

dr inż. Paweł Krause*

dr inż. Tomasz Steidl*

dr inż. Dominik Wojewódka**

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego, STEKRA Sp. zo.o.

Potencjał zmniejszenia energochłonności budynków wielkopłytowych

1. Wstęp

W świetle zaostrzających się przepisów w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej [Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, [Dz. U. poz. 926] oraz zbliżającej się daty 31.12.2020, od której w państwach członkowskich UE wszystkie nowo powstające budynki powinny wykazywać „niemal zerowe zapotrzebowanie na energię” [Recast Dyrektywy EPBD 2010/31/UE], powstaje pytanie o możliwość modernizacji budynków istniejących. Wśród nich liczną grupę stanowią budynki wzniesione w technologii wielkopłytywowej. Energochłonność budownictwa wielkopłytywowego jest tematem, którego początki sięgają lat osiemdziesiątych XX w. Znaczący rozwój budownictwa wielkopłytywowego w latach siedemdziesiątych, praktycznie na terenie całego kraju, wytworzył znaczne zapotrzebowanie na zcentralizowane systemy dostarczania ciepła do tych budynków. Koniec lat siedemdziesiątych i początek osiemdziesiątych to dość burzliwy okres w naszej historii. Pomimo znacznego wzrostu ilościowego oddawanych mieszkań, w tym głównie wznoszonych w technologiach wielkopłytywowych, nastąpił spadek jakości realizowanych budynków. Po krótkim okresie eksploatacji w budynkach

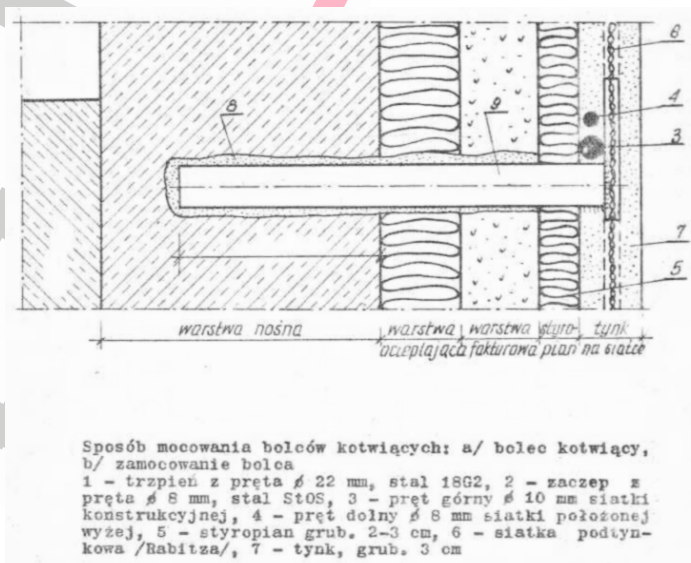
wielkopłytywowych zaczęły ujawniać się tzw. wady fizyczne związane m.in. z przemarzaniem i przewiewaniem złączy pionowych i poziomych prefabrykatów wielkopłytywowych. Wady te wpływały znacząco na komfort użytkowania mieszkań, ich niedogrzanie oraz powstawanie lokalnych zawilgoceń i zagrzybień. Projektowane systemy wielkopłytywowe były w tym okresie wielokrotnie modyfikowane, nie tyle pod względem konstrukcji samych budynków co pod kątem poprawy połączeń pomiędzy prefabrykatami wielkopłytywowymi. W 1981 r. uruchomiono rządowy program likwidacji wad budownictwa wielkopłytywowego. W ramach tego programu zaczęto wdrażać poprawę komfortu, jakości cieplnej mieszkań oraz zmniejszenie energochłonności istniejących i nowo wznoszonych budynków wielkopłytywowych. Prowadzono szereg badań mających na celu wprowadzenie zmian w technologiach wielkopłytywowych, związanych właśnie z obniżeniem energochłonności budynków wielkopłytywowych. Badania takie były w różnych jednostkach naukowo-badawczych i projektowych w tym również na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej. Jednym z takich wieloletnich programów badawczych realizowanych w nieistniejącym już Instytucie Technologii i Organizacji Budownictwa był program CPBR 02.21. pt. "Charakterystyki termoizolacyjne pionowych przegród zewnętrznych w aspekcie badań cieplnych",

realizowany etapowo w latach 1983 - 1990, przez zespół pod kierunkiem dr inż. Henryka Krause.

2. Historyczny aspekt zmian energochłonności budynków

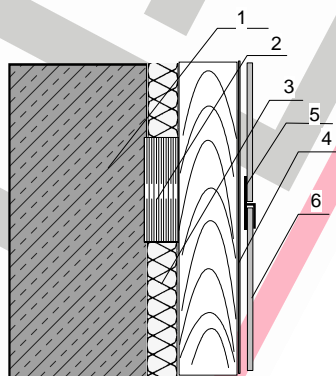
Samo pojęcie docieplania budynków ma już w Polsce prawie 40-letnią historię. Pierwsze wytyczne w tym zakresie opracowane zostały w ITB w 1972 roku i dotyczyły zabezpieczania ścian z wielkowymiarowych prefabrykatów trójwarstwowych i ścian szczytowych z cegły żerańskiej przed przemarzaniem i przenikaniem wody opadowej przez złącza. Główną przyczyną podjęcia tematu docieplenia w latach siedemdziesiątych, było odejście od znanych i stosowanych technologii wznoszenia budynków mieszkalnych oraz istotną zmianą sposobu ich ogrzewania. Nowe technologie budowlane w tym np. wprowadzanie prefabrykowanych elementów ściennych, pozwalały co prawda zdecydowanie szybciej wznosić budynki, lecz ich jakość zwłaszcza w zakresie ochrony cieplnej, przeciwwilgociowej czy odporności na wnikanie wody opadowej, pozostawiała wiele do życzenia. Wprowadzając

uprzemysłowione metody wznoszenia budynków mieszkalnych na etapie projektowania i wykonawstwa zadbano o ich konstrukcję, pomijając w znacznym stopniu zagadnienia fizyczne. Działania takie, powodowały z czasem, duże uciążliwości ich eksploatacji w postaci przemakań, zawilgoceń a w konsekwencji zagrzybień. Lekarstwem na takie uciążliwości początkowo miało być usuwanie wad i usterek technologicznych bezpośrednio na budynkach, gdy okazało się to być zdecydowanie niewystarczające podjęte zostały działania wprowadzenia wymagań w zakresie ochrony cieplnej do norm budowlanych oraz wykonywanie dociepleń na budynkach istniejących. Jako jeden z pierwszych materiałów do dociepleń ścian zewnętrznych budynków stosowany był styropian o grubości 2 - 3 cm, w metodzie którą można umownie nazwać „ciężką mokrą”. Powierzchnia styropianu zabezpieczana była tynkiem cementowo-wapiennym układanym na siatce z prętów zbrojeniowych ϕ 4,5 mm. Typowy sposób połączenia takiego systemu docieplenia ściany pokazano na rys.1.



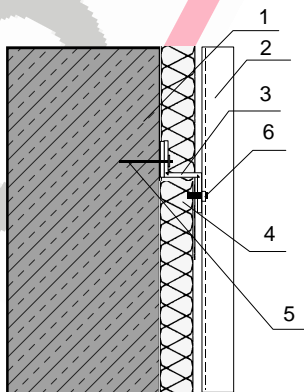
Rys.1. Sposób mocowania systemu dociepleń – lata 70 te [6].

Równoległe do metody ciężkiej mokrej czyniono pierwsze próby wykonywania zabezpieczeń przeciekających i przemarzających budynków metodą lekką mokrą z wykorzystaniem styropianu oraz lekkich mas tynkarskich krajowych typu „Fibrofob”, płynnych mas tynkarskich, lub wypraw elewacyjnych „Dryvit”. Jako zbrojenie lekkiej wyprawy elewacyjnej stosowano siatkę z włókna szklanego. Metoda lekka nie znalazła w ówczesnych latach większego zastosowania z uwagi na fakt, iż jak wykazały prowadzone na niewielką skalę doświadczenia na budynkach, występował problem z zapewnieniem odpowiedniej jakości. Lata osiemdziesiąte to wprowadzenie na szeroką skalę metody lekkiej suchej z okładziną elewacyjną z płyt płaskich azbestowo-cementowych (a-c), mocowanych do łąt drewnianych oraz jej odmiany wdrażanej równoległe gdzie okładziną była blacha stalowa trapezowa zamocowana na ruszcie stalowym ocynkowanym. Obie metody były szeroko stosowane głównie w odniesieniu do budynków wielopłytowych w których stwierdzono występowanie tzw. wad technologicznych. Przykładowy sposób mocowania rusztu i okładzin w metodzie suchej pokazano na rys.2 z okładziną z płyt a-c, oraz na rys.3 z okładziną z blachy trapezowej powlekanej. Za metodę ciężką mokrą można też uznać stosowaną w latach 80-tych metodę POSS/70 gdzie materiałem izolacyjnym były płyty dwuwarstwowe ze styropianu i supremy. Metodę tę wykonywano zgodnie ze świadectwem dopuszczenia wydanym przez ITB 650/87. Na początku lat 90 tych zaniechano wykonywania dociepleń w tej metodzie. Lata 90-te to powrót do metody lekkiej mokrej w różnych odmianach, których nazwy zwyczajowo pochodzą od nazwy firmy wprowadzającej konkretną technologię na rynek.



