

Ewa SZYMANEK\*, Jacek LESZCZYŃSKI

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii  
Instytut Zaawansowanych Technologii Energetycznych  
ul. Dąbrowskiego 73, 42-200 Częstochowa  
e-mail: ekotela@fluid.is.pcz.pl

## Wpływ dodatkowej warstwy granulatu na przewodność cieplną przegrody budowlanej

W ostatnich latach podjęte zostały badania i przedsięwzięcia zmierzające do obniżenia energochłonności w sektorze budowlanym. Stosunkowo najprostszym sposobem zmniejszenia zużycia energii jest ograniczenie zapotrzebowania na ciepło użyteczne poprzez poprawę izolacji cieplnej przegród budowlanych oraz zmniejszenie strat ciepła w ogrzewanych budynkach. W pracy zostały przedstawione wyniki badań oraz wnioski dotyczące przepływu ciepła przez materiał granulowany. Wyniki te zostały dodatkowo porównane z wynikami przepływu ciepła w dwóch innych przegrodach. Jedną była przegroda wypełniona betonową płytą, natomiast druga była to przegroda dwuwarstwowa składająca się z betonowej płyty i materiału granulowanego. Analizowany był przepływ ciepła przez trzy przegrody z uwzględnieniem wpływu zmniejszającej się temperatury zewnętrznej. Rozpatrzone zostały dwa przypadki: gdy temperatura na zewnątrz spadła do 0 oraz do  $-15^{\circ}\text{C}$ .

**Słowa kluczowe:** profil temperatury, przepływ ciepła, granulatu, przegroda budowlana

### Wstęp

W budynkach mieszkalnych, jak również w budynkach użyteczności publicznej, bardzo ważną rolę odgrywa konstrukcja przegród zewnętrznych. Struktura tych przegród i rodzaj zastosowanych w nich materiałów wpływają głównie na rodzaj procesów, jakie zachodzą w ich wnętrzu. Przegrody wykorzystywane w branży budowlanej składają się z wielu warstw różnych materiałów przylegających sztywno do siebie. Występują przegrody zawierające styropian, wełnę mineralną. Niektóre substancje wypełniające przegrody mają postać sztywnej pianki lub stanowią różnego rodzaju mieszaniny [7].

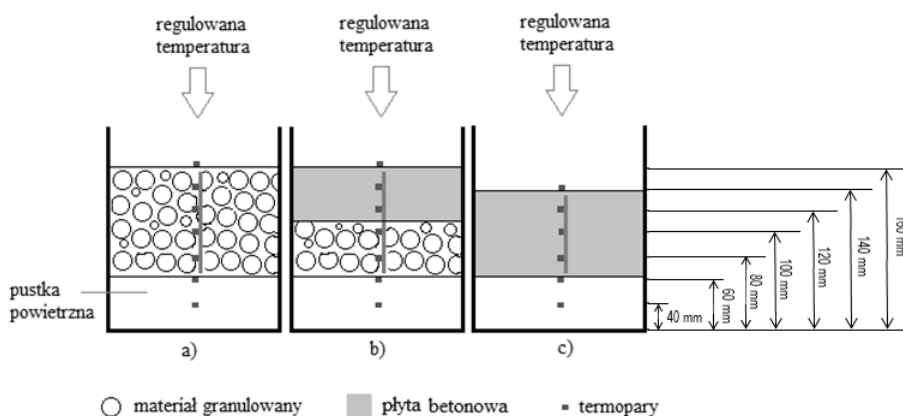
Znajomość procesów fizycznych oraz zjawisk chemicznych zachodzących w materiałach budowlanych [5] ułatwia właściwy dobór materiałów, jak również umożliwia projektowanie budynków z uwzględnieniem oszczędności energii [3]. We wnętrzu materiałów stałych zachodzi przewodzenie ciepła, które polega na przekazywaniu energii między sąsiadującymi cząsteczkami. Intensywność przewodzenia ciepła zależy od struktury i właściwości danego materiału. Aby ograniczyć zużycie energii, podczas projektowania niezbędne jest zastosowanie materiałów izolacyjnych, takich jak na przykład materiały granulowane, które są używane jako izolatory m.in. ze względu na małe przewodnictwo cieplne. Przez gęste upakowa-

nie ziaren przewodność cieplna ogranicza się głównie do wymiany ciepła w punktach styku między ziarnami. W ciałach porowatych przewodność cieplna szkieletu materiału jest większa niż przewodność cieplna powietrza. W ten sposób pory wypełnione powietrzem spełniają rolę izolatora, pod warunkiem, że nie są zbyt duże i nie zachodzi w nich konwekcja. Zbyt duże zwiększenie porowatości powoduje powstanie konwekcji w porach, a tym samym zwiększenie przewodności cieplnej [1,4,6].

