

doi:10.15199/48.2022.12.57

Ewaluacja efektywności energetyczno-ekonomicznej wybranych systemów grzewczych wykorzystujących energię elektryczną

Streszczenie. W artykule przedstawiono ocenę techniczno-ekonomiczną elektrycznych systemów grzewczych takich jak grzałki elektryczne oraz pompa ciepła typu powietrze/woda współpracujących z buforem ciepła, służących do ogrzewania przykładowego budynku mieszkalnego o powierzchni użytkowej 90m², który znajduje się w bazie ogólnodostępnych darmowych projektów domów nie wymagających pozwolenia na budowę. Analiza została wykonana w oparciu o obliczoną projektową charakterystykę energetyczną, na podstawie której dobrano moc urządzeń grzewczych, pojemność bufora ciepła a także zużycie energii końcowej. Dodatkowo oszacowano koszty inwestycyjne i eksploatacyjne dla porównywanych systemów. Aby określić zasadność montażu danego źródła ciepła, wykonano analizę ekonomiczną w oparciu o dwa wskaźniki oceny, takie jak: koszty cyklu życia (LCC) oraz koszt zaoszczędzonej energii (CCE).

Abstract. The paper presents a technical and economic evaluation of electric heating systems such as electric heaters and an air/water heat pump cooperating with a heat buffer used for heating an exemplary residential building with a usable area of 90 m², which is included in a database of freely available house designs that do not require planning permission. The analysis has been based on the calculated design energy characteristics, on the basis of which the power of the heating devices, the heat buffer capacity and the final energy consumption have been selected. Additionally, investment and exploitation costs were estimated for the compared systems. To determine the reasonableness of installing a given heat source, an economic analysis was carried out based on two evaluation indicators, such as life cycle costs (LCC) and the cost of saved energy (CCE). (*Evaluation of energy and economic efficiency of selected heating systems using electricity*)

Słowa kluczowe: budynki mieszkalne bez pozwolenia na budowę, zużycie energii końcowej na ogrzewanie budynku, ogrzewanie elektryczne z buforem ciepła, pompy ciepła, analiza ekonomiczna

Keywords: residential buildings without building permit, final energy consumption for building heating, electric heating with heat buffer, air-water heat pump, economic analysis

Wprowadzenie

3 stycznia 2022 roku w ramach tzw. „Polskiego Ładu” weszły w życie przepisy dotyczące budowy domów bez pozwolenia, tak aby uprościć budowę niewielkich domów wolnostojących. Założenia te zmaterializowały się w ustawie Prawo budowlane oraz ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [1]. W myśl przepisów budowa domu jednorodzinnego o powierzchni do 70m² jest możliwa na podstawie zgłoszenia. Ustawa [1] obejmuje również budowę domów z poddaszem oraz tarasem o łącznej powierzchni do 90 m² (wynika to z faktu, że powierzchnia 70 m² odnosi się do powierzchni zabudowy działki, nie zaś do łącznej powierzchni powstałego budynku). Główny Urząd Nadzoru Budowlanego (GUNB) w ramach programu Polski Ład ogłosił konkurs na projekt koncepcyjny domu jednorodzinnego o powierzchni zabudowy do 70 m², którego celem było wyłonienie projektów o wysokich walorach architektoniczno-funkcjonalnych, ekologicznych, oszczędnych i estetycznych, które następnie będą udostępnione wszystkim zainteresowanym do wykorzystania przy zaspokajaniu własnych potrzeb mieszkaniowych. Wyłoniono 38 prac koncepcyjnych, na podstawie których zostały wykonane pełne projekty architektoniczno-budowlane, zawierające układ przestrzenny, a także wykaz projektowanych rozwiązań technicznych i materiałowych, projekt techniczny – określający rozwiązania instalacyjne (sanitarne i instalacje elektryczną) i konstrukcyjne. Projekty te zostały udostępnione bezpłatnie inwestorom chcącym rozpocząć budowę domu w ramach programu.