- 1- ściana istniejąca,
- 2- podkładka ze sklejki wodoodpornej,
- 3- wełna żużlowa, lub mineralna,
- 4- uszczelka kauczukowa pionowa

Rys.2. Metoda „lekka sucha” na ruszcie drewnianym z okładziną z płyt a-c.



- 1- ściana istniejąca,
- 2- blacha fałdowa powlekana typu T – 55, lub T -30,
- 3- profil z blachy ocynkowanej /zetownik/,
- 4 - wełna żużlowa, lub mineralna,
- 5- kołek kotwiący,
- 6- nit jednostronny Al-Fe

Rys.3. Metoda „lekka sucha” z okładziną z blachy trapezowej.

Na chwilę obecną stosowanych jest kilkadziesiąt różnych systemów dociepleń przegród zewnętrznych, znanych wcześniej jako BSO (Bezspoinowy System Ocieplenia). Systemy te na dzień dzisiejszy określa się jako ETICS (External Thermal Insulation Composite System), co można w wolnym tłumaczeniu odczytać jako Zewnętrzny Złożony System Izolacji Ciepłej. Izolacyjność cieplna przegród budowlanych w budynkach mieszkalnych kształtowana była na podstawie obowiązujących niegdyś norm, a później odrębnych przepisów. Wymagania historyczne przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zmiany wymagań w zakresie izolacyjności termicznej budynków.

Lp.	Podstawa wymagań/obliczeń - Polskie Normy lub inne	Współczynnik "k" U W/m ² K		Uwagi
		ściana zewnętrzna	stropodach - dach	
1.	PN-57/B-02405	1,42	0,87	I strefa klimatyczna pozostałe strefy
	od 01.07.1958r.	1,16		
2.	PN-64/B-03404	1,47	0,87	I i II strefa klimatyczna pozostałe strefy
	od 01.01.1968r.	1,16		
3.	PN-74/B-03404	1,16	0,7	1) nie obliczono mostków termicznych 2) ściany warstwowe-mnożnik 0,67-0,90
	od 01.07.1976r.			
4.	PN-82/B-02020 od 01.01.1983r	0,75	0,45	w oblicz. nie uwzględniono mostków termicznych
5.	PN-91/B-02020 od 01.01.1992r.	0,55	0,3	w oblicz. uwzględniono dodatki na mostki termiczne
6.	PN-EN-ISO 6946 Metody obliczania od 26.02.1998r.			w oblicz. uwzględniono mostki termiczne w postaci ΔU
7.	Warunki techniczne § 329 Dz.U. nr 75 poz. 690 -budownictwo wielorodzinne -budownictwo jednorodzinne	$E \leq E_0$ 0,5 0,3	0,30	Normy obliczeniowe PN-B-02025 PN-EN-ISO 6946 :2006
	-budownictwo użyteczności publicznej	0,45		
		0,55		
		0,65		
8.	Warunki techniczne § 329 od 01.01.2014 r. -jednorodzinny -wielorodzinny	EP<120 EP<120 0,25 EP<105 0,25	0,20	PN-EN-ISO 13790 :2011 PN-EN-ISO 6946 :2008

3. Diagnostyka cieplna budynków istniejących

W budownictwie wielkopłytowym podstawowym czynnikiem pozwalającym na poprawę jakości energetycznej budynku jest prawidłowa diagnostyka stanu istniejącego przegród zewnętrznych. Diagnozowanie izolacyjności cieplnej przegród budowlanych jest czynnością pracochłonną i wymagającą szerokiej wiedzy z zakresu budownictwa ogólnego, a także znajomości norm i przepisów z okresu wznoszenia obiektów. Niezwykle przydatna jest wiedza z zakresu materiałoznawstwa, technik i technologii wznoszenia ścian w różnych okresach historycznych. Dodatkowo prowadzone remonty lub przebudowy to czynniki wpływające na stan techniczny całości obiektu, w tym na izolacyjność cieplną całości i poszczególnych elementów. Wpływ stanu technicznego jest zdecydowanie największy w przypadku przegród z wbudowaną w pomiędzy warstwy przegrody izolację cieplną z wełny mineralnej (żużlowej) np. systemy wielkopłytowe. Jednym z elementów diagnostyki cieplnej przegród budowlanych są badania termograficzne. Prawidłowe wykonanie i opracowanie badań polowych termograficznych pozwala na określenie jakości cieplnej przegród badanego budynku, oraz oszacowaniu rodzaju i ilości liniowych i punktowych mostków cieplnych. Pomiar termowizyjny dotyczące określenia niejednorodności termoizolacyjnej wykonuje się na budynku w sezonie grzewczym w czasie jego eksploatacji. Termografia jest metodą badawczą która polega na wizualizacji, rejestracji i interpretacji rozkładów temperatury powierzchni badanych obiektów.

Zastosowanie termografii do jakościowej oceny izolacyjności termicznej przegród budowlanych jest typowym przykładem praktycznego wdrożenia metody badawczej. Wykorzystanie tej metody w odniesieniu do budynków istniejących pozwala wykryć typowe nieprawidłowości w zakresie izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych. Badania można wykonywać zarówno od strony zewnętrznej jak i od wewnątrz budynków. Zgodnie z PN-EN 13187 przed wykonaniem pomiarów termowizyjnych należy wykonać analizę dokumentacji projektowej (jeśli takowa jest dostępna). Następnym krokiem jest określenie emisyjności materiałów powierzchniowych, zapis temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego, zachmurzenia, opadów i wilgotności powietrza oraz ocena oddziaływania wiatru, a także określenie usytuowania budynku względem stron świata. Norma zaleca także określenie ewentualnego wpływu różnicy ciśnień (jeśli jest istotne dla pomiarów. Istotną kwestią jest dodatkowo określenie wpływu efektów wytwarzanych przez wentylowane warstwy powietrza (np. ściana wentylowana) a także analiza oddziaływania lokalnych źródeł ciepła. Czasami istotne jest wyłączenie lokalnych źródeł ciepła przed badaniami, wcześniejsze usunięcie poza obszar badań np. mebli, obrazów (na tyle wcześniej by uniknąć efektów przejściowych). Temperatura powietrza wewnętrznego i zewnętrznego powinna być określona z dokładnością $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Minimalna wykrywalna różnica temperatury dla powierzchni przy temperaturze 20°C wynosi 0,3K i jest wystarczająca do interpretowania termogramów. Minimalna różnica temperatury powietrza po obu stronach przegrody powinna wynosić 10 K. Schemat postępowania

przy wykonywaniu badań zasadniczych określony w powyższej normie powinien uwzględniać następujące czynności:

