

Anna DERLATKA, Piotr LACKI
Politechnika Częstochowska

ANALIZA NUMERYCZNA ROZKŁADU TEMPERATURY W ZEWNĘTRZNEJ PRZEGRODZIE PIONOWEJ

W pracy przedstawiono analizę zewnętrznego przegrody pionowej. Poprzez współczynnik przenikania ciepła, wyznaczony analitycznie, określono charakterystykę ochrony cieplnej przegrody. Wykorzystując symulacje komputerowe, wyznaczono rozkład temperatury w przegrodzie oraz czas potrzebny do uzyskania stanu ustalonego. Analizę numeryczną przeprowadzono za pomocą programu ADINA System opartego na metodzie elementów skończonych.

Słowa kluczowe: metoda elementów skończonych, rozkład temperatury, współczynnik przenikania ciepła

WPROWADZENIE

Ochrona cieplna to między innymi problem oszczędzania energii. Celem ochrony cieplnej jest:

- ochrona przegród budynku przed zawilgoceniem,
- zapewnienie warunków komfortu cieplnego wewnątrz budynku,
- ograniczanie zapotrzebowania na energię grzewczą,
- zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza.

Różnice temperatury wewnątrz i na zewnątrz budynków występują o każdej porze roku.

Obecnie coraz częściej stosowane są metody numeryczne w projektowaniu, które pojawiają się w normach oraz wytycznych do projektowania. Symulacje numeryczne rozkładu temperatury i przepływu ciepła w przegrodach budowlanych pozwalają wyznaczyć charakterystykę cieplną budynku, a w konsekwencji optymalnie projektować izolację cieplną [1, 2]. Zaletą symulacji, w stosunku do metody analitycznej, jest możliwość wyznaczenia pól temperatur dla skomplikowanych brzegów [3].

W metodzie elementów skończonych dla zjawisk stacjonarnych wykorzystywana jest interpolacja pola temperatury w postaci sumy iloczynów zadanych funkcji geometrycznych (funkcji kształtu) i wartości pola temperatury w węzłach siatki dyskretyzacji. Siatkę taką uzyskuje się poprzez podział analizowanego obszaru na elementy skończone. Elementy przyjmują kształty trójkątne lub prostokątne z różną liczbą węzłów odpowiadających punktom interpolacji poszukiwanego pola temperatury. Węzły znajdują się w narożach elementów i ewentualnie na środkach boków oraz we wnętrzach elementów [4].

W metodzie elementów skończonych istnieje kilka schematów postępowania przy rozwiązywaniu zagadnień niestacjonarnego przewodzenia ciepła. Jedną z metod jest zastosowanie elementów czasoprzestrzennych. Inna to rozwiązanie zagadnienia stacjonarnego w danym kroku czasowym, a następnie przejście do kolejnego kroku czasowego metodą różnic skończonych [5].

Parametrem charakteryzującym przegrodę budowlaną pod kątem ochrony cieplnej jest współczynnik przenikania ciepła. W Polsce zasady określające maksymalne wartości współczynników przenikania ciepła dla przegród budowlanych reguluje [6]. Wymagania odnośnie do izolacyjności cieplnej przegród przedstawiono w tabeli 1.

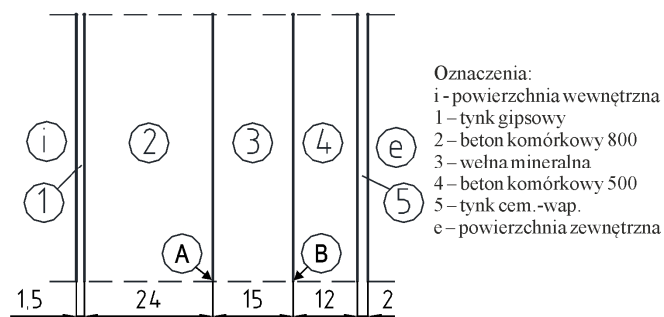
Tabela 1. Wymagania izolacyjności cieplnej [6]

Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_C(\max)$ [W/(m ² ·K)]		
	od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r. ^{*)}
Ściany zewnętrzne:			
a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,25	0,23	0,20
b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,45	0,45	0,45
c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,90	0,90	0,90

^{*)} Od 1 stycznia 2019 r. - w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

1. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było określenie charakterystyki ochrony cieplnej przegrody za pomocą współczynnika przenikania ciepła oraz określenie rozkładu temperatury w zewnętrznej przegrodzie pionowej i wyznaczenie czasu potrzebnego do uzyskania stanu ustalonego.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny pionowej przegrody zewnętrznej [cm]

Analizowano przegrodę usytuowaną w pomieszczeniu przeznaczonym na stały pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych, niewykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej, gdzie temperatura obliczeniowa wg [7] wynosi $+20^\circ\text{C}$. Do analizy przyjęto

przegrodę trójwarstwową przedstawioną na rysunku 1. Analizę przeprowadzono za pomocą programu ADINA System opartego na metodzie elementów skończonych.

