

Marcin KACZMARZYK¹

OCENA EFEKTYWNOŚCI IZOLACYJNO- AKUMULACYJNEJ PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH

Celem niniejszego opracowania jest określenie wpływu izolacyjności termicznej i pojemności cieplnej przegród zewnętrznych budynku na panujące w nim warunki termiczne. W artykule przybliżono pojęcia izolacyjności i akumulacyjności termicznej w kontekście aktualnych badań naukowych i obowiązujących wymogów krajowych. Aktualne polskie przepisy stawiają wobec przegród zewnętrznych wymagania dotyczące jedynie ich izolacyjności termicznej, podczas gdy, z zaprezentowanych badań naukowych wynika, że akumulacyjność termiczna przegród budowlanych jest często niedocenianym czynnikiem, który odpowiednio wykorzystany, może w zauważalnym stopniu obniżyć energetyczne koszty całorocznego utrzymania budynku i wpływać pozytywnie na odczuwanie komfortu cieplnego przez jego użytkowników. Na podstawie analiz prowadzonych przez innych autorów. Określono także optymalną, dla klimatu Polski, lokalizację warstwy termoizolacyjnej w przegrodzie.

Analizę tytułowego problemu, prowadzoną w dalszej części pracy oparto na sprawdzeniu i porównaniu odpowiedzi termicznych wewnętrznych powierzchni przegród zewnętrznych na relatywnie krótkotrwałe zmiany temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. Wykorzystano w tym celu metodę różnic skończonych za pomocą której przeprowadzono symulacje dwóch niezależnych przypadków obciążeń termicznych, dla ścian o zróżnicowanej budowie. Wybrane wyniki przeprowadzonych symulacji zostały zaprezentowane w tekście. W ocenie warunków termicznych występujących w budynku podczas analizowanych zmian temperatur posłużono się, specjalnie w tym celu wprowadzonym, współczynnikiem efektywności izolacyjno-akumulacyjnej. Tak przeprowadzona analiza posłużyła sformułowaniu stosownych wniosków końcowych.

Słowa kluczowe: pojemność cieplna, bezwładność termiczna, przegrody zewnętrzne, metoda różnic skończonych

¹ Autor do korespondencji: mgr inż. Marcin Kaczmarzyk, Politechnika Rzeszowska, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Budownictwa Ogólnego, kaczmar@prz.edu.pl

1. Wykaz oznaczeń

Symbol	Jednostka	Opis
a	$\frac{m^2}{h}$	współczynnik wyrównania temperatur, dyfuzyjność termiczna materiału
$C_{.s}$	$\frac{Wh}{m^2 \cdot K}$	powierzchniowa pojemność cieplna przegrody
$C_{.v}$	$\frac{Wh}{m^3 \cdot K}$	objętościowa pojemność cieplna materiału
d_n	m	całkowita grubość warstwy materiału n
T_e	°C	temperatura powietrza zewnętrznego w danej chwili
T_i	°C	temperatura powietrza wewnętrznego w danej chwili
$T_{s.ext.k}$	°C	temperatura zewnętrznej powierzchni przegrody, po kroku czasowym K
$T_{s.int.k}$	°C	temperatura wewnętrznej powierzchni przegrody, po kroku czasowym K
U	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	współczynnik przenikania ciepła przegrody
$\Delta T_{.extr}$	°C	maksymalna różnica temperatur powierzchni ściany
λ_n	$\frac{W}{m \cdot K}$	współczynnik przewodzenia ciepła materiału n
μ_{I-A}	nieistotny	współczynnik efektywności izolacyjno-akumulacyjnej
$T_{.T.const}$	h	czas stabilizacji temperatury wewnętrznej powierzchni przegrody
$T_{.T.max}$	h	czas wystąpienia najwyższej temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody
$T_{.T.min}$	h	czas wystąpienia najniższej temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody
$q_{.0}$	$\frac{W}{m^2}$	Gęstość strumienia ciepła od powietrza wewnętrznego do przegrody w stanie ustalonym
$q_{.max}$	$\frac{W}{m^2}$	Maksymalna gęstość strumienia ciepła od powietrza wewnętrznego do przegrody
$q_{.med}$	$\frac{W}{m^2}$	najwyższa spośród średnich gęstości strumienia ciepła od powietrza wewnętrznego do przegrody
CM_{RT}	%	Stosunek wartości oporu cieplnego materiału konstrukcyjnego do całkowitego oporu cieplnego ściany

2. Izolacyjność termiczna

Izolacyjność termiczna jest cechą materiału, lub struktury złożonej z kilku materiałów, określającą prędkość przepływu ciepła przez dany materiał lub strukturę. W odniesieniu do jednorodnych materiałów lub komponentów z nich wykonanych, miarą izolacyjności jest przewodnictwo cieplne, wyrażane ilościowo przez współczynnik przewodzenia ciepła λ .

W odniesieniu do przegród budowlanych, złożonych z kilku materiałów, o odmiennych wartościach przewodnictwa cieplnego, miarą izolacyjności termicznej jest całkowity opór cieplny, lub obliczony na jego podstawie współczynnik przenikania ciepła U .

