



Porównanie budynku prefabrykowanego o szkieletcie drewnianym i budynku w technologii tradycyjnej murowanej w kontekście ich charakterystyki energetycznej

Natalia Rzeszowska¹

STRESZCZENIE:

Budynek jest efektem procesu inwestycyjnego, który łączy rozwiązania technologiczne, konstrukcyjne oraz instalacyjne, realizując w ten sposób potrzeby i oczekiwania inwestorów. Wspomniane rozwiązania mają na celu stworzenie mikrośrodowiska wewnątrz budynku, które będzie sprzyjać komfortowi ludzi w nim przebywających, a ponadto odpowiadają za jego wysoką efektywność energetyczną idącą w parze z minimalizacją oddziaływania na środowisko. Na rynku obok tradycyjnych murowanych technologii wznoszenia obiektów proponowany jest szereg nowatorskich rozwiązań, które najczęściej mają na celu ograniczenie zapotrzebowania na energię obiektu, kierując się w ten sposób stale zaostrzonymi przepisami dotyczącymi efektywności energetycznej w budownictwie. Jednym z takich rozwiązań są budynki prefabrykowane, które w 80% są produkowane w fabryce, a następnie montowane na placu budowy. Artykuł stanowi próbę porównania efektywności energetycznej budynku prefabrykowanego o szkieletcie drewnianym i budynku w technologii tradycyjnej murowanej. W pierwszej części przedstawiono charakterystykę technologii wykonania obu obiektów. Następnie przeprowadzono analizę efektywności energetycznej budynków, aby w ostatniej części dokonać zestawienia oraz porównania otrzymanych wartości.

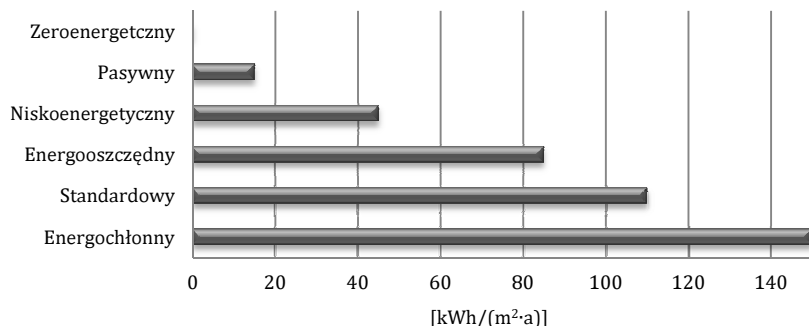
SŁOWA KLUCZOWE:

charakterystyka energetyczna; prefabrykowane budownictwo drewniane; technologia tradycyjna; pojemność cieplna; szczelność powietrzna

1. Wprowadzenie

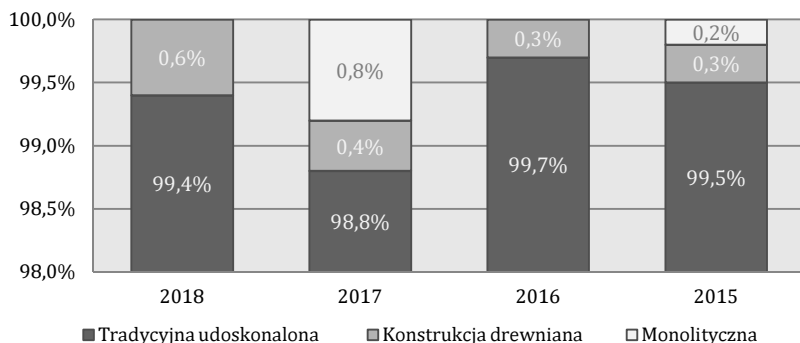
W ostatnich latach Unia Europejska, ze względu na przyjętą politykę zrównoważonego rozwoju, systematycznie zaostrza wymagania dotyczące efektywności energetycznej stawiane nowo wznoszonym obiektom budowlanym. Z tego względu przepisy krajowe są systematycznie modyfikowane, aby podwyższyć standard budownictwa w Polsce. Normy prawne, obniżając wartości wskaźników oraz parametrów poszczególnych elementów konstrukcji, obligują inwestorów do stosowania efektywnych energetycznie rozwiązań, które generują niższe zapotrzebowanie na energię użytkową całego obiektu. W wielu przypadkach te rozwiązania stają się coraz bardziej opłacalne dla właścicieli i użytkowników obiektów mieszkalnych [1]. Pojęcie budynku o niskim zużyciu energii posiada odrębne definicje w każdym z krajów Unii Europejskiej, uwzględniające warunki klimatyczne oraz aspekt opłacalności ekonomicznej. W literaturze przedmiotu można znaleźć szereg pojęć określających obiekty charakteryzujące się podwyższoną charakterystyką energetyczną wraz z przypisanymi wartościami wybranych współczynników. Rysunek 1 prezentuje klasyfikację budynków mieszkalnych wg kryterium zapotrzebowania na ciepło użytkowe do ogrzewania budynku.

