

mgr inż. Olaf Dybiński^{1)*}
 dr inż. Jerzy Kwiatkowski²⁾
 mgr inż. Kamil Różycki¹⁾
 dr inż. Arkadiusz Węglarz³⁾
 mgr inż. Roman Kwiecień¹⁾

Analiza oszczędności energii wynikającej z zastosowania automatycznego systemu sterowania ogrzewaniem w budynku wielorodzinnym

Analysis of energy savings achieved due to application of a heating control system in multi-family building

DOI: 10.15199/33.2019.01.09

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki analizy energetycznej przeprowadzonej w programie do wykonywania dynamicznych symulacji energetycznych DesignBuilder, polegającej na zastosowaniu sterowania nastawą temperatury w wielorodzinnym budynku mieszkalnym. Analizowany budynek spełnia wymagania obecnych przepisów budowlanych w Polsce. W ramach analizy zaproponowano cztery różne warianty sterowania temperaturą w budynku i mieszkaniach. Porównano uzyskane wyniki oszczędności energii końcowej wynikające z obniżenia temperatury w nocy i w ciągu dnia, gdy w mieszkaniach nie ma mieszkańców, a także ograniczenia maksymalnej temperatury w pomieszczeniach do 20°C. Wyniki energetyczne przedstawione zostały także w postaci oszczędności finansowych przy założeniu, że budynek podłączony jest do sieci ciepłowniczej w Gdańsku. Przyjęto aktualną na 2018 r. taryfę Gdańskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej S.A.

Słowa kluczowe: sterowanie ogrzewaniem; efektywność energetyczna; inteligentny budynek.

Abstract. The paper presents the results of building energy analysis carried out in the DesignBuilder software dedicated for dynamic energy simulations, in which in the multi-family building the temperature control system has been applied. The analyzed building meets the requirements of the current regulations in Poland. As part of the analysis, four different variants of temperature control programs were proposed. Presented results consists of the final energy savings resulting from limitation of heating temperature level at night and day during unoccupied hours, and also while limiting the maximum temperature in the rooms up to 20°C. Energy results were also presented as financial savings in case where building is connected to the district heating network in Gdansk. The actual tariff of the Gdansk District Heating Company for 2018 has been used.

Keywords: heating control system; energy efficiency; smart home.

Ograniczanie strat energii użytkowej można osiągnąć przez poprawę izolacyjności przegród, wymianę stolarki okiennej i drzwiowej [17], czy obniżenie strat ciepła przez wentylację w wyniku uszczelnienia stolarki lub montażu wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła [5, 6, 8, 10, 11, 19]. Popularne staje się również ograniczanie strat energii końcowej przez poprawę sprawności systemów wytwarzania ciepła, jego akumulacji oraz przesyłu, a także sterowania i regulacji w syste-

mie centralnego ogrzewania budynku [2, 3, 4]. Zgodnie z Rozporządzeniem [15] typowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w systemie ogrzewania może wahać się od 70% w przypadku braku sterowania (ogrzewanie piecowe lub z kominka) do 94% w przypadku ogrzewania grzejnikami elektrycznymi z regulatorem proporcjonalno-całkującym PI. Propozycje inteligentnego sterowania systemem ogrzewania w budynku przedstawiono m.in. w [1, 7, 12].

W ostatnich latach lokale w budynkach wielorodzinnych coraz częściej są wyposażane w indywidualne ciepłomierze. Ponadto w wyniku popularyzacji systemów smart home, właściciele domów i mieszkań decydują się na wybór **termostatów sterowanych elektronicznie**. Dzięki zastosowaniu przystępnych cenowo komunikacji KNX lub

z-wave [13, 14] i centrali smart home, istnieje możliwość zautomatyzowania wielu urządzeń i sterowników, poczynając od oświetlenia, przez sprzęty AGD, rolety okienne czy termostaty. Zaprogramowanie zegarowego czasu pracy urządzeń, dzięki aplikacji w telefonie komórkowym, umożliwia zmniejszenie zużycia energii. W przypadku termostatów możliwe jest zaprogramowanie temperatury, jaka ma być utrzymywana w pomieszczeniach.