Izolacyjność termiczna ma zasadniczy wpływ na wysokość strat ciepła budynku, stanowi także o temperaturze przegród zewnętrznych, [4] co przekłada się na komfort użytkownika obiektu [5].

Obecnie, zwłaszcza w budownictwie jednorodzinym widoczna jest tendencja minimalizowania wartości współczynnika U przegród zewnętrznych [6]. Aktualne wymagania krajowe stawiane budynkom, ograniczają maksymalną dopuszczalną wartość współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych w budynkach mieszkalnych do $0,25 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ [2].

3. Akumulacyjność termiczna

Jak opisano w [7] innym, nie mniej istotnym, a niestety często niedocenianym parametrem cieplnym odnoszącym się do przegród budowlanych, jest ich akumulacyjność termiczna. Mianem akumulacyjności termicznej lub pojemności cieplnej określa się zdolność materiału, komponentu lub przegrody do magazynowania energii cieplnej.

Akumulacyjność termiczna komponentów budowlanych wynika z ciepła właściwego oraz gęstości substancji z jakiej dany komponent jest wykonany [4]. Można wyróżnić akumulacyjność cieplną objętościową $C_v [\frac{J}{m^3 K}]$ oraz

powierzchniową $C_s [\frac{J}{m^2 K}]$. Odpowiadają one ilości energii jaką należy dostarczyć, w celu podgrzania o 1K jednostkowej objętości lub powierzchni materiału.

Pojemność termiczna nie ma bezpośredniego wpływu na wysokość strat ciepła przez przegrodę w warunkach ustalonego przepływu ciepła, ale wysoka masa akumulacyjna zapewnia obiektowi dużą bezwładność cieplną, czyniąc środowisko wewnętrzne niepodatnym na krótkotrwałe zmiany temperatury [6], co wpływa pozytywnie na odczuwanie komfortu cieplnego przez użytkowników budynku a w całorocznej perspektywie, redukuje wydatki energetyczne na cele ogrzewania i chłodzenia obiektu [8]. Taką funkcję ciężkich materiałów konstrukcyjnych opisano w [9].

Połączenie wysokiej izolacyjności i akumulacyjności termicznej przegród zewnętrznych umożliwia zatem obniżenie strat ciepła przez przenikanie oraz gwarantuje dużą stabilność cieplną budynku.

4. Optymalna lokalizacja izolacji termicznej w przegrodzie

Jak pokazują symulacje komputerowe [6] usytuowanie materiału termoizolacyjnego w przegrodzie ma niewielki wpływ na warunki termiczne budynku zlokalizowanego w ciepłym klimacie śródziemnomorskim. Autorzy tych badań wykazują jednocześnie zauważalną przewagę zewnętrznej izolacji termicznej nad wewnętrzną w lokalizacjach o chłodniejszym klimacie (np. w przypadku umiarkowanego klimatu Polski). Wynika to z wykorzystania masy materiału konstrukcyjnego jako bufora energii cieplnej. Autorzy ci wykazują także radykalne zmniejszenie ryzyka wystąpienia kondensacji pary wodnej w przegrodach w których materiał termoizolacyjny zainstalowano po stronie zewnętrznej [6].

Wymierne korzyści płynące z umieszczenia warstwy termoizolacji na zewnątrz budynku, przy jednoczesnym zastosowaniu masywnej warstwy konstrukcyjnej zaprezentowano w [7]. Autorzy tej Publikacji wyznaczyli optymalne grubości warstw termoizolacyjnej i konstrukcyjnej, w odniesieniu do konkretnego budynku i cyklicznych zmian temperatury powietrza zewnętrznego.

Zauważyć należy, że przewodnictwo cieplne oferowanych obecnie materiałów murowych jest na tyle wysokie, że spełnienie krajowych wymogów dotyczących izolacyjności termicznej implikuje konieczność stosowania nieracjonalnie grubych ścian jednowarstwowych.

Tabela 1. Minimalne grubości ścian jednowarstwowych spełniające aktualne wymogi dotyczące przenikalności cieplnej

Table 1. Minimal thickness of monolayer walls that meet actual thermal insulating requirements

Element	λ	d_{min}
Styropianowa płyta warstwowa	0,04	0,19
Drewno sosnowe	0,16	0,77
Cegła ceramiczna poryzowana	0,283	1,37
Ceramiczny pustak szczelinowy	0,33	1,59
Beton komórkowy	0,38	1,84
Cegła ceramiczna kratówka	0,56	2,70
Cegła ceramiczna pełna	0,77	3,72
Cegła silikatowa drążona	0,8	3,86
Cegła silikatowa pełna	0,9	4,35
Beton zwykły	1,7	8,21

Wadą murowych ścian jednowarstwowych jest także niekorzystny rozkład temperatur, w przekroju przegrody skutkujący znacznym zmniejszeniem ilości

energii cieplnej akumulowanej w przegrodach jednowarstwowych, w stosunku do przegród dwuwarstwowych o tej samej izolacyjności termicznej.

