

**Gabriela RUTKOWSKA<sup>1</sup>, Kinga BARYŁKA**

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii Budowlanej SGGW w Warszawie  
Department of Building Engineering WULS – SGGW

## **Analiza wpływu materiałów budowlanych na mikrośrodowisko budynków mieszkalnych Analysis of how building materials can affect the microenvironment of apartments**

**Słowa kluczowe:** materiały budowlane, budynek mieszkalny, mikrośrodowisko

**Key words:** building materials, apartments, microenvironment

### **Wprowadzenie**

„Wymagana od budowli trwałość i zapewnienie użytkownikom wygody i bezpieczeństwa zależą, w sposób często złożony, nie zawsze jeszcze dostatecznie oczywisty, od odpowiedniego doboru stosowanych materiałów budowlanych i ich właściwości. Materiały muszą spełniać rozliczne wymagania poszczególnych rodzajów budownictwa i związanego z tym usytuowania budowli. (...) Człowiek większość swojego życia spędza w pomieszczeniach zamkniętych, w budynkach – w mikrośrodowisku, które jest w dużym stopniu kształtowane

przez właściwości zastosowanych materiałów budowlanych oraz przez rozwiązania konstrukcyjne i funkcjonalne budynków” (Osiecka 2002).

Problem kształtowania i utrzymania odpowiedniego środowiska wewnętrznego w pomieszczeniach, w których przebywa człowiek, jest aspektem bardzo ważnym. Ukształtowanie dobrego mikroklimatu, czyli takiego, w którym człowiek czuje się najlepiej, polega na usunięciu oddziaływań, które są szkodliwe, przy jednoczesnym wzmocnieniu oddziaływań korzystnych. Dlatego coraz częściej staramy się, aby nasze gospodarstwa zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz składały się z materiałów jak najbardziej zbliżonych do naturalnych. Chcemy, aby wokół naszych domów było dużo zieleni.

## Cel i metodyka badań

Celem badań było porównane wybranych parametrów niektórych materiałów należących do tej samej grupy i pełniących te same funkcje w budynku oraz wskazanie ich wpływu na nasze środowisko i mikrośrodowisko budynku.

Zakres badań obejmował analizę materiałów naturalnych (kamiennych i drewnianych) oraz materiałów pochodzących z przeróbki surowców naturalnych (ceramika, wyroby drewnopochodne, cegła, betony) na mikrośrodowisko budynków. W celu przeprowadzenia analizy wpływu materiałów budowlanych na mikrośrodowisko budynków mieszkalnych wykorzystano dane 14 budynków, znajdujących się w tym samym rejonie. Na ich podstawie obliczono: grubości przegród zewnętrznych, wartości oporów cieplnych, współczynniki przenikania ciepła oraz wartość temperatury na poszczególnych warstwach ścian.

W celu przeprowadzenia obliczeń posłużono się obowiązującą normą oraz przepisami dotyczącymi warunków cieplnych przegród budowlanych.

Otrzymane wyniki w pierwszej kolejności porównano z wartościami podanymi w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury (2002). Następnie porównano wszystkie budynki pod kątem grubości przegród, współczynników przenikania ciepła, jak również temperatury panującej na poszczególnych warstwach ścian. Na tej podstawie wybrano budynek o właściwościach najkorzystniejszych oraz budynek w największym stopniu odbiegający od norm.

## Wymagania prawne dotyczące mikrośrodowiska budynku mieszkalnego

Według Rozporządzenia (2002), do budowy domów powinno się stosować takie materiały i wyroby budowlane, które są odporne lub przynajmniej częściowo uodpornione na różnego rodzaju zagrzybienia oraz inne formy biodegradacji. Uodpornienie materiałów powinno być dostosowane do stopnia zagrożenia korozją biologiczną. Aby wewnątrz budynku nie powstawały zawilgocenia, mogące przyczynić się do tworzenia zagrzybień, powinny być zachowane odpowiednie warunki cieplno-wilgotnościowe, jak również powinna być utrzymana odpowiednia intensywność wymiany powietrza w pomieszczeniach. Wszystko to wiąże się z koniecznością zastosowania prawidłowych rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych zewnętrznych przegród budynku.