W artykule przedstawiono zastosowanie zegarowego sterowania termostatami w budynku wielorodzinnym w Gdańsku, podłączonym do sieci ciepłowniczej. Do wyznaczenia oszczędności finansowych wykorzystano aktualną w 2018 r. taryfę za ciepło. Założono, że budynek spełnia wymagania na 2017 r. określone w Rozporządzeniu [16].

¹⁾ Politechnika Warszawska; Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

²⁾ Politechnika Warszawska; Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska

³⁾ Politechnika Warszawska; Wydział Inżynierii Łądowej

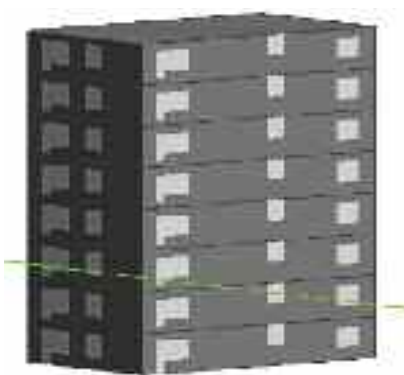
^{*} Adres do korespondencji: odybinski@itc.pw.edu.pl

Analiza systemów sterowania ogrzewaniem

Tradycyjne ogrzewanie w budynkach wielorodzinnych stanowią grzejniki płytowe z termostatami regulowanymi ręcznie. Potrzeba każdorazowego zakręcania i odkręcania termostatów powoduje, że obsługa grzejnika przez przeciętnego użytkownika ogranicza się do odkręcenia termostatu na początku zimy i przykręcenia wiosną. W efekcie ogrzewanie pracuje z pełną mocą przez cały sezon grzewczy, mimo że często nie jest to potrzebne, co wpływa na nadmierny pobór ciepła z węzła ciepłego i zwiększone opłaty za ogrzewanie. Rozwiązanie takie może być oszczędne dzięki zastosowaniu **elektronicznych termostatów umożliwiających łatwe sterowanie nastawami temperatury**. Nastawy zegarowe pozwalają użytkownikom wprowadzić schemat ogrzewania w mieszkaniu przy użyciu aplikacji w telefonie lub komputerze, a termostaty umożliwiają utrzymanie wymaganej temperatury w pomieszczeniach w określonych godzinach. W efekcie zużycie ciepła zostanie ograniczone zgodnie z wolą użytkownika systemu bez potrzeby jego codziennej interwencji. Elektroniczne termostaty pracują zgodnie z zaprogramowanym trybem, minimalizują przepływ czynnika grzewczego przez grzejniki w okresie, kiedy w mieszkaniu nie ma nikogo lub nocą, gdy nie ma potrzeby utrzymania wysokiej temperatury.

Modelowanie zapotrzebowania na energię

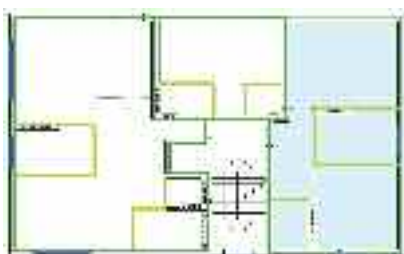
W celu określenia możliwych do uzyskania oszczędności zapotrzebowania na energię do ogrzewania przeprowadzono dynamiczne symulacje energetyczne z wykorzystaniem oprogramowania DesignBuilder i silnika obliczeniowego EnergyPlus [18] akceptowanego w międzynarodowych analizach energetycznych i certyfikacji [9]. Do analizy wykorzystano typowy budynek wielorodzinny, w którym znajduje się 31 mieszkań na ośmiu kondygnacjach, spełniających wymagania WT na 2017 r. (rysunek 1). Całkowita powierzchnia budynku to 1805 m². Kalkulacja oszczędności finansowych została wykonana przy założeniu, że budynek jest zlokalizowa-



Rys. 1. Wizualizacja analizowanego budynku wielorodzinnego

Fig. 1. Visualization of the analyzed multi-family building

ny w Gdańsku i zasilany w ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej zgodnie z taryfami na 2018 r. Oszczędność energii została określona dla całego budynku oraz indywidualnie dla jednego mieszkania na środkowym piętrze, z oknami zwróconymi na wschód i południe (rysunek 2). Jest to mieszkanie 3-pokojowe o powierzchni 73 m².



