



Alexander SHKAROVSKIY*, Renata GAWIN**

Poprawa efektywności energetycznej budynków użyteczności publicznej

STRESZCZENIE: Istotne obniżenie temperatury w budynkach o niestałym przebywaniu ludzi może być bardzo efektywnym i mało kosztownym sposobem poprawy efektywności energetycznej budynków. W godzinach nieobecności ludzi wystarczy wyłączyć instalację grzewczą. W tym czasie nastąpi kontrolowany powolny spadek temperatury w pomieszczeniach. Przed pojawieniem się w pomieszczeniach ludzi należy ponownie włączyć instalację (ewentualnie z nadmiarem mocy) w celu zapewnienia szybkiego wzrostu temperatury.

Metoda jest znana od dawna, jednak na drodze jej powszechnego zastosowania stoi kilka przyczyn. Po pierwsze, brakuje jakiegokolwiek teoretycznego uzasadnienia i metody obliczeń tego sposobu oszczędzania. Po drugie, omawiana metoda jest często mylona z regulacją według krzywych grzania. Trzecią przyczyną jest błędne przekonanie, że obniżenie temperatury w pomieszczeniu może przyczynić się do niekorzystnej zmiany rozkładu temperatur w przegrodach zewnętrznych. To mogłoby doprowadzić do ich zawilgocenia i skutkowałoby zjawiskami występowania pleśni, grzybów itd.

Badania eksperymentalne autorów miały na celu udowodnienie, że niestacjonarne sterowanie klimatem wewnętrznym w ograniczonym czasie (najdłużej kilkadziesiąt godzin podczas weekendu) nie może przyczynić się do istotnych zmian rozkładu temperatury w przegrodzie budowlanej.

Program badawczy przewidywał zastosowanie dwustopniowej metody niestacjonarnego sterowania klimatem wewnętrznym. Godzinę przed odejściem ludzi z pracy (20:00) instalacja grzewcza była wyłączana. Zaobserwowany spadek temperatury w pomieszczeniach był na tyle mały, iż nie było konieczności rozpoczęcia etapu nagrzania z wyprzedzeniem, a instalację grzewczą włączano po rozpoczęciu dnia pracy.

* Prof. dr hab. inż., ** Mgr inż. – Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji, Politechnika Koszalińska, Koszalin; e-mail: szkarowski@interia.pl

Udowodniono, że pomimo całkowitego wyłączenia instalacji grzewczej w pomieszczeniu, na powierzchni i wewnątrz warstwy nośnej konstrukcji budowlanej nie następuje poważna zmiana temperatury. Całość nocnych wahań temperatury zewnętrznej „przyjmuje” na siebie warstwa styropianu, co jest jej właściwym zadaniem technologicznym.

SŁOWA KLUCZOWE: efektywność energetyczna budynków, instalacja grzewcza, niestacjonarne sterowanie klimatem wewnętrznym, rozkłady temperatury

Wstęp

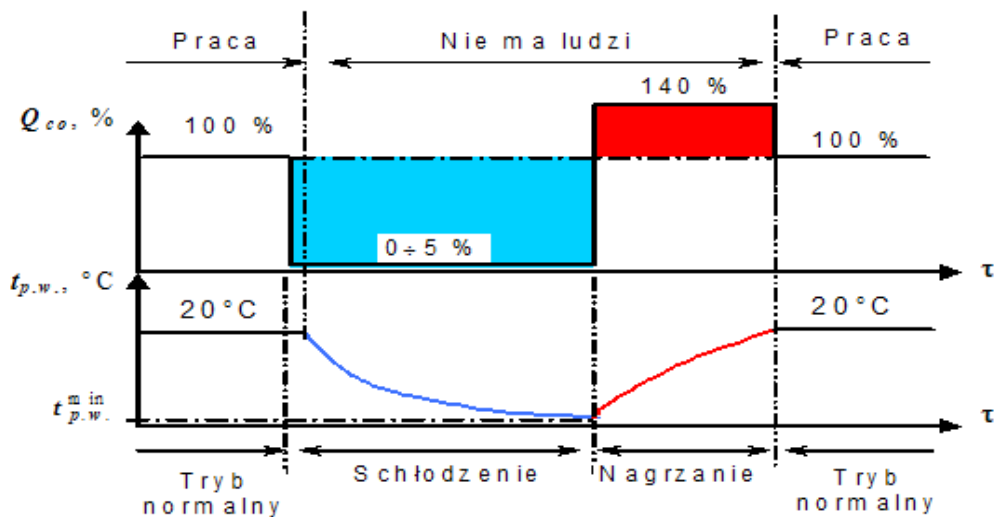
Polityka energetyczna całego kraju bądź indywidualnego odbiorcy ma na celu uzyskanie oszczędności wszędzie, gdzie nie oznaczałoby to pogorszenia jakości życia.