Inwestor wybierając konkretne rozwiązanie projektowe zaproponowane w programie winien rozpatrzyć wszystkie aspekty związane z procesem inwestycyjnym zarówno od strony zaproponowanej technologii budowy (tradycyjna murywana lub w systemie szkieletowym) jak również uwzględnić kwestię związaną z wyborem systemu grzewczego, ponieważ ciepło jest jednym z głównych czynników wpływających na komfort mieszkania lub przebywania w pomieszczeniach budynków. Wpływa ono

nie tylko na nasze samopoczucie, wydajność i efektywność, ale także na aspekt finansowy związany z koniecznością racjonalizacji kosztów utrzymania nieruchomości w fazie jej eksploatacji [2]. Według metodologii określania charakterystyki energetycznej [3], efektywność energetyczna budynku, czyli jego sprawność energetyczna, to stopień przygotowania budynku do zapewnienia komfortu jego użytkownika zgodnie z przeznaczeniem przy jednoczesnym możliwie najniższym zużyciu energii przez ten budynek. W związku z tym każdy budynek na etapie projektowania (przed realizacją obiektu) oprócz założeń konstrukcyjnych winien mieć sporządzoną charakterystykę energetyczną, która zawiera m.in.: informację właściwościach cieplnych przegród, bilans mocy urządzeń grzewczych oraz parametry sprawności energetycznej instalacji ogrzewania. Dodatkowo projektant jest zobligowany wybrać do analizy porównawczej dwa systemy grzewcze (system podstawowy i system alternatywny), dla których należy wykonać obliczenia optymalizacyjno porównawcze celem wskazania rozwiązania charakteryzującego się wysoką efektywnością energetyczną zarówno pod względem technicznym jak i ekonomicznym.

Mając na uwadze powyższe zapisy można stwierdzić, że jednym z podstawowych kryteriów warunkującym instalację konkretnego systemu grzewczego w budynku oprócz czynników technicznych jest rachunek ekonomiczny. Analiza energetyczna nie może być w praktyce czynnikiem decydującym o wyborze danego źródła ciepła. Potencjalny użytkownik powinien ocenić zarówno aspekty techniczne jak i ekonomiczne każdego z rozpatrywanych systemów i wybrać ten, który w perspektywie całkowitego okresu eksploatacji będzie najbardziej korzystny [4]. W literaturze przedmiotu można znaleźć informacje i analizy techniczno-ekonomiczne dotyczące systemów grzewczych wykorzystujących urządzenia elektryczne, przy czym głównie autorzy zajmują systemami wykorzystującymi różnego typu pompy ciepła [5,6,7,8,9], niemniej jednak brakuje prac, w których wykonana jest analiza techniczno-ekonomiczna elektrycznych systemów grzewczych

współpracujących z buforem ciepła. Bufor ciepła stanowi magazyn energii cieplnej, która może być wyprodukowana w okresie obowiązywania niższych dobowych stawek za energię elektryczną i pozwala pobierać ją dokładnie wtedy, kiedy jest to potrzebne. Takie rozwiązanie może stanowić alternatywę dla systemów grzewczych z kotłami gazowymi ze względu na porównywalne koszty ogrzewania, szczególnie w nowoczesnych budynkach o niewielkiej powierzchni użytkowej, w przypadku których system magazynowania energii nie będzie nadmiernie ograniczał powierzchni użytkowej.

Cel i zakres pracy

Celem pracy było określenie opłacalności montażu systemu grzewczego wykorzystującego bufor ciepła, który jest zasilany urządzeniami wykorzystującymi energię elektryczną. Porównane zostały dwa źródła ciepła współpracujące z buforem, takie jak grzałki elektryczne oraz pompa ciepła typu powietrze/woda. Zakres pracy obejmuje obliczenia zapotrzebowania na moc do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, dobór pojemności bufora, jak również obliczenie rocznego zużycia energii końcowej w obiekcie. Obliczenia obejmują również zużycie energii na napęd urządzeń pomocniczych systemu grzewczego. Analiza ekonomiczna obejmuje obliczenie wartości wskaźników oceny w oparciu o metody dynamiczne oparte na kosztach cyklu życia LCC, a także kosztach zaoszczędzonej energii CCE, co pozwoli wyłonić system, który w perspektywie całkowitego okresu eksploatacji będzie najbardziej korzystny dla inwestora.

