

Piotr RYNKOWSKI

Politechnika Białostocka, Katedra Ciepłownictwa

ul. Wiejska 45E, Białystok

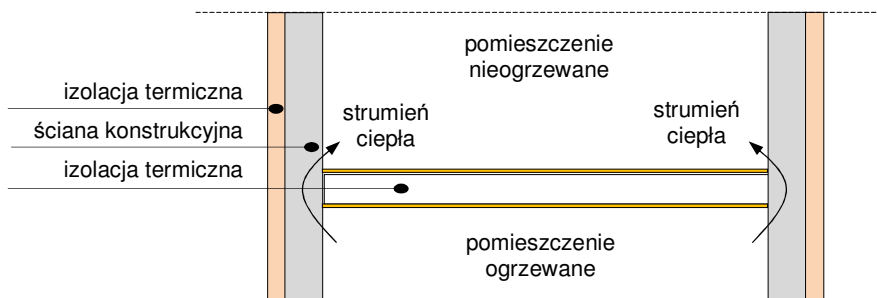
E-mail: p.rynkowski@pb.edu.pl

Analiza techniczno-ekonomiczna docieplenia poddasza nieużytkowego na przykładzie budynku jednorodzinnego

1 Wprowadzenie

Projektując i wykonując budynki jedno- i wielorodzinne, możemy znaleźć przykłady rozwiązań, które nie są najlepsze z punktu widzenia oszczędności energii dla danej sytuacji, ale często powszechne. O ile świadoma rezygnacja z danego rozwiązania z powodu wysokich nakładów ekonomicznych wydaje się uzasadniona, o tyle niewykonanie pewnych czynności wynikających z braku wiedzy jest błędem. Aby ocenić jednoznacznie opłacalność danego rozwiązania, potrzebna jest dokładna analiza techniczno-ekonomiczna. Jej brak prowadzi do stosowania rozwiązań, dla których koszt inwestycyjny jest na poziomie konkurencyjności cenowej, pozwalającej na zbycie danego produktu, mimo iż obie strony, zarówno sprzedawca, jak i kupujący, mają świadomość istnienia rozwiązań lepszych.

Przykładem powszechnego rozwiązania jest niedocieplenie dachu nad poddaszem nieogrzewanym w budynku jednorodzinnym (rys.1). Pomimo iż ściany szczytowe oraz strop nad pomieszczeniem ogrzewanym są na poziomie obowiązujących norm, wystąpią miejsca o wzmożonej wymianie ciepła. Najlepszym i najdroższym rozwiązaniem jest docieplenie całego poddasza nieogrzewanego. Możliwe jest docieplenie tylko wewnętrznych powierzchni ścian szczytowych na poziomie poddasza nieogrzewanego.



Rys. 1. Szkic fragmentu budynku pokazujący miejsca wzmożonej wymiany ciepła pomiędzy pomieszczeniem ogrzewanym i nieogrzewanym

Fig. 1. Section sketch of the building showing the location of increased heat exchange between the heated and unheated space

Zdjęcie nr 1 przedstawia przykład poddasza nieogrzewanego z niedocieploną ścianą szczytową (widoczna sonda do pomiaru strumienia ciepła).



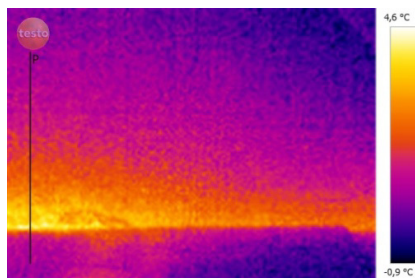
Fot.1. Niedocieplona ściana szczytowa poddasza

Photo 1. Unheated wall of attic



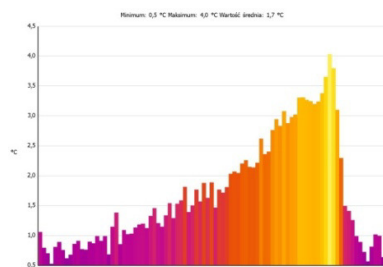
Fot.2. Fragment ściany szczytowej poddasza nieogrzewanego

