

Analiza wpływu termomodernizacji na straty ciepła przez przenikanie i komfort cieplny budynku

Mgr inż. Katarzyna Nowak-Dzieszko, mgr inż. Małgorzata Rojewska-Warchał,
Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Przyjmuje się, że każdy zabieg dociepleniowy redukuje zużycie energii. Niestety nie zawsze termomodernizacja osiąga zamierzony cel, zwłaszcza w przypadku złego jej wykonawstwa, a ponadto – na co wskazują badania autorów – niejednokrotnie pogarsza ona warunki mikroklimatu wewnętrznego pomieszczeń. Dla zilustrowania tego problemu w niniejszym artykule przedstawiono wyniki pomiarów komfortu cieplnego w lokalu w budynku, w systemie W-70 wykonane po zabiegach termomodernizacyjnych.

2. Straty ciepła przez przenikanie

Analizie poddano budynek wielorodzinny, wykonany w systemie W-70, zlokalizowany w Krakowie – Krowodrzy, oddany do użytkowania w roku 1974 (rys. 1).



Rys. 1. Analizowany budynek – widok od strony północnej oraz zachodniej

Charakterystyka budynku:

- liczba kondygnacji – 11, budynek jednokłapkowy,
- wymiary budynku w rzucie 21,5 m x 13,2 m,
- powierzchnia użytkowa budynku – 2279 m²,
- budynek całkowicie podpiwniczony,
- przekryty stropodachem dwudzielnym przełazowym,

- wysokość każdej kondygnacji nadziemnej – 2,5 m,
- poziom 0.0 budynku znajduje się na wysokości około 1,0 m powyżej otaczającego go terenu.

Z informacji uzyskanych od zarządcy budynku wynikało, iż przez około 30 lat w budynku nie prowadzono żadnych prac termomodernizacyjnych. W latach 2004 i 2005 mieszkańcy wymienili okna we wszystkich mieszkaniach na okna o współczynniku przenikania od 1,4 do 1,8 W/m²K. W 2006 roku podjęto częściowe działania termomodernizacyjne – docieplono ściany zewnętrzne budynku warstwą styropianu ($\lambda=0,04$ W/mK) o grubości 10 cm. Zastosowane rozwiązania nie były jednak kompleksowe, gdyż stropodach oraz strop nad nieogrzewanymi piwnicami nie zostały ocieplone. Nie modernizowano również żadnej z instalacji.

Dla analizowanego budynku, przy przyjętych powyżej założeniach, wyznaczono wartość całkowitego współczynnika przenoszenia ciepła przez przenikanie H_{tr} przez wszystkie przegrody zewnętrzne na podstawie [2].

Wartości współczynników przenikania ciepła obliczono w oparciu o normę [3], natomiast wartości ψ_i przyjęto na podstawie analizy w programie AnTherm (tabele 1 i 2).

W analizie przyjęto pięć etapów modernizacji budynku: (1) przed termomodernizacją – stan projektowy, (2) po częściowej modernizacji – wymieniona stolarka drzwiowa i okienna, (3) po termomodernizacji bez wymienionej stolarki, (4) po termomodernizacji ścian i wymianie stolarki, (5) po termomodernizacji i wymianie stolarki – U ścian 0,20 W/m²K – standard obowiązujący od 1 stycznia 2021. Obliczone wartości współczynnika strat ciepła w poszczególnych etapach zestawiono w tabeli 3.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że zarówno wymiana stolarki okiennej, jak i docieplenie w znacznym stopniu poprawiły parametry energetyczne budynku. Wymiana stolarki okiennej i drzwiowej poprawiła wartość współczynnika strat ciepła przez przenikanie o około 15%, a samo docieplenie ścian zewnętrznych budynku zmniejszyło wartość H_{tr} o ponad 40% (wskazuje to, że ocieplenie budynku jest zabiegiem decydującym).