Rys. 2. Rzut kondygnacji z podziałem na mieszkania (kolor niebieski – mieszkanie poddane indywidualnej analizie)

Fig. 2. Floor plan with division into apartments (blue – a flat under individual analysis)

Budynek wielorodzinny został podzielony na strefy. Z każdego poziomu wydzielono klatkę schodową, poszczególne mieszkania oraz indywidualnie łazienki w mieszkaniach. Symulacja obejmuje pełny rok i bazuje na standardowych danych meteorologicznych. Uwzględniono temperaturę i wilgotność powietrza zewnętrznego, kierunek i prędkość wiatru, położenie słońca na horyzoncie, natężenie promieniowania słonecznego oraz typowy sposób użytkowania, w tym zyski ciepła od oświetlenia, osób i urządzeń elektronicznych w mieszkaniach. Symulacje przeprowadzono z zastosowaniem czterech różnych wariantów ogrzewania.

Wariant 1. Budynek z tradycyjnymi termostatami sterowanymi ręcznie – przez cały rok w mieszkaniach utrzymywana jest temperatura co najmniej 22°C, gdyż przeciętni użytkownicy mają taką temperaturę w mieszkaniach, a w celu jej obniżenia często stosują przewietrzanie, zamiast obniżenia nastaw temperatury. Na klatkach schodowych jest temperatura 16°C.

Wariant 2. Budynek z systemem sterowania z obniżeniem nocnym – ogrzewanie w pomieszczeniach mieszkalnych (poza łazienkami) wyposażono w elektroniczne termostaty. Schemat temperatury w pomieszczeniach mieszkalnych zakłada utrzymanie 22°C w czasie obecności mieszkańców i obniżenie temperatury podczas ich nieobecności od poniedziałku do piątku w godzinach 8.00 – 16.00 do 18°C, a w godzinach nocnych 24.00 – 6.00 do 20°C.

Wariant 3. Budynek z systemem sterowania z ograniczeniem maksymalnej temperatury – mieszkania ogrzewane są do 20°C, dzięki czemu nie występuje efekt przegrzewania jak w przypadku wariantu 1.

Wariant 4. Budynek z systemem sterowania z obniżeniem nocnym i ograniczeniem maksymalnej temperatury – analogicznie jak wariant 2, ale temperatura bazowa na poziomie 20°C. Schemat temperatury w pomieszczeniach mieszkalnych zakłada utrzymanie temperatury 20°C w czasie obecności mieszkańców i obniżenie jej podczas ich nieobecności od poniedziałku do piątku w godzinach 8.00 – 16.00 do 16°C, a w godzinach nocnych 24.00 – 6.00 do 18°C.

Przeprowadzone symulacje energetyczne wykazały, że zastosowanie elektronicznych termostatów z systemem sterowania umożliwia ograniczenie zużycia energii na potrzeby ogrzewania całego budynku od 10% w przypadku wariantu 2 do 32% w przypadku wariantu 4 w porównaniu z wariantem 1 oraz od 13% do 35% w przypadku analizowanego wybranego mieszkania w bloku (tabela 1).