Photo 2. Fragment the unheated top wall of attic



Fot.3. Zdjęcie z kamery termowizyjnej przegrody przedstawionej na zdjęciach 1, 2

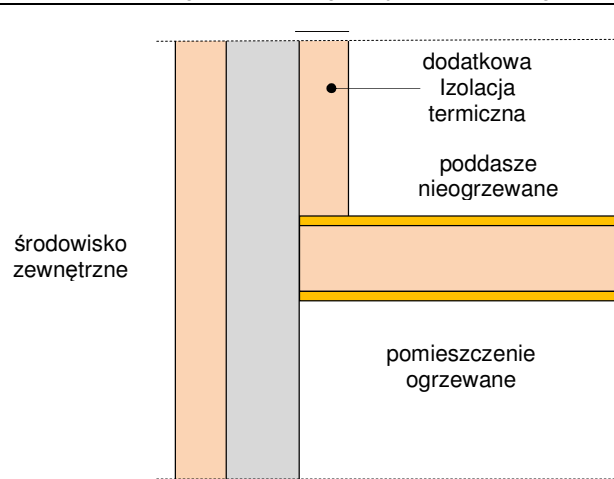
Photo 3. The thermal imaging picture of wall shown in picture 1, 2



Wykres 1. Identyfikacja temperatury wzdłuż prostej ze zdjęcia 2

Sketch 1. Temperature field along a straight from picture 2

Zdjęcia z kamery termowizyjnej (zdjęcie 3) potwierdzają wzmożoną wymianę ciepła poprzez przegrodę pionową. W części poddasza nieogrzewanego lokalnie temperatura powierzchni zewnętrznej przegrody osiąga około 4°C, przy wartości około 1°C w miejscach, gdzie wpływ mostka cieplnego jest mniejszy. Dla budynków, gdzie rozwiązania takie istnieją, pojawia się naturalna potrzeba odpowiedzi na pytanie, czy ekonomicznie uzasadnione jest dodatkowe docieplenie ścian szczytowych od wewnątrz, na wysokości poddasza nieogrzewanego (rys. 2).



Rys.2. Szkic fragmentu przekroju budynku z poddaszem nieogrzewanym i miejscem dodatkowej izolacji termicznej

Fig. 2. Sketch cross-section of the building with an unheated attic and place of additional thermal insulation

W artykule założono, że rozpatrywane przegrody zewnętrzne analizowanego budynku odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury – dotyczącym warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – z dnia 6 listopada 2008 roku. W celu wykonania analizy wyznaczono strumień ciepła przenikający przez przegrody ograniczające pomieszczenie ogrzewane ze środowiskiem zewnętrznym oraz poddaszem nieużytkowym, nieogrzewanym. Obliczenia numeryczne wykonano autorskim programem przy wykorzystaniu Metody Elementów Brzegowych.

2 Obliczenia numeryczne

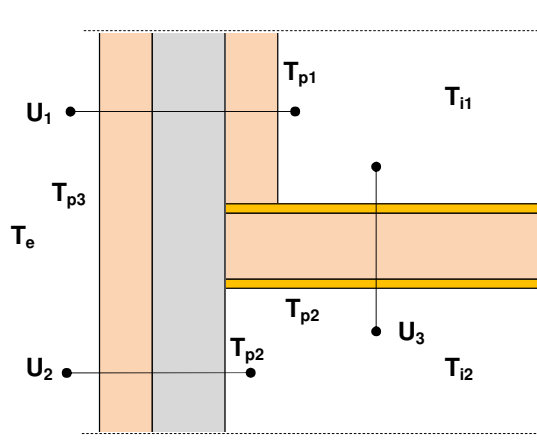
Na potrzeby analizy rozpatrzono dwa przypadki:

- brak dodatkowej izolacji termicznej po stronie wewnętrznej przegrody poddasza nieogrzewanego (rys. 1),
- istnieje dodatkowa izolacja termiczna po stronie wewnętrznej przegrody poddasza nieogrzewanego (rys. 2).