2. WSPÓŁCZYNNIK PRZENIKANIA CIEPŁA

Obliczenia przeprowadzono na podstawie wytycznych zawartych w [8]. Przyjęte właściwości materiałowe zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości materiałowe w analizowanej przegrodzie

Nr warstwy	Materiał	ρ [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	C [J/(kg·K)]	R [(m ² ·K)/W]
i	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	–	0,13
1	Tynk gipsowy	1300	0,600	840	–
2	Beton komórkowy 800	800	0,380	840	–
3	Wełna mineralna	40	0,045	750	–
4	Beton komórkowy 500	500	0,380	840	–
5	Tynk cementowo-wapienny	1850	0,820	840	–
e	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	–	0,04

gdzie: ρ - gęstość [kg/m³], λ - współczynnik przewodzenia ciepła [W/(m·K)], C - ciepło właściwe [J/(kg·K)], R - opór cieplny [(m²·K)/W]

Całkowity opór cieplny wynosi:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_{se} \quad (1)$$

$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + R_{se} \quad (2)$$

gdzie d - grubość warstwy [m].

Podstawiając:

$$R_T = 0,13 + \frac{0,015}{0,600} + \frac{0,240}{0,380} + \frac{0,150}{0,045} + \frac{0,120}{0,380} + \frac{0,020}{0,820} + 0,04 = 4,5 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad (3)$$

Współczynnik przenikania ciepła:

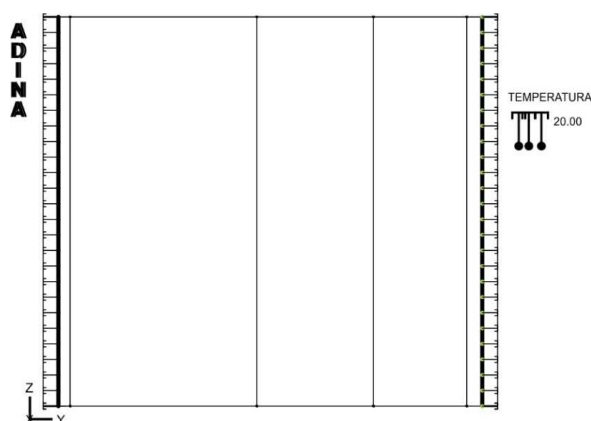
$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{4,5} = 0,22 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad (4)$$

Przegroda spełnia wymagania izolacyjności cieplnej zgodnie z wymaganiami obowiązującymi od dnia 1 stycznia 2014 r. oraz 1 stycznia 2017 r., ale nie spełnia wymagań od dnia 1 stycznia 2021 r.

3. MODEL OBLICZENIOWY

Elementy przegrody zamodelowano jako 2-D planar condition. Model składał się z 700 4-węzłowych elementów skończonych, co w sumie dało 754 węzłów. Dla wszystkich materiałów przyjęto model jednorodnej przewodności cieplnej i stałej pojemności cieplnej. Właściwości materiałowe przyjęto jak wyżej.

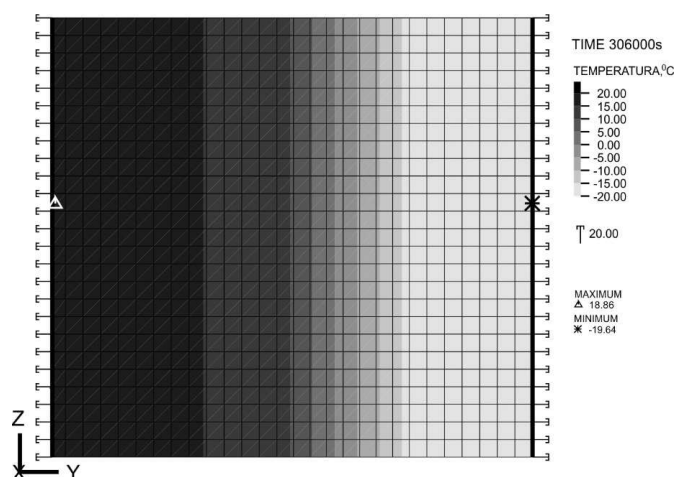
Obliczenia przeprowadzono przy stałej temperaturze na wewnętrznej i zewnętrznej części przegrody, odpowiednio 20°C i -20°C. Schemat modelu obliczeniowego przedstawiono na rysunku 2. Obliczenia przeprowadzono z uwzględnieniem zmienności w czasie. Przyjęto 96 kroków czasowych po 3600 sekund.



Rys. 2. Model numeryczny przyjęty do obliczeń

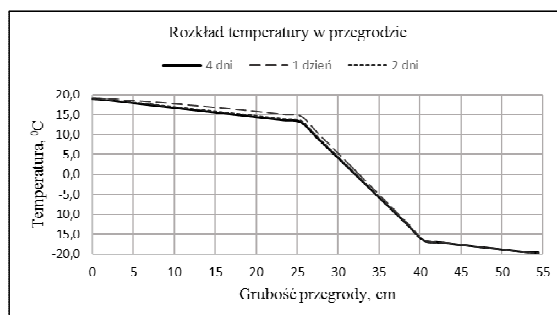
4. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Schemat rozkładu temperatury w przegrodzie po czasie 4 dni zaprezentowano na rysunku 3.