Dla utrzymania odpowiednich warunków wewnętrznych w budynkach jednorodzinnych wartość współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych jednowarstwowych musi spełniać warunek:

$$U_{kmax} \leq 0,50 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

a dla ścian warstwowych:

$$U_{kmax} \leq 0,30 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$$

przy czym tynk zewnętrzny oraz wewnętrzny nie jest uznawany za warstwę. Wartości te wymagane są przy temperaturze obliczeniowej wewnątrz bu-

dynku ( $t_i$ ) większej niż 16°C, natomiast przy temperaturze mniejszej bądź równej 16°C, niezależnie od rodzaju ścian, współczynnik  $U_{kmax}$  powinien być mniejszy bądź równy  $0,80 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ .

Ważnym parametrem, mającym wpływ na klimat, jaki panuje wewnątrz pomieszczeń, jest również temperatura na poszczególnych warstwach przegrody. Aby zapewnione były odpowiednie warunki środowiskowe w pomieszczeniach, które przeznaczone są na stały pobyt ludzi, temperatura na wewnętrznej powierzchni przegród zewnętrznych powinna spełniać wymagania punktu rosy (temperatura, przy której wilgotność względna powietrza wynosi 100%). Aby ściany naszych domów nie były zawilgocone (na ich powierzchniach nie skraplała się woda, co mogłoby prowadzić do tworzenia się m.in. różnego rodzaju grzybów i pleśni, a w konsekwencji niekorzystnego mikrośrodowiska), powinien być spełniony następujący warunek:

$$\vartheta_i \geq T_s + 1 \quad (1)$$

gdzie:

$\vartheta_i$  – obliczeniowa temperatura wewnętrznej powierzchni przegrody budowlanej,

$T_s$  – punkt rosy, czyli temperatura, odpowiadająca ciśnieniu pary wodnej nasyconej,

$p_n$  – ciśnienie pary wodnej nasyconej, równe wartości ciśnieniu cząstkowemu obliczonemu ze wzoru:

$$p_i = \frac{\varphi_i p_{ni}}{100} \quad (2)$$

gdzie:

$\varphi_i$  – obliczeniowa wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu,

$p_{ni}$  – ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej.

Wartość  $p_{ni}$  wyznacza się na podstawie wartości temperatury powietrza w pomieszczeniach ogrzewanych. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury (2002) mówi, że dla zachowania odpowiednich warunków w pomieszczeniach, w których na stałe przebywa człowiek i które w okresie zimowym są ogrzewane temperaturą wewnętrzną, powinna ona wynosić 20°C. Znając tę wartość, na podstawie tabeli zamieszczonej w normie PN-EN ISO 6946, można znaleźć odpowiadające jej ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu. Ten sam dokument mówi o wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniach, która powinna wynosić 55%. Znając te parametry, można obliczyć wartość  $p_p$ , a następnie, korzystając ze wspomnianej już tabeli (PN EN ISO 6946), znaleźć dla znanej wartości ciśnienia odpowiadającą mu temperaturę, czyli punkt rosy.

Kolejnym etapem sprawdzenia, czy przegroda budowlana jest w stanie stworzyć odpowiednie mikrośrodowiska wewnętrzne i przyczynić się do polepszenia naszego komfortu cieplnego, jest obliczenie temperatury na wewnętrznej jej powierzchni. Pozwoli to określić, czy przegroda spełnia wymagania punktu rosy, tzn. czy temperatura na jej wewnętrznej stronie jest większa od temperatury, przy której wilgotność względna powietrza wynosi 100%, powiększonej o 1°C. Parametr ten oblicza się według wzoru:

$$\vartheta_i = T_i - U_c(T_i - T_e) R_i \quad (3)$$

gdzie:

$\vartheta_i$  – temperatura panująca na wewnętrznej powierzchni przegrody,

$T_i$  – obliczeniowa temperatura powietrza w pomieszczeniu,

$T_e$  – obliczeniowa temperatura powietrza na zewnątrz,

$U_c$  – współczynnik przenikania ciepła przegrody,

$R_i$  – opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody.