Przyjęto przegrodę dwuwarstwową z warstwą izolacji termicznej o efektywnej grubości izolacji 15 cm. Na stropie izolacja stanowi 25 cm warstwa wełny mineralnej. Pozostałe warstwy stropu to płyta gipsowo-kartonowa 1,25 cm od dołu oraz od góry płyta OSB o grubości 2,2 cm. Jako dane do obliczeń numerycznych przyjęto następujące własności fizyczne materiału:

- materiał konstrukcyjny – cegła silikatowa, współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,77 \text{ W/mK}$,
- izolacja termiczna styropian - $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$,
- wełna mineralna na stropie - $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$,
- płyta gipsowo-kartonowa - $\lambda = 0,23 \text{ W/mK}$,

- płyta OSB - $\lambda = 0,15 \text{ W/mK}$.



Rys. 3. Oznaczenia współczynników przenikania ciepła dla poszczególnych przegród
Fig 3. Designation of heat transfer coefficients for each wall

Współczynniki przenikania ciepła dla poszczególnych przegród (zgodnie z rys. 3) wynoszą:

- $U_1 = 0,182 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- $U_2 = 0,199 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- $U_3 = 0,158 \text{ W/m}^2\text{K}$.

W celu określenia sezonowego zapotrzebowania na ciepło w standardowym sezonie grzewczym – zgodnie z normą PN-EN ISO 1370 „Energetyczne właściwości użytkowe budynków – obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia” lub zgodnie z „Metodologią obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej z dnia 8 listopada 2008 roku – dla założonych dwóch przypadków korzysta się z jednego z dostępnych na rynku programów. Kłopotliwe jest poprawne przyjęcie odpowiedniego mostka cieplnego, gdyż w bazie danych, przynajmniej w części programów, są przyjęte tylko standardowe mostki cieplne. Dla standardowych mostków cieplnych współczynnik przenikania liniowego mostka cieplnego jest określony i nie podlega edycji. Dodatkowa wartość izolacji termicznej może wydawać się nieistotna, gdyż wzrost jej wydaje się niewielki, z $U=0,199 \text{ W/m}^2\text{K}$ do $U = 0,158 \text{ W/m}^2\text{K}$. Natomiast stanowi to wzrost 21% w stosunku do stanu wyjściowego.

W celu określenia strumienia cieplnego przenikającego przez przegrodę pionową i poziomą dla dwóch przypadków wykonano obliczenia numeryczne autorskim programem obliczeniowym, przy wykorzystaniu metody elementów brzegowych. Zagadnienia przyjęto jako dwuwymiarowe, ustalone pole temperatury. Obliczenia wykonano dla temperatur zewnętrznych dotyczących typowych lat meteorologicznych oraz opracowanych na ich podstawie danych statystycznych dla obszaru Polski,

przygotowanych dla potrzeb obliczeń energetycznych w budownictwie, przyjmując wieloletnie dane klimatyczne dotyczące średnich miesięcznych wartości zewnętrznych temperatur ze stacji Białystok. W celu wizualizacji obliczeń wyniki przedstawiono na wykresach. Przyjęte temperatury ujęto w tabeli 1. Na powierzchniach wewnętrznych założono zerową wartość strumienia (warunek Robina), gdzie wartości oporu cieplnego przyjęto według PN-EN ISO 6946:2004 „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.”

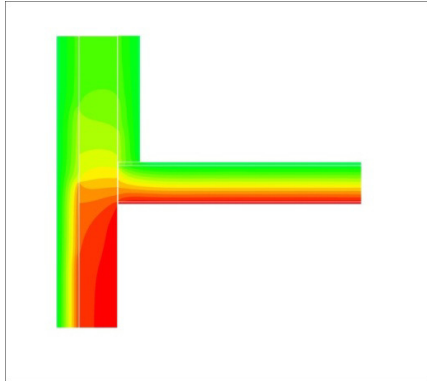
Tab. 1. Przyjęte temperatury dla poszczególnych miesięcy

