

ALEKSANDER BYRDY, CZESŁAW BYRDY*

ZMIANY TEMPERATUR WEWNĘTRZNYCH W BUDYNKU OKRESOWO OGRZEWANYM

INTERNAL TEMPERATURE CHANGES IN A PERIODICALLY HEATED BUILDING

Streszczenie

Celem artykułu jest określenie dopuszczalnego czasu przerw w ogrzewaniu pomieszczeń w budynku podczas zimy. W artykule przeprowadzono analizę obniżania się temperatury wewnętrznej okresowo ogrzewanego budynku o masywnej konstrukcji podczas jego ostygnięcia.

Słowa kluczowe: bezwładność cieplna, studzenie przegród

Abstract

The aim of this paper is to define the allowed period of time of breaks in heating a building. This paper conducts an analysis of self cooling in a periodically heated building.

Keywords: thermal capacity, cooling of building components

* Dr inż. Aleksander Byrdy, dr inż. Czesław Byrdy, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Akumulacyjność przegrody budowlanej to zdolność gromadzenia ciepła przez określony czas w celu wykorzystania go w później. Zależy ona głównie od masy przegrody oraz od materiału, z jakiego jest wykonana. Dlatego budynki murowane, o masywnej konstrukcji mają zdecydowanie większą akumulacyjność oraz lepszą stateczność cieplną niż np. budynki drewniane o konstrukcji szkieletowej.

W celu przeprowadzenia analizy akumulacyjności cieplnej budynków przeprowadzono badania temperatury wewnętrznej w budynku okresowo ogrzewanym. Badany budynek posiada masywne ściany murowane z pustaków betonowych oraz masywne stropy żelbetowe i gęstożebrowe. Tego typu przegrody wolno się nagrzewają, ale także wolno oddają zgromadzoną energię cieplną. Aby przegrody mogły akumulować i oddawać do wnętrza nagromadzone uprzednio ciepło, muszą być odpowiednio zaizolowane termicznie od strony zewnętrznej. W badanym budynku przegrody zewnętrzne zostały zaizolowane, zgodnie z obowiązującymi wymaganiami ochrony cieplnej, styropianem o grubości 15 cm, co zapewnienia długi okres oddawania ciepła do wnętrza przez wewnętrzne, ciężkie warstwy ścian i stropów.

W budynkach ogrzewanych okresowo w zależności od charakterystyki cieplnej budynku może zachodzić potrzeba stosowania tzw. ogrzewania dyżurnego w celu zachowania sprawności technicznej m. in. instalacji wodno-kanalizacyjnej. Celem przeprowadzonych badań było m.in. ustalenie ewentualnego zapotrzebowania na włączenie ogrzewania dyżurnego w budynku podczas przerw w jego użytkowaniu.

2. Opis techniczny budynku

Obiekt, w którym przeprowadzono badania jest budynkiem wolno stojącym, podpiwniczonym, parterowym z poddaszem użytkowym, o wymiarach w planie $9,87 \times 4,53$ m i wysokości ok. 7,5 m (rys. 1). Został zbudowany w latach 60. ubiegłego wieku i poddany gruntownemu remontowi po około 35 latach. Budynek zlokalizowany jest koło Cieszyna w województwie śląskim i jest położony na niezacienionej działce, na wzniesieniu ze spadkiem w kierunku południowym. Oś podłużna budynku znajduje się na kierunku północ-południe, wejście do budynku znajduje się od strony północnej. Budynek przekryty jest stromym dachem o konstrukcji ciesielskiej, a ściany i stropy budynku zostały zbudowane w technologii tradycyjnej. Ściany fundamentowe piwnic wykonane są z betonu B-15 o grubości 40 cm, otynkowane wewnętrznym tynkiem cementowym o grubości 1,0 cm, od zewnątrz ściany ocieplone są styropianem EPS 100 o grubości 10 cm do głębokości 30 cm poniżej otaczającego terenu. W części cokołowej ściany te są wykończone okładziną z piaskowca klejonego do izolacji termicznej na siatce stalowej i dodatkowo podpieranego konsolami stalowymi. Ściany zewnętrzne wzniesione są z pustaków żużlobetonowych Alfa o grubości 37 cm, otynkowane od strony wewnętrznej tynkiem wapiennym o grubości 1,5 cm. Od strony zewnętrznej ścian wykonano ocieplenie o grubości 15 cm ze styropianu EPS 80, na którym znajduje się tynk wapienny na siatce z włókna szklanego o grubości 1,0 cm. Strop nad piwnicą stanowi płyta żelbetowa o grubości 10 cm otynkowana od spodu 1 cm tynkiem cementowym. Strop został od góry wykończony warstwą twardej płyty pilśniowej, 2 cm warstwą styropianu i podłogą z desek świerkowych o grubości 2,5 cm ułożonych na legarach.