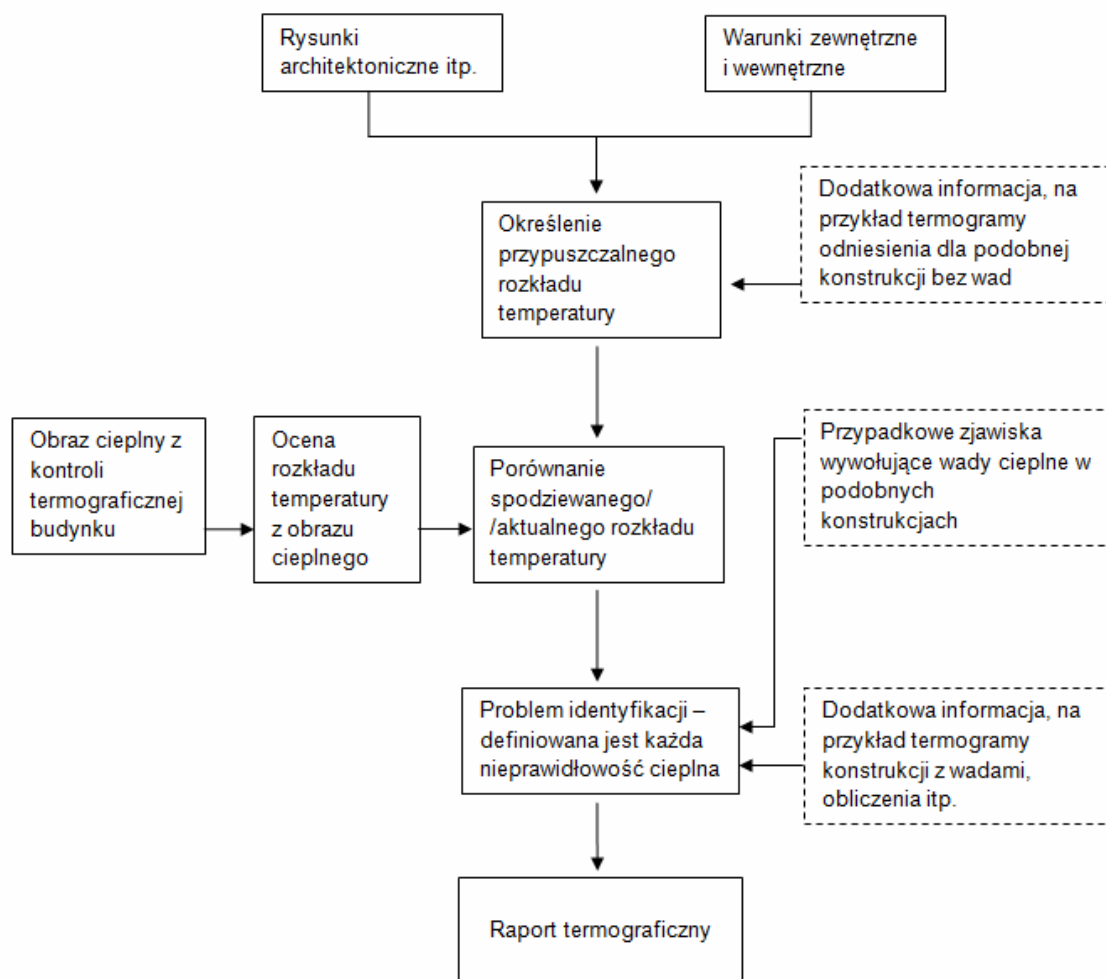
- wykonanie za pomocą kamery termowizyjnej przeglądu całego obiektu (zgodnie z zaleceniami należy wykonać przegląd od strony zewnętrznej i wewnętrznej),
- zarejestrowanie obrazów termograficznych wybranych części badanych przegród od strony zewnętrznej, fragmentu przegrody wolnego od defektów (miejsc o najmniejszym zróżnicowaniu pól temperatur), fragmentów przegród w których występują wady (zmniejszenie grubości lub brak materiału termoizolacyjnego, infiltracja lub eksfiltracja powietrza itp.) w miejscach, gdzie zróżnicowanie pól temperatur jest największe,
- pomiar odległości od badanej powierzchni wykonuje się dla każdego obrazu termograficznego,
- określenie różnic między temperaturą powierzchni przegrody w miejscu pozbawionym defektów, a temperaturą gdzie defekty te występują, przy czym każdy termogram musi jednoznacznie umiejscawiać miejsce jego wykonywania na zdjęciu lub rysunku.

Pomiary od strony wewnętrznej są dokładniejsze z uwagi na bardziej stabilne warunki otoczenia wewnątrz budynku. Stabilność warunków cieplnych wewnątrz budynków zależy w dużej mierze od sposobu ogrzewania. Tylko na termogramach wykonanych od wewnętrznej strony przegród zewnętrznych widoczne są mostki cieplne, związane z elementami konstrukcyjnymi (wieńce, słupki, gzymsy). Termogramy wykonane od strony wewnętrznej, w stabilnych warunkach pomiarowych mogą posłużyć do określenia izolacyjności cieplnej przegrody zewnętrznej. Podczas wykonywania termogramów od strony wewnętrznej zaleca się przestrzegania następującej procedury pomiaru:

- pomiar temperatury i wilgotności powietrza (w każdym badanym pomieszczeniu), unikanie wykonywania termogramów w pobliżu urządzeń grzewczych (kaloryfery, piecyki elektryczne itp.)
- unikanie wykonywania pomiaru w pobliżu wcześniej zidentyfikowanych mostków cieplnych,
- ściana powinna być odsłonięta (firany, zasłony),
- unikanie dużej ilości osób w małym pomieszczeniu,
- wykonanie pomiaru odległości ustawienia kamery od przegrody,
- zaleca się aby termogram obejmował pole min. $0,6 - 1,0 \text{ m}^2$

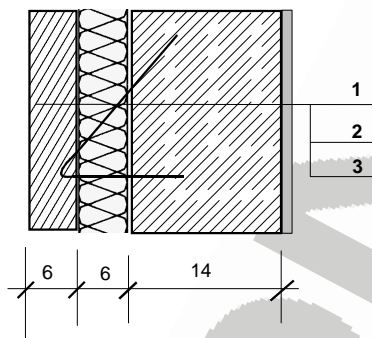
Odczytywanie zdjęć termowizyjnych to proces rozpoznania przedstawionych obiektów na podstawie cech bezpośrednich, związanych z danym obiektem. Interpretacja obrazów jest pojęciem szerszym w stosunku do odczytywania; wykorzystuje się tu zarówno cechy bezpośrednio jak i oznaki pośrednie związane z danym obiektem. Interpretacja to proces wnioskowania dedukcyjnego, w którym na podstawie cech bezpośrednich widocznych na zobrażowaniu termalnym, informacji z innych zgromadzonych źródeł oraz wiedzy interpretatora dochodzi do zauważenia cech pośrednich obiektu (niewidocznych bezpośrednio na obrazie) i wyjaśnienia cech

obiektu oraz związków między obiektami a także zachodzących zjawisk. W procesie interpretacji wykorzystuje się bezpośrednio cechy rozpoznawcze obiektów takie jak: kształt, wielkość, struktura oraz tekstura; oraz cechy pośrednie: cień, lokalizacja obiektu, związki z otoczeniem, prawa fizyczne, wiedza interpretatora. Właściwa interpretacja, przeprowadzona z wykorzystaniem wszelkich informacji o obiekcie i wiedzy interpretatora powinna wyjaśnić określony problem. Ogólne postępowanie dla interpretacji obrazów cieplnych wg normy, przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Postępowanie ogólne przy interpretacji termogramów.

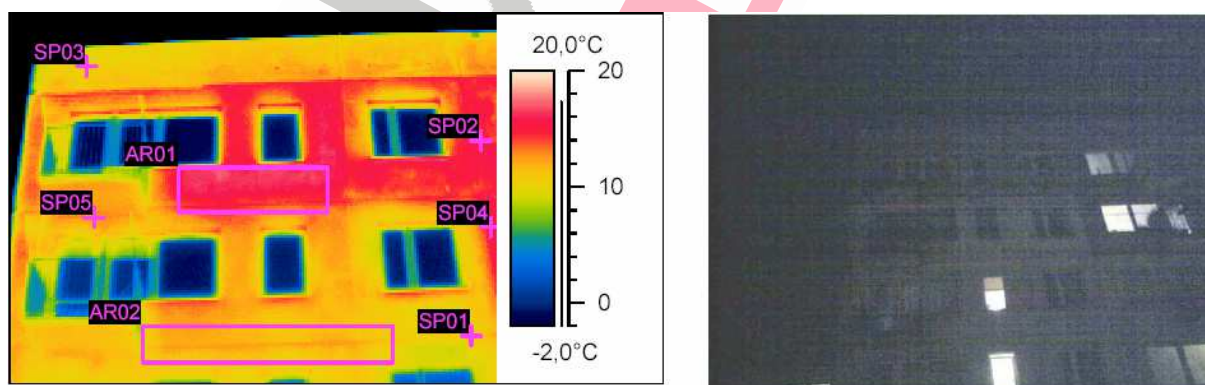
Poniżej przedstawiono przykładową diagnostykę cieplną budynków wielkopłytowego w oparciu o badania termowizyjne. Przedmiotowy obiekt jest budynkiem mieszkalnym pięciokondygnacyjnym, wzniesionym w technologii wielkopłytowej, lokalnej odmianie systemu W-70 (Fabud T). Przekrój przez fragment typowej ściany zewnętrznej budynku przedstawiono na rys.5.



1 warstwa fakturowa, 2- warstwa izolacji cieplnej, 3 – warstwa konstrukcyjna.

Rys.5. Ściana zewnętrzna systemu wielopłytkowego w analizowanym budynku

Badania termowizyjne przeprowadzono zgodnie z PN-EN 13187. Podczas prowadzenia badań panowała bezwietrzna pogoda (prędkość wiatru poniżej 1m/s), brak ekspozycji słonecznej. Badania przeprowadzono między godziną 21 a 22. Przeprowadzone badania termowizyjne wykazały wysoką temperaturę powierzchni fragmentu ściany zewnętrznej, widoczną na kilku płytach elewacyjnych od strony elewacji balkonowej. Temperatura zewnętrznej powierzchni ściany przekraczała 17°C, przy temperaturze wewnętrznej w mieszkaniu na poziomie 19-20°C (rys.6).