Tab. 1. The temperatures for each months

Miesiąc	Średnia temperatura powietrza zewnętrznego	Temperatura na poddaszu użytkowym
	°C	°C
styczeń	-4,9	-4,66
luty	-2,0	-1,79
marzec	1,7	1,87
kwiecień	7,3	7,42
maj	12,3	12,37
wrzesień	10,8	10,89
październik	7,1	7,22
listopad	1,6	1,78
grudzień	-1,3	-1,10

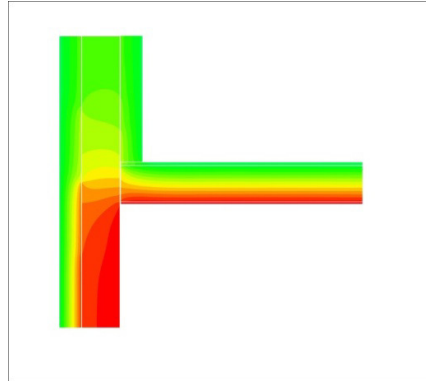
3 Rezultaty obliczeń

Rezultatem obliczeń jest dwuwymiarowe, ustalone pole temperatury oraz wartości temperatur i strumieni ciepła na wszystkich krawędziach rozpatrywanego obszaru. Poniżej przedstawiono pola temperatury w przegrodzie dla wybranych miesięcy: stycznia, maja rys. 4-7 oraz dla obliczeniowej temperatury zewnętrznej w IV strefie klimatycznej wynoszącej -22°C (rys. 8-9). W każdym przypadku przyjęto układ bez i z dodatkową izolacją termiczną. W każdym z pokazanych przypadków została zachowana taka sama skala temperatur, od -22°C do +18°C.



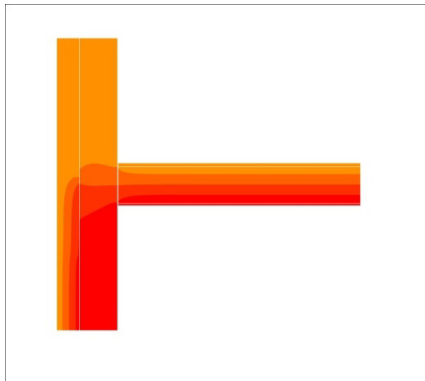
Rys. 4. Identyfikacja temperatury bez dodatkowej izolacji termicznej – styczeń

Fig. 4. Identification of temperature without additional thermal insulation - January



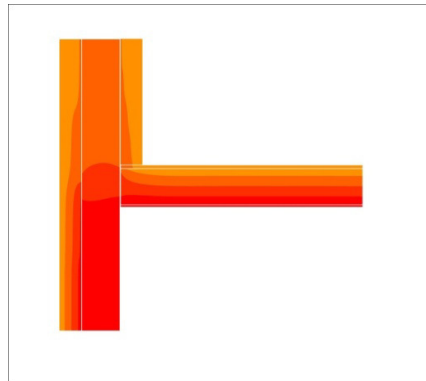
Rys. 5. Identyfikacja temperatury z dodatkową izolacją termiczną – styczeń

Fig. 5. Identification of temperature with additional thermal insulation – January



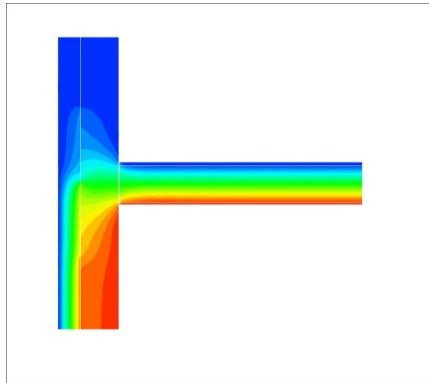
Rys. 6. Identyfikacja temperatury bez dodatkowej izolacji termicznej – maj

Fig. 6. Identification of temperature without additional thermal insulation - May



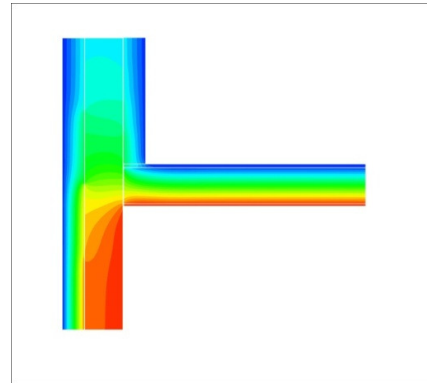
Rys. 7. Identyfikacja temperatury z dodatkową izolacją termiczną – maj

