

Anna Życzyńska

Analiza zmienności charakterystyki energetycznej na przykładzie budynku wielorodzinnego



MONOGRAFIE

Analiza zmienności charakterystyki
energetycznej na przykładzie budynku
wielorodzinnego

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury
ul. Nadbystrzycka 40
20-618 Lublin

Anna Życzyńska

Analiza zmienności charakterystyki energetycznej na przykładzie budynku wielorodzinnego



Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
Lublin 2019

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Wojciech Stanek, Politechnika Śląska
dr hab. inż. Stanisław Fic, prof. Politechniki Lubelskiej

Zdjęcia na okładce: Grzegorz Dyś

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2019

ISBN: 978-83-7947-390-8

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin
tel. (81) 538-46-59

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak
www.agencjatorp.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 50 egz.

Spis treści

Streszczenia	7
Wykaz najważniejszych symboli i oznaczeń.....	11
1 Wprowadzenie	17
2 Przegląd piśmiennictwa.....	21
2.1 Zapotrzebowanie budynku na energię	21
2.1.1 Energia użytkowa	22
2.1.2 Energia końcowa	28
2.1.3 Nieodnawialna energia pierwotna	30
2.2 Charakterystyka energetyczna budynku	32
2.2.1 Regulacje prawne	32
2.2.2 Wskaźniki energetyczne	38
2.2.3 Standard energetyczny budynku	42
2.2.4 Świadectwo charakterystyki energetycznej	44
2.2.5 Relacje pomiędzy wskaźnikami <i>EU</i> , <i>EK</i> i <i>EP</i>	46
2.2.6 Wpływ termomodernizacji budynku na wskaźniki energetyczne	48
2.2.7 Emisja zanieczyszczeń.....	50
3 Cel pracy i hipotezy badawcze	53
4 Metodyka badań.....	57
4.1 Opis badanego obiektu	57
4.2 Metodologia wyznaczania wskaźnika EP_{H+W} budynku mieszkalnym.....	57
4.3 Założenia do obliczeń.....	62
4.3.1 Współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych.....	62
4.3.2 Strefa klimatyczna	63
4.3.3 Zyski ciepła od promieniowania słonecznego.....	64
4.3.4 Wewnętrzne zyski ciepła	65
4.3.5 Sprawność systemu ogrzewania	65
4.3.6 Sprawność systemu przygotowania ciepłej wody	67
4.3.7 Zapotrzebowanie na energię pomocniczą	69
4.3.8 Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową	71
4.3.9 Nośnik energii i sposób zasilania budynku w energię	73

4.3.10 Analiza statystyczna	77
5 Wyniki i dyskusja.....	81
5.1 Zapotrzebowanie budynku na energię użytkową	81
5.1.1 Ograniczenie współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych.....	81
5.1.2 Wpływ strefy klimatycznej	82
5.1.3 Wpływ zysków ciepła od promieniowania słonecznego	86
5.1.4 Wpływ wewnętrznych zysków ciepła.....	93
5.2 Zapotrzebowanie budynku na energię końcową	94
5.2.1 Wpływ systemu ogrzewania	94
5.2.2 Wpływ systemu przygotowania ciepłej wody.....	100
5.2.3 Zapotrzebowanie na energię pomocniczą	101
5.2.4 Wskaźnik rocznego zapotrzebowania budynku na energię kończącą.....	104
5.3 Zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną.....	118
5.3.1 Wskaźnik EP_{H+W} dla wymagań współczynnika przenikania ciepła z 2017 r.	122
5.3.2 Wskaźnik EP_{H+W} dla wymagań współczynnika przenikania ciepła z 2021 r.	129
5.3.3 Przykładowe rozwiązania techniczne umożliwiające spełnienie wymagań w zakresie wskaźnika EP_{H+W}	137
6 Podsumowanie	143
7 Bibliografia	149
8 Wyniki testów statystycznych.....	163
8.1 Różnicowanie $Q_{H,nd}$ ze względu na warunki techniczne.....	163
8.2 Zależność $Q_{H,nd}$ od stopniodni S_d	163
8.2.1 Model regresji przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.	163
8.2.2 Model regresji przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.	163
8.3 Wpływ orientacji, stopnia przeszklenia, zacienienia i przepuszczalności promieniowania na $Q_{H,nd}$	164
8.3.1 Wymagania współczynnika U z 2017 r.	164
8.3.2 Wymagania współczynnika U z 2021 r.	165
8.4 Różnicowanie EK_{H+W} ze względu na warunki techniczne.....	166
8.5 Różnicowanie EP_{H+W} ze względu na warunki techniczne	166

Streszczenia

Analiza zmienności charakterystyki energetycznej na przykładzie budynku wielorodzinnego

Praca niniejsza jest poświęcona kompleksowej analizie zmienności wskaźnika rocznego zapotrzebowania budynku mieszkalnego wielorodzinnego na nieodnawialną energię pierwotną do pokrycia potrzeb cieplnych związanych z ogrzewaniem i wentylacją oraz przygotowaniem ciepłej wody (EP_{H+W}). Oceny zmienności tego wskaźnika dokonano na podstawie uzyskanych wyników parametrycznych obliczeń symulacyjnych dla założonego modelu budynku oraz kilkudziesięciu wariantów rozwiązań systemów technicznych. Do obliczeń wykorzystano metodologię wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku obowiązującą w polskich aktach prawnych. Sformułowano kilka hipotez badawczych dotyczących zagadnień energetycznych w budynku. W celu ich weryfikacji przebadano wpływ następujących parametrów na wartość wskaźnika EP_{H+W} : lokalizacja w strefie klimatycznej, orientacja względem stron świata, zyski od promieniowania słonecznego, zyski wewnętrzne, stopień przeszklenia, współczynniki przenikania przegród zewnętrznych, rodzaj systemu ogrzewania oraz systemu przygotowania ciepłej wody, sposób zasilania w energię, rodzaj nośnika energii lub energii.

Analiza statystyczna uzyskanych wyników parametrycznych badań symulacyjnych wskazuje, że izolacyjność cieplna przegród budowlanych ma istotny wpływ na zapotrzebowanie budynku na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji, dlatego rozpatrywano dwa przypadki. Pierwszy przy wymaganiach współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych obowiązujących w polskich aktach od 1 stycznia 2017 r. oraz drugi przy wymaganiach mających obowiązywać od 1 stycznia 2021 r. Dalej obliczenia prowadzono dla każdego przypadku oddzielnie. Praca obejmuje również analizę zmienności rocznego wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową i końcową do ogrzewania i wentylacji (odpowiednio EU i EK_H) oraz wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową do przygotowania ciepłej wody (EK_W). W badaniach uwzględniono również zapotrzebowanie systemów technicznych na energię elektryczną pomocniczą na poziomie energii końcowej i pierwotnej. Uzyskane wyniki zostały poddane badaniom statystycznym i ostatecznie porównane z wartościami EP_{H+W} dopuszczalnymi maksymalnymi zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Pozwoliło to sformułować wnioski końcowe w pracy i odnieść się do postawionych hipotez badawczych.

Przegląd literatury i analiza uzyskanych w pracy wyników badań wskazują, że istotny wpływ na wartość wskaźników energetycznych mają poszczególne

parametry takie jak: strefa klimatyczna, w której budynek jest zlokalizowany, średnioroczna sprawność systemów technicznych oraz sposób zasilania budynku w energię i rodzaj wykorzystywanego nośnika energii lub energii. Liczne publikacje najczęściej przedstawiają badania wpływu tylko niektórych z parametrów lub mają charakter studium przypadku. Natomiast praca niniejsza zawiera kompleksową ilościową analizę wpływu wielu parametrów dla kilkudziesięciu wariantów rozwiązań technicznych możliwych do realizacji.

Praca składa się z ośmiu rozdziałów. Rozdział pierwszy to wprowadzenie, które zawiera przede wszystkim opis ewaluacji wymagań energetycznych stawianych budynkom w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat. W rozdziale drugim obejmującym przegląd piśmiennictwa opisano zagadnienia dotyczące standardu energetycznego oraz efektywności energetycznej budynku i przywołano najważniejsze unijne i polskie akty prawne z tym związane. Opisano relacje występujące pomiędzy wskaźnikami energetycznymi budynku. Omówiono wpływ termomodernizacji budynku na charakterystykę energetyczną. Zwrócono uwagę na potrzebę sporządzania audytów i świadectw energetycznych. Wskazano powiązania pomiędzy efektami energetycznymi, ekologicznymi i ekonomicznymi, a działaniami prowadzącymi do ograniczenia zużycia energii w budownictwie. W rozdziale trzecim sformułowano cel pracy oraz hipotezy badawcze. W rozdziale czwartym szczegółowo opisano metodykę badań oraz założenia do parametrycznych obliczeń symulacyjnych. Rozdział piąty, najobszerniejszy, został poświęcony prezentacji i interpretacji uzyskanych wyników obliczeń, a także dyskusji nad nimi. W rozdziale tym pokazano m.in. wartości średnie, minimalne i maksymalne, udziały i zmiany procentowe, rozstępy względne pomiędzy uzyskanymi wynikami, a także siłę wpływu poszczególnych parametrów na wskaźniki energetyczne budynku. Należy zaznaczyć, że analizowano zakres zmienności wartości parametrów oraz rozwiązania techniczne, które mogą występować w warunkach projektowych i eksploatacyjnych. Zamieszczono przykładowe rozwiązania systemów technicznych wykorzystujące odnawialne źródła energii albo zasilanie ze źródeł pracujących w skojarzeniu. Podano przykładowe parametry tych systemów technicznych dzięki, którym uzyskano zmniejszenie wskaźnika EP_{H+W} . Ostatecznie doprowadziło to do spełnienia obowiązujących, zdaniem autora, bardzo wysoko postawionych wymagań tego wskaźnika dla budynku mieszkalnego wielorodzinnego, z wentylacją grawitacyjną, nie wyposażonego w system chłodzenia. Rozdział szósty to podsumowanie końcowe całej pracy. W rozdziale siódmym zamieszczono wykaz bibliografii, a w ósmym wyniki testów statystycznych. Praca zawiera również wykaz oznaczeń, spis tabel oraz spis rysunków.

Praca może być wykorzystywana przez specjalistów, którzy zajmują się zagadnieniami zapotrzebowania budynku na energię, wyborem rodzajów źródeł ciepła i nośników energii, a także systemów ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody stanowiących wyposażenie techniczne budynku.

Abstract

The analysis of the variability in energy performance provided on the example of a multi-family residential building

This article focuses on the comprehensive analysis of the indicator changeability of the annual demand for the primary, nonrenewable energy in a multi-family residential building that is required to cover thermal heating- and ventilation- related needs as well as needs arising from domestic hot water preparation (pl. EP_{H+W}). The indicator changeability has been assessed based on results received from parametric simulation calculations for the chosen building model and for several dozen solution options that technical systems can offer. The methodology that has been used for obtaining mentioned calculations indicates energy performance of buildings and is applicable in Polish regulations. A few research hypotheses on energy issues in the building have been formulated. In order to verify those hypotheses, the influence of the following parameters: the location in the given climatic zone, cardinal directions, earnings from solar energy, internal gaining, glazing degree, heat transfer coefficient for the building envelope penetration, type of heating system and domestic hot water distribution system, energy supply system, energy carrier type as well as energy type on the value of the EP_{H+W} indicator has been analyzed.

The statistical analysis of the obtained parametric simulation calculations indicates that thermal insulation of the building envelope has a relevant impact on the useable energy demand that is necessary for heating and ventilating the building. Hence, two cases have been studied. In the first case the heat-transfer coefficient requirements for building envelopes, effective in Polish legislation as of 1. January 2017, have been taken into account, while in the second one the requirements that will be only applicable as of 1 January 2021 have been considered. Starting from that point, calculations have been carried out for each case separately. The article analyzes the variability of annual useable and final energy demand indicator for heating and ventilation (pl. EU and EK_H respectively) as well as final energy demand indicator for hot water preparation (pl. EK_W). Additionally, the auxiliary electric power demand of the technical building systems at final and primary energy level has been included in the research. Obtained results have undergone statistical tests and, finally, have been compared with the maximal limit of EP_{H+W} values referred to in Regulation of the Minister of Transport, Construction and Maritime Economy of 5 July 2013 amending regulation on technical conditions that shall be fulfilled by buildings and their location. It enabled to draw final conclusions in the article and to refer to proposed research hypotheses.

The literature review and the analysis of the research results obtained in this paper indicate that particular parameters such as: building location in the climatic zone, average annual efficiency of technical systems, power supply type

in the building and the type of energy and energy carrier have a considerable influence on the energy indicator values. Multiple publications either present the influence of some parameters only or resemble a case study, whereas this paper comprises a comprehensive quantitative analysis on the influence of many parameters for several dozen options of feasible, technical solutions.

The article consists of eight chapters. The first one is an introduction containing mainly the description of how the energy requirements for a building have changed in recent decades. In second chapter, which includes literature review, some issues concerning energy standards and building energy efficiency have been described as well as the most important Union and Polish regulations related to energy standards have been invoked. The relationships existing between energy indicators in the building have been presented. Furthermore, the influence that thermal renovation in the building has on energy performance has been discussed. It has been pointed out that there is the need to conduct energy audits and energy certificates. The connection between energy, ecological, economic effects and activities leading to the reduction of energy consumption in the building sector has been shown. The aim of this paper and the research hypotheses have been formulated in chapter free. The research methodology and assumptions on which parametric simulation calculations were based have been described in detail in chapter four. In the next chapter, that is the most extensive chapter five, the presentation, interpretation of the results obtained from the calculations and the discussion about the mentioned results have come into the major focus. This chapter touches, inter alia, upon average, minimal and maximal values, contribution and percentage changes, relative spreads between received results as well as the significance of the influence that particular parameters have on energy indicators in the building. It should be emphasized that the range of the variation of parameters values and technical solutions possible in project design conditions and operating conditions have been studied, as well. Besides, it contains several example solutions in technical systems that make use of renewable energy sources or of the supply from the power sources working in cogeneration. Example parameters for these technical systems thanks to which it was possible to decrease EP_{H+W} indicator have been listed. According to the author, at the end it has led to the fact that very highly set requirements for this indicator for the multifamily residential building equipped with gravitational ventilation, but not with cooling system, have been met. Chapter six constitutes the summary of this paper. Chapter seven includes the bibliography, while chapter eight presents results of the statistical tests. Moreover, this article consists also of list of references, tables and schemes.

It can be used by specialists who focus in their research on the issues concerning energy demand of a building, on the choice of energy sources types and energy carriers types as well as on heating systems and hot water preparation systems – all of the aforementioned counting as a technical building equipment.

Wykaz najważniejszych symboli i oznaczeń

A	– powierzchnia przegrody, m^2
A_f	– powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza, m^2
b_{ve}	– współczynnik korekcyjny dla strumienia wentylacyjnego
b_{tr}	– współczynnik redukcyjny temperatur obliczeniowych
C	– udział powierzchni oszklenia w całkowitej powierzchni okien, drzwi
c_a	– ciepło właściwe powietrza, $kJ/(kg \cdot K)$
c_w	– ciepło właściwe wody, $kJ/(kg \cdot K)$
$E_{el,pom,H}$	– roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do systemu ogrzewania, kWh/rok
$E_{el,pom,W}$	– roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do systemu przygotowania ciepłej wody, kWh/rok
$Ej_{el,pom,H}$	– jednostkowe roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do systemu ogrzewania, $kWh/(m^2 \cdot rok)$
$Ej_{el,pom,W}$	– roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do systemu przygotowania ciepłej wody, $kWh/(m^2 \cdot rok)$
EK_H	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, $kWh/(m^2 \cdot rok)$
EK'_H	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania bez energii końcowej pomocniczej elektrycznej, $kWh/(m^2 \cdot rok)$
EK_W	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do przygotowania ciepłej wody, $kWh/(m^2 \cdot rok)$
EK'_W	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do przygotowania ciepłej wody bez energii końcowej pomocniczej elektrycznej, $kWh/(m^2 \cdot rok)$
EK_{H+W}	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do przygotowania ciepłej wody bez energii końcowej pomocniczej elektrycznej, $kWh/(m^2 \cdot rok)$

EP_H	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną do ogrzewania, kWh/(m ² ·rok)
EP_W	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody, kWh/(m ² ·rok)
EP_{H+W}	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody, kWh/(m ² ·rok)
EU_H	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania, kWh/(m ² ·rok)
E_W	– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody, kWh/(m ² ·rok)
$F_{sh,gl}$	– czynnik redukcyjny na zacienienie z tytułu ruchomych elementów zacieniających
F_{sh}	– czynnik redukcyjny na zacienienie od przeszkód zewnętrznych
g	– całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego powierzchni oszklonej
H_{tr}	– współczynnik strat ciepła przez przenikanie, W/K
H_{ve}	– współczynnik strat ciepła na wentylację, W/K
I	– energia promieniowania słonecznego w miesiącu wg danych klimatycznych (tabela 3), kWh/(m ² m-c)
k_R	– współczynnik korekcyjny ze względu na przerwy w użytkowaniu ciepłej wody
l	– długość liniowego mostka cieplnego, m
Ld_m	– liczba dni ogrzewania w miesiącu, dzień
$Q_{H,gn}$	– całkowite zyski ciepła w strefie ogrzewanej w n -tym miesiącu roku, kWh/m-c
$Q_{H,ht}$	– całkowita ilość ciepła przenoszonego ze strefy ogrzewanej w n -tym miesiącu roku, kWh/m-c
$Q_{H,nd}$	– roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji, kWh/rok
$Q_{int,H}$	– miesięczne wewnętrzne zyski ciepła, kWh/m-c

Q_k	– roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczoną do budynku dla systemów technicznych, kWh/rok
$Q_{k,H}$	– roczne zapotrzebowanie na energię końcową systemu ogrzewania, kWh/rok
$Q'_{k,H}$	– roczne zapotrzebowanie na energię końcową systemu ogrzewania bez energii końcowej pomocniczej elektrycznej, kWh/rok
$Q_{k,W}$	– roczne zapotrzebowanie na energię końcową systemu przygotowania ciepłej wody, kWh/rok
Q_p	– roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną systemów technicznych, kWh/rok
$Q_{p,H}$	– roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną systemu ogrzewania, kWh/rok
$Q_{p,W}$	– roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną systemu przygotowania ciepłej wody, kWh/rok
$Q_{sol,H}$	– miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego, kWh/m-c
Q_{tr}	– strat ciepła przez przenikanie, kWh/m-c
Q_U	– roczne zapotrzebowanie na energię użytkową, kWh/rok
Q_{ve}	– strat ciepła na wentylację, kWh/m-c
q_{el}	– jednostkowe zapotrzebowanie na moc elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych, W/m ²
q_{int}	– obciążenie cieplne pomieszczeń wewnętrznymi zyskami cieplnymi, W/m ²
Sd	– liczba stopniodni, dzień·K/rok
t_{el}	– czas działania urządzeń pomocniczych, h/rok
t_M	– liczba godzin w miesiącu, h
t_R	– liczba dni w roku, dni
U	– współczynnik przenikania ciepła przegrody budowlanej, W/m ² ·K
V_{ve}	– strumień powietrza wentylacyjnego, m ³ /s

V_{wi}	– jednostkowe dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę, $\text{dm}^3/(\text{m}^2\text{dzień})$
w_{el}	– współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej
w_H	– współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemu ogrzewania
w_i	– współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla i -tego podsystemu technicznego
w_W	– współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemu przygotowania ciepłej wody
$\eta_{H,d}$	– średnia sezonowa sprawność przesyłu ciepła w systemie ogrzewania
$\eta_{H,e}$	– średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w przestrzeni ogrzewanej
$\eta_{H,g}$	– średnia sezonowa sprawność wytwarzania ciepła w systemie ogrzewania
$\eta_{H,gn}$	– współczynnik wykorzystania zysków ciepła w przestrzeni ogrzewanej
$\eta_{H,s}$	– średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu ogrzewania
$\eta_{H,tot}$	– średnia sezonowa sprawność całkowita systemu ogrzewania
$\eta_{W,d}$	– średnia sezonowa sprawność przesyłu ciepła w systemie ciepłej wody
$\eta_{W,e}$	– średnia sezonowa sprawność wykorzystania ciepła
$\eta_{W,g}$	– średnia sezonowa sprawność wytwarzania ciepła w systemie ciepłej wody
$\eta_{W,s}$	– średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu przygotowania ciepłej wody

$\eta_{W,tot}$	– średnia sezonowa sprawność całkowita systemu przygotowania ciepłej wody
θ_e	– temperatura powietrza zewnętrznego, °C
$\theta_{e,m}$	– średnia wieloletnia, miesięczna temperatura powietrza zewnętrznego, °C
$\theta_{i,H}$	– temperatura powietrza wewnętrznego w strefie ogrzewanej, °C
θ_W	– obliczeniowa temperatura ciepłej wody użytkowej w zaworze czerpalnym, °C
θ_0	– obliczeniowa temperatura wody przed podgrzaniem, °C
ρ_a	– gęstość powietrza, kg/m ³
ρ_w	– gęstość wody, kg/dm ³
Φ_{HL}	– obciążenie cieplne, W
ψ	– liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka, W/(m·K)

Pozostałe, nie ujęte w spisie symbole i indeksy, zostały opisane w odpowiednich miejscach w pracy.

1 Wprowadzenie

W grudniu 1997 r. na konferencji w Kioto został wynegocjowany tzw. Protokół z Kioto będący traktatem uzupełniającym do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. Następnie traktat został ratyfikowany przez 141 krajów i wszedł w życie 16 lutego 2005 r. Kraje które, go ratyfikowały zobowiązały się między innymi do redukcji własnych emisji gazów powodujących efekt cieplarniany. Protokół zobowiązał kraje rozwinięte do wspierania rozwoju technologii i inwestycji ekologicznych. Pomimo występujących kontrowersji oraz konieczności wprowadzenia poprawek i uzgodnień międzynarodowych został on uznany za pierwszy formalny dokument dotyczący wspólnych działań w zakresie ochrony środowiska. Polska od początku znajdowała się w grupie tych 141 państw, stąd od wielu lat podejmuje działania związane z realizacją jednego z nadrzędnych celów jakim jest ochrona środowiska. Cel ten jest realizowany przede wszystkim poprzez: ograniczenie zużycia energii, wprowadzania technologii o niskim zapotrzebowaniu na energię i wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii. Budownictwo jest jedną z gałęzi gospodarki w której występuje bardzo duże zużycie energii. Dlatego w tym obszarze od dawna poszukuje się oszczędności energii, stawiając budynkom modernizowanym i nowowznoszonym obowiązek spełnienia standardu energetycznego, zaś jego konsekwentne podnoszenie znacznie zmniejsza energochłonność budynków. Działania prowadzące do wyżej wymienionego celu rozpoczęto od wdrażania aktów prawnych w postaci dyrektyw, ustaw i rozporządzeń wykonawczych. Jedną z pierwszych ustaw, która przyczyniła się do redukcji emisji gazów poprzez ograniczanie zużycia ciepła na drodze szeroko pojętej termomodernizacji budynków istniejących była ustawa o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych z 1998 r. oraz rozporządzenia wykonawcze do niej z 1999 r. dotyczące zasad sporządzania audytu energetycznego i jego weryfikacji. Chociaż zagadnienia auditingu energetycznego były wstępnie rozpoznane już przed 1998 r. to jednak po raz pierwszy sformalizowano procedury umożliwiające uzyskanie wsparcia finansowego z budżetu Państwa na kompleksową termomodernizację budynków. Spowodowało to dynamiczny rozwój działań termomodernizacyjnych i uzyskanie wymiernych efektów energetycznych, a tym samym ekologicznych. Przepisy techniczno-budowlane z zakresu oszczędności energii w budynkach są weryfikowane i ewaluują w kierunku podnoszenia wymagań standardu energetycznego budynków. Następny etap legislacyjny to wdrożenie aktów prawnych z zakresu efektywności energetycznej, które również są nowelizowane. Audyt energetyczny i audyt efektywności energetycznej stały się obligatoryjnymi dokumentami wymaganymi przy pozyskiwaniu środków finansowych na prowadzenie inwestycji, których głównym celem jest

ograniczenie zużycie energii w budynkach i podnoszenie efektywności energetycznej urządzeń i instalacji stanowiących ich wyposażenie.

Jeszcze przed konferencją w Kioto, bo już od ponad 40 lat, w krajowych normach i przepisach techniczno-budowlanych wprowadzano zapisy z zakresu oszczędności energii do obowiązkowego stosowania przy projektowaniu. Pierwotnie dotyczyły one jedynie maksymalnych wartości współczynników przenikania ciepła przegród pełnych oraz przeźroczystych w budynkach. Następnie dla budynków wielorodzinnych i zamieszkania zbiorowego wprowadzono dodatkowe wymagania granicznej wartości wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania. W 2002 r. po raz pierwszy wprowadzono do warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie zapisy dotyczące efektywności energetycznej urządzeń oraz utrzymywania w budynku zapotrzebowania na energię na racjonalnie niskim poziomie.

Przynależność Polski do UE spowodowała konieczność wdrażania dyrektyw unijnych, w tym Dyrektywy 2002/91/EC dotyczącej charakterystyki energetycznej budynków. Polska zrealizowała to poprzez nowelizacje Ustawy Prawo Budowlane oraz wprowadzenie nowego rozporządzenia wykonawczego i zmian do powiązanych rozporządzeń istniejących. Na podstawie tych aktów prawnych w 2008 r. zostało wprowadzone wymaganie w postaci wskaźnika rocznego zapotrzebowania budynku na nieodnawialną energię pierwotną (*EP*). Również w 2008 r. wprowadzono wymagania w zakresie izolacji cieplnej przewodów, armatury i urządzeń w instalacjach.

Od 1.01. 2009 r. nałożono obowiązek sporządzania charakterystyki energetycznej budynku (z wyłączeniem niewielkiej grupy budynków) na etapie przekazania do użytkowania, sprzedaży i najmu. Elementem niezbędnym dokumentacji projektowej stała się charakterystyka energetyczna budynku. Powstał również obowiązek prowadzenia okresowej kontroli kotłów i instalacji klimatyzacyjnych pod względem nie tylko ich stanu technicznego, ale przede wszystkim sprawności wytwarzania energii oraz poprawności doboru wielkości mocy urządzeń do potrzeb budynku. Zostały opracowane: metodologia wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku oraz dokument ją potwierdzający w postaci świadectwa energetycznego. W przypadku budynków mieszkalnych wartości wskaźnika zawierała roczne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia i przygotowania ciepłej wody, a dla budynków pozostałych dodatkowo na energię do oświetlenia wbudowanego. W przepisach techniczno-budowlanych zawarto formuły umożliwiające obliczenie granicznych wartości wskaźnika dla tzw. budynku referencyjnego.

W 2014 r. weszła w życie ustawa o charakterystyce energetycznej budynków, która ograniczyła wymagania obowiązku sporządzania charakterystyki energetycznej do umowy sprzedaży i najmu budynku lub jego części. Równolegle przy wprowadzaniu wskaźników odnoszących się do zapotrzebowania na energię użytkową oraz wskaźników związanych

z zapotrzebowaniem na energię pierwotną, podnoszono wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej przegród budowlanych poprzez obniżanie wartości granicznych współczynników przenikania ciepła (U).

Od 1 stycznia 2014 r. w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej obowiązują przepisy krajowe, które narzucają standard energetyczny dla nowowznoszonych i przebudowywanych budynków. W przypadku tych pierwszych wymuszają one jednocześnie spełnienie wymagań co do wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych (U) i wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP). Natomiast w przypadku tych drugich co najmniej spełnienie wymagań w zakresie współczynnika U . Stopniowe wprowadzenie ograniczenia wartości współczynnika U w perspektywie czasowej 2014–2016 r. następnie 2017–2020 r. i po 1 stycznia 2021 r. wymusza projektowanie przegród budowlanych charakteryzujących się bardzo dobrą izolacyjnością cieplną. Powoduje to ograniczenie zapotrzebowania budynku na energię użytkową. Jednoczesne ograniczenie wartości EP w tych samych przedziałach czasowych wymusza konieczność wyposażania budynków w instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i przygotowania ciepłej wody charakteryzujące się wysokimi sprawnościami, ponieważ ma to wpływ na wartość zapotrzebowania budynku na energię końcową. Ostatecznie o wartości wskaźnika EP decyduje sposób zasilania budynku w energię, rodzaj źródła ciepła i wykorzystywanego paliwa lub nośników energii. Narzuca to, już na etapie projektowania, konieczność analizowania zagadnień związanych z zaopatrzeniem budynku w energię na różne cele.

Z analizy przeglądu literatury wynika, że problemy związane ze zużyciem energii w budownictwie są ciągle aktualne. Dotyczą wspólnej polityki energetycznej państw, wprowadzania regulacji prawnych na poziomie międzynarodowym i krajowym, ciągłego podnoszenia wymagań w zakresie standardu energetycznego budynków oraz efektywności energetycznej stosowanych systemów i urządzeń, wdrażania nowoczesnych technologii, racjonalnego gospodarowania energią, monitorowania jej zużycia oraz odpowiedniego zarządzania systemami technicznymi w budynku.

Z opracowanej na podstawie dyrektyw i norm europejskich, obowiązującej w krajowych aktach prawnych metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku wynika, że wiele parametrów wpływa na ostateczną wartość wskaźnika EP . Między innymi są to warunki klimatyczne, izolacyjność cieplna przegród budowlanych, sprawność całkowita systemów technicznych, rodzaj nośnika energii. Dokonany przegląd publikacji wskazuje, że analizy nie obejmują wszystkich parametrów, dotyczą głównie zapotrzebowania ciepła na ogrzewanie i wentylację, mają raczej charakter studium przypadku. W pracy podjęto próbę kompleksowej oceny wpływu wielu parametrów na wskaźniki energetyczne budynku rozpatrując kilkadziesiąt możliwych do realizacji wariantów rozwiązań technicznych, uwzględniając jednocześnie potrzeby

cieplne na cele ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody w budynku.

W zasobach mieszkaniowych w Polsce jest i nadal powstaje najwięcej budynków mieszkalnych wielorodzinnych z wentylacją grawitacyjną i nie wyposażonych w instalacje chłodzenia. W tego typu budynkach największy udział w zapotrzebowaniu na ciepło stanowią potrzeby związane z ogrzewaniem i wentylacją, a następnie potrzeby związane z przygotowaniem ciepłej wody. Wymaganie w zakresie utrzymania zużycia energii w budynku na racjonalnie niskim poziomie przy jednoczesnym jego użytkowaniu zgodnym z przeznaczeniem zostało zdefiniowane poprzez maksymalną wartość wskaźnika EP_{H+W} . Jest to wskaźnik dotyczący łącznego pokrycia potrzeb cieplnych ogrzewania, wentylacji i ciepłej wody. Wymaganie to jest identyczne dla każdego budynku mieszkalnego wielorodzinnego bez względu na warunki klimatyczne, rodzaj dostępnego sposobu zasilania budynku i wynikającego z tego rodzaju nośnika energii. Maksymalna wartość wskaźnika EP_{H+W} wynosi: od 1 stycznia 2017 r. 85 kWh/(m²·rok), a od 1 stycznia 2021 r. będzie wynosiła 65 kWh/(m²·rok). Dlatego w niniejszej pracy, szczegółowo przeanalizowano wpływ następujących parametrów na charakterystykę energetyczną budynku: liczba stopniodni, orientacja budynku względem kierunków świata, współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych, zacienienie i przepuszczalność promieniowania słonecznego przegród przezroczystych, wewnętrzne zyski ciepła, sprawności systemu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody, współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej. Wyniki tej analizy, opartej na parametrycznych obliczeniach symulacyjnych i odpowiednio dobranych metodach statystycznych przedstawiono w niniejszej pracy.

2 Przegląd piśmiennictwa

2.1 Zapotrzebowanie budynku na energię

Przy określaniu wielkości zapotrzebowania budynku na energię oblicza się trzy rodzaje energii bilansowane na jego granicy. Pierwszą, nazywaną energią użytkową, rozumianą jako energię przenoszoną z budynku do otoczenia, drugą nazywaną energią końcową rozumianą jako dostarczoną do budynku dla systemów technicznych i trzecią jako nieodnawialną energię pierwotną zawartą w kopalnych surowcach energetycznych nie poddanych procesowi konwersji lub transformacji [96]. Dodatkowo należy obliczyć zapotrzebowanie na energię pomocniczą niezbędną do zapewnienia funkcjonowania urządzeń w systemach technicznych. Zależności, wraz z opisami, wykorzystywane w obliczaniach zapotrzebowania na energię zawiera rozdział 4.2. niniejszej pracy.

Przy sporządzaniu bilansu energetycznego rozpatruje się zapotrzebowanie na energię do zaspokojenia różnych potrzeb w danym rodzaju budynku, co przedstawiono w tabeli 2.1.1. zgodnie z zapisami zawartymi w [97].

Tab. 2.1.1 Rodzaje budynków i rozpatrywane potrzeby energetyczne [97]

Lp.	Rodzaj budynku	Rodzaj potrzeb energetycznych w budynku			
		ogrzewanie i wentylacja	przygotowanie ciepłej wody	chłodzenie	oświetlenie wbudowane
1	mieszkalny	+	+	-	-
2	mieszkalny z chłodzeniem	+	+	+	-
3	inny niż mieszkalny	+	+	-	+
4	inny niż mieszkalny z chłodzeniem	+	+	+	+

Z powyższego wynika, że w przypadku budynków mieszkalnych bez chłodzenia, których dotyczy niniejsza praca, należy przeanalizować zapotrzebowanie budynku na energię z tytułu ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody, jednocześnie uwzględniając niezbędną energię pomocniczą. Największy udział w zapotrzebowaniu budynku mieszkalnego na energię stanowią potrzeby związane z jego ogrzewaniem [77;142]. Z rozkładu zapotrzebowania na energię wynika, że pokrycie potrzeb grzewczych budynku to ok. 70%, potrzeb związanych z przygotowaniem ciepłej wody ok. 20% [56; 133]. Zaś energia pomocnicza końcowa stanowi 0,5–1,4%, a pierwotna to 2,5–4,6% [133]. Natomiast w przypadku np. budynków biurowych największy udział może stanowić oświetlenie [31]. Wykazano to na przykładzie w [126], w którym oświetlenie stanowi 54%, ogrzewanie i wentylacja 23%, chłodzenie 16%, a przygotowanie ciepłej wody 7%.

2.1.1 Energia użytkowa

W budynku mieszkalnym nie wyposażonym w system chłodzenia określa się roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody. Definicja energii użytkowej w przypadku ogrzewania to energia przenoszona z budynku do jego otoczenia przez przenikanie lub z powietrzem wentylacyjnym pomniejszona o zyski ciepła, natomiast w przypadku przygotowania ciepłej wody to energia przenoszona z budynku do jego otoczenia ze ściekami [96].

Z opisów zawartych w normach PN-EN ISO 13790 [73] i PN-EN ISO 12831 [72], w rozporządzeniach [96; 98] oraz m.in. w publikacjach [30; 79; 89; 124; 145; 150; 152; 155; 156] wynika, że bilans energii użytkowej z tytułu ogrzewania i wentylacji należy sporządzać dla przestrzeni ogrzewanej uwzględniając przede wszystkim: lokalizację i funkcję budynku, warunki klimatyczne w tym promieniowanie słoneczne, kształt budynku, wymaganą temperaturę wewnętrzną, konstrukcję budynku, budowę przegród, zyski wewnętrzne, pojemność cieplną budynku, wymagania dotyczące strumienia powietrza wentylacyjnego i sposób wentylacji pomieszczeń. Parametry geometryczne budynku wpływają na bilans energetyczny budynku, im bryła budynku bardziej zwarta tym mniejsza powierzchnia do przenikania, korzystniejszy współczynnik kształtu budynku (A/V) tym wskaźnik zapotrzebowania niższy. Zmiana zapotrzebowania na energię w skrajnych przypadkach może wynieść ok. 30%. W Polsce standard energetyczny dotyczący zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji podawany był w zależności od wartości A/V podzielonej na trzy przedziały tj. mniejszej od 0,2, większej od 0,9 i zawartej w przedziale 0,2–0,9. Wówczas wskaźnik zapotrzebowania na energię w tym przedziale A/V wynosił 29–37 kWh/(m³·rok) [120]. Znaczenie ma również orientacja przeszklenia budynku względem stron świata [71; 155]. W publikacji [145] wykazano, że zróżnicowanie orientacji budynku względem kierunków świata powoduje zmiany na poziomie 3–7%. Granice strefy ogrzewanej w budynku wyznaczają elementy budynku oddzielające przestrzeń tej strefy od środowiska zewnętrznego (powietrze, grunt, woda) oraz od przyległych budynków. Dlatego przy projektowaniu budynków pod względem parametrów energetycznych konieczna i ważna jest współpraca architekta, instalatora i konstruktora [71].

W zależności od charakteru budynku i wymaganych temperatur w pomieszczeniach [97], na potrzeby sporządzenia bilansu energii użytkowej budynek można modelować na różne sposoby tj. cały budynek może stanowić jedną strefę, może występować kilka stref bez uwzględniania sprzężenia cieplnego pomiędzy nimi lub kilka stref z uwzględnieniem sprzężenia [73].

Na podstawie [73] można przyjąć, że cały budynek stanowi jedną strefę jeżeli: różnice temperatur pomiędzy przestrzeniami nie są większe niż 4°C, temperatura obliczeniowa określana jest jako średnia ważona z temperatur

częstkowych względem powierzchni, przestrzeń jest ogrzewana przez ten sam system grzewczy i występuje jeden system wentylacji w pomieszczeniach stanowiących co najmniej 80% powierzchni strefy. W przypadku podziału budynku na strefy bez sprzężenia cieplnego zakłada się, że nie występuje przenoszenie ciepła między strefami wówczas każda strefa rozpatrywana jest niezależnie, w każdej strefie bilans sporządzany jest według procedury jak dla strefy pojedynczej, a bilans energii użytkowej budynku stanowi suma bilansów poszczególnych stref. Jeżeli w budynku nie można przyjąć jednego z dwóch powyżej opisanych modeli stosuje się metodę podziału na strefy ze sprzężeniem cieplnym.

Budynki mieszkalne modelowane są najczęściej jako jednostrefowe, natomiast w budynkach użyteczności publicznej lub wielofunkcyjnych wydzielają się najczęściej kilka stref. Stosowane są różne metody obliczania zapotrzebowania budynku na energię użytkową, ale każda z nich prowadzi do określenia zapotrzebowania w zakładanym okresie obliczeniowym [73]. Występujące w literaturze kryteria podziału metod to podział ze względu na dynamikę procesu cieplnego oraz na wielkość kroku obliczeniowego. Pierwsze kryterium dzieli metody na statyczne, stanu quasi-ustalonego i dynamiczne, natomiast drugie na metody roczne, miesięczne i godzinowe. Kryteria są ze sobą powiązane, ponieważ przyjęcie rodzaju dynamiki procesu cieplnego narzuca określenie przedziału czasowego [73].

W metodzie statycznej zakłada się niezmiennosc strumienia ciepła w czasie, jego liniowy przepływ oraz zerową pojemność cieplną budynku. Przedziałem czasowym jest rok, a do obliczeń wykorzystywane są średnie roczne temperatury zewnętrzne [73].

W metodzie stanu quasi-ustalonego uwzględnia się dynamiczne efekty związane z wykorzystaniem zysków ciepła w strefie ogrzewanej budynku poprzez wprowadzenie współczynnika korekcyjnego (np. obliczonego dla każdego miesiąca przy założeniu, że krokiem obliczeniowym jest miesiąc) [96]. Do obliczeń wykorzystywane są średnie miesięczne temperatury zewnętrzne oraz energia promieniowania słonecznego w danym miesiącu. Metoda ta jest stosowana przy wyznaczaniu charakterystyki energetycznej budynku. Okresem obliczeniowym jest rok podzielony na kroki obliczeniowe o przedziale czasowym jednego miesiąca [96].

W metodzie dynamicznej bilans oblicza się przy założeniu krótkiego kroku obliczeniowego, (najczęściej jedna godzina), uwzględnia się ciepło zakumulowane w masie budynku i uwolnione z jego masy.

Procedura sporządzania bilansu energii użytkowej wymaga przede wszystkim: wyboru metody obliczeń w tym założenia kroku obliczeniowego (przedziału czasowego), określenia granic wszystkich przestrzeni i stref, zdefiniowania warunków środowiska wewnętrznego i zewnętrznego oraz zestawienia obliczeń dla każdej ze stref i ostatecznie dla całego budynku [73; 96; 97].

W celu sporządzenia bilansu należy wyznaczyć straty i zyski ciepła oraz stopień wykorzystania tych zysków poprzez wprowadzenie współczynnika korekcyjnego uwzględniającego pojemność cieplną budynku. Należy wyznaczyć współczynnik strat ciepła nazywany również współczynnikiem przenoszenia ciepła z budynku, który według [96] i normy [73] jest sumą współczynnika strat ciepła przez przenikanie i współczynnika strat ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego. Współczynniki te wyznacza się dla pojedynczej strefy ogrzewanej o jednorodnej temperaturze wewnętrznej i wyraża w $[W/K]$.

Współczynnik strat ciepła przez przenikanie wynika z przenoszenia ciepła ze strefy ogrzewanej bezpośrednio do środowiska zewnętrznego, do przyległych przestrzeni nieogrzewanych i ogrzewanych oraz do gruntu. Wartość tego współczynnika jest przede wszystkim zależna od powierzchni i współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych, długości i rodzaju liniowych mostków cieplnych oraz mostków punktowych (w metodyce bilansowania energii użytkowej na potrzeby sporządzania charakterystyki energetycznej budynków mostki punktowe nie są uwzględniane) [51; 96; 152].

W okresie 1974 r.–2008 r. wartości współczynników przenikania ciepła przegród budynku (U) wyrażone w $W/(m^2 \cdot K)$ były znacznie ograniczane w następujących zakresach: ściany zewnętrzne 1,16–0,30, stropodach 0,70–0,25, stropy pod nieogrzewanymi poddaszami 0,93–0,25, stropy nad nieogrzewanymi piwnicami od 1,16 do 0,45, a okna od ok. 3,8 do 1,8 lub 1,7 w zależności od strefy klimatycznej [150; 151]. Należy dodać, że w okresie od 1998 r. do 2008 r. „ustawa termomodernizacyjna” [131; 156] narzuciła dla budynków poddawanych termomodernizacji jeszcze bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące U tj. dla ścian zewnętrznych 0,25 oraz dla stropodachów, dachów i stropów pod nieogrzewanymi poddaszami 0,22 $W/(m^2 \cdot K)$. Następny okres ograniczania wartości współczynników U to lata 2014–2021. Docelowo dla budynków mieszkalnych wartości te nie mogą być większe niż: 0,20 dla ściany zewnętrznej, 0,15 dla stropodachu i stropu pod nieogrzewanym poddaszem, 0,9 dla okien i 1.3 dla drzwi [55; 99; 151]. Pełny zestaw wymagań dopuszczalnych maksymalnych wartości współczynnika U dla różnych przypadków temperatur i przegród w budynkach nowowznoszonych oraz przebudowywanych zawiera rozporządzenie [97]. Ograniczanie wartości współczynników U znacząco wpływa na zmniejszenie strat ciepła z tytułu przenikania [26; 55; 98; 99; 123; 134; 138; 152; 161]. Wartość współczynnika U należy obliczać według normy [75].

Praktycznie każdy budynek ma liniowe mostki cieplne, które wpływają na bilans energii użytkowej. Wynikają one przede wszystkim z: kształtu budynku, braku ciągłości izolacji termicznej, połączenia materiałów o bardzo zróżnicowanych własnościach przewodzenia ciepła. Straty ciepła z tytułu występowania mostków cieplnych zależą m.in. od długości oraz typu mostka, który jest charakteryzowany przez liniowy współczynnik przenikania ciepła [36; 51; 55; 73; 74; 96]. Katalog typu mostków i odpowiadających im wartości

współczynnika zawiera m.in. norma PN-EN ISO 14683 [74]. Wielkość udziału mostków cieplnych w bilansie energii użytkowej zależy m.in. od zastosowanych rozwiązań technicznych przy izolowaniu termicznym przegród budowlanych i sposobu montażu stolarki budowlanej [36]. W budynkach przebudowywanych, w wyniku prawidłowej termomodernizacji przegród budowlanych, znaczące dla bilansu energii użytkowej jest zminimalizowanie wpływu mostków cieplnych. Udział strat ciepła na skutek przenikania przez mostki cieplne w budynkach o bardzo wysokich współczynnikach U jest mniejszy, niż w budynkach o dobrej izolacyjności cieplnej przegród budowlanych, w których nie zadbano o maksymalne, możliwe technicznie, ograniczenie mostków cieplnych [73; 96].

Współczynnik strat ciepła na wentylację w strefie ogrzewanej zależy przede wszystkim od sposobu wentylacji pomieszczenia, wielkości podstawowego strumienia wentylacyjnego oraz wielkości dodatkowego strumienia powietrza infiltrującego. System wentylacji pomieszczeń np. grawitacyjny lub mechaniczny, zastosowanie wymiennika gruntowego, czy okresowa praca wentylacji mechanicznej, a także szczelność budynku mają wpływ na ostateczną wielkość strumienia powietrza, a tym samym bezpośrednio na starty z tytułu wentylacji [51; 55; 72; 73; 96; 98].

W budynkach charakteryzujących się słabą izolacyjnością cieplną przegród budowlanych udział strat z tytułu przenikania jest znacznie większy niż z tytułu wentylacji.

Badania i obliczenia w tym analizy własne autorki [175] wskazują, że w budynkach z lat 70-tych i 80-tych nie poddanych termomodernizacji, straty przez przenikanie stanowią ok. 70% , natomiast z tytułu wentylacji ok. 30%. Wraz z ograniczaniem wartości współczynnika U przy jednoczesnym pozostawieniu wentylacji grawitacyjnej, w budynku następuje znaczne zmniejszenie współczynnika strat ciepła z tytułu przenikania i znaczny spadek jego udziału w całkowitych stratach ciepła w budynku. W niektórych przypadkach potrzeby cieplne związane z wentylacją pomieszczeń są większe niż z tytułu przenikania. W miarę wzrostu izolacyjności cieplnej przegród budowlanych rośnie udział wentylacji to np. ponad 40% przy udziale mostków cieplnych ok. 4% [54]. Skłania to do stosowania wentylacji z odzyskiem ciepła [54].

Na podstawie wartości współczynników strat ciepła można porównać budynki pod względem start przenikania, jakości izolacyjności cieplnej oraz start z tytułu wentylacji pomieszczeń.

Znając współczynnik strat ciepła budynku, dane klimatyczne, temperaturę wewnętrzną strefy ogrzewanej oraz przyjmując odpowiedni przedział czasowy można obliczyć całkowitą stratę ciepła w okresie obliczeniowym tj. w roku [73; 96].

Przy bilansowaniu energii użytkowej, obliczoną stratę ciepła należy pomniejszyć o wykorzystane zyski ciepła. Zyski ciepła stanowią: zyski

wytworzone wewnątrz budynku oraz dostarczone do budynku z tytułu promieniowania słonecznego [73;96].

Wewnętrzne zyski ciepła to zyski wytworzone przez urządzenia (nie należące do systemu grzewczego) i oświetlenie znajdujące się w przestrzeni ogrzewanej budynku oraz zyski metaboliczne od użytkowników. Można je określać w sposób szczegółowy znając np. typ urządzenia, czas pracy, liczbę użytkowników i charakter wykonywanej pracy [73]. Najczęściej jednak wykorzystuje się wartości średnie lub sezonowe tych zysków w zależności od funkcji budynku. W przypadku niektórych budynków przyjmuje się średnią miesięczną wartość tych zysków jako wartość stałą [96].

Wielkość zysków ciepła od promieniowania słonecznego zależy od energii promieniowania w danej strefie aktywności, położenia i zdolności absorpcyjnych powierzchni, która odbiera tę energię oraz stałego i ruchomego zacienienia tej powierzchni. W sezonie grzewczym sumaryczna wartość zysków od promieniowania jest znacznie mniejsza niż poza sezonem. Zyski te mają szczególnie duży wpływ na wielkość energii użytkowej w budynkach wyposażonych w systemy chłodzenia [73; 96].

Stopień efektywnego wykorzystania zysków ciepła, który uwzględnia się w bilansie energii użytkowej w przypadku ogrzewania i wentylacji zależy od pojemności cieplnej budynku oraz stosunku zysków do strat w danym miesiącu. Im większa pojemność cieplna budynku, a stosunek zysków do strat mniejszy tym stopień efektywnego wykorzystania jest większy, dlatego w miesiącach „zimnych” jest bliski wartości jeden.

Z powyższego rozważania wynika, że na bilans energii użytkowej w przypadku ogrzewania i wentylacji ma wpływ wiele parametrów. Należy przypuszczać, że każdy z nich w różnym stopniu wpływa na wartość ostateczną bilansu energii użytkowej budynku. Niektóre z nich można dostosowywać i zmieniać w zależności od potrzeb na etapie tworzenia budynku, jednak niektóre z nich nie mogą podlegać modyfikacjom. Najczęściej zmienianymi parametrami i prawnie regulowanymi są współczynnik przenikania ciepła przegród budowlanych i w dużej mierze koncentrują się na nich działania termomodernizacyjne [26; 68; 97;136; 161;169; 172; 173; 174].

W przypadku energii użytkowej na potrzeby przygotowania ciepłej wody występuje znacznie mniej parametrów decydujących o wielkości tej energii, gdyż są to: jednostkowe zapotrzebowanie budynku na ciepłą wodę, różnica temperatur pomiędzy temperaturą wody podgrzanej i przed podgrzaniem oraz współczynnik korekcyjny uwzględniający przerwy w użytkowaniu ciepłej wody. Różnica temperatur jest w znacznej większości przypadków przyjmowana jako 45°C, współczynnik korekcyjny jest zróżnicowany i zależy od stosunku liczby dni użytkowania instalacji ciepłej wody do liczby dni w całym roku, co jest ściśle związane z funkcją budynku i okresem jego wykorzystywania w ciągu roku. Problem stanowi przyjęcie do obliczeń prawidłowej wartości jednostkowego zapotrzebowania na ciepłą wodę odniesionego do odpowiedniej

jednostki obliczeniowej. Przez wiele lat jednostki obliczeniowe odniesienia były bardzo różne np. osoba, uczeń, pacjent, łóżko szpitalne, miejsce w restauracji, m² powierzchni użytkowej, jednak od 2015 r. przy sporządzaniu bilansu energii użytkowej w przypadku ciepłej wody na potrzeby charakterystyki energetycznej budynku stosuje się jako jednostkę obliczeniową 1m² powierzchni użytkowej [21; 96; 160]. Badania i analizy [11; 175] wskazują, że w budynkach o tym samym przeznaczeniu występują znaczne różnice pomiędzy wskaźnikami jednostkowymi. W przypadku budynków mieszkalnych wynika to najczęściej z gęstości zasiedlenia w budynku oraz przyzwyczajęń użytkowników [21;160]. Na przykład autorzy [11] proponują wprowadzenie do obliczeń wskaźnikowej liczby mieszkańców wyrażonej jako stosunek rzeczywistej powierzchni mieszkania do statystycznej powierzchni użytkowej przypadającej na jedną osobę w budownictwie wielolokalowym i określanie wartości średniej zużycia ciepłej wody w odniesieniu do tej wskaźnikowej jednostki. W fazie projektowania nie jest możliwe określenie wartości wskaźnika indywidualnie dla budynku dlatego dla danego rodzaju budynku przyjmuje się taką samą wartość [11]. Sporządzając charakterystykę energetyczną budynku, przy wyznaczaniu której obowiązują szczegółowe wytyczne, w niektórych przypadkach zasadne wydaje się korzystanie z pomiarów eksploatacyjnych zużycia ciepłej wody [96; 98; 175]. Z badań przedstawionych przez [8] wynika, że rzeczywiste zużycie ciepła na przygotowanie ciepłej wody jest dużo mniejsze niż obliczeniowe. Przyczyną tego jest znacznie niższy wskaźnik rzeczywistego zużycia ciepłej wody (42,2–86,3 dm³/(os.·d) niż podawany w literaturze z zakresu instalacji wodociągowych 100–150 dm³/(os.·d).