¹ Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, ul. Licealna 9/9, 65–417 Zielona Góra, e-mail: 20000850@stud.uz.zgora.pl, orcid id: 0000-0002-8941-7800



Rys. 1. Klasyfikacja budynków mieszkalnych wg kryterium zapotrzebowania na ciepło użytkowe $Q_{H,nd}$ do ogrzewania budynku [2–4]

Wpływ na końcowy rachunek energochłonności obiektu ma szereg parametrów charakteryzujących poszczególne komponenty budowlane, jak też wybrana technologia konstrukcji [5]. Na podstawie danych GUS, zdecydowana większość budynków mieszkalnych w Polsce jest realizowana w technologii murowanej (tradycyjnej). W I kwartale 2018 roku wzniesiono ogółem 17 257 budynków mieszkalnych, 17 107 z nich to budynki wzniesione w sposób tradycyjny. Pozostałe 150 obiektów zostało zrealizowanych w konstrukcji drewnianej. Liczba ta jest niewielka, natomiast porównując dane w latach ubiegłych, popularność budownictwa drewnianego z roku na rok zdecydowanie rośnie (rys. 2).



Rys. 2. Nowe budynki mieszkalne oddane do użytkowania w I kwartale roku na przestrzeni 2015–2018 wg kubatury w procentach [6]

Artykuł prezentuje analizę porównawczą technologii murowanej oraz prefabrykowanej technologii szkieletowej w oparciu o badania parametrów fizycznych zastosowanych materiałów oraz przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych.

2. Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe

Rozpatrywane technologie cechują się zróżnicowaną charakterystyką materiałową oraz różnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi.

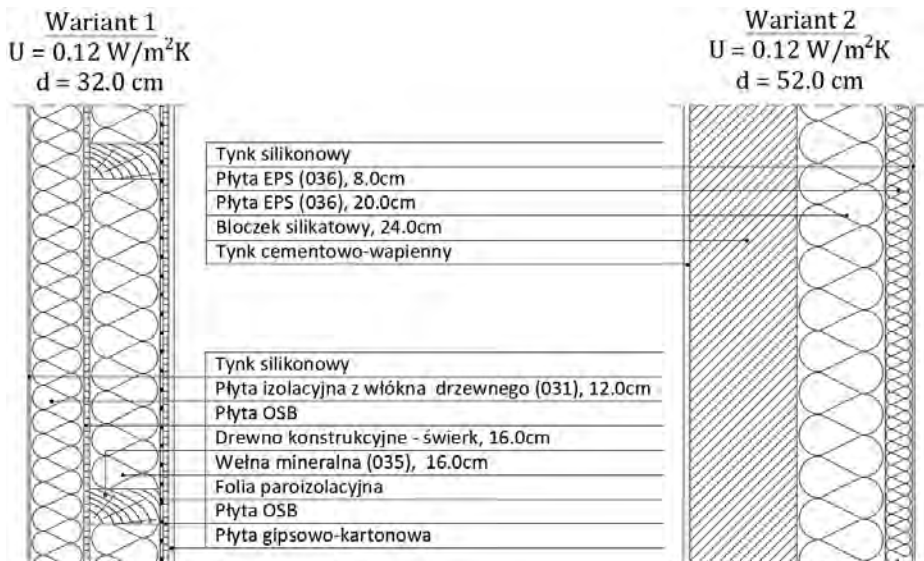
Technologia tradycyjna (murowana) jest najpowszechniejszą metodą wznoszenia budynków mieszkalnych. Ściany murowane jednowarstwowe ze względu na brak dodatkowej izolacji termicznej wznoszone są z lekkich materiałów konstrukcyjnych o niskim współczynniku przenikania ciepła, m.in. beton komórkowy. Przegrody zewnętrzne są murowane na zaprawach

i klejach o dodatkowych właściwościach termicznych, natomiast do wykończenia powierzchni zewnętrznych są stosowane tynki cienkowarstwowe lub systemowe rozwiązania oferowane przez producentów [7]. Konstrukcja ścian wielowarstwowych jest zbudowana z następujących warstw: konstrukcyjnej, izolacyjnej, pustki powietrznej (opcjonalnie) oraz elewacyjnej [7]. Podstawowy wpływ na parametry fizyczne przegrody ma charakterystyka wybranego materiału izolacyjnego oraz jego lokalizacja względem warstwy konstrukcyjnej.