Obecnie wielu producentów materiałów budowlanych dąży do obniżenia przewodnictwa cieplnego swoich wyrobów, a w przypadku wszystkich materiałów murowych, stwierdzić można prawidłowość, że redukcja przewodnictwa cieplnego odbywa się kosztem objętościowej pojemności cieplnej komponentu.

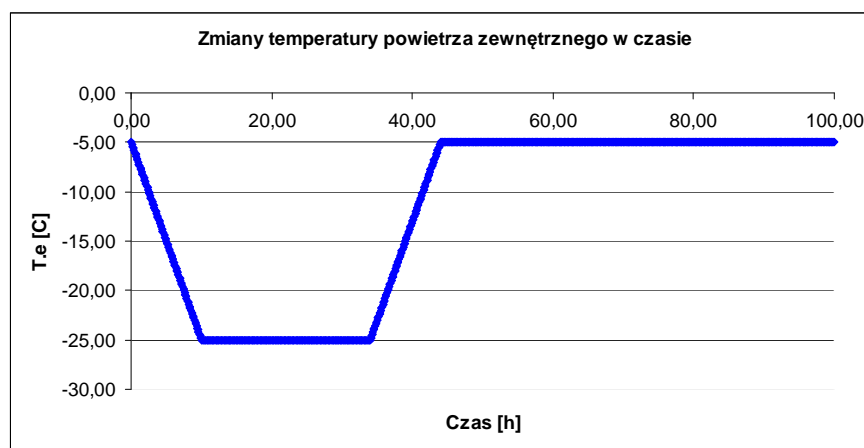
Jak wykazano we wstępie, izolacyjność termiczna i pojemność cieplna przegród zewnętrznych są istotnymi czynnikami mającymi zauważalny wpływ na komfort cieplny budynku.

Celem niniejszego opracowania jest zbadanie wpływu różnych konstrukcji ścian zewnętrznych na warunki cieplne budynku. Drugorzędnym celem tego opracowania jest prezentacja współczynnika efektywności izolacyjno - akumulacyjnej, jako nowatorskiej metody oceny parametrów cieplnych przegród zewnętrznych budynków.

W celu określenia wpływu zarówno izolacyjności termicznej jak i pojemności cieplnej konkretnej przegrody zasugerowano przeprowadzenie symulacji odpowiedzi termicznej przegrody na relatywnie krótkotrwałe zmiany temperatury powietrza zarówno zewnętrznego jak i wewnętrznego. W tym celu zasymulowano dwa niezależne przypadki zmian termicznych otoczenia przegród, które zaprezentowano na wykresach zamieszczonych na rys 1 i 2.

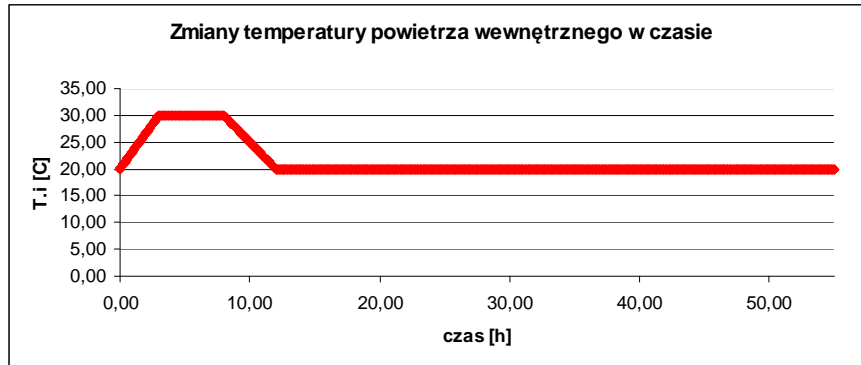
W obu przypadkach symulacja trwa do momentu ponownego ustalenia się temperatury wewnętrznej powierzchni przegrody.

Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano Metodę Różnic Skończonych opisaną w [3], obliczenia prowadzono w arkuszu kalkulacyjnym Microsoft Excel 2003.



Rys. 1. Przebieg spadku temperatury zewnętrznej

Fig. 1. Illustration of external temperature decrease



Rys. 2. Przebieg wzrostu temperatury wewnętrznej

Fig. 2. Illustration of internal temperature increase

5. Mierzone wartości

Za istotne dla potrzeb dalszej analizy uznano niżej wymienione wartości:

- współczynnik przenikania ciepła U ,
- temperatura wewnętrznej powierzchni przegrody w stanie ustalonym $T_{i-1,0}$,
- gęstość strumienia ciepła od powietrza wewnętrznego do ściany, w stanie ustalonym $q_{i,0}$,
- największa różnica temperatury wewnętrznej powierzchni ściany $\Delta T_{i,extr}$,
- największa gęstość strumienia ciepła od powietrza wewnętrznego do ściany, $q_{i,max}$,
- najwyższa, średnia gęstość strumienia ciepła od powietrza wewnętrznego do ściany, $q_{i,med}$.