Energia użytkowa typowego budynku mieszkalnego bez systemu chłodzenia to suma dwóch składników, z których większy udział ma energia na ogrzewanie i wentylację. Jeżeli sposób użytkowania budynku nie ulega zmianie to energia użytkowa na ciepłą wodę w jest praktycznie stała [90; 92; 169].

Ograniczanie wielkości energii użytkowej na potrzeby ogrzewania i wentylacji np. w wyniku projektowania budynków o podwyższonym standardzie energetycznym lub znaczna poprawa izolacyjności cieplnej struktury budowlanej w budynkach eksploatowanych powoduje wzrost udziału energii niezbędnej do przygotowania ciepłej wody w całkowitym bilansie energii. Wpływa to ostatecznie na wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania budynku na energię użytkową wykorzystywanego przy określaniu charakterystyki energetycznej budynku [175]. Takie cechy architektoniczne, materiałowe i konstrukcyjne jak kształt budynku, przeszklenie elewacji i izolacyjność przegród budowlanych mają istotny wpływ na zużycie energii do ogrzewania, ale różny dla odmiennych pod względem funkcji grup budynków (np. mieszkalne, oświatowe, produkcyjne) [56].

2.1.2 Energia końcowa

Podstawę do określenia wielkości energii końcowej w budynku mieszkalnym bez systemu chłodzenia stanowi energia użytkowa związana z ogrzewaniem i wentylacją oraz przygotowania ciepłej wody.

Zapotrzebowanie budynku na energię końcową do ogrzewania i wentylacji (przy danym zapotrzebowaniu na energię użytkową budynku) zależy od średniej sezonowej sprawności całkowitej systemu ogrzewania stanowiącego wyposażenie techniczne tego budynku. Wartość sprawności całkowitej zależna jest od średnich sezonowych sprawności cząstkowych charakteryzujących poszczególne elementy danego systemu. Są to: sprawność wytwarzania ciepła zależna od rodzaju źródła ciepła, sprawność dystrybucji ciepła zależna od sposobu prowadzenia przewodów i ich izolacji termicznej, sprawność regulacji i wykorzystania ciepła wynikająca ze sposobu regulacji instalacji oraz rodzaju ogrzewania i typu grzejników, sprawność akumulacji ciepła w urządzeniach pojemnościowych, jeżeli takie występują w systemie ogrzewania, zależna od sposobu zaizolowania tych urządzeń [18; 19; 20; 96; 98; 147; 159; 166].

Zapotrzebowanie budynku na energię końcową na cele ciepłej wody zależy od średniej sezonowej sprawności całkowitej systemu przygotowania ciepłej wody, analogicznie jak w przypadku ogrzewania [21; 43; 96; 98; 159; 160; 168].

Sprawności cząstkowe mogą być bardzo zróżnicowane. W budynkach projektowanych wynika to z możliwości zastosowania różnego rodzaju rozwiązań technicznych do zaspokojenia potrzeb energetycznych tego budynku, typu zamontowanych urządzeń, armatury i przewodów. Natomiast w budynkach eksploatowanych dodatkowo jeszcze od stanu technicznego elementów systemu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody. W oparciu o [96] w tabelach 2.1.2 i 2.1.3 podano zakres zmienności poszczególnych sprawności cząstkowych odpowiednio dla każdego systemu. Wartości te uznaje się za wskaźnikowe, są one powszechnie stosowane przy wyznaczaniu energii końcowej. Jednak dysponując odpowiednimi danymi i informacjami o systemach technicznych, uwzględniając różne parametry izolacji, czy trasę przebiegu przewodów, stosując metodę zawartą w rozporządzeniu [96] można dokładniej obliczyć np. sprawność przesyłu oraz akumulacji energii, a także określić różnicę pomiędzy wartościami wskaźnikowymi a obliczeniowymi [12; 144]. Na przykładzie budynku jednorodzinnego, w publikacji [12] przedstawiono wyniki obliczeń sprawności przesyłu w instalacji grzewczej przy różnych średnicach, grubościach izolacji oraz lokalizacji przewodów i wartości te wahały od 0,84 do 0,93. Natomiast sprawność całkowita systemu przygotowania ciepłej wody określona w publikacji [144] na przykładzie budynku szkoły wyniosła przy zastosowaniu metody wskaźnikowej 0,595, natomiast analitycznej 0,66. Do wyznaczenia sprawności całkowitej istniejących systemów technicznych można wykorzystać pomiary wykonane w warunkach eksploatacyjnych [77]. Straty w systemach ogrzewania mogą stanowić 10–20% zapotrzebowania budynku

w zależności rodzaju pomp, zasobników, źródła ciepła i sposobu zarządzania energią [78]. Autor publikacji [77] podaje, że starty w cyrkulacji ciepłej wody wyniosły 35%. Przykład grupy budynków opisanych w publikacji [77] pokazuje, że w warunkach eksploatacyjnych efektywność energetyczna systemów technicznych jest niska, co oznacza konieczność podjęcia działań, jednak nie zawsze możliwa jest poprawa sprawności wytwarzania energii w źródle ciepła, a jedynie sprawności regulacji i dystrybucji ciepła. [77].

Tab. 2.1.2 Średnie sezonowe sprawności cząstkowe systemu ogrzewania [96]

Lp.	średnio sezonowe sprawność cząstkowa	oznaczenie	wartość		opis
			minimalna	maksymalna	
1	wytwarzanie ciepła	$\eta_{H,g}$	0,60 / 1,3	0,99 / 4,0	konwencjonalne źródła ciepła / pompy ciepła
2	akumulacja ciepła	$\eta_{H,s}$	0,90	1,00	straty na zasobniku ciepła
3	przesył ciepła	$\eta_{H,d}$	0,80	1,00	straty na przesyle od źródła ciepła do strefy ogrzewanej
4	regulacja i wykorzystanie	$\eta_{H,e}$	0,70	0,94	rodzaj instalacji, grzejników i regulacji

Tab. 2.1.3 Średnie sezonowe sprawności cząstkowe systemu przygotowania ciepłej wody [96]

Lp.	średnio sezonowe sprawność cząstkowa	oznaczenie	wartość		opis
			minimalna	maksymalna	
1	wytwarzanie ciepła	$\eta_{W,g}$	0,40 / 1,2	0,96 / 2,6	konwencjonalne źródła ciepła / pompy ciepła
2	akumulacja ciepła	$\eta_{W,s}$	0,60	1,00	straty na zasobniku ciepła
3	przesył ciepła	$\eta_{W,d}$	0,40	1,00	straty na przesyle od źródła ciepła do zaworów czerpalnych
4	wykorzystanie ciepła	$\eta_{W,e}$	1,00	1,00	-

Zapotrzebowanie budynku na energię końcową należy zwiększyć o składnik energii elektrycznej pomocniczej niezbędnej do utrzymania pracy urządzeń w systemach grzewczym i przygotowania ciepłej wody. Udział tego składnika w energii końcowej budynku jest zróżnicowany tj. niewielki przy zastosowaniu konwencjonalnych źródeł energii, dość znaczący przy stosowaniu np. pompy ciepła. Niska wartość zapotrzebowania na energię końcową wskazuje przede wszystkim na wyposażenie budynku w systemy techniczne ogrzewania i przygotowania ciepłej wody o wysokiej efektywności energetycznej przy jednoczesnej dobrej izolacyjności cieplnej przegród budowlanych. Mała różnica

między zapotrzebowaniem na energię końcową i użytkową, przy wykorzystaniu rozwiązań technicznych opartych na konwencjonalnych źródłach energii, oznacza wyposażenie budynku w systemy techniczne charakteryzujące się wysokimi sprawnościami cząstkowymi, co w efekcie daje wysoką sprawność całego systemu [43; 159; 160; 175].

Stosowanie w instalacyjnych systemach technicznych urządzeń wykorzystujących odnawialne źródła energii może powodować, że zapotrzebowanie na energię końcową będzie prawie równe a nawet niższe od zapotrzebowania na energię użytkową [25; 26; 159; 165; 166].

2.1.3 Nieodnawialna energia pierwotna

Energia pierwotna może być uzyskiwana z nieprzetworzonych, kopalnych surowców lub z odnawialnego źródła energii. W pierwszym przypadku nazywana jest nieodnawialną energią pierwotną natomiast w drugim odnawialną energią pierwotną. W krajowych aktach prawnych takich jak Ustawa o odnawialnych źródłach energii (DZ. U. z 2018 r. poz. 2389) odnawialne źródło energii jest definiowane jako odnawialne, niekopalne źródło energii obejmujące energię: wiatru, promieniowania słonecznego, aerotermalną, geotermalną, hydrotermalną, fal, prądów i pływów morskich, a także hydroenergię oraz energię otrzymaną z biomasy, biogazu, biogazu rolniczego i biopłynów.

Energia pierwotna jest wykorzystywana w systemie technicznym. Systemy stanowiące wyposażenie techniczne budynku mogą mieć charakter systemu prostego lub złożonego. Według rozporządzenia [96] system techniczny prosty to taki, który wykorzystuje jeden rodzaj źródła energii, zasilany jest jednym nośnikiem energii lub energią, natomiast jeżeli system techniczny wykorzystuje więcej niż jeden rodzaj źródła energii nazywany jest złożonym. Na etapie projektowania oraz w warunkach eksploatacyjnych, w zależności od rodzaju potrzeb energetycznych budynku, jego funkcji, dostępności do paliw, występują systemy proste, a także złożone o różnym stopniu skomplikowania. W takim przypadku najpierw należy określić udział każdego rodzaju źródła, energii lub nośnika w pokryciu potrzeb energetycznych budynku, a następnie obliczyć jego zapotrzebowanie na energię pierwotną [96; 98; 99]. Przy jednoczesnym wykorzystywaniu nieodnawialnych i odnawialnych źródeł energii ostatecznie należy określić zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną. Wartość tej energii może być większa lub mniejsza od energii końcowej, a nawet bliska zeru [153; 159].

Przejście z poziomu energii końcowej na poziom energii pierwotnej dokonywane jest przy pomocy tzw. współczynnika (w_i) nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika lub energii do systemu technicznego zapewniającego dostawę energii użytkowej na pokrycie odpowiednich potrzeb budynku. W wielu publikacjach opisane są zagadnienia dotyczące relacji pomiędzy zużytą energią pierwotną a energią końcową

dostarczoną do odbiorców. Dotyczy to każdego systemu grzewczego, a w szczególności scentralizowanych systemów ciepłowniczych [13; 43; 50; 69; 77; 118; 119; 120; 149]. Z analizy przedstawionej przez [140] wynika, że ok. 40% gospodarstw domowych pobiera energię na zaspokojenie potrzeb grzewczych z sieci ciepłowniczej, kotły na paliwo stałe stanowią ok. 35%, paliwo gazowe to ok. 9%, natomiast urządzenia elektryczne to ok. 3%, inne zsumowane rozwiązania w tym kominki stanowią resztę.

Wartości współczynników w_i przyjmuje się lub wyznacza indywidualnie na podstawie wiedzy na temat układu technologicznego (m.in. praca w skojarzeniu, różnorodność paliw) albo na podstawie danych udostępnionych przez dostawcę nośnika lub energii [13; 45; 52; 118; 119; 120; 121; 139; 149]. W poszczególnych latach pracy źródła energii dane wykorzystywane do obliczenia w_i mogą być mocno zróżnicowane, dlatego ich coroczne rzetelne określenie jest ważne w aspekcie określania nieodnawialnej energii pierwotnej [50; 69]. W przypadku braku szczegółowych danych wartości w_i należy przyjmować wg zapisów zawartych w [96]. Wartości podane w [96] są w wielu przypadkach spójne z tymi, które występują w niemieckiej metodyce uwzględniającej krajowy system produkcji energii elektrycznej [13]. I tak na przykład, jeżeli występuje miejscowe wytwarzanie energii w budynku oparte na energii słonecznej, wiatru czy geotermalnej $w_i = 0$, przy biomasie $w_i = 0,2$, a przy wykorzystywaniu paliw kopalnych $w_i = 1,1$. Natomiast w przypadku zasilania budynku ciepłem sieciowym ważny jest sposób produkcji ciepła, gdyż przy występowaniu kogeneracji wartość w_i jest mniejsza od jedności, a dla tradycyjnej ciepłowni opalanej paliwami kopalnymi przyjmuje wartość 1,2 (gaz, olej opałowy) lub 1,3 (węgiel kamienny). Najwyższą wartość 3,0 przyjmuje w_i przy wykorzystywaniu w budynku energii elektrycznej dostarczonej do niego z systemowej sieci elektroenergetycznej [13; 96]. Autor publikacji [13] podaje, że średnia wartość w_i w przypadku kogeneracji bez stosowania źródeł odnawialnych wynosi 0,7, natomiast dla energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej przy sprawności wytwarzania tej energii 33% wynosi średnio w Polsce 2,956. W publikacji [119] podano, że w ciepłowniach wskaźnik w_i wynosi 1,175–1,221 natomiast w elektrociepłowni 0,91. Autor [50] podaje, że wartość współczynnika w_i w scentralizowanych systemach wykorzystujących kogenerację może wahać się od wartości 0,00 do 0,82, najczęściej to 0,7–0,8 w zależności od stopnia skojarzenia i struktury wykorzystywanego paliwa. Natomiast autor [69] podaje, że to przedział 0,78–85. W publikacji [118] podano, że przy wykorzystywaniu węgla w przykładowej elektrociepłowni wskaźnik ten wyniósł aż 2,17 natomiast przy zastosowaniu geotermii i kotła gazowego spadł do 0,76 oraz przy geotermii z pompą ciepła i kotłem gazowym wyniósł 0,97. Na przykład autor artykułu [120] podaje, że scentralizowany system ciepły Wiednia charakteryzuje się współczynnikiem w_i 0,4, a Drezna 0,68. Podaje również, że w_i dla kotła olejowego to 1,198, gazowe 1,157, a węglowego 1,57. Na wartość energii

pierwotnej ma wpływ wskaźnik w_i dlatego ważne są aspekty energetyczno-ekologiczne technologii produkcji ciepła [121].

Wynika z tego, że przy tym samym zapotrzebowaniu budynku na energię końcową można uzyskać bardzo zróżnicowane wartości zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Należy przy tym zauważyć, że wybór, przez projektanta, inwestora lub właściciela budynku, nośnika energii lub energii nie zawsze jest dowolny, gdyż występuje wiele barier m.in. technicznych, prawnych, ekonomicznych i społecznych.

W celu zminimalizowania potrzeb budynku na poziomie energii pierwotnej, należy rozpatrywać wszystkie aspekty jednocześnie, określając te, które mają największy wpływ na ostateczny wynik [7; 25; 26; 34]. Autor publikacji [25] zwraca uwagę na możliwość obniżenia zapotrzebowania na energię o ok. 36% poprzez zastąpienie w budynku jednorodzinnym wentylacji grawitacyjnej, instalacją wentylacji mechanicznej wyposażonej w wymiennik o sprawności odzysku ciepła ok 90%.

Uzyskanie struktury bilansu energii jak dla budynku zeroenergetycznego związana jest z inwestycją wdrożenia rozwiązań przyjaznych środowisku, opartych na odnawialnych źródłach energii np. promieniowania słonecznego (systemy PV), energii gruntu (np. gruntowe pompy ciepła). Jednak ostateczna decyzja o realizacji takich rozwiązań powinna być poprzedzona symulacjami optymalizacyjnymi różnych wariantów rozwiązań przy uwzględnieniu m.in. warunków lokalizacyjnych, cen energii i wysokości kosztów inwestycyjnych możliwych do poniesienia [37].

2.2 Charakterystyka energetyczna budynku

Charakterystyka energetyczna budynku, która jest m.in. przedmiotem dyrektywy 2010/31/UE [28] została zdefiniowana w tej dyrektywie jako obliczona lub empirycznie ustalona ilość energii potrzebnej do pokrycia potrzeb związanych z typowym użytkowaniem budynku, które obejmują m.in. energię do ogrzewania, chłodzenia wentylacji, przygotowania ciepłej wody i oświetlenia [70]. Ilość energii na oświetlenie wyznacza się w budynkach innych niż mieszkalne. W Ustawie [129] charakterystyka energetyczna rozumiana jest jako zbiór danych i wskaźników energetycznych budynku lub części budynku, określających całkowite zapotrzebowanie na energię niezbędną do ich użytkowania zgodnie z przeznaczeniem. W celu oceny energetycznej budynków należy wnikliwie przeanalizować, jak odpowiednio ustalić wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania budynku na energię pierwotną, uwzględniając różne aspekty [111].

2.2.1 Regulacje prawne

Zasady zrównoważonego rozwój można zrealizować poprzez podejmowanie globalnych działań, których przejawem jest tzw. cel opisywany jako „3 razy

20%”. Oznacza on chęć osiągnięcia do 2020 r. co najmniej 20% wzrostu efektywności energetycznej, 20% udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym oraz 20% redukcji emisji gazów cieplarnianych w odniesieniu do roku 1990. przez każdy kraj członkowski [45;148]. Pokazuje to, że Unia Europejska w kwestiach ochrony środowiska prowadzi politykę kompleksowego podejścia do zagadnienia. Jest to ważne szczególnie w świetle prognozy 30% wzrostu w UE zapotrzebowania na energię i jej nośniki w stosunku do roku 2000 [45]. Europejska polityka energetyczna koncentruje się na ograniczeniu zużycia tzw. konsumpcji energetycznej w sektorze budowlanym [44;125]. Udział budownictwa w zapotrzebowaniu na energię w gospodarce to ok. 40%, co skutkuje znaczną emisją CO₂ z tego sektora do atmosfery tj. ok. 30% [1], ponieważ wytwarzanie energii w największym stopniu oparte jest na nieodnawialnych źródłach. Budynki pobierają więcej energii niż przemysł lub transport [2]. Energia zużyta w budynkach mieszkalnych w 2000 r. stanowiła 65% całkowitego końcowego zapotrzebowania energii w sektorze budownictwa [138]. W publikacji [138] podano dane na temat zużycia ciepła na potrzeby grzewcze w pięciu krajach UE, wynika z nich, że jest ono bardzo zróżnicowane. Dlatego od lat w państwach Unii Europejskiej realizowane są programy, których głównym celem jest ograniczenie lub uniknięcie emisji zanieczyszczeń poprzez: ograniczenie zapotrzebowania na energię, poprawę efektywności energetycznej i racjonalne gospodarowanie energią [1; 2; 4; 5; 39; 47; 79; 141]. Problematyka związana ze zużyciem energii dotyczy takich zagadnień jak: gromadzenie informacji z dokumentacji, monitorowanie i kontrolowanie budynków, wprowadzenie obliczeń opartych na symulacjach numerycznych, określenie potencjalnych możliwości oszczędności energii, oszacowanie korzyści dla środowiska, rentowność działań, uwzględnianie różnego rodzaju barier (np. charakter zabytkowy budynku), a to oznacza, że ocena budynku powinna być wielokryterialna [5]. Unia Europejska realizuje swoje cele poprzez dyrektywy. Zagadnienia związane ze zużyciem energii w budynkach objęte są przede wszystkim dwoma dyrektywami tj. o charakterystyce energetycznej budynku [28] (2010/31 UE) oraz o efektywności energetycznej [29] (2012/27 UE). Regulacje prawne prowadzą m.in. do podnoszenia standardu energetycznego budynków.

Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej [28] (2002/91/WE zastąpiona dyrektywą 2010/31 [70]) koncentruje się na zużyciu energii w sektorze mieszkaniowym i usługowym, ponieważ jak wspomniano udział tego sektora w zużyciu energii końcowej wynosi ok. 40%.

Dyrektywa [28] wprowadza certyfikację energetyczną budynków opartą na metodzie obliczeniowej uwzględniającej wymagania krajowe, analizie obejmującej system ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, oświetlenia, ciepłej wody (w zależności od funkcji budynku) oraz opartą na wskaźniku *EP* i emisji CO₂ [78]. Dyrektywa odnosi się do nowych i istniejących budynków, podaje podstawowe założenia do metodyki określania charakterystyki energetycznej

budynku oraz opracowania świadectw energetycznych, zawiera również zagadnienia dotyczące okresowej kontroli kotłów i systemów klimatyzacyjnych. Dyrektywa nie uwzględnia powiązań zużycia energii z cyklem życia budynku [78]. Dokument ten, to zbiór wytycznych, które należy dostosować do warunków klimatycznych na danym obszarze, wymagań temperatury wewnętrznej przy jednoczesnym uwzględnieniu efektywności kosztowej [6; 44]. Dlatego wymuszało to opracowanie wytycznych krajowych w poszczególnych państwach [41]. Przykładem mogą być Włochy Północne na obszarze których lata są gorące, a zimy chłodne. Wymagania nie są dostosowane do warunków letnich, gdyż mało uwagi poświęca się chłodzeniu pomieszczeń w lecie. Wskazane jest podejście kompleksowe przy opracowywaniu studium przypadku [6]. Analiza przypadku przeprowadzona dla budynku użyteczności w Portugalii wykazała, że przepisy nie są spójne dla tego typu budynków [2].

Termin wdrożenia zapisów tej dyrektywy poprzez krajowe regulacje prawne wyznaczony został pierwotnie dla Polski na 1 stycznia 2006 r. jednak z powodów braku odpowiednich aktów prawnych został przedłużony do 1 stycznia 2009 r. [47; 114]. Polska dotrzymała tego drugiego terminu i wdrożyła dyrektywę pierwotnie poprzez wprowadzenie zapisów do ustawy [130] oraz rozporządzenia wykonawcze [95; 96]. Warto zauważyć, że występują analogie pomiędzy przepisami polskimi a niemieckimi [83]. Wiele Państw UE, które są liderami oszczędzania energii w budynkach i znane są z wdrażania innowacyjnych rozwiązań m.in. Niemcy, Dania, Francja, Holandia wdrożyły dyrektywę znacznie wcześniej niż Polska [83]. Wdrożenie dyrektywy w Hiszpanii opierało się na wprowadzeniu do certyfikowania budynków jednej metody pełnej i trzech uproszczonych, które zostały poddane ocenie przez 105 ekspertów. Analizy wykazały, że stosując różne metody przy wyznaczaniu emisji CO₂ jak i ocenie energetycznej dla tego samego budynku można uzyskać wyniki różniące się o ok. 26% dla tego samego budynku [17]. Innym przykładem zintegrowanych działań prowadzących do uzyskania efektów energetycznych i ekologicznych z wykorzystaniem symulacji numerycznych już na etapie projektowania są budynki należące do kampusu w Mediolanie [112]. We Francji wprowadzono system wydawania certyfikatów oparty na ocenie energetycznej budynku poprzez porównaniu budynku ocenianego z budynkiem referencyjnym, utworzono typologię budynków. Dzięki wprowadzeniu różnych danych można uzyskać w efekcie końcowym wskaźnik wyrażony w [kWh/m²·rok], co uznaje się za najbardziej wiarygodne [31]. Nie zawsze wdrażanie dyrektywy i uzyskiwanie niskich wskaźników zużycia energii w budynku jest możliwe, ponieważ występują ograniczenia wynikające z wartości historycznej, artystycznej lub krajobrazowej budynku czego przykładem mogą być budynki zlokalizowane na terenie Włoch omówione w publikacjach [5; 67]. W budynku zabytkowym zlokalizowanym w Bolonii, ze sporządzonego audytu wynikało, że można uzyskać ok. 30% oszczędności energii z modernizacji systemu grzewczego i wdrożenia systemu zarządzania

energią w budynku. [67]. Następnym państwem jest Portugalia, gdzie również podejmowano działania dostosowujące przepisy krajowe do dyrektywy unijnej. Dokumentowano wpływ niektórych parametrów, szczególnie istotnych dla wyników certyfikacji energetycznej budynków [4]. Natomiast w Grecji w celu realizacji dyrektywy wdrożono nowe wytyczne, aby osiągnąć zmniejszenie emisji CO₂, ponieważ w sektorze budowlanym 71% budynków zostało wykonanych przed pierwszymi regulacjami dotyczącymi izolacyjności cieplnej (1979 r.). Budynki mieszkalne stanowią 83% greckiego rynku budowlanego, dlatego na tej grupie budynków koncentrowano się opracowując ich typologię, w której podstawowym kryterium było zużycie energii [125].

W Polsce od 2 października 2014 r. zaczęła obowiązywać nowa, odrębna ustawa o charakterystyce energetycznej budynków i nowe przepisy wykonawcze do tej ustawy. Ustawa ta ma na celu wzmocnienie, ujednolicenie i doprecyzowanie systemu oceny jakości energetycznej budynków [143]. W poprzednich aktach prawnych występowały uchybienia co opisywano lub sugerowano w wielu publikacjach [91;108;115]. Autor publikacji [146] wskazuje na niespójności jakie występowały pomiędzy powiązаныmi ze sobą aktami prawnymi tj. warunkami technicznymi, rozporządzeniem dotyczącym formy projektu oraz metodologii sporządzania świadectw.

Zmiany w metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej polegały przede wszystkim na sposobie obliczania energii na potrzeby przygotowania ciepłej wody, przyjmowaniu wartości parametrów, które mają wpływ na energię użytkową i końcową oraz na wprowadzeniu obowiązku podawania wielkości: emisji CO₂, procentowego udziału energii odnawialnej w całkowitym zapotrzebowaniu, obliczania zużycia nośników. Wprowadzono metodę obliczeniową tzw. zużyciową opartą na wielkościach pomierzonych [91].

Dyrektywa o efektywności energetycznej [29] została wdrożona w Polsce poprzez ustawę z dnia 15 kwietnia 2011 r., (znowelizowana 20 maja 2016 r.) i przepisy wykonawcze do niej dotyczące zasad sporządzania audytu efektywności energetycznej [99]. Audyt efektywności energetycznej stanowi m.in. potwierdzenie uzyskania oszczędności energii i jest niezbędnym dokumentem do uzyskania świadectwa efektywności energetycznej czyli białego certyfikatu [92]. Ustawa ma szeroki zakres, dotyczy budynków, ale także urządzeń technicznych i instalacji, wymusza przeprowadzenie audytu energetycznego przedsiębiorstwa. Elementem uzupełniającym do ustawy jest wykaz przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej zawarty w obwieszczeniu Ministra Energetyki (Monitor Polski z dnia 23 listopada 2016 r. poz. 1184 z dnia 12 grudnia 2016 r.) Obowiązujące dokumenty mają spowodować ciągły wzrost wymagań stawianych budynkom nowym i poddawany termomodernizacji, rozwój nowych technologii oraz stosowanie nowoczesnych materiałów. Konieczne jest jednak działanie systemu białych certyfikatów i wsparcie finansowe środkami z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej [134]. Polityka dofinansowania jest również

konieczna, aby powstawały budynki o niskim zapotrzebowaniu na ciepło [143]. Ważne są krajowe wymagania i regulacje prawne związane z odnawialnymi źródłami energii [143]. W Polsce, od ponad 20 lat, działania prowadzące do oszczędności energii w budynkach wspierane są finansowo w postaci premii termomodernizacyjnej ze środków krajowych mechanizmem opartym na zapisach zawartych w tzw. ustawy „termo” [131; 156; 170; 171].

Wśród obowiązujących obecnie unijnych oraz krajowych aktów prawnych związanych z zagadnieniami zużycia energii w budynku można wyróżnić: dyrektywy i rozporządzenia unijne, ustawy i rozporządzenia krajowe oraz europejskie i polskie normy. Poniżej wymieniono najważniejsze regulacje prawne decydujące o standardzie energetycznym budynku i metodach jego określania, mające znaczący wpływ na proces projektowania budynków w zakresie efektywności energetycznej i jakość stosowanych urządzeń, wdrażanych rozwiązań technicznych i technologicznych powiązanych ze zużyciem energii w budynku wraz z aspektami ekologicznymi.

Dyrektywy i rozporządzenia Unii Europejskiej:

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej (Dz.U. UE L 156/75);
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz.U. UE L 153/13);
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylecia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE (Dz.U. UE L 315/1);
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/UE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, zmieniającą i w następstwie uchylającą dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30/UE (Dz.U. UE L 140);
- Rozporządzenie Komisji UE nr 813/2013 z dnia 2 sierpnia 2013 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla ogrzewaczy pomieszczeń i ogrzewaczy wielofunkcyjnych;
- Rozporządzenie Komisji UE nr 814/2013 z dnia 2 sierpnia 2013 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla podgrzewaczy wody i zasobników ciepłej wody użytkowej;
- Rozporządzenie Komisji UE nr 1253/2014 z dnia 7 lipca 2014 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE

w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla systemów wentylacyjnych;

- Rozporządzenie Komisji UE nr 2015/1185 z dnia 24 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń na paliwo stałe;
- Rozporządzenie Komisji UE nr 2015/1188 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń;
- Rozporządzenie Komisji UE nr 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla kotłów na paliwo stałe.

Należy nadmienić, że do dyrektywy 2009/125/WE obowiązują również rozporządzenia w sprawie wymagań dla wentylatorów, klimatyzatorów, silników elektrycznych, pomp cyrkulacyjnych, pomp do wody.

Ustawy i rozporządzenia krajowe:

- Ustawa z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów (Tekst jednolity Dz.U. z 9.05.2018 r., poz. 966 z późn. zmian.);
- Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz.U. z 8.09.2014 r., poz. 1200, z późn. zmian.);
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2015 poz. 478, z późn. zmian. tj. DZ.U. z 2018 r. poz. 2389 i 2245 z 2019 r. poz. 42, 60, 730)
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego (Dz.U. nr 43/2009 r., poz. 346 z późn. zmian. Dz.U. z 13.10.2015 r., poz. 1606);
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. z 18.03.2015 r., poz. 376 z późn. zmian.);
- Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 5 października 2017 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii (Dz.U. z 13.10.2017 r., poz. 1912);
- Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 13 września 2018 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra

Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego;

- Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury (12 kwietnia 2002 r.) w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 18.09.2015 r., poz. 1422 z późn. zmian.);
- Obwieszczenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej (M.P. z dnia 12 grudnia 2016 r. poz. 1184).

Normy europejskie i polskie:

- PN-EN ISO 6946: 2008 – Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- PN-EN 12831: 2006 – Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- PN-EN 14683: 2008 – Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- PN-EN ISO 13789: 2008 – Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację. Metoda obliczania.
- PN-EN ISO 13790: 2009 – Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- PN-83/B-03430/Az3: 2000 – Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania.
- PN-EN 15193: 2010 – Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia.
- PN-EN ISO 50001: 2011 – Systemy zarządzania energią. Wymagania i zalecenia użytkowania.

2.2.2 Wskaźniki energetyczne

Budynki charakteryzowane są pod względem energetycznym poprzez wskaźniki jednostkowe zapotrzebowania lub zużycia energii na różne cele, w przeliczeniu na powierzchnię lub kubaturę. W obowiązujących przepisach techniczno-budowlanych wskaźniki te wyrażane są w $[\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}]$ i wykorzystywane do porównywania budynków pod względem jakości energetycznej. Ma to uzasadnienie wówczas kiedy budynki mają podobną wysokość kondygnacji. Natomiast w przypadku występowania różnic wysokości bardziej zasadne wydaje się podawanie wskaźników w odniesieniu do 1 m^3 kubatury ogrzewanej [102].

Zapotrzebowanie budynku na dany rodzaj energii wyrażone poprzez wskaźnik odniesiony do jednostki powierzchni ogrzewanej użytkowej umożliwia porównanie budynków pod względem energochłonności. Pozwala również na odniesienie się do obowiązujących standardów energetycznych oraz zakwalifikowanie budynku do jednego z następujących typów: zeroenergetyczny, pasywny, niskoenergetyczny, energooszczędny, standardowy, energochłonny. Autor publikacji [135] do opisu energochłonności wykorzystuje kryterium liczby litrów tzw. oleju ekwiwalentnego (1 liter odpowiada 10 kWh/(m²·rok) zakładając, że budynek energooszczędny to pięcio- lub siedmio- „litrowy”, niskoenergetyczny trzy „litrowy”, pasywny półtora „litrowy”, a zeroenergetyczny (neutralny) to zero- „litrowy” [135]. Analizy pomiarów uzyskanych w warunkach eksploatacyjnych wskazują, że nie zawsze budynki, które w założeniach miały być energooszczędne na etapie projektowania i wykonawstwa spełniają te kryteria [68].

Dzięki wskaźnikom można porównywać energochłonność budynków o podobnych funkcjach użytkowych, zlokalizowanych w podobnych strefach klimatycznych, czy też wykonanych w różnych okresach i technologiach [3; 46; 54; 58; 59; 133; 137; 138; 145]

W Polsce do roku 2008, koncentrowano się jedynie na potrzebach energetycznych osłony budowlanej, bez szczegółowego analizowania wpływu systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody oraz rodzaju wykorzystywanego paliwa na pokrycie potrzeb energetycznych o czym świadczą zapisy wymagań w aktach prawnych [120; 151].

Standard energetyczny budynku był opisywany jedynie poprzez maksymalne wartości współczynników przenikania ciepła poszczególnych rodzajów przegród budowlanych pełnych i przezroczystych, maksymalną powierzchnię przegród przezroczystych oraz ewentualnie wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową. Graniczna wartość tego wskaźnika dla budynków mieszkalnych była uzależniona od wartości współczynnika kształtu budynku tj. stosunku sumy powierzchni przegród ograniczających kubaturę ogrzewaną do tej kubatury (A/V_e). Wskaźnik ten zawierał się w przedziale 29–37,4 kWh/m³·rok i dotyczył jedynie energii użytkowej. Większe wartości tego wskaźnika, co jest uzasadnione, zostały dopuszczone dla budynków o większych wartościach współczynnika kształtu. Jednak okazało się, że sprawność systemów technicznych stanowiących wyposażenie budynku oraz technologia wytwarzania energii mają istotny wpływ na wielkość zużycia energii oraz emisję zanieczyszczeń do atmosfery [7; 147; 148; 153; 159; 161; 163].

Obecnie charakterystyka energetyczna budynku opisywana jest poprzez wskaźniki rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (*EP*), energię końcową (*EK*) i użytkową (*EU*) podawane w jednostce [kWh/m²·rok] w odniesieniu do powierzchni użytkowej przestrzeni ogrzewanej lub chłodzonej (jeżeli chłodzenie występuje) w budynku [43; 95; 96]

Wskaźniki te można wyznaczyć dopiero po przeprowadzeniu pełnych obliczeń bilansowych dla budynku zgodnie z obowiązującymi normami [72; 73; 74] i metodologią przedstawioną w [96]. Wskaźnik *EP* i jego poszczególne składowe wyznaczone dla budynku ocenianego należy porównać z wartościami maksymalnymi podanymi w [97]. Im mniejsze wartości wskaźników tym mniejsze zapotrzebowanie na energię i większa efektywność energetyczna. Wyznaczenie charakterystyki jest obowiązkowe dla budynku zbywanego lub wynajmowanego na podstawie umowy [129; 130].

Zgodnie z ustawą [129] obowiązkowej ocenie energetycznej nie podlegają budynki gospodarcze i przemysłowe wyposażone tylko w instalację oświetlenia wbudowanego, gospodarstw rolnych o zapotrzebowaniu na nieodnawialną energię pierwotną nie wyższą niż $50 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$, podlegające ochronie zabytków, używane jako miejsca kultu i do działalności religijnej, wolnostojące o powierzchni poniżej 50 m^2 , mieszkalne przeznaczone do użytkowania nie dłużej niż 4 miesiące w roku. Nie oznacza to jednak, że dla tego typów budynków nie należy sporządzać charakterystyki energetycznej jeżeli wystąpi konieczności uzyskania informacji o nich w zakresie zapotrzebowania na energię.

Charakterystykę energetyczną budynku można wyznaczyć dwoma metodami: pierwszą obliczeniową opartą na standardowych warunkach brzegowych i drugą tzw. zużyciową opartą na rzeczywistych zużyciach energii lub paliwa. Pierwsza ma zastosowanie w każdym przypadku, natomiast druga w przypadku budynków istniejących wyposażonych w liczniki energii, mediów lub paliwa. Metoda druga jest wykorzystywana do analizowania efektów termomodernizacji oraz w procedurach związanych z systemem zarządzania energią w budynku.

W budynkach modernizowanych często uzyskuje się oczekiwane wskaźniki zużycia, jednak są przypadki w których wskaźniki prognozowane nie są osiągalne. Przyczyn takiego zjawiska należy poszukiwać między innymi w szeroko pojętym sposobie eksploatacji budynku [40; 172; 173; 174]. Opracowane modele matematyczne uwzględniają różne potrzeby energetyczne budynku, a niektóre z nich zostały zweryfikowane na podstawie danych rzeczywistych budynku. Dzięki nim właściciel obiektu może uzyskać obraz gospodarki energetycznej w budynku i określić wpływ niektórych działań na efekty energetyczne oraz na wynik końcowy, a także odnieść to do wymagań normowych [142].

Autor publikacji [32] uważa, że wyznaczenie charakterystyki cieplnej istniejącego budynku metodami obliczeniowymi nie jest dokładne ze względu na znaczną liczbę wielkości, których stan rzeczywisty nie łatwo jest określić (np. współczynniki przenikania ciepła przegród z uwzględnieniem mostków cieplnych) i proponuje pomiar zużycia ciepła. Jednak do wyznaczenia nieodnawialnej energii pierwotnej pozostaje jedynie metoda obliczeniowa. Według autora [40] w budynkach mieszkalnych rzeczywiste zużycie ciepła do ogrzewania różni się od przewidywanego, dlatego w procedurze oceny

energetycznej budynku istniejącego powinno uwzględniać się informacje z pomiarów. Różnice pomiędzy metodami pomiarowymi a obliczeniowymi mogą wynikać z innych parametrów wewnętrznych i zewnętrznych w warunkach eksploatacyjnych niż zakładane w obliczeniach m.in. temperatury, strumienia powietrza wentylacyjnego, współczynniki przenikania ciepła [40].

W celu wyznaczania wskaźników energetycznych można posługiwać się metodami obliczeniowymi lub opartymi na pomiarach. Każda z tych metod ma swoje wady i zalety [38]. Porównanie wartości obliczeniowych z pomierzonymi jest wykorzystywane do badania zachowania użytkowników oraz analizy warunków pogodowych [10], np. w budynkach w Toskanii wskazania rzeczywiste zużycia energii porównano z symulacjami w typowym roku meteorologicznym i uzyskano rozbieżności w zakresie 1–28%, te większe występowały w budynkach o niskim zużyciu energii [90].

Na etapie projektowania również wymagane jest sporządzenie charakterystyki energetycznej budynku i porównanie uzyskanych wyników z obowiązującymi wymaganiami z [95] w celu sprawdzenia spełnienia przepisów techniczno-budowlanych.

Tab. 2.2.1 Wartości EP_{H+W} wg [91]

Lp.	Rodzaj budynku	Maksymalne wartości EP_{H+W} wyrażona w kWh/(m ² · rok)		
		od 1.01. 2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2021*
1	mieszkalny jednorodzinny	120	95	70
2	mieszkalny wielorodzinny	105	85	65
3	zamieszkania zbiorowego	95	85	75
4	użyteczności publicznej - opieki zdrowotnej	390	290	190
5	użyteczności publicznej - pozostałe	65	60	45
6	gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	110	90	70
* od 1.01. 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością				

Z zależności wykorzystywanych powszechnie do wyznaczania wskaźników energetycznych budynku wynika, że zależą one bezpośrednio od zapotrzebowania na energię. Na zapotrzebowanie z kolei ma wpływ wiele parametrów przede wszystkim związanych ze strukturą budowlaną i wyposażeniem technicznym budynku. Ważne wydaje się przeanalizowanie w jakim stopniu poszczególne parametry powodują zmianę tych wskaźników i które z nich mają największy wpływ na wyniki końcowe oraz na ile zdefiniowane obowiązujące wymagania są możliwe do spełnienia przy zróżnicowaniu poszczególnych parametrów. Wykorzystywane mogą być do tego modele matematyczne [142] i metody obliczeniowe oparte na normach

i wdrożonej metodologii sporządzania charakterystyki energetycznej [32; 91; 115]. Na przykład budynek o takich samych parametrach zlokalizowany w różnych rejonach Polski może różnić się zapotrzebowaniem na energię wyrażoną poprzez wskaźnik EP nawet o 25%, a w tej samej strefie klimatycznej do 15% [30].

W tabeli 2.2.1 podano obowiązujące w różnych latach graniczne wartości wskaźnika EP_{H+W} (potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody) w zależności od rodzaju budynku [91]. Rozporządzenie [91] zawiera także maksymalne wskaźniki na potrzeby chłodzenia i oświetlenia, co ostatecznie umożliwia określenie granicznej wartości wskaźnika EP .

2.2.3 Standard energetyczny budynku

Na przestrzeni ostatnich ok. 30 lat, w każdym państwie, które prowadzi odpowiedzialną politykę energetyczną wymagania dotyczące standardu energetycznego budynków ciągle wzrastały. W budownictwie występuje olbrzymi potencjał uzyskania oszczędności energii niskim kosztem [2].

Wymagania zawarte w przepisach techniczno-budowlanych [96] w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej są zróżnicowane dla budynków nowo projektowanych i podlegających przebudowie. W przypadku tych pierwszych powinny być jednocześnie spełnione wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej przegród (wartości współczynników przenikania ciepła) i instalacji oraz wskaźników zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną, natomiast w przypadku tych drugich wystarczające jest spełnienie wymagań dla modernizowanych instalacji oraz współczynnika przenikania ciepła dla przebudowywanych przegród budowlanych [151; 154].

Standard energetyczny budynku opisywany jest między innymi poziomem zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Dlatego, nawet budynek o bardzo dobrej izolacyjności cieplnej przegród budowlanych i wyposażony w systemy techniczne o bardzo wysokiej sprawności może ostatecznie zostać przyporządkowany do grupy budynków o nie najwyższym standardzie energetycznym [7; 26; 104; 126; 137].

Wcześniej, np. w krajach Europy Wschodniej, które mają wspólne tło historyczne i ekonomiczne, duża część budynków w okresie istnienia ZSRR została wzniesiona według tych samych rozwiązań i systemów technologicznych, pomimo różnic klimatycznych [22]. Wykonywane są m.in. analizy statystyczne, które mają na celu usystematyzowanie budynków np. w Bułgarii, Serbii, Czechach, na Węgrzech według okresu wznoszenia i technologii wykonania oraz porównanie ich pod względem wskaźników energetycznych [22]. We Włoszech również opracowano metodę podziału budynków mieszkalnych pod względem efektywności energetycznej na obszarze miast. Metoda ta jest oparta na informacjach o danych technicznych i geometrycznych budynków oraz ich lokalizacji. Źródłem pozyskiwania danych

są audyty energetyczne i opracowania statystyczne, co pozwala na opracowanie jednolitych wymagań oraz planowanie wskaźników energetycznych dla projektowanych budynków. Przyspiesza to również termomodernizację budynków o niskiej efektywności energetycznej [24]. Na Litwie wprowadzono system certyfikacji wykorzystujący metodę obliczeniową opartą o obliczenia strat ciepła przez przegrody budowlane, wentylację, infiltrację oraz zapotrzebowaniu systemu przygotowania ciepłej wody. Wprowadzono wartości referencyjne współczynników U przegród budowlanych w budynkach projektowanych i termomodernizowaniach [117]. Ważną kwestią jest zdefiniowanie budynków referencyjnych również w grupie budynków użyteczności publicznej, ponieważ np. we Włoszech ponad 30% budynków szkolnych charakteryzuje się niską efektywnością energetyczną [53], również w Polsce często budynki tego typu są energochłonne [175]. Przy opracowywaniu klasyfikacji budynków i podziale ich na grupy pod kątem zapotrzebowania na energię podstawą jest korzystanie z danych i znalezienie technik pozwalających na zdobywanie informacji [53]. Na przykład w Toskanii przeanalizowano 54 budynki, które stanowiły część większego projektu dotyczącego analizy zużycia energii i stworzenia rekomendacji [90]. Dane zebrano z audytów energetycznych budynków mieszkalnych i utworzono modele energetyczne [90].

Standard energetyczny definiowany poprzez roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię pierwotną (EP) jest trudniejszy do określenia i inaczej opisywany w przypadku budynku niemieszkalnego niż mieszkalnego [38].

Regulacje prawne polegające na stopniowym zaostrzaniu wymagań odnośnie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych i stawianiu coraz wyższych wymagań systemom ogrzewania doprowadziło na przestrzeni 20 lat do znacznego spadku zapotrzebowania budynków na energię z 300 na 150 kWh/(m²·rok) [100]. Podnoszenie standardu energetycznego poprzez ograniczanie wartości wskaźnika EP jest wypadkową postępu technicznego, dostępności do nowoczesnych materiałów i nowelizacji aktów prawnych. Możliwe jest uzyskanie bardzo niskiego (mniejszy od 15 kWh/m²·rok) wskaźnika EP budynku o prawie zerowej emisji kosztem zwiększonych nakładów inwestycyjnych. Dlatego należy optymalizować EP w zależności od kosztów eksploatacyjnych i kosztów budowy na etapie projektowania. W innym przypadku może to wymuszać wznoszenie budynków nowoczesnych technologicznie, o niskim zapotrzebowaniu na energię, jednak bardzo drogich [100; 101]. Budynki o niskim zużyciu nie są atrakcyjne pod względem kosztów inwestycyjnych, jednak powinny być tak projektowane, aby były osiągalne cenowo dla przyszłych mieszkańców [6].

Wprowadzane standardy energetyczne mają na celu dążenie do tego, aby budynki były efektywne energetycznie, ale jednocześnie funkcjonalne pod kątem ich użytkowania [2].

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na potrzeby wdrażania programu dopłat do budownictwa energooszczędnego podniósł standard energetyczny budynku opisany jako NF 40 (wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową do 40 kWh/m²·rok) i NF 15 (analogicznie do 15 kWh/m²·rok). Wiąże się to z ponoszeniem wyższych kosztów inwestycyjnych, a czas zwrotu zainwestowanych pieniędzy na podniesienie standardu energetycznego budynku jest dość długi [107]. Analiza wykonana w artykule [106] przy cenach paliw, robocizny i materiałów wówczas obowiązujących wskazuje, że opłacalne jest wznoszenie budynków energooszczędnych zamiast standardowych, natomiast dyskusyjne wydaje się wznoszenie budynków pasywnych. Ważnym aspektem polityki energetycznej w Europie jest określenie wartości wskaźnika *EP* budynków na takim poziomie, aby zoptymalizowane zostały koszty inwestycyjne i eksploatacyjne poprzez tworzenie różnych, odpowiednio dostosowanych do warunków klimatycznych (np. basenu Morza Śródziemnego) konfiguracji rozwiązań [141].

Podniesienie efektywności energetycznej prowadzi do poprawy standardu energetycznego, można to osiągnąć dzięki termomodernizacji istniejących budynków, budowie domów energooszczędnych, niskoenergetycznych, pasywnych, modernizacji oświetlenia, źródeł ciepła i sieci ciepłowniczych. Powinno to również doprowadzić do racjonalnego gospodarowania energią [135]. Projektowanie budynków o niskim zużyciu energii pierwotnej możliwe jest w drodze współpracy projektantów kilku branż odpowiadających za powstawanie budynku, w tym w szczególności projektantów odpowiadającej za systemy ogrzewania wentylacji i przygotowania ciepłej wody [80].

Zużycie energii w budynku powiązane jest z zagadnieniami społecznymi, ekonomicznymi, środowiskowymi i legislacyjnymi [1]. Ważne jest opomiarowanie zużycia energii i zarządzanie energią w budynku np. poprzez system BEMS (Building Energy Management System), który jest technologią komunikacyjną wraz z protokołami m.in. typu ModBus, M-Bus, Ethernet, WiFi i coraz częściej wykorzystywaną przy zarządzaniu nieruchomościami [1; 14]. Zagadnienia związane z zarządzaniem energią w budynkach zawarte są w dyrektywie unijnej dotyczącej charakterystyki energetycznej budynku i docelowo planowane jest obowiązkowe wdrożenie wymagań dyrektywy w tym zakresie [1].

2.2.4 Świadectwo charakterystyki energetycznej

Pomysł certyfikacji budynków pod względem energetycznym jako niezbędnego narzędzia do poprawy efektywności energetycznej poprzez minimalizację zużycia energii w budownictwie powstał w latach 90-tych XX w. [77]. W celu opracowania systemu certyfikacji i klasyfikacji budynków należy określić referencyjne wartości wskaźnika *EP* budynku [10; 41], co pozwala

również na opisanie korelacji pomiędzy danymi wejściowymi i wyjściowymi prowadzonych obliczeń [10;41].

Certyfikacja jest narzędziem ważnym w całym świecie, nie tylko dlatego, że pozwala monitorować zużycie energii w budownictwie, ale również dlatego, że jest to mechanizm pozwalający wdrożyć wytyczne międzynarodowe dotyczące energii [44;89]. Cechy energetyczne budynku stanowią bazę do obliczeń efektywności energetycznej [89]. Na początku proces wdrożeniowy charakteryzował się rozbieżnościami m.in. w terminologii, koncepcji metody określania efektywności energetycznej oraz wartościach referencyjnych, sposobie etykietowania budynków. Powadziło to często do błędnego interpretowania wyników i dezorientacji uczestników sektora budowlanego [84]. Certyfikacja energetyczna budynków ma wpływ na zmianę podejścia do problemu efektywności energetycznej w budownictwie, jest katalizatorem wprowadzania zmian w tym zakresie [16]. Oparta jest na modelach obliczeniowych i może być wykorzystywana do porównania z wynikami uzyskiwanymi w warunkach eksploatacyjnych, które mogą różnić się sposobem użytkowania od standardowych [23].

W Polsce świadectwo charakterystyki energetycznej jest dokumentem sporządzanym na podstawie ustawy [129], a wcześniej ustawy [130] oraz metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku zawartej w rozporządzeniu [86]. Stanowi dokument przydatny w zarządzaniu i obrocie nieruchomościami [129; 158]. Certyfikacja energetyczna jest ważna zarówno dla sprzedających jak i nabywców budynków [23].

Świadectwo energetyczne budynku pokazuje jaki pod względem energetycznym jest budynek oraz wskazuje co należy zrobić aby poprawić jego jakość energetyczną [108].

Budynki poddawane są wielokryterialnej certyfikacji przy wykorzystaniu różnych systemów. W Polsce nie jest to jeszcze powszechne, ale zauważa się coraz większe zainteresowanie oceną wielokryterialną wg systemu brytyjskiego BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) lub popularnego w USA LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). W obydwu systemach jednym z kryteriów i to najbardziej znaczącym jest tzw. kryterium energetyczne dotyczące efektywności energetycznej budynku. Systemy te wspierają budownictwo energooszczędne [52; 140]. Nie zawsze jednak budynki posiadające certyfikat wielokryterialnej oceny są energooszczędne. Na przykład w Nowym Jorku poddano ocenie, pod względem efektywności energetycznej i emisji gazów cieplarnianych 953 budynki biurowe wśród których były budynki z certyfikatem LEED i bez niego. Stwierdzono, że nie każdy budynek z certyfikatem charakteryzował się niskim zużyciem energii. W tej grupie znajdowały się budynki o zróżnicowanej efektywności energetycznej, podobnie jak w grupie budynków niecertyfikowanych. W przypadku lokalizacji budynków w tej samej strefie

klimatycznej, dokonywane porównania w jednej i w drugiej grupie oraz pomiędzy grupami, do obowiązującego tam standardu energetycznego wskazywały, że niektóre z nich były lepsze od standardowych, natomiast część z nich nie spełniała standardu [111].