Fig. 7. Identification of temperature with additional thermal insulation - May



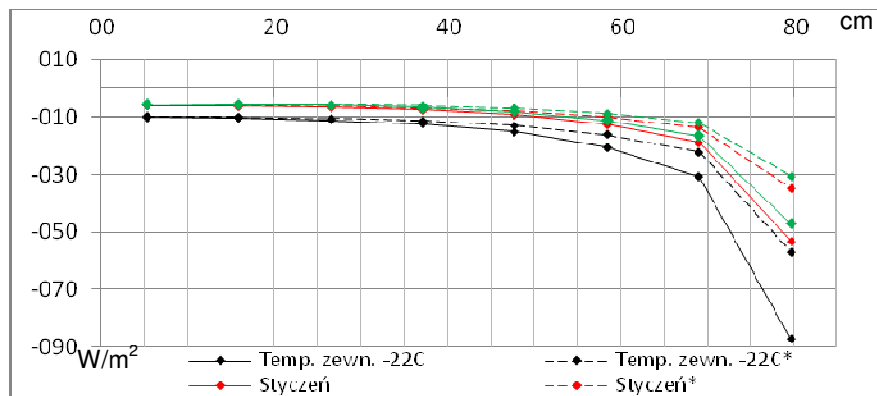
Rys. 8. Identyfikacja temperatury bez dodatkowej izolacji termicznej dla temp. zewn. (-22°C)

Fig. 8. Identification of temperature without additional thermal insulation for outdoor temperature. (-22°C)



Rys. 9. Identyfikacja temperatury z dodatkową izolacją termiczną dla temp. zewn. (-22°C)

Fig. 9. Identification of temperature with additional thermal insulation for outdoor temperature. (-22°C)



Wykres 2. Przykładowe strumienie ciepła przenikające przez przegrodę pionową pomieszczenia ogrzewanego dla wybranych miesięcy (wartość z „*” oznacza strumień ciepła dla przypadku z dodatkową izolacją termiczną)

Graph 2. Examples of heat fluxes penetrate vertical heated room for some months (value „*” indicates the heat flux for the case with additional thermal insulation)

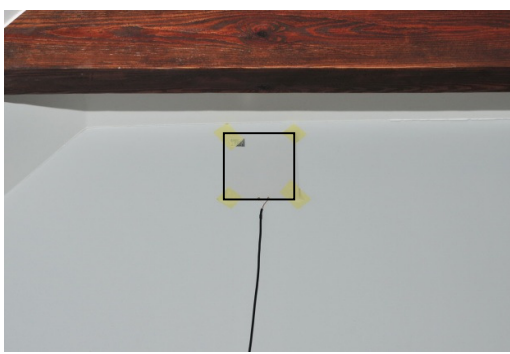
Celem weryfikacji obliczeń pomierzono wartości strumienia ciepła oraz temperatury na powierzchni wewnętrznej przegrody pionowej, na wysokości granicy pomieszczenia ogrzewanego i poddasza nieużytkowanego. Dodatkowo zmierzono temperaturę zewnętrzną i wewnętrzną w obu pomieszczeniach oraz wilgotność. Wielkości te porównano z wynikami obliczeń numerycznych. Wartości pomierzone i wyliczone

przedstawiono w tabeli 2. Wielkości zmierzone zestawiono z wartościami obliczeniowymi dla średniej temperatury miesiąca listopada, równej $1,6^{\circ}\text{C}$, jako najbardziej zbliżone do warunków pomiarowych.