Tabela. 1. Wartości współczynników przenikania ciepła przegród

Przegroda	U [W/m ² K] przed termomodernizacją	U [W/m ² K] po termomodernizacji
Ściany zewnętrzne	0,69	0,25
Stropodach	0,50	0,50
Strop nad piwnicą	0,35	0,35
Stolarka okienna	2,80	1,40
Drzwi zewnętrzne	2,80	1,80

Tabela. 2. Wartości liniowych współczynników przenikania ciepła dla mostków cieplnych

Rodzaj mostka	Ψ_e – przed termomodernizacją	Ψ_e – po termomodernizacji
Stolarka w płycie osłonowej – oścież górna	0,047	0,007
Stolarka w płycie osłonowej – oścież dolna	0,205	0,089
Połączenie ścian osłonowych z płytą stropową	0,293	0,029
Połączenie ścian szczytowych z płytą stropową	0,276	0,029
Połączenie ściany osłonowej i ściany piwnicy z płytą stropową	0,160	0,20
Płyta balkonowa	0,764	0,253
Płyta balkonowa + stolarka	1,034	0,315
Połączenie pionowe ścian szczytowych ze ścianą wewnętrzną	0,169	0,019
Połączenie pionowe ścian osłonowych ze ścianą wewnętrzną	0,198	0,020

Tabela 3. Wartości współczynnika przenoszenia ciepła H_{tr}

Etap analizy	H_{tr} [W/K]	Udział strat przez przenikanie bez uwzględnienia mostków $A_i U_i$ w H_{tr}	Udział strat przez mostki $\sum I_i \Psi_i$ w H_{tr}
1 Budynek przed termomodernizacją – stan projektowy	3490,6	2091,0 (60%)	1399,6 (40%)
2 Wymieniona stolarka, przed dociepleniem	2995,8	1596,2 (53%)	1399,6 (47%)
3 Budynek po termomodernizacji bez wymiany stolarki	2047,7	1771,0 (84%)	276,7 (14%)
4 Budynek po termomodernizacji i wymianie stolarki	1419,2	1142,5 (80%)	276,7 (20%)
5 Budynek po termomodernizacji i wymianie stolarki – U ścian 0,20 W/m ² K – standard obowiązujący od 1 stycznia 2021	1014,9	808,0 (80%)	206,9 (20%)

Z kolei kompleksowe docieplenie ścian zewnętrznych wraz z wymianą stolarki pozwoliło zredukować analizowaną wartość współczynnika H_{tr} o około 60% (wiersz 4). Ponadto zabieg docieplenia ścian znacząco zredukował wartość strat spowodowanych mostkami cieplnymi – około 80% w stosunku do stanu projektowego. Powodem takiego stanu rzeczy jest wykonanie od strony zewnętrznej ciągłej warstwy ocieplenia, która praktycznie wyeliminowała straty ciepła przez złącza systemowe w obudowie budynku.

3. Komfort cieplny w analizowanym budynku systemowym

Powszechnie zwykło przyjmować się, że zabieg docieplenia budynków rozwiązuje wszystkie problemy termiczne budynku. Niestety takie rozumowanie może być nie tylko błędne, ale i mylące. Świadczyć o tym mogą między innymi zgłoszenia niektórych lokatorów o pogorszeniu się warunków mikroklimatycznych w mieszkaniach tuż po zabiegach dociepleniowych, w postaci podwyższonej temperatury w mieszkaniach, w miesiącach letnich.

Zjawisko to związane jest z pojęciem komfortu cieplnego, którego osiągnięcie oznacza sytuację, w której organizm ludzki znajduje się w stanie zrównoważonego bilansu cieplnego. Z założenia, w warunkach tych nie mogą wystąpić żadne niepożądane czynniki powodujące nadmierne nagrzewanie lub chłodzenie poszczególnych części ciała (np. chłodzenie karku i szyi przez przeciągi, czy nagrzewanie nóg przez ciepło promieniujące ze zbyt ciepłej podłogi). Określenie uczucia komfortu okazuje się dyskusyjne, ponieważ jest ono odczuwane zawsze indywidualnie i subiektywnie. W symulacjach i badaniach analiza komfortu cieplnego opiera się na syntezie dwóch podstawowych wskaźników:

1. PMV (Predicted Mean Vote) – przewiduje średnią ocenę przez dużą grupę użytkowników określających swe wrażenia w siedmiostopniowej skali ocen: + 3 – gorąco; + 2 – ciepło; + 1 – dość ciepło; 0 – obojętnie; (-1) – dość chłodno; (-2) – chłodno; (-3) – zimno. Wskaźnik PMV powinien mieścić się w przedziale $-0,5 < PMV < +0,5$;
2. PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) – opisuje przewidywany odsetek osób niezadowolonych z panujących warunków.