W ramach Unii Europejskiej w ostatnich latach wprowadzono liczne dyrektywy (Dyrektywa... 2004, 2006, 2009, 2009a, 2010, 2010a) mające poprawić efektywność energetyczną w różnych aspektach życia. W dyrektywie 2010/31/UE (Dyrektywa... 2010) oszacowano, że budownictwo odpowiada za 41% całkowitego zużycia energii, a w tym prawie 60% przypada na ogrzewanie i wentylację (Żurawski 2013). Pod tym względem największe marnowanie energii obserwuje się w budynkach o niestałym przebywaniu ludzi, do których należy większość obiektów użyteczności publicznych.

Istotne obniżenie temperatury w takich obiektach podczas nieobecności ludzi może być bardzo efektywnym i co jest najważniejsze, małokosztownym sposobem poprawy efektywności energetycznej budynków. W przypadku tak zwanej regulacji dwustopniowej (rys. 1), w godzinach nieobecności ludzi wystarczy wyłączyć instalację grzewczą, po czym nastąpi kontrolowany powolny spadek temperatury w pomieszczeniach, a przed pojawieniem się w pomieszczeniach ludzi (pracowników, zwiedzających, interesantów itd.) należy ponownie włączyć instalację (ewentualnie z nadmiarem mocy) w celu zapewnienia szybkiego wzrostu temperatury.

Metoda jest znana od dawna (Szkarowski i Łatowski 2012), jednak na drodze jej szerokiego powszechnego zastosowania występuje kilka przyczyn. Po pierwsze, brakuje jakiegokolwiek teoretycznego uzasadnienia i metody obliczeń tego sposobu oszczędzania. Po drugie, omawiana metoda jest często mylona z regulacją według krzywych grzania, która jest regulacją stacjonarną skierowaną na osiągnięcie w pomieszczeniu określonej stałej temperatury. Trzecią przyczyną jest błędne przekonanie, że obniżenie temperatury w pomieszczeniu przyczynić się może do niekorzystnej zmiany rozkładu temperatur w przegrodach zewnętrznych, ich następnego zawilgocenia, co będzie skutkowało skojarzonymi zjawiskami występowania pleśni, grzybów itd.

Zespół autorów podjął się obszernych badań eksperymentalnych mających na celu udowodnienie, że niestacjonarne sterowanie klimatem wewnętrznym w ograniczonym czasie (najdłużej kilkadziesiąt godzin podczas weekendu) nie może przyczynić się do istotnych zmian rozkładu temperatury w przegrodzie budowlanej.



Rys. 1. Schemat regulacji dwustopniowej (Szkarsowski i Łatowski 2012)

Fig. 1. Two-stage regulation (Szkarsowski & Łatowski 2012)

1. Charakterystyka obiektu badań

Za obiekt badań wybrano pomieszczenia zlokalizowane na ostatniej kondygnacji budynku C Politechniki Koszalińskiej, mieszczącym się przy ul. Śniadeckich 2. Są to pomieszczenia przeznaczone na czasowy pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych, niewykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej, dla których temperatura obliczeniowa według rozporządzenia (Rozporządzenie... 2002) wynosi $+20^{\circ}\text{C}$. W pomieszczeniach zainstalowano po jednym grzejniku płytowym Purmo o mocy 1072 W, które zlokalizowane są pod oknem.