2.2.5 Relacje pomiędzy wskaźnikami *EU*, *EK* i *EP*

Autor publikacji [102] uważa, że wskaźnikiem najbardziej eksponowanym w świadectwie charakterystyki energetycznej budynku jest *EP*, jednak jakość energetyczną budynku najlepiej oddają wskaźniki *EU* (dotyczy osłony budowlanej) i *EK* (dotyczy osłony budowlanej wraz z instalacjami). Uważa również, że wskaźniki *EK* i *EP* niosą znacznie różniące się informacje o budynku [102]. Rozpatrując budynek pod kątem jakości energetycznej jego systemów technicznych oraz przegród budowlanych, w osłonie bilansowej utworzonej przez te przegrody wskaźnik *EP* przy ocenie elementów i systemów technicznych budynku pod względem energochłonności jest najmniej istotny, gdyż informuje przede wszystkim o obciążeniu jakie dany budynek stanowi dla środowiska. Świadczy o tym relacja pomiędzy *EP* i *EK* gdzie pomimo wysokiej wartości *EK* wartość *EP* jest niska i na odwrót. Wskaźnik *EK* świadczy o energii zużywanej przez budynek w przypadku rozpatrywania zapotrzebowania na energię na granicy bilansowej, którą tworzą przegrody budowlane. Autorzy publikacji [102; 108; 110;] wykazują, że pomiędzy *EK* i *EP* nie występuje korelacja, więc wskaźnik *EP* nie powinien być aż tak eksponowany przy ocenie energetycznej samego budynku. Przy założeniu osłony bilansowej w miejscu wytwarzania oraz uwzględnieniu dostarczania nośnika energii lub energii do systemu technicznego w budynku zasadne jest rozpatrywanie wskaźnika *EP*. Na wartość wskaźnika *EP* ma wpływ wiele parametrów poczynając, od kształtu budynku [60], współczynnika przenikania ciepła [152], udziału okien [57], zysków od promieniowania słonecznego [155], strefy klimatycznej [154] poprzez systemy ogrzewania [42; 63; 66; 150; 159; 166] oraz systemy przygotowania ciepłej wody [159; 160; 165; 166] w tym wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii [153; 165; 168]. W odniesieniu do scentralizowanych źródeł ciepła od wielu lat podejmuje się działania polegające na likwidacji węzłów grupowych i zastępowaniu ich węzłami indywidualnymi dostosowanymi do potrzeb pojedynczych budynków, co przynosi poprawę efektywności energetycznej oraz korzyści dla odbiorcy końcowego, [162; 163; 164; 167]

Często pomimo spełnienia wymagań decydujących o wskaźniku *EU* i *EK* analizowane obiekty nie spełniają wymagań *EP* [26; 42; 48; 79; 103; 104]. Publikacja [103] zawiera analizę możliwości spełnienia wymagań cząstkowych EP_H m.in. w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Wynika z niej, że w wielu przypadkach nie zostały dotrzymane wymagania pomimo spełnienia wymagań wykazanych w charakterystyce sporządzonej na etapie projektu [103].

Autor publikacji [123;124] proponuje określanie średniej ważonej wartości współczynnika przenikania ciepła budynku tzw. zintegrowanej charakterystyki, która pozwoli na uzyskanie wymagań w zakresie wskaźnika energii pierwotnej na ogrzewanie (EP_H). W wielu publikacjach opisywane są zagadnienia dotyczące relacji pomiędzy wyżej wymienionymi wskaźnikami oraz propozycje zastosowania instalacyjnych rozwiązań technicznych prowadzących do dotrzymania wymagań w zakresie wskaźnika EP . W publikacji [26], na podstawie badań symulacyjnych, przeanalizowano budynek jednorodzinny pod kątem wpływu lokalizacji budynku w zależności od strefy klimatycznej, podjętych działań termomodernizacyjnych, sprawności systemów ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody. Ostatecznie uzyskano wartość spełniającą wymagania dla budynku po zamianie źródła ciepła z kotła węglowego na kocioł opalany biomasą. Na podstawie symulacji oszacowano, że zmniejszenie współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych w zależności od strefy klimatycznej spowodowało spadek wartości wskaźnika EP z 18,7% do 32,5%. Publikacja [42] zawiera analizę wskaźników energii końcowej i pierwotnej łącznie na potrzeby ogrzewania i przygotowania ciepłej wody przy stałym zapotrzebowaniu na energię użytkową ale różnych wariantach rozwiązań technicznych systemów instalacyjnych. Ze względu na zastosowane różne źródła ciepła i nośniki energii uzyskano wskaźnik EP_{H+W} w przedziale 31–305 kWh/(m²·K).

W wielu publikacjach [47; 48; 121; 153; 163] opisywane są rozwiązania z zastosowaniem urządzeń wykorzystujących odnawialne źródła energii. Na przykład zastosowanie pompy ciepła w systemie grzejnym o wysokiej sprawności powoduje, w zależności od rodzaju i sposobu zasilania pompy ciepła oraz relacji pomiędzy jej sprawnością a współczynnikiem nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej, że stosunek wskaźnika EP do EU będzie zbliżony do jedności. Przy zastosowaniu źródła ciepła na biomasę nawet mniejszy od jedności. Korzystnie również wypada stosowanie kogeneracji [47; 48]. Wartość wskaźnika EP zmniejsza zastosowanie kogeneracji wykorzystującej paliwa gazowe lub układy kogeneracyjnych współpracujące z pompą ciepła albo systemem sieciowym. W przypadku konieczności pokrycia zapotrzebowania budynku na chłód wskazane jest stosowanie trigeneracji [49]. Wskaźnik EP może przyjmować wartości mniejsze lub większe od EK i EU wpływ na to ma rodzaj źródła ciepła oraz współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (w_i) [7; 136]. Przykład budynku biurowego pokazuje, że pomimo spełnienia wymagań w zakresie izolacyjności struktury budowlanej oraz zastosowania wysokosprawnej wentylacji z odzyskiem ciepła nie ma gwarancji spełnienia wskaźnika EP , gdyż udział oświetlenia w tego typu budynku jest wiodący. Jak wcześniej wspomniano, współczynnik w_i dla energii elektrycznej pozyskiwanej z sieci elektroenergetycznej jest wysoki (wynosi 3,0) i dlatego z analizy wynika, że jedyną drogą do spełnienia wskaźnika EP jest zastosowanie odnawialnych źródeł energii [119]. W przypadku niektórych

budynków mieszkalnych zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła obniży wartość EK i pozwoli spełnić wymaganie w zakresie wskaźnika EP [27].

Sformułowanie w przepisach techniczno-budowlanych wymagań poprzez wskaźnik EP wymusza stosowanie rozwiązań opartych na wykorzystywaniu odnawialnych źródeł energii i układów skojarzonych [48]. Wykorzystywanie źródła ciepła pracującego w skojarzeniu oraz stosowanie nowoczesnych rozwiązań prowadzi to uzyskania większej efektywności energetycznej [119; 120]. Analizy różnych konfiguracji wykorzystywania w źródłach nośników energii do produkcji energii i ciepła wskazują, że najmniej korzystne rozwiązanie pod kątem określania wartości w_i to elektrociepłownie opalane węglem, natomiast dobre wyniki daje zastosowanie odnawialnych źródeł energii w połączeniu z kotłami gazowymi [118]. Problem zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej ciągle występuje. Produkcja i dystrybucja ciepła w systemach scentralizowanych poprzez innowacyjne rozwiązania techniczne oparte m.in. na odnawialnych nośnikach energii i poprawa efektywności energetycznej tych systemów wpływa na wartość współczynnika w_i , co z kolei ma znaczenie dla odbiorcy końcowego w aspekcie oceny energetycznej budynku [69; 149]. Wskaźnik EP , czyli rozpatrywanie bilansu energetycznego na poziomie nieodnawialnej energii pierwotnej może służyć do porównywania efektywności energetycznej różnych systemów technicznych zaopatrywania budynków w energię. Rozpatrując aspekty techniczne przy projektowaniu i realizacji inwestycji spełnienie wymagań wskaźnika EP jest znacznie trudniejsze niż współczynnika U przegród budowlanych [48]. Autor publikacji [104] stwierdza, iż nie powinno być tak, że spełnienie wszystkich wytycznych dotyczących przegród budowlanych i systemów technicznych nie powoduje uzyskania odpowiedniej wartości wskaźnika EP . Istnieje więc wątpliwość czy są one prawidłowo sformułowane.

2.2.6 Wpływ termomodernizacji budynku na wskaźniki energetyczne

W Polsce od ponad 20 lat, a w niektórych krajach w Europie np. Niemczech, Danii, znacznie dłużej prowadzi się działania prowadzące od ograniczenia zużycia energii w budynkach i poprawy efektywności energetycznej. Nowym budynkom stawia się coraz większe wymagania w zakresie izolacyjności ciepłej przegród, natomiast istniejące obiekty często nadal są energochłonne. Spełnienie wymagań w zakresie współczynnika U wiąże się ze zwiększeniem grubości izolacji termicznej przegród [150]. W przypadku budynków energochłonnych, na świecie w tym w Polsce podejmowane są działania i opracowywane są różne strategie oraz plany modernizacji budynków. Najlepiej jeżeli są to działania kompleksowej głębokiej termomodernizacji, która ma charakter optymalny co do zakresu i kosztów [136]. Pomimo występowania barier w różnych obszarach,

działania te są realizowane i w efekcie przynoszą korzyści ekonomiczne, środowiskowe i społeczne [93; 94; 136; 169; 172; 173; 174].

Odnawianie istniejących budynków o różnych funkcjach, w celu ograniczenia zużycia energii i emisji CO₂ to jedno z głównych zagadnień dzięki któremu można uzyskać zrównoważony rozwój i zrównoważone projektowanie przy relatywnie niskich kosztach inwestycyjnych [62]. Polityka energetyczna dotyczy oszczędności energii jak również analizy optymalizacji kosztów wydatkowanych na renowację budynków [53; 88]. Ważne są energetyczne parametry docelowe termomodernizacji oraz jej efektywność kosztowa [15; 88]. Termomodernizacja powinna być kompleksowa, ponieważ takie działanie daje lepsze efekty i jest bardziej opłacalne niż pojedyncze usprawnienia [15; 88]. Opracowania zawierające analizę stanu istniejącego budynku, wykaz i opis działań możliwych do realizacji, prowadzących do ograniczenia zużycia energii w budynku, a także analizę kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych to audyt energetyczny lub audyt efektywności energetycznej [35; 62; 82; 88; 98; 99; 131; 132; 156; 157; 170]. Audyty dotycząc zagadnień energetycznych w budynku są przydatne i często wykorzystywane w zarządzaniu nieruchomością [156; 157; 158; 161]. Audyty są najczęściej wykonywane na potrzeby kompleksowej termomodernizacji, a uzyskane w nich wyniki porównywane są z rzeczywistymi efektami energetycznymi oraz ekonomicznymi w warunkach eksploatacyjnych [62; 64; 65; 161; 169; 172; 173; 174]. Audyty stanowią podstawę wsparcia finansowego inwestycji [156; 171].

W wielu krajach praktyka polega na wdrażaniu, wspieranego przez rząd, systemu audytowania energetycznego budynków i rekomendowania działań prowadzących do oszczędności energii wskazanych przez audytorów (np. w Kanadzie prowadzona od 1998 r.) [34]. Audyty pozwalają na dokonanie najlepszych decyzji związanych z przebudową budynku i jego wyposażenia [62]. W niektórych państwach problemem jest zwiększenie pomocy publicznej na te działania [16]. Na przykład w Szwecji program pomocy publicznej skupiał się na średnich i małych firmach, obejmował 241 podmiotów, pomagał sfinansować wykonanie audytów energetycznych budynków. Celem tych opracowań była ocena efektywności energetycznej i kosztowej oraz pokazanie potencjału oszczędności energii [9]. Na podstawie pomiarów eksploatacyjnych oceniono, że rzeczywiste efekty termomodernizacji wynosiły od 20% do 40% w zależności od okresu wznoszenia budynku [86]. Z obliczeń zwartych w audytach energetycznych wynika, że można uzyskać oszczędności energii w przedziale 30–70%, a zależy to od stanu wyjściowego (im gorszy tym efekty lepsze) oraz zakresu działań. Zakres tych działań powinien być określony po rzetelnej ocenie i analizie stanu istniejącego budynku [101].

W budynkach analizowanych w publikacji [3] wykazano, że sprawności systemu przygotowania ciepłej wody praktycznie bez względu na okres wznoszenia budynku jest niska i wynosi ok 0,55, a w przypadku systemu ogrzewania rośnie od 0,63 do 0,78 w zależności od okresu wznoszenia budynku.

Termomodernizacja daje dobre wyniki, gdyż istnieje szeroki wachlarz robót możliwych do wykonania prowadzących do oszczędności energii. Ważne jest optymalizowanie kosztów tych robót dla konkretnego budynku i projektu [62]. Analiza audytów energetycznych budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej oraz pomiary zużycia ciepła wskazują, że przewidywane i rzeczywiste efekty termomodernizacji są znaczne i zbliżone do siebie, a rozbieżności są wynikiem panujących warunków eksploatacyjnych [109]. W wielu przypadkach osiąga się zakładaną w audytach energetycznych poprawę charakterystyki energetycznej budynków. Jednak są również przypadki, w których uzyskiwane są efekty mniejsze od oczekiwanych [85; 94]. Może to wynikać na przykład ze sposobu eksploatacji źródła ciepła [105]. W wyniku termomodernizacji uzyskuje się oszczędności energii na poziomie kilkudziesięciu procent, co może prowadzić do uzyskania wartości wskaźnika *EP* jak dla budynku nowego [46]. Ważna w warunkach eksploatacyjnych jest relacja pomiędzy ilością ciepła wytwarzanego w lokalnym źródle a ilością ciepła pobranego przez użytkowników, gdyż wskazuje to na wielkość strat [76]. Analiza porównawcza poziomu rocznego zużycia energii w poszczególnych latach lub sezonach grzewczych i jej racjonalne wykorzystanie to kluczowe zagadnienia przy ocenie energetycznej budynku [58; 59; 81].

2.2.7 Emisja zanieczyszczeń

Najistotniejszym elementem zrównoważonego rozwoju jest ekologia, co w przypadku zużycia energii w budownictwie oznacza m.in. dążenie do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery wynikających ze spalania paliw, w tym na cele ogrzewania budynku w cyklu jego życia. Najczęściej wyznaczana jest emisja takich zanieczyszczeń jak NO_x , SO_x i pyły oraz emisja gazu cieplarnianego CO_2 [110]. Spadku emisji CO_2 poszukuje się głównie w sektorze budowlanym, ponieważ powstaje w nim 36% gazów [5]. Poprawa efektywności energetycznej prowadzi do ograniczenia emisji CO_2 [119; 120]. Zobowiązania międzynarodowe Polski dotyczą realizacji celu „3 razy 20%”, którego częścią jest ograniczanie emisji CO_2 [148]. Powstaje potrzeba łącznego rozpatrywania wymagań ochrony cieplnej budynków i aspektów ochrony środowiska w tym związanych z opłatami za użytkowanie środowiska (szkód ekologicznych) [87; 116].

Metodologia opisana w rozporządzeniu [96] zawiera zależności pozwalające na wyznaczenie wielkości emisji CO_2 pochodzącej ze spalania paliw. Wielkość tej emisji zależy od rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową oraz wskaźnika emisji CO_2 charakterystycznego dla rodzaju spalanego paliwa [79]. Wskaźnik emisji dla odnawialnych źródeł energii (energia słońca, wiatru, geotermalna, biomasa, biogaz) jest równy zero, natomiast w przypadku pozostałych rodzajów paliw przyjmowany jest na podstawie danych udostępnionych przez wytwórcę lub dostawcę energii, albo na podstawie

opracowań Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE). Przy danej wartości wskaźnika EK , wartość wskaźnika EP jest zależna od współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (w_i). Wiele miejsc poświęcono w publikacjach sposobom wyznaczania współczynnika w_i oraz jego wartościom zarówno w systemach lokalnych jak i centralnych wytwarzania energii [47; 50; 69; 149]. Układy z pompami ciepła i wytwarzanie energii w skojarzeniu przyczynia się do poszanowania środowiska i jego zasobów [49]. Korzystne wskaźniki ekologiczne mają skojarzone układy produkcji energii elektrycznej i ciepła [121]. Wartość współczynnika w_i ma znaczący wpływ przy obliczaniu EP dlatego ważne jest jego rzetelne wyznaczenie [50]. W przypadku braku danych, które umożliwiłyby wyznaczenie wartości współczynnika w_i należy przyjmować jego wartość z rozporządzenia [96]. Współczynnik ten według [96] obejmuje wytworzenie i dostarczenie nośnika energii dla systemów technicznych. W rozporządzeniu tym jest on na przykład taki sam dla miejscowego wytwarzania energii w budynku bez względu na rodzaj paliwa tj. węgiel, gaz ziemny czy olej opałowy. W świetle tego może zasadne byłoby zweryfikowanie podanych w rozporządzeniu [96] wartości współczynnika w_i .

Korelacja pomiędzy wskaźnikiem EP , a emisją CO_2 jest większa niż pomiędzy wskaźnikami EK i EP [110; 71]. Brak jest natomiast korelacji pomiędzy wskaźnikiem EP , a emisją NO_x , SO_x i pyłów do atmosfery. Emisja CO_2 do atmosfery jest znacznie mniejsza w przypadkach stosowania np. gruntowych pomp ciepła, natomiast przy korzystaniu z kotłów opalanych węglem powstaje dużych ilości zanieczyszczeń. Dodatkowo, w przypadku budynków jednorodzinnych powstaje problem tzw. niskiej emisji w miejscu jego lokalizacji [137]. Dobre efekty ekologiczne uzyskuje się poprzez modernizację lokalnych źródeł ciepła przy jednoczesnym wykorzystaniu odnawialnej energii. Może to prowadzić do obniżenia o kilkadziesiąt procent zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną, a tym samym ograniczenia emisji CO_2 i pyłów na jeszcze wyższym poziomie [61]. Należy przypuszczać, że im mniejsza wartość wskaźnika EP tym mniejszy negatywny wpływ budynku na środowisko i zasoby naturalne [47; 48; 49; 110; 137; 161]. Systemy oceny energetycznej budynków wspierają dążenia do stosowania odnawialnych źródeł energii oraz do ograniczenia emisji CO_2 [52]. Termomodernizacja struktury budowlanej obniża emisję CO_2 , ale bardzo duże znaczenie ma wybór paliwa i nośnika energii oraz stosowanie alternatywnie źródeł energii odnawialnej [79; 161]

3 Cel pracy i hipotezy badawcze

Celem niniejszej pracy jest ocena wpływu liczby stopniodni, zysków ciepła, parametrów przegród budowlanych oraz rodzajów systemu ogrzewania i systemu przygotowania ciepłej wody na charakterystykę energetyczną budynku, a w szczególności na wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP_{H+W}).

Realizację celu pracy podjęto poprzez próbę rozpoznania następujących problemów:

1. W jakim stopniu zmiana wybranych, poszczególnych parametrów związanych z lokalizacją budynku, przegrodami budowlanymi oraz systemami technicznymi ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody ma wpływ na charakterystykę energetyczną budynku i które z nich mają największe znaczenie przy określaniu wartości wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej (EP_{H+W}) budynku mieszkalnego wielorodzinnego?
2. Czy uwzględniając wielkość wpływu wybranych, poszczególnych parametrów na charakterystykę energetyczną budynku wielorodzinnego nie należy zróżnicować wymagań w zakresie granicznych wartości wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej (EP_{H+W}) dla tego budynku?

Problematyka podjęta w niniejszej pracy jest wynikiem przeglądu literatury, w którym wykazano, że:

- analizy nie obejmują wpływu wszystkich parametrów rozpatrywanych w niniejszej pracy na wskaźniki energetyczne
- w większości przypadków odrębnie analizowane są zagadnienia wpływu parametrów przegród budowlanych i parametrów systemów technicznych na wybrane wskaźniki oceny energetycznej budynku,
- opisywane zagadnienia dotyczą przede wszystkim energii niezbędnej do pokrycia potrzeb cieplnych związanych z ogrzewaniem i wentylacją, bez szczegółowego rozpatrywania zapotrzebowania energii na cele przygotowania ciepłej wody,
- w większości przypadków analizy mają raczej charakter studium przypadku.

W niniejszej pracy podjęto próbę:

- kompleksowej oceny wpływu wielu parametrów na wskaźniki energetyczne przyjętego modelu budynku mieszkalnego wielorodzinnego poczynając od wskaźników energii użytkowej, poprzez energię końcową, kończąc na nieodnawialnej energii pierwotnej wraz z uwzględnieniem energii pomocniczej dla systemów technicznych,
- rozpatrzenia wielu możliwych: przypadków lokalizacji budynku, różnych parametrów przegród budowlanych, wariantów rozwiązań technicznych

sposobu ogrzewania budynku oraz przygotowania ciepłej wody, wariantów wykorzystania rodzajów nośników energii, co pozwoliło na przeprowadzenie szczegółowych analiz wskaźników energetycznych przyjętego modelu budynku wielorodzinnego oraz różnorodnych badań statystycznych o dużej liczbie elementów w badanej próbie.

Sformułowano następujące hipotezy badawcze:

1. Liczba stopniodni ma istotny wpływ na zapotrzebowanie budynku na ciepło, co należałoby uwzględniać przy tworzeniu wymagań w zakresie wskaźnika EP_{H+W} .
2. Ograniczenie wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych na poziomie różnic jakie występują w tym zakresie pomiędzy wymaganiami z 2017 r. i 2021 r. nie spowoduje spadku wartości wskaźnika EP_{H+W} na poziomie, który wynika z zapisów podanych w rozporządzeniu [97].
3. Poszczególne parametry budynku mające wpływ na wartość zysków ciepła od promieniowania słonecznego nie wpływają znacząco na wartość zapotrzebowania budynku na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji.
4. Sprawności systemu ogrzewania oraz sytemu przygotowania ciepłej wody stanowiące wyposażenie techniczne budynku wraz z rodzajem wykorzystywanego nośnika energii mają znaczący wpływ na charakterystykę energetyczną budynku, ponieważ przy identycznym wskaźniku zapotrzebowania na energię użytkową można uzyskać kilkukrotnie różniące się od siebie wartości wskaźników zapotrzebowania na energię końcową oraz nieodnawialną energię pierwotną.
5. Nie każdy budynek o niskiej wartości wskaźnika EP_{H+W} charakteryzuje się niskim wskaźnikiem EK_{H+W} , i na odwrót, dlatego wartość wskaźnika EK_{H+W} powinna być również uwzględniana przy ocenie jakości energetycznej budynku.
6. W budynku wielorodzinnym z wentylacją grawitacyjną spełnienie wymagań w zakresie wartości wskaźnika EP_{H+W} , wyznaczonego według obowiązującego algorytmu zawartego w rozporządzeniu [96], w wielu wariantach rozwiązań technicznych powszechnie stosowanych, okazuje się niemożliwe. Niejednokrotnie, dopiero zastosowanie rozwiązania wykorzystującego odnawialne źródło energii pozwala na uzyskanie wartości wskaźnika EP_{H+W} poniżej wartości maksymalnej.
7. Dla budynków mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w systemy techniczne wykorzystujące jako nośnik energii biomasę należy sformułować odrębne wymaganie w zakresie wskaźnika EP_{H+W} . Wymaganie to powinno być większe (czyli wartość maksymalna wskaźnika niższa) w stosunku do budynków z systemami wykorzystującymi inne nośniki energii.

Aby realizować cel pracy wykonano parametryczne obliczenia symulacyjne i przeprowadzono analizy uzyskanych wyników obliczeń dla wielu wariantów konfiguracji budynku i jego wyposażenia w systemy techniczne ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody. Przyjęto model budynku o nieskomplikowanej bryle, co pozwoliło na uzyskanie niezbyt wysokiej wartości współczynnika kształtu, mieszkalnego wielorodzinnego, niewyposażonego w instalację chłodzenia. Analizowano zmianę wartości wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną w zależności od:

- liczby stopniodni,
- współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych,
- zysków ciepła od promieniowania słonecznego poprzez: orientację budynku względem kierunków świata, zacienienie od przeszkód zewnętrznych, współczynnik przepuszczalności promieniowania,
- wewnętrznych zysków ciepła,
- sprawności całkowitej systemu ogrzewania,
- sprawności całkowitej systemu przygotowania ciepłej wody,
- sposobu zasilania budynku w energię i rodzaju nośnika energii wykorzystywanego do pokrycia potrzeb cieplnych budynku poprzez współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej.

Uzyskane wyniki poddano szerokim badaniom statystycznym, wykorzystując w nich odpowiednie narzędzia takie jak: test istotności t -studenta, model regresji, analiza kowariancji, rozkłady analizowanych cech.

Zmienność poszczególnych parametrów przyjmowano w zakresach charakterystycznych dla danego parametru i wykorzystywanych w obliczeniach inżynierskich. W badaniach wykorzystano założenia do metodyki obowiązującej specjalistów i projektantów przy sporządzaniu charakterystyki energetycznej budynku oraz oprogramowanie powszechnie przez nich stosowane jako narzędzie do wykonywania obliczeń zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji.

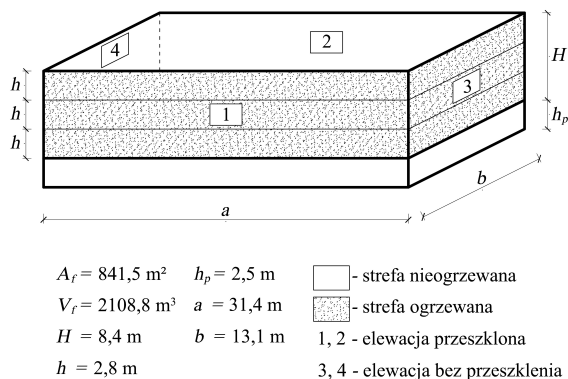
Szczegółowe założenia związane z obliczeniami wpływu poszczególnych parametrów na wartość wskaźnika (EU_H) energii użytkowej na ogrzewanie i wentylację, końcowej (EK_{H+W}) i nieodnawialnej energii pierwotnej (EP_{H+W}) na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody podano w podrozdziale 4.3. niniejszej pracy.

4 Metodyka badań

4.1 Opis badanego obiektu

Do przeprowadzenia parametrycznych obliczeń symulacyjnych wybrano budynek mieszkalny wielorodzinny w kształcie prostopadłościanu, o współczynniku kształtu 0,51 1/m, o trzech kondygnacjach nadziemnych ogrzewanych o wysokości 2,8 m i jednej podziemnej nieogrzewanej, wykonany w technologii tradycyjnej, typu ciężkiego, przykryty stropodachem wentylowanym, wyposażony w wentylację grawitacyjną. Wymiary strefy ogrzewanej: długość – 31,4 m, szerokość – 13,1 m, wysokość – 8,40 m, łączna powierzchnia użytkowa ogrzewana (wraz z powierzchnią klatek schodowych) – 841,5 m², kubatura ogrzewana – 2103,8 m³. W budynku znajduje się 12 lokali mieszkalnych użytkowanych przez 30 osób. Założone parametry można uznać za typowe dla budynków wielorodzinnych.

W celu określenia wpływu, badanych w pracy, poszczególnych parametrów na charakterystykę energetyczną budynku zakładano różne wartości tych parametrów, pozostawiając w każdym przypadku geometrię budynku. Podział na strefę ogrzewaną i nieogrzewaną pozostawiono bez zmian w każdym wariancie. Model budynku przedstawiono na Rys. 4.1.1.

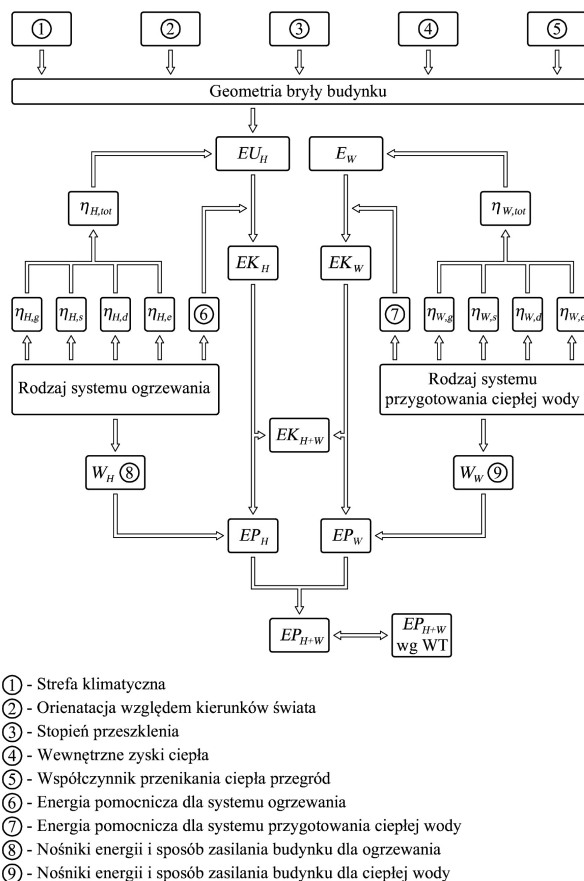


Rys. 4.1.1 Model budynku

4.2 Metodologia wyznaczania wskaźnika EP_{H+W} budynku mieszkalnym

Obliczenia symulacyjne wskaźnika EP_{H+W} wykonano dla tzw. standardowych warunków klimatycznych i standardowego sposobu użytkowania, według wytycznych i algorytmu obowiązującego przy wyznaczaniu charakterystyki energetycznej budynku, zawartych w krajowych aktach prawnych [96; 129],

opracowanych na podstawie dyrektywy unijnej [28], głównie normy [73] i wytycznych europejskich. Do obliczeń zapotrzebowania budynku na energię użytkową wykorzystano program Audytor OZC 6.6. Pro. firmy SANKOM.



Rys. 4.2.1 Schemat blokowy algorytmu obliczeń

W celu określenia poziomu zmienności wskaźnika EP_H analizie poddano uzyskane wielkości energii użytkowej, końcowej i pierwotnej.

Badanie zmienności zapotrzebowania budynku na energię użytkową do ogrzewania realizowano bezpośrednio poprzez:

- lokalizację budynku w różnych strefach klimatycznych,
- różnicowanie zysków ciepła od promieniowania słonecznego przez przeźroczyste przegrody budowlane,
- różnicowanie wartości jednostkowych wewnętrznych zysków ciepła,
- przyjmowanie różnych granicznych wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych.

Zmienność zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania przy określonej energii użytkowej realizowano poprzez przyjęcie różnych wariantów rozwiązań systemów ogrzewania, technicznie możliwych i często występujących w praktyce inżynierskiej.

W pracy poddano analizie zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody, ponieważ w krajowych aktach prawnych podawany jest wymagany wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną budynku łącznie na cele ogrzewania i przygotowania ciepłej wody.

Przy określaniu zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody przeanalizowano różne nośniki energii oraz różne sposoby zasilania budynku w ciepło lub energię.

Szczegółowe założenia do obliczeń parametrycznych zamieszczono w podrozdziale 4.3. niniejszej pracy. Obliczenia prowadzono według algorytmu zawartego w [96] i schematu blokowego przedstawionego na Rys. 4.2.1 wykorzystując do wyznaczenia poszczególnych wielkości z algorytmu obliczeń zależności od (4.2.1.) do (4.2.24.) zawarte w normie [73] i rozporządzeniu [96].

– liczba stopniodni w miesiącach ogrzewanych obliczana na podstawie średniej temperatury miesiąca z badań wieloletnich, teoretycznej liczby dni ogrzewania w miesiącu i temperatury wewnętrznej strefy ogrzewanej $+20^{\circ}\text{C}$:

$$Sd = \sum (\theta_{\text{int},H} - \theta_{e,m}) \cdot Ld_m \quad (4.2.1)$$

– współczynnik strat ciepła przez przenikanie łącznie ze stratami ciepła z tytułu liniowych mostków cieplnych oraz uwzględnieniem współczynnika redukcji temperatury:

$$H_{tr} = \sum b_{tr} \cdot [(A_i \cdot U_i + \sum l_i \cdot \Psi_i)] \quad (4.2.2)$$

– współczynnik strat ciepła z tytułu wentylacji grawitacyjnej i infiltracji przez nieszczelności w budynku z uwzględnieniem współczynnika redukcji temperatury:

$$H_{ve} = \rho_a c_a \sum (b_{ve} \cdot V_{ve}) \quad (4.2.3)$$

– straty ciepła przez przenikanie w okresie miesiąca:

$$Q_{tr} = H_{tr} \cdot (\theta_{\text{int},H} - \theta_{e,m}) \cdot t_M \cdot 10^{-3} \quad (4.2.4)$$

– straty ciepła z tytułu wentylacji grawitacyjnej i infiltracji przez nieszczelności w budynku w okresie miesiąca:

$$Q_{ve} = H_{ve} \cdot (\theta_{\text{int},H} - \theta_{e,m}) \cdot t_M \cdot 10^{-3} \quad (4.2.5)$$

– zyski ciepła od promieniowania słonecznego tylko przez powierzchnie przeźroczyste przegród budowlanych przy energii promieniowania słonecznego w danym miesiącu z uwzględnianiem czynników redukcyjnych i zdolności

powierzchni przeźroczystych do przepuszczania energii promieniowania słonecznego:

$$Q_{sol,H} = C \cdot A \cdot I \cdot F_{sh,gl} \cdot F_{sh} \cdot g \quad (4.2.6)$$

– miesięczne wewnętrzne zyski ciepła wyznaczone na podstawie obciążenia cieplnego pomieszczeń zyskami wyrażonymi w W/m² powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza:

$$Q_{int} = q_{int} \cdot A_f \cdot t_M \cdot 10^{-3} \quad (4.2.7)$$

– roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji obliczone jako suma zapotrzebowania budynku na energię w okresie miesiąca:

$$Q_{H,nd} = \sum (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \quad (4.2.8)$$

– roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody:

$$Q_{W,nd} = \frac{V_{Wi} \cdot A_f \cdot c_W \cdot \rho_w \cdot (\theta_W - \theta_0) \cdot k_R \cdot t_R}{3600} \quad (4.2.9)$$

– roczne zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania i wentylacji:

$$Q_{k,H} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{H,tot}} \quad (4.2.10)$$

– roczne zapotrzebowanie na energię końcową do przygotowania ciepłej wody:

$$Q_{k,W} = \frac{Q_{W,nd}}{\eta_{W,tot}} \quad (4.2.11)$$

– średnia sezonowa sprawność całkowita systemu ogrzewania wynikająca ze średnich sezonowych sprawności cząstkowych wytwarzania, przesyłania, akumulowania oraz regulacji i wykorzystania ciepła:

$$\eta_{H,tot} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,s} \quad (4.2.12)$$

– średnia roczna sprawność całkowita systemu przygotowania ciepłej wody wynikająca ze średnich sezonowych sprawności cząstkowych wytwarzania, przesyłania, akumulowania oraz wykorzystania ciepła:

$$\eta_{W,tot} = \eta_{W,g} \cdot \eta_{W,d} \cdot \eta_{W,e} \cdot \eta_{W,s} \quad (4.2.13)$$

– roczne zapotrzebowanie na końcową energię pomocniczą dla systemu ogrzewania wynikające z rodzaju urządzeń w systemie ogrzewania, ich czasu pracy oraz zapotrzebowania na moc wyrażoną w W/m² powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza:

$$E_{el,pom,H} = \sum q_{el,H,i} \cdot t_{el,i} A_f \cdot 10^{-3} \quad (4.2.14)$$

– roczne zapotrzebowanie na końcową energię pomocniczą dla systemu przygotowania ciepłej wody wynikające z rodzaju urządzeń w systemie c.w., ich czasu pracy oraz zapotrzebowania na moc wyrażoną w W/m² powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza:

$$E_{el,pom,W} = \sum q_{el,W,i} \cdot t_{el,i} A_f \cdot 10^{-3} \quad (4.2.15)$$

– roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną systemu ogrzewania wraz z uwzględnieniem energii pomocniczej dla niego oraz współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej:

$$Q_{p,H} = Q_{k,H} \cdot w_H + E_{el,pom,H} \cdot w_{el} \quad (4.2.16)$$

– roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną systemu przygotowania ciepłej wody wraz z uwzględnieniem energii pomocniczej dla niego oraz współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej:

$$Q_{p,W} = Q_{k,W} \cdot w_W + E_{el,pom,W} \cdot w_{el} \quad (4.2.17)$$

– roczne zapotrzebowanie budynku na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji oraz do przygotowania ciepłej wody:

$$Q_u = Q_{H,nd} + Q_{W,nd} \quad (4.2.18)$$

– roczne zapotrzebowanie budynku na energię końcową do ogrzewania i wentylacji oraz do przygotowania ciepłej wody:

$$Q_k = Q_{k,H} + Q_{k,W} \quad (4.2.19)$$

– roczne zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji oraz do przygotowania ciepłej wody:

$$Q_p = Q_{p,H} + Q_{p,W} \quad (4.2.20)$$

– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową na ogrzewanie i wentylację odniesiony do jednostki powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza:

$$EU_H = \frac{Q_{H,nd}}{A_f} \quad (4.2.21)$$

– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową na ogrzewanie i wentylację oraz do przygotowania ciepłej wody odniesiony do jednostki powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza:

$$EU_{H+W} = \frac{Q_u}{A_f} \quad (4.2.22)$$

– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową systemu ogrzewania oraz systemu do przygotowania ciepłej wody odniesiony do jednostki powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza:

$$EK_{H+W} = \frac{Q_K}{A_f} \quad (4.2.23)$$

– wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną systemu ogrzewania oraz systemu do przygotowania ciepłej wody odniesiony do jednostki powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza:

$$EP_{H+W} = \frac{Q_P}{A_f} \quad (4.2.24)$$

4.3 Założenia do obliczeń

Wpływ poszczególnych parametrów na charakterystykę energetyczną przyjętego modelu budynku badano przy założeniach podanych w pkt. od 4.3.1 do 4.3.8.

4.3.1 Współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych

Bryłę strefy ogrzewanej budynku charakteryzują m.in. współczynniki przenikania ciepła (U) przegród budowlanych. Aby określić wielkość wpływu tych współczynników na energię użytkową niezbędną do ogrzewania wykonano obliczenia w dwóch wariantach tj. przy wymaganiach granicznych wartości U obowiązujących od 2017 r. oraz od 2021 r. (tabela 4.3.1).

Tab. 4.3.1 Wartości graniczne współczynnika U przegród budowlanych wg [97; 154]

Lp.	Rodzaj przegrody	Wartość współczynnika U	
		W/(m ² ·K)	
		od 2017 r.	od 2021 r.
1	ściana zewnętrzna	0,23	0,20
2	stropodach	0,18	0,15
3	strop nad piwnicą	0,25	0,25
4	okna	1,1	0,9
5	drzwi	1,5	1,3
Uwaga: współczynnik U przegród w przestrzeni nieogrzewanej obliczono przy założeniu ich budowy jako jednego z możliwych rozwiązań, a uzyskane wyniki przyjęto do dalszych obliczeń: ściana w gruncie – 0,481, podłoga na gruncie – 0,880, ściana zewnętrzna – 0,484; według zapisów zawartych w [97] nie występują wymagania w zakresie wartości U dla tych przegród.			

4.3.2 Strefa klimatyczna

Obliczenia symulacyjne wpływu lokalizacji budynku na wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania przeprowadzono dla:

- pięciu stref klimatycznych wg podziału obszaru Polski zawartego w normie [72],
- wybranych 36 stacji meteorologicznych w tym o najmniejszej i największej liczbie stopniodni (tabela 4.3.2.),
- liczby stopniodni obliczonej według zależności (4.2.1.) na podstawie: liczby dni grzania w danym miesiącu według [98], wartości średnich miesięcznych temperatur zewnętrznych z badań wieloletnich w danej stacji meteorologicznej dostępnych na stronie internetowej Ministerstwa Inwestycji i Rozwoju w serwisie Rządu RP [<https://www.gov.pl/web/inwestycje/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>] oraz temperatury powietrza wewnętrznego w strefie ogrzewanej budynku $+20^{\circ}\text{C}$ [96; 97].

Tab. 4.3.2 Dane wybranych stacji meteorologicznych

Lp.	Stacja meteorologiczna	Oznaczenie Nr stacji	Strefa	Temperatura	Liczba stopniodni
				θ_e	S_d
				$^{\circ}\text{C}$	dzień · K/rok
1	Słubice	stacja 1	II	-18	3429,3
2	Tarnów	stacja 2	III	-20	3440,5
3	Opole	stacja 3	III	-20	3488,2
4	Świnoujście	stacja 4	I	-16	3514,5
5	Gorzów W.	stacja 5	II	-18	3547,9
6	Racibórz	stacja 6	III	-20	3555,4
7	Gdańsk	stacja 7	I	-16	3597,3
8	Koło	stacja 8	II	-18	3607,1
9	Resko	stacja 9	I	-16	3623,7
10	Lesko	stacja 10	III	-20	3648,2
11	Płock	stacja 11	III	-20	3655,3
12	Wieluń	stacja 12	II	-18	3678,6
13	Warszawa	stacja 13	III	-20	3686,0
14	Łódź	stacja 14	III	-20	3696,4
15	Bydgoszcz	stacja 15	II	-18	3700,7
16	Jelenia Góra	stacja 16	III	-20	3714,9
17	Zielona Góra	stacja 17	II	-18	3724,3
18	Sulejów	stacja 18	III	-20	3731,2
19	Koszalin	stacja 19	I	-16	3745,8
20	Kraków	stacja 20	III	-20	3748,4
21	Poznań	stacja 21	II	-18	3774,1
22	Szczecinek	stacja 22	I	-16	3800,6
23	Krosno	stacja 23	III	-20	3805,0
24	Lublin	stacja 24	III	-20	3825,2
25	Kalisz	stacja 25	II	-18	3834,9

cd. Tab. 4.3.2

26	Łeba	stacja 26	I	-16	3842,2
27	Ostrołęka	stacja 27	III	-20	3857,1
28	Terespol	stacja 28	IV	-22	3885,7
29	Rzeszów	stacja 29	III	-20	3935,6
30	Chojnice	stacja 30	II	-18	3940,9
31	Zamość	stacja 31	III	-20	3963,4
32	Siedlce	stacja 32	IV	-22	3971,8
33	Kętrzyn	stacja 33	IV	-22	4036,9
34	Białystok	stacja 34	IV	-22	4095,4
35	Olsztyn	stacja 35	IV	-22	4116,5
36	Suwałki	stacja 36	V	-24	4434,7

4.3.3 Zyski ciepła od promieniowania słonecznego

W celu określenia wpływ zysków ciepła od promieniowania słonecznego na zapotrzebowanie budynku na energię użytkową spośród 36 stacji meteorologicznych podanych w tabeli 4.3.2. wybrano do dalszych obliczeń 11. Stacje zostały tak wybrane, aby obejmowały wszystkie strefy promieniowania całkowitego oraz wszystkie strefy temperatury zewnętrznej obliczeniowej w Polsce. Dodatkowo przy wyborze kierowano się liczbą stopniodni i wielkością obszaru strefy. Wykaz wybranych stacji meteorologicznych zawiera tabela 4.3.3

Tab. 4.3.3 Dane wybranych stacji meteorologicznych

Lp.	Stacja meteorologiczna	Nr stacji	Strefa promieniowania	Temperatura	Liczba stopniodni
				θ_e	S_d
			kWh/m ²	°C	dzień·K/rok
1	Tarnów	stacja 2	1100	-20	3440,5
2	Gdańsk	stacja 7	1000	-16	3597,3
3	Resko	stacja 9	900	-16	3623,7
4	Warszawa	stacja 13	1100	-20	3686,0
5	Zielona Góra	stacja 17	1000	-18	3724,3
6	Koszalin	stacja 19	1000	-16	3745,8
7	Poznań	stacja 21	1100	-18	3774,1
8	Lublin	stacja 24	1200	-20	3825,2
9	Terespol	stacja 28	1100	-22	3885,7
10	Zamość	stacja 31	1200	-20	3963,4
11	Olsztyn	stacja 35	900	-22	4116,5

Obliczenia wartości energii użytkowej ($Q_{H,nd}$) prowadzono przy następujących założeniach:

- analiza dotyczy jedynie zysków od powierzchni przezroczystych,
- przyjęto dwie skrajne możliwości przeszklenia budynku tj. minimalną P1 i maksymalną P2, określone wg wymagań przepisów techniczno-budowlanych [97],

- brak elementów ruchomych zacieniających – $F_{sh,gl} = 1,0$,
- udział szyby w całym oknie $C = 0,7$,
- orientacja ścian podłużnych względem kierunków świata: dwa przypadki N-S oraz E-W (Rys. 4.1.1),
- zacinienie od przeszkód zewnętrznych: dwa przypadki $F_{sh} = 0,9$ (np. budynek w centrum miasta) oraz $F_{sh} = 1,0$ (np. na otwartej przestrzeni),
- przepuszczalność energii promieniowania słonecznego powierzchni przeszkłonych: cztery przypadki $g = 0,75$ (np. szyba podwójna), $g = 0,7$ (np. szyba potrójna), $g = 0,64$ (np. szyba zespolona z jedną powłoką i przestrzenią z argonem), $g = 0,50$ (np. szyba specjalna),

Ostatecznie w wyniku kombinacji poszczególnych parametrów otrzymano 352 przypadki w każdej grupie wymagań w zakresie współczynników przenikania ciepła przegród opisanych w pkt. 4.3.1.

4.3.4 Wewnętrzne zyski ciepła

Z obliczeń własnych autora niniejszej pracy, wykonywanych dla wielu budynków wielorodzinnych [175], zgodnie z metodą podaną w rozporządzeniu [96], wynika, że jednostkowe wewnętrzne zyski ciepła w budynkach wielorodzinnych zawierały się w przedziale 6,3–6,7 W/m². Na tej podstawie we wszystkich symulacjach przeprowadzonych w tej pracy przyjęto jednakową wartość tych zysków wynoszącą $q_{int} = 6,5$ W/m².

Aby jednak zobrazować wpływu q_{int} na wartość wskaźnika energii użytkowej EU_H dla kilku wybranych przypadków wykonano obliczenia przy założeniu dwóch dodatkowych wartości $q_{int} = 6,0$ W/m² i $q_{int} = 7,0$ W/m².

4.3.5 Sprawność systemu ogrzewania

Aby określić wielkości wpływu sprawności systemu ogrzewania na wartość wskaźnika zapotrzebowania energii końcowej na potrzeby ogrzewania i wentylacji rozpatrzono różne rozwiązania techniczne możliwe do realizacji w budynku mieszkalnym wielorodzinnym. W tabeli 4.3.4 opisano rozpatrywane przypadki oznaczając cyfrą rzymską źródło ciepła, dużą literą typ instalacji i jej regulacji, zaś małą literą typ ogrzewania i izolacji przewodów. W tabeli 4.3.5. zamieszczono oznaczenia 17 wariantów sposobu ogrzewania budynku, wartości średnich sezonowych sprawności cząstkowych (wytwarzania, przesyłu oraz regulacji i wykorzystania ciepła) przyjętych według [96] oraz obliczoną średnią sezonową sprawność całkowitą każdego z wariantów. Średnie sezonowe wartości sprawności uwzględniają zmienność zapotrzebowania budynku na ciepło i moc (np. obciążenie źródła ciepła) w okresie sezonu grzewczego.

Założono, że w żadnym z rozpatrywanych wariantów nie będzie występował zasobnik ciepła, co oznacza, że sprawność akumulacji w elementach pojemnościowych wynosi $\eta_{H,s} = 1$.

Zapotrzebowanie budynku na energię użytkową przyjęto na podstawie wyników obliczeń symulacyjnych uzyskanych przy wielu kombinacjach rozpatrywanych parametrów opisanych w podrozdziałach: 4.3.2., 4.3.3. i 4.3.4. oraz przy standardzie wymagań izolacyjności cieplnej przegród budowlanych (współczynnik U) na 2017 r. i 2021 r. według podrozdziału 4.3.1.

Tab. 4.3.4 Oznaczenia i opisy rozpatrywanych przypadków systemu ogrzewania

Lp.	Wyszczególnienie	Oznaczenie	Opis według rozporządzenia [96]
1	rodzaj źródła ciepła	I	węzeł ciepłowniczy indywidualny, kompaktowy z obudową o mocy nominalnej do 100 kW
		II	kocioł niskotemperaturowy na paliwo gazowe lub ciekłe, z zamkniętą komorą spalania, z palnikiem modulowanym, o mocy nominalnej do 50 kW
		III	kocioł gazowy kondensacyjny o mocy nominalnej do 50 kW, parametry pracy 70/55°C
		IV	kocioł gazowy kondensacyjny o mocy nominalnej do 50 kW, parametry pracy 55/45°C
		V	pompa ciepła typu grunt/woda, sprężarkowa, napędzana elektrycznie – pokrycie 80%; kocioł szczytowy gazowy kondensacyjny – pokrycie 20%; parametry pracy 55/45°C;
		VI	pompa ciepła typu glikol/woda, absorpcyjna, napędzana gazem- pokrycie 80%; kocioł szczytowy gazowy kondensacyjny – pokrycie 20%; parametry pracy 55/45°C
		VII	kocioł na biomasę lub węgiel, automatyczny o mocy do 100 kW
2	typ instalacji, odbiorników i regulacji	A	ogrzewanie z grzejnikami płytowymi z regulacją centralną i miejscową, zawory termostatyczne z zakresem proporcjonalności 1K
		B	ogrzewanie z grzejnikami płytowymi z regulacją centralną i miejscową, zawory termostatyczne o działaniu proporcjonalno-całkującym z funkcją adaptacyjną i optymalizacyjną
		C	ogrzewanie wodne podłogowe z regulacją centralną i miejscową z regulatorem proporcjonalnym
3	typ ogrzewania lub izolacja przewodów	a	ogrzewanie mieszkaniowe, ciepło wytwarzane w przestrzeni mieszkalnej
		b	ogrzewanie z lokalnego źródła ciepła, przewody dobrze izolowane, w przestrzeni ogrzewanej
		c	ogrzewanie z lokalnego źródła ciepła, przewody dobrze izolowane, w przestrzeni nieogrzewanej

Tab. 4.3.5 Oznaczenie wariantów i sprawność systemu ogrzewania

Nr wariantu	Oznaczenie wariantu	Średnia sezonowa sprawność			
		wytwarzania	regulacji	przesyłu	całkowita
		$\eta_{H,g}$	$\eta_{H,e}$	$\eta_{H,d}$	$\eta_{H,tot}$
1H	I/A/c	0,98	0,89	0,90	0,785
2H	I/B/c	0,98	0,93	0,90	0,820
3H	II/A/a	0,87	0,89	1,00	0,774
4H	II/B/c	0,87	0,93	0,90	0,728
5H	III/A/a	0,91	0,89	1,00	0,810
6H	III/B/c	0,91	0,93	0,90	0,762
7H	IV/C/a	0,94	0,89	1,00	0,837
8H	IV/A/c	0,94	0,89	0,90	0,753
9H	IV/B/b	0,94	0,93	0,96	0,839
10H	V/C/b	2,99	0,89	0,96	2,553
11H	V/B/c	2,98	0,93	0,90	2,496
12H	V/B/b	2,98	0,93	0,96	2,662
13H	VI/C/b	1,31	0,89	0,96	1,118
14H	VI/B/c	1,30	0,93	0,90	1,090
15H	VI/B/b	1,30	0,93	0,96	1,162
16H	VII/B/c	0,70	0,93	0,90	0,586
17H	VII/B/b	0,70	0,93	0,96	0,625

4.3.6 Sprawność systemu przygotowania ciepłej wody

Wartość rocznego zapotrzebowania budynku na energię użytkową niezbędną do przygotowania ciepłej wody ($Q_{W,nd}$) oraz wskaźnik jednostkowy (E_W) obliczono według metodologii i założeń zawartych w [96] ($V_{Wi} = 1,6 \text{ dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{dzień})$, $\theta_W = 55^\circ\text{C}$, $\theta_0 = 10^\circ\text{C}$, $k_R = 0,9$, $t_R = 365$ dni, $c_w = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $\rho_w = 1,0 \text{ kg}/\text{dm}^3$) przy powierzchni o regulowanej temperaturze $A_f = 841,5 \text{ m}^2$ wykorzystując zależności (4.2.9.) oraz (4.3.1.).

Wówczas:

- energia użytkowa na przygotowanie ciepłej wody:

$$Q_{W,nd} = 23165 \text{ kWh/rok} = 83,4 \text{ GJ/rok}$$

- wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową na przygotowanie ciepłej wody:

$$E_W = \frac{Q_{W,nd}}{A_f} \quad (4.3.1)$$

$$E_W = 27,528 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$$

Wartości energii $Q_{W,nd}$ i wskaźnika E_W stanowią wielkości wyjściowe do obliczeń rocznego zapotrzebowania i wskaźników energii końcowej oraz nieodnawialnej energii pierwotnej na potrzeby ciepłej wody.