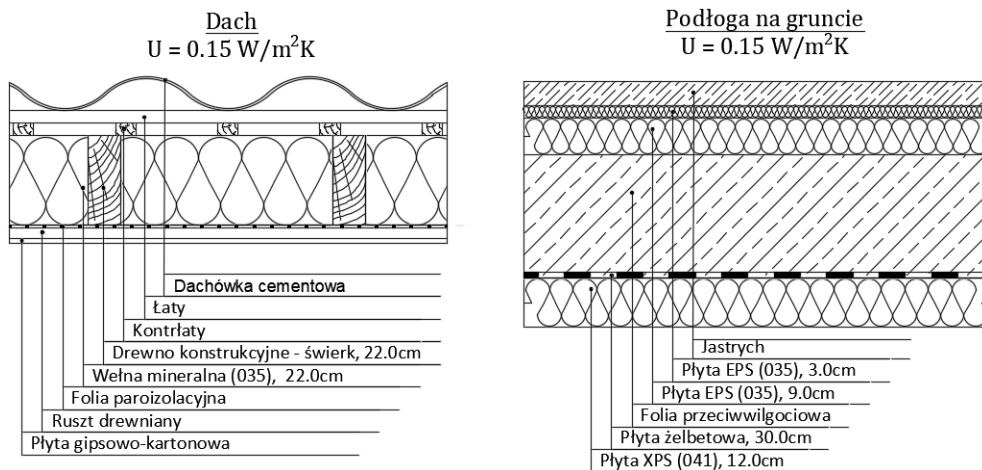
Technologia prefabrykowanego szkieletu drewnianego opiera się na konstruowaniu elementów modułowych budynku na hali produkcyjnej, które po dostarczeniu na plac budowy są montowane w kompletny obiekt. Mogą być posadowione na płycie fundamentowej, jednak niewykluczone jest podpiwniczenie całej konstrukcji. Podstawowymi elementami ściany nośnej są słupy, podwalina i oczep ściany oraz nadproża. Słupki poprzez oczep i podwalinę przenoszą obciążenia ze stropów wyższych kondygnacji i dachu na strop niższej kondygnacji i fundamenty [4]. Poszycie ścian, które pełni jednocześnie funkcję usztywnienia, stanowią najczęściej płyty OSB, które od strony wewnętrznej są wykańczane płytami gipsowo-kartonowymi. Obowiązkowymi elementami ścian zewnętrznych są termiczna oraz paro- i wiatroizolacja, które skutecznie chronią konstrukcję przed oddziaływaniem czynników zewnętrznych oraz zapewniają prawidłowe parametry ciepło-wilgotnościowe przegrody. Przestrzeń między słupami wypełniona jest wełną mineralną, natomiast warstwę zewnętrzną stanowi system ociepleń (np. ETICS) [1]. Na parterze gotowe ściany kotwione są do fundamentu budynku, natomiast na kolejnych kondygnacjach montaż odbywa się bezpośrednio na płycie poszycia stropu. Rozwiązania poszczególnych detali konstrukcyjnych są zależne od firm specjalizujących się w tego typu konstrukcjach. Montaż stolarki otworowej oraz wszelkie połączenia poszczególnych modułów powinny zostać wykonane z zastosowaniem materiałów bardzo dobrej jakości z zachowaniem wysokich standardów wykonania. Wszelkie instalacje elektryczne, grzewcze i sanitarne są prowadzone w stropach oraz ścianach wewnętrznych. Klasyfikacja domów gotowych określana jest według kryterium stopnia prefabrykacji konstrukcji, czyli zakresu prac wykonanych na hali produkcyjnej. Według [8], wyróżniamy dwa stopnie prefabrykacji obiektów budowlanych. Najbardziej zaawansowanym stopniem wykończenia elementów w fabryce jest prefabrykacja, tzw. pełna, której efektem są ściany spełniające wymagania domów gotowych. Obejmuje ona konstrukcję nośną ściany wraz z niezbędnymi izolacjami oraz obustronnym poszyciem, wykończenie okładziną zewnętrzną oraz montaż stolarki otworowej, parapetów i instalacji elektrycznej. Natomiast prefabrykacja otwarta obejmuje jedynie montaż konstrukcji nośnej (słupy, oczep, podwalina, nadproża) oraz usztywniającą warstwę poszycia, zatem zakres prac w fabryce jest znacznie zredukowany.