Niniejsza praca poświęcona jest problemowi przepływu ciepła przez przegrody budowlane wypełnione materiałem granulowanym. Wykonano badania eksperymentalne i dokonano porównania profili temperatur w trzech różnych przegrodach.

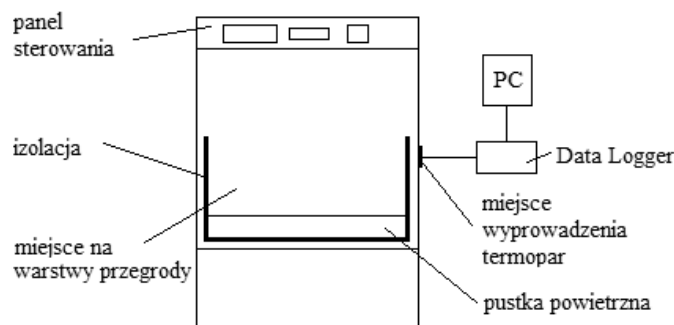
## 1. Opis stanowiska badawczego

Głównym elementem stanowiska badawczego, na którym zostały przeprowadzone badania, były specjalnie skonstruowane przegrody. Do badań rozkładu profilu temperatury wykorzystano trzy przegrody. Pierwsza (rys. 1a) wypełniona została materiałem granulowanym (100 mm), drugą (rys. 1c) przegrodę stanowiła betonowa płyta (80 mm), natomiast trzecia (rys. 1b) składała się z dwóch warstw: granulatu (50 mm) oraz betonu (50 mm). Do wypełnienia przegród został wykorzystany materiał granulowany o własnościach:  $\lambda = 1,5 \text{ W/m K}$ ,  $C_p = 1000 \text{ J/kg K}$ ,  $\rho_d = 2403 \text{ kg/m}^3$ , oraz beton o własnościach:  $\lambda = 1 \text{ W/m K}$ ,  $C_p = 840 \text{ J/kg K}$ ,  $\rho_d = 2100 \text{ kg/m}^3$ . Dodatkowym parametrem opisującym przegrody był współczynnik wyrównania temperatury, który dla przegrody z samym granulatem wynosił  $a_g = 6,24 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , dla przegrody z samym betonem  $a_b = 5,66 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , a dla przegrody mieszanej  $a_{g+b} = 5,955 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia termopar w stanowisku badawczym: a) w przegrodzie wypełnionej materiałem granulowanym, b) w przegrodzie wypełnionej betonem i materiałem granulowanym, c) w przegrodzie wypełnionej betonem

Wykonane przegrody zostały zaizolowane i w kolejnych etapach eksperymentu umieszczone w komorze klimatycznej, pozwalającej regulować temperaturę otoczenia dla przegrody. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

Regulacja temperatury zewnętrznej odbywała się w górnej części komory (powyżej 160 mm), natomiast pustka powietrzna znajdująca się pod badanymi warstwami (40 mm) symulowała pomieszczenie. Po ustawieniu parametrów pracy dane z termopar zapisywane były poprzez urządzenie do zbierania danych (Data Logger) na dysku.