Wartość ta była wyliczana dla kroków czasowych, w których temperatura wewnętrznej powierzchni ściany dążyła z powrotem do wartości początkowej. W przypadku symulacji wzrostu temperatury wewnętrznej, wartość maksymalna pojawiała się wraz z początkiem fazy powrotu temperatury powietrza do wartości początkowej, w przypadku symulacji spadku temperatury zewnętrznej, występowało tu pewne opóźnienie, wynikające z bezwładności termicznej przegrody - stąd nazwa "najwyższa średnia". Wartość ta jest średnią wartością gęstości strumienia ciepła w poszczególnych krokach czasowych od początku symulacji, do danej chwili, spełniającej w/w warunek.

- czas wystąpienia ekstremalnej temperatury na wewnętrznej powierzchni ściany $\tau_{T,min} / \tau_{T,max}$,
- czas stabilizacji temperatury na wewnętrznej powierzchni ściany $\tau_{T,const}$.

Za moment stabilizacji temperatury przyjęto moment, w którym temperatura powierzchni ściany zbliżyła się ponownie do wartości początkowej na $0,005^{\circ}\text{C}$. Przyjęcie większej dokładności nie zostało uznane za celowe, jako że

wraz ze spadkiem gradientu temperatur, czas potrzebny na zmianę temperatury o jednostkową wartość znacznie się wydłużał (szczególnie w przypadku ścian o dużej akumulacyjności), w konsekwencji, niewielki wzrost dokładności skutkował nieproporcjonalnie dużym zwiększeniem objętości obliczeń. Czas $\tau_{T, \text{const}}$ mierzony był od momentu ustania obciążenia termicznego.

- objętościowa i powierzchniowa pojemność cieplna materiału lub przegrody C_v / C_s ,
- procentowy udział materiału konstrukcyjnego w oporze cieplnym przegrody,
- procentowy udział materiału termoizolacyjnego w akumulacyjności termicznej przegrody.

Zastosowana metoda obliczeniowa nie uwzględnia wpływu wymiany ciepła między powietrzem wewnętrznym, a przegrodą na temperaturę powietrza wewnętrznego. W rzeczywistości, wpływ ten jest zauważalny, zwłaszcza w przypadku przegród o znacznej akumulacyjności termicznej, a obliczone tą metodą gęstości strumieni ciepła dają wyobrażenie o potencjalnych możliwościach przegród do stabilizowania temperatury powietrza w budynku.

W celu dokonania oceny wpływu konstrukcji przegrody na warunki termiczne wewnętrznej powierzchni przegród zewnętrznych budynku, a więc także na komfort cieplny obiektu, zdecydowano się na wprowadzenie tzw. współczynnika efektywności izolacyjno-akumulacyjnej μ_{I-A} . Na wartość tego współczynnika wpływ ma zarówno izolacyjność, jak i bezwładność termiczna przegrody. Ze względu na różny charakter zmian warunków brzegowych przy spadku temperatury zewnętrznej i wzroście temperatury wewnętrznej, dla każdej z tych sytuacji, współczynnik efektywności wyznaczany był w odmienny sposób.

Współczynnik efektywności (przy spadku temperatury zewnętrznej) wyliczany był ze wzoru:

$$\mu_{I-A} = \frac{1}{(q_{med} - q_0) \cdot U} \quad (1)$$

W rozpatrywanej sytuacji, przegrody odznaczające się minimalnymi zmianami wartości strumienia ciepła podczas symulacji i jednocześnie posiadające niski współczynnik przenikania ciepła, zapewniały najlepsze warunki termiczne budynku. Takie ściany charakteryzowały się wysokimi wartościami współczynnika efektywności.

W tym przypadku (wzrost temperatury wewnętrznej) współczynnik efektywności izolacyjno-akumulacyjnej obliczany był następująco:

$$\mu_{I-A} = \frac{q_{med} - q_0}{U} \quad (2)$$

Przy wzroście temperatury powietrza wewnątrz budynku, ściana powinna ogrzewać się w jak najmniejszym stopniu, co skutkować będzie powstaniem strumienia ciepła o dużej wartości. Jeżeli przy dużej bezwładności cieplnej, przegroda cechowała się niską wartością współczynnika U , to tak wyliczony współczynnik efektywności miał wysoką wartość, co oznaczało że przegroda zapewniała bardzo korzystne warunki termiczne w budynku.

Symulacje przeprowadzono dla ścian zarówno jednowarstwowych jak i dwuwarstwowych. Analizie poddano przegrody o zmiennych grubościach warstw konstrukcyjnych i termoizolacyjnych, a także przegrody o różnej budowie, lecz o zdefiniowanych wartościach współczynnika przenikania ciepła U .

Analizie poddano przegrody z cegieł i pustaków: ceramicznych i silikatowych, bloczków z betonu komórkowego a także ściany z bali sosnowych, kamienia łamanego i żelbetowe ściany monolityczne. W murowych i betonowych ścianach dwuwarstwowych jako zewnętrzną termoizolację wykorzystano styropian EPS70, a przegrody drewniane docieplono wełną mineralną.