Pokoje mają jedną ścianę zewnętrzną usytuowaną od strony południowego wschodu. Czterowarstwowa przegroda składa się z warstwy nośnej (bloczki gazobetonowe), ocieplenia ze styropianu oraz tynku po obu stronach. Zestawienie materiałowe przegrody budowlanej, obliczenia jej oporu cieplnego oraz współczynnika przenikania ciepła wykonane na podstawie wytycznych zawartych w Polskiej Normie (PN...2004) przedstawiono w tabeli 1.

Zgodnie z rozporządzeniem (Rozporządzenie... 2013) przegroda poddana badaniom i analizie spełnia wymagania izolacyjności cieplnej obowiązujące od 1 stycznia 2014 r., a nie spełnia wymagań od 1 stycznia 2017 r. oraz od 1 stycznia 2021 r. Dla sprawdzenia poprawności wykonanych obliczeń wykorzystano Kalkulator Ciepłno-Wilgotnościowy (Kalkulator...), który potwierdza prawidłowość ich wykonania.

TABELA 1. Właściwości materiałowe rozpatrywanej przegrody

TABLE 1. Material properties in question baffles

Nr warstwy	Rodzaj warstwy/oporu termicznego	Gęstość materiału ρ	Grubość warstwy d	Współczynnik przewodzenia ciepła λ	Opór cieplny warstw R_i
		kg/m ³	m	W/(m·K)	(m ² ·K)/W
R_{si}	Przejmowanie na powierzchni wewnętrznej	–	–	–	0,130
1	Tynk wapienno-piaskowy	1 850	0,015	0,82	0,018
2	Bloczek gazobetonowy na zaprawie cem.-wap.	600	0,24	0,16	1,500
3	Styropian	12	0,10	0,045	2,220
4	Tynk mineralny cienkowarstwowy	1 480	0,02	0,8	0,025
R_{se}	Przejmowanie na powierzchni zewnętrznej	–	–	–	0,040
	Σ	–	–	0,25	3,933

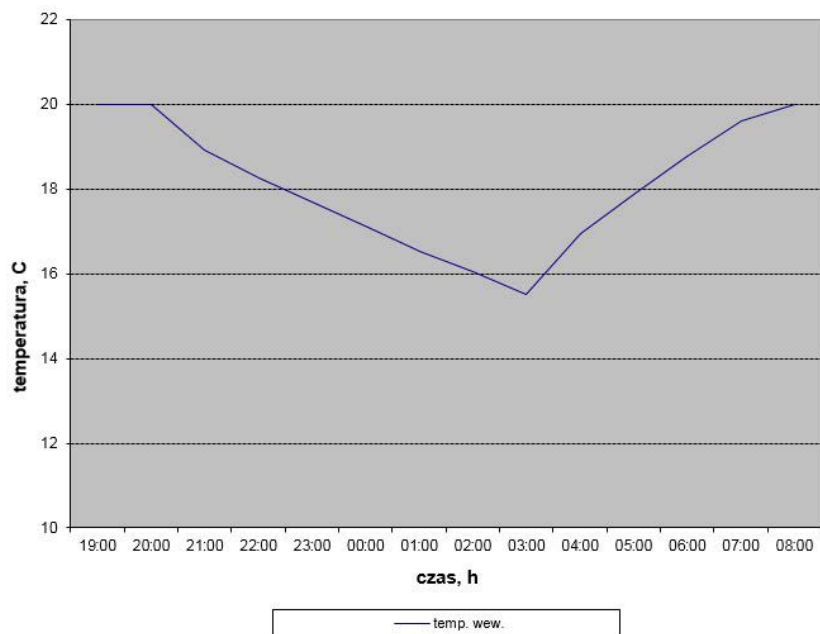
2. Program badawczy

Program badawczy przewidywał zastosowanie tak zwanej dwustopniowej metody niestacjonarnego sterowania klimatem wewnętrznym (rys. 1). Godzinę przed odejściem ludzi z pracy (20:00) instalacja grzewcza była wyłączana. Eksperymentalnie należało ustalić czas ponownego włączenia instalacji z tym, żeby o godzinie 8:00 została osiągnięta wymagana temperatura w pomieszczeniach ogrzewanych.