Konstrukcję stropu nad parterem tworzy strop Akermana o grubości 25 cm otynkowany od spodu tynkiem wapiennym o grubości 1,0 cm. Na warstwie konstrukcyjnej stropu ułożono 10 cm styropianu EPS 100 z 3 cm warstwą wylewki cementowej, wykończoną podłogą z desek świerkowych o grubości 2,5 cm. Uwarstwienie przegród przylegających do badanego pomieszczenia w budynku wraz z ich danymi technicznymi wg [4] pokazano w tabelach 1-4.

Tabela 1

Ściana działowa między pokojami

Lp.	Materiał warstwy	Masa objętościowa materiału ρ [kg/m ³]	λ [W/(m ² K)]	Grubość [cm]	Opór cieplny R [(m ² K)/W]	Pojemność cieplna właściwa $C_v = c \cdot \rho$ [kJ/(m ³ K)]
1	Tynk wapienny	1700	0,7	1	0,0143	1428
2	Mur z betonu komórkowego 800	800	0,38	24	0,632	672
3	Tynk wapienny	1700	0,7	1	0,0143	1428
Całkowita grubość ściany [cm]						26,0
U przegrody [W/(m ² K)]						1,51

Tabela 2

Strop nad piwnicą

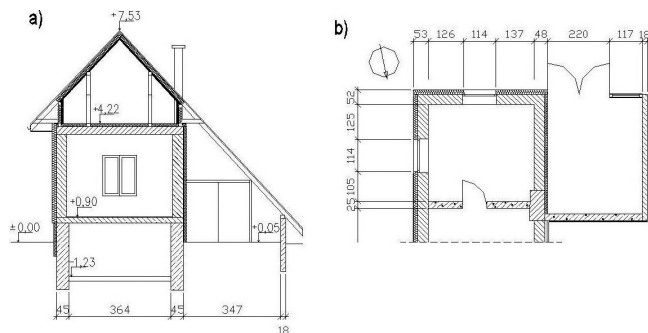
Lp.	Materiał warstwy	Masa objętościowa materiału ρ [kg/m ³]	λ [W/(m ² K)]	Grubość [cm]	Opór cieplny R [(m ² K)/W]	Pojemność cieplna właściwa $C_v = c \cdot \rho$ [kJ/(m ³ K)]
1	Deski podłogowe	500	0,16	2,5	0,156	1255
2	Styropian	20	0,04	2,0	0,500	29,2
3	Płyty pilśniowe twarde	1000	0,18	0,8	0,045	2510
4	Żelbetowa płyta stropowa	2500	1,30	10,0	0,077	2980
5	Tynk cementowy	2000	1,0	1,0	0,010	1680
Całkowita grubość stropu [cm]						16,3
U przegrody [W/(m ² K)]						1,27

Strop nad parterem

Lp.	Materiał warstwy	Masa objętościowa materiału ρ [kg/m ³]	λ [W/(m ² K)]	Grubość [cm]	Opór cieplny R [(m ² K)/W]	Pojemność cieplna właściwa $C_v = c \cdot \rho$ [kJ/(m ³ K)]
1	Tynk wapienny	1700	0,7	1,0	0,0143	1428
2	Strop Akermana	1900	0,96	25	0,260	1672
3	Styropian	20	0,04	10,0	2,500	29,2
4	Wylewka cementowa	2000	1,0	3,0	0,030	1848
5	Deski podłogowe	500	0,16	2,5	0,156	1255
Całkowita grubość stropu [cm]						41,5
U przegrody [W/(m ² K)]						0,34