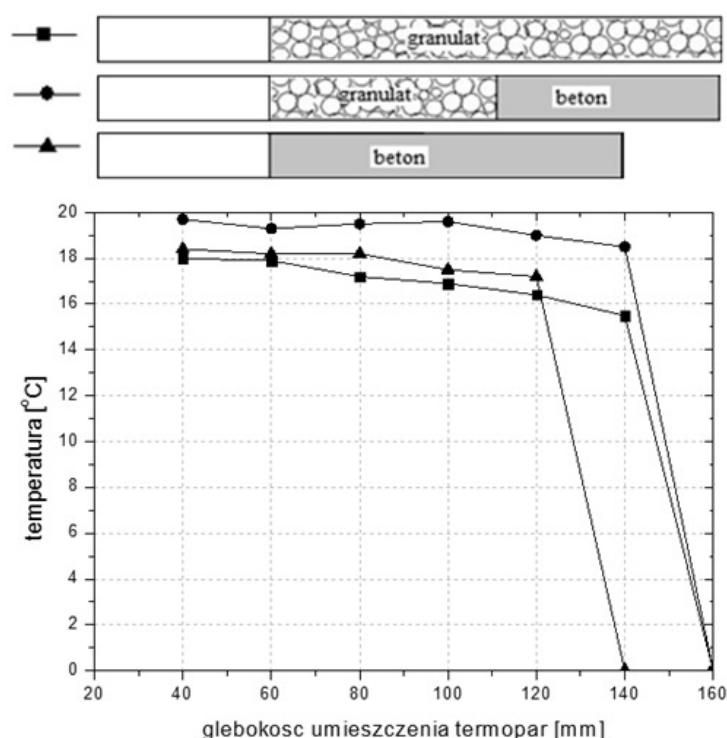
## 2. Wyniki badań

Proces badawczy podzielono na trzy etapy. W pierwszym etapie analizowano profil temperatury w przegrodzie wypełnionej materiałem granulowanym (100 mm). W drugim etapie granulatu zastąpiono betonową płytą (80 mm). Natomiast w trzecim, ostatnim etapie rozpatrywano profil temperatury w przegrodzie dwuwarstwowej (100 mm) (płyta betonowa (50 mm) oraz materiał granulowany (50 mm)). Przegroda została tak skonstruowana, aby w części badanej występował materiał granulowany, płyta betonowa lub połączenie płyty z materiałem granulowanym. W celu zebrania danych pomiarowych użyto termopar, których rozmieszczenia w przegrodach przedstawiono na rysunku 1. Zostały one umieszczone odpowiednio na głębokościach 40, 60, 80, 100, 120, 140 i 160 mm. Zbierane w czasie trwania eksperymentu dane odczytywane były z termopar i zapisywane na dysku. Pozwoliły one stworzyć profile temperatury w poszczególnych warstwach. W każdym z trzech etapów termopara na wysokości 40 mm była umieszczona w pustce powietrznej, która symulowała pomieszczenie. Natomiast termopara na wysokości 160 mm była umieszczona w założeniu na zewnątrz przegrody. W etapie drugim ostatnia termopara umieszczona była na wysokości 140 mm. W momencie rozpoczęcia eksperymentu temperatura otoczenia przegrody wynosiła 21°C i stopniowo została zmniejszona do -15°C.

Przed rozpoczęciem próby badawczej zmierzono temperaturę otoczenia oraz temperaturę w przestrzeniach między ziarnami i pod warstwą granulatu. Następnie temperatura po jednej stronie granulatu (w jego górnej części) została stopniowo obniżana, a dane z termopar umieszczonych w granulacie pozwoliły odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób zmieniała się temperatura w warstwie granulatu (rys. 1a), w betonie (rys. 1c) oraz w warstwie granulatu w połączeniu z betonem (rys. 1b). Rozpatrzone zostały trzy przypadki w celu określenia wpływu dodatkowej warstwy granulatu na przewodność cieplną przegrody budowlanej.

W każdym z trzech etapów wyróżniono dwa progi temperaturowe. Pierwszym rozpatrywanym przypadkiem było obniżenie temperatury otoczenia przegrody do  $0^{\circ}\text{C}$ , natomiast drugim - do  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Na rysunku 3 porównano profile temperatur z trzech części eksperymentu. Przedstawiono dane uzyskane przy temperaturze zewnętrznej  $0^{\circ}\text{C}$ .