IR information	Value
Date of creation	2010-02-25
Object parameter	Value
Atmospheric	0,0°C
Label	Value
SP01	11,1°C
SP02	15,2°C
SP03	10,2°C
SP04	15,4°C
SP05	13,0°C

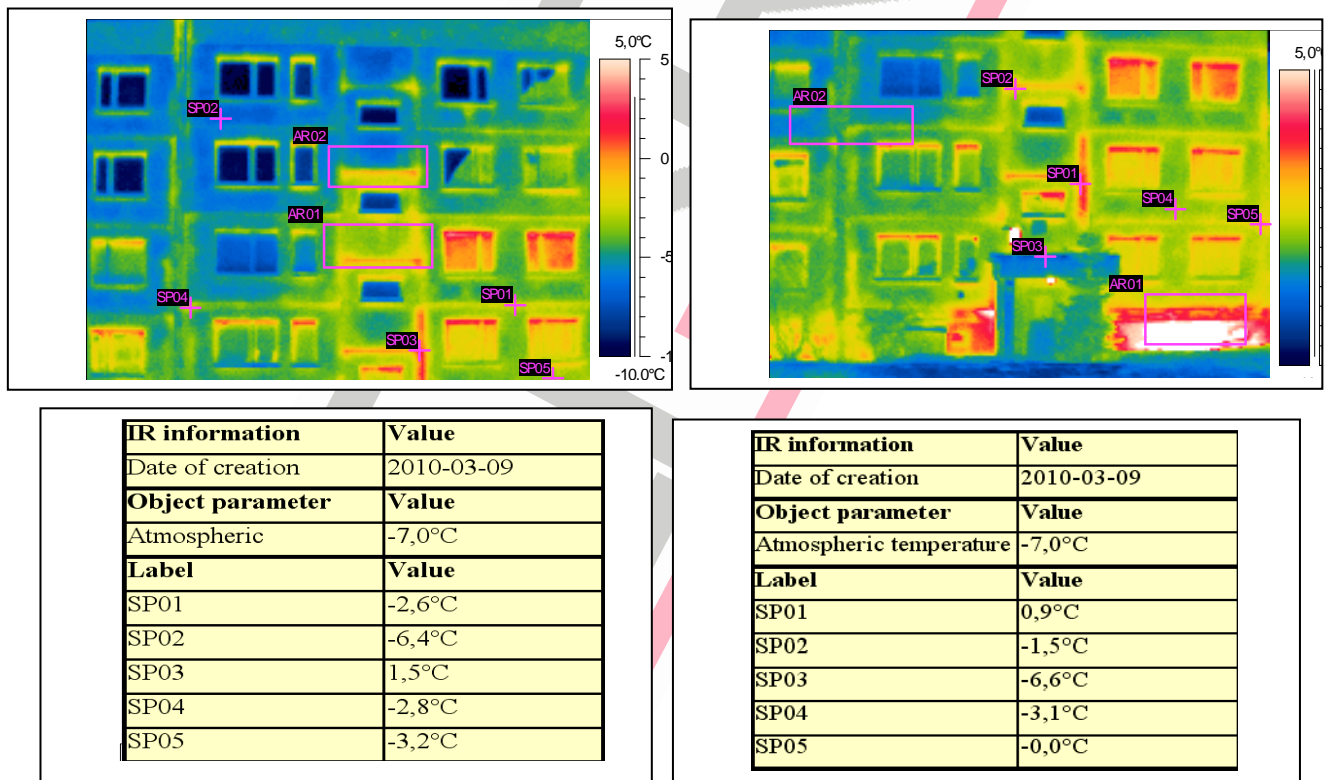
Label	Value
AR01 : max	17,2°C
AR01 : min	12,2°C
AR02 : max	12,9°C
AR02 : min	9,4°C

Rys.6. Termogram fragmentu ściany o obniżonej izolacyjności termicznej [5].

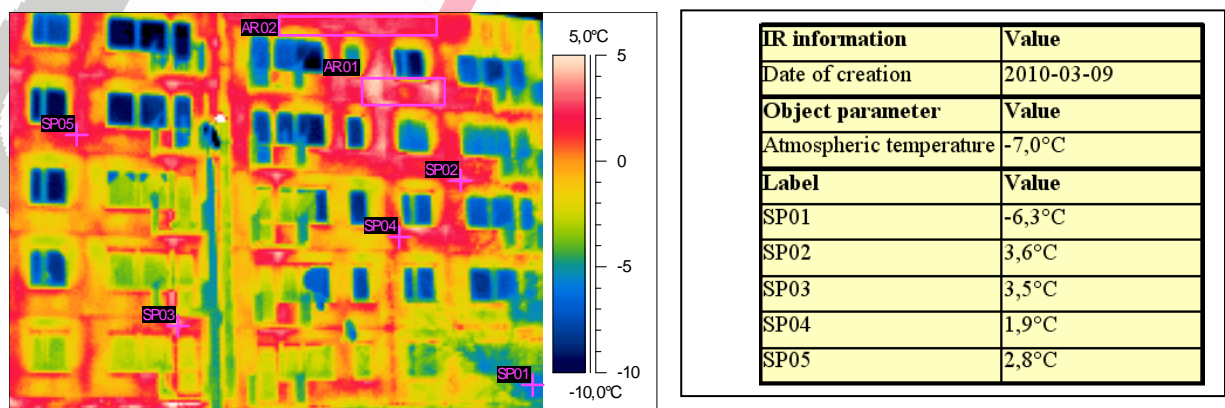
Pomierzone przy użyciu kamery termowizyjnej temperatury na zewnętrznej powierzchni ścian wskazały na bardzo niską izolacyjność cieplną fragmentu ściany zewnętrznej. Zmierzone na powierzchni przegrody od strony zewnętrznej

temperatury pozwalały na stwierdzenie z bardzo dużym prawdopodobieństwem, iż część płyt w budynku nie posiada warstwy termoizolacyjnej. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów oraz przybliżonych obliczeń oszacowano, iż współczynnik przenikania ciepła U fragmentu ściany bez izolacji cieplnej będzie większy od $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

W związku z negocjowaniem przez zarządcę budynku wyników przeprowadzonych pomiarów przeprowadzono kolejne badania termowizyjne. Wybrane termogramy przedstawiono na rys.7, elewacja frontowa i rys.8, elewacja balkonowa. Pod obrazem termowizyjnym tabela z pomierzonymi wielkościami temperatur powierzchni w oznaczonych punktach.

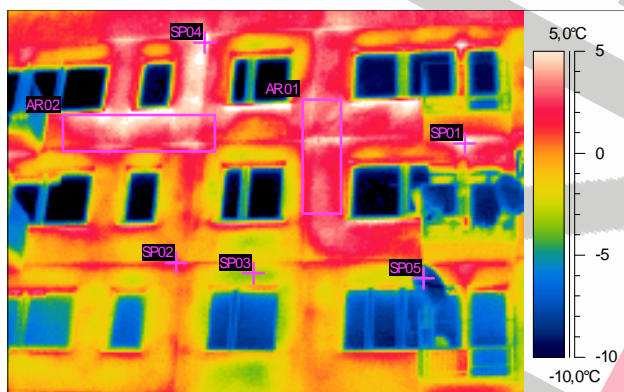


Rys.7. Obrazy termowizyjne budynku. Elewacja frontowa [5].



Rys.8. Obraz termowizyjny elewacji balkonowej [5].

Na podstawie obrazów termowizyjnych stwierdzono, że stan przegród zewnętrznych w obrębie elewacji wejściowej wykazuje nieznaczne różnice temperatury powierzchni ścian, poza miejscami złączy poziomych i pionowych. Przeprowadzone pomiary dla elewacji balkonowej wskazały znaczne różnice temperatury pomiędzy poszczególnymi płytami ściennymi, potwierdzając wcześniejsze wyniki badań.



Rys.9. Kolejny termogram fragmentu ściany o obniżonej izolacyjności termicznej [5].

Budowa przegrody zgodnej z założeniami dokumentacji technicznej systemu wielopłytowego, pozwala na obliczenia współczynnika przenikania ciepła „U” zgodnie z PN EN ISO 6946. Wyniki obliczeń zebrano w tabeli 2.