Budynek powinien zostać wykonany z takich materiałów, aby mógł chronić jego użytkowników przed nadmiernym poziomem hałasu, zapewniając odpowiednie warunki pracy, a przede wszystkim odpoczynku. Optymalne warunki komfortu cieplnego obserwuje się w pomieszczeniu, gdy temperatura powietrza wewnętrznego latem jest zbliżona do temperatury panującej na zewnątrz budynku (23–25°C), natomiast zimą powinna oscylować w granicach 20–22°C. Ściany zewnętrzne powinny mieć średnią temperaturę zbliżoną do temperatury panującej wewnątrz. Innym parametrem wpływającym na komfort cieplny jest wilgotność względna powietrza. Powinna ona wynosić od 30 do 70%, najlepiej jednak, jeżeli wynosi 40–60%, a szybkość zmiany wilgotności względnej w ciągu godziny nie przekracza 20%. Prędkość powietrza w pomieszczeniach przy temperaturze poniżej 20°C nie powinna przekraczać 0,15 m·s<sup>-1</sup>, a przy temperaturze 22°C – 0,25 m·s<sup>-1</sup> (Ważny 2001).

### **Analiza wpływu materiałów ceramicznych i drewnianych na mikrośrodowisko budynków mieszkalnych**

W celu przeprowadzenia badań wykorzystano 14 różnych budynków jednorodzinnych. Pięć z nich zaprojektowano

i wykonano w technologii drewnianej, natomiast pozostałe w technologii murywanej. Wszystkie budynki różnią się między sobą wykonaniem, konstrukcją warstw ściany, rodzajem i grubością izolacji, a przede wszystkim materiałami, z jakich zostały wykonane. W tabeli 1 zestawiono wyniki obliczeń dla analizowanych obiektów.

Grubość ścian zewnętrznych budynków waha się w przedziale od 16 do 54 cm. Przy takich grubościach, w zależności od materiału, z jakiego zostały wykonane przegrody, ich opór cieplny wynosi od 0,524 (m<sup>2</sup>·K)·W<sup>-1</sup> – w przypadku budynku wykonanego z cegły pełnej i bloczka wapienno-piaskowego, do 6,137 (m<sup>2</sup>·K)·W<sup>-1</sup>. Tak duży opór cieplny posiada budynek nr 12, który wyróżnia się również najgrubszą przegrodą zewnętrzną wykonaną z cegły ceramicznej Porotherm 38 P+W i warstwy izolacji. Właściwości techniczne tej cegły umożliwiają wykonanie jednowarstwowej konstrukcji ścian zewnętrznych, bez dodatkowego ocieplenia warstwą izolacyjną. Przegroda taka spełniałaby warunki cieplne, jednakże właściciel badanego obiektu w celu osiągnięcia lepszych właściwości cieplnych budynku zdecydował się na dodatkową ochronę w postaci warstwy styropianu grubości 12 cm. Dzięki temu otrzymany z obliczeń współczynnik przenikania ciepła, nieuwzględniający mostków cieplnych, wynosi 0,163 W·(m<sup>2</sup>·K)<sup>-1</sup>.

Podobnie małą wartość współczynnika przenikania ciepła – 0,199 W·(m<sup>2</sup>·K)<sup>-1</sup> posiada budynek nr 14, którego grubość ściany zewnętrznej wynosi zaledwie 31 cm. Powodem tego jest fakt, iż wykonany został w technologii drewnianej, z podwójnej warstwy bala świerkowego, ocieplonego wewnątrz

TABELA 1. Zestawienie wyników obliczeń dla badanych budynków  
 TABLE 1. List of results of calculations for the buildings being tested