Wstępnie według własnej metody zostały wykonane obliczenia zmiany temperatury w pomieszczeniach stosując dwustopniową metodę regulacji. Obliczenia przewidywały temperaturę zewnętrzną -7°C oraz możliwość nadmiaru mocy instalacji grzewczej 155% (rys. 2) (Dyczkowska i Szkarowski 2009).

Badania przeprowadzane były od końca stycznia 2015 roku i trwają do chwili obecnej. W trakcie badań wykonywana jest ciągła rejestracja temperatury. Cykl pomiarów wykonywany jest codziennie o ustalonej porze, pomiędzy 19:00 a 8:00 z częstotliwością co 10 minut otrzymując zmienność temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego oraz wewnątrz przegrody.

W trakcie przeprowadzania badań doświadczalnych imitacja trybu pracy instalacji grzewczej wykonywana była za pomocą zaworów termostatycznych. Należy zauważyć, że zaobserwowany spadek temperatury w pomieszczeniach był na tyle mały, iż nie było konieczności rozpoczęcia etapu nagrzania z wyprzedzeniem (zob. rys. 1), a instalację grzewczą włączano po rozpoczęciu dnia pracy.

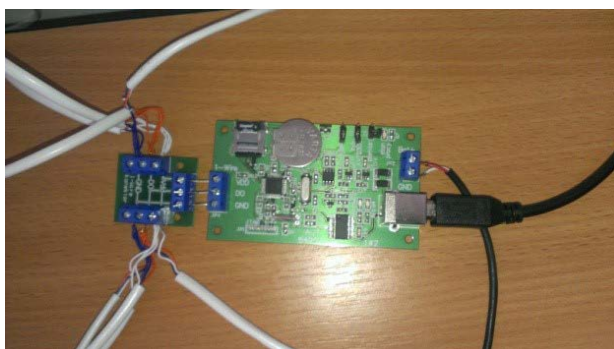


Rys. 2. Wykres temperaturowy stanu budynku w dni pracujące dla średniej temperatury zewnętrznej podczas pomiaru $t_{p,z} = -7^{\circ}\text{C}$ (Dyczkowska i Szkarowski 2009)

Fig. 2. Temperature Chart condition of the building in working days for the average outdoor temperature during the measurement $t_{p,z} = -7^{\circ}\text{C}$ (Dyczkowska & Szkarowski 2009)

2.1. Stanowisko badawcze i metodyka badań

W skład stanowiska badawczego wchodzi wielopunktowy termometr elektroniczny z rejestracją AVT5330 (rys. 3).

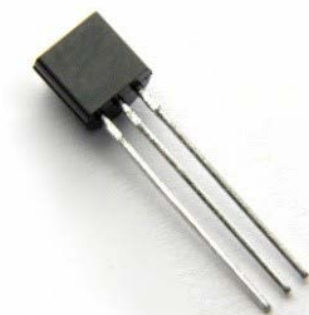


Rys. 3. Wielopunktowy termometr – AVT5330

Fig. 3. Multipoint thermometer – AVT5330

Do obsługi rejestratora dołączony jest oprogramowanie pracujące w systemie Windows. Pozwala ono na ustawienie automatycznych pomiarów z interwałem czasowym w zakresie od 2 sekund do 23 godzin 59 minut 59 sekund.

Do urządzenia podłączono osiem czujników temperatury DS18B20 (rys. 4).