6. Wyniki

6.1. Tabelaryczne i graficzne przedstawienie wyników

Dla potrzeb prowadzonej analizy, wykonano łącznie około czterystu symulacji dla przegród w różnych konfiguracjach materiałowych, pogrupowanych w taki sposób, aby możliwe było zaobserwowanie wpływu zmian poszczególnych parametrów rozpatrywanych przegród, na ich odpowiedzi termiczne

Liczebność przeprowadzonych symulacji i ilość uzyskanych w nich danych uniemożliwia prezentację wszystkich wyników w tym artykule. Z tego względu, poniżej zamieszczono jedynie wyniki uzyskane z symulacji obu sytuacji termicznych dla różnych ścian dwuwarstwowych.

Zaprezentowane wyniki przedstawiają wyraźną przewagę ciężkich, dobrze przewodzących ciepło materiałów murowych nad lekkimi materiałami o niskim przewodnictwie cieplnym. Materiały konstrukcyjne o dużej gęstości wolno reagują na zmiany temperatury otoczenia, ich wysokie przewodnictwo ciepłe umożliwia akumulowanie energii cieplnej w znacznej objętości materiału, a nie, jak ma to miejsce w przypadku lekkich materiałów, tylko w płytkiej przypowierzchniowej warstwie ściany która szybko ulega nagrzaniu. Ciepło nagromadzone w takim buforze np. podczas słonecznego dnia lub podczas spotkania znacznej liczby osób, zostanie oddane do powietrza wewnętrznego wieczorem i w nocy, gdy temperatura naturalnie spada. Wykorzystanie akumulacyjności termicznej ciężkich murów umożliwia odpowiednią grubość warstwy termoizolacyjnej, co zaprezentowano poniżej.

Tabela 2. Wyniki symulacji spadku temperatury zewnętrznej, przeprowadzonej dla ścian dwuwarstwowych składających się z 25 cm warstwy konstrukcyjnej i 15 cm warstwy termoizolacji

Table 2. The results of simulation of external temperature decrease, conducted for multilayer walls made of 25 cm of construction material and 15 cm of thermal insulation

Lp	Element konstrukcyjny	U	CM _{RT}	T _{i,1}	Δ T _{max}	q ₀	q _{med}	q _{max}	U _{f,A}	τ _{T,min}	τ _{T,const}	C _v	C _s	λ	a
		[W/(m ² ·K)]	[%]	[C]	[C]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	--	[h]	[h]	[Wh/(m ³ ·K)]	[Wh/(m ² ·K)]	[W/(m·K)]	[m ² /h] · 10 ⁻³
1	Beton monolit	0,246	3,77%	19,20	0,34	6,15	6,20	8,76	76,66	41,60	108,80	583,33	146,76	1,70	2,91
2	Cegła ceramiczna pełna	0,236	7,97%	19,23	0,32	5,89	5,95	8,35	70,43	43,50	110,50	440,00	110,92	0,77	1,75
3	Cegła silikatowa pełna	0,238	6,90%	19,23	0,33	5,96	6,02	8,49	65,11	43,00	109,00	464,44	117,03	0,90	1,94
4	Kamień łamany	0,249	2,60%	19,19	0,35	6,22	6,31	8,91	44,13	40,80	103,90	613,33	154,26	2,50	4,08
5	Cegła klinkierowa	0,240	5,97%	19,22	0,34	6,01	6,13	8,63	35,35	42,00	102,50	464,44	117,03	1,05	2,26
6	Bale sosna	0,182	31,91%	19,41	0,17	4,56	4,75	5,87	28,85	57,75	218,50	383,47	96,50	0,16	0,42
7	Cegła silikatowa drążona	0,236	7,69%	19,23	0,35	5,91	6,07	8,60	25,91	42,00	97,50	391,11	98,70	0,80	2,05
8	Cegła ceramiczna "kratówka"	0,229	10,64%	19,26	0,34	5,73	5,94	8,34	20,36	42,50	94,50	317,78	80,37	0,56	1,76
9	Ceramiczny pustak szczelinowy	0,214	16,81%	19,31	0,33	5,34	5,63	7,88	16,39	42,75	91,36	225,62	57,33	0,33	1,46
10	Cegła ceramiczna poryzowana	0,208	19,07%	19,32	0,33	5,20	5,55	7,74	13,91	42,64	87,04	195,20	49,72	0,28	1,45
11	Beton komórkowy	0,218	14,93%	19,29	0,37	5,46	5,94	8,31	9,56	40,50	70,00	186,67	47,59	0,38	2,04
Grubość warstwy konstrukcyjnej d.k			0,25 m												
Grubość warstwy termoizolacyjnej d.i			0,15 m												

Tabela 3. Wyniki symulacji wzrostu temperatury wewnętrznej, przeprowadzonej dla ścian dwuwarstwowych składających się z 25 cm warstwy konstrukcyjnej i 20 cm warstwy termoizolacji