Numer budynku rok budowy Number of building year of erection	Rodzaj ściany zewnętrznej Type of external wall	Grubość ściany $d$ [cm] Wall thickness	Opór przejścia ciepła ściany $R_T$ [(m <sup>2</sup> ·K)·W <sup>-1</sup> ] Wall surface film resistance	Współczynnik przenikania ciepła ściany $U$ [W·(m <sup>2</sup> ·K) <sup>-1</sup> ] Wall heat transfer coefficient	Współczynnik przenikania ciepła ściany uwzględniający mostki cieplne $U_k$ [W·(m <sup>2</sup> ·K) <sup>-1</sup> ] Wall heat transfer coefficient considering heat leakage bridges
1/1920	szalówka, bal sosnowy	21	1,466	0,682	0,732
2/1958	bloczek wapienno-piaskowy, pustka powietrzna, cegła pełna	31	0,524	1,908	1,958
3/1962	bal modrzewiowy	16	1,069	0,935	0,985
4/1995	cegła pełna 3 razy	38	0,662	1,511	1,561
5/2002	bal drewniany, wełna mineralna, płyta kartonowo-gipsowa	32	4,426	0,226	0,276
6/2004	bal drewniany, wełna mineralna, płyta kartonowo-gipsowa	28	4,750	0,211	0,261
7/2005	cegła kratówka, styropian, pustak ceramiczny	53	4,226	0,237	0,287
8/2007	pustak max, styropian	45	4,595	0,218	0,268
9/2008	porotherm, styropian	40	4,175	0,24	0,290
10/2008	pustak ceramiczny, styropian	46,5	3,410	0,293	0,343
11/2008	porotherm, wełna mineralna	42,5	4,233	0,236	0,286
12/2009	porotherm, styropian	54	6,137	0,163	0,213
13/2009	pustak max, wełna mineralna, cegła klinkierowa	48	3,865	0,259	0,309
14/2009	bal drewniany, wełna mineralna, bal drewniany	31	5,016	0,199	0,249

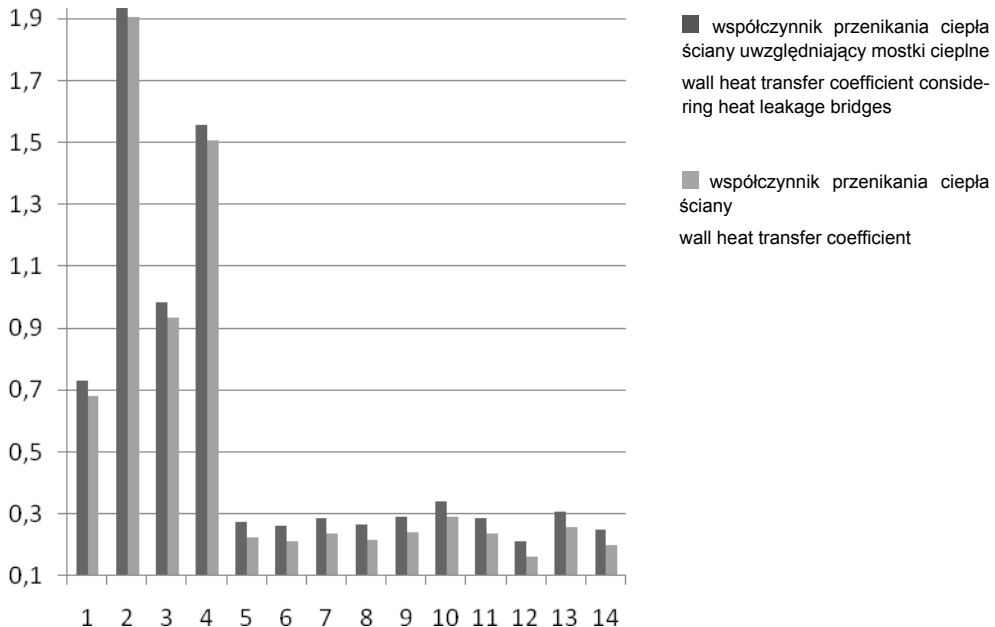
węlną mineralną. Taka konstrukcja przegrody sprawia, iż wewnątrz budynku panują odpowiednie warunki klimatyczne przy zachowaniu naturalnego drewnianego charakteru domu.

Najmniejszą grubość ściany, bo zaledwie 16 cm, posiada obiekt drewniany wykonany z bala modrzewiowego wybudowany w 1962 roku. Współczynnik przenikania ciepła dla tego budynku wynosi  $0,93 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$  i jest trzykrotnie większy od wartości wymaganej.