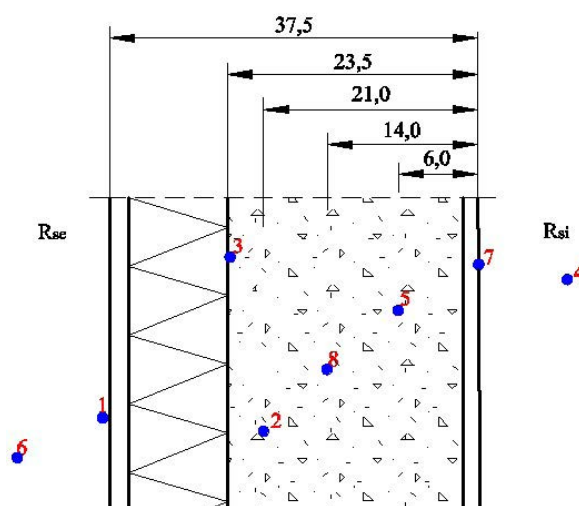


Rys. 4. Czujnik temperatury – DS18B20

Fig. 4. Temperature sensor – DS18B20

Każdy termometr został podłączony do przewodu o długości 2 m i zaizolowany koszulką termokurczliwą. Dodatkowo przed rozmieszczeniem w punktach pomiarowych termometry zostały podane wzorcowaniu w specjalistycznym laboratorium wzorcującym.

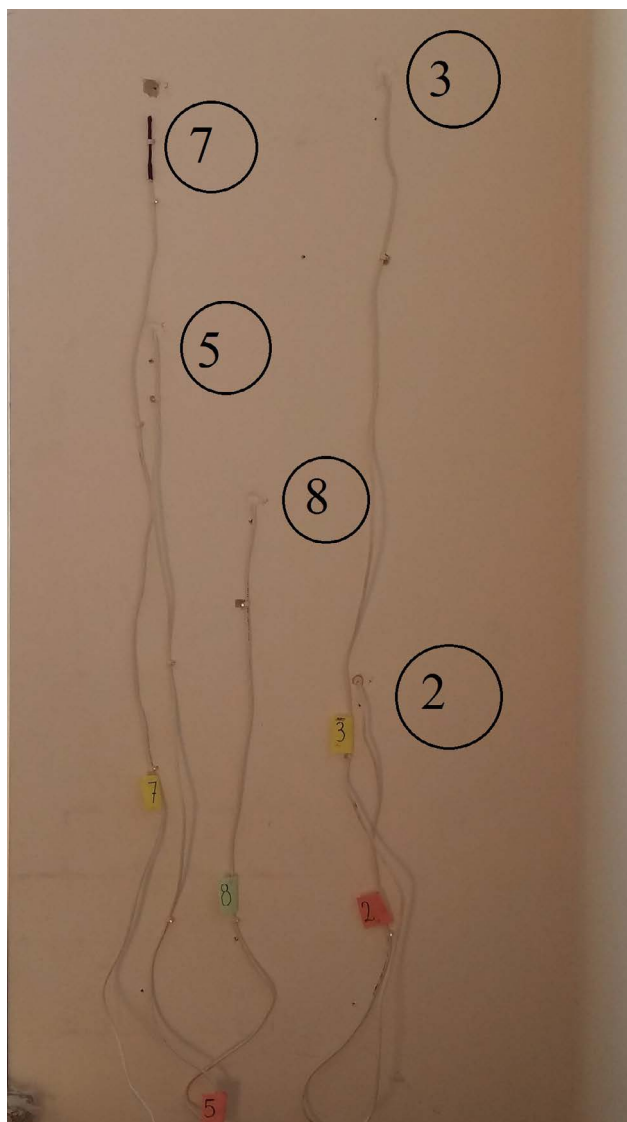
Czujniki o nr 2,3,5,8 zostały rozmieszczone wewnątrz przegrody budowlanej, w odwiertach o średnicy 8 mm na różnych głębokościach (rys. 5).



Rys. 5. Rozmieszczenie czujników w pionowej przegrodzie zewnętrznej [cm];
gdzie: R_{si} – przegroda wewnętrzna, R_{se} – przegroda zewnętrzna, 2,...8 – czujniki temperatury

Fig. 5. The sensor arrangement in a vertical outer partition [cm]
Where: R_{si} – internal partition, R_{se} – internal partition, 2,...8 – temperature sensors

Dodatkowo, żeby uniknąć wzajemnego wpływu na pomiary, umieszczono je z rozstawem pionowym i poziomym (rys. 6).