Procedurę oraz sposób prowadzenia oceny komfortu cieplnego opisuje międzynarodowa norma PN-EN ISO 7730 [4].

W jednym z lokali mieszkalnych analizowanego budynku wykonano rzeczywiste badania warunków mikroklimatu. Badania przeprowadzono przy użyciu cyfrowego miernika BABUC (rys. 2), a otrzymane wyniki zostały przetworzone za pomocą program InfoGap pozwalającego na wyznaczenie wartości wskaźników PMV oraz PPD. Badania zostały przeprowadzone w lokalu mieszkalnym na siódmym piętrze analizowanego budynku

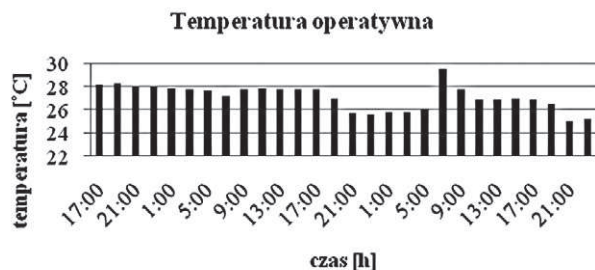


Rys. 2. Cyfrowy miernik klimatu BABUC – pomiar w mieszkaniu na 7 piętrze

wielorodzinnego przez okres trzech dni pomiędzy 29 a 31 lipca. Zbadane i zmierzone średnie temperatury zewnętrzne w analizowanym okresie przekraczały 30°C , a temperatura operatywna (odczuwalna) wewnątrz pomieszczenia była znacznie wyższa od 25°C (najwyższa zarejestrowana temperatura wynosiła $29,17^{\circ}\text{C}$). Warunki te utrzymywały się w całym badanym okresie

i były niezmiennie w okresach nocnych. Wartości zarejestrowanych temperatur operatywnych przedstawiono na rysunku 3.

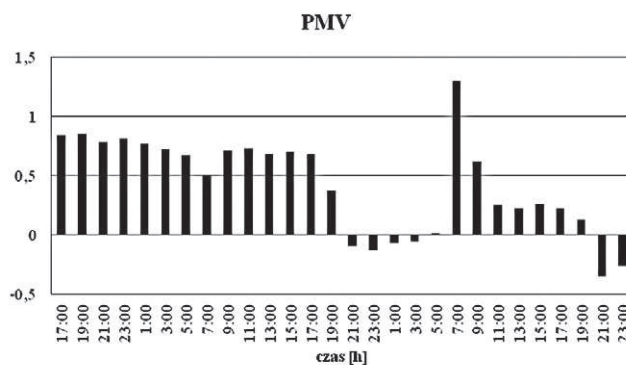
Wskaźniki PMV w analizowanym okresie również znacznie przekraczały wartości dopuszczalne. Wartości PMV obliczoną dla dwóch różnych aktywności fizycznych – osoba siedząca odpoczywająca (rys. 4a) i osoba pracująca – wykonująca prace domowe (rys. 4b) w analizowanym okresie.



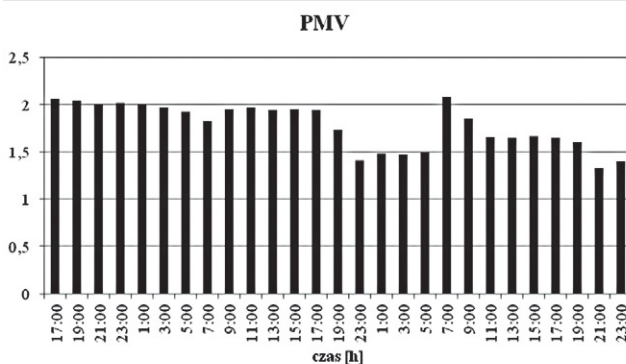
Rys. 3. Zarejestrowana wewnętrzna temperatura operatywna w badanym lokalu mieszkalnym

Przeprowadzone badania skłoniły autorów do przeprowadzenia szeregu symulacji budynku przed i po termomodernizacji. Obliczenia zostały przeprowadzone w programie Design Builder v.3., który pozwala na analizę termiczną obudowy budynku oraz mikroklimatu poszczególnych części wewnątrz budynku.