Obiekt badań

Obiekt badań został wybrany z grupy darmowych ogólnodostępnych projektów budynków mieszkalnych powstałych w ramach programu „Polski Ład”. Do obliczeń przyjęto wolnostojący jednorodzinny budynek mieszkalny z poddaszem użytkowym o powierzchni zabudowy 70m², powierzchni użytkowej 90 m² oraz kubaturze ogrzewanej 314 m³ z wentylacją mechaniczną z odzyskiem ciepła (rekuperator krzyżowy). Budynek ten będzie zamieszkiwany przez cztery osoby. Przyjęto, że obiekt jest zlokalizowany w III strefie klimatycznej (stacja klimatyczna Kraków Balice). Przegrody zewnętrzne budynku wykonane są zgodnie z wytycznymi dotyczącymi maksymalnych wartości współczynnika przenikania ciepła U_{max} zawartymi w WT2013 [10] dla roku 2021. Przyjęto, że budynek będzie ogrzewany za pomocą niskotemperaturowego systemu grzewczego-ogrzewania podłogowego.

W oparciu o model termiczny [11] obliczono zapotrzebowanie na moc grzewczą budynku, która wynosi 6,2 kW. Moc urządzenia do przygotowania ciepłej wody użytkowej w systemie zasobnikowym obliczona według normy PN-EN 15450 [12] jest równa 1,86 kW, natomiast obliczona objętość zasobnika ciepłej wody użytkowej to 200 dm³. W obliczeniach założono, że urządzenia grzewcze będą wykorzystywały energię elektryczną wyłącznie w godzinach obowiązywania tzw. „strefy pozaszczytowej” grupy taryfowej TAURON G12w, w związku z tym dobrano optymalną pojemność cieplną magazynu ciepła – bufora, która dla systemu wykorzystującego grzałki elektryczne wynosi 500 dm³, natomiast w przypadku współpracy z pompą ciepła objętość powinna wynosić 800 dm³. Różnica w pojemnościach magazynów ciepła wynika z odmiennych temperatur pracy urządzeń grzewczych, gdzie w przypadku zastosowania grzałek elektrycznych bufor można ładować do temperatury 85 °C, natomiast maksymalna temperatura pracy pompy ciepła to 60 °C. Biorąc pod uwagę fakt, że urządzenia grzewcze, będą pracować maksymalnie przez 10 godzin w ciągu doby w obliczeniach dokonano korekty mocy źródeł ciepła. Do analizy dobrano dwie grzałki elektryczne o mocy odpowiednio 6 i 3 kW, oraz pompę

ciepła o mocy ok. 6,5 kW. W przypadku pompy ciepła dodatkowo dobrano grzałkę o mocy 3 kW, która będzie stanowiła tzw. „rezerwowo-szczytowe” źródło ciepła w punkcie biwalentnym w okresie maksymalnego zapotrzebowania na ciepło (temperatura powietrza poniżej - 6 °C dla III strefy klimatycznej).

Ostatnim etapem analizy technicznej było obliczenie zużycia energii końcowej zużywanej przez budynek w standardowym sezonie grzewczym obejmujące zużycie energii na ogrzewanie (c.o.), przygotowanie ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) oraz napęd urządzeń pomocniczych systemu grzewczego (urz. pom.). Obliczenia wykonano zgodnie

z metodą zawartą w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [3].

W analizie porównawczej przyjęto następujące oznaczenia systemów:

A – budynek z systemem grzewczym w którym źródłem ciepła są grzałki elektryczne,

B – budynek z systemem grzewczym opartym na pompie ciepła typu powietrze/woda.

