

dr inż. Joanna Krason^{1*)}

ORCID: 0000-0003-3556-6592

dr inż. Ewelina Barnat¹⁾

ORCID: 0009-0008-3890-8889

dr hab. inż. Bożena Babiarz, prof. PRz¹⁾

ORCID: 0000-0001-7153-5975

The impact of climate change on the energy efficiency of buildings

Wpływ zmian klimatycznych na efektywność energetyczną budynków

DOI: 10.15199/33.2025.06.07

Abstract: The article presents trends in changes in climate parameters in Poland and around the world in the context of the impact on the energy efficiency of buildings, highlighting the need for adaptive strategies to mitigate their effects. For specific climate change scenarios and technical equipment of an example building, an analysis of its energy performance was carried out. The possibility of using passive systems as an additional element integrated into the external building envelope and using solar energy was taken into account.

Keywords: climate change; construction; phase change materials; heat flux; energy performance.

Streszczenie: W artykule przedstawiono trendy zmian parametrów klimatu w Polsce i na świecie oraz ich wpływ na efektywność energetyczną budynku. Podkreślono konieczność stosowania adaptacyjnych strategii mających na celu łagodzenie skutków tych zmian. Na podstawie określonych scenariuszy dotyczących zmian klimatu oraz wyposażenia technicznego przykładowego budynku przeprowadzono analizę jego charakterystyki energetycznej. Uwzględniono możliwość stosowania systemów pasywnych, które stanowią integralny element zewnętrznej obudowy budynku i wykorzystują energię promieniowania słonecznego.

Słowa kluczowe: zmiany klimatu; budownictwo; materiały zmienneofazowe, strumień ciepła; charakterystyka energetyczna.

The issue of climate change has gained particular importance in recent years and has become the subject of many scientific publications. Scientists are intensively researching the causes of this phenomenon, while attempting to identify critical conditions and develop effective strategies to counteract its negative effects. This problem affects many sectors of the economy and the daily functioning of society, including construction, transport, agriculture, public health, and finance.

The need to make efforts to adapt to the effects of climate change was recognized by the Ministry of the Environment as early as 2013, which developed a “Strategic Adaptation Plan for Sectors and Areas Vulnerable to Climate Change until 2020.” Ministry of the Environment as early as 2013, which developed a “Strategic adaptation plan for sectors and areas vulnerable to climate change until 2020, with a perspective until 2030” [1]. According to this document, climate change should be seen as a potential risk that should be taken into account when developing, for example, regulatory mechanisms and investment plans, in the same way as macroeconomic or geopolitical risks. Therefore, public and private entities should take adaptation measures, including through policy implementation, investments in infrastructure and technologies. Appropriately selected measures to reduce a country’s vulnerability to climate change are an important factor in stimulating the growth of efficiency and innovation in the Polish economy. **The European Commission adopted a new climate change adaptation strategy on February 24, 2021 [2].** It sets out how the European Union can adapt to the inevitable effects of climate change and become resilient to them by 2050.

Zagadnienie zmian klimatycznych w ostatnich latach nabrało szczególnego znaczenia i stało się przedmiotem wielu publikacji naukowych. Naukowcy intensywnie badają przyczyny tego zjawiska, starając się jednocześnie identyfikować stany krytyczne oraz opracowywać skuteczne strategie przeciwdziałania jego negatywnym skutkom. Problem ten dotyczy wielu sektorów gospodarki i codziennego funkcjonowania społeczeństwa, w tym budownictwa, transportu, rolnictwa, zdrowia publicznego oraz finansów.

Konieczność podjęcia wysiłków na rzecz dostosowania się do skutków zmian klimatu została dostrzeżona przez Ministerstwo Środowiska jeszcze w 2013 r., które opracowało „Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020. z perspektywą do roku 2030” [1]. Zgodnie z tym dokumentem zmiany klimatu należy postrzegać jako potencjalne ryzyko, które powinno być brane pod uwagę przy tworzeniu np. mechanizmów regulacyjnych i planów inwestycyjnych, podobnie jak ryzyko o charakterze makroekonomicznym czy geopolitycznym. W związku z tym podmioty publiczne i prywatne powinny podejmować działania adaptacyjne m.in. przez realizację polityki, inwestycje w infrastrukturę i technologie. Właściwie dobrane działania, zmniejszające wrażliwość kraju na zmiany klimatyczne, są istotnym czynnikiem stymulującym wzrost efektywności i innowacyjności polskiej gospodarki. **Nową strategię adaptacji do zmian klimatu Komisja Europejska przyjęła 24 lutego 2021 r. [2].** Określa ona, w jaki sposób Unia Europejska może dostosować się do nieuniknionych skutków zmiany klimatu i stać się na nie odporna do 2050 r.

Przyjęta strategia określa główne cele: uczynić adaptację inteligentniejszą, szybszą i bardziej systemową oraz zintensyfikować międzynarodowe działania dotyczące adaptacji do

¹⁾ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury,

^{*)} Correspondence address: jkras@prz.edu.pl

The adopted strategy sets out the main objectives: to make adaptation smarter, faster, and more systemic, and to intensify international efforts to adapt to climate change. Attempts at measures that can be described as adaptive to climate change do not usually gain public acceptance [3, 4]. Measures related to the pursuit of climate neutrality entail multifaceted social problems, ranging from threats to energy security, through the impact of a building's energy characteristics on energy consumption, to energy poverty [5]. Changes in climatic conditions in relation to construction and urban areas, using the example of Warsaw are presented in [4]. The indicated urban planning and architectural solutions and blue-green infrastructure allow for the minimization of adverse climate features for city dwellers and influence thermal comfort in urban spaces.

A problem that reduces the quality of life in urban areas is **the occurrence of heat islands** caused by heat waves. They arise because city roads and building roofs absorb and emit heat to a greater extent than natural surfaces. On a hot day, conventional building materials can reach temperatures up to 20°C higher than the air temperature [6]. On a local scale, an urban heat island is another temperature-related phenomenon defined as a warmer urban area than the surrounding regions due to the different ability of surfaces to absorb and store heat.

The ability of buildings to adapt to a dynamically changing climate is crucial for environmental and social reasons. Climate resilience refers to the durability of buildings and infrastructure and their effective functioning despite extreme weather conditions, as well as long-term environmental changes. Key aspects of this resilience, in addition to the thermal resistance required by law [7, 8], include energy self-sufficiency, functional flexibility, and adaptability in terms of the ability to easily modernize and adapt to changing conditions or needs. Forecasts for the development of construction and energy are linked to global efforts towards sustainable development, reduction of greenhouse gas emissions and transformation of energy systems into more environmentally friendly ones.

Standards for design and climate change

The development of construction in the context of current climate change is a topic that combines environmental, technological and social issues. Construction is one of the largest sources of greenhouse gas emissions [1, 5]. The production of building materials (e.g., cement, steel, glass) is associated with high energy consumption and CO₂ emissions. The operation of buildings, including heating, ventilation, cooling, and lighting systems, accounts for a significant portion of energy consumption.

Changing climatic conditions require a new approach to the design and operation of buildings. Current standards for the design of heating, ventilation, and air conditioning systems [8, 9], the current methods for calculating the design heat load [9] and the energy performance of buildings [10–12] seem to be inadequate for changing climatic conditions. This is confirmed by research presented in many scientific publications [13–17].