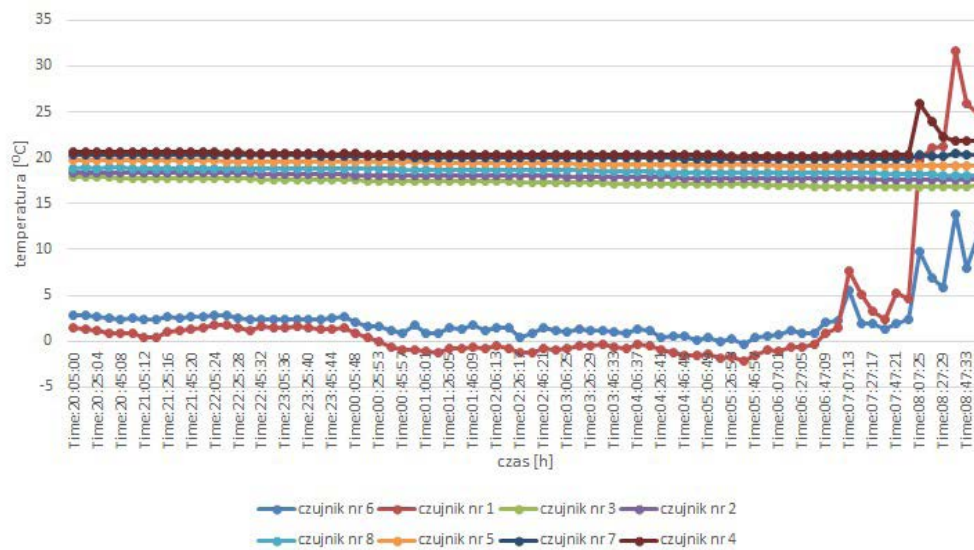
Rys. 6. Rozmieszczenie czujników z rozstawem pionowym i poziomym

Fig. 6. Distribution of sensors with vertical and horizontal spacing

Pozostałe termometry nr 7 i 1 przytwierdzone zostały bezpośrednio na przegrodzie wewnętrznej, jak i zewnętrznej, nr 4 dokonuje pomiaru temperatury wewnątrz pomieszczenia, a nr 6 temperatury zewnętrznej w odległości $\approx 0,5$ m od czujnika nr 1 (rys. 5).

3. Wyniki badań

Do analizy rozkładu temperatury przyjęto wyniki z przykładowego dnia pomiarów, w którym odnotowano spadek temperatury zewnętrznej na poziomie od $-0,1$ do $-2,0^{\circ}\text{C}$ i miał on miejsce w godzinach od 00:25:53 do 06:37:07 (rys. 7, 8).

