając na fizyczne jednostki zużycia 259,87 GJ.

Korzystając z faktu, że w okresie przedstawionym w Tabeli 1, czyli od 2016 roku, nie były prowadzone

w analizowanym węźle grupowym oraz w zasilanych z niego budynkach wielorodzinnych żadne działania modernizacyjne, dla średniej wg kroku 2 przyjęto okres od 2016 do 2024. Podstawiając odpowiednie dane do algorytmu wg metody zużycia referencyjnego, oszczędność energii w sezonie 2025/2026 w stosunku do ośmiu sezonów ogrzewczych od 2016 do 2024 wynosi 485,49 GJ, czyli 12,57%.

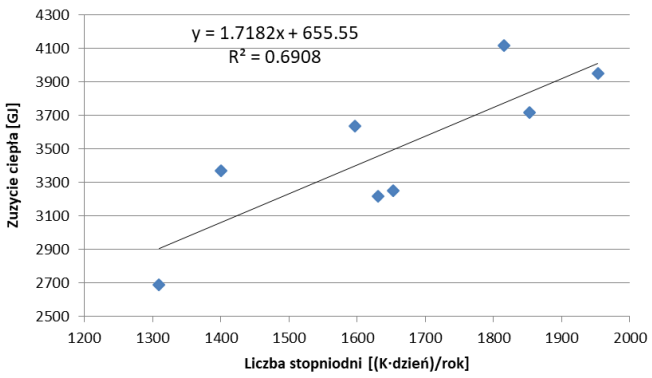
Metoda funkcji regresji

Sposób obliczania oszczędności wg niniejszej metody wchodzi w skład powszechnie stosowanego zestawu norm znanego jako Międzynarodowy Protokół Pomiaru i Weryfikacji Efektywności (ang. International performance measurement and verification protocol, IPMVP). Polega on na sporządzeniu graficznego obrazu zależności zużycia ciepła od liczby stopniodni dla okresu przed przeprowadzeniem inwestycji. Powyższa zależność służy do odczytania zużycia ciepła dla liczby stopniodni sezonu bezpośrednio po przeprowadzonej inwestycji. Ten sposób określenia oszczędności zostanie zaprezentowany dla rzeczywistych danych pochodzących z Tabeli 1.

Obliczenie oszczędności dla rzeczywistych danych wg metody funkcji regresji

Analogicznie jak w poprzednim przykładzie, na podstawie danych zawartych w Tabeli 1, oceniono oszczędności po zamontowaniu w węźle grupowym w lutym 2025 roku układu sterowania prognozowego forHeat. Analizy dokonano dla dwóch wariantów: rocznego, w przypadku inwestycji po sezonie ogrzewczym, oraz miesięcznego, dla inwestycji w trakcie sezonu ogrzewczego.

Funkcję regresji sporządzono na bazie danych dotyczących liczby stopniodni grzania i odpowiadających im wartości zużycia ciepła na potrzeby układu centralnego ogrzewania uwzględniając wszystkie 8 pełnych okresów ogrzewczych, czyli 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023 oraz 2023/2024, przed montażem układu forHeat. Wykres obrazujący zależność między zużyciem ciepła a liczbą stopniodni w poszczególnych sezonach ogrzewczych w okresie przed montażem układu forHeat przedstawiono na Rysunku 3.



Rysunek 3. Graficzne przedstawienie zależności zużycia ciepła od liczby stopniodni w okresie poprzedzającym montaż układu forHeat. Źródło: opracowanie własne
Figure 3. Graphical representation of the relationship between heat consumption and the number of degree-days during the period preceding the installation of the forHeat system. Source: authors' own study

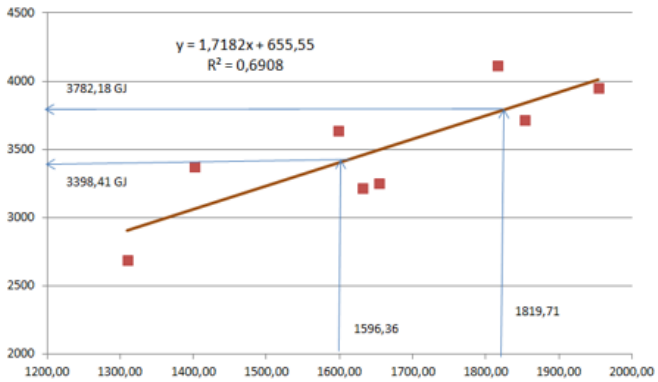
Oszczędności określono podstawiając w miejsce „x" w równaniu prostej regresji (Równanie 8) liczbę stopniodni sezonu 2025/2026 wynoszącą x = 1819,71 (patrz Tabela 1).