According to the analyses carried out [18], the maximum heating power, which is the basis for the selection of heating devices,

zmiany klimatu. Podejmowane próby działań, które można określić jako adaptacyjne do zmian klimatu, zazwyczaj nie zyskują akceptacji społecznej [3, 4]. Działania związane z dążeniem do neutralności klimatycznej niosą za sobą wieloaspektowe problemy społeczne, od zagrożenia bezpieczeństwa energetycznego, przez wpływ charakterystyki energetycznej budynku na zużycie energii, do ubóstwa energetycznego [5]. Zmiany warunków klimatycznych w odniesieniu do budownictwa i obszarów miast na przykładzie Warszawy przedstawiono w pracy [4]. Wskazane rozwiązania urbanistyczno-architektoniczne oraz błękitno-zielonej infrastruktury pozwalają na minimalizowanie niekorzystnych cech klimatu dla mieszkańców miast i wpływają na komfort termiczny w przestrzeni miejskiej.

Problemem obniżającym komfort życia na obszarach miejskich jest **występowanie wysp ciepła** powodowanych przez fale upałów. Powstają one, ponieważ drogi miejskie i dachy budynków pochłaniają i emitują ciepło w większym stopniu niż powierzchnie naturalne. W upalny dzień konwencjonalne materiały budowlane mogą osiągać temperaturę nawet o 20°C wyższą niż temperatura powietrza [6]. W skali lokalnej miejska wyspa ciepła jest kolejnym zjawiskiem związanym z temperaturą, definiowanym jako cieplejszy obszar miejski, niż otaczające go regiony ze względu na różną zdolność powierzchni do pochłaniania i magazynowania ciepła.

Zdolność adaptacji budynków do dynamicznie zmieniającego się klimatu jest kluczowa ze względów ekologicznych i społecznych. Odporność na zmiany klimatu odnosi się do trwałości budynków i infrastruktury oraz ich efektywnego funkcjonowania mimo ekstremalnych warunków pogodowych, jak również długofalowych zmian środowiskowych. Kluczowe aspekty tej odporności, obok wymaganej przepisami prawnymi odporności konstrukcji i termicznej [7, 8] obejmują samowystarczalność energetyczną, elastyczność użytkową i adaptacyjność polegającą na możliwości łatwej modernizacji i dostosowania do zmieniających się warunków lub potrzeb. Prognozy rozwoju budownictwa i energetyki są powiązane z globalnymi wysiłkami na rzecz zrównoważonego rozwoju, redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz przekształcenia systemów energetycznych w bardziej ekologiczne.

Normy dotyczące projektowania a zmiany klimatu

Rozwój budownictwa w kontekście aktualnych zmian klimatu to temat, który łączy kwestie środowiskowe, technologiczne i społeczne. Budownictwo jest jednym z największych źródeł emisji gazów cieplarnianych [1, 5]. Produkcja materiałów budowlanych (np. cementu, stali, szkła) wiąże się z dużym zużyciem energii i emisją CO₂. Eksploatacja budynków wraz z systemami ogrzewania, wentylacji, chłodzenia czy oświetlenia odpowiada za znaczną część zużycia energii.

Zmieniające się warunki klimatyczne wymuszają nowe podejście do projektowania i eksploatacji budynków. Aktualne normy dotyczące projektowania systemów grzewczych, wentylacyjnych i klimatyzacyjnych [8, 9], obowiązujące metody obliczania projektowego obciążenia ciepła [9] oraz charakte-

is greatly influenced by **the thermal inertia of partitions and the dynamics of heat transfer** [19]. Taking into account the thermal inertia of a building affects the maximum heat output and the duration of the heating season, and thus therefore on annual heat consumption. Failure to take this into account during the design phase results in the selection of heating devices with significantly higher power than required. The need to implement adaptation measures due to climate change was also emphasized in [20]. Neglecting these findings may hinder efforts to mitigate climate change. In addition, extreme weather events (heat waves, heavy rains, storms, floods) require more resilient infrastructure. Rising outdoor air temperatures change thermal comfort in buildings, increasing the demand for energy for cooling.

The answer to climate challenges is sustainable construction. Energy-efficient and passive buildings using energy-efficient solutions, low-emission materials, and renewable energy systems minimize energy consumption, while also improving thermal comfort and energy security.

One of the solutions utilizing solar radiation energy are **passive low-temperature systems**, which have been divided into direct and indirect gain systems [21]. The first system involves harvesting solar radiation energy that reaches the interior of a building through glazed surfaces. The heat gains obtained are included in the energy balance of the building. The second group consists of systems that combine a glazed layer with an accumulation layer. These solutions are usually integrated into the external envelope of the building on the side with the highest solar exposure. They can be located in various external elements of the building, such as walls, roofs or windows [22]. The advantage of these systems is the possibility of using standard material solutions that do not require or require only a small amount of additional mechanical or electrical control systems. This group includes the thermal storage wall, also known as the Trombe wall [23]. The partition combines the function of a solar collector (glazing) and a heat accumulator (storage wall), forming a single unit [24]. Part of the heat stored in the accumulating layer is transferred to the adjacent room when there is a demand for it, unlike direct gain systems.

Phase change materials (PCM) are characterized by their ability to store large amounts of heat. The combination of these materials with thermal storage walls is an important advantage in the field of passive solar heating technologies. Thanks to the phase change process in PCM, the accumulated energy can improve the thermal comfort in the building.

An important issue is the possibility of including energy-efficient solutions designed to be integrated into the structure of external partitions in the building's heat balance. Such solutions can improve the heat balance of a building, given the changing global climate, including in temperate climates. Currently, the programs used to calculate the balance should have a module that allows for the automatic introduction of such solutions into the thermal balance of the building.

Trends in climate parameters

Climate change is one of the most important challenges of the 21st century. One of the most obvious and measurable effects of global climate change is the increase in air temperature

rystyki energetycznej budynków [10÷12], wydają się być nieadekwatne do zmieniających się warunków klimatycznych. Potwierdzają to badania prezentowane w wielu publikacjach naukowych [13÷17].

Zgodnie z przeprowadzonymi analizami [18], na maksymalną moc do ogrzewania, która jest podstawą doboru urządzeń grzewczych, duży wpływ ma **bezwładność cieplna przegród i dynamika transferu ciepła** [19]. Uwzględnienie bezwładności cieplnej budynku wpływa na maksymalną moc cieplną oraz czas trwania sezonu grzewczego, a tym samym na roczne zużycie ciepła. Nieuwzględnianie tego podczas projektowania powoduje przyjmowanie urządzeń grzewczych o zdecydowanie większej mocy niż wymagana. Potrzebę wdrożenia środków adaptacyjnych ze względu na zmiany klimatu podkreślono również w pracy [20]. Zaniedbanie tych ustaleń może utrudnić działania na rzecz łagodzenia zmian klimatycznych. Ponadto ekstremalne zjawiska pogodowe (upały, ulew, burze, powodzie) wymagają bardziej odpornej infrastruktury. Zwiększająca się temperatura powietrza zewnętrznego zmienia komfort cieplny w budynkach, wpływając na zwiększenie zapotrzebowania na energię na potrzeby chłodzenia.

Odpowiedzią na wyzwania klimatyczne jest zrównoważone budownictwo. Energooszczędne i pasywne budynki wykorzystujące efektywne energetycznie rozwiązania, niskiemisyjne materiały i systemy OZE minimalizują zużycie energii, wpływając również na komfort cieplny i bezpieczeństwo energetyczne.