Tab. 2. Wartości temperatury i strumienia ciepła. Wartości pomierzone i wyznaczone numerycznie dla temperatury zewnętrznej $+4,1^{\circ}\text{C}$

Tab. 2. Values of the temperature and heat flux. The values determined numerically and measured for outdoor temperature $+4.1^{\circ}\text{C}$

Wielkość mierzona	Wynik obliczeń	Wynik pomiaru	Jednostka
temperatura zewnętrzna	1,6	4,1	$^{\circ}\text{C}$
temperatura pomieszczenia ogrzewanego	20,0	18,8	$^{\circ}\text{C}$
temperatura pomieszczenia	1,8	2,1	$^{\circ}\text{C}$
strumień ciepła przenikający przez przegrodę pionową przy stropie na wysokości pomieszczenia ogrzewanego	10,6	11,9	W/m
strumień ciepła przenikający przez przegrodę pionową przy stropie na wysokości pomieszczenia nieogrzewanego (poddasze)	3,1	1,3	W/m



Fot. 4, 5. Urządzenie pomiarowe oraz sonda na przegrodzie wewnętrznej do pomiaru strumienia ciepła

Photo 4, 5. The measuring device and probe the inner compartment to measure the heat flux

Wyniki obliczeń numerycznych mają sens fizyczny. Wartość ich jest w stosunku do wartości pomierzonych porównywalna. Rozbieżności w strumieniu ciepła w przegrodzie na wysokości poddasza są związane z różnymi wartościami temperatur zewnętrznych przyjętymi dla stycznia z typowych lat meteorologicznych oraz wartości pomierzonych (odpowiednio: obliczenia $1,6^{\circ}\text{C}$, wartość rzeczywista w trakcie pomiaru - $4,1^{\circ}\text{C}$), temperatury wewnętrznej (odpowiednio $20,0^{\circ}\text{C}$ i $18,8^{\circ}\text{C}$) oraz temperatury pomieszczenia nieogrzewanego (odpowiednio $1,8^{\circ}\text{C}$ i $2,1^{\circ}\text{C}$). Stąd teoretyczna wartość

strumienia ciepła przenikającego z pomieszczenia ogrzewanego na wysokości mostka cieplnego będzie wyższa w stosunku do wartości rzeczywistych.

Mając teoretyczną różnicę strumienia ciepła przenikającego przez przegrodę pionową i poziomą dla założonych dwóch przypadków oraz przyjmując długość liniowego mostka cieplnego dla rozpatrywanego budynku, określono dodatkowe zużycie energii cieplnej w poszczególnych miesiącach. Wartości te zestawiono w tabeli 3.

Przyjmując powierzchnię ogrzewaną rozpatrywanego budynku równą 236,2 m², wartość dodatkowej energii odniesiona do powierzchni ogrzewanej wyniesie 0,96 kWh/m². Obecnie obliczone zapotrzebowanie na energię użytkową na potrzeby ogrzewania i wentylacji według PN-EN ISO 13790 „Energetyczne właściwości użytkowe budynków - obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia” wynosi 47,75 GJ. Po dociepleniu przegród na poddaszu nieużytkowym obliczeniowa wartość zmniejszy się do 46,93 GJ. Koszt paliwa gazowego, taryfa W-3.6, wynosi:

- koszt paliwa gazowego - 1,3076 zł/m³ plus 23% VAT = 1,6083 zł/m³,
- opłata sieciowa zmienna: - 0,3049 zł/m³ plus 23% VAT = 0,3750 zł/m³,
- razem - **1,9833 zł/m³**.

Uwzględniając wartość opałową gazu na poziomie 34,3 MJ/m³, koszt 1 GJ energii cieplnej wynosi **57,83 zł/GJ**. Zapotrzebowanie na energię końcową na potrzeby ogrzewania i wentylacji (po uwzględnieniu sprawności systemu grzewczego) analizowanego budynku wynosi 97,28 GJ/rok. Koszty ogrzewania wynoszą 5 626 zł/rok.