Tabela 2. Współczynnik przenikania ciepła przegrody zewnętrznej

Rodzaj materiału	λ [W/mK]	d [m]	R [m ² K/W]	U [W/ (m ² K)]
Wewnętrzna strona przegrody	-		0,13	
Płyta żelbetowa	1,7	0,14	0,08	
Wełna mineralna	0,042	0,06	1,43	
Płyta żelbetowa	1,1	0,06	0,06	
Zewnętrzna strona przegrody			0,04	
		Razem	1,74	0,58

Obliczeniowy współczynnik przenikania ciepła w miejscach poza mostkami cieplnymi $U_1 \approx 0,58$ W/(m²K). Analizując występujące różnice na obrazach termowizyjnych można dokonać podziału całości powierzchni elewacji na trzy obszary o zróżnicowanej izolacyjności cieplnej:

- 1) Obszary o dobrej izolacyjności – izolacja cieplna o normalnej grubości ok 6 cm,
- 2) Obszary o przeciętnej izolacyjności wełna mineralna o grubości ok 3-4 cm ,
- 3) Obszary o bardzo złej izolacyjności wełna mineralna o grubości < 1 cm,

Dla tak przyjętych założeń, na podstawie wykonanej diagnostyki termowizyjnej, obliczono współczynniki przenikania ciepła U_2 i U_3 . Przy obliczeniowym zmniejszeniu grubości izolacji cieplnej zamiast materiału izolacyjnego (wełna mineralna) wprowadzono opór równoważny jak dla pustki powietrznej R_{p1} i $R_{p2} = 0,16$ m²K/W. Współczynnik przenikania ciepła ściany w miejscach pocienionej izolacji termicznej

wynosi $U_2 \approx 0,87 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. W miejscach, gdzie izolacja termiczna praktycznie nie występuje współczynnik przenikania ciepła wynosi $U_3 = 2,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Z uwagi na znane z dokumentacji pola powierzchni poszczególnych płyt, oraz ich zidentyfikowaną jakość cieplną można było obliczyć współczynnik strat ciepła przez obudowę, przy czym w obliczeniach uwzględniony zostanie jedynie współczynnik strat ciepła przez jedną ze ścian (1) :

$$H_T = L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \chi \quad (1)$$

Dla obliczonych powierzchni i współczynników przenikania ciepła, wyliczono charakterystyki energetyczne H_T , dodatkowo dla porównania przyjęto, iż cała powierzchnia ściany ma współczynnik przenikania ciepła $U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Wyniki obliczeń zestawiano w tabeli 3.

Tabela 3. Warianty obliczeń współczynnika H_T

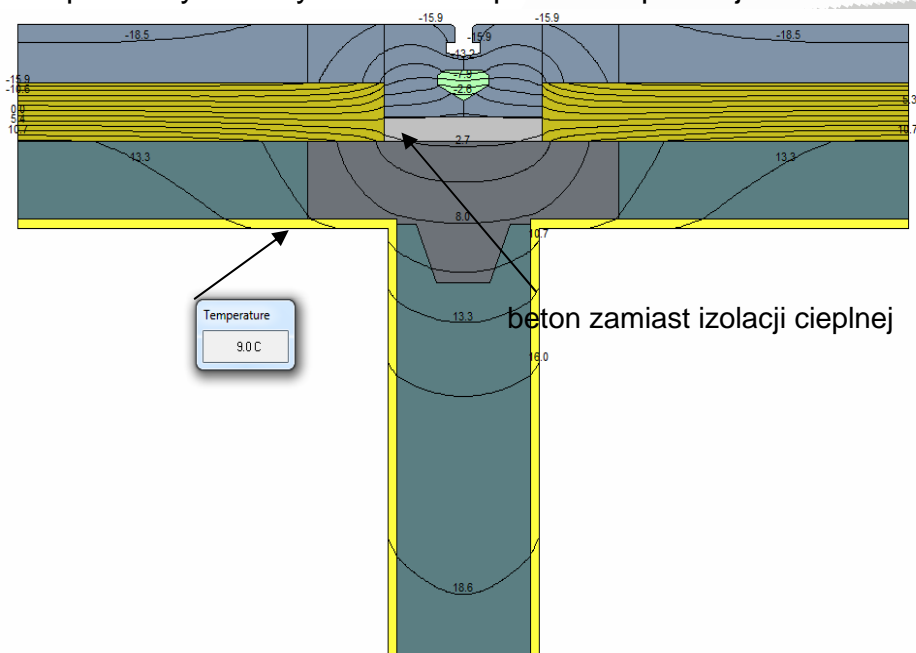
Lp	Nazwa wariantu	Pole powierzchni / Współczynnik przenikania ciepła			Współczynnik strat ciepła $H_T \text{ W/K}$
		A1/U1	A2/U2	A3/U3	
1	U=0,3 W/m2K (2010)	-	-	-	33,3
2	Obliczeniowy	-	-	-	64,4
3	Rzeczywisty	17,75/0,58	71/0,87	22,5/2,27	122,6

Po wykonaniu dodatkowych badań termowizyjnych, zarządca budynku nakazał wykonanie odwiertów kontrolnych w kilku miejscach na wybranych płytach elewacyjnych. Wybrane miejsca wykonanych odwiertów pokazano na rys.10. Odkrywki kontrolne potwierdziły lokalny brak występowania termoizolacji a także miejsca jej pocienienia, potwierdzając wyniki pomiarów termograficznych. Obliczenia charakterystyki energetycznej budynku wykonane bez przeglądu kamerą termowizyjną dałyby znacznie zniekształcone wartości, mniejsze o ok. 50%, niż jest to w rzeczywistości. Również nowoprojektowana grubość izolacji termicznej budynku, bez powyższego stwierdzenia braku występowania lokalnie izolacji termicznej, wiązałyby się z możliwymi zjawiskami kondensacji wilgoci w przegrodzie po wykonanych pracach ociepleniowych.

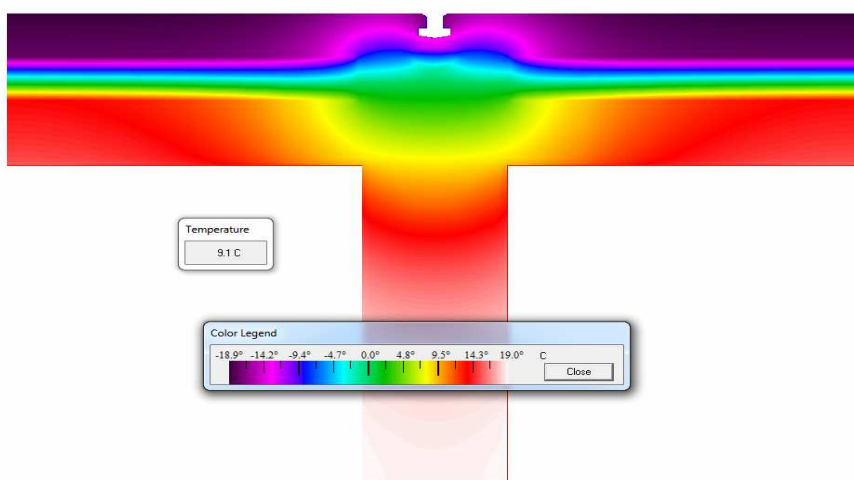


Rys.10. Miejsca wykonanie kontrolnych odwiertów na jednej z płyt [5].

Dobłą metodą diagnostyki cieplnej elementów połączeń przegród w tym połączeń elementów wielopłytowych jest modelowanie mostków termicznych przy użyciu programów komputerowych. Przykład modelu pokazano poniżej.



Rys.11. Model złącza pionowego.



Rys.12. Rozkład pola temperatur 2 D.

Znajomość rozkładu pola temperatury jest podstawowym elementem pozwalającym na prawidłowe zaprojektowanie dodatkowej izolacji cieplnej. Wykonując projekt termomodernizacji budynku projektant powinien wykonać powyższe modelowanie dla występujących w budynku mostków termicznych. Jest to istotne m.in. z punktu widzenia występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (lub w jej wnętrzu) w miejscach mostków termicznych, prowadzących do rozwoju zagrzybienia.

Kolejnym, istotnym z punktu widzenia energochłonności budynku zagadnieniem jest szczelność na przenikanie powietrza. Powszechnie wiadomo, że niekontrolowana infiltracja powietrza przez przegrody budowlane zwiększa energochłonność budynku. Nie każdy jednak zdaje sobie sprawę z tego, że w budynkach o wysokim standardzie energetycznym, może powodować zwiększenie zapotrzebowania na energię użytkową nawet o ok. 40%.

W polskich przepisach wymagania szczelności powietrznej systematycznie są zaostrzane. W aktualnej nowelizacji rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, w załączniku nr 2 „Inne wymagania związane z oszczędnością energii”, w punkcie 2.3. podano szczelność na przenikanie powietrza elementów obudowy budynku jako wymóg projektowy. Dodatkowo sformułowano zalecenia co do szczelności powietrznej budynków (punkt 2.3.3.):

- w budynkach z wentylacją grawitacyjną lub wentylacją hybrydową, szczelność powietrzna $n_{50} < 3,0$ 1/h;
- w budynkach z wentylacją mechaniczną lub klimatyzacją, szczelność powietrzna $n_{50} < 1,5$ 1/h.