3. Metodologia badań

Badaniom poddano dwa warianty dwukondygnacyjnego budynku mieszkalnego oparte na różnych technologiach wznoszenia. Wariant 1 prezentuje budynek prefabrykowany w konstrukcji szkieletowej, natomiast wariant 2 zaprojektowano w technologii murywanej z wykorzystaniem bloczków silikatowych. Ściany zewnętrzne zostały zaprojektowane zgodnie z wybraną technologią, aby ich współczynnik przenikania ciepła był równy $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (rys. 3). Każdy wariant budynku charakteryzuje się prostym układem konstrukcyjnym posadowionym na płycie fundamentowej o powierzchni 80 m^2 , przekrytym czterospadowym dachem kopertowym w konstrukcji drewnianej (rys. 4). Przegrody przeszklone w budynku mają łączną powierzchnię $45,24 \text{ m}^2$. Obliczenia w programie komputerowym ArCADia TERMOCAD PRO zostały przeprowadzone dla miasta Zielona Góra zlokalizowanego w drugiej strefie klimatycznej. W budynku zastosowano wentylację mechaniczną wywiewną. Szczelność budynku określono na podstawie parametru n_{50} o wartości $1,5 \text{ 1/h}$, odpowiednią dla budynku energooszczędnego.



Rys. 3. Układ kolejnych warstw ścian zewnętrznych dla poszczególnych wariantów



Rys. 4. Układ kolejnych warstw dachu i podłogi na gruncie

4. Analiza wyników badań

W tabeli 1 zestawiono wartości podstawowych parametrów bryły budynku. Ze względu na cieńszą o 20 cm ścianę zewnętrzną wariant 1 charakteryzuje się większą kubaturą oraz o 7 m² większą powierzchnią użytkową. Jednym z przyjętych założeń był jednakowy współczynnik przenikania ciepła wszystkich przegród zewnętrznych. Ściana o szkieletcie drewnianym niemal na całej swej szerokości składa się z warstwy izolacji termicznej, zatem charakteryzuje się niskim współczynnikiem przenikania ciepła. W przypadku ściany murowanej warstwa konstrukcyjna musiała zostać uzupełniona zewnętrzną warstwą izolacji termicznej o grubości 28 cm, aby dorównać właściwościom izolacyjnym ścianie szkieletowej.

Tabela 1

Podstawowa charakterystyka koperty każdego z wariantów

Cecha	Symbol	Jednostki	Wariant 1	Wariant 2
Grubość ścian	d	m	0,32	0,55
Powierzchnia użytkowa	A	m ²	126,38	118,98
Kubatura	V	m ³	354,56	332,18

Tabela 2 prezentuje parametry cieplne budynków i ich przegród zewnętrznych odwołując się do efektywności energetycznej każdego z wariantów.

Pierwszą z analizowanych wartości jest współczynnik strat ciepła przez przenikanie, który jest o 20% niższy dla budynku w konstrukcji szkieletowej. Przegrody zewnętrzne każdego z wariantów charakteryzują się jednakowym współczynnikiem przenikania ciepła U , zatem nie ma on wpływu na różnicę wyników. Przyczyną jest wartość współczynników liniowych mostków termicznych, a dokładnie tych występujących w miejscu połączenia ściany zewnętrznej ze stolarką otworową. Ich wartości zostały przyjęte na podstawie PN-EN ISO 14683:2008, zatem w sposób teoretyczny. Dla ścian lekkich (w tym wypadku szkieletowych) są one znacznie niższe niż w przypadku ścian murowanych, co ma wpływ na ostateczną wartość współczynnika $H_{tr,adj}$. Według przeprowadzonych badań opublikowanych w [1], budynki w konstrukcji szkieletowej charakteryzują się równomiernym rozkładem temperatury na całej powierzchni ściany zewnętrznej. Mostki termiczne występujące na połączeniach elementów konstrukcji (stropy, ściany wewnętrzne) generują niewielkie straty ciepła przez przenikanie, podwyższając w ten sposób izolacyjność termiczną całego obiektu.