Symulowano rzeczywisty 11-kondygnacyjny wielorodzinny budynek mieszkalny wykonany w systemie W70 ocieplony 15 cm warstwą styropianu, współczynnik przenikania ciepła dla ściany $U=0,2\text{ W/m}^2\text{K}$. Analizy przeprowadzono dla okresu pomiędzy 15 maja a 15 września, kiedy to występują liczne przekroczenia średnich temperatur powietrza wewnętrznego. Przyjęto założenie, że każde mieszkanie jest oddzielną strefą temperaturową oraz że wewnątrz pojedynczego lokalu nie występuje zmienność temperatury. Orientacje przyjętych do symulacji mieszkań na poszczególnych poziomach:



Rys. 4a. Wartości PMV w analizowanym lokalu mieszkalnym – osoba siedząca



Rys. 4b. Wartości PMV w analizowanym lokalu mieszkalnym – osoba pracująca

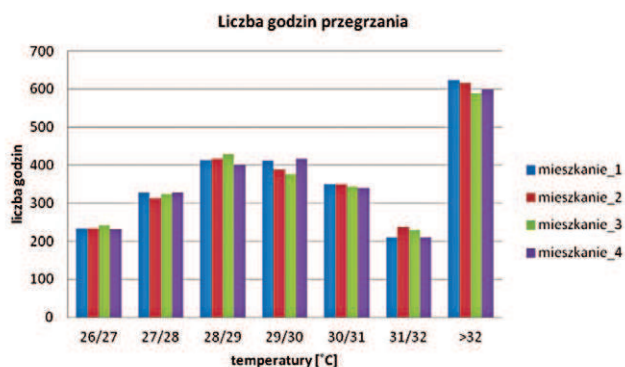
- mieszkanie numer 1 – wschód-południe,
- mieszkanie numer 2 – południe-zachód,
- mieszkanie numer 3 – zachód-północ,
- mieszkanie numer 4 – północ-wschód.

Ponadto do symulacji przyjęto dodatkowe założenia:

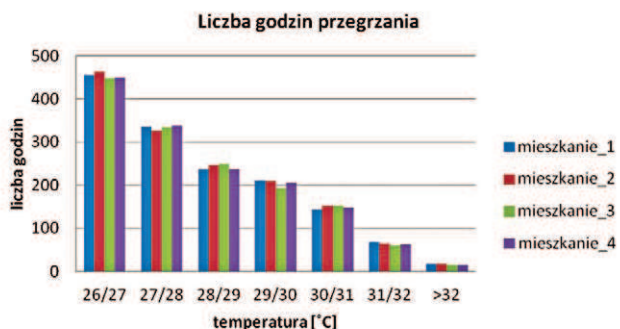
1. Lokale są ogrzewane od października do marca przez 7 dni w tygodniu, 24 godziny na dobę, przy średniej temperaturze w mieszkaniu 22°C ;
2. Gęstość zaludnienia pomieszczeń stanowi 0,08 osoby na m^2 , co odpowiada średnio trzem osobom znajdującym się w każdym mieszkaniu;
3. Sposób użytkowania mieszkania to 3 osoby w mieszkaniu pomiędzy 16:00 a 7:00 rano w dni robocze, oraz pomiędzy 18:00 i 6:00 rano w okresie weekendu; w pozostałym czasie liczbę użytkowników zredukowano o połowę (50%);
4. Aktywność fizyczną użytkowników oraz izolacyjność odzieży przyjęto na podstawie normy [4] na poziomie 1,2 met; w okresie zimowym = 1,0 clo; w okresie letnim = 0,5 clo;
5. Wymagania wentylacyjne przyjęto zgodnie z normą PN-83/B-03430, wg której założono wymianę powietrza na poziomie $70\text{ m}^3/\text{godzinę}$ w kuchni oraz $50\text{ m}^3/\text{godzinę}$ w łazience;
6. Zacienienia wewnętrzne w postaci ruchomych żaluzji poziomych o współczynniku odbicia promieniowania słonecznego 50%, zacienienia zewnętrzne w postaci stałych żaluzji zewnętrznych.

Przeprowadzone analizy budynku po termomodernizacji wykazały, że temperatury wewnątrz w symulowanym okresie znacznie przekraczają maksymalne wartości temperatury (25°C) – rysunek 5.

Maksymalna temperatura na tym etapie symulacji wynosiła 35,80°C, a wartość wskaźnika PMV wynosiła ok. 3. Liczba godzin przegrzania w analizowanym okresie czasu w mieszkaniu nr 2 wynosiła 2553 godzin, a w mieszkaniu nr 4 wynosiła 2526 godzin.