Większość budynków była i jest wykonywana niezgodnie z tymi wymaganiami bowiem nie ustanowiono obowiązkowej kontroli powykonawczej. Obecnie w punkcie 2.3.4. warunków technicznych pojawiło się zalecenie, by po zakończeniu budowy budynek mieszkalny, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjny został poddany próbie szczelności. Jest to pewien krok do przodu lecz dopóki zalecenia te nie staną się obowiązkowe, nadal temat szczelności będzie stwarzał problemy.

Dotyczy to także w znacznym stopniu budynków wielkopłytowych, w których zdarza się, że szczelność złącz pozostawia wiele do życzenia.

W celu wyeliminowania niekontrolowanej infiltracji w budynku przeprowadzony powinien zostać test szczelności, najczęściej metodą Blower Door (rys. 13), zgodnie z Polską Normą. Pozwala on na identyfikację stopnia szczelności obudowy budynku a w połączeniu z termowizją, detekcję miejsc niekontrolowanej infiltracji, które poddane być powinny naprawie.



Rys.13. Zestaw do pomiarów szczelności powietrznej budynków Blower Door [5].

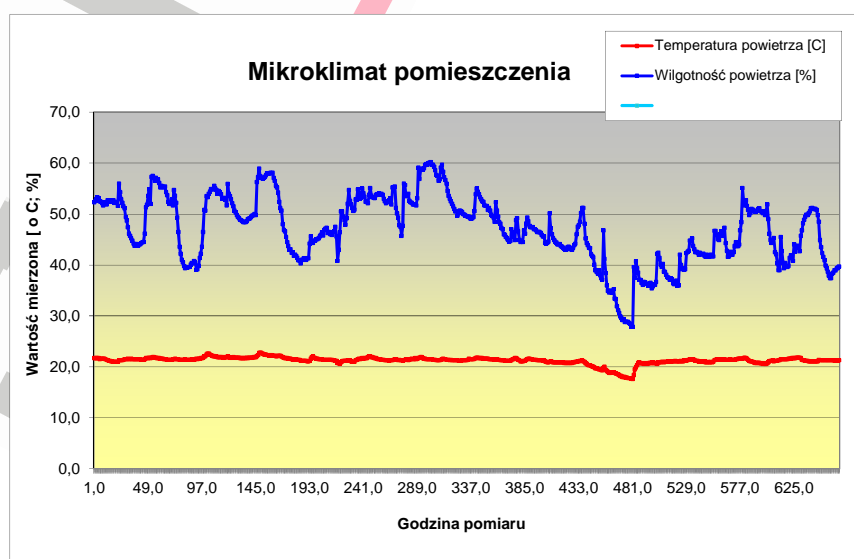
Podniesienie efektywności energetycznej budynku daje wymierne korzyści dla jego użytkowników, widoczne każdorazowo po podsumowaniu sezonu grzewczego – zmniejszenie nakładów finansowych na cele grzewcze w budynku.

Jednakże poza jakością energetyczną, bardzo ważnym zagadnieniem jest prawidłowy mikroklimat wewnątrz pomieszczeń wpływający na komfort ich użytkowania. Podstawowymi parametrami mikroklimatu są temperatura powietrza wewnętrznego i wilgotność względna powietrza. Parametry te, poza istotnym wpływem na odczucie komfortu użytkowania pomieszczeń, mogą znacząco zwiększać ryzyko kondensacji pary wodnej na wewnętrznej powierzchni przegród a w efekcie rozwoju grzybów pleśniowych. Zjawiska te występują głównie w miejscach występowania mostków termicznych w obudowie zewnętrznej, których nie brakuje w budynkach wzniesionych w technologii wielkopłytowej.

Problem utrzymania prawidłowych parametrów mikroklimatu wewnętrznego, poza wadami technicznymi budynku, jest często związany z nieprawidłowym użytkowaniem pomieszczeń. Utrzymywanie, szczególnie w okresie zimowym, zbyt wysokiej temperatury wewnętrznej w połączeniu ze zbyt słabym przewietrzaniem pomieszczeń, powodującym wzrost wilgotności wewnętrznej, stwarza warunki sprzyjające występowaniu opisanych wcześniej zjawisk.

W sytuacjach spornych przeprowadza się często monitoring parametrów wewnętrznych, by określić czy pomieszczenia, w których wystąpiły wymienione nieprawidłowości, były prawidłowo użytkowane przez ich lokatorów.

Monitoring temperatury powietrza i wilgotności przeprowadzać można za pomocą przenośnego rejestratora temperatury i wilgotności. Wyniki zapisywane są w wewnętrznej pamięci urządzenia na bieżąco podczas pomiarów. Programowanie rejestratora (np. ustawienie czas próbkowania, progów alarmowych), odczyt oraz prezentacja i wydruk zapisów odbywa się za pomocą komputera PC po wcześniejszym zainstalowaniu oprogramowania dostarczonego standardowo z przyrządem. Krok czasowy rejestrowania wyników pomiarów ustala się każdorazowo w zależności od specyfiki prowadzonych badań.



Rys. 14. Wyniki pomiarów temperatury i wilgotności [5].

4. Kierunki termomodernizacji budynków

W związku z zaostrzającymi się przepisami w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej oraz zbliżającej się daty (31.12.2020), od której w państwach członkowskich UE wszystkie nowo powstające budynki powinny wykazywać „niemal zerowe zapotrzebowanie na energię” kierunki termomodernizacji będą podążały za planowanymi zmianami legislacyjnymi. Wybiegając w przyszłość przeprowadzono analizę możliwych rozwiązań termomodernizacyjnych w najbliższych 10 latach.

W wybranym do analizy budynku, rozpatrywano wpływ typowych zabiegów termomodernizacyjnych na obniżenie zapotrzebowania na energię użytkową. Wieloletnia praktyka wykonywania audytów energetycznych wskazuje, że najczęściej Inwestor decyduje się na termomodernizację budynku obejmującą przede wszystkim ściany zewnętrzne oraz strop nad ostatnią kondygnacją ogrzewaną (stropodach/dach).

Pozostałe, możliwe usprawnienia, w tym docieplenie stropu nad piwnicą czy wymiana okien (poza częściami wspólnymi budynku) są często pomijane z uwagi na trudności natury technologicznej (niewystarczająca wysokość przestrzeni piwnicznej, uniemożliwiająca wykonanie docieplenia) lub wynikające ze struktury własnościowej (w lokalach własnościowych właściciele wymieniają okna indywidualnie).

W pierwszej kolejności oceniono jakość energetyczną stanu istniejącego a następnie docieplenie przegród rozpatrywano w czterech wariantach:

- WT 2014 – dostosowanie jakości cieplnej (współczynnik przenikania ciepła U) do wymagań warunków technicznych obowiązujących od roku 2014,
- WT 2017 - dostosowanie jakości cieplnej (współczynnik przenikania ciepła U) do wymagań warunków technicznych obowiązujących od roku 2017,
- WT 2021 - dostosowanie jakości cieplnej (współczynnik przenikania ciepła U) do wymagań warunków technicznych obowiązujących od roku 2021,
- NF 15 - możliwy kierunek kolejnej nowelizacji WT przyjęto jako aktualny standard NF 15 wg wytycznych Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW).