$$y = 1{,}7182x + 655{,}55 \quad (8)$$

Z powyższego równania wyznaczono tzw. zużycie bazowe, które wystąpiłoby, gdyby nie przeprowadzono montażu układu forHeat. Wynosiło ono **3782,18 GJ**. Dzięki zamontowaniu w miejsce klasycznego regulatora pogodowego sterownika forHeat, rzeczywiste zużycie ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania w analizowanym węźle grupowym wyniosło **3375 GJ** czyli mniej o **407,18 GJ**, co stanowiło zmniejszenie zużycia ciepła o **10,77%**.

Wadą tego wariantu jest kompilacja dwóch trybów: prognozowanego zużycia ciepła odczytanego z prostej regresji otrzymanej z analizy statystycznej i zużycia z rzeczywistego pomiaru.

Innym wariantem, który opiera się na równoprawnych analizach statystycznych, jest, zamiast rzeczywistego pomiaru, odczytanie zużycia ciepła z prostej regresji, dla niższej liczby stopniodni dla sezonu 2025/2026, co wynika z niższej niż średnia temperatura bazowa t_b = 12,71°C przyjętej do obliczeń. Mianowicie, jak wynika z Tabeli 1, temperatura bazowa dla sezonu 2025/2026, dzięki optymalnej regulacji pracy węzła wyposażonego w układ prognostyczny forHeat, spadła do wartości $t_{b2025/2026}$ = 11,73°C, co przyczyniło się do spadku liczby stopniodni do poziomy 1596,36 K·d. Graficzny sposób wyznaczenia zużycia ciepła dla pierwszego, pełnego sezonu z układem forHeat przedstawiono na Rysunku 4.

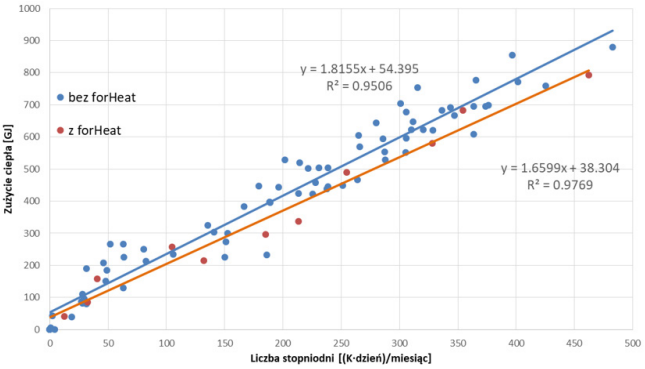


Rysunek 4. Graficzny opis wyznaczenia oszczędności zużycia ciepła dla metody prostej regresji. Źródło: opracowanie własne
Figure 4. Graphical representation of the determination of energy savings for the simple regression methodology. Source: authors' own study

Analogicznie jak w poprzednim przykładzie zużycie ciepła dla liczby stopniodni 1819,16 wynosiło 3782,18 GJ, a odczytane z tej samej prostej regresji zużycie ciepła dla niższej wartości liczby stopniodni równej 1596,36 K·d wynosło 3398,36 GJ. Oszczędność zużycia ciepła w stosunku do sezonów bez układu forHeat stanowiła różnicę pomiędzy obiema wartościami i wyniosła **383,77 GJ**, czyli **10,15 %**.

W przypadku inwestycji przeprowadzonej w trakcie sezonu ogrzewczego, przedstawiono kalkulację dla metody funkcji regresji dla danych z poszczególnych miesięcy okresu przed montażem i porównywalnego sezonu 2025/2026. W sposobie tym przyjęto do obliczeń także część sezonu 2024/2025, ponieważ montaż układu

forHeat nastąpił w lutym sezonu 2024/2025 (zacieniowany obszar w Tabeli 1). Na rysunku 5 przedstawiono wykres zależności miesięcznych zużyć ciepła w funkcji liczby stopniodni.