Jednym z rozwiązań wykorzystujących energię promieniowania słonecznego są **pasywne systemy niskotemperaturowe**, które zostały podzielone na systemy zysków bezpośrednich i pośrednich [21]. Pierwszy system polega na pozyskiwaniu energii promieniowania słonecznego, docierającego do wnętrza pomieszczeń budynku przez powierzchnie przeszklone. Uzyskane zyski ciepła uwzględniane są w bilansie energetycznym budynku. Druga grupa to systemy, które łączą w sobie warstwę przeszkloną z warstwą akumulacyjną. Rozwiązania te są zazwyczaj wkomponowywane w zewnętrzną obudowę budynku od strony największego nasłonecznienia. Mogą być umiejscowione w różnych elementach zewnętrznych budynku, czyli takich jak ściany, dachy lub okna [22]. Zaletą tych systemów jest możliwość zastosowania standardowych rozwiązań materiałowych niewymagających lub w niewielkim stopniu wymagających, dodatkowych systemów sterowania mechanicznego lub elektrycznego. Do tej grupy należy ściana kolektorowo-akumulacyjna, nazywana również ścianą Trombe [23]. Przegroda łączy w sobie funkcję kolektora słonecznego (przeszklenie) oraz akumulatora energii cieplnej (ściana magazynująca), tworząc jedną całość [24]. Część ciepła zmagazynowanego w warstwie akumulującej zostaje przekazana w kierunku przyległego pomieszczenia, gdy występuje na nie zapotrzebowanie, w przeciwieństwie do systemów zysków pośrednich.

Zdolnością magazynowania dużej ilości ciepła charakteryzują się **materiały zmiennofazowe (PCM)**. Połączenie tych materiałów ze ścianami kolektorowo-akumulacyjnymi jest istotną wartością w obszarze funkcjonowania pasywnych technologii ogrzewania słonecznego. Dzięki występującemu pro-

observed around the world, including in Poland. Data from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) show that since the end of the 19th century the Earth's surface temperature has risen by an average of approximately 1.1°C [25]. In Europe the rate of warming is faster than the global average [26, 27]. According to analyses by NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS), the global annual temperature in recent decades has exceeded all previous records since the beginning of instrumental measurements [28].

Analyses presented by the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW-PIB) indicate a systematic increase in the average annual temperature in all regions of Poland. Figure 1 shows the average annual temperature recorded at the Rzeszów-Jasionka meteorological station between 1979 and 2024. Historical data, based on meteorological data [29], are marked in red. denotes historical data based on meteorological data [29].

During the analyzed period, there was a clear increase in the average annual air temperature. The greatest amplitude of these values, as much as 4.8°C , can be seen between 1980 (6.7°C) and 2024 (11.5°C), with the last 13 years (2011–2024) were the warmest in the history of measurements [30]. The average annual temperatures during this period exceeded 9.0°C , while in the previous analyzed years 1979–1985, values lower than 7.0°C appeared [31]. Based on historical data, a trend line (green) was determined, characterizing the rate of increase in the average annual air temperature in Rzeszów. Trend analysis enables the forecasting of future values of the average annual temperature values. According to the proposed forecasting model, the average annual air temperature in Rzeszów may reach as much as 11.7°C in 2050, provided that the current pace and trend of climate change continues.

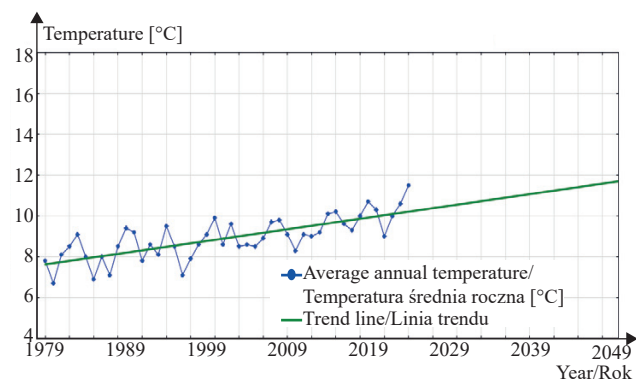


Fig. 1. Average annual air temperatures for the Rzeszów-Jasionka meteorological station in the period 1979–2024, and the determined trend line

Fig. prepared based on [29]

Rys. 1. Średnia roczna temperatura powietrza w okresie 1979–2024 w przypadku stacji meteorologicznej Rzeszów-Jasionka oraz wyznaczona linia trendu

Rys. opracowano na podstawie [29]

Climate warming is particularly noticeable during the winter season. In the context of heating system design, the minimum temperature is of key importance. The analysis took into account the minimum temperature as the average of the three coldest months (December, January, February) over the last 45 years (1979–2024), as recorded at the Rzeszów-Jasionka meteorological station (Figure 2) [32].

cesowi przemiany fazowej w PCM, zakumulowana energia może poprawić komfort cieplny w budynku.

Istotnym zagadnieniem jest możliwość uwzględnienia w bilansie cieplnym budynku projektowanych rozwiązań efektywnych energetycznie, wkomponowanych w strukturę przegród zewnętrznych. Takie rozwiązania mogą poprawić bilans cieplny budynku, z uwagi na zmieniający się klimat na świecie, również w obszarze klimatu umiarkowanego. Obecnie stosowane programy, wykorzystywane do obliczania bilansu, powinny mieć moduł umożliwiający automatyczne wprowadzenie takich rozwiązań do bilansu cieplnego budynku.

Trendy zmiany parametrów klimatu

Zmiany klimatu należą do najważniejszych wyzwań XXI wieku. Jednym z najbardziej oczywistych i mierzalnych efektów globalnych przemian klimatycznych jest wzrost temperatury powietrza obserwowany na całym świecie, w tym również w Polsce. Z danych Międzypaństwowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC) wynika, że od końca XIX wieku temperatura powierzchni Ziemi wzrosła średnio o ok. $1,1^{\circ}\text{C}$ [25]. W Europie tempo ocieplenia jest szybsze niż średnia globalna [26, 27]. Zgodnie z analizami NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS), światowa temperaturaroczna w ostatnich dekadach przekroczyła wszystkie wcześniejsze rekordy od początku instrumentalnych pomiarów [28].

Analizy przedstawione przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW-PIB) wskazują na systematyczny wzrost temperatury średniorocznej we wszystkich regionach Polski. Na rysunku 1 przedstawiono wartości średniej temperatury rocznej odnotowanej w stacji meteorologicznej Rzeszów-Jasionka w latach 1979–2024. Kolorem niebieskim oznaczono dane historyczne, na podstawie danych meteorologicznych [29].

W analizowanym okresie obserwuje się wyraźny wzrost średniej rocznej temperatury powietrza. Największą amplitudę tych wartości, aż $4,8^{\circ}\text{C}$, widać pomiędzy 1980 r. ($6,7^{\circ}\text{C}$) a 2024 r. ($11,5^{\circ}\text{C}$), przy czym ostatnie 13 lat (2011–2024) było najcieplejsze w historii pomiarów [30]. Średnie roczne temperatury w tym czasie przekraczały $9,0^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w poprzednich analizowanych latach 1979–1985 pojawiały się wartości mniejsze niż $7,0^{\circ}\text{C}$ [31]. Na podstawie danych historycznych wyznaczono linię trendu (kolor zielony), charakteryzującą tempo wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza w Rzeszowie. Analiza trendu umożliwia prognozowanie przyszłych wartości średniej rocznej temperatury. Zgodnie z zaproponowanym modelem prognostycznym średnia roczna temperatura powietrza w Rzeszowie może wynosić w 2050 r. nawet $11,7^{\circ}\text{C}$, pod warunkiem zachowania podobnego tempa i tendencji zmian klimatycznych.