Tab. 4.3.6 Oznaczenie i opis wariantów systemów przygotowania ciepłej wody

Nr wariantu	Opis wariantu przygotowania ciepłej wody
1W	centralne przygotowanie ciepłej wody, piony i poziomy zaizolowane, ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej, liczba punktów poboru ciepłej wody 40; węzeł ciepłowniczy indywidualny, dwufunkcyjny, kompaktowy z obudową; układ bez zasobnika;
2W	centralne przygotowanie ciepłej wody, piony i poziomy zaizolowane, ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej, liczba punktów poboru ciepłej wody 40; węzeł ciepłowniczy indywidualny, dwufunkcyjny, kompaktowy z obudową współpracujący z instalacją solarną (pokrycie 40% potrzeb energii); układ z zasobnikiem
3W	centralne przygotowanie ciepłej wody, piony i poziomy zaizolowane, ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej, liczba punktów poboru ciepłej wody 40; kocioł kondensacyjny opalany gazem ziemnym; układ z zasobnikiem;
4W	centralne przygotowanie ciepłej wody, piony i poziomy zaizolowane, ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej, liczba punktów poboru ciepłej wody 40; kocioł kondensacyjny opalany gazem ziemnym współpracujący z instalacją solarną (pokrycie 40% potrzeb energii); układ z zasobnikiem
5W	centralne przygotowanie ciepłej wody, piony i poziomy zaizolowane, ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej, liczba punktów poboru ciepłej wody 40; kocioł na biomasę lub węgiel; układ z zasobnikiem
6W	centralne przygotowanie ciepłej wody, piony i poziomy zaizolowane, ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej, liczba punktów poboru ciepłej wody 40; kocioł na biomasę lub węgiel współpracujący z instalacją solarną (pokrycie 40% potrzeb energii); układ z zasobnikiem
7W	indywidualne przygotowanie ciepłej wody w mieszkaniu dla kilku punktów poboru, układ bez cyrkulacji, kocioł kondensacyjny gazowy; układ bez zasobnika
8W	centralne przygotowanie ciepłej wody, piony i poziomy zaizolowane, ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej, liczba punktów poboru ciepłej wody 40; pompa ciepła typu grunt/woda, sprężarkowa, napędzana elektrycznie – pokrycie 50%; kondensacyjny kocioł gazowy – pokrycie 25%; grzałka elektryczna – pokrycie 25%; układ z zasobnikiem
9W	centralne przygotowanie ciepłej wody, piony i poziomy zaizolowane, ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej, liczba punktów poboru ciepłej wody 40; pompa ciepła typu glikol/woda, absorpcyjna, napędzana gazem – pokrycie 50%; kondensacyjny kocioł gazowy – pokrycie 25%; grzałka elektryczna – pokrycie 25%; układ z zasobnikiem
10W	indywidualne przygotowanie ciepłej wody w mieszkaniu dla kilku punktów poboru, układ bez cyrkulacji, elektryczne podgrzewacze akumulacyjne z zasobnikiem ciepłej wody
11W	centralne przygotowanie ciepłej wody, piony i poziomy zaizolowane, ograniczenie czasu pracy pompy cyrkulacyjnej, liczba punktów poboru ciepłej wody 40; kocioł niskotemperaturowy; układ z zasobnikiem;
12W	indywidualne przygotowanie ciepłej wody w mieszkaniu dla kilku punktów poboru, układ bez cyrkulacji, kocioł niskotemperaturowy; układ bez zasobnika

Aby określić wpływ sprawności systemu przygotowania ciepłej wody na wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową EK_{H+W} rozpatrzono 12 przypadków rozwiązań technicznych możliwych do realizacji w budynku

wielorodzinnym. W tabeli 4.3.6. podano oznaczenie wariantów i opis systemów przygotowania ciepłej wody, natomiast w tabeli 4.3.7. wartości sprawności cząstkowych (wg [96] lub parametrów urządzeń) oraz średnią sezonową sprawność całkowitą dla każdego z wariantów. Sprawność eksploatacyjną ($\eta_{W,e}$) przyjęto wg [96] równą 1.

Tab. 4.3.7 Sprawność systemu przygotowania ciepłej wody

Nr wariantu	Średnia sezonowa sprawność			
	wytwarzania	akumulacji	przesyłu	całkowita
	$\eta_{W,g}$	$\eta_{W,s}$	$\eta_{W,d}$	$\eta_{W,tot}$
1W	0,90	1,00	0,70	0,63
2W	0,90	0,90	0,70	0,57
3W	0,85	0,90	0,70	0,54
4W	0,85	0,90	0,70	0,54
5W	0,75	0,90	0,70	0,47
6W	0,75	0,90	0,70	0,47
7W	0,85	1,00	0,80	0,68
8W	1,96	0,90	0,70	1,23
9W	1,11	0,90	0,70	0,70
10W	0,96	0,90	0,80	0,69
11W	0,83	0,90	0,70	0,52
12W	0,83	1,00	0,80	0,66

4.3.7 Zapotrzebowanie na energię pomocniczą

Dla każdego rozpatrywanego rozwiązania systemów technicznych ogrzewania oraz systemu przygotowania ciepłej wody określono zapotrzebowanie na końcową energię pomocniczą elektryczną zgodnie z rozporządzeniem [96]. W tabelach 4.3.8. oraz 4.3.9. zestawiono rodzaj urządzeń pomocniczych i dane wyjściowe do obliczenia energii pomocniczej w odniesieniu do każdego z założonych systemów.

Tab. 4.3.8 Zestawienie danych do obliczeń energii pomocniczej w systemie ogrzewania

Nr wariantu	Oznaczenie wariantu	Rodzaj urządzenia pomocniczego	Moc elektryczna do napędu	Czas działania urządzenia pomocniczego
			q_{el}	t_{el}
			W/m ²	h/rok
1H	I/A/c	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		regulacja węzła cieplnego	0,09	4700
2H	I/B/c	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		regulacja węzła cieplnego	0,09	4700

cd. Tab. 4.3.8

3H	II/A/a	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
4H	II/B/c	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
5H	III/A/a	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
6H	III/B/c	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
7H	IV/C/a	pompa obiegowa dla instalacji z ogrzewaniem podłogowym	0,50	6700
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	4700
8H	IV/A/c	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
9H	IV/B/b	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
10H	V/C/b	pompa obiegowa dla instalacji z ogrzewaniem podłogowym	0,50	6700
		napęd pomocniczy pompy ciepła grunt/woda	0,70	1600
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
11H	V/B/c	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy pompy ciepła grunt/woda	0,70	1600
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
12H	V/B/b	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy pompy ciepła grunt/woda	0,70	1600
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
13H	VI/C/b	pompa obiegowa dla instalacji z ogrzewaniem podłogowym	0,50	6700
		napęd pomocniczy pompy ciepła glikol/woda	0,45	1600
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
14H	VI/B/c	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy pompy ciepła glikol/woda	0,45	1600
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
15H	VI/B/b	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy pompy ciepła glikol/woda	0,45	1600
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
16H	VII/B/c	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900
17H	VII/B/b	pompa obiegowa dla instalacji z grzejnikami płytowymi	0,15	4700
		napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania	0,15	3900

Tab. 4.3.9 Zestawienie danych do obliczeń energii pomocniczej w systemie przygotowania ciepłej wody

Nr wariantu	Rodzaj urządzenia pomocniczego	Moc elektryczna do napędu	Czas działania urządzenia pomocniczego
		q_{el}	t_{el}
		W/m ²	h/rok
1W	pompa cyrkulacyjna o pracy przerywanej do 8 h/dobę	0,04	5840
	regulacja węzła cieplnego	0,09	8760
2W	pompa cyrkulacyjna o pracy przerywanej do 8 h/dobę	0,04	5840
	regulacja węzła cieplnego	0,09	8760
	pompa ładująca zasobnik ciepłej wody	0,20	580
3W	pompa cyrkulacyjna o pracy przerywanej do 8 h/dobę	0,04	5840
	napęd pomocniczy i regulacja kotła do c.w.	0,50	410
	pompa ładująca zasobnik ciepłej wody	0,20	580
4W	pompa cyrkulacyjna o pracy przerywanej do 8 h/dobę	0,04	5840
	napęd pomocniczy i regulacja kotła do c.w.	0,50	410
	pompa ładująca zasobnik ciepłej wody	0,20	580
5W	pompa cyrkulacyjna o pracy przerywanej do 8 h/dobę	0,04	5840
	napęd pomocniczy i regulacja kotła do c.w.	0,50	410
	pompa ładująca zasobnik ciepłej wody	0,20	580
6W	pompa cyrkulacyjna o pracy przerywanej do 8 h/dobę	0,04	5840
	napęd pomocniczy i regulacja kotła do c.w.	0,50	410
	pompa ładująca zasobnik ciepłej wody	0,20	580
7W	napęd pomocniczy i regulacja kotła do c.w.	0,50	410
8W	pompa cyrkulacyjna o pracy przerywanej do 8 h/dobę	0,04	5840
	napęd pomocniczy pompy ciepła grunt /woda	0,70	400
	pompa ładująca zasobnik ciepłej wody	0,20	580
	napęd pomocniczy i regulacja kotła do przygotowania c.w.	0,50	410
9W	pompa cyrkulacyjna o pracy przerywanej do 8 h/dobę	0,04	5840
	napęd pomocniczy pompy ciepła glikol /woda	0,45	400
	pompa ładująca zasobnik ciepłej wody	0,20	580
	napęd pomocniczy i regulacja kotła do przygotowania c.w.	0,50	410
10W	brak urządzeń	0,00	0
11W	pompa cyrkulacyjna o pracy przerywanej do 8 h/dobę	0,04	5840
	napęd pomocniczy i regulacja kotła do c.w.	0,50	410
	pompa ładująca zasobnik ciepłej wody	0,20	580
12W	napęd pomocniczy i regulacja kotła do c.w.	0,50	410

4.3.8 Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową

Wskaźnik rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową na cele ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody (E_{K+W}) obliczono dla 26 wariantów. Warianty, oznaczone literą K, zostały utworzone z wyżej

opisanych przypadków. Przy ich konstruowaniu kierowano się możliwością realizacji danego wariantu w praktyce w budynku wielorodzinnym.

Tab. 4.3.10 Zestawienie i opis wariantów do obliczania wskaźnika EK_{H+W}

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Skrócony opis rozwiązania
1K	1H	1W	ciepło sieciowe, węzeł indywidualny dwufunkcyjny; zawory termostatyczne P-1K; centralna instalacja c.w.
2K	1H	2W	ciepło sieciowe, węzeł indywidualny dwufunkcyjny; zawory termostatyczne P-1K; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym;
3K	2H	1W	ciepło sieciowe, węzeł indywidualny dwufunkcyjny; zawory termostatyczne o działaniu PI ; centralna instalacja c.w.
4K	2H	2W	ciepło sieciowe, węzeł indywidualny dwufunkcyjny; zawory termostatyczne o działaniu PI; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym;
5K	3H	12W	kocioł niskotemperaturowy, dwufunkcyjny, ogrzewanie indywidualne; zawory termostatyczne P-1K; miejscowy podgrzew ciepłej wody dla grupy punktów w jednym lokalu, bez cyrkulacji
6K	4H	11W	kocioł niskotemperaturowy, dwufunkcyjny, ogrzewanie centralne; zawory termostatyczne o działaniu PI; instalacja c.w. centralna z obiegami cyrkulacyjnymi
7K	5H	7W	kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny, ogrzewanie indywidualne; zawory termostatyczne P-1K; miejscowy podgrzew ciepłej wody dla grupy punktów w jednym lokalu, bez cyrkulacji
8K	6H	3W	kocioł kondensacyjny, lokalna kotłownia dwufunkcyjna; zawory termostatyczne o działaniu PI; centralna instalacja c.w.
9K	6H	4W	kocioł kondensacyjny, lokalna kotłownia dwufunkcyjna; zawory termostatyczne o działaniu PI; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym;
10K	7H	7W	indywidualny kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; ogrzewanie podłogowe miejscowy podgrzew ciepłej wody dla grupy punktów w jednym lokalu, bez cyrkulacji
11K	8H	3W	kotłownia lokalna, kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; zawory termostatyczne P-1K; centralna instalacja c.w.
12K	8H	4W	kotłownia lokalna, kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; zawory termostatyczne P-1K; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym
13K	9H	3W	kotłownia lokalna, kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; zawory termostatyczne o działaniu PI;
14K	9H	4W	kotłownia lokalna, kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; zawory termostatyczne o działaniu PI; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym;

cd. Tab. 4.3.10

15K	10H	8W	pompa ciepła typu grunt/woda, sprężarkowa + szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w. ; ogrzewanie podłogowe; instalacja centralna c.w.
16K	11H	8W	pompa ciepła typu grunt/woda, sprężarkowa + szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w. ; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; instalacja centralna c.w.
17K	12H	8W	pompa ciepła typu grunt/woda, sprężarkowa+ szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w.; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; instalacja centralna c.w.
18K	13H	9W	pompa ciepła typu glikol/woda, gazowa+ szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w.; ogrzewanie podłogowe; instalacja c.w. centralna
19K	14H	9W	pompa ciepła typu glikol/woda, gazowa+ szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w.; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; instalacja centralna c.w.
20K	15H	9W	pompa ciepła typu glikol/woda, gazowa+ szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w.; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; instalacja centralna c.w.
21K	16H	5W	kotłownia lokalna dwufunkcyjna na biomase; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; instalacja centralna c.w.
22K	16H	10W	kotłownia lokalna jednofunkcyjna dla c.o. na biomase, zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; indywidualne instalacje c.w., podgrzew elektrycznie w zasobniku
23K	16H	6W	kotłownia lokalna dwufunkcyjna na biomase; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; instalacja centralna c.w. wspomagana kolektorem słonecznym
24K	17H	5W	kotłownia lokalna dwufunkcyjna na biomase; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; instalacja centralna c.w.
25K	17H	10W	kotłownia lokalna jednofunkcyjna dla c.o. na biomase, zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; indywidualne instalacje c.w., podgrzew elektrycznie w zasobniku
26K	17H	6W	kotłownia lokalna dwufunkcyjna na biomase; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; instalacja centralna c.w. wspomagana kolektorem słonecznym

4.3.9 Nośnik energii i sposób zasilania budynku w energię

W celu wyznaczenia wskaźnika EP_{H+W} z wyżej opisanych 26 wariantów oznaczonych literą K, utworzono z kolei warianty oznaczone literą P, które możliwe są do realizacji w praktyce i mogą występować w budynkach wielorodzinnych w warunkach eksploatacyjnych.

Dla każdego wariantu, oznaczonego literą P, założono możliwe przypadki wykorzystania rodzaju energii lub jej nośników. Utworzono i przyjęto do dalszej

analizy 35 wariantów (łącznie system ogrzewania i przygotowania ciepłej wody). W tabeli 4.3.11. zamieszczono skrócony opis rozpatrywanych rozwiązań oraz podano wartości współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (w_i) w oparciu o rozporządzenie [96].

Tab. 4.3.11 Opis rozpatrywanych wariantów rozwiązań systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Nr wariantu oznaczonego K	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Skrócony opis rozwiązania	Rodzaj nośnika energii lub energii	Współczynnik w_i
1P	1K	1H	1W	ciepło sieciowe, węzeł indywidualny dwufunkcyjny; zawory termostatyczne P-1K; centralna instalacja c.w.	ciepłownia węglowa	1,3
2P		1H	1W		kogeneracja węgiel lub gaz	0,8
3P		1H	1W		kogeneracja biomasa	0,15
4P	2K	1H	2W	ciepło sieciowe, węzeł indywidualny dwufunkcyjny; zawory termostatyczne P-1K; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym;	ciepłownia węglowa	1,3
5P		1H	2W		kogeneracja węgiel lub gaz	0,8
6P		1H	2W		kogeneracja biomasa	0,15
7P	3K	2H	1W	ciepło sieciowe, węzeł indywidualny dwufunkcyjny; zawory termostatyczne o działaniu PI ; centralna instalacja c.w.	ciepłownia węglowa	1,3
8P		2H	1W		kogeneracja węgiel lub gaz	0,8
9P		2H	1W		kogeneracja biomasa	0,15
10P	4K	2H	2W	ciepło sieciowe, węzeł indywidualny dwufunkcyjny; zawory termostatyczne o działaniu PI; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym;	ciepłownia węglowa	1,3
11P		2H	2W		kogeneracja węgiel lub gaz	0,8
12P		2H	2W		kogeneracja biomasa	0,15
13P	5K	3H	12W	kocioł niskotemperaturowy, dwufunkcyjny, ogrzewanie indywidualne; zawory termostatyczne P-1K; miejscowy podgrzew ciepłej wody dla grupy punktów w jednym lokalu, bez cyrkulacji	gaz lub paliwo ciekłe	1,1

cd. Tab. 4.3.11

14P	6K	4H	11W	kocioł niskotemperaturowy, dwufunkcyjny, ogrzewanie centralne; zawory termostatyczne o działaniu PI; instalacja c.w. centralna z obiegami cyrkulacyjnymi	gaz lub paliwo ciekłe	1,1
15P	7K	5H	7W	kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny, ogrzewanie indywidualne; zawory termostatyczne P-1K; miejscowy podgrzew ciepłej wody dla grupy punktów w jednym lokalu, bez cyrkulacji	gaz lub paliwo ciekłe	1,1
16P	8K	6H	3W	kocioł kondensacyjny, lokalna kotłownia dwufunkcyjna; zawory termostatyczne o działaniu PI; centralna instalacja c.w.	gaz lub paliwo ciekłe	1,1
17P	9K	6H	4W	kocioł kondensacyjny, lokalna kotłownia dwufunkcyjna; zawory termostatyczne o działaniu PI; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym;	gaz lub paliwo ciekłe	1,1
18P	10K	7H	7W	indywidualny kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; ogrzewanie podłogowe miejscowy podgrzew ciepłej wody dla grupy punktów w jednym lokalu, bez cyrkulacji	gaz lub paliwo ciekłe	1,1
19P	11K	8H	3W	kotłownia lokalna, kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; zawory termostatyczne P-1K; centralna instalacja c.w.	gaz lub paliwo ciekłe	1,1
20P	12K	8H	4W	kotłownia lokalna, kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; zawory termostatyczne P-1K; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym	gaz lub paliwo ciekłe	1,1
21P	13K	9H	3W	kotłownia lokalna, kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; zawory termostatyczne o działaniu PI;	gaz lub paliwo ciekłe	1,1
22P	14K	9H	4W	kotłownia lokalna, kocioł kondensacyjny, dwufunkcyjny; zawory termostatyczne o działaniu PI; centralna instalacja c.w. wspomagana kolektorem słonecznym;	gaz lub paliwo ciekłe	1,1
23P	15K	10H	8W	pompa ciepła typu grunt/woda, sprężarkowa + szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w. ; ogrzewanie podłogowe; instalacja centralna c.w.	gaz; energia elektryczna; sieć systemowa elektroenergetyczna	1,1 3,0 średni: $w_H=2,62$ $w_H=2,53$

cd. Tab. 4.3.11

24P	16K	11H	8W	pompa ciepła typu grunt/woda, sprężarkowa + szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w.; zawory termostaticzne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; instalacja centralna c.w.	gaz; energia elektryczna; sieć systemowa elektroenergetyczna	1,1 3,0 średni: $w_H=2,62$ $w_N=2,53$
25P	17K	12H	8W	pompa ciepła typu grunt/woda, sprężarkowa+ szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w.; zawory termostaticzne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; instalacja centralna c.w.	gaz; energia elektryczna; sieć systemowa elektroenergetyczna	1,1 3,0 średni: $w_H=2,62$ $w_N=2,53$
26P	18K	13H	9W	pompa ciepła typu glikol/woda, gazowa+ szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w.; ogrzewanie podłogowe; instalacja c.w. centralna	gaz; energia elektryczna; sieć systemowa elektroenergetyczna	1,1 3,0 średni: $w_H=1,10$ $w_N=1,58$
27P	19K	14H	9W	pompa ciepła typu glikol/woda, gazowa+ szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w.; zawory termostaticzne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; instalacja centralna c.w.	gaz; energia elektryczna; sieć systemowa elektroenergetyczna	1,1 3,0 średni: $w_H=1,10$ $w_N=1,58$
28P	20K	15H	9W	pompa ciepła typu glikol/woda, gazowa+ szczytowy kondensacyjny kocioł gazowy do ogrzewania i c.w. + grzałka elektryczna do c.w.; zawory termostaticzne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; instalacja centralna c.w.	gaz; energia elektryczna; sieć systemowa elektroenergetyczna	1,1 3,0 średni: $w_H=1,10$ $w_N=1,58$
29P	21K	16H	5W	kotłownia lokalna dwufunkcyjna na biomase; zawory termostaticzne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; instalacja centralna c.w.	biomasa	0,20
30P	22K	16H	10W	kotłownia lokalna jednofunkcyjna dla c.o. na biomase, zawory termostaticzne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; indywidualne instalacje c.w., podgrzew elektrycznie w zasobniku	biomasa (c.o.) energia elektryczna; sieć systemowa elektroenergetyczna (c.w.)	$w_H=0,20$ $w_N=3,00$

cd. Tab. 4.3.11

31P	23K	16H	6W	kotłownia lokalna dwufunkcyjna na biomasę; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni nieogrzewanej; instalacja centralna c.w. wspomagana kolektorem słonecznym	biomasa	0,20
32P	24K	17H	5W	kotłownia lokalna dwufunkcyjna na biomasę; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; instalacja centralna c.w.	biomasa	0,20
33P	25K	17H	10W	kotłownia lokalna jednofunkcyjna dla c.o. na biomasę, zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; indywidualne instalacje c.w., podgrzew elektrycznie w zasobniku	biomasa (c.o.) energia elektryczna; sieć systemowa elektroenergetyczna (c.w.)	$w_H=0,20$ $w_W=3,00$
34P	26K	17H	6W	kotłownia lokalna dwufunkcyjna na biomasę; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; instalacja centralna c.w. wspomagana kolektorem słonecznym	biomasa	0,20
35P	24K	17H	5W	kotłownia lokalna dwufunkcyjna na węgiel; zawory termostatyczne o działaniu PI; przewody w przestrzeni ogrzewanej; instalacja centralna c.w.	węgiel	1,1
We wszystkich wariantach przyjęto: energię pomocniczą jako elektryczną $w_i = 3,0$; w wariantach z kolektorami słonecznymi dla energii słonecznej $w_i = 0,0$						

4.3.10 Analiza statystyczna

Analizę statystyczną przeprowadzono uwzględniając zapotrzebowanie budynku na energię użytkową, końcową i nieodnawialną pierwotną. Pierwszym etapem badań statystycznych było sprawdzenie istotności statystycznej różnicowania wartości energii użytkowej ($Q_{H,nd}$) z tytułu zmiany wymagań warunków technicznych w zakresie U dla przegród budowlanych obowiązujących od 2017 r. oraz od 2021 r. W tym celu zastosowano test istotności t -studenta. Ponieważ próby były niezależne, rozkłady obu cech były zbliżone do normalnego i jednocześnie wariancje w obu próbach były jednakowe, to zastosowano odmianę testu t -studenta dla dwóch prób niezależnych. Do testowania normalności rozkładu został użyty powszechnie stosowany test Shapiro-Wilka. Charakteryzuje się on wysoką mocą testu dla prób o niewielkiej liczebności. Natomiast do weryfikacji hipotezy o jednorodności wariancji w obu grupach został wykorzystany test Fishera.

W przypadku, gdy wynik testu wykazuje występowanie istotnych różnic zmiennej $Q_{H,nd}$ analizy przeprowadzono oddzielnie dla wymagań 2017 r. i 2021 r. Aby przedstawić zmienność rozkładu wartości $Q_{H,nd}$, ze względu na wymagania 2017 r. i 2021 r. sporządzono wykresy rozkładu $Q_{H,nd}$, oraz określono poziomy średnich wartości $Q_{H,nd}$ i przedziały ufności dla szacowanych średnich.

Wpływ liczby stopniodni (Sd) na wartość $Q_{H,nd}$ sprawdzono poprzez wyznaczenie korelacji pomiędzy tymi cechami i sporządzenie modelu regresji. Do oceny siły i zwrotu korelacji użyto współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Ponieważ charakter zależności pomiędzy badanymi zmiennymi był liniowy, to użycie tej miary jest jak najbardziej uzasadnione. Każdy współczynnik korelacji został przetestowany pod względem istotności. Ponieważ współczynnik korelacji informuje jedynie o sile i zwrocie zależności pomiędzy zmiennymi, zastosowano również modele regresji liniowej. Pozwala ona na opis matematyczny postaci zależności, którą można wykorzystać do predykcji wartości zmiennej zależnej na podstawie zmiennych niezależnych. Parametry modeli regresji zostały oszacowane metodą najmniejszych kwadratów, przy ówczesnym sprawdzeniu założeń stosowalności tej metody. Diagnostyka modeli wykazała, że rozkłady reszt spełniają wszystkie założenia twierdzenia Gaussa-Markowa. Do weryfikacji jednorodności wariancji reszt zastosowano testy Breuscha-Pagana, Goldfelda-Quandta oraz Harrisona-McCabe'a. Natomiast do weryfikacji hipotezy o braku seryjnej korelacji zastosowano testy Durбина-Watsona oraz Breuscha-Godfrey'a. Normalność rozkładu reszt została przetestowana testem Shapiro-Wilka.

Zbadano poziom istotności wpływu na wartość $Q_{H,nd}$ następujących parametrów: orientacja budynku, współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego, zacinienie budynku, stopień przeszklenia w zakresach zmienności opisanych w podrozdziale 4.3.2. oraz 4.3.3. Określono zmienności rozkładu wartości $Q_{H,nd}$, sporządzono wykresy rozkładu oraz określono poziomy średnich wartości $Q_{H,nd}$ w zależności od w/w parametrów. Dodatkowo sprawdzono, czy istnieją efekty interakcji tych parametrów tzn. czy zmiana jednego parametru wpływa na zależność $Q_{H,nd}$ od innego parametru.

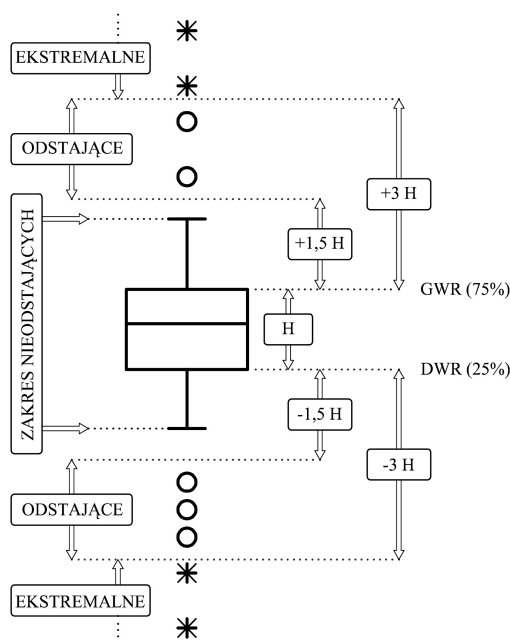
Badaniom statystycznym poddano wpływ wariantów systemu ogrzewania (opisane w podrozdziale 4.3.5.) na wartość $Q_{k,H}$ i sporządzono rozkład wartości $Q_{k,H}$. Uzyskane wyniki odniesiono do liczby stopniodni.

Uwzględniono zapotrzebowane budynku na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody, przyjęto założone rodzaje systemów jej podgrzewu (opis w podrozdziale 4.3.6.) oraz uwzględniono niezbędną energię pomocniczą elektryczną (opis w podrozdziale 4.3.7.). Następnie, poprzez zastosowanie testu t -studenta, zweryfikowano istotność wpływu wymagań warunków technicznych w zakresie U na wskaźnik EK_{H+W} przy założonych wariantach rozwiązań technicznych podanych w podrozdziale 4.3.8. Sporządzono wykresy rozkładu wartości EK_{H+W} ze względu na lokalizację budynku oraz na wariant rozwiązania systemu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody.

Badania statystyczne wskaźnika EP_{H+W} wykonano analogicznie jak dla EK_{H+W} przy założonych wariantach rozwiązań technicznych opisanych w podrozdziale 4.3.9. charakteryzujących się odpowiednimi wartościami współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (w_i). Sporządzono wykresy rozkładu wartości EP_{H+W} ze względu na lokalizację budynku oraz na wariant rozwiązania systemu ogrzewania, przygotowania ciepłej wody i rodzaju nośnika energii.

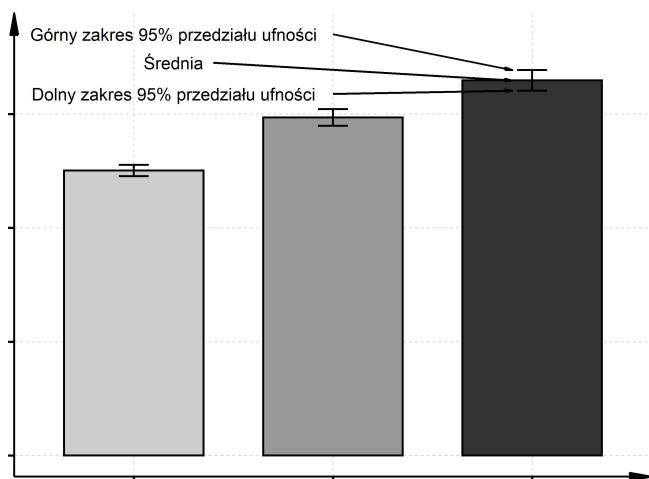
Uzyskane z badań statystycznych wyniki przeanalizowano w następujący sposób:

- pod kątem zmienności energii użytkowej do ogrzewania i wentylacji $Q_{H, nd}$ oraz wskaźnika EU_H w zależności od parametrów mających bezpośredni wpływ na te wielkości
- pod kątem występowania poziomu zmienności i różnic wartości EK_{H+W} oraz EP_{H+W} dla ustalonych stacji meteorologicznych, ale różnych wariantów systemu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody,
- pod kątem zmienności i różnic występujących w obrębie poszczególnych, ustalonych wariantów systemu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody,
- przeprowadzono poszukiwanie konfiguracji wariantu oraz innych parametrów dających skrajne wartości EK_{H+W} oraz EP_{H+W} w każdej z analizowanych stacji meteorologicznych.



Rys. 4.3.1 Graficzny sposób prezentacji wyników badań statystycznych – mediana i zakresy

Na Rys. 4.3.1 i Rys. 4.3.2 przedstawiono graficzny sposób prezentacji wyników badań statystycznych zamieszczonych w następnych rozdziałach niniejszej pracy. Na Rys. 4.3.1 środkowa linia to mediana, górny brzeg prostokąta to kwartył górny, dolny brzeg to kwartył dolny, pionowa ograniczona linia to zakres obserwacji nieodstających, natomiast oznaczenia punktowe to wartości odstające i ekstremalne. Na Rys. 4.3.2 słupki mają wysokość wartości średniej badanej cechy, natomiast linia pionowa ograniczona dwoma liniami poziomymi to końce 95% przedziału ufności dla średniej.



Rys. 4.3.2 Graficzny sposób prezentacji wyników badań statystycznych – średnia badanej cechy

5 Wyniki i dyskusja

5.1 Zapotrzebowanie budynku na energię użytkową

Zapotrzebowanie budynku na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji ($Q_{H,nd}$), przy założonych, zgodnie z obowiązującymi wymaganiami, warunkach środowiska wewnętrznego w budynku, zależy głównie od następujących parametrów: izolacyjności cieplnej przegród budowlanych, temperatury powietrza zewnętrznego, zysków ciepła od promieniowania słonecznego. Wpływ zmiany poszczególnych parametrów na wartość $Q_{H,nd}$ oraz wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową (EU_H) przeanalizowano w podrozdziałach 5.1.1–5.1.4.

5.1.1 Ograniczenie współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych

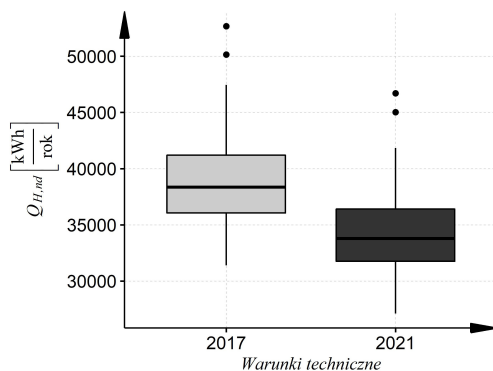
Hipoteza badawcza zakłada, że energia użytkowa $Q_{H,nd}$ jest istotnie różnicowana przez wymagania współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych (standard energetyczny) zawarte w warunkach technicznych obowiązujących od 1 stycznia 2017 r. oraz od 1 stycznia 2021 r. (dwie grupy) przy założeniach podanych w podrozdziale 4.3.1.

Uzyskana, przy próbie $n = 36$ w każdej grupie, statystyka testowa $t = 6,65$, krytyczny poziom istotności $p = 0,000$, ($p < 0,05$) pozwala na odrzucenie hipotezy, że w obu grupach średnie zmiennej $Q_{H,nd}$ są równe. Potwierdza to wykres zamieszczony na Rys. 5.1.1 obrazujący rozkład wartości $Q_{H,nd}$ o zbliżonej zmienności w obu grupach. Jednocześnie, co jest oczywiste, wskazuje na uzyskanie niższej wartości w grupie wyników dla wymagań 2021 r. Wartości średnie $Q_{H,nd}$ w poszczególnych grupach podano w tabeli 5.1.1. Na Rys. 5.1.2 przedstawiono średnie i przedziały ufności dla szacowanej średniej.

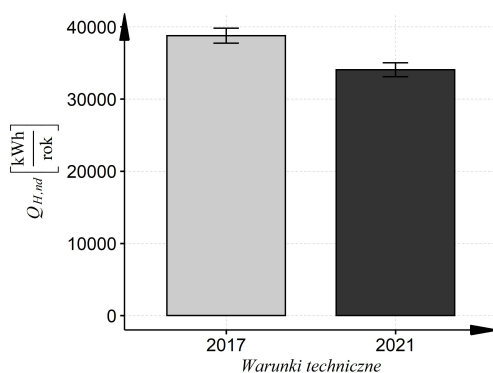
Wyniki testu istotności podano w podrozdziale 8.1.

Tab. 5.1.1 Wskaźnik EU na potrzeby ogrzewania i wentylacji w zależności od wymagań standardu energetycznego budynku

Lp.	Wymagania warunków technicznych	Wartości średnie		Zmiana
		$Q_{H,nd}$	EU_H	ΔEU_H
-	-	kWh/rok	kWh/(m ² · rok)	%
1	2017	38776	46,08	-
2	2021	34060	40,48	12,15
$\Delta EU_H = (46,08 - 40,48) / 46,08 \cdot 100$				



Rys. 5.1.1 Wykres rozkładu wartości energii $Q_{H,nd}$ w obu grupach



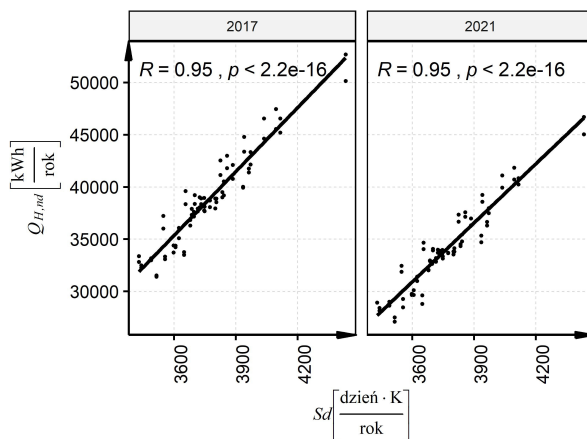
Rys. 5.1.2 Poziomy średnich wartości energii $Q_{H,nd}$ oraz przedziały ufności dla szacowanej średniej

Dlatego, że średnie zmiennej $Q_{H,nd}$ w obu grupach nie są równe, badanie wpływu następnych parametrów na wartość wskaźników zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną budynku należy rozpatrywać odrębnie dla każdej z grup tj. przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. oraz z 2021 r. Podnoszenie wymagań izolacyjności cieplnej przegród budowlanych poprzez ograniczenie współczynnika przenikania ciepła powoduje obniżenie wartości wskaźnika EU_H na potrzeby ogrzewania i wentylacji o kilkanaście procent.

5.1.2 Wpływ strefy klimatycznej

Wpływ strefy klimatycznej na wartość $Q_{H,nd}$ badano poprzez liczbę stopniodni (S_d), która jest charakterystyczna dla każdej z wybranych 36 stacji meteorologicznych. Obliczenia zapotrzebowania budynku na energię użytkową zostały przeprowadzone oddzielnie przy wymaganiach współczynników

U z 2017 r. i 2021 r. Wykres na Rys. 5.1.3 obrazuje wpływ liczby stopniodni na wartość $Q_{H,nd}$. Z zamieszczonych na wykresie wartości korelacji (r) oraz krytycznego poziomu istotności testu (p) wynika, że korelacje pomiędzy cechami Sd i $Q_{H,nd}$ są istotne i silne. Zastosowany model regresji wskazuje, że wpływ stopniodni na wartość energii użytkowej jest istotny i dodatni (wzrost Sd powoduje istotny wzrost wartości $Q_{H,nd}$) w obu przypadkach wymagań dotyczących współczynnika U . Modele regresji przedstawiono w podrozdziale 8.2.1. (wymagania 2017 r.) i w podrozdziale 8.2.2. (wymagania 2021 r.).



Rys. 5.1.3 Wpływ Sd na wartość $Q_{H,nd}$ w podziale na wymagania współczynnika U

W tabeli 5.1.2. zestawiono minimalne, średnie i maksymalne wartości $Q_{H,nd}$ oraz wskaźnika EU_H przy wymaganiach w zakresie współczynnika U przegród budowlanych z 2017 r. i z 2021 r. oraz przy tych samych pozostałych parametrach wpływających na wartość energii użytkowej.

Tab. 5.1.2 Wartość wskaźnika EU_H w zależności od wymagań współczynnika U

Lp.	Wartość	Wymagania współczynników przenikania ciepła - U				Zmiana	
		U - 2017		U - 2021		U - 2017	U - 2021
		$Q_{H,nd}$	EU_H	$Q_{H,nd}$	EU_H	$\Delta EU_{H,min}/\Delta E_{H,śr}$	$\Delta EU_{H,min}/\Delta E_{H,śr}$
-	-	kWh/rok	kWh/(m ² · rok)	kWh/rok	kWh/(m ² · rok)	%	%
1	minimalna	31531	37,47	27099	32,20	- / 18,7	- / 20,5
2	średnia	38776	46,08	34060	40,48	23,0 / -	25,7 / -
3	maksymalna	52675	62,60	46706	55,50	67,1 / 35,9	72,4 / 37,1
$\Delta EU_{H,min}/\Delta E_{H,śr}$ - zmiana względem wartości: minimalnej / średniej							
$\Delta EU_{H,min} = (EU_{H,śr} - EU_{H,min}) / EU_{H,min} \cdot 100$ / $\Delta EU_{H,śr} = (EU_{H,śr} - EU_{H,min}) / EU_{H,śr} \cdot 100$							
$\Delta EU_{H,min} = (EU_{H,max} - EU_{H,min}) / EU_{H,min} \cdot 100$ / $\Delta EU_{H,śr} = (EU_{H,max} - EU_{H,śr}) / EU_{H,śr} \cdot 100$							

Wartości zamieszczone w tabeli 5.1.2. wskazują, że przy jednakowych wymaganiach dotyczących współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych, znacząco różni się wskaźnik EU_H obliczony przy różnej liczbie stopniodni. Uzyskane skrajne wartości EU_H odniesione do wartości minimalnej różnią się przy wymaganiach z 2017 r. aż o 67,1% natomiast z 2021 r. aż o 72,4%. Z kolei skrajne wartości EU_H odniesione do wartości średniej różnią się przy wymaganiach 2017 r. o 35,9%, a przy wymaganiach z 2021 o 37,1%.

W celu zobrazowania wpływu strefy klimatycznej na zapotrzebowanie budynku na energię użytkową, przy przykładowych założeniach tj. przeszklenia P2, zacienienia 0,9, udziału szyby w oknie 0,7, orientacji ścian podłużnych na kierunkach N-S w tabeli 5.1.3. zestawiono uzyskane wartości projektowego obciążenia cieplnego (Φ_{HL}), $Q_{H,nd}$ oraz EU_H dla czterech stref klimatycznych przy minimalnej i maksymalnej liczbie stopniodni w danej strefie (w strefie V badana była jedna stacja meteorologiczna). Badania przeprowadzono odrębnie przy wymaganiach 2017 r. oraz 2021 r.

Tab. 5.1.3 Wartości Φ_{HL} , $Q_{H,nd}$ oraz EU_H w strefach klimatycznych

strefa	θ_e	S_{dmin}	S_{dmax}	2017		2021		2017				2021			
				Φ_{HL}				S_{dmin}		S_{dmax}		S_{dmin}		S_{dmax}	
								$Q_{H,nd}$	EU_H	$Q_{H,nd}$	EU_H	$Q_{H,nd}$	EU_H	$Q_{H,nd}$	EU_H
-	°C	dzień·K/rok	dzień·K/rok	kW	kW	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)
I	-16	3514,5	3842,4	34,2	32,0	31531	37,47	40534	48,17	27099	32,20	35441	42,12		
II	-18	3429,3	3940,9	36,1	33,8	33372	39,66	44779	53,21	29917	34,36	39225	46,61		
III	-20	3440,5	3963,4	38,0	35,5	32492	38,61	41755	49,62	28149	33,45	36308	43,15		
IV	-22	3971,8	4116,5	39,9	37,3	43339	51,50	46552	55,32	37958	45,11	40823	48,51		
V	-24	4434,7		41,8	39,1	52675	62,60	-	-	46706	55,50	-	-		

Na podstawie wyników obliczeń zamieszczonych w tabeli 5.1.3. można oszacować procentowe różnice pomiędzy uzyskanymi wartościami:

- spadek Φ_{HL} w danej strefie klimatycznej, przy porównaniu wymagań współczynnika U z 2017 r. oraz z 2021 r. wynosi 6,4%,
- w odniesieniu do I strefy klimatycznej, w pozostałych strefach tj. od II do ze względu na wymagania w zakresie wartości U ,
- zarówno przy wymaganiach U z 2017 r. jak i z 2021 r. wartości EU_H przy V następuje wzrost Φ_{HL} odpowiednio o 5,6%, 10,9%, 16,6% i 22,2%, przy minimalnej i maksymalnej liczbie stopniodni (S_d) w danej strefie (z wyłączeniem strefy IV) różnią się w przedziale 28–36%, natomiast w strefie IV ponad 7%.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych należy stwierdzić, że temperatury zewnętrzne oraz długość okresu grzewczego charakterystyczne dla danej strefy klimatycznej mają istotny wpływ na wartość wskaźnika EU_H . Zamieszczone w tabeli 5.1.3. wyniki obliczeń wskazują, że zniwelowanie różnicy w wartości EU_H wynikającej z lokalizacji budynku (przy znacznie różniących się liczbach S_d) poprzez nawet znaczne zmniejszenie wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych jest w zasadzie niemożliwe.

Od wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU_H zależy wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową EK_H i na nieodnawialną energię pierwotną EP_H do ogrzewania. Dlatego spełnienie tych samych wymagań w zakresie EP_H w przypadku budynku zlokalizowanego w miejscu charakteryzującym się dużą liczbą stopniodni jest o wiele trudniejsze. Autor publikacji [30] na przykładzie studium przypadku wykazał, że wartości wskaźnika EP_H mogą różnić się z powodu lokalizacji w strefie klimatycznej o 24%, a nawet w tej samej o 15%. W publikacji [124] wykazano, że uzyskanie tej samej wartości wskaźnika EP_H dla budynku położonego w IV strefie klimatycznej w porównaniu z budynkiem zlokalizowanym w II strefie wiąże się z poprawą średniego współczynnika przenikania ciepła budynku o ponad 20%.

Zazwyczaj wymusza to konieczność projektowania i realizacji rozwiązań technicznych droższych od rozwiązań typowych. Należy jednak zaznaczyć, że wyższe wartości wskaźników rocznego zapotrzebowania budynku na energię to wyższe prognozowane zużycie energii w budynku, a tym samym możliwy wzrost kosztów eksploatacyjnych ogrzewania. Dlatego wskazane jest prowadzenie analizy zasadności ponoszenia dodatkowych kosztów inwestycyjnych na rzecz ograniczenia kosztów eksploatacyjnych.

Tab. 5.1.4 Współczynnik korekcyjny (k_s) do wartości EU_H z tytułu liczby stopniodni

Lp.	Zakres stopniodni	Współczynnik korekcyjny
	S_d	k_s
	dzień·K/rok	-
1	<3550	0,84
2	3551–3650	0,86
3	3651–3750	0,96
4	3751–3850	1,00
5	3851–3950	1,07
6	3951–4050	1,10
7	4051–4150	1,18
9	> 4150	1,31

Na podstawie przeprowadzonych w niniejszej pracy analiz, zaproponowano współczynniki korekcyjne (k_s) do wartości EU_H z tytułu liczby stopniodni

występujących na obszarze Polski. Wartość k_s zamieszczone w tabeli 5.1.4. określono na podstawie uzyskanych wartości $Q_{H,nd}$ przy różnych wartościach S_d przedstawionych na Rys. 5.1.3 oraz przy wymaganiach z 2017 r. i 2021 r.

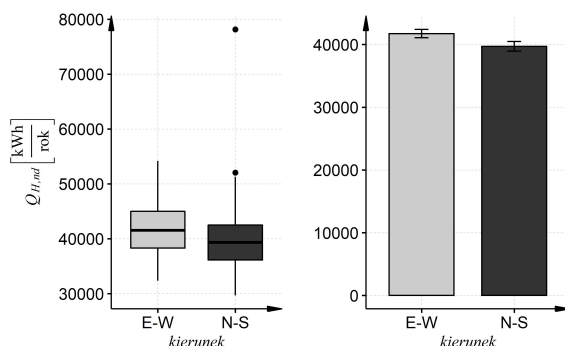
Do Rozporządzenia [99] wpisano współczynnik korekcyjny nazwany współczynnikiem ostrości klimatu i przyporządkowano go do województw według podziału obecnie obowiązującego w Polsce. Wartość tego współczynnika zawiera się w przedziale 0,948–1,125

5.1.3 Wpływ zysków ciepła od promieniowania słonecznego

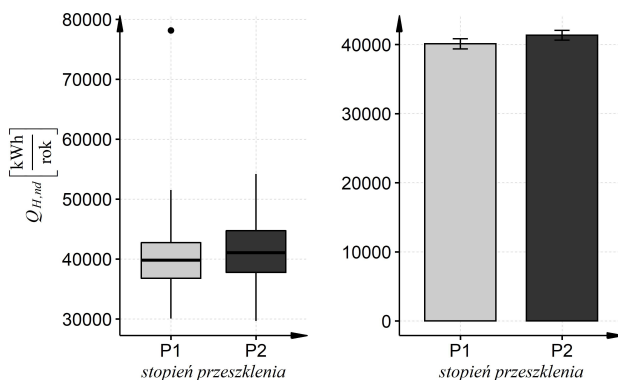
Przy założeniach podanych w podrozdziale 4.3.2. niniejszej pracy przedstawiono wpływ czterech parametrów: orientacji budynku względem kierunków świata, stopnia przeszklenia (P1, P2), zacienienia od przeszkód zewnętrznych ($F_{sh,gl}$) oraz przepuszczalności energii promieniowania słonecznego (g) na wartość energii $Q_{H,nd}$ oraz wskaźnika EU_H przy podziale na wymagania w zakresie współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r.

Z analizy kowariancji, wynika, że każdy z w/w parametrów ma istotny wpływ na wartość energii $Q_{H,nd}$. Większe znaczenie mają orientacja budynku oraz współczynnik przepuszczalności (g) niż zacienienie i stopień przeszklenia, co potwierdzają wyniki oszacowań parametrów strukturalnych modelu przedstawione w podrozdziałach 8.3.1. i 8.3.2. Poniższe wykresy rozkładu wartości energii $Q_{H,nd}$, a także jej średniej zamieszczone na Rys. 5.1.4–5.1.7 przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. oraz Rys. 5.1.8–5.1.11. z 2021 r. ilustrują istotność wpływu poszczególnych czynników. Istotny wpływ na wartość energii $Q_{H,nd}$ oznacza równocześnie istotny wpływ w/w parametrów na wskaźnik EU_H .

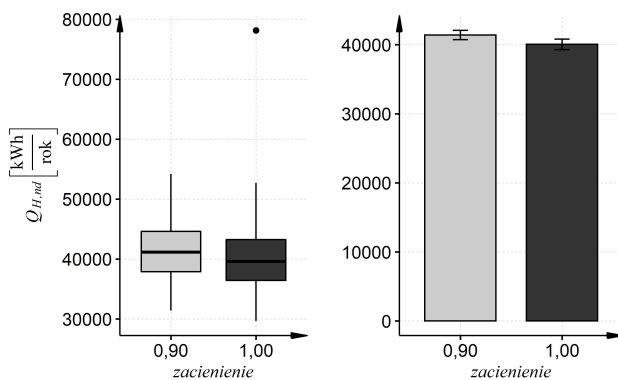
Sprawdzono i stwierdzono, że nie występują istotne interakcje w/w parametrów, co oznacza że zmiana jednego z parametrów nie wpływa na zależność $Q_{H,nd}$ od innego parametru.



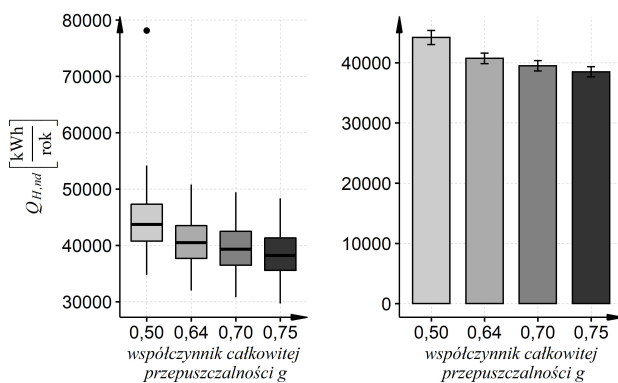
Rys. 5.1.4 Rozkład wartości i średnia energii $Q_{H,nd}$ ze względu na orientację względem kierunków świata przy wymaganiach z 2017 r.



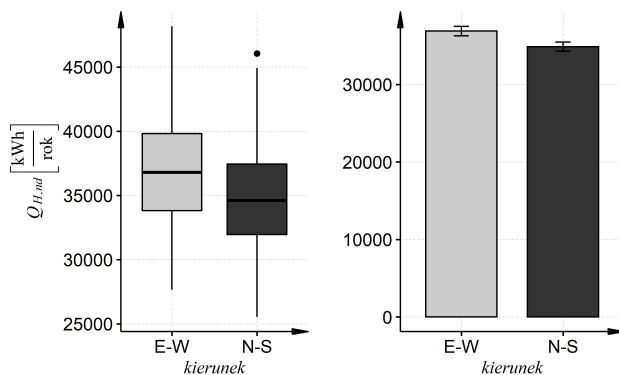
Rys. 5.1.5 Rozkład wartości i średnia energii $Q_{H,nd}$ ze względu na stopień przeszklenia przy wymaganiach z 2017 r.



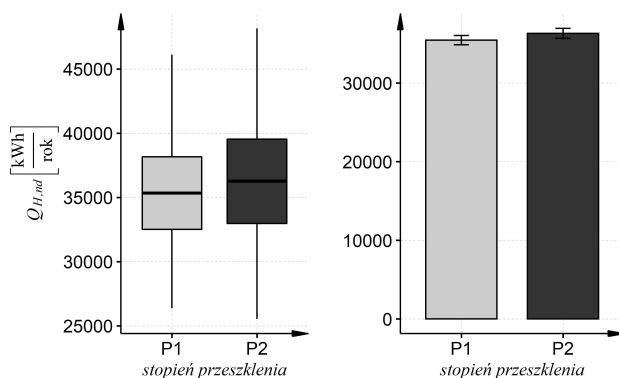
Rys. 5.1.6 Rozkład wartości i średnia energii $Q_{H,nd}$ ze względu na zacienienie od przeszkód zewnętrznych przy wymaganiach z 2017 r.