Rysunek 5. Zależność zużycia ciepła od liczby stopniodni dla poszczególnych miesięcy przed i po montażu systemu forHeat. Źródło: opracowanie własne
Figure 5. Dependence ofheat consumption on the number of degree-days for individual months before and after the installation of the forHeat system. Source: authors' own study

W tym przypadku, w celu określenia oszczędności w zużyciu ciepła na ogrzewanie, należało do równania prostej regresji zależności zużycia ciepła od liczby stopniodni przed montażem forHeat (prosta koloru niebieskiego na Rysunku 5), podstawiać liczbę stopniodni każdego miesiąca przed montażem. Pozwoliło to na określenie zużycia bazowego dla miesięcy przed montażem. Następnie do równania prostej regresji po montażu (prosta koloru jasnobrązowego na Rysunku 5) należało podstawić liczbę stopniodni dla każdego miesiąca po montażu. Następnie obliczono różnicę dla każdego miesiąca pomiędzy zużyciem bazowym (przed modernizacją) i rzeczywistym (po modernizacji). Ostatnim etapem określenia oszczędności było zsumowanie różnic dla każdego miesiąca, czyli odległość prostej niebieskiej od jasnobrązowej. W analizowanym przykładzie roczna różnica w zużyciu ciepła na potrzeby ogrzewania w analizowanym węźle grupowym wyniosła **427,92 GJ** czyli **11,28%** oszczędności.

W przypadku wszystkich wariantów obliczania oszczędności za pomocą funkcji regresji, w następnym sezonie 2026/2027, przy takich samych parametrach zużycia ciepła i liczby stopniodni jak sezonie 2025/2026, hipotetyczny poziom oszczędności nie zmieni się.

Metoda linii trendu

Metoda linii trendu wymaga zgromadzenia analogicznych danych jak w poprzednich metodach, czyli zużycia ciepła oraz liczbę stopniodni przed i po zamontowaniu układu prognostycznego forHeat. W zakresie tej metody konieczny jest tylko określenie wskaźnika zużycie/STD, tj. ilorazu zużycia i liczby stopniodni odpowiadającej okresowi zużycia. W Tabeli 1 został on już określony w dolnym, prawym narożniku w odniesieniu do odpowiedniego okresu.

Obliczenie oszczędności dla rzeczywistych danych wg metody linii trendu

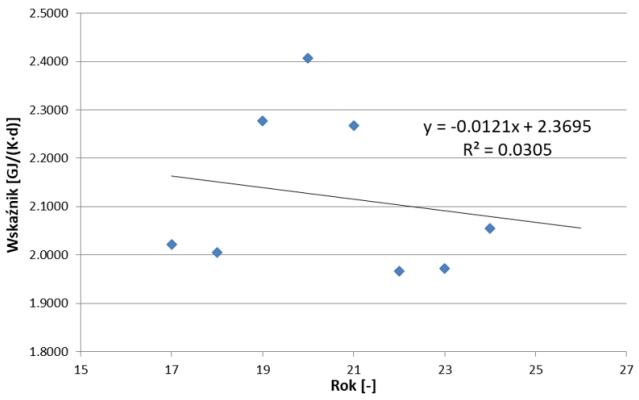
Poniżej zaprezentowano algorytm wyznaczania oszczędności po pełnych sezonach ogrzewczych (układ ForHeat montowany przed pełnym sezonem ogrzewczym 2025/2026). Dla ułatwienia analizy, w Tabeli 3 podano tylko te dane z okresu 2016–2024, które pozwolą na obliczenie oszczędności metodą linii trendu dla sezonu 2025/2026, po zamontowaniu układu forHeat.

Tabela 3. Dane o zużyciu ciepła na potrzeby ogrzewania w pełnych sezonach w okresie 2016–2024. Źródło: opracowanie własne
Table 3. Data on heat consumption for heating purposes during full seasons in the 2016–2024 period. Source: authors' own study

l.p.	Rok	Zużycie na c.o., GJ/rok	STD, (K·d)/rok	Wskaźnik zużycie /STD, GJ/(K·d)
1	2016/2017	3950	1953,25	2,0222
2	2017/2018	3716	1853,03	2,0053
3	2018/2019	3637	1596,99	2,2774
4	2019/2020	3371	1400,37	2,4072
5	2020/2021	4115	1815,30	2,2668
6	2021/2022	3251	1652,90	1,9668
7	2022/2023	3215	1630,77	1,9714
8	2023/2024	2690	1309,33	2,0544