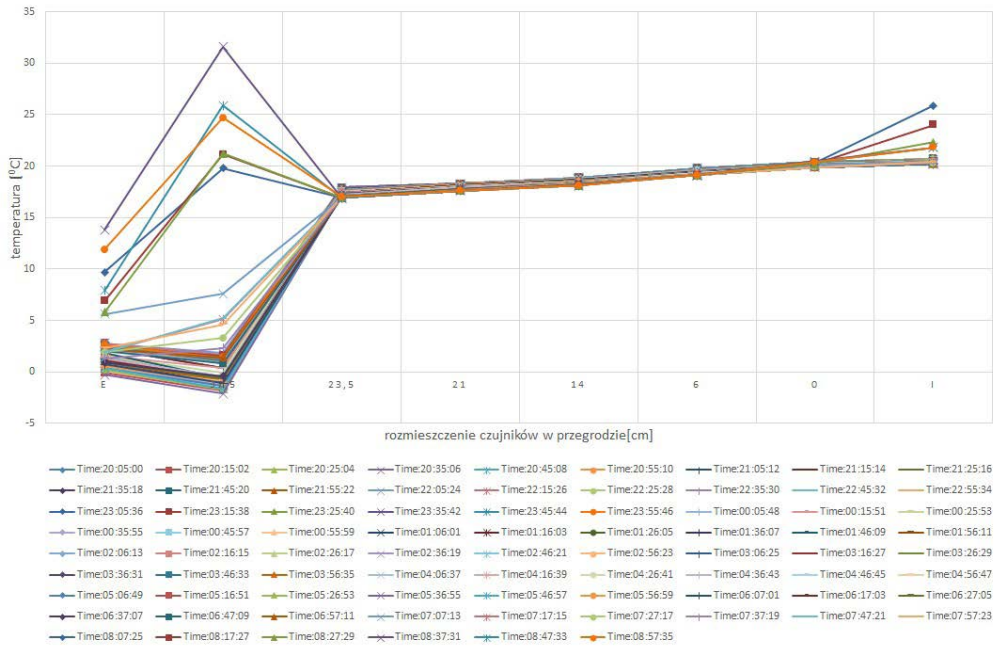


Rys. 7. Rozkład temperatury w wybranym dniu pomiarów

Fig. 7. Distribution of temperature on the selected date measurements

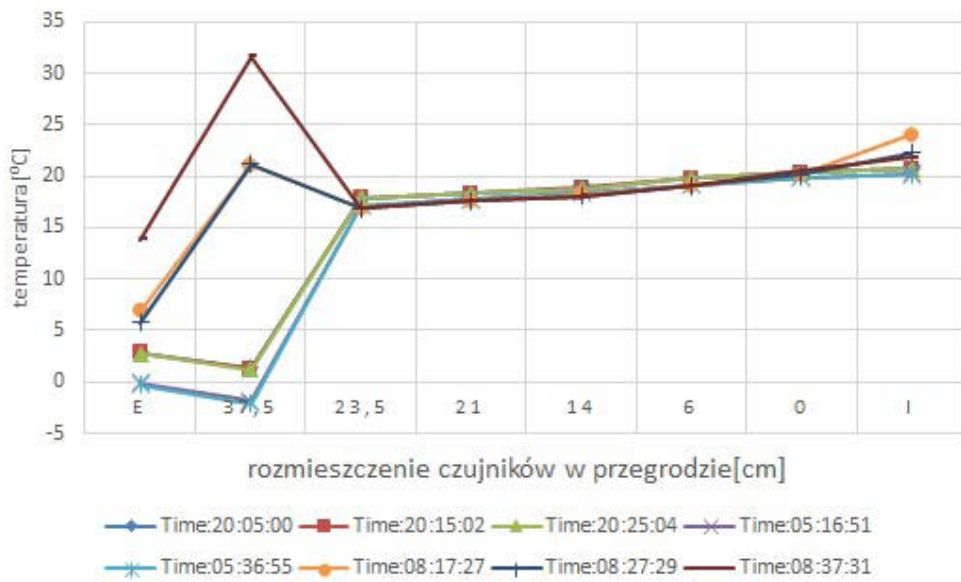
Dla lepszego zobrazowania zachowania komfortu cieplnego w badanym pomieszczeniu przedstawiono wybrane rozkłady temperatur w czasie charakterystycznych spadków temperatury zewnętrznej (rys. 9).

Wyraźnie widać, że pomimo całkowitego wyłączenia instalacji grzewczej oraz istotnych zmian temperatury na zewnątrz, temperatura na powierzchni i wewnątrz warstwy nośnej konstrukcji budowlanej nie ulega poważnym zmianom (rys. 7, 8). Całość nocnych wahań temperatury zewnętrznej „przejmuje” na siebie warstwa styropianu, co jest jej właściwym zadaniem technologicznym. Niewielkie zmiany temperatury wewnętrznej są znacznie niższe od obliczeniowych i spowodowane są obecnością ludzi i nasłonecznieniem.



Rys. 8. Rozkład temperatury w przegrodzie budowlanej

Fig. 8. The temperature in the building partition



Rys. 9. Rozkład temperatury w wybranych godzinach użytkowania

Fig. 9. The temperature at selected hours of use

Wnioski

W niniejszej publikacji potwierdzono łatwość zastosowania, wysoki efekt ekonomiczny i brak skutków ubocznych metody oszczędzania energii poprzez niestacjonarne sterowanie klimatem wewnętrznym w budynkach użyteczności publicznych.