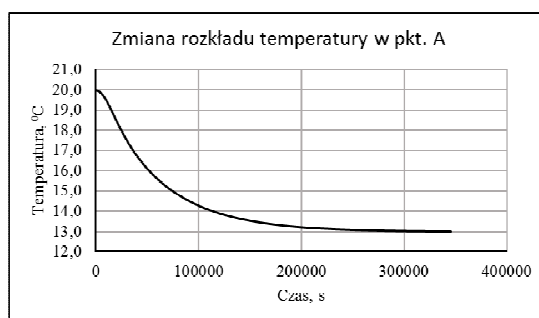
Rys. 3. Schemat rozkładu temperatury w przegrodzie

Szczegółowe wykresy rozkładu temperatur w przegrodzie po czasie 1, 2 i 4 dni przedstawiono na rysunku 4. Stan ustalony wystąpił po czasie 345 600 s, co odpowiada 4 dniom. W warstwie betonu komórkowego 500 temperatura zmieniała się nieznacznie w miarę upływu czasu. W warstwach betonu komórkowego 800 oraz wełny mineralnej pomiędzy 86 400 a 172 800 s następuje większa zmiana rozkładu temperatury niż pomiędzy 172 800 a 345 600 s.

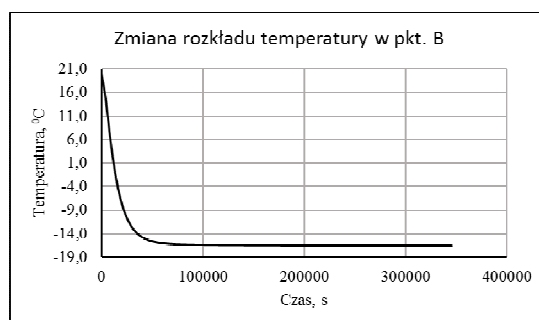


Rys. 4. Wykres rozkładu temperatury w przegrodzie

Zmianę rozkładu temperatury w punkcie A (na styku betonu komórkowego 800 i wełny mineralnej) przedstawiono na rysunku 5. Temperatura w stanie ustalonym wynosi 13,1°C i pojawia się po upływie 252 000 s, co odpowiada 2 dniom i 22 godzinom.



Rys. 5. Zmiana rozkładu temperatury w czasie w punkcie A



Rys. 6. Zmiana rozkładu temperatury w czasie w punkcie B

Zmianę rozkładu temperatury w punkcie B (na styku wełny mineralnej i betonu komórkowego 500) przedstawiono na rysunku 6. Temperatura w stanie ustalonym wynosi $-16,5^{\circ}\text{C}$ i pojawia się po upływie 118 800 s, tj. 1 dnia i 9 godzin.

WNIOSKI

- Współczynnik przenikania ciepła wynosi $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Przegroda spełnia wymagania izolacyjności cieplnej zgodnie z wymaganiami obowiązującymi od dnia 1 stycznia 2014 r. oraz 1 stycznia 2017 r., ale nie spełnia wymagań od dnia 1 stycznia 2021 r.
- Stan ustalony rozkładu temperatury w przegrodzie nastąpił po 345 600 s, czyli po 4 dniach.
- Temperatura w stanie ustalonym na styku betonu komórkowego 800 i wełny mineralnej wynosi $13,1^{\circ}\text{C}$, natomiast na styku wełny mineralnej i betonu komórkowego 500 jest równa $-16,5^{\circ}\text{C}$.

LITERATURA

- [1] Teleszewski T.J., Sorko S.A., Modelowanie przepływu ciepła w przegrodach z instalacjami centralnego ogrzewania metodą brzegowych równań całkowych, *Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 2010, 1, 245-250.
- [2] Niedostatkiewicz M., Krzaczek M., Niedostatkiewicz L., Wybrane problemy ciepłno-wilgotnościowe murów ceramicznych, *Przegląd Budowlany* 2006, 7-8, 56-61.
- [3] Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., *The Finite Element Method*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2000.
- [4] Wiśniewski S., Wiśniewski T.S., *Wymiana ciepła*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 13 sierpnia 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, *DzU z 2013 r., poz. 926*.
- [6] Klemma P., *Budownictwo ogólne, Tom 2. Fizyka budowli*, Arkady, Warszawa 2005.
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, *DzU z 2002 r., Nr 75, poz. 690*.
- [8] PN-EN ISO 6946 *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*.

NUMERICAL ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN OUTSIDE VERTICAL COMPARTMENT

The paper presents the analysis of external wall. Based on heat transfer coefficient, the characteristics of the thermal protection of wall was defined. The heat transfer coefficient was estimated by analytical method. The temperature distribution in the partition and time required to achieve steady state were determined by numerical methods. The ADINA System based on the Finite Element Method (FEM) was used for the calculations.

Keywords: Finite Element Method, temperature distribution, the heat transfer coefficient