Na Rysunku 6 przedstawiono w postaci graficznej dane z Tabeli 3, obrazujące zależność wskaźnika *zużycie/STD* dla poszczególnych sezonów poprzedzających montaż układu prognostycznego forHeat. Podstawiając do równania linii trendu (Równanie 9) w miejscu x koniec sezonu ogrzewczego, czyli 2025/2026 (do linii trendu podstawiono końcówkę, czyli 26) otrzymano prognozowany wskaźnik *zużycie/STD* wynoszący 2,0549.

$$y = 1{,}7182x + 655{,}55 \qquad (9)$$

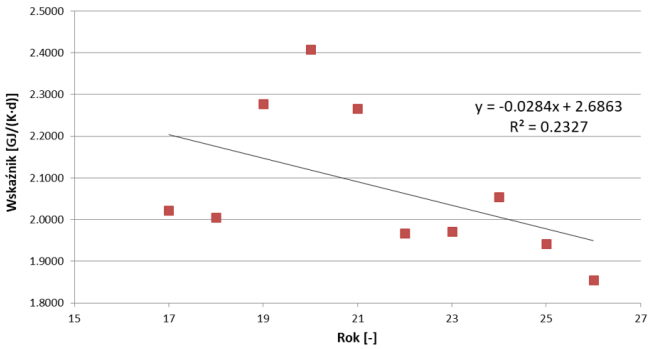


Rysunek 6. Wyznaczenie prognozowanego wskaźnika zużycia ciepła w sezonie 2025/2026 bez układu ForHeat. Źródło: opracowanie własne
Figure 6. Determination of the projected heat consumption rate for the 2025/2026 season without the ForHeat system. Source: authors' own study

Uzupełniając Tabelę 3 o dane pochodzące z sezonu 2024/2025 (w części sezonu działał układ) oraz z 2025/2026, to graficzny obraz uzupełnionych danych wygląda jak na Rysunku 7. Wykres – linia trendu – na Rysunku 7 uwzględnia już rzeczywiste wskaźniki z sezonu 2024/2025 (tylko z części okresu po zamontowaniu układu) i rzeczywisty wskaźnik z całego sezonu 2025/2026. W celu obliczenia oszczędności na wskaźnikach, należy wyznaczyć różnicę pomiędzy prognozą wskaźnika z sezonu 2025/2026 wynoszącego **2,0549**, a wskaźnikiem otrzymanym z rzeczywistych pomiarów zużycia. W tym celu do równania linii trendu (Równanie 10) należy podstawić za x wartości 26 (sezon 2025/2026).

$$y = -0{,}0284x + 2{,}6863 \quad (10)$$

W wyniku tej operacji obliczono wskaźnik równy **1,9479**, który otrzymano po zamontowaniu układu forHeat. Obniżenie wskaźnika w sezonie 2025/2026 można obliczyć natomiast z różnicy prognozy wskaźnika w przypadku, gdyby nie był zamontowany układ forHeat i rzeczywistego wskaźnika otrzymanego z pomiarów w węźle z zamontowanym układem forHeat, który wynosi **0,107** czyli **5,21%** oszczędności wskaźnika.



Rysunek 7. Wyznaczenie wskaźnika zużycia ciepła dla sezonu 2025/2026 z układem ForHeat. Źródło: opracowanie własne
Figure 7. Determination of the heat consumption indicator for the 2025/2026 season with the ForHeat system. Source: authors' own study

Obniżenie wartości analizowanych wskaźników (*zużycie/STD*) nie pozwala na określenie wprost oszczędzonej zużycia ciepła. Z tej przyczyny w dalszej kolejności przedstawiono sposób obliczenia oszczędności w zużyciu ciepła po montażu układu ForHeat, który pozwala na określenie oszczędności finansowych (iloczyn oszczędności w zużyciu ciepła i aktualnej taryfy dostawcy). Kalkulację wykonano dla analizowanego sezonu 2025/2026. Różnicę w zużyciu wyznaczono z Równania 11.

$$\Delta zużycia = \frac{zużycie_{2025/2026}}{wskaźnik_{2025/2026}} \cdot obniżenie_wskaźnika \quad (11)$$

Podstawiając odpowiednie dane dla sezonu 2025/2026, tj. obniżenie wskaźnika wynoszące 0,107, w liczniku – zużycie w sezonie 2025/2026 wynoszące 3375 GJ, w mianowniku – wskaźnik w sezonie 2025/2026 wynoszący 1,9479, to oszczędność w zużyciu ciepła tytułem montażu układu forHeat wyniosła Δzużycia = 3375/1,9479·0,107 = 185,39 GJ.