Ocieplenie klimatu jest odczuwane szczególnie w sezonie zimowym. W kontekście projektowania systemów grzewczych, kluczowe znaczenie ma występująca minimalna temperatura. W ramach analizy uwzględniono minimalną temperaturę jako średnią z trzech najzimniejszych miesięcy (grudzień, styczeń, luty) w okresie ostatnich 45 lat (1979–2024), które odnotowano na stacji meteorologicznej Rzeszów-Jasionka (rysunek 2) [32]. Przedstawione na rysunku 2 dane pokazują wzrost średniej minimalnej temperatury z trzech miesięcy zimowych. Najwięk-

The data presented in Figure 2 show an increase in the average minimum temperature of the three winter months. The largest difference between the temperatures of the analyzed period, which is 3.74°C , was recorded between 1979 (-8.83°C) and 2022 (-5.09°C). The high dynamics of the increase in the average minimum temperature has been characteristic of recent years, starting 1999, when there is no value an average winter temperature below -8°C . The trend line developed on the basis of archival data shows an upward trend. It allows for the estimation of

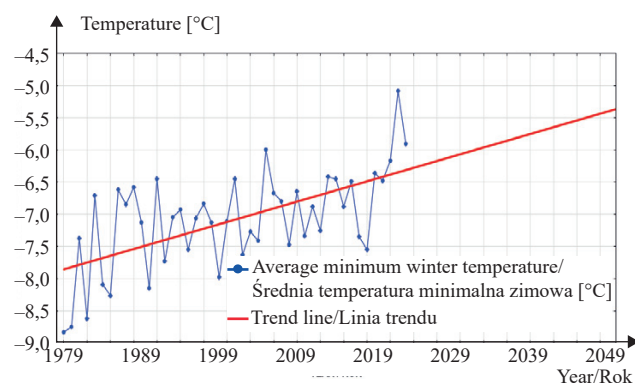


Fig. 2. Average minimum winter air temperatures for the Rzeszów-Jasionka meteorological station in the period 1979–2024, and the determined trend line [28]

Rys. 2. Średnia minimalna zimowa temperatura powietrza w okresie 1979–2024 w przypadku stacji meteorologicznej Rzeszów-Jasionka oraz wyznaczona linia trendu [28]

the average annual winter temperature in the future – in 2050 it will be -5.4°C . When designing heating systems, the minimum temperature is of significant importance when designing heating systems. Based on data from [29], the minimum air temperatures recorded at the Rzeszów-Jasionka meteorological station were analyzed. The results of the analysis are presented in Figure 3.

It can be concluded that the minimum temperature increases every year. The temperature of -20°C , which is assumed for the purposes of designing heating systems and energy calculations for climate zone III, has been recorded in Rzeszów only twice: in 1984 and 1993. By determining the trend line, it can be estimated that in 2050 the minimum air temperature will not fall below -16.6°C . It should be emphasized that the analyzed temperatures are absolute minimums, which occurred at least once, most often for a very short period of time. They should not be treated as a basis for energy calculations. The analyses are of great importance from the point of view of heating system design. This translates into oversizing of the installation and, as a result, an unfavorable economic effect.

Analysis of climate parameters for the selected study period

Research and analysis of selected climate parameters recorded at the Rzeszów University of Technology meteorological station (photo), located in the south-eastern part of Poland, confirmed earlier considerations (Figure 4). They were conducted simultaneously with research on the energy efficiency of thermal storage walls modified with phase change material.

sza różnicę pomiędzy temperaturami analizowanego okresu, która wynosi $3,74^{\circ}\text{C}$, odnotowano pomiędzy 1979 r. ($-8,83^{\circ}\text{C}$) a 2022 r. ($-5,09^{\circ}\text{C}$). Wysoką dynamiką wzrostu średniej temperatury minimalnej odznaczają się ostatnie lata, począwszy od 1999 r., kiedy nie pojawia się wartość średniej temperatury zimowej poniżej -8°C . Linia trendu opracowana na podstawie danych archiwalnych ma tendencję wzrostową. Umożliwia ona szacowanie średniorocznej temperatury zimowej w przyszłości – w 2050 r. będzie to $-5,4^{\circ}\text{C}$.

Przy projektowaniu systemów ogrzewania istotne znaczenie ma temperatura minimalna. Na podstawie danych z [29] przeanalizowano minimalne temperatury powietrza, które pojawiły się na stacji meteorologicznej Rzeszów-Jasionka. Wyniki analizy przedstawiono na rysunku 3. Można stwierdzić, że z każdym rokiem zwiększa się temperatura minimalna. Temperatura -20°C , która jest przyjmowana na potrzeby projektowania systemów grzewczych i obliczeń energetycznych w przypadku III strefy klimatycznej, została odnotowana w Rzeszowie jedynie dwukrotnie: w 1984 r. oraz 1993 r. Wyznaczając linię trendu, można oszacować, że w 2050 r. minimalna temperatura powietrza nie spadnie poniżej $-16,6^{\circ}\text{C}$. Należy podkreślić, że analizowane temperatury to absolutne minima, które pojawiły się przynajmniej raz, najczęściej w bardzo krótkim okresie. Nie należy traktować ich jako podstawy do obliczeń energetycznych. Analizy mają ogromne znaczenie z punktu widzenia projektowania systemów grzewczych. Przekłada się to na przewymiarowanie instalacji, a w efekcie niekorzystny efekt ekonomiczny.

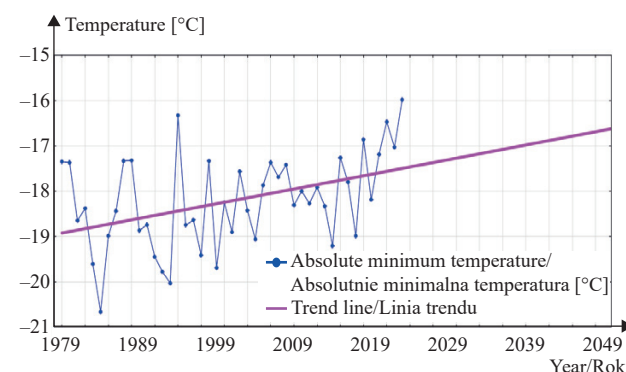


Fig. 3. Minimum air temperature for the Rzeszów-Jasionka meteorological station in the years 1979–2024, and the determined trend line

Rys. 3. Minimalna temperatura powietrza w latach 1979–2024 w przypadku stacji meteorologicznej Rzeszów-Jasionka oraz wyznaczona linia trendu
Rys. opracowano na podstawie [29]

Analiza parametrów klimatycznych przyjętego okresu badawczego

Badania oraz analiza wybranych parametrów klimatycznych, rejestrowanych na stacji meteorologicznej Politechniki Rzeszowskiej (fotografia), zlokalizowanej w południowo-wschodniej części Polski, potwierdziły wcześniejsze rozważania (ryunek 4). Prowadzono je jednocześnie z badaniami efektywności energetycznej ścian kolektorowo-akumulacyjnych modyfikowanych materiałem zmiennofazowym.

W badaniach eksperymentalnych uwzględniono rok meteorologiczny od 1 października 2017 r. do 30 września 2018 r.,



A weather station located on one of the helioenergetic chambers

Photo: authors
Stacja meteorologiczna umieszczona na jednej z komór helioenergetycznych
Fot.: autorzy

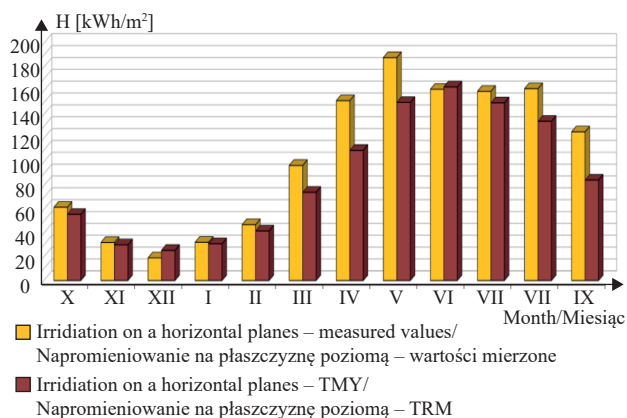


Fig. 4. Distribution of monthly sums from hourly averages of irradiation H [kWh/m^2] incident on the horizontal plane throughout the study period

Fig. prepared on the basis of [35]
Rys. 4. Rozkład sum miesięcznych z średnich godzinowych napromieniowania H [kWh/m^2] padającego na płaszczyznę poziomą w całym okresie badawczym
Rys. opracowano na podstawie [35]

The experimental research covered the meteorological year from October 1, 2017, to September 30, 2018, and the analysis included two characteristic parameters of external conditions: the intensity of total solar radiation falling on a horizontal plane and the outside air temperature.