Ściana zewnętrzna poziomu mieszkalnego

Lp.	Materiał warstwy	Masa objętościowa materiału ρ [kg/m ³]	λ [W/(m ² K)]	Grubość [cm]	Opór cieplny R [(m ² K)/W]	Pojemność cieplna właściwa $C_v = c \cdot \rho$ [kJ/(m ³ K)]
1	Tynk wapienny	1700	0,7	1,0	0,0143	1428
2	Mur z pustaków żużlobetonowych ALFA	810	0,58	37	0,6379	607,5
3	Tynk wapienny	1700	0,7	1,0	0,0143	1428
4	Styropian	12	0,04	15,0	3,750	17,5
5	Tynk wapienny na siatce z włókna szklanego	1700	0,7	1,0	0,0143	1428
Całkowita grubość stropu [cm]						56,0
U przegrody [W/(m ² K)]						0,22

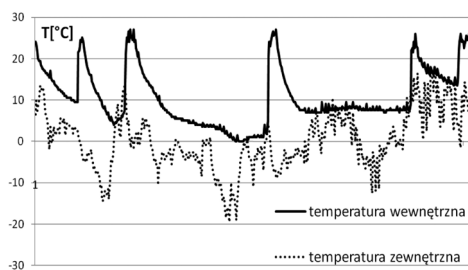


Rys. 1. Część budynku, w którym wykonywano badania:
a) przekrój poprzeczny, b) fragment rzutu poziomego

Fig. 1. Part of the tested building: a) cross section, b) segment of the horizontal projection

3. Opis badań

Budynek, w którym przeprowadzono badania spełnia funkcję całorocznego domku letniskowego. Obiekt zimą jest ogrzewany systemem wymuszonego obiegu ciepłego powietrza zasilanego piecem na drewno opałowe. W budynku w miejscach najbardziej oddalonych od źródła ciepła zainstalowano elektryczne grzejniki konwektorowe, które pełnią także rolę dodatkowego zabezpieczenia pomieszczeń przed zamrożeniem instalacji wodno-kanalizacyjnej. W budynku na parterze znajdują się dwa pokoje mieszkalne oraz sypialnia na poddaszu. Pokój, w którym były prowadzone pomiary temperatury znajduje się na parterze od strony południowej. W pokoju jest jedno okno od strony wschodniej i jedno od strony południowej. Od strony zachodniej pełną, ocieploną ścianą pokój ten graniczy z nieogrzewanym garażem. Badania przeprowadzono z użyciem dwóch cyfrowych rejestratorów IButton w okresie od 29.11.2009 do 07.04.2010. W opisywanym pokoju na wysokości 1,5 m nad podłogą zainstalowano 1 czujnik temperatury, natomiast drugi czujnik rejestrował temperaturę na zewnątrz budynku. Oba czujniki ustawiono na jednoczesny pomiar temperatury cyklicznie co 6 godzin. Wykres odczytów temperatury z całego okresu badawczego pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Wykres odczytów temperatury wewnątrz i na zewnątrz budynku podczas całego okresu badawczego od 29.11.2009 do 07.04.2010

Fig. 2. Temperature readings inside and outside the building during the whole study period from 29.11.2009 to 07.04.2010

4. Interpretacja wyników badań

W badanym okresie budynek został pięciokrotnie ogrzany poprzez co najmniej 3-dniowy okres użytkowania. W tym czasie temperatura powietrza wewnątrz budynku osiągała temperaturę do +25°C. W okresie przerwy w użytkowaniu budynku temperatura wewnętrzna była uwarunkowana wydatkiem energii cieplnej zakumulowanej przez ściany oraz zyskami cieplnymi czerpanymi przez okna z promieniowania słonecznego. Masywna konstrukcja budynku pozwala na akumulację ciepła przyjmowanego przez warstwy przegród nawet w krótkotrwałych okresach użytkowania. Zdolność przegród do akumulowania ciepła zależy od ich pojemności cieplnej C [J/K] wyrażanej wzorem (1):

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (1)$$

gdzie:

ΔQ – ilość ciepła dostarczonego układowi termodynamicznemu [J]

ΔT – zmiana temperatury układu termodynamicznego [K].