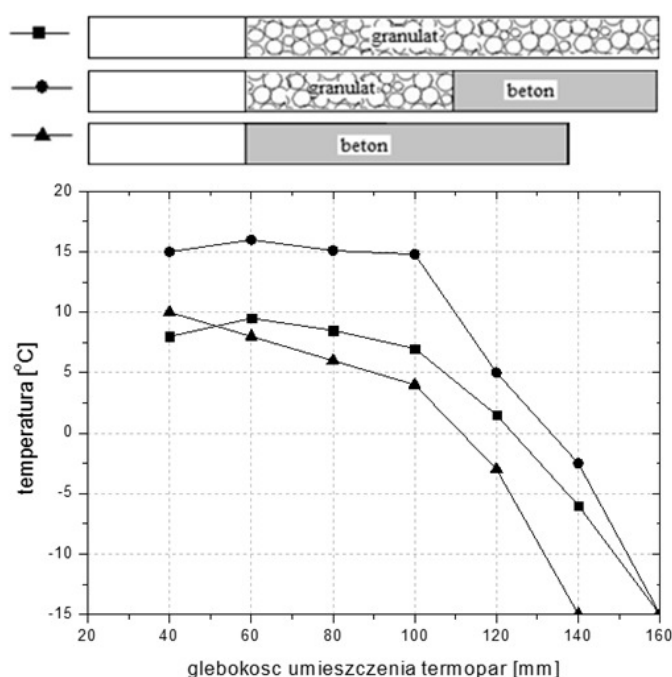


Rys. 3. Profile temperatury w przegrodach dla temperatury zewnętrznej  $0^{\circ}\text{C}$  w czasie  $t = 3180 \text{ s}$

W momencie rozpoczęcia eksperymentu temperatura otoczenia oraz w pustce powietrznej wynosiła  $21^{\circ}\text{C}$ . Gdy temperatura zewnętrzna spadła do  $0^{\circ}\text{C}$ , profil temperatury w materiale granulowanym obniżył się najszybciej. Temperatura po wewnętrznej stronie przegrody w obserwowanym momencie wynosiła  $18^{\circ}\text{C}$ . Profil temperatury w warstwie betonu utrzymywał się na nieco wyższym poziomie

i w efekcie końcowym temperatura wewnętrzna wynosiła  $18,7^{\circ}\text{C}$ . Dodatkowo temperatura ta powinna być nieznacznie wyższa ze względu na cieńszą warstwę betonu w porównaniu z warstwą granulatu. W przegrodzie dwuwarstwowej profil temperatury najwolniej się obniżał, pomimo niewielkich końcowych różnic we wskazaniach termopar umieszczonych po stronie wewnętrznej, gdzie odczyt wynosił  $19,5^{\circ}\text{C}$ . Analizując czas, w jakim obniżyła się temperatura powietrza po wewnętrznej stronie, można stwierdzić, że w przypadku przegrody z materiałem granulowanym temperatura ta po 53 minutach spadła z  $21$  do  $18^{\circ}\text{C}$  (spadek o  $3^{\circ}\text{C}$ ), natomiast w przegrodzie dwuwarstwowej odnotowany został spadek jedynie o  $1,5^{\circ}\text{C}$  od temperatury wyjściowej  $21^{\circ}\text{C}$ .

Na wykresie 4 przedstawiono i porównano profile temperatury w materiale granulowanym, betonie oraz w materiale granulowanym z płytą betonową, gdy temperatura otoczenia przegrody spadła do  $-15^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 4. Profile temperatury w przegrodach dla temperatury zewnętrznej  $-15^{\circ}\text{C}$  w czasie  $t = 17\ 640\ \text{s}$

Profile temperatury po stronie wewnętrznej kształtowały się podobnie jak przy temperaturze zewnętrznej wynoszącej  $0^{\circ}\text{C}$ . Najniższą wartość osiągnęła przegroda wypełniona granulatem. Pomimo że profil temperatury w tej przegrodzie na całej długości był wyższy od przegrody z betonem, to w ostatniej fazie temperatura w pomieszczeniu wynosiła dla przegrody z granulatem  $8^{\circ}\text{C}$  natomiast dla przegrody z betonem  $10^{\circ}\text{C}$ . Obserwując profil, można przypuszczać, że dla przegrody z betonem grubości  $100\ \text{mm}$  temperatura byłaby nieznacznie wyższa. Najwyższą

temperaturę wykazały termopary umieszczone po stronie wewnętrznej dla przegrody dwuwarstwowej. Gdy temperatura zewnętrzna osiągnęła  $-15^{\circ}\text{C}$ , w pierwszej warstwie przegrody (beton) profil temperatury znacząco malał. Spadek ten można zaobserwować jeszcze dla pierwszych 50 mm warstwy granulatu. Następnie temperatura utrzymywała się na prawie stałym poziomie, co potwierdza dobre własności izolacyjne granulatu. W końcowej fazie po wewnętrznej stronie przegrody termopary zanotowały  $15^{\circ}\text{C}$ .