Wykonane obliczenia dla standardowych warunków użytkowania pozwoliły oszacować wielkość zużycia energii końcowej dla porównywanych wariantów, które zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody budynku

wyszczególnienie	c.o. [MWh]	c.w.u. [MWh]	urz. pom. [MWh]	suma [MWh]
wariant A	6,52	3,57	0,12	10,21
wariant B	2,37	1,61	0,32	4,3

Sumaryczne roczne zapotrzebowanie na energię końcową

w standardowym sezonie grzewczym w przypadku, gdy źródłem ciepła są grzałki elektryczne wynosi 10,2 MWh, a zatem jest o około 60% wyższe w porównaniu z systemem, w którym zastosowano pompę ciepła typu powietrze/woda, co skutkuje zużyciem energii na poziomie 4.3 MWh.

Ocena ekonomiczna analizowanych systemów grzewczych

Ocena konkretnego rozwiązania powinna opierać się na obiektywnych kryteriach. Powszechnie uważa się, że takim kryterium jest nadwyżka efektów nad nakładami [4]. Analizę ekonomiczną wykonano w oparciu o metody oceny inwestycji rzeczowych, oparte na stopie procentowej (dyskontowej), uwzględniające zmianę wartości pieniądza w czasie, ryzyko oraz inflację, są nimi: metoda LCC (Life Cycle Cost) oraz tzw. koszt zaoszczędzonej energii CCE (Cost of Conserved Energy) [13,14]. Metoda LCC pozwala wyznaczyć całkowite koszty inwestycyjne i eksploatacyjne systemu w rozważanym cyklu jego życia, natomiast jeżeli wartość drugiego wskaźnika (CCE) jest mniejsza lub równa cenie płaconej za energię, istnieją przesłanki, że inwestycja jest opłacalna [14].

$$(1) \quad LCC = Kp + \sum_{n=1}^{n=t} \frac{Ke,0 \cdot (1+re)^n}{(1+i)^n}$$

(2)

$$CCE = \frac{\Delta Ni \cdot \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}}{\Delta E}$$

gdzie: LCC – koszty cyklu życia, tys. zł; CCE – koszt zaoszczędzonej energii, zł/kWh; Kp – koszty początkowe (koszt zakupu i uruchomienia instalacji), zł; $Ke,0$ – roczne koszty użytkowania instalacji (koszty energii, koszty przeglądów i napraw), tys. zł; t – kolejny rok użytkowania

instalacji, i – stopa dyskonta (6%), re – stopa wzrostu cen energii (7%); n – 1..15 kolejny rok kosztów ($n=15$ zakładana ilość lat cyklu życia instalacji); ΔNi – różnica w nakładach inwestycyjnych między wariantem bazowym a wariantem o wyższej efektywności energetycznej, tys.zł; ΔE – roczna oszczędność energii, kWh.

Na potrzeby analizy szacowania kosztów cyklu życia dla poszczególnych typów systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej w badanym budynku, oszacowano koszty zakupu i montażu instalacji wraz z jej uruchomieniem Kp. Koszty inwestycyjne (zakup, montaż systemu c.o. + c.w.u.) wyznaczono na podstawie kosztorysu inwestorskiego wykonanego zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 18 maja 2004 roku w sprawie określenia metod i podstaw sporządzania kosztorysu inwestorskiego [15], przyjmując poziom cen za produkty i usługi z pierwszego półrocza 2022 roku. Oprócz kosztów montażu instalacji, dla każdego inwestora bardzo ważne są koszty eksploatacyjne jak serwis i obsługa. Założono, że koszty te będą stanowiły 1,5% nakładów inwestycyjnych rocznie [4]. Zużycie energii końcowej przez system grzewczy z wyposażony w magazyn ciepła (bufor) będzie w całości rozliczane w oparciu o taryfę G12w. Na analizowanym obszarze operatorem sieci dystrybucyjnej jest firma Tauron dystrybucja. Zgodnie z taryfą dla energii elektrycznej w roku 2022, cena jednostkowa brutto za 1 kWh energii elektrycznej w taryfie „nocnej” wynosi 0,36 zł. W tabeli nr 2 zawarto podstawowe założenia do obliczeń ekonomicznych dla porównywanych wariantów.