Rys. 5. Liczba godzin przegrzania w budynku po termomodernizacji – mieszkania piętro siódme



Rys. 6. Liczba godzin przegrzania w budynku po termomodernizacji z zastosowaniem zacienień – mieszkania piętro siódme

W celu ograniczenia wysokich temperatur w symulacjach zastosowano ruchome poziome żaluzje wewnętrzne oraz zacienienie zewnętrzne w postaci stałych żaluzji poziomych umieszczonych na wysokości 1,0 m od górnej krawędzi okna. Zastosowanie tego typu osłon przeciwsłonecznych spowodowało redukcję godzin przegrzania w analizowanych mieszkaniach rysunku 6.

Maksymalna temperatura wynosząca w budynku ocieplonym 35,80°C została zredukowana zacienieniami wewnętrznymi i zewnętrznymi do 32,5°C, natomiast liczba godzin przegrzania w analizowanym okresie czasu w mieszkaniu nr 2 zmniejszyła się z wartości 2553 w stanie rzeczywistym do 1483 (poprawa o 42%), dla mieszkania nr 4 z 2526 do 1457 (poprawa również o 42%). Również wartości wskaźników PMV uległy redukcji z wartości 3 do wartości 2, jednak ta redukcja nie jest

zadowalająca, gdyż wskaźnik PMV powinien mieścić się w przedziale $-0,5 < PMV < +0,5$.

4. Podsumowanie

Przedstawiona w tabeli 3 analiza wpływu różnych wariantów docieplenia poprawia parametry energetyczne budynku – przy wykonanej kompleksowej termomodernizacji ścian wartość współczynnika Htr zredukowana jest o ok. 60%. Niemniej w wariantach docieplenia bez i z wymienioną stolarką w budynku całkowicie ocieplonym zauważalne jest tylko względne zwiększenie wpływu mostków w całkowitych stratach ciepła (14% i 20% wiersz 3 i 4). Zwiększenie tego wpływu jest nieznaczne, niemniej jednak zauważalne i wynika z faktu, że w całkowitym bilansie energetycznym budynku, wpływ występowania mostków termicznych jest większy w przypadku budynków po kompleksowym dociepleniu. Na uwagę zasługuje również fakt, że porównując redukcję strat ciepła w wariantach ocieplenia budynku dostosowanego do obecnych standardów (wiersz 4 tabela 3), w stosunku do standardów czekających nas w 2021 r. (wiersz 5 tabela 3) różnica tych wartości kształtuje się na poziomie zaledwie 10% w stosunku do wartości wyjściowej. Dlatego też dyskusyjnym i wręcz nieekonomicznym staje się planowanie „dzisiaj” jakichkolwiek zabiegów dociepleniowych w oparciu o obowiązujące nas WT, albowiem koszt wykonania ponownego ocieplenia w niedługim czasie będzie niewspółmierny do oczekiwanych redukcji strat ciepła. Wobec powyższego, zdaniem autorów, projektowanie obecnych dociepleń powinno opierać się na wymogach obowiązujących nas dopiero za 7 lat.

Z prowadzonych analiz, dotyczących komfortu, wynika, że warunki komfortu cieplnego w budynkach wielokopłytowych po termomodernizacji są bardzo niekorzystne. Maksymalna temperatura wewnętrzna w jednym z analizowanych lokali (mieszkanie numer 2) wynosi 35,80°C, a liczba godzin przegrzania w analizowanym czasie wynosi w tym samym mieszkaniu 2553, natomiast w mieszkaniu nr 4, 2526. Przedstawione analizy symulacyjne jak również przeprowadzone wcześniej przez autorów symulacje w tego typu budynkach (opisane w [1], [2], [3]) potwierdzają te wnioski. Należy zauważyć, że w obecnych standardach wprawdzie priorytetem jest obniżenie zużycia energii na cele grzewcze w miesiącach zimowych, niemniej jednak nie należy zapominać, że komfort przebywania w tego typu budynkach zwłaszcza w miesiącach letnich nie powinien być pomijany. Rozwiązaniem tego problemu mogłoby być uwzględnienie podczas projektowania docieplenia, zastosowania zewnętrznych lub wewnętrznych osłon zacieniających celem zminimalizowania efektu przegrzania. Działania te jednak w znacznym stopniu zmieniają uwarunkowania ekonomiczne całej inwestycji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Nowak-Dzieszko K., Rojewska-Warchał M., Simulation analysis of microclimate conditions in a multi – family large panel building. *Czasopismo Techniczne Budownictwo* ISSN 1897 – 628X 3 – B/2014 s. 379–387
- [2] Nowak-Dzieszko K., Rojewska-Warchał M., Influence of shadings systems on the microclimate conditions in the large panel building. *Czasopismo Techniczne Budownictwo* ISSN 1897 – 628X 3 – B/2014 s. 371–377
- [3] Nowak-Dzieszko K., Rojewska-Warchał M., Analiza symulacji na komfortu cieplnego w wielokopłytowym budynku wielorodzinnym. *Materiały Budowlane* 8/2014, ISSN 0137-2971 s.47–49