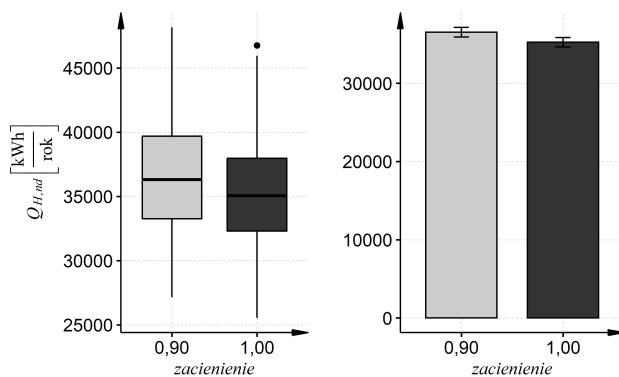
Rys. 5.1.7 Rozkład wartości i średnia energii $Q_{H,nd}$ ze względu na przepuszczalność energii promieniowania słonecznego przy wymaganiach z 2017 r.



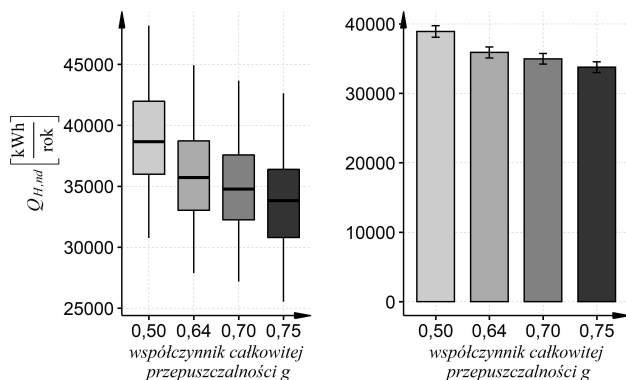
Rys. 5.1.8 Rozkład wartości i średnia energii $Q_{H,nd}$ ze względu na orientację względem kierunków świata przy wymaganiach z 2021 r.



Rys. 5.1.9 Rozkład wartości i średnia energii $Q_{H,nd}$ ze względu na stopień przeszklenia przy wymaganiach z 2021 r.



Rys. 5.1.10 Rozkład wartości i średnia energii $Q_{H,nd}$ ze względu na zacienienie od przeszkód zewnętrznych przy wymaganiach z 2021 r.



Rys. 5.1.11 Rozkład wartości i średnia energii $Q_{H,nd}$ ze względu na przepuszczalność energii promieniowania słonecznego przy wymaganiach z 2021 r.

Wielkość zmian wartości energii $Q_{H,nd}$ oraz wskaźnika EU_H w odniesieniu do wartości średnich (globalnych), w zależności od poszczególnych parametrów przedstawiono w tabelach 5.1.5–5.1.8.

Tab. 5.1.5 Zmiana energii $Q_{H,nd}$ oraz wskaźnika EU_H w zależności od kierunku świata przy wymaganiach z 2017 r. oraz z 2021 r.

Lp.	Wymagania U	Kierunek	Wartość średnia energii użytkowej	Wartość średnia wskaźnika	Różnica wartości wskaźnika	Zmiana od mniejszej wartości średniej	Wartość średnia (globalna) energii użytkowej	Wartość średnia (globalna) wskaźnika	Zmiana od wartości średniej (globalnej)
		-	$Q_{H,nd}$	EU_H	ΔEU_H	ΔEU_H	$Q_{H,nd}$	EU_H	ΔEU_H
		-	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	kWh/(m ² ·rok)	%	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	%
1	2017	N-S	39710	47,19	0,00	0,00	40725	48,40	0,00
2		E-W	41739	49,60	2,41	5,11			4,98
3	2021	N-S	34877	41,45	0,00	0,00	35879	42,64	0,00
4		E-W	36880	43,83	2,38	5,74			5,58

Można stwierdzić, że zmiana ustawienia budynku z N-S na E-W (obróć o 90°) o powoduje wzrost wartości $Q_{H,nd}$ oraz EU_H o ok. 5% w każdej z grup związanych z wymaganiami w zakresie U . Oznacza to, że dla analizowanego modelu budynku orientacja N-S ścian podłużnych jest korzystniejsza pod względem zapotrzebowania na energię użytkową.

W publikacji [145] wykazano, że zmiana kierunku ustawienia budynku z E-W na N-S skutkuje zmianami zapotrzebowania na energię zazwyczaj w przedziale 5–7%, a w niektórych przypadkach tylko 3%.

Tab. 5.1.6 Zmiana energii $Q_{H,nd}$ oraz wskaźnika EU_H w zależności od stopnia przeszklenia przy wymaganiach z 2017 r. oraz z 2021 r.

Lp.	Wymagania U	Stopień przeszklenia	Wartość średnia energii użytkowej	Wartość średnia wskaźnika	Różnica wartości wskaźnika	Zmiana od mniejszej wartości średniej	Wartość średnia (globalna) energii użytkowej	Wartość średnia (globalna) wskaźnika	Zmiana od wartości średniej (globalnej)
		P	$Q_{H,nd}$	EU_H	ΔEU_H	ΔEU_H	$Q_{H,nd}$	EU_H	ΔEU_H
		-	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	kWh/(m ² ·rok)	%	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	%
1	2017	P1	40104	47,66	0,00	0,00	40725	48,40	0,00
2		P2	41345	49,13	1,47	3,08			3,04
3		P1	35452	42,13	0,00	0,00	35879	42,64	0,00
4	2021	P2	36306	43,14	1,01	2,41			2,38

Można wnioskować, że zmiana przeszklenia z P1 (minimalne) na P2 (maksymalne) powoduje niezbyt duży wzrost tj. ok. 2–3% wartości energii $Q_{H,nd}$ oraz wskaźnika EU_H . W przypadku analizowanego modelu budynku, przy mniejszym przeszkleniu występują mniejsze straty z tytułu przenikania ciepła i pomimo zmniejszenia zysków ciepła od promieniowania słonecznego ostatecznie bilans energii użytkowej jest nieznacznie korzystniejszy.

W przypadku analizowanego modelu budynku wpływ zacienienia od przeszkód zewnętrznych wynosi blisko 3,5% w każdej z grup związanych z wymaganiami w zakresie U . Przyjęte do analizy wartości czynnika redukującego zyski ciepła od promieniowania słonecznego z tytułu zacienienia budynku przez przeszkody zewnętrzne są wartościami skrajnymi wykorzystywanymi do wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku. Oznacza to, że przy wartościach pośrednich wpływ tego parametru będzie jeszcze mniejszy.

Z analizy statystycznej wynika, że w przypadku przyjętego modelu budynku spadek przepuszczalności energii promieniowania słonecznego powierzchni oszklonej (g) od wartości 0,75 (np. okno dwuszybowe) do 0,5 (np. okno dwukomorowe z powłoką niskoemisyjną) powoduje znaczny wzrost zapotrzebowania budynku na energię użytkowa tj. ok. 14%. Natomiast spadek do wartości 0,64 (np. okno jednokomorowe, wypełnione argonem, z jedną powłoką niskoemisyjną) powoduje wzrost ok. 5%, zaś spadek współczynnika

g do 0,7 (np. okno trzyszybowe) powoduje wzrost zapotrzebowania już tylko ok. 2–3%. Należy jednak zauważyć, że budowa pakietu szybowego okna ma wpływ na wartość współczynnika przenikania ciepła całego okna, co ma znaczenie dla bilansu energii użytkowej budynku.

Tab. 5.1.7 Zmiana energii $Q_{H,nd}$ oraz wskaźnika EU_H w zależności od zacienienia od przeszkód zewnętrznych przy wymaganiach z 2017 r. oraz z 2021 r.

Lp.	Wymagania U	Zacienienie	Wartość średnia energii użytkowej	Wartość średnia wskaźnika	Różnica wartości wskaźnika	Zmiana od mniejszej wartości średniej	Wartość średnia (globalna) energii użytkowej	Wartość średnia (globalna) wskaźnika	Zmiana od wartości średniej (globalnej)
		$F_{sh,gl}$	$Q_{H,nd}$	EU_H	ΔEU_H	ΔEU_H	$Q_{H,nd}$	EU_H	ΔEU_H
		,	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	kWh/(m ² ·rok)	%	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	%
1	2017	0,9	41401	49,20	1,61	3,38	40725	48,40	3,33
2		1,0	40048	47,59	0,00	0,00			0,00
3	2021	0,9	36518	43,40	1,52	3,63	35879	42,64	3,56
4		1,0	35240	41,88	0,00	0,00			0,00

Tab. 5.1.8 Zmiana energii $Q_{H,nd}$ oraz wskaźnika EU_H w zależności od przepuszczalność energii promieniowania słonecznego przy wymaganiach z 2017 r. oraz z 2021 r.

Lp.	Wymagania w zakresie współczynnika U	Przepuszczalność energii słonecznej	Wartość średnia energii użytkowej	Wartość średnia wskaźnika	Różnica wartości wskaźnika	Zmiana od mniejszej wartości średniej	Wartość średnia globalna energii użytkowej	Wartość średnia globalna wskaźnika	Zmiana od wartości średniej globalnej
		g	$Q_{H,nd}$	EU_H	ΔEU_H	ΔEU_H	$Q_{H,nd}$	EU_H	ΔEU_H
		,	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	kWh/(m ² ·rok)	%	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)	%
1	2017	0,5	44192	52,52	6,78	14,82	40725	48,40	14,02
2		0,64	40730	48,40	2,66	5,82			5,50
3		0,7	39485	46,92	1,18	2,58			2,44
4		0,75	38492	45,74	0,00	0,00			0,00
5	2021	0,5	38896	46,22	6,09	15,18	35879	42,64	14,28
6		0,64	35886	42,65	2,52	6,28			5,91
7		0,7	34968	41,55	1,42	3,54			3,33
8		0,75	33766	40,13	0,00	0,00			0,00

Zazwyczaj przy bardzo dobrej zdolności oszklenia do przepuszczania energii promieniowania słonecznego wartość współczynnika przenikania ciepła całego okna jest niższa. Zatem wskazane jest rozpatrywanie tych dwóch parametrów okien jednocześnie.

W dwóch grupach wymagań współczynnika przenikania ciepła z 2017 r. i 2021 r., przy 11 stacjach meteorologicznych uzyskano po 352 kombinacje parametrów wpływających na zyski ciepła od promieniowania słonecznego w bilansie energii użytkowej. W celu zobrazowania zmienności wskaźnika EU_H , spośród otrzymanych wyników wybrano dwie stacje meteorologiczne, w których uzyskano największe i najmniejsze wartości, obliczono wartości średnie dla tych stacji (36 przypadków w każdej z nich) i podano różnice od wartości średniej. Uzyskanie wyniki zawiera tabela 5.1.9.

Tab. 5.1.9 Wartości wskaźnika EU_H przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r.

Lp.	Wartość	Nazwa stacji	Wymagania z 2017				Wymagania z 2021			
			min.	max.	śred.	różnica	min.	max.	śred.	różnica
			$EU_{H,min}$	$EU_{H,max}$	$EU_{H,śr}$	ΔEU_H	$EU_{H,min}$	$EU_{H,max}$	$EU_{H,śr}$	ΔEU_H
1	Minimalna	Stacja nr 2 Tarnów	35,25	47,25	40,40	34,04 14,60 16,96	30,34	41,60	35,75	37,11 17,83 16,36
2	Maksymalna	Stacja nr 35 Olsztyn	50,78	64,39	56,33	26,80 10,92 12,52	44,69	57,24	50,05	28,08 11,99 14,37
3	Różnica w % pomiędzy stacjami odniesiona do wartości min.		44,06	36,28	39,43	-	47,30	37,60	40,00	-
Wartości EU_H podano w kWh/m ² ·rok; ΔEU_H w % obliczona pomiędzy wartościami: maksymalną a minimalną; średnią a minimalną; maksymalną a średnią;										
Wartości minimalne EU_H dla stacji 2 uzyskano przy: N-S, P2, $g = 0,75$, $F_{sh,gl} = 1,0$ Wartości minimalne EU_H dla stacji 35 uzyskano przy: N-S, P1, $g = 0,75$, $F_{sh,gl} = 1,0$ Wartości maksymalne EU_H dla stacji 2 uzyskano przy: E-W, P2, $g = 0,5$, $F_{sh,gl} = 0,9$ Wartości maksymalne EU_H dla stacji 35 uzyskano przy: E-W, P2, $g = 0,5$, $F_{sh,gl} = 0,9$										

Z wartości zamieszczonych w tabeli 5.1.9. wynika, że w danej grupie wymagań dotyczących współczynnika U , wskaźniki zapotrzebowania na energię użytkową EU_H znacznie się różnią, co jest związane przede wszystkim

z lokalizacją budynku. Również w obrębie danej stacji meteorologicznej występują różnice w wartości wskaźnika EU_H , co w tym wypadku wynika jedynie z kombinacji parametrów mających wpływ na wartość zysków ciepła od promieniowania słonecznego. Zróżnicowanie to wynosi kilkanaście procent w odniesieniu do wartości średniej w danej stacji i grupie. Pokazuje to wpływ parametrów, od których zależą zyski ciepła od promieniowania słonecznego, na wielkości energii użytkowej. Najbardziej i najmniej korzystne kombinacje czterech analizowanych parametrów (orientacja, stopień przeszklenia, zacienienie, przepuszczalność) wpływające bezpośrednio na wartości wskaźnika EU_H zostały podane w tabeli 5.1.9.

Obliczone znaczne różnice wartości EU_H w stacji meteorologicznej nr 2 i nr 35, przy tych samych parametrach decydujących o zyskach od promieniowania, wskazują ponownie na istotny wpływ liczby stopniodni czyli lokalizacji budynku. Wydaje się więc zasadne uwzględnianie tego przy tworzeniu wymagań w zakresie EP_H budynku.

5.1.4 Wpływ wewnętrznych zysków ciepła

Wyniki obliczeń przedstawione w podrozdziałach 5.1.1., 5.1.2. oraz 5.1.3. uzyskano przy założeniu jednostkowych wewnętrznych zysków ciepła $q_{int} = 6,5 \text{ W/m}^2$ (opis w podrozdziale 4.3.4).

W celu oszacowania wpływu wewnętrznych zysków ciepła na wskaźnik EU_H przyjęto do obliczeń dla wybranych wartości S_d , przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i 2021 r., jeszcze dwie inne wartości q_{int} tj. $6,0 \text{ W/m}^2$ oraz $7,0 \text{ W/m}^2$. Wyniki analizy zamieszczono w tabeli 5.1.10.

Tab. 5.1.10 Wartość wskaźnika EU_H w zależności od wewnętrznych zysków ciepła

Lp.	Wymagania	Sd	Wskaźnik	Jedn. wewnętrzne zyski ciepła			Zmiana	
				6,0	6,5	7,0	6,0	7,0
-	-	dzień·K/rok	kWh/(m²·rok)	W/m²	W/m²	W/m²	%	%
1	2017	3429,3	EU _H	40,60	38,63	36,74	5,1	4,9
2		3963,4		50,48	48,32	46,20	4,5	4,4
3		4434,7		63,83	61,54	59,29	3,7	3,7
4	2021	3429,3		35,33	33,45	31,64	5,6	5,4
5		3963,4		44,07	41,99	39,96	5,0	4,8
6		4434,7		56,79	54,56	52,37	4,1	4,0
zmiana wyrażona w % wskaźnika EU _H względem wartości uzyskanej przy q _{int} = 6,5 W/m²								

Wzrost lub spadek wartości wskaźnika EU_H w odniesieniu do wskaźnika EU_H obliczonego przy $q_{int} = 6,5 \text{ W/m}^2$ wynosi 3,7–5,6% bez względu na wymagania dotyczące współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych.

Można również zauważyć, że im liczba stopniodni jest większa tym wpływ zmiany wartości q_{int} jest mniejszy.

5.2 Zapotrzebowanie budynku na energię końcową

Zapotrzebowanie budynku na energię końcową do ogrzewania i wentylacji oraz analogicznie do przygotowania ciepłej wody, przy znanym zapotrzebowaniu na energię użytkową, zależy od średniej sezonowej sprawności całkowitej systemu technicznego.

Przy założeniach podanych w podrozdziale 4.3.6. wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową na cele ciepłej wody według metodyki obliczeń w [96] jest stały i wynosi $27,53 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

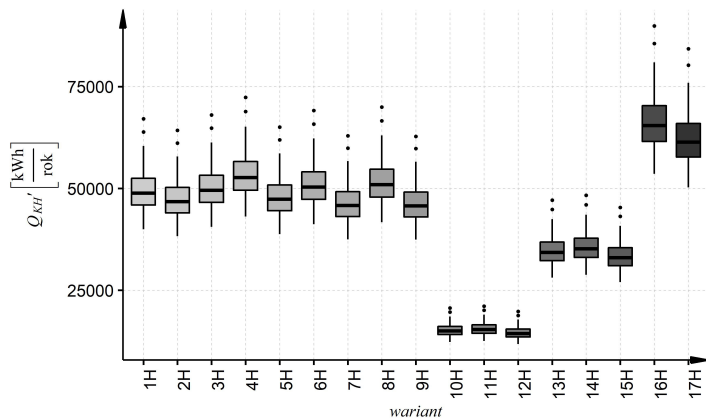
Wpływ zmiany sezonowej sprawności systemu ogrzewania oraz systemu przygotowania ciepłej wody na wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię końcową budynku przedstawiono w podrozdziałach 5.2.1–5.2.4. W obliczeniach uwzględniono zapotrzebowanie na energię elektryczną niezbędną do napędu urządzeń pomocniczych stanowiących wyposażenie tych dwóch systemów.

5.2.1 Wpływ systemu ogrzewania

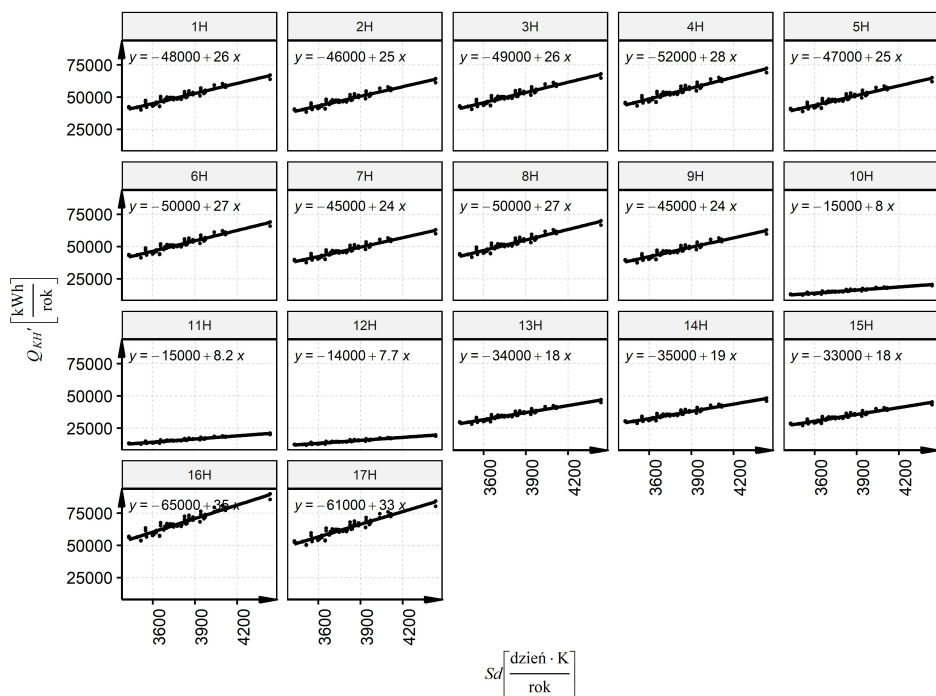
W tabeli 5.2.1. zestawiono wyniki obliczeń wpływu rodzaju systemu ogrzewania na wartość zapotrzebowania na energię końcową poprzez zmianę średniej sezonowej sprawności całkowitej tego systemu. Obliczenia przeprowadzono dla 17 wariantów rozwiązań technicznych możliwych do zastosowania w budynkach wielorodzinnych. Opis przeanalizowanych wariantów i założenia do obliczeń przedstawiono w podrozdziale 4.3.5 niniejszej pracy. Podane w tabelach 5.2.1. i 5.2.2. wartości $E'_{k,H}$ nie uwzględniają zapotrzebowania na energię elektryczną pomocniczą niezbędną do pracy systemu ogrzewania. Obliczenia przeprowadzono dla 36 stacji meteorologicznych przy przeszkleniu P1 i P2, orientacji N-S, $F_{sh,gl} = 0,9$ oraz $g = 0,75$. Rozpatrzono dwa przypadki tj. dla wymagań współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r. według rozporządzenia [97]. Dla każdego przypadku wykonano badania przy liczbie 72 elementów w próbie. Obliczono zmiany procentowe wartości minimalnej oraz maksymalnej w odniesieniu do wartości średniej, a także zmianę pomiędzy wartością maksymalną i minimalną odniesioną do wartości maksymalnej. Na Rys. 5.2.1 i Rys. 5.2.3 przedstawiono rozkład wartości energii $Q'_{k,H}$ w zależności od wariantów systemu ogrzewania. Natomiast na Rys. 5.2.2 i Rys. 5.2.4 zaprezentowano wpływ stopniodni na wartość $Q'_{k,H}$ w podziale na warianty ogrzewania oraz w odniesieniu do każdego z wymagań współczynnika U .

Tab. 5.2.1 Wskaźnik EK'_H w zależności od średniej sezonowej sprawności całkowitej systemu ogrzewania dla energii użytkowej według wymagań współczynnika U z 2017 r.

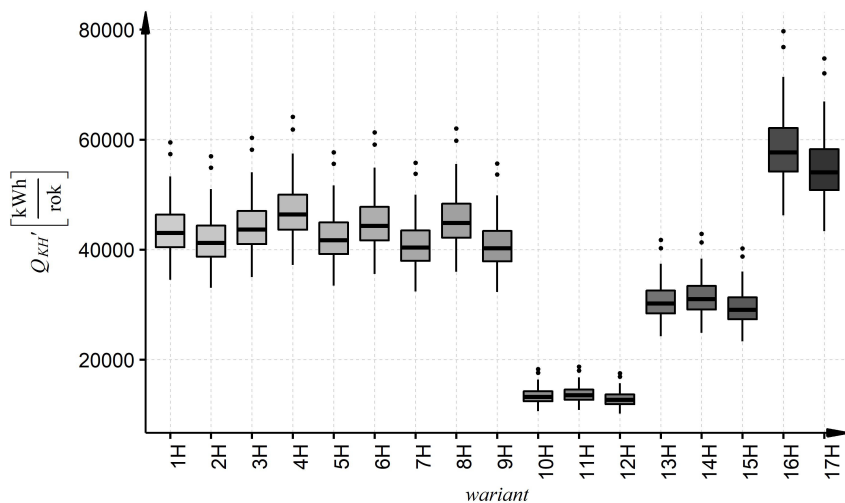
Nr wariantu	Oznaczenie wariantu	Sprawność $\eta_{t, \text{tot}}$	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i wentylacji			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
			$EK'_{H, \text{min.}}$	$EK'_{H, \text{sr.}}$	$EK'_{H, \text{max.}}$	$\Delta EK'_{H, \text{min}}$	$\Delta EK'_{H, \text{max.}}$	$\Delta EK'_H$
			kWh/(m ² · rok)			%		
1H	I/A/c	0,785	47,52	58,70	79,74	$\Delta EK'_{H, \text{min}} = (EK'_{H, \text{sr.}} - EK'_{H, \text{min.}}) / EK'_{H, \text{sr.}} \cdot 100$ 19,04	$EK'_{H, \text{max}} = (EK'_{H, \text{max}} - EK'_{H, \text{sr.}}) / EK'_{H, \text{sr.}} \cdot 100$ 35,85	$\Delta EK'_H = (EK'_{H, \text{max}} - EK'_{H, \text{min.}}) / EK'_{H, \text{min.}} \cdot 100$ 67,80
2H	I/B/c	0,820	45,50	56,19	76,34			
3H	II/A/a	0,774	48,20	59,53	80,87			
4H	II/B/c	0,728	51,24	63,30	85,98			
5H	III/A/a	0,810	46,06	56,89	77,28			
6H	III/B/c	0,762	48,96	60,47	82,15			
7H	IV/C/a	0,837	44,57	55,05	74,79			
8H	IV/A/c	0,753	49,54	61,19	83,13			
9H	IV/B/b	0,839	44,46	54,92	74,61			
10H	V/C/b	2,553	14,61	18,05	24,52			
11H	V/B/c	2,496	14,95	18,46	25,08			
12H	V/B/b	2,662	14,01	17,31	23,51			
13H	VI/C/b	1,118	33,37	41,22	55,99			
14H	VI/B/c	1,090	34,23	42,27	57,43			
15H	VI/B/b	1,162	32,11	39,66	53,87			
16H	VII/B/c	0,586	63,66	78,63	106,82			
17H	VII/B/b	0,625	59,69	73,73	100,15			



Rys. 5.2.1 Rozkład wartości energii $Q_{k,H}$ w zależności od wariantów systemu ogrzewania przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.



Rys. 5.2.2 Wpływ stopniowni na wartość energii $Q'_{k,H}$ w podziale na warianty ogrzewania przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.



Rys. 5.2.3 Rozkład wartości energii $Q'_{k,H}$ w zależności od wariantów systemu ogrzewania przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Tab. 5.2.2 Wskaźnik EK'_H w zależności od średniej sezonowej sprawności całkowitej systemu ogrzewania dla energii użytkowej według wymagań współczynnika U z 2021 r.

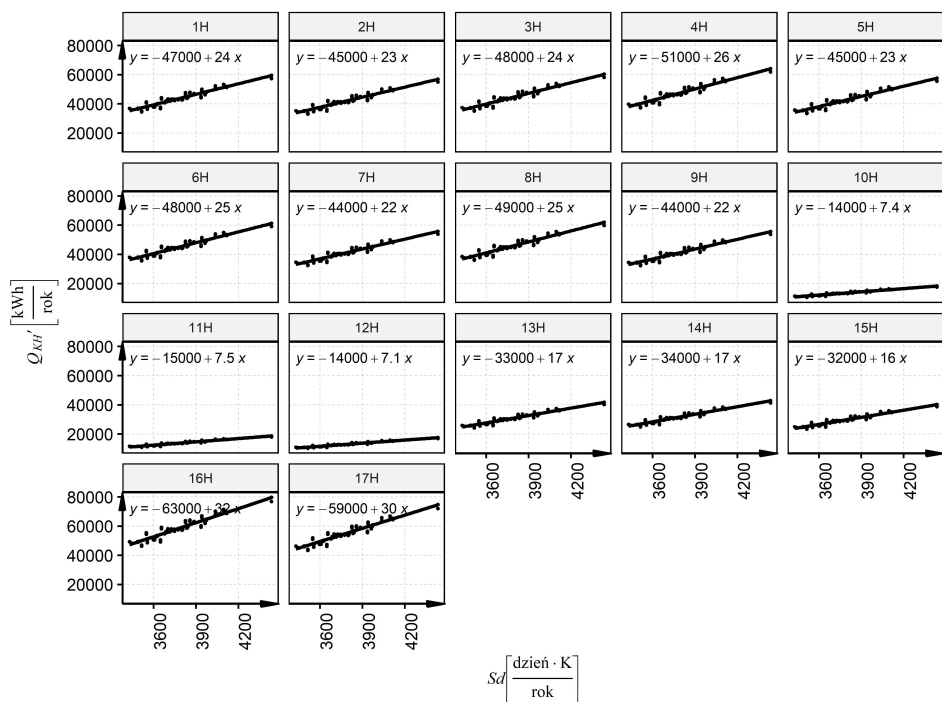
Nr wariantu	Oznaczenie wariantu	Sprawność η_{tot}	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania i wentylacji			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
			$EK'_{H,min.}$	$EK'_{H,sr.}$	$EK'_{H,max.}$	$\Delta EK'_{H,min}$	$\Delta EK'_{H,max.}$	$\Delta EK'_H$
			kWh/(m ² · rok)			%		
1H	I/A/c	0,785	41,02	51,56	70,70	$\Delta EK'_{H,min} = (EK'_{H,sr.} - EK'_{H,min.}) / EK'_{H,sr.} \cdot 100$ 20,44	$EK'_{H,max} = (EK'_{H,max} - EK'_{H,sr.}) / EK'_{H,sr.} \cdot 100$ 37,13	$EK'_H = (EK'_{H,max} - EK'_{H,min.}) / EK'_{H,min.} \cdot 100$ 72,35
2H	I/B/c	0,820	39,27	49,36	67,69			
3H	II/A/a	0,774	41,61	52,29	71,71			
4H	II/B/c	0,728	44,24	55,60	76,24			
5H	III/A/a	0,810	39,76	49,97	68,52			
6H	III/B/c	0,762	42,26	53,12	72,84			
7H	IV/C/a	0,837	38,47	48,36	66,31			
8H	IV/A/c	0,753	42,77	53,75	73,71			
9H	IV/B/b	0,839	38,38	48,24	66,15			
10H	V/C/b	2,553	12,61	15,85	21,74			
11H	V/B/c	2,496	12,90	16,22	22,24			
12H	V/B/b	2,662	12,10	15,21	20,85			
13H	VI/C/b	1,118	28,80	36,20	49,65			
14H	VI/B/c	1,090	29,54	37,13	50,92			
15H	VI/B/b	1,162	27,71	34,83	47,77			
16H	VII/B/c	0,586	54,95	69,07	94,72			
17H	VII/B/b	0,625	51,53	64,76	88,81			

Na Rys. 5.2.2 oraz Rys. 5.2.4 dla każdego wariantu przedstawiono wykresy zależności energii użytkowej $Q'_{k,H}$ od liczby stopniodni Sd oraz podano równania regresji odpowiednio przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i 2021 r. Uzyskano bardzo zróżnicowane wartości współczynnika nachylenia, najmniejsze dla wariantów 10H, 11H i 12H zawierające się w przedziale wartości 7,1–8,2, a największe w przypadku wariantów 16H i 17H w przedziale wartości 30–35. Im większa wartości współczynnika nachylenia wynikającego z równania regresji tym silniejszy wpływ Sd na $Q'_{k,H}$.

Wszystkie modele przedstawione na Rys. 5.2.2 oraz Rys. 5.2.4 charakteryzują się dobrym dopasowaniem. W każdym przypadku wpływ Sd na $Q'_{k,H}$ jest istotny.

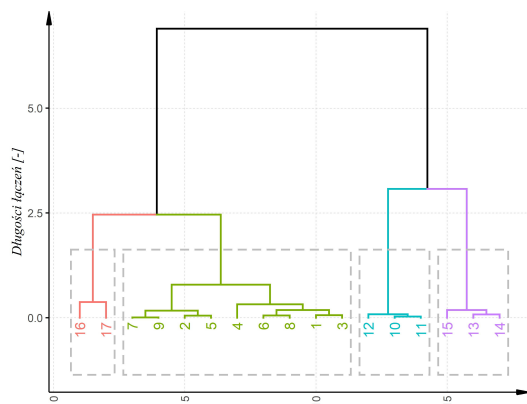
Na podstawie zamieszczonych na Rys. 5.2.1 i Rys. 5.2.3 rozkładów wartości energii $Q'_{k,H}$ można stwierdzić, że zarówno przy wymaganiach U z 2017 r. i 2021 r. widoczne są wśród wariantów ogrzewania cztery grupy podobnych do siebie zależności:

- I–warianty od 1H do 9H
- II–warianty od 10H do 12H
- III–warianty od 13H do 15H
- IV–warianty od 16H i 17H

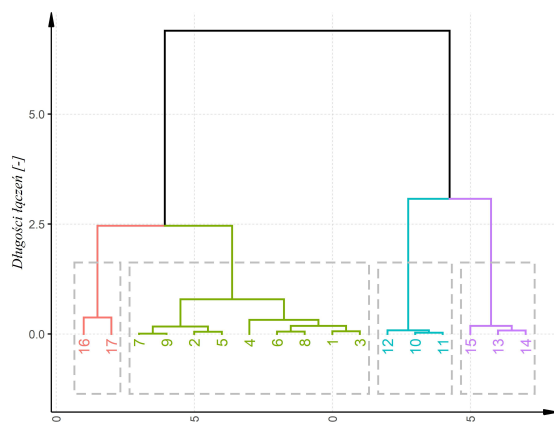


Rys. 5.2.4 Wpływ stopniodni na wartość energii $Q'_{k,H}$ w podziale na warianty ogrzewania przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Podział wariantów ogrzewania na grupy wg wartość energii $Q'_{k,H}$ wraz z uwzględnieniem wymagań współczynników U przedstawiono na dendrogramach (Rys. 5.2.5 i Rys. 5.2.6). W każdej z czterech grup określono wg [96] przedział wartości średniorocznej sprawności systemu grzewczego.



Rys. 5.2.5 Podział wariantów ogrzewania na grupy przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.



Rys. 5.2.6 Podział wariantów ogrzewania na grupy przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Uzyskane, w podziale na wymagania w zakresie współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r., minimalne, maksymalne i średnie wartości EK'_H w danej grupie oraz obliczony rozstęp względny pomiędzy wartością maksymalną a minimalną odniesiony do wartości maksymalnej w każdej grupie zamieszczono w tabeli 5.2.3. Liczebność próby wynika z kombinacji wariantów z liczbą stacji meteorologicznych oraz stopniem przeszklenia.

Tab. 5.2.3 Wartość wskaźnika EK'_H i rozstęp względny w grupach wariantów ogrzewania z podziałem na wymagania współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r.

Grupa	Warianty ogrzewania	Liczebność próby	Wymagania z 2017				Wymagania z 2021			
			Min.	Max.	Śred.	Rozstęp względny	Min.	Max.	Śred.	Rozstęp względny
			$EK'_{H,min.}$	$EK'_{H,śr.}$	$EK'_{H,max.}$	$\Delta EK'_H$	$EK'_{H,min.}$	$EK'_{H,max}$	$EK'_{H,śr.}$	$\Delta EK'_H$
			kWh/(m ² ·rok)			%	kWh/(m ² ·rok)			%
I	1H–9H	648	44,46	58,47	85,98	48,3	38,38	51,36	76,24	49,7
II	10H–12H	216	14,01	17,94	25,08	44,1	12,10	15,76	22,24	45,6
III	13H–15H	216	32,11	41,05	57,43	44,1	27,71	36,06	50,92	45,6
IV	16H–17H	144	59,69	76,18	106,82	44,1	51,53	66,92	94,72	45,6
Rozstęp względny: $\Delta EK'_H = (EK'_{H,max} - EK'_{H,min}) / EK'_{H,max} \cdot 100$										

Grupę I tworzą warianty, w których źródłem ciepła jest węzeł ciepłowniczy albo kocioł niskotemperaturowy lub kondensacyjny na paliwo płynne lub

gazowe. Jednocześnie instalacja ogrzewcza jest typu centralnego wyposażona w różne odbiorniki ciepła, występuje możliwość regulacji centralnej i miejscowej, przewody są dobrze zaizolowane. Powoduje to, że w tej grupie wartość średniorocznej całkowitej sprawności systemu ogrzewania ($\eta_{H,tot}$) zawiera się w przedziale 0,728–0,839.

Grupa II to warianty ze sprężarkową pompą ciepła napędzaną elektrycznie pokrywającą 80% zapotrzebowania na ciepło oraz kotłem szczytowym kondensacyjnym pokrywającym 20% zapotrzebowania. Typ instalacji grzewczej podobny jak w grupie I. Wówczas wartość $\eta_{H,tot}$ zawiera się w przedziale 2,496–2,662.

Grupa III to warianty podobne do tych z grupy II, ale źródło ciepła stanowi absorpcyjna pompa ciepła napędzana gazem. W tym wypadku wartość $\eta_{H,tot}$ zawiera się w przedziale 1,090–1,162.

Grupa IV to warianty z kotłem na biomasę jako źródłem ciepła, typ instalacji ogrzewczej podobny jak w pozostałych grupach. Wówczas wartość $\eta_{H,tot}$ zawiera się w przedziale 0,586–0,625 i jest najniższa z pośród wszystkich czterech grup.

Z zamieszczonych w tabeli 5.2.3. wartości wynika, że zarówno, przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i 2021 r., wskaźnik EK'_H jest zróżnicowany pomiędzy grupami, jak również w grupie. Tak duże różnice pomiędzy grupami to skutek bardzo różniących się od siebie wartości sprawności $\eta_{H,tot}$ charakteryzujących systemy grzewcze. Natomiast duże różnice pomiędzy wartościami EK'_H w grupie wynikają przede wszystkim z liczby stopni odniedni, a dodatkowo również z różnic w wartościach $\eta_{H,tot}$ w obrębie danej grupy. W grupie II wartości wskaźnika EK'_H są kilka razy mniejsze od pozostałych, natomiast najwyższe wartości uzyskano w grupie IV.

Różnica względna pomiędzy wartościami: maksymalną a minimalną w danej grupie jest znaczna i waha się 44,1–48,3% przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. oraz 45,6–49,7% przy wymaganiach z 2021 r.

Porównanie wartości średniej EK'_H pomiędzy wymaganiami współczynnika U z 2021 r. i z 2017 r. wskazuje na spadek wskaźnika EK'_H o 13,9% w każdej grupie.

5.2.2 Wpływ systemu przygotowania ciepłej wody

W tabeli 5.2.4. zestawiono wyniki obliczeń wpływu średniej sezonowej sprawności całkowitej systemu przygotowania ciepłej wody, na wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię końcową. Obliczenia wykonano dla 12 przypadków rozwiązań technicznych możliwych do zastosowania w budynkach wielorodzinnych. Opis wariantów i założeń do obliczeń znajduje się w podrozdziale 4.3.6. Podane wartości wskaźnika EK'_W nie uwzględniają zapotrzebowania na energię elektryczną pomocniczą niezbędną do pracy systemu.

Tab. 5.2.4 Wskaźnik EK'_W w zależności od średniej sezonowej sprawności całkowitej systemu przygotowania ciepłej wody

Nr wariantu	Sprawność $\eta_{W,tot}$	Wskaźnik energii końcowej
		EK'_W
		kWh/(m ² · rok)
1W	0,63	43,70
2W	0,57	48,55
3W	0,54	51,41
4W	0,54	51,41
5W	0,47	58,26
6W	0,47	58,26
7W	0,68	40,48
8W	1,23	22,29
9W	0,70	39,37
10W	0,69	39,83
11W	0,52	52,64
12W	0,66	41,46
Energia użytkowa do przygotowania ciepłej wody: $Q_{W,nd} = 23165$ kWh/rok Wskaźnik energii użytkowej do przygotowania ciepłej wody: $E_W = 27,53$ kWh/(m ² ·rok)		

W zależności od sposobu podgrzewu wody i typu instalacji c.w. sprawność systemu przygotowania ciepłej wody zawiera się w przedziale 0,47–0,70, poza układem ze sprężarkową pompą ciepła (wariant 8W), dla którego uzyskano sprawność całkowitą 1,23. Sprawność systemu znacząco różnicuje wskaźnik EK'_W tj. 22,9–58,26 kWh/m² ·rok. Rozstęp względny pomiędzy wartościami EK'_W : maksymalną a minimalną z wyłączeniem wariantu 8W jest duży i wynosi 32,4%.

5.2.3 Zapotrzebowanie na energię pomocniczą

W poszczególnych wariantach, opisanych w podrozdziale 4.3.7, obliczono roczne zapotrzebowanie na energię końcową pomocniczą dostarczaną z systemowej sieci elektroenergetycznej oraz wskaźnik tego zapotrzebowania w przeliczeniu na jednostkę powierzchni o regulowanej temperaturze. W tabeli 5.2.5. zamieszczono wyniki dotyczące systemu ogrzewania, a tabeli 5.2.7. systemu przygotowania ciepłej. Tabela 5.2.6. zawiera wartości wskaźnika $EK_{H,sr.}$, natomiast tabela 5.2.8. wskaźnika EK_W z uwzględnieniem zapotrzebowania na końcową energię pomocniczą, odpowiednio dla każdego systemu. Obliczono również wzrost wartości wskaźników energii końcowej EK'_H i EK'_W z tytułu zapotrzebowania na końcową energię pomocniczą.

Najwyższe wartości wskaźnika $E_{jel,pom,H}$ uzyskano w wariantach z pompą ciepła i grzewczą instalacją podłogową.

Tab. 5.2.5 Energia końcowa pomocnicza w systemie ogrzewania

Nr wariantu	Zapotrzebowanie na energię pomocniczą	
	$E_{el,pom,H}$	$E_{jel,pom,H}$
	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)
1H	949,2	1,13
2H	949,2	1,13
3H	1085,5	1,29
4H	1085,5	1,29
5H	1085,5	1,29
6H	1085,5	1,29
7H	3412,3	4,06
8H	1085,5	1,29
9H	1085,5	1,29
10H	4253,8	5,06
11H	2028,0	2,41
12H	2028,0	2,41
13H	3917,2	4,66
14H	1691,4	2,01
15H	1691,4	2,01
16H	1085,5	1,29
17H	1085,5	1,29

Zapotrzebowanie na energię pomocniczą w zróżnicowanym stopniu podnosi wartość zapotrzebowania budynku na energię końcowa do ogrzewania. Największy wzrost wartości wskaźnika $EK'_{H,sr.}$ z tego tytułu występuje w wariantach ogrzewania z pompą ciepła i wynosi kilkanaście procent, a w jednym z przypadków nawet ponad 30%. W większości rozpatrywanych wariantów wzrost ten jest niewielki, kształtuje się na poziomie ok. 2%. Procentowy przyrost ($\Delta EK_{H,sr.}$) wskazuje na udział końcowej energii pomocniczej we wskaźniku EK_H i udział ten jest tym większy im mniejsza jest wartość EK_H . Relacje pomiędzy wskaźnikami EK'_H a EK_H są podobne przy obu wymaganiach w zakresie wymagań współczynnika U tj. z 2017 r. oraz z 2021 r.

Zapotrzebowanie na energię pomocniczą (pozyskiwana z systemowej sieci elektroenergetycznej) nieznacznie, bo od 0,5 do 2,3%, podnosi wartość zapotrzebowania budynku na energię końcowa do przygotowania ciepłej wody (poza wariantem 8W, w którym założono zastosowanie pompy ciepła grunt/woda). W przypadku lokalnego podgrzewu bez cyrkulacji zapotrzebowanie na energię pomocniczą nie występuje lub jest niewielkie. Zatem wartości EK'_W oraz EK_W są do siebie zbliżone lub nawet równe.

Tab. 5.2.6 Wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania z uwzględnieniem energii pomocniczej przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r.

Nr wariantu	$E_{el,pom,H}$ kWh/(m ² ·rok)	Wymagania 2017 r.			Wymagania 2021 r.		
		wskaźnik energii końcowej		przyrost	wskaźnik energii końcowej		przyrost
		$EK'_{H,śr.}$	$EK_{H,śr.}$	$\Delta EK_{H,śr.}$	$EK'_{H,śr.}$	$EK_{H,śr.}$	$\Delta EK_{H,śr.}$
		kWh/(m ² ·rok)		%	kWh/(m ² ·rok)		%
1H	1,13	58,70	59,83	1,93	51,56	52,69	2,19
2H	1,13	56,19	57,32	2,01	49,36	50,49	2,29
3H	1,29	59,53	60,82	2,17	52,29	53,58	2,47
4H	1,29	63,30	64,59	2,04	55,60	56,89	2,32
5H	1,29	56,89	58,18	2,27	49,97	51,26	2,58
6H	1,29	60,47	61,76	2,13	53,12	54,41	2,43
7H	4,06	55,05	59,11	7,38	48,36	52,42	8,40
8H	1,29	61,19	62,48	2,11	53,75	55,04	2,40
9H	1,29	54,92	56,21	2,35	48,24	49,53	2,67
10H	5,06	18,05	23,11	28,03	15,85	20,91	31,92
11H	2,41	18,46	20,87	13,06	16,22	18,63	14,86
12H	2,41	17,31	19,72	13,92	15,21	17,62	15,84
13H	4,66	41,22	45,88	11,31	36,20	40,86	12,87
14H	2,01	42,27	44,28	4,76	37,13	39,14	5,41
15H	2,01	39,66	41,67	5,07	34,83	36,84	5,77
16H	1,29	78,63	79,92	1,64	69,07	70,36	1,87
17H	1,29	73,73	75,02	1,75	64,76	66,05	1,99
$EK'_{H,śr.}$ – wartość średnia wskaźnika energii końcowej bez końcowej energii pomocniczej $EK_{H,śr.}$ – wartość średnia wskaźnika energii końcowej łącznie z końcową energią pomocniczą $\Delta EK_{H,śr.} = (EK_{H,śr.} - EK'_{H,śr.}) / EK'_{H,śr.} \cdot 100$							

Tab. 5.2.7 Energia końcowa pomocnicza w systemie przygotowania ciepłej wody

Nr wariantu	Zapotrzebowanie na energię pomocniczą	
	$E_{el,pom,W}$	$E_{el,pom,W}$
	kWh/rok	kWh/(m ² ·rok)
1W	860,0	1,02
2W	957,6	1,14
3W	466,7	0,55
4W	466,7	0,55
5W	466,7	0,55
6W	466,7	0,55
7W	172,5	0,21
8W	702,3	0,83
9W	618,2	0,73
10W	0,00	0,00
11W	466,7	0,55
12W	172,2	0,21

Tab. 5.2.8 Wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową do przygotowania ciepłej wody z uwzględnieniem energii pomocniczej

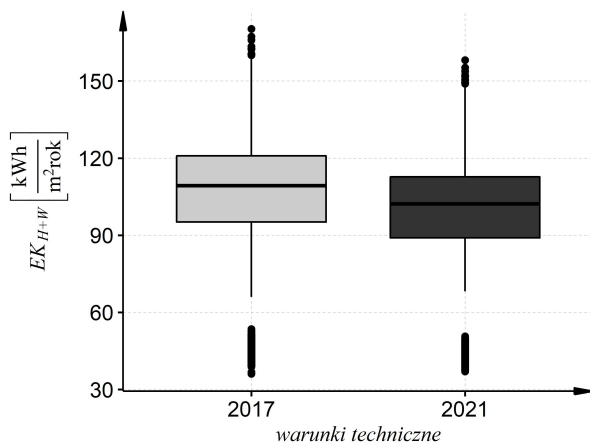
Nr wariantu	$E_{jel.pom. w}$ kWh/(m ² ·rok)	Wskaźnik energii użytkowej dla ciepłej wody $E_W = 27,53 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$		
		wskaźnik energii końcowej		przyrost
		EK'_W	EK_W	ΔEK_W
		kWh/(m ² ·rok)		%
1W	1,02	43,70	44,72	2,3
2W	1,14	48,55	49,69	2,3
3W	0,55	51,41	51,96	1,1
4W	0,55	51,41	51,96	1,1
5W	0,55	58,26	58,81	0,9
6W	0,55	58,26	58,81	0,9
7W	0,21	40,48	40,69	0,5
8W	0,83	22,29	23,12	3,6
9W	0,73	39,37	40,10	1,8
10W	0,00	39,83	39,83	0,0
11W	0,55	52,64	53,19	1,0
12W	0,21	41,46	41,67	0,5
EK'_W – bez energii pomocniczej EK_W – z uwzględnieniem energii pomocniczej $\Delta EK_W = (EK_W - EK'_W) / EK'_W \cdot 100$				

5.2.4 Wskaźnik rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową

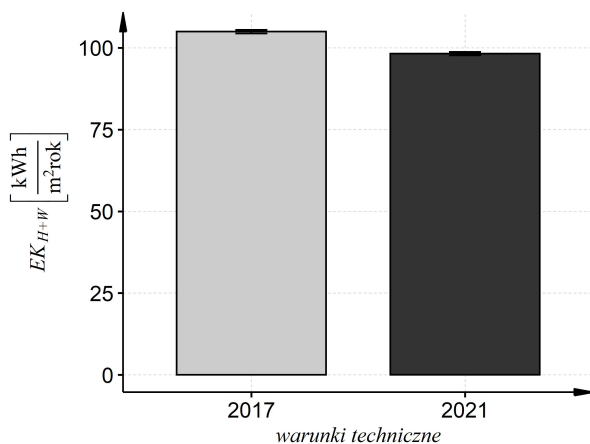
Dla każdego z 26 utworzonych i opisanych w podrozdziale 4.3.8. wariantów obejmujących system ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody obliczono wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK_{H+W} . Wykorzystano wartości energii użytkowej obliczone dla 11 wybranych stacji meteorologicznych (tabela 4.3.3. w podrozdziale 4.3.3.). Liczebność próby przeprowadzonych badań wynosiła dla każdej stacji 832 elementy, a dla każdego z 26 wariantów 352 elementy. Podobnie jak przy obliczaniu wskaźnika energii użytkowej, badanie statystyczne testem t -studenta potwierdziło, że wymagania warunków technicznych w zakresie współczynnika U od 2017 r. i od 2021 r. (dwie grupy) istotnie różnicują EK_{H+W} . W obu grupach zakresy zmienności są podobne, a rozkłady normalne, co pozwala na zastosowanie testu istotności t -studenta. Wyniki testu zawiera podrozdział 8.4. niniejszej pracy. Przy wyznaczaniu EK_{H+W} uwzględniono energię pomocniczą niezbędną do pracy urządzeń w systemach technicznych. Wykorzystano do tego wartości podane w tabelach 5.2.6. i 5.2.8 i obliczono wskaźnik jako sumę wartości cząstkowych według zależności (5.2.1).

$$EK_{H+W} = EK_H + EK_W \quad (5.2.1)$$

Na Rys. 5.2.7 przedstawiono rozkład wartości wskaźnika EK_{H+W} , a na Rys. 5.2.8 jego wartość średnią z podziałem na wymagania rozporządzenia [97] (tzw. warunki techniczne) w zakresie współczynnika U .



Rys. 5.2.7 Rozkład wartości wskaźnika EK_{H+W} ze względu na wymagania warunków technicznych w zakresie współczynnika U

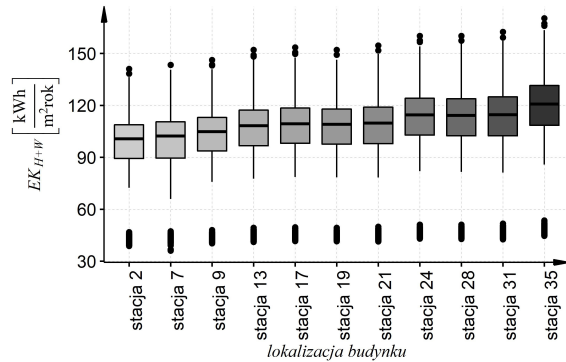


Rys. 5.2.8 Wartość średnia EK_{H+W} dla wymagań współczynnika U z 2017 r. i 2021 r.

Tabela 5.2.9. zawiera wyniki obliczeń wskaźnika EK_{H+W} oraz rozstęp względny dla wybranych 11 stacji przy różnych wariantach systemów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody (oznaczonych symbolem K tabela 4.3.10. w pkt. 4.3.8.), natomiast Rys. 5.2.9 przedstawia rozkład wartości EK_{H+W} ze względu na lokalizację budynku przy wymaganiach U z 2017 r.