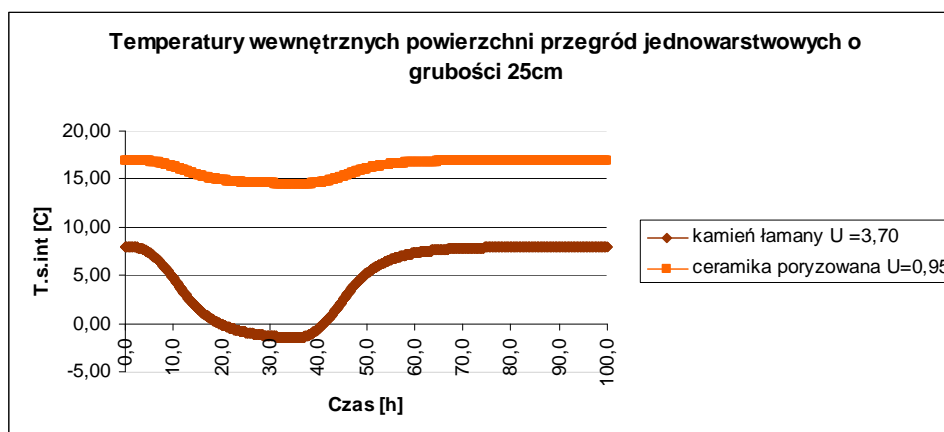
Table 3. The results of simulation of internal temperature increase, conducted for multilayer walls made of 25 cm of construction material and 20cm of thermal insulation

Lp	Element konstrukcyjny	U	CM _{RT}	T _{i,1}	Δ T _{max}	q ₀	q _{med}	q _{max}	H _{1-A}	τ _{T,max}	τ _{T,const}	C _v	C _s	λ	a
		[W/(m ² ·K)]	[%]	[C]	[C]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	--	[h]	[h]	[Wh/(m ³ ·K)]	[Wh/(m ² ·K)]	[W/(m·K)]	[m ² /h]·10 ⁻³
1	Kamień łamany	0,190	1,96%	19,38	3,93	4,74	48,34	111,90	229,75	8,10	146,70	613,33	154,56	2,50	4,08
2	Beton monolit	0,188	2,86%	19,39	4,42	4,70	45,69	115,62	217,94	8,10	150,00	583,33	147,06	1,70	2,91
3	Cegła klinkierowa	0,185	4,55%	19,40	5,33	4,62	40,79	122,55	195,60	8,10	137,10	464,44	117,34	1,05	2,26
4	Cegła silikatowa pełna	0,184	5,26%	19,40	5,51	4,59	39,90	123,90	192,37	8,10	142,80	464,44	117,34	0,90	1,94
5	Cegła ceramiczna pełna	0,182	6,10%	19,41	5,77	4,55	38,53	125,86	186,71	8,10	142,50	440,00	111,23	0,77	1,75
6	Cegła silikatowa drążona	0,182	5,88%	19,41	5,90	4,56	37,58	126,87	181,03	8,10	127,20	391,11	99,01	0,80	2,05
7	Cegła ceramiczna "kratówka"	0,178	8,20%	19,42	6,59	4,45	33,65	132,07	163,99	8,10	119,10	317,78	80,68	0,56	1,76
8	Bale sosna	0,149	26,01%	19,52	7,73	3,71	26,39	140,10	152,67	8,00	202,80	383,47	96,71	0,16	0,42
9	Beton komórkowy	0,172	11,63%	19,44	7,63	4,29	26,74	139,91	130,84	7,80	86,40	186,67	47,90	0,38	2,04
10	Ceramiczny pustak szczelniny	0,169	13,16%	19,45	7,65	4,22	25,32	139,99	125,09	7,80	106,56	225,62	57,64	0,33	1,46
11	Cegła ceramiczna poryzowana	0,165	15,02%	19,46	7,94	4,13	23,16	142,13	115,20	7,80	99,54	195,20	50,03	0,28	1,45

Grubość warstwy konstrukcyjnej d_k 0,25 m

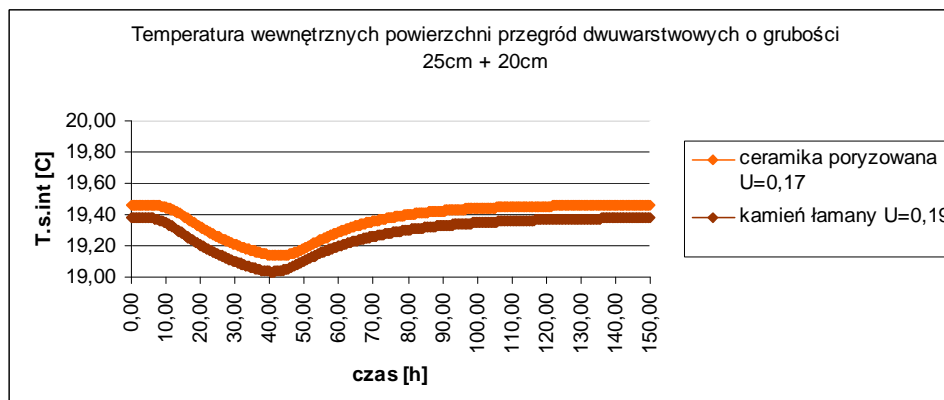
Grubość warstwy termoizolacyjnej d_i 0,20 m

Na rys. 3 i 4 przedstawiono sytuację przy spadku temperatury zewnętrznej.