Tabela 2

Wybrane parametry cieplne każdego z wariantów

Cecha	Symbol	Jednostki	Wariant 1	Wariant 2
Współczynnik strat ciepła przez przenikanie	$H_{tr,adj}$	W/K	141,62	175,23
Wewnętrzna pojemność cieplna	C_m	J/K	13 842 480	30 106 993
Współczynnik wykorzystania zysków ciepła	$\eta_{H,gn}$	-	0,80	0,86
Długość sezonu grzewczego	L_h	h	4326,1	4461,9
Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania i wentylacji	$Q_{H,nd}$	kWh/(m ² ·a)	60,73	79,29

Analizując wewnętrzną pojemność cieplną rozpatrywanych wariantów, nie jest niczym zaskakującym, iż konstrukcja szkieletowa akumuluje niemal 55% mniej ciepła niż konstrukcja murowana z bloczków silikatowych. Wynika to ze znacząco niższej gęstości objętościowej wykorzystanych materiałów do budowy ścian zewnętrznych, a tym samym ich słabszej zdolności do zatrzymywania ciepła [5]. W ścianie z ociepleniem zewnętrznym akumulacja dotyczy całego przekroju przegrody, natomiast w ścianie szkieletowej ciepło jest pochłaniane tylko przez warstwę tynku wewnętrznego, który w tym przypadku został zastąpiony płytą gipsowo-kartonową [9]. W ten sposób potwierdza się stwierdzenie o znacznie niższej bezwładności cieplnej budynków realizowanych w technologii szkieletowej.

Parametrem, na który bezpośredni wpływ ma pojemność cieplna budynku, jest współczynnik wykorzystania zysków ciepła. Mimo 55% różnicy w przypadku akumulacji ciepła, wartości współczynnika $\eta_{H,gn}$ tylko w niewielkim stopniu od siebie odbiegają. Analiza długości sezonu grzewczego również nie ujawnia znacznych rozbieżności. Choć 135 godzin różnicy to w przybliżeniu 6 dni, w odniesieniu do całkowitej długości okresu grzewczego (ok. 6 miesięcy) stanowi tylko 3%.

Wartością, która stanowi podsumowanie parametrów cieplnych konstrukcji jest zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania i wentylacji. Rozpatrywane warianty charakteryzują następujące wartości: dla technologii szkieletowej $Q_{H,nd} = 60,73 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, natomiast dla technologii tradycyjnej $Q_{H,nd} = 79,29 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Według rysunku 1, oba warianty spełniają wymagania dla energooszczędnych budynków mieszkalnych, dzięki wysokiej izolacyjności termicznej przegród oraz zastosowaniu wentylacji mechanicznej. Różnica zapotrzebowania na energię wynosi około $18 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ co stanowi 30% niższej z wartości. Wpływ na tę rozbieżność ma przyjęta technologia wznoszenia budynku, a tym samym jego pojemność cieplna, szczelność powietrzna obudowy konstrukcji oraz występujące mostki termiczne [1]. Pojemność cieplna jest uwarunkowana charakterystyką przyjętych materiałów, zatem jej wartość można obliczyć w sposób teoretyczny. Parametry mostków termicznych, jak również szczelność powietrzna obiektu stanowią zdecydowanie bardziej złożoną kwestię. Ich wartość jest określana w fazie projektowania charakterystyki energetycznej obiektu. Czynnikiem, które w istotny sposób determinują ich wartość, są połączenia poszczególnych elementów, przyjęte rozwiązania konstrukcyjne, a w szczególności jakość ich wykonania [1]. W obliczeniach szczelność powietrzną określono w sposób teoretyczny na podstawie parametru n_{50} , którą w rzeczywistości można zweryfikować już po wzniesieniu konstrukcji.