Tab. 5.2.9 Wskaźnik EK_{H+W} w ustalonych stacjach meteorologicznych przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Lp.	Stacja meteorologiczna	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
		$EK_{H+W,min.}$	$EK_{H+W,max.}$	$EK_{H+W,sr.}$	$\Delta EK_{H+W,min.}$	$\Delta EK_{H+W,max.}$	ΔEK_{H+W}
		kWh/(m ² · rok)			%		
1	stacja 2	38,86	141,04	96,14	59,58	46,70	72,45
2	stacja 7	39,70	143,35	97,99	59,49	46,29	72,31
3	stacja 9	40,35	146,16	100,10	59,69	46,01	72,40
4	stacja 13	41,14	152,01	103,41	60,22	47,00	72,94
5	stacja 21	41,47	154,54	104,89	60,46	47,34	73,16
6	stacja 19	41,51	152,01	104,00	60,08	46,17	72,69
7	stacja 17	41,60	153,44	104,63	60,24	46,64	72,89
8	stacja 31	42,67	162,38	109,68	61,09	48,06	73,72
9	stacja 28	42,85	160,11	109,05	60,71	46,82	73,24
10	stacja 24	43,02	160,14	109,35	60,66	46,44	73,14
11	stacja 35	44,70	170,29	115,48	61,30	47,46	73,75
Rozstęp względny w %		13,06	17,18	16,75	-	-	-
$\Delta EK_{H+W,min.} = (EK_{H+W,sr.} - EK_{H+W,min.}) / EK_{H+W,sr.} \cdot 100$ $\Delta EK_{H+W,max.} = (EK_{H+W,max.} - EK_{H+W,sr.}) / EK_{H+W,sr.} \cdot 100$ $\Delta EK_{H+W} = (EK_{H+W,max.} - EK_{H+W,min.}) / EK_{H+W,max.} \cdot 100$							



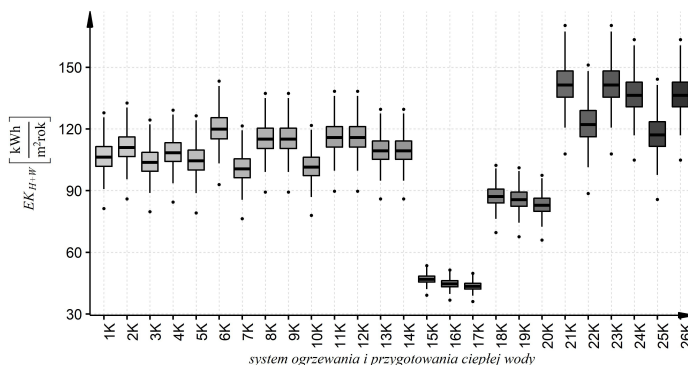
Rys. 5.2.9 Rozkład wartości EK_{H+W} ze względu na lokalizację budynku przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Tabela 5.2.10. zawiera wartości: minimalną, maksymalną i średnią oraz rozstęp względny i różnice wskaźnika EK_{H+W} dla ustalonych wariantów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody oznaczonych literą K , natomiast na

Rys. 5.2.10 przedstawiono rozkład wartości wskaźnika EK_{H+W} przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Tab. 5.2.10 Wartości i zmiany wskaźnika EK_{H+W} utworzonych wariantów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
			$EK_{H+W,min.}$	$EK_{H+W,śr.}$	$EK_{H+W,max.}$	$\Delta EK_{H+W,min.}$	$\Delta EK_{H+W,max.}$	ΔEK_{H+W}
			kWh/(m ² · rok)			%		
17K	12H	8W	38,86	43,54	49,81	10,74	14,41	21,98
16K	11H	8W	39,74	44,73	51,42	11,15	14,96	22,71
15K	10H	8W	42,08	46,95	53,49	10,38	13,93	21,34
20K	15H	9W	72,40	83,11	97,48	12,88	17,29	25,73
19K	14H	9W	74,40	85,82	101,14	13,30	17,85	26,43
18K	13H	9W	76,24	87,37	102,31	12,74	17,10	25,48
7K	5H	7W	85,50	100,86	121,48	15,23	20,44	29,62
10K	7H	7W	86,87	101,73	121,68	14,61	19,61	28,61
3K	2H	1W	88,83	104,00	124,37	14,59	19,58	28,58
5K	3H	12W	88,75	104,82	126,40	15,34	20,58	29,79
1K	1H	1W	90,75	106,60	127,87	14,87	19,96	29,03
4K	2H	2W	93,55	108,72	129,09	13,96	18,73	27,53
13K	9H	3W	94,83	109,66	129,56	13,52	18,15	26,81
14K	9H	4W	94,83	109,66	129,56	13,52	18,15	26,81
2K	1H	2W	95,47	111,32	132,59	14,24	19,11	28,00
8K	6H	3W	99,08	115,40	137,32	14,15	18,99	27,85
9K	6H	4W	99,08	115,40	137,32	14,15	18,99	27,85
11K	8H	3W	99,63	116,15	138,33	14,23	19,09	27,98
12K	8H	4W	99,63	116,15	138,33	14,23	19,09	27,98
25K	17H	10W	97,58	117,49	144,21	16,94	22,74	32,33
6K	4H	11W	103,20	120,29	143,23	14,21	19,07	27,95
22K	16H	10W	101,34	122,57	151,07	17,32	23,25	32,92
24K	17H	5W	116,81	136,72	163,43	14,56	19,54	28,53
26K	17H	6W	116,81	136,72	163,43	14,56	19,54	28,53
21K	16H	5W	120,56	141,79	170,29	14,97	20,10	29,20
23K	16H	6W	120,56	141,79	170,29	14,97	20,10	29,20
Rozstęp względny wyrażony w %			67,77	69,30	70,75	-	-	-
$\Delta EK_{H+W,min.} = (EK_{H+W,śr.} - EK_{H+W,min.}) / EK_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EK_{H+W,max.} = (EK_{H+W,max.} - EK_{H+W,śr.}) / EK_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EK_{H+W} = (EK_{H+W,max.} - EK_{H+W,min.}) / EK_{H+W,max.} \cdot 100$								



Rys. 5.2.10 Rozkład wartości wskaźnika EK_{H+W} ze względu na wariant ogrzewania i przygotowania ciepłej wody przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. rozstęp względny wskaźnika EK_{H+W} zawiera się w przedziale 13,06–17,18% w zależności od wartości minimalnej, średniej lub maksymalnej, przy czym największy jest dla maksymalnej (tabela 5.2.9.). Oznacza to, że zmienność ta spowodowana jest liczbą stopniodni związaną z lokalizacją budynku. Dodatkowym potwierdzeniem tego są znaczne zmiany procentowe wskaźnika EK_{H+W} występujące w obrębie każdego z rozpatrywanych wariantów oznaczonych literą „K”. Zawierają się one w przedziałach: najmniejsza zmienność 10,38–21,34% (wariant 15K) i największa 17,32–32,92% (wariant 22K), co potwierdzają wartości podane w tabeli 5.2.10.

Przedstawione powyższe wyniki, wskazują na możliwość uzyskania znacząco różniących się wartości EK_{H+W} , pomimo zastosowania tego samego rozwiązania technicznego systemu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody. Wynika to przede wszystkim z różnej liczby stopniodni, która ma wpływ na wielkość energii użytkowej niezbędnej do ogrzewania budynku.

Analiza wyników uzyskanych w drodze przeprowadzonych badań symulacyjnych dla 26 wariantów K wskazuje, że rozstęp względny zarówno w obszarze wartości minimalnych, średnich oraz maksymalnych jest podobny i wynosi ok. 70% (tabela 5.2.10). Oznacza to, że przy zapotrzebowaniu na energię użytkową do ogrzewania, obliczonym z uwzględnieniem parametrów mających wpływ na poziom tego zapotrzebowania, wartość EK_{H+W} jest różnicowana w tak dużym stopniu przez rodzaj systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody.

Budynek o takiej samej geometrii, spełniający wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych z 2017 r. może charakteryzować się znacznie zróżnicowanym wskaźnikiem EK_{H+W} . Skrajne wartości uzyskane spośród wszystkich elementów utworzonego zbioru (tabela 5.2.10.) wynoszą: minimalna $EK_{H+W} = 38,86 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, maksymalna $EK_{H+W} = 170,29$

kWh/(m² · rok), co świadczy o bardzo silnej zmienności (wartość większa ponad cztery razy). Nawet jeżeli pominie się zmiany energii użytkowej i analizie zostaną poddane wartości wskaźnika EK_{H+W} , w mniejszych zbiorach tj. odrębnie zbiór wyników z $EK_{H+W,min}$, $EK_{H+W,sr.}$ oraz $EK_{H+W,max}$. to uzyskuje się w danym zbiorze wartości różniące się ok. trzy razy. Potwierdza to hipotezę, że decydującymi czynnikiem wpływającymi na wskaźnik rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową są systemy ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody stanowiące wyposażenie techniczne budynku, a dokładniej sprawność całkowita charakteryzująca dany system. Potwierdzają to wyniki obliczeń zawarte w tabeli 5.2.11., w której zestawiono konfiguracje wariantu oznaczonych literą K i innych parametrów takich jak lokalizacja, orientacja, stopień przeszklenia i zacinienie dających skrajne wartości wskaźnika EK_{H+W} .

Tab. 5.2.11 Zestawienie konfiguracji parametrów przy skrajnych wartościach wskaźnika EK_{H+W} oraz wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Lokalizacja	Orientacja	Stopień przeszklenia	Współczynnik $F_{sh,gl}$	Wariant „K”	EK_H	EK_W	EK_{H+W}
					kWh/(m ² · rok)		
stacja 13	N-S	P2	1,0	17K	17,93	23,21	41,14
stacja 13	E-W	P2	0,9	23K	92,89	59,12	152,01
stacja 17	N-S	P1	1,0	17K	18,39	23,21	41,60
stacja 17	E-W	P2	0,9	23K	94,31	59,12	153,43
stacja 19	N-S	P1	1,0	17K	18,30	23,21	41,51
stacja 19	E-W	P2	0,9	23K	92,89	59,12	152,01
stacja 2	N-S	P2	1,0	17K	15,65	23,21	38,86
stacja 2	E-W	P2	0,9	23K	81,92	59,12	141,04
stacja 21	N-S	P2	1,0	17K	18,26	23,21	41,47
stacja 21	E-W	P2	0,9	23K	95,42	59,12	154,54
stacja 24	N-S	P1	1,0	17K	19,81	23,21	43,02
stacja 24	E-W	P2	0,9	23K	101,02	59,12	160,14
stacja 28	N-S	P1	1,0	17K	19,64	23,21	42,85
stacja 28	E-W	P2	0,9	23K	100,99	59,12	160,11
stacja 31	N-S	P2	1,0	17K	19,46	23,21	42,67
stacja 31	E-W	P2	0,9	23K	103,26	59,12	162,38
stacja 35	N-S	P1	1,0	17K	21,49	23,21	44,70
stacja 35	E-W	P2	0,9	23K	111,17	59,12	170,29
stacja 7	N-S	P1	1,0	17K	16,49	23,21	39,70
stacja 7	E-W	P2	0,9	23K	84,23	59,12	143,35
stacja 9	N-S	P1	1,0	17K	17,14	23,21	40,35
stacja 9	E-W	P2	0,9	23K	87,04	59,12	146,16
Rozstęp względny w wariancie 17K w %					23,27	-	13,06
Rozstęp względny w wariancie 23K w %					26,31	-	17,18

Na podstawie przedstawionych wyników badań można wnioskować, że w przypadku każdej z rozpatrywanych lokalizacji budynku najmniejsze zapotrzebowanie na energię końcową otrzymano w wariancie 17K i ponad trzy i pół razy większe w wariancie 23K. W wariancie 17K budynek wyposażony jest: w system ogrzewania oparty na sprężarkowej pompie ciepła typu grunt/woda oraz gazowym kondensacyjnym kotle pracującym jako źródło szczytowe, instalacją o wysokiej sprawności regulacji i wykorzystania ciepła oraz wysokiej sprawności dystrybucji ciepła, w system przygotowania ciepłej wody wykorzystujący wyżej opisane źródła energii, z centralną instalacją c.w. z pełną cyrkulacją, z ograniczonym czasem pracy pompy cyrkulacyjnej oraz dobrze zaizolowanymi przewodami. W wariancie 23K budynek wyposażony jest: w system ogrzewania oparty na lokalnej dwufunkcyjnej (c.o.+c.w.) kotłowni opalanej biomasą lub węglem, instalacji o wysokiej sprawności regulacji i wykorzystania ciepła oraz sprawności dystrybucji ciepła jak dla przewodów zaizolowanych prowadzonych w przestrzeni nieogrzewanej, w system przygotowania ciepłej wody wykorzystujący wyżej opisane źródło ciepła i dodatkowo wspomagany instalacją solarną z zasobnikiem, z centralną instalacją c.w. z pełną cyrkulacją, z ograniczonym czasem pracy pompy cyrkulacyjnej oraz dobrze zaizolowanymi przewodami.

Najniższą wartość wskaźnika EK_H otrzymano w wariancie 17K przy następującej konfiguracji parametrów: orientacja ścian podłużnych N-S, współczynnik $F_{sh,gl} = 1,0$ przeszklenie P1, natomiast najwyższą w wariancie 23K przy orientacji ścian podłużnych E-W, współczynnik $F_{sh,gl} = 0,9$ oraz przeszkleniu P2.

Rozstęp względny wskaźnika EK_H w wariancie 17K wynosi 23,27%, natomiast w wariancie 23K 26,31%. Odpowiednio dla wyżej wymienionych wariantów rozstęp względny wskaźnika EK_{H+W} jest mniejszy i wynosi 13,06% oraz 17,18%, co jest spowodowane zwiększeniem wskaźnika EK_H w każdej stacji meteorologicznej o stałą wartość wskaźnika EK_W w danym wariancie K. Należy wnioskować, że wielkość rozstępu względnego obrazuje wpływ lokalizacji budynku na wartość wskaźników EK_H i EK_{H+W} (tabela 5.2.11.).

W celu przeprowadzenia pełniejszej analizy w tabeli 5.2.12. przedstawiono udział zapotrzebowania energii końcowej na przygotowanie ciepłej wody w łącznym zapotrzebowaniu budynku na energię końcową (wartości średnie $EK_{H+W,sr.}$) przy wymaganiach w zakresie współczynnika U z 2017 r.

Wyniki obliczeń wskazują, że udział wskaźnika EK_W we wskaźniku $EK_{H+W,sr.}$ jest znaczący i zawiera się w przedziale 32,50–53,10%. W większości przypadków to przedział 40–45%. Najmniejszą wartość uzyskano przy indywidualnym sposobie przygotowania ciepłej wody.

Analogicznie, jak dla wymagań współczynnika U z 2017 r. przeprowadzono analizę dla wymagań współczynnika U z 2021 r., a jej wyniki zaprezentowano poniżej. Tabela 5.2.13. zawiera wyniki obliczeń zmian wskaźnika EK_{H+W} oraz

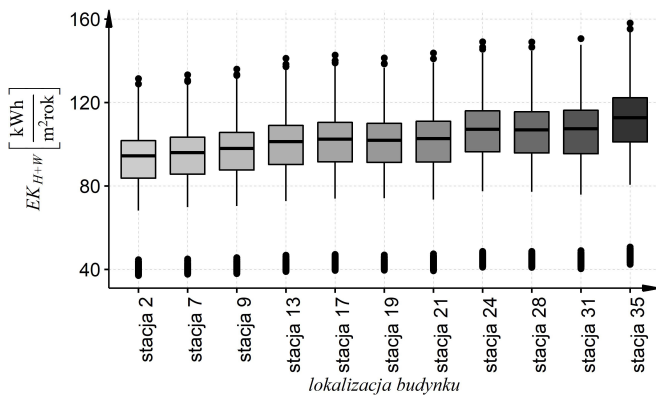
rozstęp względny dla wybranych 11 stacji meteorologicznych, natomiast Rys. 5.2.11 przedstawia rozkład wartości tego wskaźnika.

Tab. 5.2.12 Udział zapotrzebowania energii końcowej do przygotowania ciepłej wody przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody		Udział wskaźnika EK_W we wskaźniku $EK_{H+W,śr.}$
			EK_W	$EK_{H+W,śr.}$	udział
			kWh/(m ² · rok)		%
17K	12H	8W	23,12	43,54	53,10
16K	11H	8W	23,12	44,73	51,69
15K	10H	8W	23,12	46,95	49,24
20K	15H	9W	40,10	83,11	48,25
19K	14H	9W	40,10	85,82	46,73
18K	13H	9W	40,10	87,37	45,90
7K	5H	7W	40,69	100,86	40,34
10K	7H	7W	40,69	101,73	40,00
3K	2H	1W	44,72	104,00	43,00
5K	3H	12W	41,67	104,82	39,75
1K	1H	1W	44,72	106,60	41,95
4K	2H	2W	49,69	108,72	45,70
13K	9H	3W	51,96	109,66	47,38
14K	9H	4W	51,96	109,66	47,38
2K	1H	2W	49,69	111,32	44,64
8K	6H	3W	51,96	115,40	45,03
9K	6H	4W	51,96	115,40	45,03
11K	8H	3W	51,96	116,15	44,74
12K	8H	4W	51,96	116,15	44,74
25K	17H	10W	39,83	117,49	33,90
6K	4H	11W	53,19	120,29	44,22
22K	16H	10W	39,83	122,57	32,50
24K	17H	5W	58,81	136,72	43,01
26K	17H	6W	58,81	136,72	43,01
21K	16H	5W	58,81	141,79	41,48
23K	16H	6W	58,81	141,79	41,48

Tab. 5.2.13 Wskaźnik EK_{H+W} dla ustalonych stacji meteorologicznych przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Lp.	Stacja meteorologiczna	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
		$EK_{H+W,min.}$	$EK_{H+W,śr.}$	$EK_{H+W,max.}$	$\Delta EK_{H+W,min.}$	$\Delta EK_{H+W,max.}$	ΔEK_{H+W}
		kWh/(m ² · rok)			%		
1	stacja 2	37,02	90,24	131,41	58,98	45,62	71,83
2	stacja 7	37,72	91,74	133,24	58,88	45,23	71,69
3	stacja 9	37,96	93,62	135,95	59,45	45,21	72,08
4	stacja 13	39,01	96,56	141,17	59,60	46,21	72,37
5	stacja 21	39,30	98,14	143,70	59,95	46,43	72,65
6	stacja 17	39,52	97,93	142,70	59,65	45,72	72,31
7	stacja 19	39,58	97,32	141,31	59,33	45,21	71,99
8	stacja 31	40,34	102,38	150,67	60,60	47,16	73,22
9	stacja 28	40,92	102,16	149,02	59,95	45,87	72,54
10	stacja 24	41,06	102,44	149,09	59,91	45,54	72,46
11	stacja 35	42,41	107,83	158,09	60,67	46,61	73,17
Rozstęp względny wyrażony w %		12,71	16,31	16,88	-	-	-
$\Delta EK_{H+W,min.} = (EK_{H+W,śr.} - EK_{H+W,min.}) / EK_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EK_{H+W,max.} = (EK_{H+W,max.} - EK_{H+W,śr.}) / EK_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EK_{H+W} = (EK_{H+W,max.} - EK_{H+W,min.}) / EK_{H+W,max.} \cdot 100$							

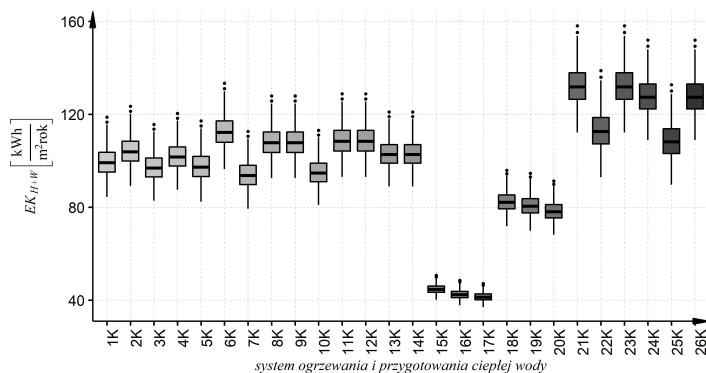


Rys. 5.2.11 Rozkład wartości wskaźnika EK_{H+W} ze względu na lokalizację budynku przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Tabela 5.2.14. zawiera następujące wartości wskaźnika EK_{H+W} : minimalną, maksymalną i średnią, różnicę i rozstęp względny analizowanych wariantów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody oznaczonych literą K. Rysunek 5.2.12. przedstawia rozkład wartości wskaźnika EK_{H+W} .

Tab. 5.2.14 Wartości i różnice wskaźnika EK_{H+W} utworzonych wariantów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię kończącą do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
			$EK_{H+W,min.}$	$EK_{H+W,śr.}$	$EK_{H+W,max.}$	$\Delta EK_{H+W,min.}$	$\Delta EK_{H+W,max.}$	ΔEK_{H+W}
			kWh/(m ² · rok)			%		
17K	12H	8W	37,02	41,44	47,12	10,67	13,72	21,45
16K	11H	8W	37,78	42,49	48,55	11,10	14,26	22,20
15K	10H	8W	40,15	44,77	50,69	10,30	13,24	20,79
20K	15H	9W	68,17	78,31	91,33	12,94	16,63	25,35
19K	14H	9W	69,90	80,70	94,58	13,38	17,20	26,09
18K	13H	9W	71,85	82,38	95,91	12,78	16,43	25,09
7K	5H	7W	79,44	93,97	112,65	15,47	19,88	29,48
10K	7H	7W	81,00	95,06	113,14	14,80	19,01	28,41
3K	2H	1W	82,84	97,20	115,65	14,77	18,98	28,37
5K	3H	12W	82,41	97,62	117,16	15,58	20,02	29,67
1K	1H	1W	84,49	99,49	118,76	15,07	19,37	28,86
4K	2H	2W	87,56	101,92	120,37	14,09	18,10	27,26
13K	9H	3W	88,98	103,01	121,04	13,62	17,51	26,49
14K	9H	4W	88,98	103,01	121,04	13,62	17,51	26,49
2K	1H	2W	89,21	104,21	123,48	14,39	18,50	27,75
8K	6H	3W	92,63	108,08	127,94	14,29	18,37	27,60
9K	6H	4W	92,63	108,08	127,94	14,29	18,37	27,60
25K	17H	10W	89,73	108,56	132,77	17,35	22,30	32,42
11K	8H	3W	93,11	108,74	128,83	14,38	18,48	27,73
12K	8H	4W	93,11	108,74	128,83	14,38	18,48	27,73
6K	4H	11W	96,45	112,62	133,41	14,36	18,45	27,70
22K	16H	10W	92,96	113,05	138,86	17,77	22,84	33,06
24K	17H	5W	108,95	127,79	151,99	14,74	18,94	28,32
26K	17H	6W	108,95	127,79	151,99	14,74	18,94	28,32
21K	16H	5W	112,18	132,27	158,09	15,19	19,52	29,04
23K	16H	6W	112,18	132,27	158,09	15,19	19,52	29,04
Rozstęp względny wyrażony w %			67,00	68,67	70,19	-	-	-
$\Delta EK_{H+W,min.} = (EK_{H+W,śr.} - EK_{H+W,min.}) / EK_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EK_{H+W,max.} = (EK_{H+W,max.} - EK_{H+W,śr.}) / EK_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EK_{H+W} = (EK_{H+W,max.} - EK_{H+W,min.}) / EK_{H+W,max.} \cdot 100$								



Rys. 5.2.12 Rozkład wartości wskaźnika EK_{H+W} w zależności od wariantu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r. rozstęp względny wskaźnika EK_{H+W} zawiera się w przedziale 12,71–16,88% w zależności od wartości minimalnej, średniej lub maksymalnej, przy czym jest największy dla wartości maksymalnej (tabela 5.2.13.). Należy zatem wnioskować, że ta znaczna zmienność spowodowana jest przede wszystkim różną liczbą stopniodni wynikającą z lokalizacji budynku. Dodatkowym potwierdzeniem tego są podane w tabeli 5.2.14. występujące zmiany procentowe wskaźnika EK_{H+W} obliczone w obrębie każdego z rozpatrywanych wariantów oznaczonych literą K. Zawierają się one w następujących przedziałach: najmniejsza zmiana 10,30–20,79% (wariant 15K) i największa 17,77–33,06% (wariant 22K).

Powyższe wyniki, wskazują, że w obrębie danego wariantu rozwiązania technicznego systemu ogrzewania oraz systemu do przygotowania ciepłej wody można uzyskać różne wartości EK_{H+W} . Należy wnioskować, że wynika to z liczby stopniodni, która wpływa na wartość energii użytkowej niezbędnej do ogrzewania i wentylacji budynku (podrozdział 5.1.2.).

Analiza uzyskanych wyników badań symulacyjnych przeprowadzonych dla 26 wariantów oznaczonych literą K wskazuje, że rozstęp względny zarówno w obszarze wartości minimalnych, średnich i maksymalnych jest podobny i wynosi ok. 70%. Oznacza to, że przy zapotrzebowaniu na energię użytkową do ogrzewania, obliczonym z uwzględnieniem parametrów mających wpływ na poziom tego zapotrzebowania, wartość wskaźnika EK_{H+W} jest różnicowana w tak dużym stopniu przez rodzaj systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody.

Budynek o takiej samej geometrii, spełniający wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych z 2021 r. może charakteryzować się bardzo różnym wskaźnikiem EK_{H+W} . Skrajne wartości uzyskane spośród wszystkich elementów utworzonego zbioru (tabela 5.2.14.) wynoszą: minimalna $EK_{H+W} = 37,02 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, maksymalna $EK_{H+W} = 158,09 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, co świadczy o bardzo silnej zmienności (wartość większa ponad cztery razy).

Nawet jeżeli, przeanalizowane zostaną, z pominięciem zmian energii użytkowej, wartości wskaźnika EK_{H+W} w mniejszych zbiorach tj. odrębnie zbiorów wyników z $EK_{H+W,min}$, $EK_{H+W,śr.}$ oraz $EK_{H+W,max}$ to wartość tego wskaźnika jest ok. trzy razy większa w odniesieniu do wartości minimalnej w danym zbiorze. Oznacza to, że decydującymi czynnikami wpływającymi na wskaźnik rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową są stanowiące wyposażenie techniczne budynku rodzaje systemu ogrzewania oraz systemu przygotowania ciepłej wody, a dokładniej sprawność całkowita charakteryzująca te systemy. Potwierdzają to wyniki obliczeń zawarte w tabeli 5.2.15., w której zestawiono konfiguracje wariantu K i innych parametrów takich jak lokalizacja, orientacja, stopień przeszklenia i zacienienie dających skrajne wartości wskaźnika EK_{H+W} .

Tab. 5.2.15 Zestawienie konfiguracji parametrów przy skrajnych wartościach wskaźnika EK_{H+W} przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Lokalizacja	Orientacja	Stopień przeszklenia	Współczynnik $F_{sh,gl}$	Wariant K	EK_H	EK_W	EK_{H+W}
					kWh/(m ² · rok)		
stacja 13	N-S	P2	1,0	17K	15,80	23,21	39,01
stacja 13	E-W	P2	0,9	23K	82,05	59,12	141,17
stacja 17	N-S	P2	1,0	17K	16,31	23,21	39,52
stacja 17	E-W	P2	0,9	23K	83,58	59,12	142,7
stacja 19	N-S	P2	1,0	17K	16,37	23,21	39,58
stacja 19	E-W	P2	0,9	23K	82,19	59,12	141,31
stacja 2	N-S	P2	1,0	17K	13,81	23,21	37,02
stacja 2	E-W	P2	0,9	23K	72,29	59,12	131,41
stacja 21	N-S	P2	1,0	17K	16,09	23,21	39,3
stacja 21	E-W	P2	0,9	23K	84,58	59,12	143,70
stacja 24	N-S	P2	1,0	17K	17,85	23,21	41,06
stacja 24	E-W	P2	0,9	23K	89,97	59,12	149,09
stacja 28	N-S	P1	1,0	17K	17,71	23,21	40,92
stacja 28	E-W	P2	0,9	23K	89,90	59,12	149,02
stacja 31	N-S	P2	1,0	17K	17,13	23,21	40,34
stacja 31	E-W	P2	0,9	23K	91,54	59,12	150,66
stacja 35	N-S	P1	1,0	17K	19,20	23,21	42,41
stacja 35	E-W	P2	0,9	23K	98,97	59,12	158,09
stacja 7	N-S	P2	1,0	17K	14,51	23,21	37,72
stacja 7	E-W	P2	0,9	23K	74,11	59,12	133,23
stacja 9	E-W	P1	0,9	17K	14,75	23,21	37,96
stacja 9	E-W	P2	0,9	23K	76,83	59,12	135,95
Rozstęp względny w wariancie 17K w %					28,07	-	12,71
Rozstęp względny w wariancie 23K w %					26,96	-	16,88

Na podstawie zamieszczonych wyników, podobnie jak przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. można wnioskować, że bez względu na lokalizację budynku najmniejsze zapotrzebowanie na energię końcową otrzymano w wariancie 17K i ok. trzykrotnie większe w wariancie 23K.

Najniższą wartość EK_H otrzymano w wariancie 17K przy następującej konfiguracji parametrów: orientacja ścian podłużnych N-S, współczynnik $F_{sh,gl}=1,0$ przeszklenie P2, natomiast najwyższą w wariancie 23K przy orientacji ścian podłużnych W-E, współczynnika $F_{sh,gl}=0,9$ oraz przeszkleniu P2.

Różnica względny wskaźnika EK_H w wariancie 17K wynosi 28,07%, natomiast w wariancie 23K 26,96%. Odpowiednio dla wyżej wymienionych wariantów różnica względny wskaźnika EK_{H+W} jest mniejszy i wynosi 12,71% oraz 16,88%. Jest to spowodowane dodaniem do wskaźnika EK_H , stałej w danym wariancie K wartość EK_W w przypadku każdej z rozpatrywanych stacji meteorologicznych. Należy wnioskować, że wielkość różnicy względnej obrazuje wpływ lokalizacji budynku na wartość EK_H i EK_{H+W} (tabela 5.2.15.). Należy również zauważyć, że wartości różnic względnych przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r. są podobne do uzyskanych przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Analogicznie jak przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. przeprowadzono analizę relacji pomiędzy wskaźnikami $EK_{H+W,śr}$ i EK_W w przypadku wymagań dla U z 2021 r. W tabeli 5.2.12. przedstawiono udział zapotrzebowania energii końcowej na przygotowanie ciepłej wody w łącznym zapotrzebowaniu budynku na energię końcową.

Tab. 5.2.16 Udział zapotrzebowania energii końcowej do przygotowania ciepłej wody we wskaźniku $EK_{H+W,śr}$ przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody		Udział wskaźnika EK_W we wskaźniku $EK_{H+W,śr}$
			EK_W	$EK_{H+W,śr}$	udział
			kWh/(m ² · rok)		%
17K	12H	8W	23,12	41,44	55,79
16K	11H	8W	23,12	42,49	54,41
15K	10H	8W	23,12	44,77	51,64
20K	15H	9W	40,10	78,31	51,21
19K	14H	9W	40,10	80,70	49,69
18K	13H	9W	40,10	82,38	48,68
7K	5H	7W	40,69	93,97	43,30
10K	7H	7W	40,69	95,06	42,80

cd. Tab. 5.2.16

3K	2H	1W	44,72	97,20	46,01
5K	3H	12W	41,67	97,62	42,69
1K	1H	1W	44,72	99,49	44,95
4K	2H	2W	49,69	101,92	48,75
13K	9H	3W	51,96	103,01	50,44
14K	9H	4W	51,96	103,01	50,44
2K	1H	2W	49,69	104,21	47,68
8K	6H	3W	51,96	108,08	48,08
9K	6H	4W	51,96	108,08	48,08
25K	17H	10W	39,83	108,56	36,69
11K	8H	3W	51,96	108,74	47,78
12K	8H	4W	51,96	108,74	47,78
6K	4H	11W	53,19	112,62	47,23
22K	16H	10W	39,83	113,05	35,23
24K	17H	5W	58,81	127,79	46,02
26K	17H	6W	58,81	127,79	46,02
21K	16H	5W	58,81	132,27	44,46
23K	16H	6W	58,81	132,27	44,46

Wyniki obliczeń wskazują, że udział wskaźnika EK_W we wskaźniku $EK_{H+W,śr.}$ jest znaczący i zawiera się w przedziale 35,23–55,79%. W większości przypadków to przedział 40–45%. Najmniejszą wartość uzyskano przy indywidualnym sposobie przygotowania ciepłej wody. Oczywiście relacje te są podobne jak przy wymaganiach odnośnie współczynnika U z 2017 r.

Uzyskane wyniki badań symulacyjnych pozwalają na określenie wpływu wymagań w zakresie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych na wartość wskaźnika EK_{H+W} . Porównano wartości $EK_{H+W,min.}$, $EK_{H+W,śr.}$, $EK_{H+W,max}$ odpowiednio w tych samych wariantach K przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r. (tabela 5.2.10 i 5.2.14.). Wskaźnik EK_{H+W} jest oczywiście niższy przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r. Z porównania wartości zawartych w tabeli 5.2.10. z wartościami z tabeli 5.2.14 wynika, że różnice te są na poziomie kilku procent i zawierają się w przedziale 5–7%. Potwierdza to hipotezę, że ograniczanie wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych na poziomie różnic jakie występują pomiędzy wymaganiami U z 2017 r. oraz z 2021 r. stanowi jeden ze sposobów poprawy charakterystyki energetycznej budynku, jednak nie ma tak istotnego wpływu na wskaźnik EK_{H+W} jak na przykład rodzaj systemu technicznego. Potwierdzają to wyniki badań statystycznych przedstawione w podrozdziale 8.4. Wydaje się, że można postawić wniosek, iż dalsze zaostrzanie i tak wysoko postawionych wymagań co do wartości współczynnika U przegród budowlanych nie będzie miało istotnego wpływu na zmianę wartości EK_{H+W} . Odrębnym, lecz ważnym zagadnieniem, które powinno być analizowane już na etapie projektowania budynku jest opłacalność inwestycji przy założeniu bardzo niskich wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych.

5.3 Zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną

Zapotrzebowanie budynku mieszkalnego na nieodnawialną energię pierwotną oblicza się na podstawie zapotrzebowania tego budynku na energię końcową przy uwzględnieniu sposobu zasilania budynku w energię oraz wykorzystywanego rodzaju nośnika energii. Ze względu na różnorodność występujących rozwiązań technicznych rozpatruje się odrębnie system ogrzewania oraz system przygotowania ciepłej wody, a także uwzględnia zasilanie energią elektryczną niezbędnych urządzeń wyżej wymienionych systemów. Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP_{H+W}) jest sumą wskaźników cząstkowych poszczególnych systemów w tym energii pomocniczej w każdym z nich wg zależności (5.3.1).

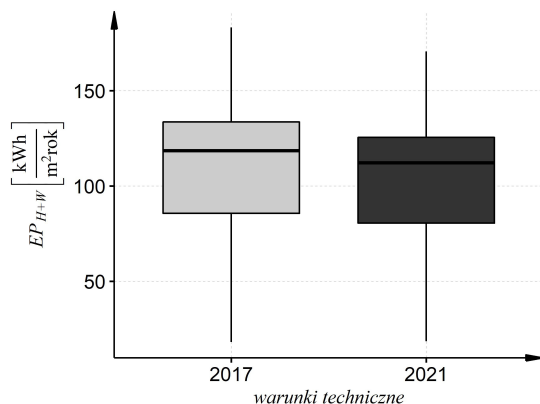
$$EP_{H+W} = EP_H + EP_W \quad (5.3.1)$$

Sprawdzenie spełnienia wymagań krajowych w zakresie zapotrzebowania projektowanego budynku na energię oparte jest na porównaniu wartości obliczonej dla danego budynku z wartością maksymalną podaną w rozporządzeniu [97]. Wartości maksymalne EP_{H+W} dla budynku wielorodzinnego bez chłodzenia to: od 1 stycznia 2017 r. 85 kWh/(m²·rok), a od 1 stycznia 2021 r. 65 kWh/(m²·rok).

Sposób zasilania budynku w energię oraz rodzaj nośnika jest związany z przyjętymi rozwiązaniami wyposażenia budynku w rodzaj systemu ogrzewania oraz systemu przygotowania ciepłej wody.

W niniejszej pracy do wyznaczenia wskaźnika EP_{H+W} wykorzystano wcześniej określony wskaźnik EK_{H+W} (podrozdział 5.2.). dla rozpatrywanych wariantów, opisanych w tabeli 4.3.11. (podrozdział 4.3.9.). Uzyskane wyniki pozwalają przeanalizować wpływ rodzaju nośnika energii oraz sposobu zasilania budynku w energię na wartość wskaźnika EP_{H+W} i tym samym zmianę charakterystyki energetycznej budynku.

Podobnie jak przy obliczaniu wskaźnika energii użytkowej i końcowej sprawdzono testem t -studenta, że wymagania warunków technicznych w zakresie współczynnika U obowiązującego od 2017 r. i od 2021 r. (dwie grupy) istotnie różnicują EP_{H+W} , co ilustruje Rys. 5.3.1. W obu grupach zakresy zmienności są podobne, a rozkłady normalne, co pozwala na zastosowanie do badań statystycznych testu istotności t -studenta. Wyniki testu przedstawiono w podrozdziale 8.5. niniejszej pracy.



Rys. 5.3.1 Rozkład wartości wskaźnika EP_{H+W} w zależności od wymagań warunków technicznych w zakresie współczynnika U

Do obliczeń założono, że źródłem energii pomocniczej jest systemowa sieć elektroenergetyczna dla której zgodnie z rozporządzeniem [96] współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_{iel} wynosi 3,0. Wskaźnik zapotrzebowania na energię pomocniczą $EP_{el,H+W}$ obliczono wg zależności (5.3.2.), (5.3.3.), (5.3.4.) i zamieszczono w tabeli 5.3.1. Do obliczeń wykorzystano wartości podane w tabelach w pkt. 5.2.3.

$$EP_{el,H+W} = EP_{el,H} + EP_{el,W} \quad (5.3.2)$$

$$EP_{el,H} = w_{iel} \cdot Ej_{el,pom,H} \quad (5.3.3)$$

$$EP_{el,W} = w_{iel} \cdot Ej_{el,pom,W} \quad (5.3.4)$$

W analizowanych wariantach oznaczonych przez P, wskaźnik zapotrzebowania na pierwotną energię pomocniczą $EP_{el,H+W}$ obliczony wg [96] jest zróżnicowany i zawiera się w przedziale 3,87–17,67 kWh/(m²·rok). Jego największe wartości uzyskano w kilku wariantach z pompą ciepła i grzewczymi instalacjami podłogowymi. W przypadku lokalnego podgrzewu bez cyrkulacji ciepłej wody nie występuje lub jest niewielkie zapotrzebowanie na energię pomocniczą. W wielu wariantach wskaźnik $EP_{el,H+W}$ zawiera się w przedziale 5,52–6,81 kWh/(m²·rok). Większym zapotrzebowaniem na energię pomocniczą do urządzeń charakteryzują się system ogrzewania niż systemy przygotowania ciepłej wody.

W oparciu o wartości z tabel: 5.3.1., 5.3.4 oraz 5.3.8. określono udział pierwotnej energii pomocniczej we wskaźniku EP_{H+W} przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r.

Tab. 5.3.1 Wskaźnik zapotrzebowania na pierwotną energię pomocniczą

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Wskaźnik zapotrzebowania na energię pomocniczą pierwotną		
			$EP_{el,H}$	$EP_{el,W}$	$EP_{el,H+W}$
			kWh/(m ² · rok)		
1P	1H	1W	3,39	3,06	6,45
2P	1H	1W	3,39	3,06	6,45
3P	1H	1W	3,39	3,06	6,45
4P	1H	2W	3,39	3,42	6,81
5P	1H	2W	3,39	3,42	6,81
6P	1H	2W	3,39	3,42	6,81
7P	2H	1W	3,39	3,06	6,45
8P	2H	1W	3,39	3,06	6,45
9P	2H	1W	3,39	3,06	6,45
10P	2H	2W	3,39	3,42	6,81
11P	2H	2W	3,39	3,42	6,81
12P	2H	2W	3,39	3,42	6,81
13P	3H	12W	3,87	0,63	4,50
14P	4H	11W	3,87	1,65	5,52
15P	5H	7W	3,87	0,63	4,50
16P	6H	3W	3,87	1,65	5,52
17P	6H	4W	3,87	1,65	5,52
18P	7H	7W	12,18	0,63	12,81
19P	8H	3W	3,87	1,65	5,52
20P	8H	4W	3,87	1,65	5,52
21P	9H	3W	3,87	1,65	5,52
22P	9H	4W	3,87	1,65	5,52
23P	10H	8W	15,18	2,49	17,67
24P	11H	8W	7,23	2,49	9,72
25P	12H	8W	7,23	2,49	9,72
26P	13H	9W	13,98	2,19	16,17
27P	14H	9W	6,03	2,19	8,22
28P	15H	9W	6,03	2,19	8,22
29P	16H	5W	3,87	1,65	5,52
30P	16H	10W	3,87	0	3,87
31P	16H	6W	3,87	1,65	5,52
32P	17H	5W	3,87	1,65	5,52
33P	17H	10W	3,87	0	3,87
34P	17H	6W	3,87	1,65	5,52
35P	17H	5W	3,87	1,65	5,52
energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej systemowej $w_{iel} = 3,0$					

Tab. 5.3.2 Udział pierwotnej energii pomocniczej w EP_{H+W}

Nr wariantu	$EP_{el,H+W}$ [kWh/m ² ·rok]	Wymagania 2017 r.		Wymagania 2021 r.	
		wskaźnik energii pierwotnej		wskaźnik energii pierwotnej	
		$EP_{H+W,śr.}$	udział	$EP_{H+W,śr.}$	udział
		kWh/(m ² ·rok)	%	kWh/(m ² ·rok)	%
9P	6,45	21,73	29,69	20,71	31,14
3P	6,45	22,12	29,16	21,05	30,64
12P	6,81	22,78	29,90	21,76	31,30
6P	6,81	23,17	29,40	22,1	30,81
32P	5,52	32,50	16,99	30,71	17,97
34P	5,52	32,50	16,99	30,71	17,97
29P	5,52	33,51	16,47	31,61	17,46
31P	5,52	33,51	16,47	31,61	17,46
8P	6,45	87,93	7,34	82,49	7,82
2P	6,45	90,01	7,17	84,32	7,65
11P	6,81	91,97	7,40	86,53	7,87
5P	6,81	94,05	7,24	88,36	7,71
25P	9,72	113,17	8,59	107,68	9,03
15P	4,50	113,80	3,95	106,22	4,24
28P	8,22	115,30	7,13	110,02	7,47
24P	9,72	116,29	8,36	110,43	8,80
13P	4,50	118,16	3,81	110,23	4,08
27P	8,22	118,29	6,95	112,65	7,30
18P	12,81	120,02	10,67	112,68	11,37
23P	17,67	123,12	14,35	117,40	15,05
21P	5,52	124,12	4,45	116,81	4,73
22P	5,52	124,12	4,45	116,81	4,73
26P	16,17	125,03	12,93	119,54	13,53
16P	5,52	130,44	4,23	122,38	4,51
17P	5,52	130,44	4,23	122,38	4,51
19P	5,52	131,26	4,21	123,11	4,48
20P	5,52	131,26	4,21	123,11	4,48
14P	5,52	135,81	4,06	127,38	4,33
33P	3,87	138,82	2,79	137,03	2,82
7P	6,45	138,86	4,64	130,01	4,96
30P	3,87	139,83	2,77	137,93	2,81
1P	6,45	142,23	4,53	132,99	4,85
10P	6,81	145,20	4,69	136,35	4,99
4P	6,81	148,57	4,58	139,33	4,89
35P	5,52	153,88	3,59	144,06	3,83

Udział wskaźnika $EP_{el,H+W}$, przy założeniu, że pobór energii elektrycznej następuje z systemowej sieci elektroenergetycznej, udział wskaźnika $EP_{el,H+W}$ we wskaźniku $EP_{H+W,śr.}$ jest zróżnicowany. Oznacza to, że w różnym stopniu wpływa on na zmienność charakterystyki energetycznej budynku. W przypadku wymagań współczynnika U z 2017 r. waha się od 2,77% aż do 29,90%, natomiast przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r. od 2,81% aż do 31,10%. Ma on największy udział w wariantach oznaczonych literą P charakteryzujących się niskimi wartościami wskaźnika $EP_{H+W,śr.}$ (warianty z wykorzystywaniem biomasy jako nośnika energii). W wariantach charakteryzujących się wykorzystywaniem konwencjonalnych nośników energii udział $EP_{el,H+W}$ wynosi kilka procent. Udział na poziomie kilkunastu procent występuje natomiast w wariantach ze sprężarkowymi pompami ciepła udział ten wynosi kilkanaście procent. Relacje pomiędzy wskaźnikami $EP_{H+W,śr.}$ i $EP_{el,H+W}$ są podobne w obu grupach wymagań w zakresie współczynnika U tj. z 2017 r. oraz z 2021 r. Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń można wnioskować o zasadności wykorzystywania odnawialnych źródeł energii do pokrycia potrzeb energii elektrycznej systemów technicznych. Jest to szczególnie uzasadnione w przypadkach znacznego udziału pomocniczej energii elektrycznej, gdyż spowoduje zmniejszenie wskaźnika EP_{H+W} i tym samym poprawi charakterystykę energetyczną budynku.

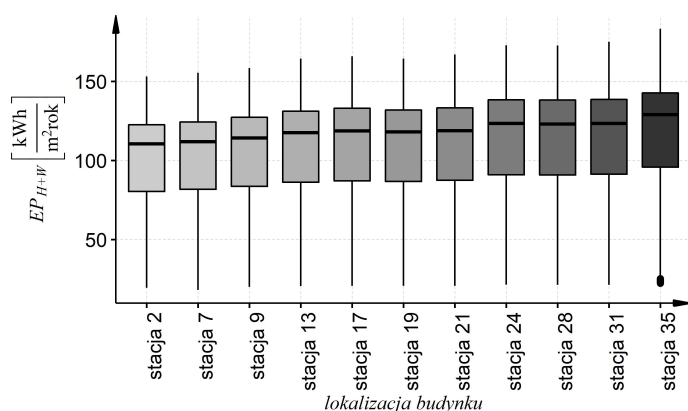
5.3.1 Wskaźnik EP_{H+W} dla wymagań współczynnika przenikania ciepła z 2017 r.

W tabeli 5.3.3. podano zmiany i rozstęp względny wskaźnika EP_{H+W} przy różnych wariantach systemów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody oznaczonych literą „P” (tabela 4.3.11. w podrozdziale 4.3.9.). Analizę przeprowadzono dla 11 wybranych stacji meteorologicznych. Rysunek 5.3.2. ilustruje rozkład wartości EP_{H+W} w zależności od lokalizacji budynku przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. Liczba przyjętych elementów w próbie do badań statystycznych wyniosła 1120.

Tabela 5.3.4. zawiera wartości: minimalną, maksymalną i średnią oraz rozstęp względny i różnicę wskaźnika EP_{H+W} rozpatrywanych wariantów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody oznaczonych literą P. Rysunek 5.3.3. ilustruje rozkład wartości wskaźnika EP_{H+W} przy wymaganiach U z 2017 r. i założonych wariantach. Liczba przyjętych do badań elementów w próbie wyniosła 352.

Tab. 5.3.3 Wskaźnik EP_{H+W} dla ustalonych stacji przy różnych wariantach oznaczonych literą P przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

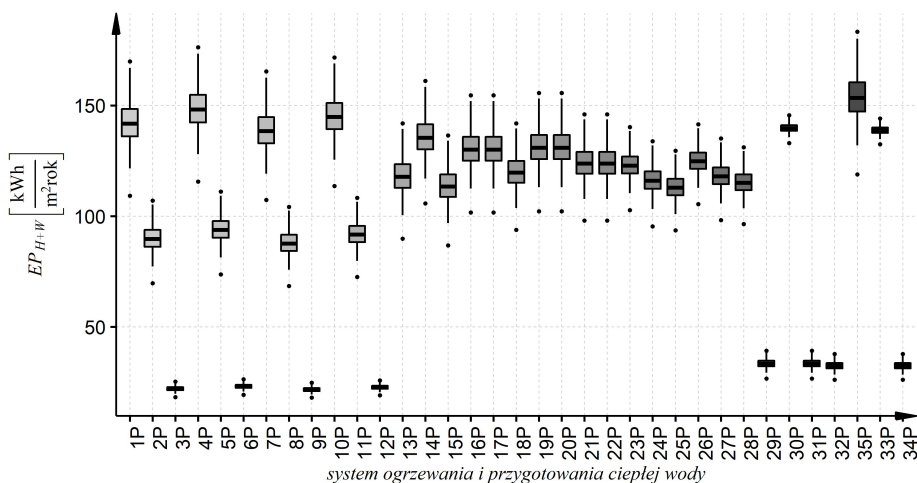
Lp.	Stacja meteorologiczna	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
		$EP_{H+W,min.}$	$EP_{H+W,śr.}$	$EP_{H+W,max.}$	$\Delta EP_{H+W,min.}$	$\Delta EP_{H+W,max.}$	ΔEP_{H+W}
		kWh/(m ² · rok)			%		
1	stacja 13	20,56	100,53	164,42	79,55	63,55	87,50
2	stacja 17	20,79	101,54	165,89	79,53	63,37	87,47
3	stacja 19	20,74	101,01	164,42	79,47	62,77	87,38
4	stacja 2	19,45	94,53	153,11	79,42	61,96	87,30
5	stacja 21	20,72	101,75	167,03	79,63	64,16	87,59
6	stacja 24	21,48	105,44	172,81	79,63	63,90	87,57
7	stacja 28	21,39	105,19	172,77	79,66	64,25	87,62
8	stacja 31	21,31	105,70	175,12	79,84	65,67	87,83
9	stacja 35	22,29	110,50	183,27	79,82	65,87	87,84
10	stacja 7	19,86	96,06	155,49	79,33	61,87	87,23
11	stacja 9	20,18	97,80	158,39	79,37	61,95	87,26
Rozstęp względny w %		12,74	14,45	16,46	-	-	-
$\Delta EP_{H+W,min.} = (EP_{H+W,śr.} - EP_{H+W,min.}) / EP_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EP_{H+W,max.} = (EP_{H+W,max.} - EP_{H+W,śr.}) / EP_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EP_{H+W} = (EP_{H+W,max.} - EP_{H+W,min.}) / EP_{H+W,max.} \cdot 100$							



Rys. 5.3.2 Rozkład wartości wskaźnika EP_{H+W} ze względu na lokalizację budynku przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Tab. 5.3.4 Wartości i różnice wskaźnika EP_{H+W} dla rozpatrywanych wariantów ogrzewania przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię kończącą do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
			$EP_{H+W,min.}$	$EP_{H+W,śr.}$	$EP_{H+W,max.}$	$\Delta EP_{H+W,min.}$	$\Delta EP_{H+W,max.}$	ΔEP_{H+W}
			kWh/(m ² · rok)			%		
9P	2H	1W	19,45	21,73	24,78	10,47	14,06	21,51
3P	1H	1W	19,74	22,12	25,31	10,75	14,43	22,00
12P	2H	2W	20,50	22,78	25,83	9,99	13,41	20,64
6P	1H	2W	20,79	23,17	26,36	10,26	13,77	21,12
32P	17H	5W	28,51	32,50	37,84	12,25	16,45	24,65
34P	17H	6W	28,51	32,50	37,84	12,25	16,45	24,65
29P	16H	5W	29,26	33,51	39,21	12,67	17,01	25,37
31P	16H	6W	29,26	33,51	39,21	12,67	17,01	25,37
8P	2H	1W	75,80	87,93	104,23	13,80	18,53	27,28
2P	1H	1W	77,33	90,01	107,03	14,09	18,91	27,75
11P	2H	2W	79,83	91,97	108,27	13,20	17,71	26,26
5P	1H	2W	81,37	94,05	111,07	13,48	18,10	26,74
25P	12H	8W	100,92	113,17	129,61	10,82	14,52	22,13
15P	5H	7W	96,90	113,80	136,47	14,85	19,93	29,00
28P	15H	9W	103,53	115,30	131,11	10,21	13,71	21,04
24P	11H	8W	103,23	116,29	133,82	11,23	15,07	22,86
13P	3H	12W	100,47	118,16	141,89	14,97	20,09	29,19
27P	14H	9W	105,73	118,29	135,14	10,61	14,25	21,76
18P	7H	7W	103,66	120,02	141,96	13,62	18,29	26,98
23P	10H	8W	110,35	123,12	140,26	10,37	13,92	21,32
21P	9H	3W	107,81	124,12	146,02	13,14	17,64	26,17
22P	9H	4W	107,81	124,12	146,02	13,14	17,64	26,17
26P	13H	9W	112,79	125,03	141,46	9,79	13,14	20,27
16P	6H	3W	112,48	130,44	154,55	13,77	18,48	27,22
17P	6H	4W	112,48	130,44	154,55	13,77	18,48	27,22
19P	8H	3W	113,09	131,26	155,66	13,85	18,58	27,35
20P	8H	4W	113,09	131,26	155,66	13,85	18,58	27,35
14P	4H	11W	117,01	135,81	161,05	13,84	18,58	27,34
33P	17H	10W	134,84	138,82	144,16	2,87	3,85	6,47
7P	2H	1W	119,14	138,86	165,34	14,20	19,07	27,94
30P	16H	10W	135,59	139,83	145,53	3,04	4,08	6,83
1P	1H	1W	121,63	142,23	169,89	14,49	19,44	28,41
10P	2H	2W	125,47	145,20	171,68	13,59	18,23	26,91
4P	1H	2W	127,97	148,57	176,23	13,87	18,61	27,39
35P	17H	5W	131,98	153,88	183,27	14,23	19,10	27,99
Rozstęp względny w %			85,26	85,88	86,48	-	-	-
$\Delta EP_{H+W,min.} = (EP_{H+W,śr.} - EP_{H+W,min.}) / EP_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EP_{H+W,max.} = (EP_{H+W,max.} - EP_{H+W,śr.}) / EP_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EP_{H+W} = (EP_{H+W,max.} - EP_{H+W,min.}) / EP_{H+W,max.} \cdot 100$								



Rys. 5.3.3 Rozkład wartości wskaźnika EP_{H+W} w zależności od wariantu ogrzewania i sposobu przygotowania ciepłej wody przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Przy wymaganiach dla współczynnika U z 2017 r. rozstęp względny wskaźnika EP_{H+W} zawiera się w przedziale 12,74–16,46% w zależności od wartości minimalnej, średniej lub maksymalnej, przy czym największy jest dla wartości maksymalnej (tabela 5.3.3.). Oznacza to, że zmiana ta spowodowana jest liczbą stopniodni, która wynika z lokalizacji budynku. Dodatkowym potwierdzeniem tego są zmiany procentowe wskaźnika EP_{H+W} występujące w obrębie każdego z rozpatrywanych wariantów oznaczonych literą P. Zawierają się one w następujących przedziałach: najmniejsza zmiana 2,87–6,47% (wariant 33P) i największa 14,97–29,19% (wariant 13P) co przedstawiono w tabeli 5.3.4.