Tabela 4. Potencjalne zmiany wymagań izolacyjności cieplnej przegród (współczynnik przenikania ciepła U)

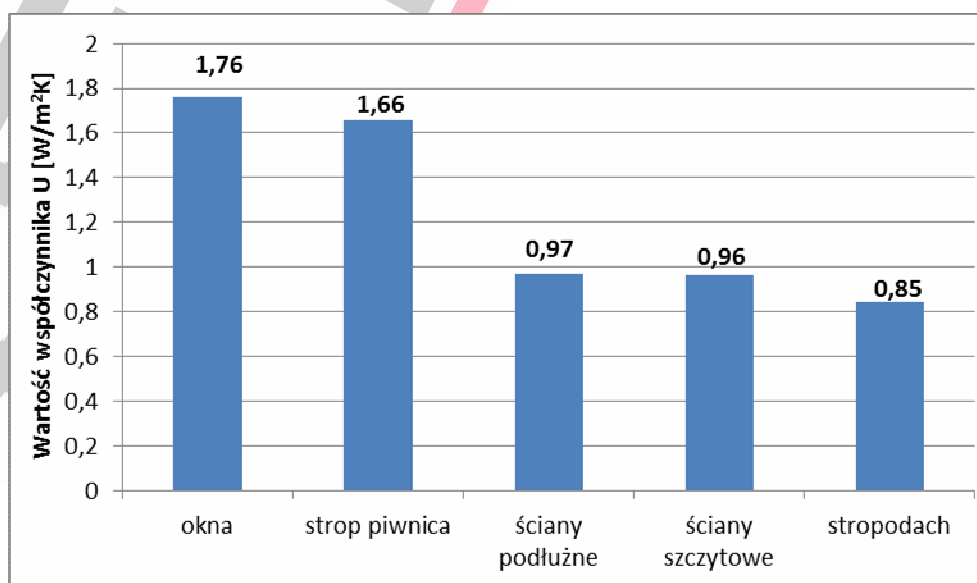
Przegroda	U stan istniejący [W/m ² K]	U WT 2014 [W/m ² K]	U WT 2017 [W/m ² K]	U WT 2021 [W/m ² K]	U NF 15 [W/m ² K]
- ściany zewnętrzne	0,96-0,97	0,25	0,23	0,20	0,15
- dachy, stropodachy	0,85	0,20	0,18	0,15	0,12
- stropy nad piwnicami	1,66	0,25	0,25	0,25	0,15
- okna	1,76	1,30	1,10	0,90	0,80

Przyjęto do analizy budynek mieszkalny, wolnostojący, pięciokondygnacyjny, całkowicie podpiwniczony. Wykonany w technologii wielkopłytowej typu FABUD-FT. Ściany zewnętrzne wielowarstwowe o gr. 25 i 23 cm. Stropy prefabrykowane żelbetowe. Dach został wykonany z płyt prefabrykowanych. Budynek posiada 7 klatek schodowych. Stolarka okienna w części mieszkaniowej oraz na klatkach schodowych wymieniona na nową z PCV. Stolarka w piwnicach stara drewniana.

Założenia przyjęte w obliczeniach energetycznych:

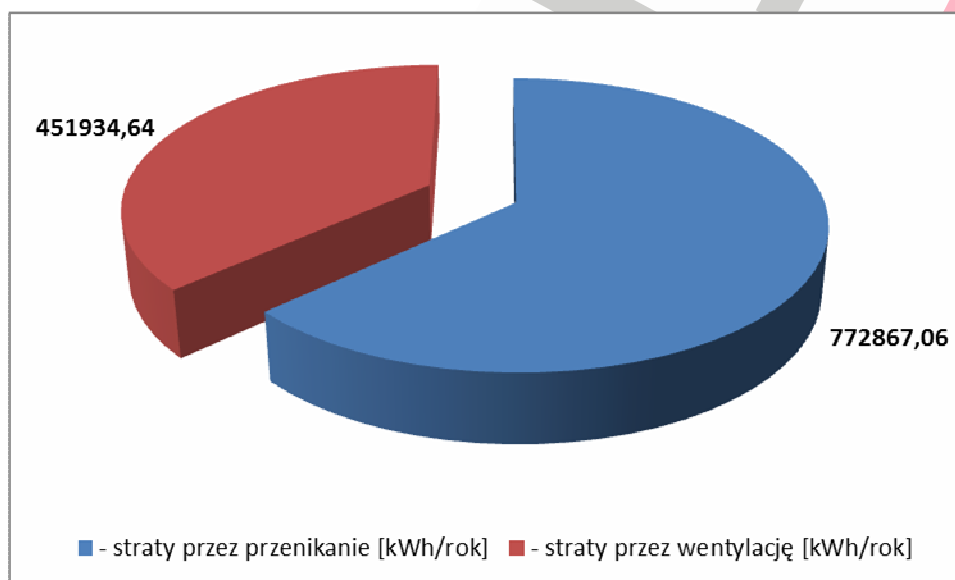
- warunki klimatyczne jak dla miasta Katowice,
- temperatura obliczeniowa w pomieszczeniach mieszkalnych: 20 °C,
- współczynnik osłonięcia przed wiatrem „e” przyjęto dla klasy osłonięcia – średnie osłonięcie, na poziomie 0,07,
- współczynniki przenikania ciepła obliczono zgodnie z normą PN-EN ISO 6946:2008,
- współczynniki przenikania ciepła dla okien obliczono zgodnie z normą PN-EN ISO 10077:2007,
- obliczenia pojemności cieplnej C_m wykonano metodą szczegółową zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku (Dz.U. 2008 nr 201 poz. 1240),
- przyjęto strumień powietrza wentylacyjnego zgodnie z normą PN-83/B-03430/Az3:2000,
- wartości współczynników ψ dla liniowych mostków termicznych przyjęto na podstawie własnych analiz numerycznych.
- obliczenia wykonano w programie ArCADia TERMO 5.3.

Jakość cieplną przegród, wyrażoną poprzez współczynnik przenikania ciepła U , dla stanu istniejącego przedstawiono na rys.15.



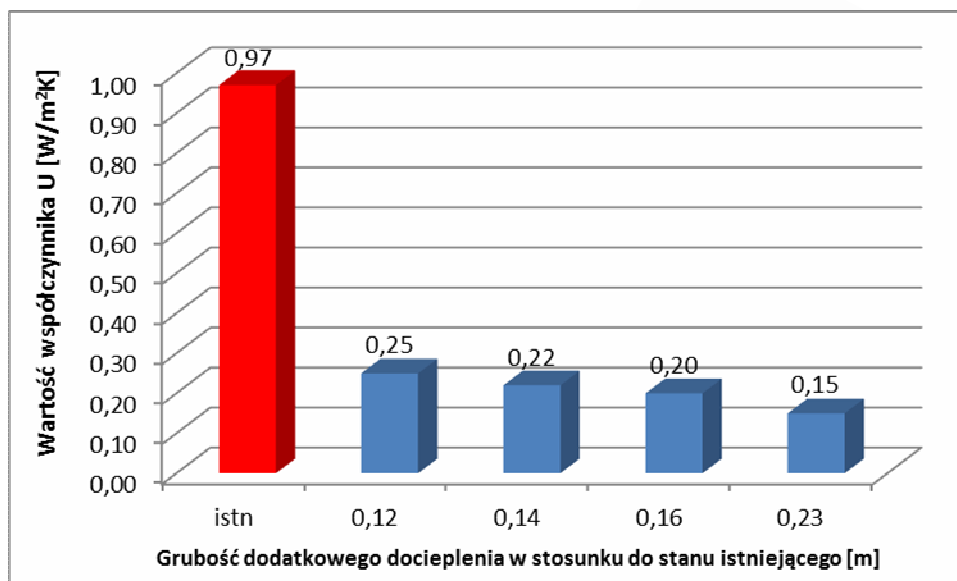
Rys. 15. Współczynniki przenikania ciepła dla przegród w stanie istniejącym.

W pierwszej kolejności dokonano analizy energetycznej stanu istniejącego budynku. Aby rozpoznać potencjał poprawy jakości energetycznej budynku poprzez termomodernizację przegród dokonano obliczeń strat ciepła przez przenikanie przez przegrody ograniczające strefę o regulowanej temperaturze w budynku i na potrzeby podgrzania powietrza wentylacyjnego (rys.16).

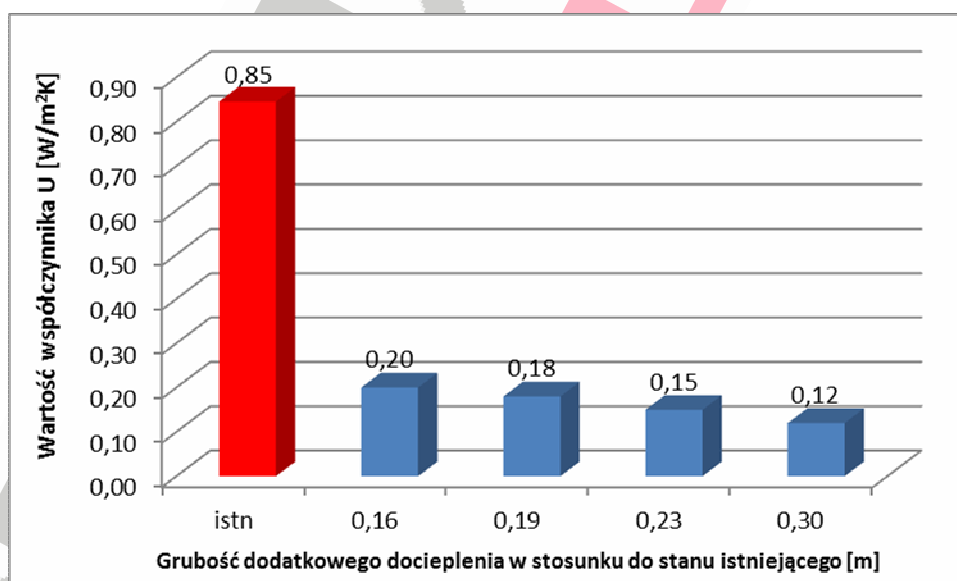


Rys. 16. Straty ciepła w budynku – stan istniejący.