5. Wnioski

Rozpatrywane w artykule technologie prezentują dwa odrębne podejścia do projektowania budynków mieszkalnych. Każde z nich charakteryzuje się odmiennymi cechami mającymi bezpośredni wpływ na ogólną efektywność energetyczną budynku. Na podstawie przeprowadzonych badań można wyróżnić trzy najistotniejsze kwestie różnicujące technologię tradycyjną i szkieletową: izolacyjność termiczna, pojemność cieplna oraz szczelność powietrzna. Każda z tych cech odgrywa ważną rolę w końcowym rozrachunku zapotrzebowania na ciepło do ogrzania i wentylacji obiektu. Ściana murowana o tym samym współczynniku przenikania ciepła będzie miała dużo większy przekrój niż ta w konstrukcji szkieletowej, natomiast ze względu na dużą masę termiczną będzie cechowała się znacznie lepszą akumulacją ciepła. Pojemność cieplna materiałów konstrukcyjnych ma bezpośredni wpływ na bezwładność cieplną obiektu, a tym samym na komfort przebywających w nim ludzi. Budynki szkieletowe ze względu na ich niską bezwładność cieplną szybciej się wychładzają i nagrzewają, dzięki czemu jest możliwe precyzyjne sterowanie temperaturą wewnętrzną. Konstrukcje masywne, których akumulacyjność cieplna jest dużo większa, pozwalają na utrzymanie stałej temperatury wewnętrznej, a tym samym umożliwiają jednostajną pracę urządzeń grzewczych. Jednak należy pamiętać, że aby powyższe cechy były rozpatrywane w kategorii zalet zarówno w pierwszym, jak i drugim wariantcie, należy zapewnić bardzo dobrą izolacyjność termiczną przegród zewnętrznych oraz wysoką jakości połączeń poszczególnych elementów konstrukcji (szczelność powietrzna). Warto jednak zaznaczyć, że w okresie letnim dla budynku z instalacją chłodzenia niska pojemność cieplna będzie generować wysokie zapotrzebowanie na energię do chłodzenia pomieszczeń, a tym samym zwiększy koszty energii [9]. Zapotrzebowanie na energię na potrzeby ogrzewania zależy od przyjętej technologii, jednak przede wszystkim od zastosowanych materiałów oraz jakości wykonania każdego z detali konstrukcyjnych. Zatem próżno szukać bezsprzecznych argumentów określających wyższość jednej technologii nad drugą, ponieważ kwestie fizyki cieplnej budynku zależą bezpośrednio od standardu wykonania zaprojektowanych rozwiązań.

Literatura

- [1] Pawłowski K., Krause P., Sztubecka M., Topoliński S., Nakielska M., Bujarkiewicz A., Mrówczyńska M., Sztubecki J., Budownictwo zrównoważone, Wybrane aspekty projektowe i wykonawcze, tom 1, Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2017, 25–45.
- [2] Wnuk R., Instalacje w Domu Pasywnym i Energooszczędnym, Przewodnik Budowlany 2017, 10–12.

- [3] Żurawski J., *Efektywność energetyczna w budownictwie*, 2013.
- [4] Siuta-Olcha A., Cholewa T., Guz Ł., *Analiza porównawcza potrzeb energetycznych jednorodzinnych budynków mieszkalnych o różnym standardzie wykonania*, Proceedings od ECOpole 2011, 5, 1.
- [5] Marchwiński J., Zielonko-Jung K., *Współczesna architektura proekologiczna*, WN PWN, Warszawa 2012.
- [6] <http://stat.gov.pl/>
- [7] Pawłowski K., *Zasady projektowania budynków energooszczędnych*, Grupa Medium, 2016.
- [8] www.budujzdrewna.pl
- [9] Ickiewicz I., *Wpływ pojemności cieplnej na bilans cieplny budynku*, *Czasopismo Techniczne* 2012, 2-B, 3.

Comparison of a prefabricated wooden frame construction and a conventional masonry building technology in conjunction with their energy performance

ABSTRACT:

The building is the result of an investment process that combines technology, construction and installation solutions, thus meeting the needs and expectations of investors. These solutions aim to create a microenvironment inside the building, which will be conducive to the comfort of people in it, as well as its high energy efficiency combined with the minimization of environmental impact. On the market, apart from conventional building technology, a number of innovative solutions are proposed. Most often, they aim to reduce the energy demand of the facility, guided in this way by constantly tightened regulations regarding energy efficiency in construction. One of such solutions are prefabricated buildings, which in 80% are produced in the factory and then assembled on the construction site. The article is an attempt to compare the energy efficiency of a prefabricated wooden frame construction and a conventional masonry building technology. The first part presents the characteristics of technology for both objects. Then an analysis of the energy efficiency of buildings was carried out, in order to compile and compare the obtained values in the last part.

KEYWORDS:

energy performance; prefabricated wooden frame construction; conventional technology; thermal capacity; airtightness