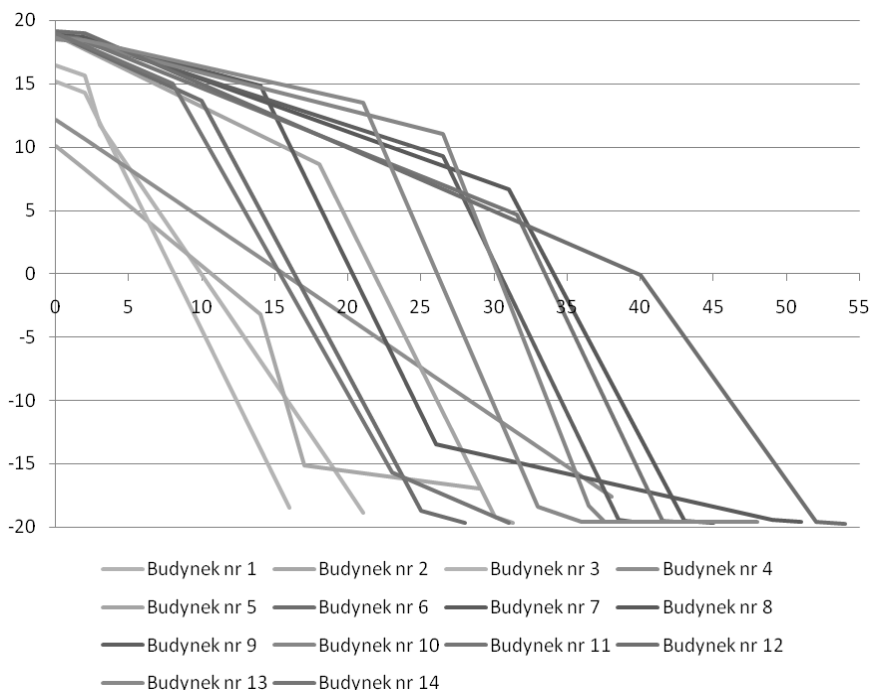
Przeprowadzone badania i porównanie otrzymanych wyników (współczynników przenikania ciepła – rys. 1) wskazują, iż analizowane budynki wybudowane przed 2000 rokiem nie spełniają stawianych wymagań. Współczynnik przenikania ciepła dla tych przegród jest dużo większy niż wartość normowa,

wynosząca  $0,3 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$ . Wymagań nie spełnia budynek nr 10 o  $U_k = 0,34 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$  oraz budynek nr 13 wykonany w technologii trójwarstwowej o  $U_k = 0,31 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$ .

Kolejnym punktem analizy jest porównanie rozkładu temperatury w ścianach zewnętrznych omawianych budynków (rys. 2). Schematyczne zestawienie wszystkich wykresów pozwoliło stwierdzić, iż bez względu na rodzaj materiału, z jakiego budynek jest wykonany, we wszystkich przypadkach wykres temperatury jest podobny. Jedynie w przypadku budynku nr 2 niespełnione są wymagania punktu rosy. Temperatura na wewnętrznej powierzchni ściany wynosi niewiele ponad  $10^\circ\text{C}$ , a temperatura dla terenu, na którym znajduje się obiekt, przy której wilgotność względna powie-



RYSUNEK 1. Porównanie współczynników przenikania ciepła ścian zewnętrznych budynków  
 FIGURE 1. Comparison of heat transfer coefficients of building external walls



RYSUNEK 2 Porównanie wykresów rozkładu temperatury w ścianach zewnętrznych analizowanych budynków

FIGURE 2. Comparison of temperature distribution graphs in external walls of the analysed buildings

trza wynosi 100%, powinna być większa niż 11,7°C. Na ścianach tego budynku może występować bardzo niekorzystne zjawisko skraplania się pary wodnej. Warunki takie sprzyjają rozwojowi pleśni i grzybów, co będzie powodować powstawanie w pomieszczeniu niesprzyjającego mikrośrodowiska. Powietrze wewnętrzne w tym budynku charakteryzować się będzie dużą wilgotnością.