In the analysis of individual months, the distribution of daily radiation totals (calculated from hourly averages) falling on a horizontal plane was determined. The values were taken into account in detailed calculations used to analyze the thermal comfort of rooms in the building. For the calculations of the energy performance of buildings, hourly, daily, or monthly radiation totals H [kWh/m^2] were used. The outdoor air temperature values, measured throughout the entire research period at five-minute intervals, were analyzed and averaged to hourly values and then to daily averages. The data obtained were compared with data obtained from a typical meteorological year (TMY) for the Rzeszów-Jasionka station [33]. According to the ISO standard, a typical meteorological year for a given location is determined on the basis of hourly values of meteorological parameters [34]. At most stations of the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW), such data are provided for a period of 30 years (from 1971 to 2000).

Figure 4 shows a comparison of the distribution of monthly H totals [kWh/m^2], determined from hourly averages, of ra-

a in the analysis two characteristic parameters of conditions: the intensity of total solar radiation falling on a horizontal plane and the outside air temperature.

In the analysis of individual months, the distribution of daily radiation totals (calculated from hourly averages) falling on a horizontal plane was determined. The values were taken into account in detailed calculations, used for the analysis of thermal comfort of rooms in the building. For the calculations of the energy performance of buildings, hourly, daily, or monthly radiation totals H [kWh/m^2] were used. The outdoor air temperature values, measured throughout the entire research period at five-minute intervals, were analyzed and averaged to hourly values and then to daily averages. The data obtained were compared with data obtained from a typical meteorological year (TRM) for the Rzeszów-Jasionka station [33]. According to the ISO standard, a typical meteorological year for a given location is determined on the basis of hourly values of meteorological parameters [34]. In most stations of the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW), such data are provided for a period of 30 years (from 1971 to 2000).

Figure 4 presents a comparison of the distribution of monthly sums H [kWh/m^2], determined from hourly averages, of radiation falling on a horizontal plane, measured at the meteorological station and calculated according to TRM for the Rzeszów-Jasionka station.

In Table 1, the relative deviation between the obtained values of radiation is presented. On the basis of Figure 4 and the values given in Table 1, it was confirmed that a significant part of the monthly sums of radiation falling on a horizontal plane, in the case of measured values, was greater than the values given in TRM. Only in December and June, the values were smaller. The largest relative deviation of measured values from TRM values was observed in September and amounted to 47.91%, and then in April (38.14%) and March (30.38%). September and October belong to the transitional months, where the largest temperature fluctuations occur between day and night. The occurrence of a large amount of solar radiation in this period can positively influence the work of effective energy systems. The relative deviation of the sum of radiation falling on a horizontal plane amounted to 17.72% in the case of the entire research period.

In Figure 5, the average outdoor air temperature for individual months is presented. The monthly average temperature from the measurements was higher than the temperature in the typical meteorological year. The only month in which the monthly average temperature was lower than in TRM, was February. In Table 2, the statistical description of the measured average monthly outdoor air temperature for the Rzeszów-Jasionka station is presented. In the case of individual months, the measured values of the minimum and maximum temperature were compared with the values from the typical meteorological year. In the case of the minimum temperature, the values were lower than in TRM in November and December, and higher in January and February. In the case of the maximum temperature, the values were higher than in TRM in all months.

diation falling on a horizontal plane, measured at the meteorological station and calculated according to TMY for the Rzeszów–Jasionka station.

Table 1 shows the relative deviation between the obtained values of irradiation. Based on Figure 4 and the values given in Table 1, it was found that a significant portion of the monthly radiation falling on the horizontal plane in the measured period was greater than the values given in the TMY. Only in December and June were these values lower. The largest relative deviation of the measured values from the TMY values was recorded in September and amounted to 47.91%, followed by April (38.14%) and March (30.38%). April and September are transitional months, where the greatest temperature fluctuations between day and night. The occurrence of a large amount of solar radiation during this period may have a beneficial effect on the performance of energy-efficient partitions. The relative deviation of the total irradiation, falling on a horizontal plane was 17.72% for the entire research period.

Figure 5 shows the value of the average outdoor air temperature in individual months. The average monthly temperature from the measurements was higher than the temperature in a typical meteorological year. The only month in which the average monthly temperature was lower than in TMY was February. Table 2 presents a statistical description of the measured average value of the outdoor air temperature for individual months and the temperature given in a typical meteorological year.

In the case of minimum values, a shift in the measured temperature from November and December towards February and

nie w kwietniu. Mediana w listopadzie i grudniu, w przypadku typowego roku meteorologicznego, znacznie różniła się od ich średniej, co świadczyło, że 50% średnich dobowych temperatur w miesiącu wyniosło co najwyżej 0,7°C w przypadku listopada, oraz 0,3°C w grudniu. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że w założonym okresie badawczym wartość napromieniania była większa niż wg TRM. Śred-

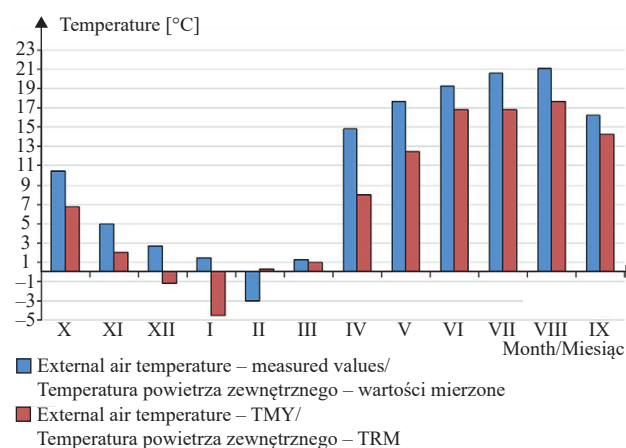


Fig. 5. Distribution of average monthly outdoor temperature T [°C] measured and determined based on TRM

*Fig. prepared on the basis of [35]
Rys. 5. Rozkład średniej miesięcznej temperatury zewnętrznej T [°C] mierzonej oraz określonej na podstawie TRM*

Rys. opracowano na podstawie [35]

Table 1. Monthly sum values of irradiation incident on the horizontal plane during the entire research period

Tabela 1. Wartości sum miesięcznych napromieniania padającego na płaszczyznę poziomą w całym okresie badawczym

Month/ Miesiąc	Irradiation on a horizontal plane – measured values Napromienianie na płaszczyznę poziomą – wartości mierzone [kWh/m ²]	Horizontal plane irradiation – TMY Napromienianie wg TRM [kWh/m ²]	Relative deviation of measured values of radiation incident on a horizontal plane Względne odchylenie wartości mierzonych napromieniania padającego na płaszczyznę poziomą [%]
X	62	56	10,71
XI	32	30	6,35
XII	19	26	–24,93
I	32	31	3,90
II	47	42	12,77
III	97	74	30,38
IV	152	110	38,14
V	188	150	25,18
VI	161	163	–1,25
VII	160	150	6,50
VIII	162	134	20,48
IX	125	85	47,91
Suma	1238	1051	17,72

Table 2. Temperature values for individual months

Tabela 2. Wartości temperatury w poszczególnych miesiącach

Prepared on the basis of [35]

Opracowano na podstawie [35]