Rys. 3. Temperatura wewnętrznej powierzchni przegród jednowarstwowych z kamienia łamanego i ceramiki poryzowanej podczas spadku temperatury zewnętrznej

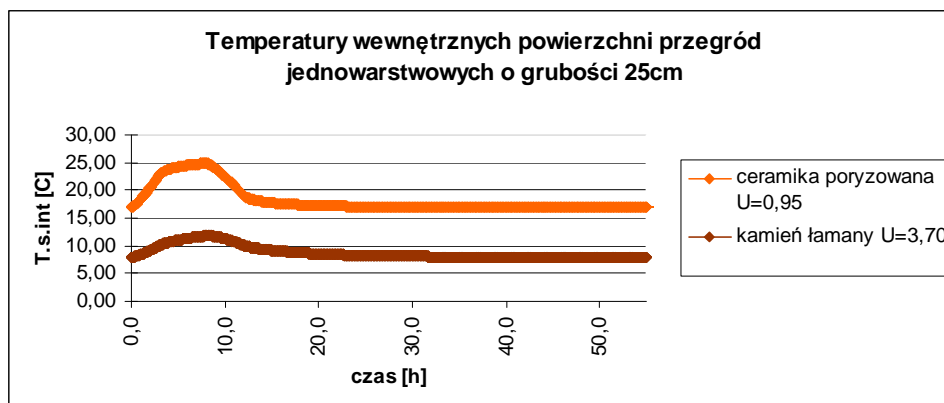
Fig. 3. Temperature of internal surface of monolayer walls made of crushed stone and porous ceramics during external temperature decrease



Rys. 4. Temperatura wewnętrznej powierzchni przegród dwuwarstwowych z kamienia łamanego i ceramiki poryzowanej podczas spadku temperatury zewnętrznej

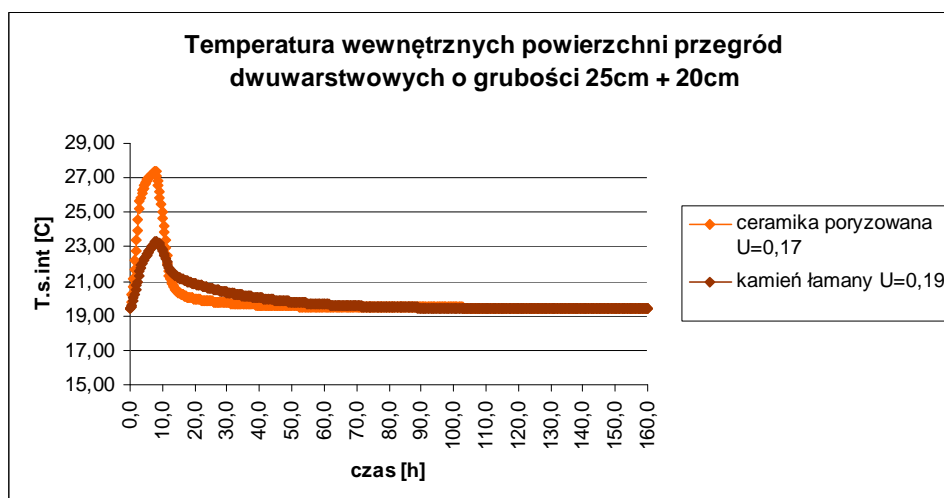
Fig. 4. Temperature of internal surface of multilayer walls made of crushed stone and porous ceramics during external temperature decrease

Na rys. 5 i 6 przedstawiono sytuację przy wzroście temperatury wewnętrznej.



Rys. 5. Temperatura wewnętrznej powierzchni przegród jednowarstwowych z kamienia łamanego i ceramiki poryzowanej podczas wzrostu temperatury wewnętrznej

Fig. 5. Temperature of internal surface of monolayer walls made of crushed stone and porous ceramics during internal temperature increase



Rys. 6. Temperatura wewnętrznej powierzchni przegród dwuwarstwowych z kamienia łamanego i ceramiki poryzowanej podczas wzrostu temperatury wewnętrznej

Fig. 6. Temperature of internal surface of multilayer walls made of crushed stone and porous ceramics during internal temperature increase

Zamieszczone wykresy przedstawiają wpływ zastosowania zewnętrznej termoizolacji na temperaturę wewnętrznej powierzchni ścian podczas STZ (Rys. nr 3 i 4) oraz WTW (Rys. nr 5 i 6).