Tabela 2. Podstawowe założenia do obliczeń ekonomicznych

wyszczególnienie	wariant A	wariant B
Kp – nakłady inwestycyjne, [tys. zł]	12,62	34,95
o – roczne koszty użytkowania w tym: koszty obsługi i napraw 1,5 % kosztów inwestycyjnych (rocznie), [tys. zł]	0,19	0,53
n – zakładany okres eksploatacji, [lata]	15	
Ke – koszty zakupu energii + koszty stałe operatora taryfa G12w (cena jednostkowa w strefie „pozaszczytowej” 0,36 zł/kWh), [tys. zł]	3,67	1,55
i – stopa dyskonta, [%]	6	
re – stopa wzrostu cen energii, [%]	7	
Ke,o – roczne koszty użytkowania instalacji (Ke + o), [tys. zł]	3,86	2,08
ΔNi – różnica w nakładach inwestycyjnych (w porównaniu z wariantem A), [tys. zł]	-	22,33
ΔE – roczna oszczędność energii (w porównaniu z wariantem A), kWh	-	5910

Jak wynika z danych zawartych w tabeli 2 koszty inwestycyjne systemu grzewczego, w którym jako źródło ciepła zastosowano grzałki elektryczne (wariant A) są około 2,7 krotnie niższe w porównaniu z systemem wykorzystującym pompę ciepła typu powietrze/woda (wariant B). Zastosowanie droższego pod względem inwestycyjnym rozwiązania daje jednak wymierny efekt w postaci blisko dwukrotnie niższych kosztów użytkowania systemu grzewczego.

Aby wskazać, który z porównywanych wariantów będzie bardziej korzystny w zakładanym okresie eksploatacji w pierwszej kolejności wykonano obliczenia kosztów cyklu życia LCC zgodnie z równaniem nr 1. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli nr 3.

Tabela 3. Zestawienie kosztów cyklu życia LCC dla porównywanych wariantów

wyszczególnienie	wariant A	Wariant B
LCC [tys. zł]	75,17	69,53

Koszty cyklu życia (LCC) analizowanych systemów w przyjętym przedziale czasowym (15 lat) są zbliżone (różnią się o ok. 8%) i wynoszą od 69 tys. zł (wariant B) do 75 tys. zł (wariant A). Uzyskane wartości pozwoliły określić bilans ekonomiczny B_E jako różnicę między całkowitymi kosztami cyklu życia dla porównywanych wariantów, zgodnie z zależnością 3, przy czym jako poziom odniesienia przyjęto wariant A:

$$(3) \quad B_{E A \rightarrow B} = LCC_A - LCC_B$$

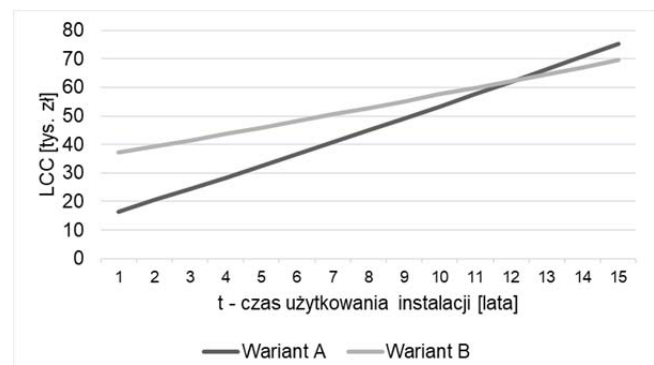
Wyniki zestawiono w tabeli 5.

Tabela 4. Wyniki bilansu ekonomicznego dla porównywanych wariantów

wyszczególnienie	wariant A → B
B_E [tys. zł]	5,64

Wyniki bilansu ekonomicznego (dla założonego 15 letniego okresu eksploatacji) wskazują, że inwestycja w system grzewczy z pompą ciepła typu powietrze/woda (w porównaniu z ogrzewaniem, gdzie źródło ciepła stanowią grzałki elektryczne) może przynieść inwestorowi około 5,6 tys. zł. oszczędności.

Obliczone wartości kosztów cyklu życia dla poszczególnych lat użytkowania zostały przedstawione na rysunku 1, na którym zobrazowano czas (t) wyrównania kosztów cyklu życia (w latach) porównywanych systemów grzewczych.