Oszczędności finansowe

Roczne oszczędności finansowe (tabela 2) zostały określone przy założeniu, że koszt zmienny energii wynosi

Tabela 1. Wyniki zapotrzebowania na energię końcową w budynku i mieszkaniu w poszczególnych wariantach
Table 1. The energy use of a building and a flat in each variant

Parametr	Wariant			
	1	2	3	4
Zużycie energii – budynek [kWh]	86 064,7	77 139,6	66 199,1	58 456,8
Zużycie energii – mieszkanie [kWh]	3 174,8	2 749,0	2 382,0	2 039,6
Zużycie energii w stosunku do wariantu 1 – budynek	100%	89,6%	76,9%	67,9%
Zużycie energii w stosunku do wariantu 1 – mieszkanie	100%	86,6%	75,0%	64,2%
Koszt zmienny – budynek [zł]	19 794,9	17 742,1	15 225,8	13 445,1

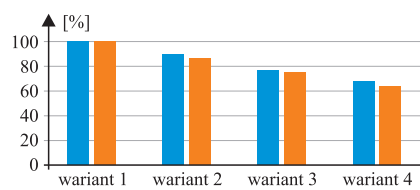
Tabela 2. Oszczędności finansowe wynikające z zastosowania sterowania ogrzewaniem
Table 2. Financial savings resulting from the use of heating control

Parametr	Wariant			
	1	2	3	4
Koszt zmienny – budynek [zł/rok]	19 794,9	17 742,1	15 225,8	13 445,1
Koszt zmienny – mieszkanie [zł/rok]	730,2	632,3	547,9	469,1
Roczne oszczędności finansowe w stosunku do wariantu 1 – budynek [zł/rok]	0,0	2 052,8	4 569,1	6 349,8
Roczne oszczędności finansowe w stosunku do wariantu 1 – mieszkanie [zł/rok]	0,0	97,9	182,4	261,1

0,23 zł/kWh. Nie uwzględniono kosztów stałych zapewnienia dostaw ciepła do budynku.

Zastosowanie automatycznego sterowania temperaturą ogrzewania za pomocą elektronicznych termostatów pozwala na uzyskanie oszczędności energetycznych i finansowych odpowiednio od 13 do 35% w przypadku pojedynczego mieszkania oraz od 10 do 32% – całego budynku (rysunek 3). Przy koszcie ogrzewania całego budynku w wariantie 1, rzędu 19 800 zł/rok, oszczędności finansowe wynikające z zastosowania systemu sterowania ogrzewaniem w całym budynku mogą sięgnąć od 2 050 zł rocz-

nie w wariantie 2 do 6 350 zł rocznie w wariantie 4. W przypadku pojedynczego mieszkania roczne oszczędności sięgają od ok. 100 do 260 zł rocznie. Przyjmując, że analizowane mieszkanie jest wyposażone w 3 elektroniczne termostaty każdy w cenie ok. 300 zł, czas zwrotu inwestycji w nowe termostaty (przy założeniu, że mieszkanie ma centralę smart home) wyniesie od 9 lat do 3,5 roku w zależności od ustalonego wariantu nastawy temperatury.


Rys. 3. Obniżenie zużycia energii w poszczególnych wariantach
Fig. 3. Energy consumption reduction in each variant

Podsumowanie

W artykule przedstawiono analizę zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku wielorodzinnego po zastosowaniu różnych nastaw temperatury ogrzewania. Wprowadzenie konkretnego, dostępnego na rynku rozwiązania w postaci sterowania temperaturą ogrzewania daje wymierne korzyści energetyczne i finansowe. Przeprowadzone analizy energetyczne wykazały, że stosowanie automatycznego systemu sterowania i regulacji w nowych budynkach mieszkalnych pozwala na uzyskanie oszczędności rzędu 100 – 260 zł/rok w przypadku jednego mieszkania o powierzchni 73 m² zlokalizowanego na środkowym piętrze i 2 050 – 6 350 zł/rok w przypadku całego budynku o powierzchni 1 805 m².