Uwagę zwraca również wykres dla budynku nr 4, wykonanego z trzech warstw cegły czerwonej pełnej. Ponieważ temperatura panująca na wewnętrznej stronie przegrody wynosi 12,14°C, więc na ścianach nie powinno zachodzić zjawisko skraplania wody. Jednakże dalsze obliczenia wykazały, iż jest to ściana

o bardzo małym oporze cieplnym, nie wykazująca właściwości akumulacji.

W przypadku budynków, w których zastosowano izolację termiczną (wybudowanych po 2000 roku), minimalna temperatura na warstwie wewnętrznej wynosi 18,45°C. Przejście temperatury z wartości dodatniej w ujemną następuje tu w warstwie izolacji. Oznacza to, iż nie będzie występować zjawisko przemarzania warstwy nośnej budynku.

W przypadku budynków wykonanych z materiałów ceramicznych zastosowanie warstwy izolacyjnej od strony zewnętrznej ściany również sprzyja tworzeniu się dobrego mikroklimatu wewnątrz budynku. Budynki wykonane po 2000 roku charakteryzują się dużym oporem cieplnym przegród zewnętrz-

nych. Izolacja od strony zewnętrznej powoduje, iż w okresie zimowym ściana nie traci ciepła i tym samym nie wychładza się.

## Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących ogólnych wniosków:

1. Materiały wykorzystywane do budowy domów mają wpływ na środowisko panujące wewnątrz takiego obiektu. Współczesne konstrukcje budynków wykonanych z analizowanych materiałów (ceramicznych i drewnianych) charakteryzują się zdrowym mikroklimatem. Ściany zewnętrzne spełniają wymagane w przepisach warunki.

2. Materiały ceramiczne i drewniane są materiałami powszechnie wykorzystywanymi w budownictwie indywidualnym. Są stosowane zarówno w konstrukcji zewnętrznej i wewnętrznej ścian, w konstrukcji dachu, jak i w robotach wykończeniowych.

3. Budynki wykonane z analizowanych materiałów charakteryzują się dobrymi właściwościami cieplnymi – niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła i dużym oporem cieplnym.

4. W analizowanych przykładach temperatura przejścia z wartości dodatnich w ujemne następuje w warstwie izolacyjnej, tzn. pod względem konstrukcyjno-cieplnym ściany zostały wykonane zgodnie ze sztuką budowlaną.

## Literatura

CZERNY E. 1982: Wpływ materiałów na zdrowotność mikrośrodowiska mieszkaniowego. *Materiały Budowlane* 9.

GRĄBCZEWSKA M. 1976: Techniczne kształtowanie mikrośrodowiska mieszkalnego. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.

GRĄBCZEWSKA M. 1982: Oddziaływanie materiałów budowlanych na zdrowie człowieka. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.

ISO 15686-1 Budynki i konstrukcje. Ustalanie okresu użytkowania.

MIKOŚ J. 1996: Budownictwo ekologiczne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

OSIECKA E. 2002: Materiały budowlane. Właściwości techniczne i zdrowotne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

PN-EN ISO 6946 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. nr 75, poz. 690.

WAŻNY J. 2001: Ochrona budynków przed korozją biologiczną. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.

## Summary

**Analysis of the influence of building materials on a dwelling houses' micro-environment.** The aim of researches was to compare chosen parameters of certain materials belonging to the same material group and fulfilling the same functions in building as well as to indicate their influence on a building microenvironment. The scope of research involved the analysis of influence of natural materials (stone and wood) and materials obtained through processing of them (ceramics, brick, concretes, materials deriving from wood) on the building microenvironment. The obtained results were at first compared to the values given in the Order of Ministry of Infrastructure. Then, all buildings were compared on account of baffle thicknesses, heat transfer coefficients and the temperatures prevailing at every layers



of walls. Basing at these results, there was chosen the building with the most favorable features as well as that which differs from the standards to the largest extent.

**Author's address:**

Gabriela Rutkowska  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
Katedra Inżynierii Budowlanej  
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa  
Poland  
e-mail: [gabriela\\_rutkowska@sggw.pl](mailto:gabriela_rutkowska@sggw.pl)