Rys.1. Analiza kosztów cyklu życia LCC w piętnastoletnim okresie użytkowania

Czas wyrównania kosztów, to wynik przecięcia charakterystyki LCC wariant B(t) z charakterystyką LCC wariant A(t) w funkcji czasu użytkowania t. Aby wyznaczyć ten czas w sposób analityczny, należało funkcje tych charakterystyk porównać do siebie otrzymując dla poszczególnych wariantów następujące równania (4):

$$(4) \quad t_{A \rightarrow B} = \frac{Kp_A - Kp_B}{Ke, o_B - Ke, o_A}$$

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Czas wyrównania kosztów (zwrot inwestycji) dla porównywanych wariantów

wyszczególnienie	wariant A → B
czas (t) wyrównania kosztów [lata]	12,6

Analiza ekonomiczna wykazała, że zastosowanie w budynku systemu grzewczego, w którym źródłem ciepła będzie pompa ciepła typu powietrze/woda zwróci się po około 12-13 sezonach grzewczych.

Kolejnym etapem analizy było wyznaczenie wskaźnika CCE – kosztu zaoszczędzonej energii, dzięki czemu będzie można określić czy istnieją przesłanki do tego, aby w analizowanym systemie grzewczym zastosować urządzenie, które mimo, że jego koszty inwestycyjne są wyższe w porównaniu z wariantem A (przyjętym jako poziom odniesienia) charakteryzuje się ponad dwukrotnie większą efektywnością energetyczną, dzięki czemu można zaoszczędzić rocznie około 5,9 MWh energii. Obliczenia wykonano zgodnie z równaniem 2, a wynik przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wartość wskaźnika koszt zaoszczędzonej energii

wyszczególnienie	wartość wskaźnika oceny
CCE [zł/kWh]	0,39

Zaprezentowany w tabeli wynik obliczeń wskazuje, że koszt zaoszczędzonej energii jest nieznacznie wyższy od ceny zakupu energii, tym samym nie ma jednoznacznych przesłanek do tego, aby rekomendować wariant B jako rozwiązanie bardziej korzystne dla inwestora w porównaniu z wariantem A.

Podsumowanie

Dla przykładowego budynku mieszkalnego o powierzchni użytkowej 90m², który znajduje się w bazie ogólnodostępnych darmowych projektów domów nie wymagających pozwolenia na budowę, wykonano obliczenia projektowej charakterystyki energetycznej, która zgodnie z przepisami powinna być wykonana dla dwóch wariantów systemu grzewczego (system podstawowy i system alternatywny), którego elementem składowym jest bufor – stonowiacz magazynu ciepła. Do porównania przyjęte zostały dwa źródła ciepła, takie jak grzałki elektryczne oraz pompa ciepła typu powietrze/woda współpracujące z magazynem ciepła tak, aby mogły pracować w godzinach obowiązywania tzw. „strefy nocnej” grupy taryfowej G12w. Analiza techniczna objęła obliczenia zapotrzebowania na moc do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, dobór pojemności bufora, jak również obliczenie rocznego zużycia energii końcowej w obiekcie. Aby określić zasadność montażu danego źródła ciepła służącego do pokrycia potrzeb cieplnych budynku, wykonano analizę ekonomiczną w oparciu o dwa wskaźniki oceny, takie jak: koszty cyklu życia LCC oraz koszt zaoszczędzonej energii CCE. Jako poziom odniesienia przyjęto budynek z systemem grzewczym, którego źródłem ciepła są grzałki elektryczne. Na potrzeby analizy ekonomicznej oszacowano koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne związane z użytkowaniem systemów grzewczych w 15 letnim okresie eksploatacji. Na tej podstawie można było wskazać wariant, który będzie bardziej korzystny dla inwestora w założonym okresie eksploatacji. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że lepszym rozwiązaniem dla inwestora będzie, jeżeli zdecyduję się na montaż systemu ogrzewania z buforem ciepła, który współpracuje z grzałkami elektrycznymi. Przemawiają za tym niższe koszty inwestycyjne a także koszty obsługi i serwisowania systemu. Jednak wybierając ten wariant będzie musiał się liczyć z większymi kosztami ponoszonymi na zakup energii w porównaniu z systemem grzewczym wykorzystującym pompę ciepła. Wybór wariantu alternatywnego w postaci systemu, dla którego źródłem ciepła jest pompa ciepła typu powietrze/woda jest mniej korzystny. System ten mimo, iż charakteryzuje się ponad dwukrotnie większą efektywnością energetyczną, a tym samym niższymi