Literatura

- [1] Doukas Haris, Konstantinos Patlitizianas, Konstantinos Iatropoulos, and John Psarras. 2007. „Intelligent building energy management system using rule sets.” *Building and environment* 42 (10): 3562 – 3569.
- [2] Gawryszewska Maria Magdalena. 2016. *Porównanie ogrzewania płaszczynowego z konwekcyjnym na podstawie projektu centralnego ogrzewania budynku jednorodzinego*. PhD Diss., Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa.
- [3] Grzebielec Andrzej, Agata Rokicka. 2017. „Analiza techniczno-ekonomiczna zastosowania trójrurowego i dwururowego systemu VRV w budynku biu-

rowym o przeszklonej fasadzie.” *Chłodnictwo* 52 (7 – 8): 30 – 38.

- [4] Jaroński Michał, Andrzej Grzebielec. 2018. „Analiza opłacalności systemu trójgeneracji w budynku sanatoryjnym.” *Rynek Instalacyjny* (10).
- [5] Jędrzejuk Hanna, Joanna Rucińska. 2016. „Uproszczona ocena możliwości obniżenia zapotrzebowania na energię do chłodzenia poprzez zastosowanie okresowo działających elementów zacięniających.” *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* (8).
- [6] Jędrzejuk Hanna, Olaf Dybiński. 2015. „The influence of a heating system control program and thermal mass of external walls on the internal comfort in the polish climate.” *Energy Procedia* 78: 1087 – 1092.
- [7] Kabza Zdzisław, Sławomir Zator. 2003. „Efekty zastosowania regulacji ogrzewania budynku.” *Rynek Instalacyjny* (10).
- [8] Komerska Anna, Jerzy Kwiatkowski. 2017. „Wpływ działań termomodernizacyjnych doprowadzających do standardu nZEB na wartość emisji CO_{2,eq} w cyklu życia budynku.” *Materiały Budowlane* 533 (1): 44 – 47. DOI: 10.15199/33.2017.01.06.
- [9] Kwiatkowski Jerzy. 2016. „Efektywność energetyczna a systemy wielokryterialnej oceny budynków.” *Materiały Budowlane* 521 (1): 16 – 18. DOI: 10.15199/33.2016.01.05.
- [10] Kwiatkowski Jerzy, Joanna Rucińska, Aleksander Panek. 2014. „Analysis of different shading strategies on energy demand and operating cost of office building.” *In Proceedings from World Sustainable Building Conference SB14*, vol. 5: 512 – 521.
- [11] Kwiatkowski Jerzy, Joanna Rucińska, Andrzej Wiszniewski. 2010. „Analiza dostosowania różnych budynków do standardu budynku energooszczędnego.” *Energia i Budynek* (9): 40.
- [12] Privara Samuel, Jan Široký, Lukáš Ferkl, Jiří Cigler. 2011. „Model predictive control of a building heating system: The first experience.” *Energy and Buildings* 43 (2 – 3): 564 – 572.
- [13] Reinisch Christian, Wolfgang Kastner, Georg Neugschwandtner, Wolfgang Granzer. 2007. „Wireless technologies in home and building automation.” *In Industrial Informatics, 2007 5th IEEE International Conference on*, vol. 1, pp. 93 – 98. IEEE.
- [14] Robles Rosslin John, Tai-hoon Kim. 2010. „Applications, systems and methods in smart home technology: A.” *Int. Journal of Advanced Science And Technology* (15).
- [15] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376 z późn. zm.).
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2015 r. poz. 1422 i z 2017 r. poz. 2285 z późn. zm.).
- [17] Różycki Kamil, Olaf Dybiński, Maciej Mijkowski. 2017. „Wpływ błędów wykonawczych na szczelność budynku na przykładzie murowanego domu jednorodzinego.” *Materiały Budowlane* 535 (3): 51 – 56. DOI: 10.15199/33.2017.03.15.
- [18] Tindale Andy. 2005. „Designbuilder software.” Stroud, Gloucestershire, Design-Builder Software Ltd.
- [19] Trząski Adrian, Joanna Rucińska, Andrzej Wiszniewski. 2018. „Dobór systemu zasilania w energię budynku mieszkalnego termomodernizowanego do standardu nZEB.” *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* (10).

Przyjęto do druku: 18.12.2018 r.