Właściwa pojemność cieplna jest odniesiona do objętości ciała fizycznego, a liczbowo równa jest iloczynowi jego gęstości objętościowej ρ i ciepła właściwego c (2).

$$C_v = \rho \cdot c \quad (2)$$

Jednorazowe stygnięcie ciał można opisać na podstawie uproszczonego rozwiązania równania Fouriera dokonanego przez Kirschera, opisanego w [6] wzorem (3):

$$t(0, \tau) = t_0 \exp\left(-\frac{\tau}{z}\right) \quad (3)$$

gdzie:

τ – czas stygnięcia [h],

t_0 – temperatura początkowa ciała [°C],

z – wskaźnik utrzymania ciepła [h] wg wzoru (4):

$$z = \sum_i R_i C_i \quad (4)$$

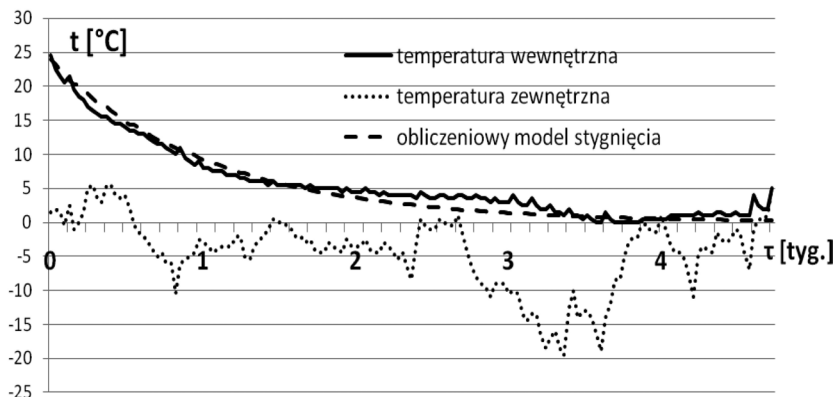
gdzie:

R_i – opór cieplny od środka warstwy i do powietrza zewnętrznego,

C_i – pojemność cieplna warstwy i ściany (warstwy numerowane są od warstwy zewnętrznej).

Do analizy jednorazowego stygnięcia pomieszczenia przyjęto najdłuższą i najbardziej mroźną część okresu badawczego 29.12.2009 do 05.02.2010. Okres ten był poprzedzony 4-dniowym czasem ogrzewania budynku podczas jego użytkowania. Wyniki badań oraz obliczeń średnich zmian temperatury przegród pokazano na rys. 3.

Do obliczeń przyjęto, że średnia początkowa temperatura przegród wynosi 24°C, wskaźnik utrzymywania ciepła z przyjęto jako średnią wartość wskaźników poszczególnych przegród proporcjonalnie do ich powierzchni w badanym pomieszczeniu. Uzyskano dobre dopasowanie wyników badań z wynikami obliczeń wg wzoru (3). Zależność linio-



Rys. 3. Wykres odczytów temperatury wewnątrz i na zewnątrz budynku w porównaniu do obliczonych średnich zmian temperatury przegród podczas okresu badawczego od 29.12.2009 do 05.02.2010

Fig. 3. Temperature readings inside and outside the building in comparison to the calculated average temperature changes in building components during the study period from 29.12.2009 to 05.02.2010

wa pomiędzy obliczonymi i odczytanymi zmianami temperatur wewnętrznych jest bardzo wysoka, gdyż współczynnik korelacji liniowej tych zmiennych wynosi około 0,98. Analiza zależności nieliniowej (*exp*) pomiędzy powyższymi zmiennymi również wykazuje dobre dopasowanie, gdyż kwadrat współczynnika korelacji wskazuje na bardzo wysokie związanie danych $r^2 = 0,74$. Dobre dopasowanie wyników badań z wynikami obliczeń wg wzoru (3) ma jednak ograniczony zakres stosowalności. Dla dodatnich temperatur początkowych przegrody można modelować jedynie zakres zmian temperatur do 0°C .