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać

- budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75, poz. 690 z późn. zm. ogłoszonymi w Dz.U. z 2003 r. Nr 33, poz. 270, z 2004 r. Nr 109, poz. 1156, z 2008 r. Nr 201, poz. 1238, z 2009 r. Nr 56, poz. 461, z 2010 r. Nr 239, poz. 1597, z 2012 r. poz. 1289 oraz z 2013 r., poz. 926
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r., w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej
- [3] PN-EN6946, Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- [4] PN-EN ISO 7730 Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego

Wpływ mostków termicznych w istniejących i modernizowanych budynkach systemowych W70

Mgr inż. Katarzyna Nowak-Dzieszko, mgr inż. Małgorzata Rojewska-Warchał, dr inż. Jacek Dębowski, Politechnika Krakowska

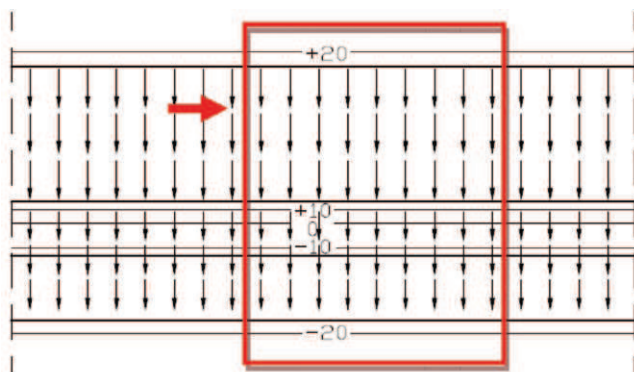
1. Wprowadzenie

Rozpoczęty w latach 90. wielki boom na termomodernizację, a co za tym idzie na oszczędność energii, przy wciąż zmieniających się wymaganiach termicznych spowodował, że budynki systemowe, które zostały zaprojektowane i wykonane w latach 70. i 80. muszą zostać poddawane zabiegom dociepleniowym. Mało tego, te które jako jedne z pierwszych zostały tym zabiegom poddane, w obecnej chwili ponownie wymagają docieplenia

bądź jego remontu. Wynika to przede wszystkim z faktu, że grubość warstwy termicznej, zastosowana 15 lat temu (wówczas 5 cm) nie spełnia obecnych wymagań WT [1], a ponadto sama jakość wykonania ocieplenia wymusza jego naprawę. Dominującym kryterium podczas tzw. szeroko rozumianej termomodernizacji budynków systemowych jest poprawa charakterystyki energetycznej ścian, w ramach której podejmowane są najczęściej wyłącznie działania dociepleniowe. Pomijana jest zwykle kompleksowa analiza cieplna obudowy budynku z uwzględnieniem tak istotnego w bilansie energetycznym wpływu mostków cieplnych, szczególnie tych występujących w miejscach połączeń systemowych oraz balkonów i ich obudów.

2. Analiza mostków termicznych

W projektowaniu przegród budowlanych pod kątem cieplno-wilgotnościowym przyjmowane jest najczęściej tylko kryterium grubości izolacji termicznej dobieranej tak, aby spełnione były wymagania [1] dotyczące maksymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła U . Dla ścian zewnętrznych do końca 2013 roku był równy $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, obecnie $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, od 1 stycznia 2021 wartość ta nie będzie mogła przekraczać



Rys. 1. Rozkład temperatur oraz gęstości strumienia ciepłego w przegrodzie jednorodnej