Month/ Miesiąc	Average temperature/ Średnia temperatura		Median/Mediana		Maximum temperature daily/ Maksymalna temperatura dobowa		Minimum temperature daily/ Minimalna temperatura dobowa	
	measured values/ wartości mierzone [°C]	according to TMY/ wg TRM [°C]	measured values/ wartości mierzone [°C]	according to TMY/ wg TRM [°C]	measured values/ wartości mierzone [°C]	according to TMY/ wg TRM [°C]	measured values/ wartości mierzone [°C]	according to TMY/ wg TRM [°C]
X	10,5	6,8	10,6	7,1	22,0	20,6	0,8	-6,4
XI	4,9	2,0	4,4	0,7	14,9	16,0	-3,4	-15,4
XII	2,7	-1,2	2,8	0,3	11,5	10,9	-4,6	-16,7
I	1,4	-4,6	1,8	-4,9	9,2	8,4	-8,3	-18,1
II	-3,0	0,3	-2,2	0,9	7,8	8,0	-15,8	-10,3
III	1,2	1,0	3,7	0,5	15,0	16,1	-17,6	-11,3
IV	14,9	8,0	15,6	7,3	26,8	20,3	-0,9	-2,1
V	17,7	12,5	18,0	12,6	29,6	24,6	5,8	0,1
VI	19,3	16,8	19,8	17,0	30,0	28,7	9,6	6,7
VII	20,6	16,9	21,0	16,5	30,2	30,8	10,4	8,0
VIII	21,2	17,7	21,3	17,9	32,0	30,8	10,3	7,8
IX	16,2	14,3	17,2	13,5	28,6	28,0	0,5	3,8

March. In the spring, an increase in the maximum temperature was observed, especially in April. The median in November and December, in the case of a typical meteorological year, differed significantly from their average, which indicated that 50% of the average daily temperatures in the month were at most 0.7°C in November and 0.3°C in December. Based on the results obtained, it was concluded that in the assumed research period, the irradiation value was higher than according to TMY. The average outdoor temperature in each month, except December, was also higher than in a typical meteorological year.

Studies conducted to analyze climate parameters show significant climate changes throughout the meteorological year. The most noticeable is the “disappearance” of transitional periods. The period of lower temperatures has also shortened, and positive values are usually recorded until the end of the calendar year.

Energy balance of thermal storage walls modified with phase change material

The tests were carried out in two external test chambers shown in the photograph. Thermal storage wall, modified with phase change material, classified as passive systems [36, 37], were analysed. Figure 6 shows a diagram of barriers placed in the chamber. Four variants of barriers were used, in which the wall layer differed in the amount of PCM used and its location in the wall element:

nia wartość temperatury zewnętrznej w poszczególnych miesiącach, oprócz grudnia, była również wyższa niż w typowym roku meteorologicznym.

Badania przeprowadzone w kierunku analizy parametrów klimatycznych pokazują istotne zmiany klimatyczne w całym roku meteorologicznym. Najbardziej zauważalne jest „zanikanie” okresów przejściowych. Skrócił się również okres występowania niższej temperatury, a dodatnie wartości zazwyczaj odnotowuje się do końca roku kalendarzowego.

Bilans energetyczny przegród kolektorowo-akumulacyjnych modyfikowanych materiałem zmiennofazowym

Badania przeprowadzono w dwóch zewnętrznych komorach badawczych przedstawionych na fotografii. Analizowano przegrody kolektorowo-akumulacyjne, modyfikowane materiałem zmiennofazowym, zaliczane do systemów pasywnych [36, 37]. Rysunek 6 przedstawia schemat przegród umieszczonych w komorze. Zastosowano cztery warianty przegród, w których warstwa murowa różniła się ilością zastosowanego PCM oraz jego usytuowaniem w elemencie murowym:

- **wariant I** – jeden rząd szczelin wypełniony PCM, które usytuowano od strony powietrza zewnętrznego, pozostałe szczeliny wypełniono mączką ceglana;

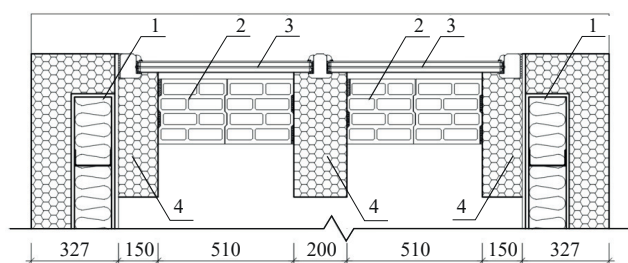


Fig. 6. Diagram of the partition structure in the external chamber [35]: 1 – external wall structure of the chamber; 2 – masonry layer of the barrier; 3 – glazing layer; 4 – thermal insulation

Rys. 6. Schemat struktury przegród w komorze zewnętrznej [35]: 1 – konstrukcja ściany komory; 2 – warstwa murowa przegrody; 3 – warstwa przeszklenia; 4 – izolacja termiczna

• **variant I** – one row of slots filled with PCM, located on the outside air side, the remaining slots were filled with brick flour;

• **variant II** – two rows of slots filled with PCM, located on the outside air side, the remaining slots were filled with brick flour;

• **variant III** – two rows of slots filled with PCM, located in the two middle rows of ceramic blocks, the remaining slots were filled with brick flour;

• **variant IV** – no PCM, all slots were filled with brick flour; reference barrier.

A detailed description of the individual variants of thermal storage walls and the properties of the materials used are presented in [37]. Figure 7 and Table 3 present the monthly sum of energy on the inner surface of the partition of all the analyzed variants in the period from October 2017 to April 2018, corresponding to the heating season. In October, November, February, March and April, a thermal energy gain was obtained for all the variants tested, because negative values mean that the heat flow is towards the inner surface of the partition. In January, the balance of gains and losses was close to zero, and in December losses were recorded, which is the only month in which favorable values were not obtained in the heat balance. The lowest energy values

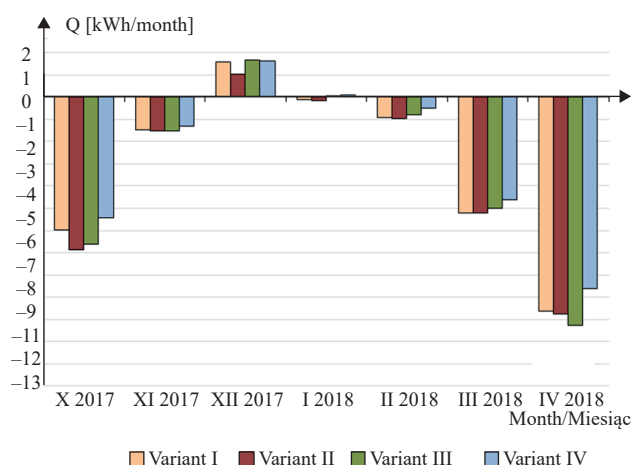


Fig. 7. Monthly total energy Q [kWh] received on the inner surface of the barrier for all variants Fig. prepared on the basis of [35]

Rys. 7. Miesięczna suma energii Q [kWh] otrzymanej na wewnętrznej powierzchni przegrody w przypadku wszystkich wariantów

Rys. opracowano na podstawie [35]

• **variant II** – dwa rzędy szczelin wypełnione PCM, które usytuowano od strony powietrza zewnętrznego, pozostałe szczeliny wypełniono mączką ceglana;

• **variant III** – dwa rzędy szczelin wypełnione PCM, które usytuowano w dwóch środkowych rzędach pustaka ceramicznego, pozostałe szczeliny wypełniono mączką ceglana;

• **variant IV** – brak PCM, wszystkie szczeliny wypełniono mączką ceglana; przegroda referencyjna.