Szacunkowe oszczędności wyniosą:

$$0,82 \text{ GJ/rok} \times 57,83 \text{ zł/GJ} = 47,42 \text{ zł/rok} . \quad (1)$$

Koszt docieplenia ścian szczytowych poddasza wyniesie:

$$80 \text{ zł/m}^2 \times 75 \text{ m}^2 = 6 000 \text{ zł} . \quad (2)$$

Przyjęto niższy koszt 1 m² docieplenia ze względu na brak rusztowań i konieczności wykonywania wszystkich prac, jak kołkowanie czy położenie warstwy wykańczającej, tzw. „koloru”. Prosty czas zwrotu SPBT wyniesie:

$$\frac{6 000 \text{ zł}}{47,42 \text{ zł / rok}} = 126,5 \text{ lat} . \quad (3)$$

Tab. 3. Dodatkowe zużycie energii dla rozpatrywanego budynku – mostek cieplny długości $2 \times 8,7 \text{ m} = 17,4 \text{ m}$

Tab. 3. Additional energy consumption for the analyzed building - a thermal bridge length of $2 \times 8.7 \text{ m} = 17.4 \text{ m}$

Miesiąc	Czas trwania sezonu grzewczego	Długość liniowego mostka cieplnego 17,4	Energia cieplna
styczeń	31		42,46
luty	28		34,03
marzec	31		31,20
kwiecień	30		21,05
maj	10	17,40	4,22
wrzesień	10		5,05
październik	31		21,88
listopad	30		30,44
grudzień	31		36,38
SUMA			226,70 kWh
			0,82 GJ

4 Wnioski

Uwzględniając powyższą szacunkową analizę, możemy stwierdzić, że dla przyjętych danych (dane dotyczą konkretnego budynku) docieplenie tylko ścian szczytowych poddasza nieogrzewanego jest inwestycją nieopłacalną. Prosty czas zwrotu SPBT dla tego typu przedsięwzięcia wynosi ponad 126 lat. Jednoznaczna ocena ilościowa zjawiska jest możliwa po wykonaniu niezbędnych pomiarów.

Literatura

1. Brebbia C.A., Telles J.F.C., Wrobel L.C.: *Boundary Element Techniques. Theory and Applications in Engineering*. Springer-Verlag, NY 1984
2. Katsikadelis J.T.: *Boundary elements: Theory and Applications*, Elsevier Science Ltd, 2002
3. Majchrzak E.: *Metoda elementów brzegowych w przepływie ciepła*, Wyd. Pol. Częstochowskiej, 2001
4. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P.: *Numerical Recipes*, Cambridge University Press, Third ed. 2007
5. Rynkowski P., Teleszewski T.: Rozwiązywanie zagadnienia ustalonego przewodzenia ciepła w obszarze wielospójnym metodą brzegowych równań całkowych, *XI Warsztaty Naukowe PTSK Symulacja w Badaniach i Rozwoju*, Warszawa 2005

Streszczenie

Artykuł przedstawia symulację pola temperatury przegród budowlanych na granicy ściany szczytowej pomieszczenia ogrzewanego i poddasza nieogrzewanego. Wyniki obliczeń numerycznych pozwalają na odpowiedź, czy z punktu widzenia ekonomicznego uzasadnione jest docieplenie przegrody wewnętrznej w celu minimalizacji mostków cieplnych, jakie pojawiają się automatycznie w przypadku niedocieplenia przegrody szczytowej od wewnątrz. Obliczenia wykonano autorskim programem przy wykorzystaniu Metody Elementów Brzegowych. Symulacja pozwala na wyznaczenie wartości strumieni cieplnych w wybranych obszarach struktur budowlanych. Ma to istotne znaczenie dla nietypowych rozwiązań, które nie są uwzględnione w katalogach typowych mostków cieplnych i istnieje konieczność ich wyznaczenia.

Słowa kluczowe: metoda elementów brzegowych, mostki cieplne

Technical and economic analysis of unheated attic insulation for single-family building as example

Summary

This article presents a simulation of the temperature field on the border of top wall unheated attic and heated room. The results of numerical calculations tell about economically profitability to insulate the internal wall in order to minimize thermal bridges that occur automatically when there is unheated top wall from the inside. Calculations were performed using boundary element method by own the software. Simulation allows us to determine the thermal streams in selected areas of building structures. This is important for non-standard solutions that are not included in the catalogs of typical thermal bridges and their calculation is necessary.

Keywords: boundary element method, thermal bridges.

Opracowanie zrealizowane w ramach pracy statutowej S/WBIŚ/5/2011.