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania miały charakter uproszczony. Badania zostały przeprowadzone bez pomiarów temperatury ścian i zysków słonecznych. Wpływ promieniowania słonecznego na przegrody nieprzeźroczyste o zróżnicowanej masie przedstawiono w pracy [1]. Badane pomieszczenie tylko dwoma ścianami graniczy bezpośrednio z powietrzem zewnętrznym. Trzecia ściana pomieszczenia jest przegrodą graniczącą z nieocieplonym, nieogrzewanym garażem, a kolejna - ścianą wewnętrzną budynku. Podłogę pomieszczenia tworzy strop nad piwnicą, w której w miesiącach zimowych odnotowuje się temperatury minimalne na poziomie $+4^{\circ}\text{C}$. Przegroda sufitowa w badanym pomieszczeniu stanowi ocieplony strop nad parterem graniczący z przestrzenią ocieplonego poddasza użytkowego. Poddasze w czasie badania także nie było ogrzewane, jednak ze względu na jego lekką konstrukcję w przestrzeni poddasza temperatura obniżała się znacznie szybciej. Każdy budynek ze względu na konstrukcję, jego kształt, bryłę i układ pomieszczeń może charakteryzować się różnymi parametrami akumulacji cieplnej. Badany budynek został zbudowany w technologii tradycyjnej, spełnia dla większości przegród współczesne wymagania ochrony cieplnej [3], dlatego wyniki badań akumulacyjności cieplnej, pomimo jego indywidualnych cech, mogą być zbliżone do podobnie zbudowanych budynków.

Tradycyjnie, zgodnie z [2, 5] przyjmuje się, że budynki masywne wolno się nagrzewają, ale i wolno oddają zgromadzoną energię. Budynki szkieletowe o lekkiej konstrukcji, ze względu na małą stateczność cieplną przegród, szybko się nagrzewają, ale równie szybko tracą zakumulowane ciepło. Dlatego zalecane jest stosowanie przegród masywnych w budynkach stale użytkowanych, tak by minimalizować wahania temperatur wewnętrznych w krótkich okresach wyłączonego ogrzewania w porze nocnej lub podczas nieobecności użytkowników. Natomiast budynki o lekkiej konstrukcji szkieletowej tradycyjnie zaleca się do wykorzystywania jako obiekty użytkowane okresowo (budynki letniskowe, hotelowe, rekreacyjne itp.) ze względu na krótki czas ich nagrzewania.

6. Wnioski

Współczesne budynki wyposażone są standardowo w instalacje wodno-kanalizacyjne, które mogą zostać uszkodzone w okresie zimowym, dlatego nawet budynki okresowo wykorzystywane muszą posiadać tzw. ogrzewanie dyżurne automatycznie zabezpieczające przed zamrożeniem instalacji. W budynkach o lekkiej konstrukcji ogrzewanie dyżurne utrzymujące najczęściej temperaturę wewnętrzną na poziomie $+6^{\circ}\text{C}$ powinno być włączone praktycznie bezpośrednio po przerwaniu ogrzewania.

W badanym budynku ogrzewanie dyżurne zostałyby włączone po ok. 12 dniach od zakończenia użytkowania (rys. 3), gdyby nie przeprowadzono powyższych badań. Temperaturę 0°C osiągnięto dopiero po 28 dniach braku ogrzewania, na co wskazują wyniki badań pokazane na rys. 3. Ogrzewanie dyżurne w budynku masywnym w porównaniu z budynkiem o lekkiej konstrukcji może być włączane w większych odstępach czasu, przez co koszty utrzymania takiego budynku mogą być niższe.

Prezentowane wyniki badań, zostały zrealizowane w ramach tematu nr L-1/219/DS/2012, zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Byrdy Cz., *Wpływ masy przegród zewnętrznych budynku na wielkość strat cieplnych w okresie grzewczym*, Monografia 108, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
- [2] Garbalińska H., Siwińska A., *Pojemność cieplna wybranych materiałów ściennych*, „Materiały Budowlane” 2/2012.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2008 Nr 201, poz. 1238).
- [4] PN-EN ISO 6946:1999 Załącznik krajowy NC, Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania.
- [5] Płoński W., Pogorzelski J.A., *Fizyka budowli. Zasady projektowania przegród budowlanych w zakresie cieplno-wilgotnościowym*, Arkady, Warszawa 1979.
- [6] Klemm P., *Budownictwo ogólne*, t. 2, *Fizyka budowli*, Arkady, Warszawa 2005.