Można zaobserwować, że zmniejszenie grubości warstwy granulatu (rys. 1a, b) powoduje zwiększenie własności izolacyjnych. Temperatura wolniej się obniża i w pustce powietrznej (rys. 1b) wynosi  $15^{\circ}\text{C}$ . Nieco niższa temperatura występowała w pomieszczeniu w przypadku betonowej przegrody. Natomiast najslabsze własności izolacyjne posiadała przegroda z najgrubszą warstwą granulatu. Przy spadku temperatury zewnętrznej do  $-15^{\circ}\text{C}$  temperatura w pomieszczeniu przy przegrodzie z podwójną warstwą granulatu (sam granulatu) wynosiła  $8^{\circ}\text{C}$ , natomiast bez dodatkowej warstwy granulatu (przegroda mieszana) temperatura w pomieszczeniu wynosiła  $15^{\circ}\text{C}$ .

Gdy rozpoczął się eksperyment, temperatura otoczenia przegrody oraz w pustce powietrznej wynosiła  $21^{\circ}\text{C}$ . Przy utrzymującej się temperaturze otoczenia na poziomie  $-15^{\circ}\text{C}$  kształt profilu temperatury nie zmieniał się, natomiast sama temperatura zmniejszała się bardzo wolno. W etapie pierwszym (z samą warstwą granulatu) temperatura w pomieszczeniu spadła do  $-15^{\circ}\text{C}$ , czyli wyrównała się z poziomem temperatury zewnętrznej po ponad 6 godzinach trwania eksperymentu. Dla porównania wyrównanie temperatur dla przegrody mieszanej (z warstwą granulatu zastąpioną betonem) trwało ponad 13 godzin.

## Wnioski

Analizując przepływ ciepła w opisanych wyżej przegrodach pod wpływem zmniejszającej się temperatury zewnętrznej, stwierdza się, że w przegrodzie wypełnionej grubszą warstwą samego granulatu przewodność cieplna jest większa niż w przegrodzie z cieńszą warstwą granulatu. Zmniejszenie do pewnego poziomu warstwy granulatu powoduje zwiększenie własności izolacyjnych. W porównaniu z przegrodami z dwóch pierwszych etapów stosowanie przegród mieszanych może umożliwić obniżenie zapotrzebowania na energię. Przegroda mieszana posiada lepsze własności izolacyjne, a przez to ogranicza zapotrzebowanie na ciepło.

## Podziękowanie

*Praca naukowa dofinansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” Zadanie Badawcze nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem  $\text{CO}_2$ ”, umowa nr SP/E/2/66420/10.*

## Literatura

- [1] Mikoś J., Budownictwo ekologiczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
- [2] Kotela E., Leszczyński J., Błaszczuk T., Hall M., Wykorzystanie rachunku różniczkowego niecałkowitego rzędu do opisu jednowymiarowego profilu temperatury w stanie ustalonym, II Kongres Mechaniki Polskiej, Poznań, 29-31.08.2011.
- [3] Dubas W., Podstawy budownictwa energooszczędnego, Budownictwo energooszczędne, Przegląd Budowlany 2006, 5.
- [4] Bejan A., Kraus A. D., Heat Transfer Handbook, John Wiley & Sons, New Jersey 2003.
- [5] Kostowski E., Przepływ ciepła, Politechnika Śląska im. W. Pstrowskiego, Gliwice 1986.
- [6] Leszczyński J., Kotela E., Błaszczuk T., Przegroda budowlana o zmiennym oporze cieplnym i sposób zapewnienia komfortu cieplnego w pomieszczeniu, zgłoszenie patentowe nr P.389926, 2009.
- [7] Błaszczuk T., Kotela E., Hall M.R., Leszczyński J., Analysis and applications of composed forms of caputo fractional derivatives, Acta Mechanica et Automatica 2011, 5, 2.

## Effect of Additional Granular Layer on thermal Conductivity of Bulkhead Construction

In recent years research and projects focused on reducing energy consumption in the building sector have been undertaken. Relatively, the easiest way to reduce energy consumption is the reduction of the useful heat demand by improvement of thermal insulation of building bulkhead and reduction of the heat loss in heated buildings. In this paper are presented the research results and conclusions on movement of heat through granular material. These results are additionally compared with results of heat flow in other two bulkheads. One bulkhead was filled with concrete material and the second was a two - layered bulkhead consisting of concrete material and the granular material. There analyzed heat flow through three bulkheads with reference to the influence of decreasing ambient temperature. In this work are considered two cases: when the outside is decreases to 0 and  $-15^{\circ}\text{C}$ .

**Keywords:** temperature profile, heat transfer, granular material, bulkhead construction