Przedstawione wyniki, wskazują na możliwość uzyskania prawie we wszystkich przypadkach znacząco różniących się wartości wskaźnika EP_{H+W} , pomimo zastosowania tego samego rozwiązania technicznego w zakresie systemu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody. Spowodowane jest to przede wszystkim różną liczbą stopniodni mającą wpływ na wielkość energii użytkowej niezbędnej do ogrzewania budynku.

Analiza uzyskanych wyników badań symulacyjnych przeprowadzonych dla 35 wariantów oznaczonych literą P wskazuje, że rozstęp względny zarówno w obszarze wartości minimalnych, średnich i maksymalnych jest podobny i wynosi ponad 85% (tabela 5.3.4.). Oznacza to, że przy zapotrzebowaniu na energię użytkową do ogrzewania obliczonym przy uwzględnieniu zmienności parametrów wpływających na to zapotrzebowanie, wartość wskaźnika EP_{H+W} jest podobnie różnicowana przez rodzaj systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody jak wartość wskaźnika EK_{H+W} oraz dodatkowo przez rodzaj nośnika energii lub energii. Wynika to z dużego zakresu zmienności

współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (w_i) tj. od 0,15 do 3,00 wg [96].

Budynek o takiej samej geometrii, spełniający wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych z 2017 r. może charakteryzować się bardzo zróżnicowaną wartością wskaźnika EP_{H+W} obliczoną według metodologii zawartej w [96]. Skrajne wartości uzyskane spośród wszystkich elementów utworzonego zbioru (tabela 5.3.4.) wynoszą: minimalna wartość wskaźnika $EP_{H+W} = 19,45 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, maksymalna wartość wskaźnika $EP_{H+W} = 183,27 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, co świadczy o bardzo silnej zmienności (wartość większa ponad dziewięć razy). Nawet, jeżeli przeanalizuje się wartości wskaźnika EP_{H+W} , z pominięciem zmian energii użytkowej, w mniejszych zbiorach tj. odrębnie zbiór wyników wskaźników $EK_{H+W,min}$, $EK_{H+W,sr}$ oraz $EK_{H+W,max}$ to uzyskuje się ok. siedmiokrotnie większe wartości w stosunku do minimalnej w danym zbiorze. Potwierdza to hipotezę, że decydującymi czynnikami wpływającymi na wskaźnik rocznego zapotrzebowania budynku na nieodnawialną energię pierwotną są: rodzaj systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody oraz rodzaj nośnika energii lub energii wykorzystywanych w tych systemach.

Świadczą o tym wyniki obliczeń zawarte w tabeli 5.3.5., w której zestawiono konfiguracje wariantu P i innych parametrów takich jak lokalizacja, orientacja, stopień przeszklenia i zacienienie dających skrajne wartości wskaźnika EP_{H+W} budynku.

W grupie wymagań współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych z 2017 r. spośród analizowanych 35 wariantów oznaczonych literą P tylko w niektórych uzyskano wartości wskaźnika EP_{H+W} mniejsze od wartości dopuszczalnej maksymalnej dla budynku wielorodzinnego podanej w rozporządzeniu [97] wynoszącej $85 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

W zbiorze wartości wskaźnika $EP_{H+W,min}$ to jedynie rozwiązania oparte na wykorzystaniu biomasy w źródłach indywidualnych lub centralnych oraz niektóre rozwiązania oparte na źródłach energii pracujących w kogeneracji wykorzystujących gaz lub węgiel przy instalacjach grzewczych i ciepłej wody różnego typu. Natomiast w zbiorach wartości wskaźnika $EP_{H+W,sr}$ oraz $EP_{H+W,max}$ wymagania zostały spełnione tylko w przypadku rozwiązań z wykorzystaniem biomasy przy różnych typach instalacji. Najwyższe wskaźniki EP_{H+W} uzyskano, bez względu na rodzaj instalacji, w rozwiązaniach wykorzystujących przy zasilaniu budynku w ciepło ciepłownię węglowe. Wysokimi wartościami wskaźnika charakteryzują się również warianty, w których w znacznym stopniu wykorzystywana jest energia elektryczna pochodząca z systemowej sieci elektroenergetycznej.

Tab. 5.3.5 Zestawienie konfiguracji parametrów przy skrajnych wartościach EP_{H+W} przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Lokalizacja	Orientacja	Stopień przeszklenia	Współczynnik $F_{sh,gl}$	Wariant „P”	EP_H	EP_W	EP_{H+W}
					kWh/(m ² · rok)		
stacja 13	N-S	P2	1,0	9P	10,95	9,61	20,56
stacja 13	W-E	P2	0,9	35P	98,35	66,08	164,42
stacja 17	N-S	P1	1,0	9P	11,17	9,61	20,79
stacja 17	W-E	P2	0,9	35P	99,81	66,08	165,89
stacja 19	N-S	P1	1,0	9P	11,13	9,61	20,74
stacja 19	W-E	P2	0,9	35P	98,34	66,08	164,42
stacja 2	N-S	P2	1,0	9P	9,84	9,61	19,45
stacja 2	W-E	P2	0,9	35P	87,03	66,08	153,11
stacja 21	N-S	P2	1,0	9P	11,11	9,61	20,72
stacja 21	W-E	P2	0,9	35P	100,96	66,08	167,03
stacja 24	N-S	P1	1,0	9P	11,86	9,61	21,48
stacja 24	W-E	P2	0,9	35P	106,73	66,08	172,81
stacja 28	N-S	P1	1,0	9P	11,78	9,61	21,39
stacja 28	W-E	P2	0,9	35P	106,69	66,08	172,77
stacja 31	N-S	P2	1,0	9P	11,69	9,61	21,31
stacja 31	W-E	P2	0,9	35P	109,04	66,08	175,12
stacja 35	N-S	P1	1,0	9P	12,68	9,61	22,29
stacja 35	W-E	P2	0,9	35P	117,20	66,08	183,27
stacja 7	N-S	P1	1,0	9P	10,25	9,61	19,86
stacja 7	W-E	P2	0,9	35P	89,41	66,08	155,49
stacja 9	N-S	P1	1,0	9P	10,56	9,61	20,18
stacja 9	W-E	P2	0,9	35P	92,31	66,08	158,39
Rozstęp względny w wariancie 9P w %					22,40	-	12,74
Rozstęp względny w wariancie 35P w %					25,74	-	16,46

Na podstawie przedstawionych wyników można wnioskować, że w przypadku każdej lokalizacji budynku najmniejsze zapotrzebowanie na energię końcową otrzymano dla wariantu 9P i ponad osiem razy większe dla wariantu 35P. Wariant 9P, to budynek wyposażony w system ogrzewania z węzłem dwufunkcyjnym (c.o. + c.w.) zasilany ciepłem sieciowym ze źródła pracującego w kogeneracji, w którym nośnik energii stanowi biomasa oraz instalację o wysokiej sprawności regulacji i wykorzystania ciepła oraz wysokiej sprawności dystrybucji ciepła. W systemie przygotowania ciepłej wody wykorzystywane jest wcześniej opisane źródło ciepła, budynek wyposażony jest w centralną instalację c.w. z dobrze zaizolowanymi przewodami, z pełną cyrkulacją, charakteryzująca się ograniczonym czasem pracy pompy cyrkulacyjnej. Wariant 35P, to budynek wyposażony w system ogrzewania

oparty na: lokalnej dwufunkcyjnej (c.o.+c.w.) kotłowni opalanej węglem, instalacji o wysokiej sprawności regulacji i wykorzystania ciepła oraz sprawności dystrybucji ciepła jak dla przewodów zaizolowanych prowadzonych w przestrzeni ogrzewanej oraz w system przygotowania ciepłej wody wykorzystujący wcześniej opisane źródło ciepła, układ z dobrze zaizolowanym zasobnikiem oraz przewodami, z centralną instalacją c.w. z pełną cyrkulacją charakteryzująca się ograniczonym czasem pracy pompy cyrkulacyjnej.

Podobnie jak w przypadku wskaźnika EK_H wartość wskaźnika EP_H jest niższa przy orientacji ścian podłużnych N-S, współczynnika $F_{sh,gl} = 1,0$ oraz przy przeszkleniu P1.

Rozstęp względny wskaźnika EP_H w wariancie 9P wynosi 22,40%, a w 35P wynosi 25,74%, co obrazuje wpływ lokalizacji budynku na wartość EP_H .

Po uwzględnieniu zapotrzebowania ciepła do przygotowanie ciepłej wody, rozstęp względny wskaźnika EP_{H+W} maleje, co wynika z uwzględnienia w każdym przypadku stałej w danym wariancie „P” wartość EP_W . Rozstęp dla wariantu 9P i 35P wynosi odpowiednio 12,74% oraz 16,46%, co ostatecznie obrazuje wpływ liczby stopniodni (lokalizacji budynku) na wskaźnik EP_{H+W} (tabela 5.3.5.).

Wymagania rozporządzenia [97] nie precyzują poziomu udziałów wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej na ogrzewanie oraz przygotowanie ciepłej wody w wartości wskaźnika łącznego EP_{H+W} . W celu przeprowadzenia pełniejszej analizy w tabeli 5.3.6. przedstawiono udział zapotrzebowania energii pierwotnej na przygotowanie ciepłej wody w łącznym zapotrzebowaniu budynku na nieodnawialną energię pierwotną (wartości średnie wskaźnika $EP_{H+W,śr.}$) przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Tab. 5.3.6 Udział zapotrzebowania energii końcowej do przygotowania ciepłej wody przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody		Udział wskaźnika EP_W we wskaźniku $EP_{H+W,śr.}$
			EP_W	$EP_{H+W,śr.}$	udział
			kWh/m ² · rok		%
9P	2H	1W	9,61	21,73	44,23
3P	1H	1W	9,61	22,12	43,45
12P	2H	2W	10,67	22,78	46,84
6P	1H	2W	10,67	23,17	46,06
32P	17H	5W	13,36	32,50	41,11
34P	17H	6W	13,36	32,50	41,11
29P	16H	5W	13,36	33,51	39,87
31P	16H	6W	13,36	33,51	39,87

cd. Tab. 5.3.6

8P	2H	1W	38,02	87,93	43,24
2P	1H	1W	38,02	90,01	42,24
11P	2H	2W	42,02	91,97	45,69
5P	1H	2W	42,06	94,05	44,72
25P	12H	8W	59,00	113,17	52,13
15P	5H	7W	45,16	113,80	39,69
28P	15H	9W	64,13	115,30	55,62
24P	11H	8W	59,00	116,29	50,74
13P	3H	12W	46,51	118,16	39,36
27P	14H	9W	64,13	118,29	54,22
18P	7H	7W	45,16	120,02	37,63
23P	10H	8W	59,00	123,12	47,92
21P	9H	3W	57,73	124,12	46,51
22P	9H	4W	57,73	124,12	46,51
26P	13H	9W	64,13	125,03	51,29
16P	6H	3W	57,73	130,44	44,26
17P	6H	4W	57,73	130,44	44,26
19P	8H	3W	57,73	131,26	43,98
20P	8H	4W	57,73	131,26	43,98
14P	4H	11W	59,89	135,81	44,10
33P	17H	10W	119,67	138,82	86,21
7P	2H	1W	59,86	138,86	43,11
30P	16H	10W	119,67	139,83	85,58
1P	1H	1W	59,86	142,23	42,09
10P	2H	2W	66,20	145,20	45,59
4P	1H	2W	66,20	148,57	44,56
35P	17H	5W	66,08	153,88	42,94

Przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. udział wskaźnika EP_W obliczonego według [96] we wskaźniku $EP_{H+W,śr.}$ jest znaczący i zawiera się w większości wariantów w przedziale 40–50% (tabela 5.3.6.). W dwóch wariantach 30P i 33P udział ten wynosi ponad 85% i dotyczy rozwiązań, w których nośnikiem energii na cele ogrzewania jest biomasa, natomiast na cele przygotowania ciepłej wody pobierana jest energia elektryczna pochodząca z sieci elektroenergetycznej. W publikacji [79] wykazano, że niska sprawność systemu przygotowania ciepłej wody oraz wykorzystywany nośnik znacznie wpływają na wartość wskaźnika EP_{H+W} . Autor publikacji [146] wykazuje, że budynki o dobrej izolacyjności cieplnej przegród budowlanych bez systemu przygotowania ciepłej wody o wysokiej sprawności mogą nie spełnić wymagań w zakresie wskaźnika EP_{H+W} .

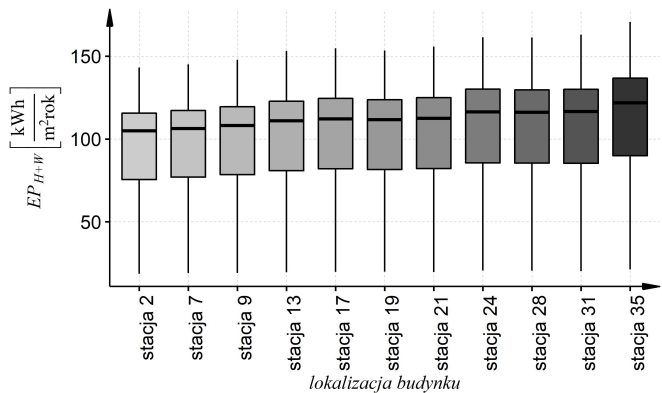
5.3.2 Wskaźnik EP_{H+W} dla wymagań współczynnika przenikania ciepła z 2021 r.

Analogicznie, jak dla wymagań współczynnika U z 2017 r. przeprowadzono analizę dla wymagań tego współczynnika z 2021 r., i jej wyniki zaprezentowano

poniżej. W tabeli 5.3.7. zamieszczono wyniki obliczeń zmienności wskaźnika EP_{H+W} oraz podano rozstęp względny, natomiast Rys. 5.3.4 ilustruje rozkład wartości EP_{H+W} . Analizę wykonano dla wybranych 11 stacji meteorologicznych. Liczba przyjętych elementów w próbie badań statystycznych wynosi 1120.

Tab. 5.3.7 Wskaźnik EP_{H+W} dla ustalonych stacji meteorologicznych przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Lp.	Stacja meteorologiczna	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
		$EP_{H+W,min.}$	$EP_{H+W,śr.}$	$EP_{H+W,max.}$	$\Delta EP_{H+W,min.}$	$\Delta EP_{H+W,max.}$	ΔEP_{H+W}
		kWh/(m ² · rok)			%		
1	stacja 13	19,52	94,87	153,24	79,42	61,52	87,26
2	stacja 17	19,77	96,01	154,82	79,41	61,25	87,23
3	stacja 19	19,80	95,51	153,39	79,27	60,61	87,09
4	stacja 2	18,55	89,66	143,17	79,31	59,68	87,04
5	stacja 21	19,67	96,18	155,85	79,55	62,04	87,38
6	stacja 24	20,52	99,73	161,41	79,42	61,85	87,28
7	stacja 28	20,45	99,50	161,33	79,44	62,15	87,32
8	stacja 31	20,17	99,68	163,03	79,76	63,55	87,63
9	stacja 35	21,18	104,18	170,69	79,67	63,85	87,59
10	stacja 7	18,90	90,90	145,06	79,21	59,58	86,97
11	stacja 9	19,02	92,45	147,86	79,43	59,93	87,14
Rozstęp względny w %		12,42	13,94	16,12	-	-	-
$\Delta EP_{H+W,min.} = (EP_{H+W,śr.} - EP_{H+W,min.}) / EP_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EP_{H+W,max.} = (EP_{H+W,max.} - EP_{H+W,śr.}) / EP_{H+W,śr.} \cdot 100$ $\Delta EP_{H+W} = (EP_{H+W,max.} - EP_{H+W,min.}) / EP_{H+W,max.} \cdot 100$							

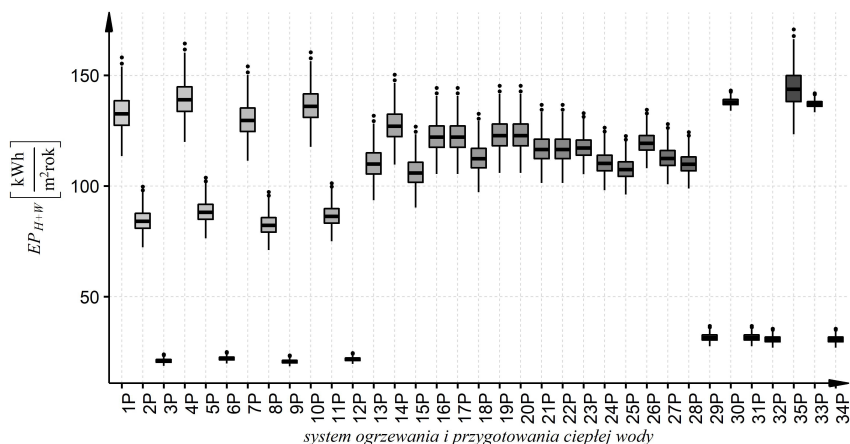


Rys. 5.3.4 Rozkład wartości EP_{H+W} ze względu na lokalizację budynku przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Tab. 5.3.8 Wartości i różnice wskaźnika EP_{H+W} utworzonych wariantów ogrzewania przy wymaganiach U z 2021 r.

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię kończącą do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody			Zmiany procentowe w odniesieniu do wartości średniej i maksymalnej		
			$EP_{H+W,min.}$	$EP_{H+W,sr.}$	$EP_{H+W,max.}$	$\Delta EP_{H+W,min.}$	$\Delta EP_{H+W,max.}$	ΔEP_{H+W}
			kWh/(m ² · rok)			%		
9P	2H	1W	18,55	20,71	23,48	10,40	13,37	20,96
3P	1H	1W	18,80	21,05	23,94	10,69	13,73	21,47
12P	2H	2W	19,60	21,76	24,53	9,90	12,72	20,07
6P	1H	2W	19,85	22,10	24,99	10,18	13,08	20,57
32P	17H	5W	26,94	30,71	35,55	12,27	15,77	24,22
34P	17H	6W	26,94	30,71	35,55	12,27	15,77	24,22
29P	16H	5W	27,59	31,61	36,77	12,71	16,34	24,97
31P	16H	6W	27,59	31,61	36,77	12,71	16,34	24,97
8P	2H	1W	71,00	82,49	97,25	13,92	17,89	26,99
2P	1H	1W	72,32	84,32	99,74	14,23	18,29	27,49
11P	2H	2W	75,04	86,53	101,29	13,27	17,06	25,91
5P	1H	2W	76,36	88,36	103,78	13,58	17,45	26,42
15P	5H	7W	90,23	106,22	126,76	15,05	19,34	28,82
25P	12H	8W	96,09	107,68	122,57	10,76	13,83	21,60
28P	15H	9W	98,88	110,02	124,34	10,13	13,02	20,48
13P	3H	12W	93,50	110,23	131,73	15,18	19,51	29,02
24P	11H	8W	98,08	110,43	126,31	11,19	14,38	22,36
27P	14H	9W	100,77	112,65	127,92	10,55	13,55	21,22
18P	7H	7W	97,21	112,68	132,57	13,73	17,65	26,67
21P	9H	3W	101,37	116,81	136,64	13,21	16,98	25,81
22P	9H	4W	101,37	116,81	136,64	13,21	16,98	25,81
23P	10H	8W	105,32	117,40	132,92	10,29	13,23	20,77
26P	13H	9W	107,96	119,54	134,43	9,69	12,45	19,69
16P	6H	3W	105,39	122,38	144,23	13,89	17,85	26,93
17P	6H	4W	105,39	122,38	144,23	13,89	17,85	26,93
19P	8H	3W	105,91	123,11	145,21	13,97	17,95	27,06
20P	8H	4W	105,91	123,11	145,21	13,97	17,95	27,06
14P	4H	11W	109,59	127,38	150,24	13,96	17,95	27,06
7P	2H	1W	111,35	130,01	154,00	14,35	18,45	27,69
1P	1H	1W	113,50	132,99	158,05	14,66	18,84	28,19
10P	2H	2W	117,69	136,35	160,34	13,69	17,59	26,60
33P	17H	10W	133,27	137,03	141,88	2,75	3,53	6,07
30P	16H	10W	133,91	137,93	143,09	2,91	3,74	6,42
4P	1H	2W	119,83	139,33	164,39	13,99	17,98	27,10
35P	17H	5W	123,34	144,06	170,69	14,38	18,48	27,74
Różnica względna w %			86,15	85,62	86,24	-	-	-
$\Delta EP_{H+W,min.} = (EP_{H+W,sr.} - EP_{H+W,min.}) / EP_{H+W,sr.} \cdot 100$ $\Delta EP_{H+W,max.} = (EP_{H+W,max.} - EP_{H+W,sr.}) / EP_{H+W,sr.} \cdot 100$ $\Delta EP_{H+W} = (EP_{H+W,max.} - EP_{H+W,min.}) / EP_{H+W,max.} \cdot 100$								

Tabela 5.3.8. zawiera wartości: minimalną, maksymalną i średnią oraz rozstęp względny i różnicę wskaźnika EP_{H+W} w analizowanych wariantach ogrzewania i przygotowania ciepłej wody oznaczonych literą P, natomiast Rys 5.3.5 ilustruje rozkład wartości wskaźnika EP_{H+W} przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r. Liczba elementów w próbie wziętych do badań wyniosła 352.



Rys. 5.3.5 Rozkład wartości wskaźnika EP_{H+W} ze względu na wariant ogrzewania i przygotowania ciepłej wody przy wymaganiach U z 2021 r.

Przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r. rozstęp względny wskaźnika EP_{H+W} zawiera się w przedziale 12,42–16,12% w zależności od wartości minimalnej, średniej lub maksymalnej, przy czym największy jest dla wartości maksymalnej (tabela 5.3.7.). Należy wnioskować, że ta zmienność spowodowana jest różną liczbą stopniodni wynikającą z lokalizacji budynku, mającą wpływ na wartość energii użytkowej na potrzeby ogrzewania. Dodatkowym potwierdzeniem tego są występujące zmiany procentowe wskaźnika EP_{H+W} obliczone w obrębie każdego z rozpatrywanych wariantów oznaczonych literą P podanych w tabeli 5.3.8. Zawierają się one w przedziałach: najmniejsza zmienność 2,75–6,07% (wariant 33P) i największa 15,05–28,82% (wariant 15P).

Wyniki, wskazują na możliwość uzyskania w obrębie wariantu znacznie różniących się wartości wskaźnika EP_{H+W} , pomimo zastosowania tego samego rozwiązania technicznego w zakresie systemu ogrzewania oraz systemu przygotowania ciepłej wody.

Analiza uzyskanych wyników badań symulacyjnych przeprowadzonych dla 35 wariantów P wskazuje, że rozstęp względny zarówno w obszarze wartości minimalnych, średnich i maksymalnych jest podobny i wynosi ponad 85% (tabela 5.3.8.). Oznacza to, że przy zapotrzebowaniu na energię użytkową do

ogrzewania, obliczonym z uwzględnieniem parametrów mających wpływ na poziom tego zapotrzebowania, wartość wskaźnika EP_{H+W} w tak dużym stopniu jest różnicowana jeszcze z dwóch powodów. Po pierwsze, podobnie jak na wartość wskaźnika EK_{H+W} ma wpływ rodzaj, a tym samym sprawność zastosowanego rozwiązania technicznego systemu ogrzewania oraz systemu przygotowania ciepłej wody. Po drugie, co jest powiązane w pewnym stopniu z pierwszym, ma wpływ rodzaj wykorzystywanego nośnika energii lub energii oraz sposób zasilania budynku w energię, ponieważ zależy od tego wartość współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (w_i).

Budynek o takiej samej geometrii, spełniający wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych z 2021 r. może charakteryzować się bardzo różnym wskaźnikiem EP_{H+W} . Uzyskane skrajne wartości spośród wszystkich elementów utworzonego zbioru (tabela 5.3.8.) wynoszą: minimalna wartość wskaźnika $EP_{H+W} = 18,55 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, maksymalna $EP_{H+W} = 170,69 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, co świadczy o dużej zmienności (wartość większa ponad dziewięć razy) tego wskaźnika. Nawet jeżeli, z pominięciem zmian energii użytkowej, przeanalizuje się wartości wskaźnika EP_{H+W} , w mniejszych zbiorach tj. odrębnie zbiór wyników ze wskaźnikami $EP_{H+W,min}$, $EP_{H+W,sr}$ oraz $EP_{H+W,max}$, to uzyskuje się ok. siedmiokrotnie większe wartości w stosunku do minimalnej w danym zbiorze. Można wnioskować, że decydującymi czynnikiem wpływającymi na wskaźnik EP_{H+W} jest rodzaj nośnika energii, sposób zasilania budynku w energię i związane z tym rodzaje systemów technicznych wyposażenia budynku. Potwierdzają to wyniki obliczeń zawarte w tabeli 5.3.9., w której zestawiono konfiguracje wariantu P i innych parametrów budynku takich jak lokalizacja, orientacja, stopień przeszklenia i zacienienie dających skrajne wartości wskaźnika EP_{H+W} .

Na podstawie zamieszczonych wyników, podobnie jak w przypadku wymagań dla współczynnika U z 2017 r. można wnioskować, że bez względu na lokalizację budynku najmniejsze zapotrzebowanie na energię pierwotną otrzymano w wariancie 9P i ponad ośmiokrotnie większe w wariancie 35P.

Rozstęp względny wskaźnika EP_H przy wartości minimalnej wynosi 22,66%, natomiast przy maksymalnej 26,31%. Rozstęp względny wskaźnika EP_{H+W} jest mniejszy, wynosi 12,42% w wariancie 9P oraz 16,12% w 35P, co jest spowodowane uwzględnieniem stałego w danym wariancie P wskaźnika EP_W przy obliczeniach wykonywanych dla każdej stacji meteorologicznej. Można wnioskować, że wielkość rozstępu względnego obrazuje wpływ lokalizacji budynku czyli liczby stopniodni na wartość EP_H i EP_{H+W} (tabela 5.3.9.). Należy zauważyć, że wartości rozstępów względnych przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. są bardzo zbliżone do uzyskanych przy wymaganiach tego współczynnika z 2021 r.

Analogicznie jak przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. przeprowadzono analizę relacji pomiędzy wskaźnikami $EP_{H+W,sr}$ i EP_W w przypadku wymagań tego współczynnika z 2021 r. W tabeli 5.3.10.

przedstawiono udział zapotrzebowania energii pierwotnej na przygotowanie ciepłej wody w łącznym zapotrzebowaniu budynku na energię pierwotną.

Tab. 5.3.9 Zestawienie konfiguracji parametrów przy skrajnych wartościach EP_{H+W} przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Lokalizacja	Orientacja	Stopień przeszklenia	Współczynnik $F_{sh,gl}$	Wariant „P”	EP_H	EP_W	EP_{H+W}
					kWh/(m ² · rok)		
stacja 13	N-S	P2	1	9P	9,91	9,61	19,52
stacja 13	W-E	P2	0,9	35P	87,16	66,08	153,24
stacja 17	N-S	P2	1	9P	10,16	9,61	19,77
stacja 17	W-E	P2	0,9	35P	88,74	66,08	154,82
stacja 19	N-S	P2	1	9P	10,19	9,61	19,8
stacja 19	W-E	P2	0,9	35P	87,31	66,08	153,39
stacja 2	N-S	P2	1	9P	8,94	9,61	18,55
stacja 2	W-E	P2	0,9	35P	77,09	66,08	143,17
stacja 21	N-S	P2	1	9P	10,05	9,61	19,67
stacja 21	W-E	P2	0,9	35P	89,77	66,08	155,85
stacja 24	N-S	P2	1	9P	10,91	9,61	20,52
stacja 24	W-E	P2	0,9	35P	95,33	66,08	161,41
stacja 28	N-S	P1	1	9P	10,84	9,61	20,45
stacja 28	W-E	P2	0,9	35P	95,26	66,08	161,33
stacja 31	N-S	P2	1	9P	10,56	9,61	20,17
stacja 31	W-E	P2	0,9	35P	96,95	66,08	163,03
stacja 35	N-S	P1	1	9P	11,56	9,61	21,18
stacja 35	W-E	P2	0,9	35P	104,61	66,08	170,69
stacja 7	N-S	P2	1	9P	9,28	9,61	18,9
stacja 7	W-E	P2	0,9	35P	78,98	66,08	145,06
stacja 9	W-E	P1	0,9	9P	9,4	9,61	19,01
stacja 9	W-E	P2	0,9	35P	81,78	66,08	147,86
Rozstęp względny w wariancie 9P w %					22,66	-	12,42
Rozstęp względny w wariancie 35P w %					26,31	-	16,12

Uzyskane wyniki badań symulacyjnych pozwalają na określenie wpływu wymagań w zakresie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych na wartość wskaźnika EP_{H+W} . Porównano wartości $EP_{H+W,min.}$, $EP_{H+W,śr.}$, $EP_{H+W,max}$ odpowiednio w tych samych wariantach P przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r. (tabela 5.3.4 i 5.3.8.). Z porównania wartości wskaźnika EP_{H+W} zawartych w tabeli 5.3.4. z wartościami z tabeli 5.3.8 wynika, że wskaźnik ten jest niższy przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r., a różnice zawierają się w przedziale 5–7%. W dwóch wariantach 30P i 33P różnica ta jest jeszcze mniejsza, wynosi zaledwie ok. 1,5%, co wynika z bardzo dużego udziału wskaźnika EP_W we wskaźniku EP_{H+W} . Potwierdza to hipotezę, że

ograniczanie wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych na poziomie różnic jakie występują pomiędzy wymaganiami U z 2017 r. i z 2021 r. stanowi, jeden z wielu sposobów poprawy charakterystyki energetycznej budynku, ale ostatecznie nie ma tak znaczącego wpływ na wartość wskaźnika EP_{H+W} , jak na przykład rodzaj nośnika energii. Potwierdzają to między innymi wyniki badań statystycznych przedstawione w podrozdziale 8.5. Można więc podtrzymać wniosek postawiony w podrozdziale 5.2.4. dotyczącym energii końcowej, że również w przypadku wskaźnika EP_{H+W} dalsze zaostrzanie i tak wysoko postawionych wymagań co do wartości współczynnika U przegród budowlanych nie będzie miało istotnego wpływu na zmianę wartości tego wskaźnika.

Posługując się obowiązującą metodologią ściśle według [96], w grupie wymagań współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych z 2021 r. spośród analizowanych 35 wariantów oznaczonych literą P, tylko w niektórych przypadkach uzyskano wartość wskaźnika EP_{H+W} mniejszą od dopuszczalnej maksymalnej dla budynku wielorodzinnego, podanej w rozporządzeniu [97], wynoszącej $65 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ (tabela 5.3.8.). W całym badanym zbiorze wskaźników EP_{H+W} , przypadki takie to jedynie rozwiązania techniczne, w których jako nośnik energii wykorzystana jest biomasa w źródłach indywidualnych lub centralnych.

Przy obecnie obowiązujących wartościach współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej według rozporządzenia [96] sprawność systemu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody ma drugorzędne znaczenie przy wyznaczaniu wskaźnika EP_{H+W} o czym świadczy uzyskiwanie bardzo niskich wartości EP_{H+W} przy wysokich wartościach EK_{H+W} i na odwrót. A przecież to niska wartość wskaźnika energii końcowej EK_{H+W} wskazuje na wysoką sprawność i tym samym efektywność energetyczną systemu ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody przy takim samym zapotrzebowaniu budynku na energię użytkową. Jednak, przy podejściu polegającym na przeprowadzeniu oceny energetycznej budynku praktycznie tylko na sprawdzaniu wartości EP_{H+W} , kluczowym parametrem staje się współczynnik w_i , na którego wartość w bardzo wielu przypadkach nie ma wpływu ani inwestor ani projektant. Zniwelowanie występujących dużych różnic pomiędzy wartościami w_i poprzez poprawę sprawności całkowitej systemów technicznych jest w wielu przypadkach niemożliwe. Autor publikacji [30] na przykładzie wybranego budynku wskazuje, że posługiwanie się jedynie wskaźnikiem energii pierwotnej, może prowadzić do błędnej oceny stanu technicznego budynku, gdyż niska wartość tego wskaźnika nie zawsze będzie wskazywała na jego dobry stan techniczny.

Analizując zapotrzebowanie budynku na energię na granicy osłony bilansowej utworzonej przez przegrody budowlane o jakości energetycznej budynku tj. jego bryły wraz z wyposażeniem w systemy ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody świadczy wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK_{H+W} .

Tab. 5.3.10 Udział zapotrzebowania energii pierwotnej do przygotowania ciepłej wody przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

Nr wariantu ogrzewanie + ciepła woda	Oznaczenie wariantu ogrzewania	Oznaczenie wariantu przygotowania ciepłej wody	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody		Udział wskaźnika EP_w we wskaźniku $EP_{H+W, sr}$
			EP_w	$EP_{H+W, sr}$	udział
			kWh/(m ² · rok)		%
9P	2H	1W	9,61	20,71	46,40
3P	1H	1W	9,61	21,05	45,65
12P	2H	2W	10,67	21,76	49,03
6P	1H	2W	10,67	22,10	48,28
32P	17H	5W	13,36	30,71	43,50
34P	17H	6W	13,36	30,71	43,50
29P	16H	5W	13,36	31,61	42,27
31P	16H	6W	13,36	31,61	42,27
8P	2H	1W	38,02	82,49	46,09
2P	1H	1W	38,02	84,32	45,09
11P	2H	2W	42,02	86,53	48,56
5P	1H	2W	42,06	88,36	47,60
15P	5H	7W	45,16	106,22	42,52
25P	12H	8W	59,00	107,68	54,79
28P	15H	9W	64,13	110,02	58,29
13P	3H	12W	46,51	110,23	42,19
24P	11H	8W	59,00	110,43	53,43
27P	14H	9W	64,13	112,65	56,93
18P	7H	7W	45,16	112,68	40,08
21P	9H	3W	57,73	116,81	49,42
22P	9H	4W	57,73	116,81	49,42
23P	10H	8W	59,00	117,40	50,26
26P	13H	9W	64,13	119,54	53,65
16P	6H	3W	57,73	122,38	47,17
17P	6H	4W	57,73	122,38	47,17
19P	8H	3W	57,73	123,11	46,89
20P	8H	4W	57,73	123,11	46,89
14P	4H	11W	59,89	127,38	47,02
7P	2H	1W	59,86	130,01	46,04
1P	1H	1W	59,86	132,99	45,01
10P	2H	2W	66,2	136,35	48,55
33P	17H	10W	119,67	137,03	87,33
30P	16H	10W	119,67	137,93	86,76
4P	1H	2W	66,20	139,33	47,51
35P	17H	5W	66,08	144,06	45,87

Natomiast przy założeniu osłony bilansowej w miejscu wytwarzania oraz uwzględnieniu dostarczania nośnika energii lub energii do systemów technicznych w budynku zasadne jest analizowanie wartości wskaźnika EP_{H+W} . Oznacza to rozpatrywanie bilansu energetycznego na poziomie nieodnawialnej energii pierwotnej i może między innymi stanowić jedno z kryteriów oceny efektywności energetycznej systemów technicznych zaopatrywania budynków w energię oraz służyć do ich porównywania.

Przeprowadzone dla przyjętego w niniejszej pracy budynku, badania symulacyjne wskazują, że stosując obowiązującą metodologię i zawarte w niej wytyczne, pomimo bardzo dobrej izolacyjności cieplnej przegród budowlanych, wyposażenia budynku w systemy techniczne o wysokich sprawnościach całkowitych i spełniające wymagania warunków technicznych, nie jest możliwe dotrzymanie narzuconych w rozporządzeniu [97] wymagań w zakresie EP_{H+W} . Należy także podkreślić, że przyjęty do badań budynek charakteryzuje się raczej typową wartością współczynnika kształtu.

5.3.3 Przykładowe rozwiązania techniczne umożliwiające spełnienie wymagań w zakresie wskaźnika EP_{H+W}

Uzyskane wyniki obliczeń symulacyjnych zaprezentowane w niniejszej pracy wskazują, że największy wpływ na wartość wskaźnika EK_{H+W} i EP_{H+W} ma rodzaj systemu grzewczego i nośnika energii. Wskazują one także, że dla przyjętego modelu budynku, przy zastosowaniu w obliczeniach szczegółowych wytycznych zawartych w rozporządzeniu [96] spełnienie wymagań w zakresie wskaźnika EP_{H+W} w wielu przypadkach, przy zastosowaniu typowych i powszechnie stosowanych rozwiązań opisanych w rozdziale 4. jest niemożliwe. Dlatego w tym podrozdziale pracy, wykorzystując wcześniejsze analizy, podjęto próbę wskazania przykładowych rozwiązań i wartości wybranych parametrów związanych z systemem ogrzewania i przygotowania ciepłej wody, które mogą doprowadzić do spełnienia tych wymagań. Dane do poniższych analiz stanowiły wybrane wyniki obliczeń przedstawione w poprzednich rozdziałach niniejszej pracy. Przykładowe rozwiązania dotyczą przede wszystkim odnawialnych źródeł energii i scentralizowanych systemów zasilanych ze źródeł energii pracujących w kogeneracji. Wskaźnik zapotrzebowania budynku na energię użytkową do ogrzewania EU przyjęto z tabeli 5.1.1., natomiast do przygotowania ciepłej wody E_W na podstawie podrozdziału 4.3.6. Wykorzystano algorytm obliczeń opisany w podrozdziale 4.2. Konsekwentnie do poprzednich założeń, analizę przeprowadzono odrębnie dla wymagań w zakresie współczynnika U z 2017 r. i 2021 r. Uśrednione i szacunkowe dane stanowiące podstawę dalszych obliczeń zawiera tabela 5.3.11.

Ogólny opis przyjętych rozwiązań do dalszej analizy zamieszczono w tabeli 5.3.12. Założono, że wszystkie elementy instalacji wymagające izolacji termicznej dobrze zaizolowane.

Tab. 5.3.11 Dane do obliczeń

Lp.	Wyszczególnienie	Oznaczenie	Jednostka	Wartość	Źródło
1	średni wskaźnik energii użytkowej na ogrzewanie i wentylację przy wymaganiach U z 2017 r.	EU_H	kWh/(m ² ·rok)	46,08	tabela 5.1.1
2	średni wskaźnik energii użytkowej na ogrzewanie i wentylację przy wymaganiach U z 2021 r.	EU_H	kWh/(m ² · rok)	40,48	tabela 5.1.1
3	wskaźnik energii użytkowej do przygotowania ciepłej wody	E_W	kWh/(m ² · rok)	27,528	pkt. 4.3.6.
4	orientacyjny wskaźnik jednostkowy zapotrzebowania na końcową energię elektryczną na potrzeby ogrzewania z pompami ciepła	$E_{jel,pom,H}$	kWh/(m ² · rok)	2,5	tabela 4.3.8 tabela 5.3.5
5	wskaźnik jednostkowy zapotrzebowania na końcową energię elektryczną na potrzeby sytemu ogrzewania zasilanego centralnie ze źródła pracującego w kogeneracji	$E_{jel,pom,H}$	kWh/(m ² · rok)	1,13	tabela 4.3.8 tabela 5.2.5 (1H; 2H)
6	średni wskaźnik jednostkowy zapotrzebowania na końcową energię elektryczną na potrzeby ciepłej wody z wykorzystaniem pomp ciepła	$E_{jel,pom,W}$	kWh/(m ² · rok)	0,78	tabela 4.3.9 tabela 5.2.7 (8W; 9W)
7	wskaźnik jednostkowy zapotrzebowania na końcową energię elektryczną na potrzeby ciepłej wody zasilanego centralnie ze źródła pracującego w kogeneracji	$E_{jel,pom,W}$	kWh/(m ² · rok)	1,08	tabela 4.3.9 tabela 5.2.7 (1W; 2W)

Do wyznaczenia wskaźnika EP_{H+W} wykorzystano wartości sprawności cząstkowe systemów technicznych oraz współczynnika w_i z rozporządzenia [96], a także skorygowane w takim stopniu aby uzyskać wyniki niższe od maksymalnej wartości EP_{H+W} podanej w [97]. Wartości przykładowych, przejętych do symulacji parametrów systemów technicznych i uzyskane wyniki tych symulacji zawiera tabela 5.3.13. przy wymaganiach U z 2017 r. oraz tabela 5.3.14. przy wymagania U z 2021 r.

Tab. 5.3.12 Ogólny opis rozwiązań technicznych

Roz.	Rodzaj źródła ciepła		Typ instalacji		Rodzaj nośnika energii lub energii	
	ogrzewanie	ciepła woda	ogrzewanie	ciepła woda	ogrzewanie	ciepła woda
A	sprężarkowa pompa ciepła np. woda/woda lub grunt/ woda	sprężarkowa pompa ciepła np. woda/woda lub grunt/ woda	centralne, wodne, grzejnikowe 55 °C /45 °C z regulacją centralną i miejscową, układ z zasobnikiem lub bez	centralna, z przerwą w cyrkulacji, układ z zasobnikiem	energia elektryczna pozyskiwana częściowo z OZE	energia elektryczna pozyskiwana częściowo OZE
B	sprężarkowa pompa ciepła np. woda/woda lub grunt/ woda	sprężarkowa pompa ciepła np. woda/woda lub grunt/ woda	centralne, wodne, grzejnikowe 55 °C /45 °C z regulacją centralną i miejscową, układ z zasobnikiem lub bez	centralna, z przerwą w cyrkulacji, układ z zasobnikiem	gaz energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej	gaz energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej
C	sprężarkowa pompa ciepła powietrze/woda	sprężarkowa pompa ciepła powietrze/woda	centralne, wodne, grzejnikowe 55 °C /45 °C z regulacją centralną i miejscową, układ z zasobnikiem lub bez	centralna, z przerwą w cyrkulacji, układ z zasobnikiem	energia elektryczna pozyskiwana częściowo z OZE	energia elektryczna pozyskiwana częściowo z OZE
D	sprężarkowa pompa ciepła powietrze/woda	sprężarkowa pompa ciepła powietrze/woda	centralne, wodne, grzejnikowe 55 °C /45 °C z regulacją centralną i miejscową, układ z zasobnikiem lub bez	centralna, z przerwą w cyrkulacji, układ z zasobnikiem	gaz energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej	gaz energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej
E	centralne źródło ciepła pracujące w kogeneracji; zasilanie budynku z sieci ciepłowniczej poprzez węzeł cieplny	centralne źródło ciepła pracujące w kogeneracji; zasilanie budynku z sieci ciepłowniczej poprzez węzeł cieplny	centralne, wodne, grzejnikowe 55 °C /45 °C z regulacją centralną i miejscową; układ bez zasobnika	centralna, z przerwą w cyrkulacji, układ bez zasobnika	gaz/węgiel; energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej	gaz/węgiel energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej

Tab. 5.3.13 Wskaźnik EP_{H+W} , wartości sprawności i współczynnika w_i przy wymaganiach U z 2017 r.

rozwiązanie	Średnia sezonowa sprawność systemu grzewczego					Średnia sezonowa sprawność systemu ciepłej wody					Współczynnik w_i			EP_{H+W} kWh/m ² ·rok
	$\eta_{H,g}$	$\eta_{H,s}$	$\eta_{H,d}$	$\eta_{H,e}$	$\eta_{H,tot}$	$\eta_{W,g}$	$\eta_{W,s}$	$\eta_{W,d}$	$\eta_{W,e}$	$\eta_{W,tot}$	energia elekt.	gaz	kog.	
A 1	3,50	0,90	0,90	0,89	2,523	3,00	0,85	0,80	1,00	2,040	2,4	-	-	84,56
A 2	4,20	0,93	0,90	0,89	3,129	3,80	0,90	0,80	1,00	2,736	3,0	-	-	84,21
B 1	1,60	0,93	0,90	0,89	1,192	1,40	0,85	0,80	1,00	0,952	3,0	1,1	-	84,18
B 2	1,60	0,93	0,96	0,89	1,271	1,40	0,88	0,70	1,00	0,862	3,0	1,1	-	84,82
C 1	2,80	0,90	0,90	0,88	1,996	2,70	0,85	0,80	1,00	1,836	2,0	-	-	82,72
C 2	3,30	0,90	0,96	0,89	2,538	3,50	0,85	0,70	1,00	2,083	2,4	-	-	83,18
D 1	1,60	0,90	0,90	0,88	1,140	1,50	0,85	0,80	1,00	1,020	3,0	1,1	-	83,97
D 2	1,50	0,93	0,96	0,89	1,192	1,30	0,90	0,80	1,00	0,936	3,0	1,1	-	84,72
E 1	0,98	1,00	0,90	0,88	0,776	0,97	1,00	0,80	1,00	0,776	3,0	-	0,8	82,50
E 2	0,93	1,00	0,90	0,88	0,737	0,91	1,00	0,70	1,00	0,637	3,0	-	0,7	80,67
Objaśnienie: liczbę (1 lub 2) przy oznaczeniu rozwiązania podano w celu oznaczenia innej kombinacji parametrów urządzeń i elementów systemu technicznego przy tym samym rozwiązaniu.														

Tab. 5.3.14 Wskaźnik EP_{H+W} , wartości sprawności i współczynnika w_i przy wymaganiach U z 2021 r.

związanie	Średnia sezonowa sprawność systemu grzewczego					Średnia sezonowa sprawność systemu ciepłej wody					Współczynnik w_i			EP_{H+W} kWh/m ² ·rok
	$\eta_{H,g}$	$\eta_{H,s}$	$\eta_{H,d}$	$\eta_{H,e}$	$\eta_{H,tot}$	$\eta_{W,g}$	$\eta_{W,s}$	$\eta_{W,d}$	$\eta_{W,e}$	$\eta_{W,tot}$	energia elekt.	gaz	kog.	
A 1	3,50	0,93	0,90	0,89	2,607	3,00	0,85	0,80	1,0	2,040	2,0	-	-	64,60
A 2	4,40	0,93	0,96	0,89	3,496	4,30	0,85	0,85	1,0	3,107	2,7	-	-	64,04
B 1	1,70	0,93	0,96	0,89	1,351	1,60	0,90	0,85	1,0	1,224	3,0	1,1	-	64,26
B 2	1,70	0,93	0,96	0,88	1,336	1,60	0,90	0,85	1,0	1,224	3,0	1,1	-	64,64
C 1	3,00	0,93	0,90	0,89	2,235	2,90	0,85	0,80	1,0	1,972	1,8	-	-	63,64
C 2	3,50	1,00	0,96	0,93	3,125	3,70	0,86	0,80	1,0	2,546	2,4	-	-	64,92
D 1	2,00	0,93	0,90	0,89	1,490	1,80	0,85	0,80	1,0	1,224	3,0	1,1	-	64,47
D 2	1,80	1,00	0,90	0,89	1,442	1,70	0,90	0,85	1,0	1,301	3,0	1,1	-	64,01
E 1	0,98	1,00	0,96	0,89	0,837	0,97	1,00	0,85	1,0	0,825	3,0	-	0,7	63,84
E 2	0,93	1,00	0,90	0,88	0,737	0,91	1,00	0,75	1,0	0,655	3,0	-	0,6	64,81
Objaśnienie: liczbę przy oznaczeniu rozwiązania podano w celu oznaczenia inną kombinację parametrów urządzeń i elementów systemu technicznego przy tym samym rozwiązaniu														

Uzyskanie wymaganej wartości wskaźnika EP_{H+W} jest trudne i wymaga stosowania rozwiązań o bardzo wysokiej średniorocznej sprawności całkowitej systemów technicznych przy jednoczesnym obniżeniu wartości współczynnika w_i . Jeszcze trudniej spełnić wymagania, które będą obowiązywały od 1 stycznia

2021 r. ponieważ spadek energii użytkowej na ogrzewanie z tytułu poprawy izolacyjności cieplnej budynku i zmienności pozostałych parametrów mających wpływ na tę energię wyniósł ok. 12% (wartość obliczona dla uśrednionego EU_H) natomiast wymaganie EP_{H+W} z 85 kWh/(m² · rok) obniżono do 65 kWh/(m² · rok) co stanowi spadek rzędu 24%. Dodatkowo, należy zauważyć, że wartość wskaźnika EP_{H+W} zawiera również energię na potrzeby ciepłej wody, co na przykład przy braku możliwości ograniczenia tego zapotrzebowania przekłada się na konieczność jeszcze większego procentowego ograniczenia zapotrzebowania na energię związaną z ogrzewaniem i wentylacją budynku. To z kolei wymusza stosowanie rozwiązań niepopularnych, najprawdopodobniej bardzo drogich, dlatego pojawia się pytanie o opłacalność tego typu inwestycji. Ponownie pojawia się problem stawiania identycznych wymagań co do wartości EP_{H+W} bez względu na lokalizację budynku w strefie klimatycznej. Oznacza to jeszcze większe trudności przy planowaniu inwestycji w budynkach zlokalizowanych na obszarach o dużej liczbie stopniodni.

6 Podsumowanie

W pracy podjęto próbę określenia wpływu lokalizacji budynku, parametrów przegród budowlanych oraz rodzaju systemu ogrzewania i systemu przygotowania ciepłej wody na zmienność charakterystyki energetycznej budynku. Badano zmianę wartości wskaźnika rocznego zapotrzebowania budynku na nieodnawialną energię pierwotną (EP_{H+W}), który stanowi jedno z kryteriów oceny energetycznej budynku. Również między innymi poprzez ten wskaźnik definiowany jest standard energetyczny budynku. Maksymalne dopuszczalne wartości wskaźnika EP_{H+W} zawarte w polskim akcie prawnym [97], nie mogą być przekroczone przy projektowaniu nowych budynków, ponieważ jest to jeden z obligatoryjnych warunków jakie budynek powinien spełniać. Wartości graniczne tego wskaźnika są zróżnicowane w zależności od typu budynku i rodzaju jego potrzeb energetycznych. W pracy szczegółowo analizowano zmiany wskaźników energetycznych budynku związane z zapotrzebowaniem energii do ogrzewania i wentylacji oraz przygotowanie ciepłej wody na modelu budynku mieszkalnego wielorodzinnego, z wentylacją grawitacyjną, nie wyposażonego w system chłodzenia.

Uzyskane wyniki parametrycznych badań symulacyjnych wraz z przeprowadzoną analizą statystyczną potwierdzają hipotezy badawcze sformułowane na początku niniejszej pracy.

Na podstawie wyników z wykonanych badań można sformułować następujące wnioski.