kosztami ponoszonymi na zakup energii, to przy obecnym poziomie nakładów inwestycyjnych oraz kosztów obsługi, wróci się dopiero około 12-13 latach eksploatacji. Okres zwrotu inwestycji przy zakładanym realnym 15 letnim okresie eksploatacji tego typu urządzeń jest zbyt długi a tym samym istnieje ryzyko, że po tym czasie może nastąpić życie techniczne i funkcjonalne rozpatrywanego źródła ciepła. Podobne wnioski można wyciągnąć analizując wynik drugiego wskaźnika oceny, gdzie koszt zaoszczędzonej energii jest nieznacznie wyższy od ceny płaconej za energię, tym samym istnieje przesłanka, że inwestycja może być nieopłacalna.

Autor: dr inż. Tomasz Szul, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Inżynierii Bioprocessów, Energetyki i Automatykacji, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: t.szul@urk.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 17 września 2021 r. o zmianie ustawy - Prawo budowlane oraz ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. z 2021r., poz.: 1986)
- [2] Cieśliński K., Tabor S., Szul T. Evaluation of Energy Efficiency in Thermally Improved Residential Buildings, with a Weather Controlled Central Heating System. A Case Study in Poland. Applied Sciences, (2020), No. 10, 8430
- [3] Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej (Dz. U. z 2021 r. poz. 468)
- [4] Bartnik R., Bartnik B., Rachunek ekonomiczny w energetyce. Wydawnictwo WNT, (2014), ISBN 978-83-7926-198-7.
- [5] Piotrowska-Woroniak J., Baranowski B. Analiza techniczno-ekonomiczna wyboru pomp ciepła dla zaspokoienia potrzeb cieplnych w budynku jednorodzinym. Rynek Instalacyjny (2017), nr 4, 28-34
- [6] Szul T. Analysis of heat source selection for residential buildings in rural areas. BIO Web Conf. (2018), nr 10, 1–6
- [7] Piotrowska-Woroniak J., Załuska W., Woroniak G., Analiza pracy poziomego gruntowego wymiennika ciepła współpracującego z pompą ciepła typu solanka-woda. Instal (2015) nr 10, 26–32
- [8] Drzymała A., Korzeniewska E. Profitability of a hybrid heating system for a single-family house in Poland based on a heat pump and photovoltaics. Journal of Physics: Conference Series, (2021), No. 1782(1). IOP Publishing
- [9] Drzymała A. J., Korzeniewska E. Economic and Technical Aspects of a Hybrid Single-Family House Heating Based on Photovoltaic and Heat Pump Installation. (2020) IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). IEEE 2020.
- [10] Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Poz. 1065.
- [11] Szul T. Application of a Thermal Performance-Based Model to Prediction Energy Consumption for Heating of Single-Family Residential Buildings. Energies, (2022), No. 15, 362
- [12] PN-EN 15450:2007 Instalacje grzewcze w budynkach - Projektowanie instalacji centralnego ogrzewania z pompami ciepła.
- [13] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 23 listopada 2021 r. w sprawie metody kalkulacji kosztów cyklu życia budynków LCC oraz sposobu przedstawiania informacji o tych kosztach (Dz.U. 2021 poz. 2276).
- [14] Bławat F. Analiza Ekonomiczna, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, (2001), Gdańsk. ISBN: 83-88007-00-9.
- [15] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 18 maja 2004 r. w sprawie określenia metod i podstaw sporządzania kosztorysu inwestorskiego, obliczania planowanych kosztów prac projektowych oraz planowanych kosztów robót budowlanych określonych w programie funkcjonalno-użytkowym (Dz.U. 2004 nr 130 poz. 1389).