Szczegółowy opis poszczególnych wariantów przegród kolektorowo-akumulacyjnych oraz właściwości zastosowanych materiałów przedstawiono w [37]. Na rysunku 7 i w tabeli 3 zestawiono miesięczną sumę energii na wewnętrznej powierzchni przegrody wszystkich analizowanych wariantów w okresie od października 2017 r. do kwietnia 2018 r., odpowiadającym sezonowi grzewczemu. W październiku, listopadzie, lutym, marcu i kwietniu otrzymano zysk energii cieplnej w przypadku wszystkich badanych wariantów, ponieważ wartości ujemne oznaczają, że przepływ ciepła jest w kierunku powierzchni wewnętrznej przegrody. W styczniu bilans zysku oraz strat był bliski zeru, a w grudniu odnotowano straty i jest to jedyny miesiąc, w którym nie uzyskano korzystnych wartości w bilansie cieplnym. Najmniejsze wartości energii odnotowano w przypadku przegrody bez materiału zmiennofazowego, chociaż ona również charakteryzowała się korzystnym bilansem cieplnym. W tabeli 3 zestawiono miesięczną sumę pozyskanej energii oraz całkowitą sumę energii w sezonie grzewczym w przypadku każdej analizowanej przegrody. We wszystkich wariantach otrzymano korzystny bilans cieplny, niezależnie od przyjętej konfiguracji materiałowej.

Największą wartość energii cieplnej na wewnętrznej powierzchni przegrody uzyskano w przypadku wariantu II. Była ona o 24,8% większa w porównaniu z wariantem IV, w którym nie zastosowano PCM. Najmniejszą różnicę procentową wynoszącą 4,5%, odnotowano pomiędzy wariantami II a III, w których zastosowano taką samą ilość PCM, ale inaczej je usytuowano.

Table 3. Values of obtained thermal energy Q [kWh] on the inner surface of the partition for all four variants [35]

Tabela 3. Wartości energii cieplnej Q [kWh] na wewnętrznej powierzchni przegrody w przypadku wszystkich czterech wariantów [35]

Month/ Miesiąc	Energy Value Q /Wartość energii Q [kWh]			
	Variant I/ Wariant I	Variant II/ Wariant II	Variant III/ Wariant III	Variant IV/ Wariant IV
X 2017	-5,96	-6,86	-6,60	-5,44
XI 2017	-1,47	-1,51	-1,51	-1,30
XII 2017	+1,57	+1,04	+1,66	+1,63
I 2018	-0,09	-0,17	+0,08	+0,09
II 2018	-0,93	-0,96	-0,77	-0,50
III 2018	-5,19	-5,19	-5,00	-4,63
IV 2018	-9,65	-9,77	-10,28	-8,62
Sum/Suma	-43,45	-46,84	-44,83	-37,53

were recorded for the partition without phase change material, although it was also characterized by a favorable heat balance.

Table 3 presents the monthly sum of the acquired energy and the total sum of energy in the heating season for each analyzed barrier. In all variants, a favorable thermal balance was obtained, regardless of the adopted material configuration.

The highest value of thermal energy on the inner surface of the partition was obtained in the case of variant II. It was 24.8% higher compared to variant IV, in which PCM was not used. The smallest percentage difference of 4.5% was noted between variants II and III, in which the same amount of PCM was used, but they were positioned differently.

Design heat load simulation in light of climate change

The observed dynamic climate changes require updating the currently used standards for designing HVAC systems. In order to better illustrate this phenomenon and the need to change the design assumptions, a simulation of the design heat load was carried out for different outside air temperatures. Property characteristics:

- Location: Rzeszów, climate zone III;
- Building: detached single-family house; Usable area 235 m², brick construction; insulation: 20 cm polystyrene; triple-glazed windows. The calculations of the design heat load were performed in the Audytor OZC 7.0 Pro program.

Table 4 presents the results of the design heat load for different outside temperature assumptions. The reference variant (applicable standards) presents the assumption of standards for thermal calculations. The remaining variants concern calculations taking into account forecasted data. The assumed outside temperature is the forecasted value as the trend line of the absolute minimum temperature from 1979–2023. The average annual temperature is the calculated average value resulting from the developed change trend from the years (1979–2023).

The simulations performed show the degree of oversizing of the design heat load in the case of the analyzed building. In 2025, taking into account the forecasting model that assumes an increase in temperature, the design heat load was oversized by 6.7%, and in 2050, by almost 9%. It should be emphasized that the outside temperature trend was calculated as the minimum from 45 years. Assuming a shorter analysis period, the outside temperature would be higher and the oversizing of the heating system would be even greater.

Table 4. Simulation results

Tabela 4. Wyniki symulacji

Variant /Wariant	Outside temperature/ Temperatura zewnątrzna [°C]	Average annual temperature/ Średnia roczna temperatura [°C]	Design heat load/ Projektowe obciążenie ciepne [W]	Oversizing/ Przewymiarowanie [%]
Applicable standards/ Obowiązujące normy	–20	7,6	10784	–
2025	–17,4	10,3	10062	6,70
2050	–16,6	11,7	9817	8,97

Symulacja projektowego obciążenia cieplnego w świetle zmian klimatycznych

Obserwowane dynamiczne zmiany klimatu wymuszają aktualizację obecnie stosowanych norm dotyczących projektowania systemów HVAC. W celu lepszego zobrazowania tego zjawiska oraz potrzeby zmian założeń projektowych przeprowadzono symulację projektowego obciążenia cieplnego w przypadku różnej temperatury powietrza zewnętrznego. Charakterystyka obiektu:

- lokalizacja: Rzeszów, strefa klimatyczna III;
- budynek: wolnostojący dom jednorodzinny; powierzchnia użytkowa 235 m², konstrukcja murowana; izolacja: styropian 20 cm; okna trzyszybowe. Obliczenia projektowego obciążenia cieplnego wykonano w programie Audytor OZC 7.0 Pro.

W tabeli 4 zestawiono wyniki projektowego obciążenia ciepła w przypadku różnych założeń temperatury zewnętrznej. W wariancie odniesienia (obowiązujące normy) przedstawiono założenie norm do obliczeń cieplnych. Pozostałe warianty dotyczą obliczeń uwzględniających dane prognozowane. Przyjęta temperatura zewnętrzna to wartość prognozowana jako linia trendu absolutnie minimalnej temperatury z lat 1979–2023. Średnia roczna temperatura, to obliczona średnia wartość wynikająca z opracowanego trendu zmian z lat (1979–2023). Przeprowadzone symulacje pokazują stopień przewymiarowania projektowego obciążenia cieplnego w przypadku analizowanego budynku. W 2025 r., biorąc pod uwagę model prognostyczny, który zakłada wzrost temperatury, projektowe obciążenie cieplne zostało przewymiarowane o 6,7%, a w 2050 r., prawie o 9%. Należy podkreślić, iż trend temperatury zewnętrznej został obliczony jako minimalna z 45 lat. Przy założeniu krótszego okresu analizy, temperatura zewnętrzna byłaby wyższa, a przewymiarowanie systemu ogrzewania jeszcze większe.

Podsumowanie

Przeprowadzone analizy dynamiki oraz trendów zmian parametrów klimatycznych, a także ich wpływu na charakterystykę energetyczną budynku podkreślają znaczenie adaptacyjnych strategii projektowych, mających na celu optymalizację jego wydajności w zmieniających się warunkach klimatycznych. Obliczenia symulacyjne wskazują, że zmiana klimatu ma duży wpływ na charakterystykę energetyczną budynku. Zaobserwowano znaczny stopień przewymiarowania projektowego obciążenia cieplnego w przypadku analizowanego budynku,

Summary

The conducted analyses of the dynamics and trends of changes in climate parameters, as well as their impact on the energy performance of the building, emphasize the importance of adaptive design strategies aimed at optimizing its performance in changing climatic conditions.

Simulation calculations indicate that climate change has a significant impact on the energy performance of the building. A significant degree of oversizing of the design heat load was observed in the case of the analyzed building, amounting to 6.7%, with an increasing trend in the following years, assuming that the current trend in climate change will continue.