1. Podniesienie standardu energetycznego budynku poprzez zmniejszanie wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych (U) obowiązujących od 1 stycznia 2021 r. w stosunku do obowiązujących od 1 stycznia 2017 r. powoduje obniżenie wartości wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię użytkową na ogrzewanie i wentylację (EU_H), obliczonego przy średniej wartości energii użytkowej $Q_{H,nd}$ o ok. 12%. Średnia (globalna) wartość wskaźnika EU_H , bez szczegółowej analizy wpływu współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego (g), wyniosła 46,08 oraz 40,48 kWh/(m²·rok), odpowiednio przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i 2021 r. Po uwzględnieniu zmienności współczynnika g średnia globalna wartość to odpowiednio 48,40 oraz 42,64 kWh/(m²·rok).
2. Krajowe przepisy techniczno-budowlane [97] nie różnicują wymagań co do wartości wskaźnika EP_{H+W} w zależności od lokalizacji budynku w strefie klimatycznej, co oznacza postawienie budynkowi takich samych wymagań przy różnej liczbie stopniodni. Zakres zmienności liczby stopniodni (S_d) na obszarze Polski, przyjęty do obliczeń, przy standardowym użytkowaniu

budynku mieszkalnego, zawiera się w przedziale 3429,3–4434,7 dzień·K/rok. Z analizy statystycznej wynika, że korelacje pomiędzy S_d i $Q_{H,nd}$ są istotne i silne, a zastosowany model regresji wskazuje, że wpływ S_d na $Q_{H,nd}$ jest istotny i dodatni bez względu na wymagania współczynnika U . Skrajne wartości wskaźnika EU_H odniesione do wartości średnich różnią się o ok. 36% przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. i ok. 37% przy wymaganiach z 2021 r. Największe zmiany względne wskaźnika EU_H jakie uzyskano to odpowiednio ok. 67% i ok. 72%. Dlatego zaproponowano wprowadzenie współczynnika korekcyjnego o wartościach 0,84–1,31 w zależności od przyjętych przedziałów stopniodni (tabela 5.1.4.). Zasadne wydaje się uwzględnianie tego przy formułowaniu wymagań dotyczących EP_{H+W} budynku, szczególnie przy niskich wartościach współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych.

3. Analiza wpływu parametrów związanych z zyskami od promieniowania słonecznego na wskaźnik EU_H wykazała, że zmiana położenia budynku względem stron świata z N-S na E-W (obróć o 90°) powoduje wzrost wartości wskaźnika EU_H o ok. 5%, zmiana stopnia przeszklenia z dopuszczanego minimalnego na maksymalne to wzrost wskaźnika o 2–3%, zmiana wartości przepuszczalności promieniowania (g) w największym z możliwych przedziałów 0,75–0,50 to wzrost zapotrzebowania na energię użytkową o 14% natomiast spadek parametru g do 0,64 to już tylko wzrost o ok. 5%, wpływ zacienienia od przeszkód zewnętrznych kształtuje się na poziomie ok. 3%. Stosując różne kombinacje wyżej wymienionych parametrów w danej stacji meteorologicznej uzyskano największą zmienność wskaźnika EU_H , w odniesieniu do wartości średniej, na poziomie kilkunastu procent. Natomiast z porównania uzyskanych wartości wskaźnika EU_H pomiędzy stacjami meteorologicznymi wynika, że zyskami ciepła od promieniowania słonecznego nie da się zniwelować różnicy wynikającej z liczby stopniodni.
4. Zmniejszenie jednostkowych wewnętrznych zysków ciepła z 6,5 W/m² na 6,0 W/m² powoduje wzrost, zaś zwiększenie ich z 6,5 W/m² do 7,0 W/m² spadek wartości wskaźnika EU_H o ok. 4–6%. Im liczba stopniodni jest większa tym wpływ tych zysków na zapotrzebowanie budynku na energię użytkową jest mniejszy.
5. Parametry dotyczące bryły budynku, które można odpowiednio dobrać przy jej projektowaniu takie jak: izolacyjność cieplna przegród budowlanych, stopień przeszklenia, zdolność przegród przezroczystych do przepuszczania promieniowania słonecznego, zacienienie od przeszkód zewnętrznych, ustawienie względem stron świata mają bezpośredni wpływ na zapotrzebowanie na energię użytkową. Wynikająca z niej wartość wskaźnika EU_H umożliwia ocenę przyjętych rozwiązań architektonicznych oraz konstrukcyjnych, które mają wpływ na jakość energetyczną budynku.

W prowadzonych w niniejszej pracy badaniach, w całym zbiorze elementów, przy tych samych wymiarach geometrycznych budynku, bez podziału na wymagania współczynnika U , uzyskano następujące skrajne wartości EU_H : wartość minimalną 31,64 oraz wartość maksymalną 63,83 kWh/(m²·rok). Wartość minimalna została uzyskana przy wymaganiach dla U z 2021 r., przy $S_d = 3429,3$ dzień·K/rok, wewnętrznych zyskach ciepła $q_{int.} = 7,0$ W/m² oraz przy najkorzystniejszej konfiguracji parametrów mających wpływ na zyski ciepła od promieniowania słonecznego od przegród przezroczystych. Wartość maksymalna przy współczynnikach U z 2017 r., przy $S_d = 4434,7$ dzień·K/rok, wewnętrznych zyskach ciepła $q_{int.} = 6,0$ W/m² oraz przy najmniej korzystnej wyżej opisanej konfiguracji. Największy wpływ na wartość wskaźnika EU_H mają współczynniki przenikania ciepła oraz liczba stopniodni.

6. Dynamiczny rozwój techniki sanitarnej w zakresie systemów grzewczych umożliwia stosowanie rozwiązań technicznych o wysokich, ale jednak różniących się od siebie sprawnościach. Bryłę budynku o danym wskaźniku EU_H można, wyposażyć w różnego rodzaju systemy techniczne, co może skutkować uzyskaniem wskaźników rocznego zapotrzebowania budynku na energię końcową do ogrzewania i wentylacji (EK_H) o bardzo różnych wartościach. Wartości wskaźnika EK_H mogą różnić się od kilku do kilkudziesięciu procent, a nawet kilkukrotnie. Wskazuje to na bardzo silny wpływ parametrów charakteryzujących system ogrzewania, poczynając od wytwarzania ciepła, poprzez jego dystrybucję i wykorzystanie, na jakość energetyczną budynku.
7. Należy zauważyć, że w budynkach o takiej samej bryle, wyposażonych w identyczne systemy ogrzewania wskaźniki energii końcowej EK_H różnią się o ok. 13–17% ze względu na liczbę stopniodni czyli lokalizacja budynku w strefie klimatycznej. Natomiast porównanie tego wskaźnika pomiędzy grupami wymagań współczynnika U z 2017 r. i z 2021 r. wskazuje na spadek ok. 14% bez względu na rodzaj systemu ogrzewania.
8. Dążenie do ograniczania zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji powoduje, że w budynkach rośnie udział energii niezbędnej do przygotowania ciepłej wody. Udział ten w badanym budynku mieszkalnym jest znaczny, kształtuje się na poziomie 40–50% i rośnie przy większych wymaganiach izolacyjności cieplnej przegród budowlanych. Natomiast rozstęp względny pomiędzy maksymalną a minimalną wartością wskaźnika energii końcowej na przygotowanie ciepłej wody (EK_W) wynosi ponad 30%.
9. Większy wskaźnik jednostkowy energii pomocniczej niezbędnej do pracy systemów technicznych występuje w systemach ogrzewania niż przygotowania ciepłej wody. Jej udział we wskaźniku EK_W to 1–3%, natomiast we wskaźnika EK_H , w systemach tradycyjnych to ok. 2%,

w układach z pompą ciepła to kilkanaście procent. Występują przypadki w których udział tej energii wzrasta nawet do 30%.

10. Przy rozpatrywaniu zapotrzebowania budynku na energię na granicy osłony bilansowej utworzonej przez przegrody budowlane o jakości energetycznej budynku tj. jego bryły wraz z wyposażeniem w systemy ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody, świadczy wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK_{H+W} . To przede wszystkim ten wskaźnik charakteryzuje jakość izolacyjności cieplnej budynku w powiązaniu z efektywnością energetyczną systemów technicznych w obrębie budynku i dlatego powinien on być wykorzystywany do oceny jakości energetycznej oraz opisu standardu energetycznego samego budynku. Na podstawie wartości wskaźnika EK_{H+W} można ocenić zastosowane rozwiązania architektoniczne i instalacyjne pod względem wymagań energetycznych. Rozstęp względny wskaźnika EK_{H+W} bez względu na wymagania współczynnika U , w zbiorze wartości minimalnych, maksymalnych lub średnich, związany jedynie z wyborem rozwiązań instalacyjnych systemów technicznych kształtuje się na poziomie 70%. Przy tych samych wymiarach geometrycznych budynku skrajne wartości EK_{H+W} jakie uzyskano w wyniku przeprowadzonych badań wpływu różnych parametrów na zmienność energii użytkowej i końcowej łącznie to 37,02 oraz 170,29 kWh/(m²·rok).
11. Obecnie, według obowiązującego krajowego rozporządzenia [97] są dwa podstawowe kryteria wymagań jakie należy spełnić jednocześnie w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej, w budynku nowoprojektowanym, wielorodzinnym, bez systemu chłodzenia. Kryterium pierwsze – współczynniki przenikania ciepła projektowanych przegród budowlanych nie mogą być wyższe od dopuszczalnych maksymalnych. Kryterium drugie - wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na cele ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody nie powinien być większy niż 85 kWh/(m²·rok) (od 1 stycznia 2017 r.) oraz 65 kWh/(m²·rok) (od 1 stycznia 2021 r.). Przeprowadzone parametryczne badania symulacyjne wykazały, że pomimo spełnienia kryterium pierwszego, stosując dostępne rozwiązania techniczne o wysokich sprawnościach w wielu rozpatrywanych wariantach kryterium drugie nie jest spełnione, a uzyskane wartości są dalekie od wymaganych. Stosując ściśle metodologię według rozporządzenia [96] wymagania spełniają tylko rozwiązania wykorzystujące biomasę. Wydaje się, że stawianie wymagania w zakresie wskaźnika EP_{H+W} jednakowego dla wszystkich budynków bez względu na ich lokalizację w strefie klimatycznej, uwarunkowania techniczne umożliwiające korzystanie z istniejących dostępnych sposobów zasilania i nośników o narzuconej wartości współczynnika w_i wymagają weryfikacji i zróżnicowania wartości wskaźnika EP_{H+W} . W wielu przypadkach, przy

projektowaniu budynków projektanci nie mają możliwości dokonywania wyboru dowolnych rozwiązań. Barrierami są często uwarunkowania formalno-prawne, techniczne i wreszcie ekonomiczne. Na etapie projektowania budynku konieczne jest szersze spojrzenie na zagadnienia związane z energochłonnością, a także proponowanie dobranych z dużą starannością, pod względem technicznym oraz kosztowym, rozwiązań architektonicznych, budowlanych, konstrukcyjnych i instalacyjnych

12. Jak wykazały badania symulacyjne zmniejszenie wartości współczynników U powoduje spadek wskaźnika EP_{H+W} o ok. 12%, natomiast w wymaganiach zawartych w rozporządzeniu [97] wskaźnik ten został obniżony aż o ok. 24% tj. z wartości 85 na 65 kWh/(m²·rok). Wcześniej, tj. od 1 stycznia 2017 r. wskaźnik EP_{H+W} również został zmniejszony o ok. 24% tj. z wartości 105 na 85 kWh/(m²·rok) przy jednoczesnym, podobnym poziomie ograniczenia współczynników U . Należy nadmienić, że we wskaźniku EP_{H+W} zawiera się, także wskaźnik zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody EP_W . Jego udział we wskaźniku EP_{H+W} jest w wielu przypadkach znaczący, natomiast w żaden sposób nie powiązany ze współczynnikami przenikania ciepła przegród budowlanych. W badaniach symulacyjnych uzyskano przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r. globalną (ze wszystkich rozpatrywanych wariantów) wartość średnią wskaźnika EP_{H+W} = 101,82 kWh/(m²·rok), natomiast przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r. EP_{H+W} = 96,24 kWh/(m²·rok). Wartości te są znacznie wyższe od wartości dopuszczalnych maksymalnych podanych w wyżej wymienionym rozporządzeniu.
13. Rozpatrywane w niniejszej pracy wszystkie warianty, w których wykorzystywano jako nośnik energii biomasę, charakteryzowały się wartościami wskaźnika $EP_{H+W,śr}$, ok. 2 lub ok. 3 razy mniejszymi od wartości maksymalnych. Dlatego dla takich przypadków można podnieść wymaganie standardu energetycznego budynku poprzez obniżenie wartości wskaźnik EP_{H+W} . Nie dawałoby to wówczas możliwości stosowania systemu ogrzewania oraz systemu przygotowania ciepłej wody o niskiej efektywności energetycznej rekompensowanej małą wartością współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej (w_i dla biomasy 0,20 lub 0,15 według rozporządzenia [96]). Również to potwierdza hipotezę o wykorzystywaniu wskaźnika EK_{H+W} do oceny jakości energetycznej budynku.
14. Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wpływu poszczególnych parametrów na energię użytkową, końcową i pierwotną uzyskano przy tej samej geometrii budynku następujące skrajne wartości wskaźnika EP_{H+W} : minimalną 18,55 kWh/(m²·rok) oraz maksymalną 183,27 kWh/(m²·rok). Nie zawsze budynek charakteryzujący się niską wartością wskaźnika EK_{H+W} ma również niską wartość wskaźnika EP_{H+W} i na odwrót. W podrozdziale 5.3.3. przedstawiono przykładowe rozwiązania systemów technicznych wraz z ich

sprawnościami cząstkowymi pozwalające na spełnienie wymagań w zakresie wskaźnika EP_{H+W} podanych w rozporządzeniu [97]. Wyniki symulacji wskazują, że do rozwiązań tych należą układy wykorzystujące odnawialne źródła energii lub źródła energii pracujące w skojarzeniu (kogeneracji). Jednocześnie system grzewczy oraz system przygotowania ciepłej wody powinny charakteryzować się bardzo wysokimi sprawnościami. W niektórych przypadkach, aby zmniejszyć wartość współczynnika $w_{i,el}$, konieczne jest pokrycie od 20% do 60% zapotrzebowania na energię elektryczną pomocniczą z odnawialnych źródeł energii. Ważne jest również uzyskanie w kogeneracji współczynnika w_i na poziomie przynajmniej 0,6–0,7 tj. poniżej standardowo przyjmowanego 0,8 dla gazu lub węgla. Należy zaznaczyć, że zmniejszenie wartości współczynnika w_i oraz $w_{i,el}$ może wiązać się z koniecznością wdrażania kosztownych rozwiązań technicznych. Dlatego przed podjęciem ostatecznej decyzji o sposobie pokrycia potrzeb ciepłych budynku niezbędne jest przeprowadzenie analizy opłacalności konkretnego rozwiązania.

15. Stosowanie układów kogeneracyjnych oraz wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii powoduje obniżenie wartości wskaźnika EP_{H+W} . Jednak wymagania prawne standardu energetycznego dla budynku powinny być tak postawione, aby możliwe było ich dotrzymanie przy projektowaniu standardowych rozwiązań powszechnie dostępnych, również z uwzględnieniem aspektu opłacalności inwestycji. Przeprowadzone badania wykazują jednak, że pomimo spełnienia wymagań izolacyjności cieplnej przegród budowlanych, przy dobrej sprawności całkowitej systemów stosowanych w technice instalacyjnej, w wielu wariantach rozwiązań nie jest możliwe otrzymanie wymaganych wartości wskaźnika EP_{H+W} .
16. Przy założeniu osłony bilansowej w miejscu wytwarzania oraz uwzględnieniu dostarczania nośnika energii lub energii do systemu technicznego ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody stanowiącego wyposażenie techniczne budynku zasadne jest analizowanie wartości wskaźnika EP_{H+W} . Oznacza to rozpatrywanie bilansu energetycznego na poziomie nieodnawialnej energii pierwotnej. Dlatego wskaźnik EP_{H+W} może między innymi stanowić jedno z kryteriów oceny efektywności energetycznej różnych systemów technicznych zaopatrywania budynków w energię oraz służyć do porównywania tych systemów pod tym względem.
17. Wartość wskaźnika EP_{H+W} w dużym stopniu zależy od rodzaju wykorzystywanego paliwa i energii oraz sposobu produkcji energii do zasilania budynku. Jest to ściśle związane z emisją zanieczyszczeń do atmosfery, czyli aspektami środowiskowymi.
18. Dlatego wskaźnik ten powinien być przede wszystkim traktowany jako kryterium oceny jakości ekologicznej budynku.

7 Bibliografia

- [1] Ahmad M. W., Mourshed M., Mundow D., Sisinni M., Rezgui Y., *Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research.*, Energy and Buildings, vol. 120, p. 85–102, 2016.
- [2] Alexandre J. L., Freire A., Teixeira A. M., Silva M., Rouboa A., *Impact of European Standard EN15251 in the energy certification of services buildings – A Portuguese study case*, Energy Policy, vol. 39 p. 6390–6399, 2011.
- [3] Alsabry A., Staniec M., *Szczegółowa analiza zużycia energii wybranej grupy budynków na terenie miasta Zielona Góra i okolic*, Przegląd budowlany, vol. 9, p. 62–67, 2011.
- [4] Araujo C., Almeida M., Braganca L., *Analysis of some Portuguese thermal regulation parameters*, Energy and Buildings, vol. 58, p. 141–150, 2013.
- [5] Ascione F., Bianco N., De Masi R. F., De Rossi F., Vanoli G. P., *Energy retrofit of an educational building in the ancient center of Benevento. Feasibility study of energy savings and respect of the historical value*, Energy and Buildings, vol. 95, p. 172–183, 2015.
- [6] Aste N., Adhikari R. S., Buzzutti M., *Beyond the EPBD : The low energy residential settlement Borgo Solare*, Applied Energy, vol. 87, p. 629–642, 2010.
- [7] Babiarcz B., *Wpływ udziału różnych źródeł pokrywających potrzeby cieplne budynku na jego charakterystykę energetyczną*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 42/5, p. 186–189, 2011.
- [8] Babiarcz B., Szymański W., *Analiza zapotrzebowania na ciepło na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej w budownictwie wielorodzinnym*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 42/5, p. 205–208, 2011.
- [9] Backlund S., Thollander P., *Impact after three years of the Swedish energy audit program*, Energy, vol. 82, p. 54–60, 2015.
- [10] Ballarini I. Corrado V., *Application of energy rating methods to the existing building stock: Analysis of some residential buildings in Turin*, Energy and Buildings, vol. 41, p. 790–800, 2009.
- [11] Bartnicki G., Paduchowska J., *Zużycie ciepłej wody użytkowej w lokalach mieszkalnych budynku wielorodzinnego*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 42/7-8, p. 317–319, 2011.
- [12] Basińska M., Koczyk H., *Wpływ rozwiązania strukturalnego instalacji c.o. i c.w. na efektywność instalacji*, Instal, vol. 11, p. 29–31, 2011.

- [13] Bonder L., Wiszniewski A., *Wskaźnik energii pierwotnej dla ogrzewania scentralizowanego*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 7–8, p. 3–6, 2008.
- [14] Borkowski P., Pawłowski M., Mazur Ł., *Systemy zarządzania budynkiem (HMS/BMS) wpływające na energooszczędność budynku*, Przegląd elektrotechniczny, vol. 6, p. 57–60, 2010.
- [15] Branado de Vasconcelos A., Pinheiro M. D., Manso A., Cabaco A., *EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of building develop of Portuguese residential reference building*, Energy and Buildings, vol. 111, p. 12–25, 2016.
- [16] Bull R., Chang N., Fleming P., *The use of building energy certificates to reduce energy consumption in European public buildings*, Energy and Buildings, vol. 50, p. 103–110, 2012.
- [17] Carpio M., Martin-Morales M., Zamorano M., *Comparative study by an expert panel of documents recognized for energy efficiency certification of buildings in Spain*, Energy and Buildings, vol. 99, p. 98–103, 2015.
- [18] Cholewa T., Siuta-Olcha A., *Analiza efektywności energetycznej wybranych systemów grzewczych stosowanych w budynkach wielorodzinnych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 45/9, p. 338–340, 2014.
- [19] Cholewa T., Siuta-Olcha A., *Racjonalizacja zużycia energii w budownictwie mieszkaniowym*, Ośrodek Informacji Technika instalacyjna w budownictwie, Warszawa, 2016.
- [20] Cholewa T., Bordzoł M., *Ocena wpływu zastosowania zaworów termostatycznych na zużycie ciepła w budynkach wielorodzinnych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 10, p. 392–395, 2015.
- [21] Chudzicki J., *Instalacje ciepłej wody w budynkach*, Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa-Poznań, 2006.
- [22] Csoknyai T., Hrabovszky-Horvath S., Georgiev Z., Jovanovic-Popovic M., Stankovic B., Villatoro O., Szendro G., *Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in Eastern-European countries*, Energy and Buildings, vol. 132, p. 39–52, 2016.
- [23] Dall'O' G., Sarto L., Galante A. Pasetti G., *Comparison between predicted and actual energy performance for winter heating in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy)*, Energy and Buildings, vol. 47, p. 247–253, 2012.
- [24] Dall'O' G., Galante A., Torri M., *A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale*, Energy and Buildings, vol. 48, p. 211–219, 2012.
- [25] Dumala M., Skwarczyński M., *Wpływ systemów wentylacyjnych na wskaźnik energii pierwotnej oraz zużycie energii*, Instal, p. 28–31, 2012.

- [26] Dumala M., Skwarczyński M., *Czynności modernizacyjne i ich wpływ na charakterystykę energetyczną wybranego budynku jednorodzinnego*, Instal, vol. 12, p. 24–31, 2010.
- [27] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/UE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
- [28] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/EU z 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz. Urz. UE L 153 z 18 czerwca 2010).
- [29] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/EU z 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej (Dz. Urz. UE z 14 listopada 2012).
- [30] Dzierżkowski M., Rymarczyk Z., *Ochrona cieplna budynków*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 42/6, p. 245–252, 2011.
- [31] Florio P., Teissier O., *Estimation of the Energy Performance Certificate of a housing stock characterised via qualitative variables through a typology-based approach model: A fuel poverty evaluation tool*. Energy and Buildings, vol. 89, p. 39–48, 2015.
- [32] Foit H., Szewczyk M., *Określenie charakterystyki cieplnej istniejącego budynku z zastosowaniem dwukrotnego pomiaru*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol 42/1, p. 30–34, 2011.
- [33] Gamtessa S., *An Explanatio of residential energy-efficiency retrofit behavior in Kanada*, Energy and Buildings, vol. 57, p. 155–164, 2013.
- [34] Gil S., Rozpondek M., Grzychowski T., *Porównanie warunków cieplnych i jakości środowiska wewnętrznego budynku energooszczędnego z budynkiem tradycyjnym*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 42/11, p. 459–465, 2011.
- [35] Górzyński J., *Auditing energetyczny obiektów przemysłowych*. Fundacja Poszanowania Energii. Warszawa, 1995.
- [36] Grudzińska M., Ostańska A., Życzyńska A., *Low Energy and Passive Buildings Medium*, Warszawa, 2017.
- [37] Hamdy M., Hasan A., Siren K., *A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD – recast 2010*, Energy and Buildings, vol. 56, p. 189–203, 2013.
- [38] Hernandez P., Burke K., Lewis J. O., *Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: An example for Irish primary schools*, Energy and Buildings, vol. 40, p. 249–254, 2008.
- [39] Jarzemka M., Węglarz A., *Przykłady dobrych praktyk w zakresie termomodernizacji budynków w Polsce*, Materiały Budowlane, vol. 1 p. 29–31, 2011.
- [40] Kasperkiewicz K., *Metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku mieszkalnego na podstawie monitoringu dostawy*

- ciepła z sieci ciepłowniczej*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 12, p. 11–13, 2008.
- [41] Khayatian F., Sarto L., Dall'O' G., *Application of neural networks for evaluating energy performance certificates of residential buildings*, Energy and Buildings, vol. 125, p. 45–54, 2016.
 - [42] Koczyk H., Antonowicz B., *Wpływ sposobu zaopatrzenia w ciepło budynku energooszczędnego na etykietę energetyczną*. Budownictwo niskoenergetyczne, p. 289–296, 2008.
 - [43] Koczyk H., *Ogrzewnictwo praktyczne. Projektowanie. Montaż. Certyfikacja energetyczna. Eksploatacja*. Systherm, 2009.
 - [44] Koc D., *Jakość energetyczna budynków zgodnie z Dyrektywą Unii Europejskiej 2002/91/EC*, Polska Energetyka Słoneczna, vol. 3-4, p. 41–45, 2005.
 - [45] Koc D.: *Polityka i Mechanizmy zwiększania efektywności wykorzystania energii w wybranych grupach produktów*, Izolacje, vol. II, p. 26–33, 2008.
 - [46] Krawczyk D., Sojko-Gil A., *Wpływ termomodernizacji obiektów na wartość wskaźników EP i EK na przykładzie budynku przedszkola*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, vol. 1, p. 199–204, 2010.
 - [47] Kubski P., *Wpływ pompy grzewczej zastosowanej w instalacji ogrzewania budynku na wartość wskaźnika EP (nakładu energii pierwotnej)*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 44/12, p. 504–508, 2013.
 - [48] Kubski P., *O możliwości poprawy wskaźnika EP budynku przez zastosowanie pompy ciepła*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 42/10, p. 413–416, 2011.
 - [49] Kubski P., *O konieczności rozpatrzenia racjonalnych możliwości wykorzystania wysokoefektywnych alternatywnych systemów zaopatrzenia budynków w energię i ciepło*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 46/1, p. 6–10, 2015.
 - [50] Kubski P., *Znaczenie współczynnika nakładu energii pierwotnej na wytwarzanie ciepła sieciowego*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 8, p. 291–295, 2014.
 - [51] Kurtz K., Gawin D., *Certyfikacja energetyczna budynków z przykładami*. Alta 2, 2012.
 - [52] Kwiatkowski J., *Efektywność energetyczna a systemy wielokryterialnej oceny budynków*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 16–18, 2016.
 - [53] Lara R. A., Pernigotto G., Cappelletti F., Romagnoni P., Gasparella A., *Energy audit of school by means of luster analysis*, Energy and Buildings, vol. 95, p. 160–171, 2015.
 - [54] Laskowski L., *Deklarowana i faktyczna charakterystyka cieplna małych budynków mieszkalnych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 1 p. 9–13, 2005.
 - [55] Laskowski L., *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa. 2005.

- [56] Lis A., *Ocena poziomu zużycia ciepła w budynkach*. Czasopismo Techniczne, Budownictwo, vol. 106, p. 157–165, 2009.
- [57] Lis A., *Udział okien w stratach ciepła*. Budownictwo niskoenergetyczne, p. 289–296, 2008.
- [58] Lis A., *Ocena poziomu zużycia ciepła w budynkach*. Budownictwo niskoenergetyczne, p. 297–304, 2008.
- [59] Lis P., Sekret P., *Analiza porównawcza sezonowego zużycia ciepła do ogrzewania budynków edukacyjnych*. Budownictwo niskoenergetyczne, p. 305–312, 2008.
- [60] Lis P., Sekret P., *Tendencje kształtowania istniejących budynków edukacyjnych i ich wpływ na energochłonność ogrzewania*. Budownictwo niskoenergetyczne, p. 313–320, 2008.
- [61] Lis P., Sekret P., *Racjonalizacja gospodarki ciepłem w zespole budynków użyteczności publicznej*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 9, p. 29, 2008.
- [62] Ma Z., Cooper P., Daly D., Ledo L., *Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art*. Energy and Buildings, vol. 55, p. 889–902, 2012.
- [63] Malovanij M., Życzyńska A., *Vpliv sposobu zabezpečennia budynku energiu na velicinu ricnoi potrebi na nevidnovluvalnu pervinnu energiu*, 4-j Miżnarodnij Kongres Zahist Na Vkolisnogo Seredoviska. Energoosadnist. Zbalansowane Prirodnokoristuvanna, Lviv 2016, p. 97, 2016.
- [64] Malovanij M., Życzyńska A., *Perspektivist provedenna kompleksovoj termomodernizaciji dla minimalizaciji energovitrat na opalenia budinkiv*, 4-j Miżnarodnij Kongres Zahist Na Vkolisnogo Seredoviska. Energoosadnist. Zbalansowane Prirodnokoristuvanna, Lviv 2016, p. 95, 2016.
- [65] Malovanij M., Życzyńska A., *Minimalizacja energov na opalenie budinkiv szlahom termomodernizaciji (na prikladinavczalnih korpusiv)* Ekologiczna bezpieka ta zbalansowanie resyrsokoristyvannija Naukovo-tehnicznyj žurnal, vol. 2(14), p. 135–140, 2016.
- [66] Malovanij M., Życzyńska A., Dyś G., *Wpływ sposobu zasilania budynku w energię na wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialna energie pierwotną*. Naukovij Visnik NLTU, Lviv 2016, p. 333–341, 2016.
- [67] Marinosci C., Morini G.L., Semprini G., Garai M., *Preliminary energy audit of the historical building of the school of Engineering and Architecture of Bologna*, Energy Procedia, vol. 81, p. 64–73, 2015.
- [68] Miszczuk A., Żmijewski K., *Analiza budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 24–27, 2015.
- [69] Mróz T., *Innowacyjne ciepłownictwo- możliwości i ograniczenia*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 43/10, p. 403–407, 2012.

- [70] Niedzielko J., *Racjonalizacja użytkowania energii w świetle prawa unijnego*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 41/12, p. 460–462, 2010.
- [71] Niedzielko J., *Niektóre aspekty rozwoju zrównoważonego ze środowiskiem na przykładzie budownictwa jednorodzinnego*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 12, p. 13–18, 2004.
- [72] Norma PN-EN 12831, *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego*, 2006.
- [73] Norma PN-EN ISO 13790, *Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia*, 2009.
- [74] Norma PN-EN ISO 14683, *Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne*, 2008.
- [75] Norma PN-EN ISO 6946, *Komponenty budowlane I element budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*, 2008.
- [76] Nowak B., Bartnicki G., Klimczak M., *Efektywność energetyczna lokalnego systemu ogrzewczego zaopatrującego w ciepło budynki mieszkalne*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 42/2, p. 65–68, 2011.
- [77] Nowak B., Bartnicki G., *Rzeczywista charakterystyka energetyczna systemu zaopatrzenia w ciepło*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 7-8, p. 11–14, 2008.
- [78] Olsen B. W., Carli M., *Calculation of the yearly energy performance of heating systems based on the European Building Energy Directive and related CEN standards*, Energy and Buildings, vol. 43, p.1040–1050, 2011.
- [79] Orlik-Koźdoń B., *Charakterystyka energetyczna budynków a emisja zanieczyszczeń powietrza*, Materiały Budowlane, vol. 9, p.75–77, 2010.
- [80] Orlik-Koźdoń B., Steidl T., *Projektowe charakterystyki energetyczne budynków*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 47–49, 2010.
- [81] Osiadły J., *Efektywność energetyczna to racjonalne wykorzystanie energii*, Aura, ochrona środowiska vol. 5, p. 14–17, 2014.
- [82] Panek A., Robakiewicz M., *Audyty efektywności energetycznej*, Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa, 2013.
- [83] Panek A. Rucińska J., *Wdrażanie dyrektywy o charakterystyce energetycznej budynków w różnych krajach UE*. Materiały Budowlane, vol 1, p. 32–36, 2009.
- [84] Perez-Lombard L., Ortiz J., Gonzalez R. Maestre I. R., *A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes*, Energy and Buildings, vol. 41, p. 272–278, 2009.

- [85] Pieńkowski C., *Zmiany w prowadzonym procesie termomodernizacji budynków wielomieszkaniowych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 11, p. 14–15, 2009.
- [86] Pieńkowski C., *Wpływ termomodernizacji budynków wielorodzinnych na zużycie ciepła*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 41/11, p. 422–423, 2010.
- [87] Pogorzelski A. J., *Wymagania ochrony cieplnej budynków a ograniczenie emisji CO₂*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 3–5, 2003.
- [88] Praca zbiorowa pod redakcją Norwisa J., *Termomodernizacja budynków*. Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa, 2004.
- [89] Reis J. A., Escorcio P., *Energy certification in St. Antonio (Funchal) – Statistical analysis*, Energy and Buildings, vol. 49, p.126–131, 2012.
- [90] Rhodes J., Gorman W. H., Upshaw CH. R., Webber M. E., *Using BEopt (EnergyPlus) with energy audits and surveys to predict actual residential energy usage*, Energy and Buildings, vol. 86, p. 808–816, 2015.
- [91] Robakiewicz M., *Nowe zasady sporządzania świadectw energetycznych budynków*, Materiały Budowlane vol.1, p. 10–13, 2015.
- [92] Robakiewicz M., *Audyt efektywności energetycznej*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 16–19, 2013.
- [93] Robakiewicz M., *Termomodernizacja budynków i systemów grzewczych*, Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa, 2002
- [94] Robakiewicz M., *Ocena efektów zrealizowanych termomodernizacji*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 18–19, 2007.
- [95] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 21 czerwca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. 2013 poz. 762).
- [96] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. z 18.03.2015 r., poz. 376).
- [97] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 13.08.2013 r. poz. 926).
- [98] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 marca 2009 r. (z póź. zmianami) w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego (Dz.U. nr 43/2009 r. poz. 346).
- [99] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności

- energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii (Dz.U. z 27.08.2012 r. poz. 962).
- [100] Ruciński R., *Optymalizacja charakterystyki energetycznej budynków*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 43/7, p. 289–291, 2012.
 - [101] Rudczyk-Malijewska E., Święcicki A., *Koszty i efekty wdrażania różnych wariantów termomodernizacji*. Materiały Budowlane, vol. 6, p. 77–79 i 96, 2005.
 - [102] Sadowska B., *Wskaźniki EU, EK, EP a jakość (klasa) energetyczna budynku*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, vol. 6, p. 27–31, 2015.
 - [103] Sadowska B., *Wymagania w zakresie ochrony cieplnej budynków a świadectwa charakterystyki energetycznej*, Izolacje, vol. II, p. 16–19, 2011.
 - [104] Sarosiek W., Sadowska B., *Konsekwencje alternatywnego formułowania wymagań ochrony cieplnej budynków w nawiązaniu do świadectw charakterystyki energetycznej*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 34–35 i 69, 2011.
 - [105] Sarosiek W., Sadowska B., *Planowane i rzeczywiste efekty termomodernizacji budynków użyteczności publicznej w gminie Zbójna*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 26–27, 2016.
 - [106] Sarosiek W., Sadowska B., *Czy opłaca się ponosić dodatkowe nakłady na polepszenie standardu energetycznego jednorodzinnych budynków mieszkalnych?*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 83–85, 2007.
 - [107] Sarosiek W., Sadowska B., *Porównanie różnych standardów energetycznych jednorodzinnych budynków drewnianych*, Materiały Budowlane, vol. 5, p. 135–137, 2016.
 - [108] Sarosiek W., Sadowska B., *Jakość energetyczna budynków a wskaźniki zamieszczone w świadectwach*, Materiały Budowlane, vol. 8, p. 51–53, 2010.
 - [109] Sarosiek W., *Przewidywane i rzeczywiste efekty termomodernizacji budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 40–41 i 48, 2006.
 - [110] Sarosiek W., *Świadectwa energetyczne budynków - aspekt ekologiczny*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, vol. 6, p. 33–39, 2015.
 - [111] Scofield J. H., *Efficacy of LEED-certification in reducing energy consumption and greenhouse gas emission for large New York City office buildings*, Energy and Buildings, vol. 67, p. 517–524, 2013.
 - [112] Sesana M., Grecchi M., Salvalai G., Rasica C., *Methodology of energy efficient building refurbishment: Application on two university campus-building case studies in Italy with engineering students*, Journal of Building Engineering, vol. 6, p. 54–64, 2016.
 - [113] Siuta-Olcha A., *Analiza porównawcza potrzeb energetycznych jednorodzinnych budynków mieszkalnych o różnym standardzie wykonania*, Proceedings of ECOpole, vol. 5, p. 287–292, 2011.

- [114] Skrzyszewski M., *Wymagania dyrektywy Europejskiej 2002/91/WE, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, vol. 9, p. 24–26, 2008.
- [115] Skrzyszewski M., *Charakterystyka energetyczna obiektu budowlanego, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, vol. 11, p. 21–22, 2009.
- [116] Stachniewicz R., *Uwzględnienie efektu ekologicznego przy ocenie efektywności docieplenia ścian zewnętrznych budynku jednorodzinnego, Materiały Budowlane*, vol. 3, p. 93–95, 2011.
- [117] Stankevičius V., Kabauskaitė J., Monstvilas E., *The development of reference values for energy certification of buildings in Lithuania, Energy and Buildings*, vol. 39, p. 284–288, 2007.
- [118] Studencka J., *Zużycie energii pierwotnej w systemach ciepłowniczych współpracujących ze źródłem geotermalnym, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, vol. 11, p. 68–69, 2007.
- [119] Szczechowiak E., *Efektywność energetyczna w zaopatrzeniu budynków w ciepło, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, vol. 43/1, p. 15–21 2012.
- [120] Szczechowiak E., *Uwarunkowani a unijne i polskie w zakresie efektywności energetycznej obiektów i procesów energetycznych, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, vol. 10, p. 27–33, 2007.
- [121] Szczechowiak E., *Certyfikacja i termomodernizacja budynków, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, vol. 10, p. 28–36, 2008.
- [122] Szulc R., Łaska B., *Obecny stan możliwości wykorzystania energii odnawialnej i dalsze perspektywy jej rozwoju w Polsce, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, vol. 2, p. 58–62, 2015.
- [123] Święcicki A., *Wskaźnik właściwości obudowy budynku jako kryterium wymagań ochrony cieplnej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, vol. 6, p. 43–48, 2015.
- [124] Święcicki A., *Izolacyjność termiczna obudowy budynków w świetle aktualnych wymagań ochrony cieplnej, Materiały Budowlane*, vol. 1, p. 43–46, 2010.
- [125] Theodoridou I., Papadopoulos A. M., Hegger M., *A typological classification of the Greek residential building stock, Energy and Buildings*, vol. 43, p. 2779–2787, 2011.
- [126] Trząski A., *Przykład dostosowania budynku biurowego do wymagań dotyczących wskaźnika EP po 2020 r, Materiały Budowlane*, vol. 1, p. 34–38, 2016.
- [127] Ujma A., *Obliczeniowy sezon grzewczy budynków energooszczędnych. Budownictwo niskoenergetyczne*, p. 425–432, 2008.
- [128] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. z 2015 poz. 478 z późniejszymi zmianami).
- [129] Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. - o charakterystyce energetycznej budynków. (Dz.U. 2014 poz. 1200).

- [130] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz.U. 2013 poz. 1409, z późn. zmianami).
- [131] Ustawa z dnia 21 listopada 2008 o wspieraniu termomodernizacji i remontów (tekst jednolity Dz.U. z 30.05.2014 r., poz. 712).
- [132] Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej (Dz.U. nr 94 poz.551).
- [133] Weber T., *Analiza energochłonności różnych rodzajów budynków w Polsce*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 18–20, 2011.
- [134] Węglarz A., *Wpływ dyrektyw UE w sprawie efektywności energetycznej na budownictwo w Polsce*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 10–12, 2013.
- [135] Węglarz A., *Poprawianie efektywności energetycznej budynków w Polsce*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 38–40, 2009.
- [136] Węglarz A., Zaborowski M., *Strategia termomodernizacji budynków w Polsce*, Materiały Budowlane vol. 1, p. 2–5, 2015.
- [137] Wesołowski M., Wieczorek A., Strzelecka A., *Analiza porównawcza zużycia energii w sąsiednich nowych budynkach jednorodzinnych z różnymi systemami grzewczymi*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 46/11, p. 432–435, 2015.
- [138] Wichowski R., *Zużycie energii w budynkach mieszkalnych w wybranych krajach europejskich*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 11, p. 69–71, 2007.
- [139] Wiszniewski A., Bonder L., *Wskaźnik nieodnawialnej energii pierwotnej oraz emisji CO₂ dla scentralizowanych i indywidualnych systemów zaopatrzenia w ciepło oraz ogrzewani budynków*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 2, p. 10–16, 2009.
- [140] Witczak K., *Sposoby określania efektywności energetycznej na przykładzie budynku wielorodzinnego*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 14–16, 2015.
- [141] Zaca I., D'Agostino D., Congedo P. M., Baglivio C., *Assessment of cost-optimality and technical solutions in high performance multi-residential buildings in the Mediterranean area*, Energy and Buildings, vol. 102, p. 250–265, 2015.
- [142] Zimny J., Michalak P., *Bilans energetyczny budynku użyteczności publicznej w aspekcie certyfikacji energetycznej*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 4, p. 21–23, 2008.
- [143] Żuchowski T., *Efektywność energetyczna w budownictwie - polskie regulacje prawne dotyczące wdrożenia dyrektywy 2010/31/UE (cz. 2)*, Materiały Budowlane, vol. 9, p. 48–50, 2014.
- [144] Żurawski J., *Wpływ instalacji grzewczych na jakość energetyczną budynku*, Materiały budowlane, vol. 1, p.45–48, 2013.
- [145] Żurawski J., *Energochłonność budynków mieszkalnych*, Izolacje, vol. II, p. 22–25, 2008.

- [146] Żurawski J., *Certyfikacja po polsku. Uwagi do znowelizowanego rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Izolacje, vol. I, p. 30–33, 2009.
- [147] Żurawski J., *Wpływ instalacji grzewczych na jakość energetyczną budynku*, Izolacje, vol. X, p. 36–39, 2009.
- [148] Żurawski J., *Redukcja emisji gazów cieplarnianych a termomodernizacja budynków*, Izolacje, vol. I, p. 22–25, 2010.
- [149] Życzyńska A., *The primary energy factor for the urban heating system with the heat source working in association*, Maintenance and Reliability, vol. 15, p. 458–462, 2013.
- [150] Życzyńska A., Cholewa T., *The profitability analysis of enhancement of parameters of the thermal insulation of building partitions*, Archives of Civil Engineering, vol. 3, p. 335–347, 2014.
- [151] Życzyńska A., Cholewa T., *The modifications to requirements on energy savings and thermal insulation of buildings in Poland in the years 1974-2021*. Budownictwo i Architektura, vol. 14(1), p. 145–154, 2015.
- [152] Życzyńska A., *Wpływ współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych na wartość wskaźnika EP budynku*, Materiały Budowlane, vol. 1, p. 30–32, 2016.
- [153] Życzyńska A., Dyś G., *Wpływ odnawialnych źródeł energii na wartość wskaźnika energii pierwotnej w budynkach mieszkalnych*, Rynek Instalacyjny, vol. 3, p. 68–71, 2016.
- [154] Życzyńska A., *Zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną w zależności od strefy klimatycznej*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 4, p. 142–145, 2016.
- [155] Życzyńska A., Dyś G., *Wpływ zysków ciepła od promieniowania słonecznego na wartość wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej w budynku*, XV Polska Konferencja Naukowo-Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź 2015, p. 289–296, 2015.
- [156] Życzyńska A., *Zmiany w ustawie o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych i rozporządzeniach wykonawczych*, Rynek Energii, vol. 6, p. 48–51, 2002.
- [157] Życzyńska A., *Przydatność audytu energetycznego dla podejmowania działań termomodernizacyjnych*, Rynek Energii, vol. 6, p. 52–55, 2002.
- [158] Życzyńska A., *Wykorzystanie audytu oraz świadectwa energetycznego budynku przy zarządzaniu nieruchomością*. Budownictwo i Architektura, vol. 12(4), p. 107–116, 2013.
- [159] Życzyńska A., *Wpływ systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody na charakterystykę energetyczną budynku*, Rynek Energii, vol. 6, p. 46–54, 2009.
- [160] Życzyńska A., *Zapotrzebowanie na energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody w budynkach mieszkalnych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 4, p. 130–134, 2010.

- [161] Życzyńska A., *The heat consumption and heating costs after the insulation of building partitions of building complex supplied by the local oil boiler room*. Maintenance and Reliability, vol. 16, p. 294–299, 2014.
- [162] Życzyńska A., Surmacz P., Dyś G., *Analiza ekonomiczna modernizacji źródeł ciepła*, Instal, vol. 12, p. 17–20, 2002.
- [163] Życzyńska A., Dyś G., *Analiza techniczno-ekonomiczna zmiany źródła zasilania w ciepło na cele c.o. i c.w. osiedla mieszkaniowego*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 2, p. 2–5, 2003.
- [164] Życzyńska A., Dyś G., *Analiza opłacalności zmiany sposobu zasilania w ciepło z węzłów grupowych na indywidualne*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 2, p. 8–10, 2004.
- [165] Życzyńska A., *Analiza opłacalności zastosowania kolektorów słonecznych dla przygotowania ciepłej wody w budynku mieszkalnym*, Rynek Energii, vol. 1, p. 35–37, 2005.
- [166] Życzyńska A., *Źródła ciepła dla ogrzewania i przygotowania ciepłej wody*, Rynek Energii, vol. 5, p. 28–32, 2005.
- [167] Życzyńska A., *Techniczne i ekonomiczne aspekty przebudowy grupowych węzłów cieplnych na indywidualne*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, vol. 12, p. 3–5, 2005.
- [168] Życzyńska A., *Efekty wykorzystania kolektorów słonecznych do przygotowania ciepłej wody w budynkach wielorodzinnych*, Autobusy, vol. 10, p. 465–476, 2011.
- [169] Życzyńska A., Adamczyk J., Dyś G., *Efekty energetyczne i ekonomiczne przedsięwzięć termomodernizacyjnych*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 2002.
- [170] Życzyńska A., Dyś G., *Ocena energetyczna budynków. Dostosowanie nieruchomości do wymagań Dyrektywy 2002/91/WE, nowe standardy projektowania i obliczania charakterystyki energetycznej. rozdział 6 „Audyt energetyczny.”*; Wydawnictwo Forum. Wiedza na usługach rynku, 2008.
- [171] Życzyńska A., Dyś G., *Ocena energetyczna budynków. Dostosowanie nieruchomości do wymagań Dyrektywy 2002/91/WE, nowe standardy projektowania i obliczania charakterystyki energetycznej. rozdział 7 „Finansowanie przedsięwzięć termomodernizacyjnych.”*; Wydawnictwo Forum. Wiedza na usługach rynku, 2008.
- [172] Życzyńska A., *Racjonalizacja zużycia ciepła w budownictwie mieszkaniowym, termomodernizacja budynków – uwarunkowania prawne i efekty energetyczne*. Materiały II Międzynarodowej Konferencji „Nowoczesne ciepłownictwo” Lublin 2003, p. 21–30, 2003.
- [173] Życzyńska A., Dyś G., *Rzeczywiste oszczędności ciepła i kosztów ogrzewania po termomodernizacji budynków wielolokalowych. XXIV Spotkania Producentów, Dystrybutorów i Odbiorców Ciepła*, Puławy 2008, p.73–80, 2008.

- [174] Życzyńska A., *Oszczędności energetyczne i ekonomiczne w budynkach po termomodernizacji*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa „Przyjazny Dom; Dom Energooszczędny”, Krynica Zdrój 2009, p. 205–216, 2009.
- [175] Życzyńska A. Dyś G., *Audyty energetyczne budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej wykonane w latach 1998-2019*.

8 Wyniki testów statystycznych

8.1 Różnicowanie $Q_{H,nd}$ ze względu na warunki techniczne

Wynik testu istotności t -studenta

```
## Two Sample t-test
##
## data: qu by war_tech
## t = 6.6525, df = 142, p-value = 5.788e-10
## alternative hypothesis: true difference in means is not equal
## to 0
## 95 percent confidence interval:
## 3314.093 6116.379
## sample estimates:
## mean in group 2017 mean in group 2021
## 38775.68 34060.44
```

8.2 Zależność $Q_{H,nd}$ od stopniodni S_d

8.2.1 Model regresji przy wymaganiach współczynnika U z 2017 r.

```
## Call:
## lm(formula = qu ~ stdni, data = subset(stopniodni, war_tech ==
## 2017))
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -2836.23  -918.37    27.87   893.61  3116.09
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) -3.801e+04  2.969e+03  -12.8   <2e-16 ***
## stdni        2.038e+01  7.868e-01   25.9   <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1369 on 70 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.9055, Adjusted R-squared:  0.9042
## F-statistic: 670.8 on 1 and 70 DF, p-value: < 2.2e-16
```

8.2.2 Model regresji przy wymaganiach współczynnika U z 2021 r.

```
## Call:
## lm(formula = qu ~ stdni, data = subset(stopniodni, war_tech ==
## 2021))
```



```
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -3006.12  -817.50    16.49   711.74  2714.28
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) -3.685e+04  2.706e+03  -13.62  <2e-16 ***
## stdni       1.882e+01  7.171e-01   26.24  <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 1248 on 70 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.9077, Adjusted R-squared:  0.9064
## F-statistic: 688.5 on 1 and 70 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

8.3 Wpływ orientacji, stopnia przeszklenia, zacienienia i przepuszczalności promieniowania na $Q_{H,nd}$

8.3.1 Wymagania współczynnika U z 2017 r.

```
Df      Sum Sq   Mean Sq F value    Pr(>F)
## kierunek      1 3.954e+08 395387190   19.764 1.15e-05 ***
## stop_przeszkl  1 1.479e+08 147872597    7.392 0.00686 **
## zacienienie    1 1.758e+08 175846721    8.790 0.00322 **
## g              3 1.780e+09 593330285   29.659 < 2e-16 ***
## Residuals     377 7.542e+09 20005337
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Call:
## aov(formula = qu ~ kierunek + stop_przeszkl + zacienienie + g,
##      data = std2[std2$war_tech == "2017", ])
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
##  -7883   -3197   -591    2786   36269
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    43233.0     603.9   71.591 < 2e-16 ***
## kierunekW-E      2029.4     456.5    4.446 1.15e-05 ***
## stop_przeszklP2  1241.1     456.5    2.719 0.00686 **
## zacienienie1    -1353.4     456.5   -2.965 0.00322 **
## g0.64          -3461.9     645.6   -5.362 1.43e-07 ***
## g0.7           -4706.1     645.6   -7.290 1.84e-12 ***
## g0.75          -5700.0     645.6   -8.829 < 2e-16 ***
```

```
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 4473 on 377 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.2489, Adjusted R-squared:  0.2369
## F-statistic: 20.82 on 6 and 377 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

8.3.2 Wymagania współczynnika *U* z 2021 r.

```
##              Df      Sum Sq   Mean Sq F value    Pr(>F)
## kierunek      1 3.852e+08 385186916   27.862 2.2e-07 ***
## stop_przeszkl 1 7.006e+07  70056188    5.067 0.024954 *
## zacienienie   1 1.567e+08 156737759   11.338 0.000838 ***
## g             3 1.382e+09 460804632   33.332 < 2e-16 ***
## Residuals     377 5.212e+09 13824646
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Call:
## aov(formula = qu ~ kierunek + stop_przeszkl + zacienienie + g,
##      data = std2[std2$war_tech == "2021", ])
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -7330.9 -2591.7  -408.2   2692.7   7203.4
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    38106.3     502.0   75.908 < 2e-16 ***
## kierunekW-E      2003.1     379.5    5.278 2.20e-07 ***
## stop_przeszklP2    854.3     379.5    2.251 0.024954 *
## zacienienie1   -1277.8     379.5   -3.367 0.000838 ***
## g0.64          -3009.7     536.7   -5.608 3.96e-08 ***
## g0.7           -3928.5     536.7   -7.320 1.51e-12 ***
## g0.75          -5130.5     536.7   -9.560 < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 3718 on 377 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.2768, Adjusted R-squared:  0.2652
## F-statistic: 24.04 on 6 and 377 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

8.4 Różnicowanie EK_{H+W} ze względu na warunki techniczne

Wynik testu istotności t -studenta

```
##  
## Two Sample t-test  
##  
## data: ekhw by war_tech  
## t = 17.518, df = 18302, p-value < 2.2e-16  
## alternative hypothesis: true difference in means is not equal  
## to 0  
## 95 percent confidence interval:  
## 6.005507 7.518770  
## sample estimates:  
## mean in group 2017 mean in group 2021  
## 104.9752 98.2131
```

8.5 Różnicowanie EP_{H+W} ze względu na warunki techniczne

Wynik testu istotności t -studenta

```
##  
## Two Sample t-test  
##  
## data: ephw by war_tech  
## t = 10.32, df = 24638, p-value < 2.2e-16  
## alternative hypothesis: true difference in means is not equal  
## to 0  
## 95 percent confidence interval:  
## 4.520365 6.640167  
## sample estimates:  
## mean in group 2017 mean in group 2021  
## 101.8226 96.2423
```