6.2. Wnioski

1. Podstawowym parametrem zewnętrznych przegród budowlanych pozwalającym na ograniczenie sezonowego zapotrzebowania budynku na ciepło oraz zminimalizowanie wpływu zmian temperatury zewnętrznej na warunki cieplne panujące w budynku, jest izolacyjność termiczna,
2. Pojemność termiczna przegród zewnętrznych nie wywiera istotnego wpływu na warunki cieplne budynku, podczas krótkotrwałych zmian temperatury zewnętrznej.
3. W przypadku ryzyka krótkotrwałego przegrzania lub wychłodzenia powietrza w budynku, akumulacyjność cieplna przegród budowlanych ma zasadniczy wpływ na stabilność termiczną środowiska wewnętrznego,
4. Potencjalne korzyści wynikające z wysokiej pojemności cieplnej przegród zewnętrznych mogą zostać efektywnie wykorzystane, jedynie po zastosowaniu odpowiedniej grubości zewnętrznej warstwy termoizolacyjnej
5. Zachowanie bardzo dobrych i stabilnych warunków termicznych budynku umożliwiają ściany dwuwarstwowe, zbudowane z kamienia łamanego, litego betonu, pełnych cegieł: klinkierowych, silikatowych, ew. czerwonych ceramicznych, zaizolowanych termicznie od zewnątrz do wartości współczynnika przenikania ciepła $U \leq 0,2$ [$W/m^2 \times K$]
6. Wznoszenie zewnętrznych ścian jednowarstwowych jest mało efektywne pod względem izolacyjno-akumulacyjnym jak również ekonomicznym.
7. Drewno jest najlepszym materiałem do budowy ścian jednowarstwowych ze względu na jego wysokie ciepło właściwe i jednocześnie niskie przewodnictwo cieplne.
8. Wysoki opór cieplny przegrody najlepiej uzyskać stosując służące w tym celu materiały termoizolacyjne, podczas gdy materiał konstrukcyjny powinien cechować się wysoką gęstością dającą dużą pojemność cieplną jak również wysokim przewodnictwem cieplnym umożliwiającym sprawną wymianę ciepła między powietrzem wewnętrznym a masą akumulacyjną.
9. Współczynnik efektywności izolacyjno-akumulacyjnej może być wykorzystywany jako nowe kryterium oceny parametrów cieplnych przegród budowlanych, oparte już nie tylko na izolacyjności ale również na bezwładności termicznej komponentów przegrody. Zaznaczyć należy, że porównywać ze sobą można jedynie wartości μ_{I-A} wyznaczone przy zastosowaniu identycznych obciążeń termicznych.

Literatura

- [1] PN-EN ISO 6946 -2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [3] Pogorzelski Jerzy Andrzej, Fizyka cieplna budowli, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976.

- [4] C.Luo, B. Moghtaderi, S. Hands, A. Page, Determining the thermal capacitance, conductivity and the convective heat transfer coefficient of a brick wall by annually monitored temperatures and total heat fluxes, *Energy and Buildings* 43 (2011), 379–385.
- [5] Francesca Stazi a., Ambra Veglioa, Costanzo Di Pernab, Placido Munafoa, Retrofitting using a dynamic envelope to ensure thermal comfort, energy savings and low environmental impact in Mediterranean climates, *Energy and Buildings* 54 (2012) 350–362.
- [6] Dionysios I. Kolaitis, Emmanouil Malliotakis, Dimos A. Kontogeorgos, Ioannis Mandilaras, Dimitrios I. Katsourinis, Maria A. Founti, Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings, *Energy and Buildings* 64 (2013) 123–131.
- [7] S. Ginesteta, T. Bouacheb, K. Limamc, G. Lindnerc, Thermal identification of building multilayer walls using reflective Newton algorithm applied to quadrupole modelling, *Energy and Buildings* 60 (2013) 139–145.
- [8] Weiliang Wang, Zhe Tian, Yan Ding, Investigation on the influencing factors of energy consumption and thermal comfort for a passive solar house with water thermal storage wall, *Energy and Buildings* 64 (2013) 218–223.
- [9] Michal Pomianowski, Per Heiselberg, Rasmus Lund Jensen, Full-scale investigation of the dynamic heat storage of concrete decks with PCM and enhanced heat transfer surface area, *Energy and Buildings* 59 (2013) 287–300.

ASSESSMENT OF INSULATING ACCUMULATING EFFECTIVENESS OF BUILDINGS' EXTERNAL WALLS

Summary

The purpose of this work is to assess the impact of thermal insulation and heat capacity of building's envelope, on thermal conditions of the building's interior.

The article describes thermal insulation and heat capacity referring to the results of present scientific research, as well as to current Polish regulations in this matter. The obligatory regulations in Poland enforce only the maximal value of heat transfer coefficient of buildings' envelope, while presented research proves thermal capacity to be a factor, that could significantly reduce annual energy requirements of a building, as well as to positively influence thermal comfort of its users. The optimal location of thermal insulating layer of external walls required in Polish climate was identified, basing on other authors' research.

The analysis of the titular problem was based on calculating and comparing thermal responses of internal surfaces of external walls, due to relatively short-term changes of thermal boundary conditions. The finite difference method was used to conduct simulations of two independent cases of dynamic thermal conditions. Multiple walls of various construction were subjected to mentioned thermal loads. Selected results of conducted simulations were presented in this paper. In order to evaluate obtained results, the insulating-accumulating coefficient of a wall was introduced. Presented analysis created a basis to form proper conclusions.

Keywords: thermal capacity, thermal inertia, external walls, finite difference method

DOI:10.7862/rb.2014.91

Przesłano do redakcji: 16.12.2014 r.

Przyjęto do druku: 18.12.2014 r.