W przypadku następnego sezonu, 2026/2027, przy hipotetycznie takich samych parametrach zużycia ciepła i liczby stopniodni jak sezonie 2025/2026, obliczone oszczędności za pomocą metody linii trendu wyniosły by 256,14 GJ, czyli prawie 40% więcej niż w poprzednim sezonie. Aspekt ten może być pewną rekompensatą za dużo słabsze wyniki dla pierwszego sezonu z układem forHeat, w stosunku do wcześniej analizowanych metod.

Podsumowanie

Jak wynika z trzech zaprezentowanych przykładów, stopień oszczędności jest nie tylko zależny od zastosowanego przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, ale także od metody wykorzystanej do jego udowodnienia. Z trzech ocenianych metod określania oszczędności, metoda ostatnia, zwana linią trendu, dostarcza najmniej optymistyczne wyniki, co wbrew pozorom może być jej zaletą, gdyż założenie najmniej korzystnych warunków brzegowych, może być najbardziej wiarygodne dla potencjalnych użytkowników. Jak wynika z analizy oszczędności uzyskanych z montażu układu forHeat w węźle grupowym w zasobach wybranej Spółdzielni Mieszkaniowej, wszystkie trzy metody wykazują istotne oszczędności zużycia ciepła dostarczanego na potrzeby ogrzewania.

Bibligrafia

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

Cholewa, T. & Siuta-Olcha A. (2022a) forHEAT jako metoda sterowania prognozowego systemem ogrzewania budynku. Część 1: Instalacja i budowa modelu energetycznego. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. 53(3), https://doi.org/10.15199/9.2022.3.3

Cholewa, T. & Siuta-Olcha A. (2022b) forHEAT jako metoda sterowania prognozowego systemem ogrzewania budynku. Część 2: Działanie systemu oraz oszczędności zużycia ciepła. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. 53(7-8), https://doi.org/10.15199/9.2022.7-8.3

Cholewa, T., Balaras, C.A., Kurnitski, J., Mazzarella, L., Siuta-Olcha, A., Dascalaki, E., Kosonen, R., Lungu, C., Todorovic, M., Nastase, I., Jolas, C., Cakan, M. (2022). Energy Efficient Renovation of Existing Buildings for HVAC Professionals. REHVA GB No.32. Brussels. ISBN 978-2-930521-31-2. Wersja PL: Energetyczna renowacja budynków. Poradnik dla inżynierów HVAC. PZITS 2025. ISBN 978-83-87792-64-0

Jerominko, T. & Cichowicz, R. (2025). Improving the energy efficiency of typical public buildings intended for education purposes located in the temperate climate zone in central and Eastern Europe. *Energy*, 322, 135542, https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135542

Michnikowski, P. (2025). Sposób wyznaczania temperatury bazowej budynku, patent na wynalazek Pat.248659 udzielony w dniu 10-10-2025.

Michnikowski, P., & Cholewa, T. (2021). On the Use of Base Temperature by Heat Cost Allocation in Buildings. *Energies*, 14(19), 6346. https://doi.org/10.3390/en14196346

Ratajczak, K., Amanowicz, Ł., Pałaszyńska, K., Pawlak, F., & Sinacka, J. (2023). Recent Achievements in Research on Thermal Comfort and Ventilation in the Aspect of Providing People with Appropriate Conditions in Different Types of Buildings—Semi-Systematic Review. *Energies*, 16(17), 6254. https://doi.org/10.3390/en16176254

Skwarczyński, M., Więckiewicz, M. & Dumała, S. (2025). Koncepcje technologiczne systemów wykorzystujących pompy ciepła przeznaczone do budynków przyłączonych i nieprzyłączonych do sieci ciepłowniczej. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 56(10), https://doi.org/10.15199/9.2025.10.1

Trzciński, Ł., & Turski, M. (2026). Hybrydowe węzły cieplne. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 57(2), 9. https://doi.org/10.65545/cow.2026.02.02

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 jakiekolwiek 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.*