Udowodniono, że pomimo całkowitego wyłączenia instalacji grzewczej w pomieszczeniu na powierzchni i wewnątrz warstwy nośnej konstrukcji budowlanej nie następuje poważna zmiana temperatury. Całość nocnych wahań temperatury zewnętrznej „przyjmuje” na siebie warstwa styropianu, co jest jej właściwym zadaniem technologicznym.

Wyniki badań świadczą na korzyść przedstawionej metody nawet w większym stopniu w porównaniu z teoretycznym wykresem zmiany temperatury w pomieszczeniu.

W wyniku badań stwierdzono, że przegrody budowlane zewnętrzne są właściwie projektowane i powodują niewielkie zmiany temperatury w pomieszczeniu na skutek wyłączania ogrzewania w godzinach nieużyteczności budynku.

Literatura

- Dyrektywa 2004/8/WE z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie wspierania kogeneracji w oparciu o zapotrzebowanie na ciepło użytkowe na rynku wewnętrznym energii.
- Dyrektywa 2006/32/WE z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych.
- Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
- Dyrektywa 2009a/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią.
- Dyrektywa 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- Dyrektywa UE 2010a/30/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie wskazania poprzez etykietowanie oraz standardowe informacje o produkcji, zużycia energii oraz innych zasobów przez produkty związane z energią.
- ŻURAWSKI, J. 2013. Efektywność energetyczna w budownictwie.
- SZKAROWSKI, A. i ŁATOWSKI, L. 2012. Ciepłownictwo. Wyd. 2. WNT, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- PN-EN ISO 6946:2004 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. DzU poz. 926 z dnia 13.08.2013 r.
- Kalkulator Ciepłno-Wilgotnościowy [Online] Dostępne w: <http://isover.eserwer24.pl/kcw/index.php?page=Isover.Start-Aplikacja> [Dostęp: 3.01.2016] (opracowany przez prof. nzw. dr hab. inż. Mirosława Żukowskiego, pracownika Katedry Ciepłownictwa Politechniki Białostockiej).

DYCKOWSKA, M. i SZKAROWSKI, A. 2009. Metoda energooszczędnego sterowania pracą instalacji grzewczych w budynkach o podwyższonej izolacyjności cieplnej – porównanie modelu matematycznego z wynikami badań. *Rocznik Ochrony Środowiska* t. 11, s. 583–594.

Alexander SHKAROVSKIY, Renata GAWIN

Improving energy efficiency of public buildings

Abstract

Significant decrease of temperature in buildings, where people are not constantly staying, may be a highly effective and low-cost method of improvement of energy efficiency of buildings. During time of absence of people heating system is simply turned off. This is followed by controlled slow decrease of temperature in rooms. Before people are back inside the building the heating system should be turned on (with overcapacity if needed) in order to ensure the rapid increase of temperature.

This method is known for a long time, but it is not commonly used for several reasons. Firstly, there is no theoretical justification and no calculation methods for this method of energy saving. Secondly, discussed method is often confused with temperature regulation according to heating curves. The third reason is a misconception that temperature decrease may cause unfavourable changes of temperature distribution inside external walls. This may cause higher moisture content in walls and lead to growth of mold, fungi and so on.

Authors' experimental studies were conducted to prove that non-stationary indoor climate control for a limited period of time (several dozen of hours during weekend at most) can not cause significant changes of temperature distribution inside the building wall.

In the research program two-stage method of non-stationary indoor climate control was applied. The heating system was turned off, one hour before people leaving work (20:00). Observed decrease of temperature in rooms was so insignificant that there was no need to start heating phase in advance and the heating system was turned back on after the start of the working day.

It was proved that, despite the complete shutdown of the heating system, in a room, on the surface and inside the support layer of the building structure, there is no significant change in temperature. All night fluctuations of outside temperature are "taken" by layer of expanded polystyrene, and that is its technological task.

KEYWORDS: energy efficiency of buildings, heating system, non-stationary indoor climate control, temperature distribution