The conducted analysis based on the use of meteorological data from the years 1979–2024 and measured energy consumption values of the building covered by the study, in which phase change material was used, indicates the possibilities and benefits of using innovative energy-efficient solutions.

The integration of technological elements storing thermal energy in the structure of external walls of buildings enables more efficient heat management. The stored thermal energy is transferred to the room, which reduces temperature fluctuations and improves thermal comfort. Such analyses are essential for the development of more effective policies and design strategies to achieve sustainable building performance in the context of climate change.

wynoszący 6,7%, z tendencją wzrostową w kolejnych latach przy założeniu utrzymania się aktualnego trendu zmian klimatu.

Przeprowadzona analiza bazująca na wykorzystaniu danych meteorologicznych z lat 1979–2024 oraz zmierzonych wartości zużycia energii budynku objętego badaniem, w którym zastosowano materiał zmiennofazowy, wskazuje na możliwości i korzyści ze stosowania innowacyjnych rozwiązań efektywnych energetycznie.

Integracja elementów technologicznych magazynujących energię ciepłą w strukturze ścian zewnętrznych budynków umożliwia bardziej efektywne zarządzanie ciepłem. Zmagazynowana energia ciepła przekazywana jest w kierunku pomieszczenia, co wpływa na zmniejszenie wahań temperatury i poprawę komfortu cieplnego. Tego typu analizy są niezbędne do rozwoju bardziej efektywnych polityk i strategii projektowych w celu osiągnięcia zrównoważonej wydajności budynków w kontekście zmian klimatu.

Received: 07.01.2025

Revised: 03.03.2025

Published: 24.06.2025

Artykuł wpłynął do redakcji: 07.01.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 03.03.2025 r.

Opublikowano: 24.06.2025 r.

Literature

- [1] Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030. Ministerstwo Środowiska 2013.
- [2] Commission staff working document impact assessment report Accompanying the document communication from the commission to the European Parliament, the council, the economic and social committee and the committee of the regions. Forging a climate-resilient Europe – The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change, SWD/2021/25.
- [3] Klimada, 2013, Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu. Adaptacja wrażliwych sektorów i obszarów Polski do zmian klimatu do roku 2070, Raport z Projektu KLIMADA, Inst. Ochrony Środowiska, Warszawa.
- [4] Błażejczyk K, Błażejczyk A. Zmiany klimatu i ich wpływ na budownictwo i komfort życia mieszkańców miast, przykład Warszawy, Przegląd Geofizyczny, Rocznik LXVIII 2023 Zeszyt 1–2.
- [5] Babiarz B, Krawczyk DA, Siuta-Olcha A, Manuel CD, Jaworski A, Barnat E, Cholewa T, Sadowska B, Bocian M, Gnieciak, M, et al. Energy Efficiency in Buildings: Toward Climate Neutrality. *Energies* 2024, 17, 4680. <https://doi.org/10.3390/en17184680>.
- [6] Possega M, et al: Observational evidence of intensified nocturnal urban heat island during heatwaves in European cities *Environ. Res. Lett.* 2022, 17 124013.
- [7] Ustawa Prawo budowlane, 7 lipca 1994 r. (Dz. U. z 1994 r. nr 89, poz. 414) wraz z późn. zm.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75, poz. 690) z późniejszymi zmianami”.
- [9] PN-EN 12831 Instalacje grzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [10] Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków, <https://www.mib.gov.pl>.
- [11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 27 lutego 2015 w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376), wraz z późn. zm.
- [12] Ustawa z 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz. U. 2014 poz. 1200) wraz z późn. zm. (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 101.)
- [13] Narowski P. Analiza porównawcza typowych lat meteorologicznych Polski wyznaczonych na podstawie danych źródłowych z lat 2001–2020. Instal, 2022 nr 10: 11–25. DOI: 10.36119/15.2022.10.2.
- [14] Narowski P. „TLM2000 – Typowe lata meteorologiczne dla Polski wyznaczone na podstawie danych meteorologicznych i klimatycznych z lat 2001–2020”. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 2022 53 (9): 7–20. DOI: 10.15199/9.2022.9.1
- [15] Narowski P, Heim D, Mijakowski M. New External Design Temperatures and Geospatial Models for Poland and Central Europe for Building Heat Load Calculations. *Energies* 2024, 17, 3905, DOI.org/10.3390/en17163905.

- [16] Szczęśniak S, Stefaniak Ł, Kanaś P, Małyszko M, Jaskóła W, Brzeźniak K. O potrzebie zmian parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego na przykładzie miasta Wrocław”. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 2023, 1 (4): 13–20. DOI: 10.15199/9.2023.4.2.
- [17] Szczęśniak S, Karpuk M, Stefaniak Ł, Grabka A, Michalak W, Jaskóła W, Maciewicz M. Obowiązujące normy na tle rzeczywistych wartości temperatury powietrza zewnętrznego w Polsce. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 2024, 55/4: 20–29, DOI: 10.15199/9.2024.4.4.
- [18] Babiarczyk B, Szymański W. Introduction to the Dynamics of Heat Transfer in Buildings. *Energies* 2020, 13, 6469; DOI: 10.3390/en13236469.
- [19] Szymański W, Babiarczyk B.: Wpływ bezwładności cieplnej budynku na wykres obciążeń, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, z. 7–8, 2022, s. 8–14, DOI: 10.15199/9.2022.7–8.1
- [20] Fernandes MS, Coutinho B, Rodrigues E. The impact of climate change on an office building in Portugal: Measures for a higher energy performance. *Journal of Cleaner Production*, 445 (2024) 141255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141255>
- [21] Gronowicz, J. Niekonwencjonalne źródła energii. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji; 2010.
- [22] Sadineni SB, Madala S, Boehm RF. Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011; <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.014>
- [23] Wang D, Hu L, Du H, Liu Y, Huang J, Xu Y, Liu J. Classification, experimental assessment, modeling methods and evaluation metrics of Trombe walls. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2020; <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109772>
- [24] Quesada G, Rouse D, Dutil Y, Badache M, Hallé S. A comprehensive review of solar facades. Opaque solar facades. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012; <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.078>.
- [25] IPCC (2021). Sixth Assessment Report.
- [26] EEA (2022). Climate change impacts and adaptation in Europe.
- [27] IMGW-PIB (2021). Raport o stanie klimatu w Polsce 2020.
- [28] IMGW-PIB. Dane archiwalne stacji klimatologicznej Rzeszów-Jasionka.
- [29] Klimat IMGW-PIB, Normy 1991–2020 dla stacji Rzeszów.
- [30] NASA GISS (2023). Global Temperature Vital Signs. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- [31] https://www.meteoblue.com/pl/pogoda/historyclimate/change/rzeszow%3fb3w_polska_759734
- [32] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej -Państwowy Instytut Badawczy
- [33] <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow> (data dostępu: listopad 2021)
- [34] Narowski P, Janicki M, Heim D. Meteorologiczny rok odniesienia do obliczeń energetycznych (WYEC2) dla potrzeb optymalizacji fasad budynków. *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, 2011; IV (2).
- [35] Krasoń J. Wpływ materiałów zmiennofazowych na efektywność energetyczną modyfikowanych przegród kolektorowo-akumulacyjnych. Praca doktorska. 2023
- [36] Jaworski M. Zastosowanie materiałów zmiennofazowych PCM w budownictwie. *Materiały Budowlane*. 2012; 2: 30–33.
- [37] Krasoń J, Miąsik P, Starakiewicz A, Lichołai L. Thermal Energy Storage Possibilities in the Composite Trombe Wall Modified with a Phase Change Material. *Energies* 2025; 18 (6): 1433; <https://doi.org/10.3390/en18061433>