Zauważyć można, że w rozpatrywanym budynku, w stanie istniejącym, straty ciepła przez przenikanie stanowią ok 63% całkowitych strat ciepła. Potencjał termomodernizacji obudowy budynku wydaje się więc znaczący dla poprawy jego bilansu energetycznego. Zgodnie z przyjętymi założeniami w analizach rozpatrywano docieplenie ścian zewnętrznych oraz stropodachu, według przyjętych wariantów obliczeniowych, prowadzących do spełnienia wymagań izolacyjności termicznej przegród. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunkach 17 i 18. Docieplenie ścian zaproponowano typowym materiałem termoizolacyjnym EPS 70-040 (współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$), natomiast stropodachu granulatem wełny mineralnej – metodą wdmuchiwania do przestrzeni stropodachu (współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$). Uzyskanie standardu budynku pasywnego (zgodnie z wytycznymi NFOŚ) jest możliwe przy dociepleniu ścian zewnętrznych i stropodachu odpowiednio 23 i 30 cm materiału termoizolacyjnego. Może to stwarzać pewne utrudnienia technologiczne jak dobór odpowiednio długich łączników do zakotwienia płyt izolacji termicznej do ściany istniejącej i dodatkowe wzmocnienie jej warstwy fakturowej czy konieczność zmiany położenia otworów wentylacyjnych w stropodachu wentylowanym (zasłonięcie istniejących nowym materiałem izolacyjnym o znacznej grubości).



Rys. 17. Izolacyjność termiczna ścian w zależności od grubości materiału termoizolacyjnego.



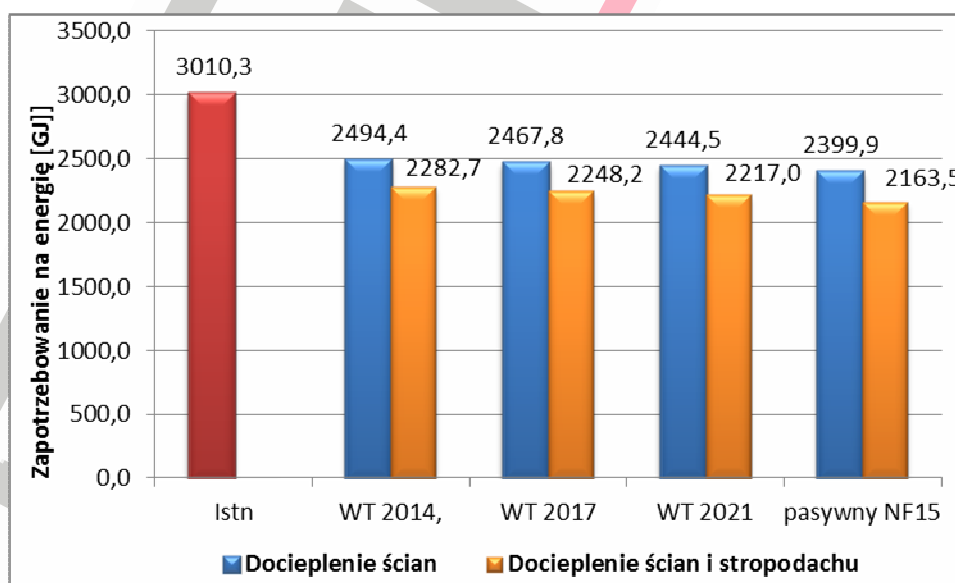
Rys. 18. Izolacyjność termiczna stropodachu w zależności od grubości materiału termoizolacyjnego.

Kolejnym krokiem w wykonywanych analizach energetycznych było zastosowanie wyznaczonych wcześniej grubości dodatkowej izolacji termicznej, odpowiednio dla każdego wariantu (zgodnie z Tabelą 5) i sprawdzenie na ile obniżyło się zapotrzebowanie na energię użytkową w budynku.

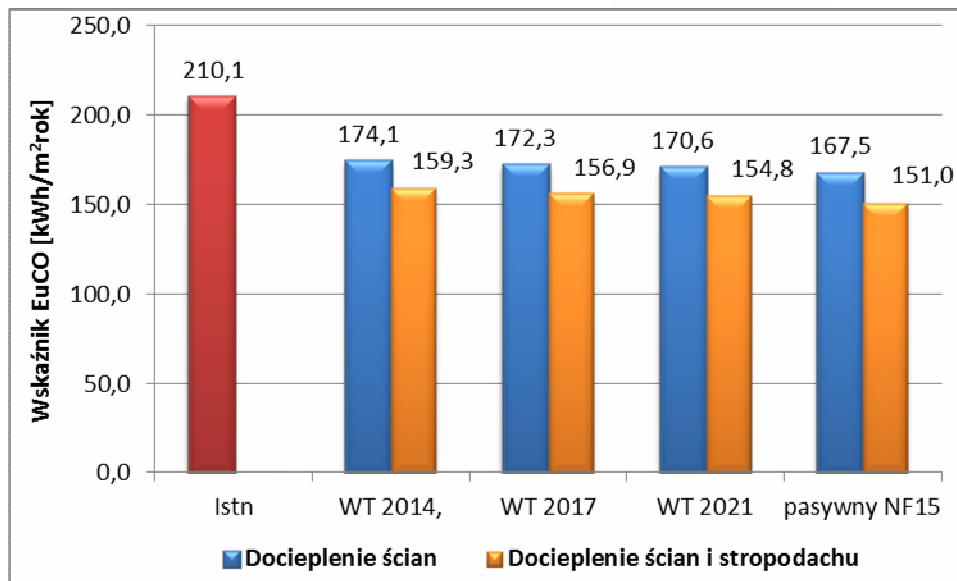
Tabela 5. Przyjęte grubości docieplenia dla każdego wariantu

WARIANT	Ściany zewnętrzne		Stropodach	
	Zwiększenie grubości izolacji termicznej [cm]	U po modernizacji [W/m ² K]	Zwiększenie grubości izolacji termicznej	U po modernizacji [W/m ² K]
- WT 2014	12	0,25	16	0,20
- WT 2017	14	0,22	19	0,18
-WT 2021	16	0,20	23	0,15
- NF 15	23	0,15	30	0,12

Na rysunku 19 przedstawiono jak zmniejszyło się zapotrzebowanie na energię użytkową w wyniku termoizolacji tylko ścian zewnętrznych oraz ścian zewnętrznych i stropodachu. Wraz ze zmniejszeniem zapotrzebowania na energię obniża się także wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową - E_{uCO} (rysunek 20). Trzeba w tym miejscu zwrócić uwagę, że standard budynku niskoenergetycznego to 40 kWh/m²rok a pasywnego 15 kWh/m²rok!

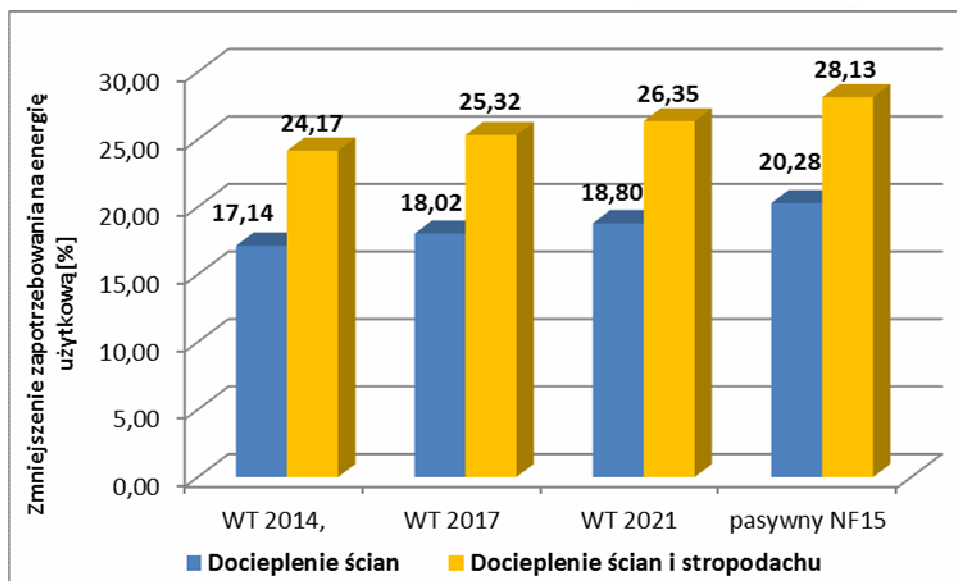


Rys. 19. Obniżenie zapotrzebowania na energię użytkową w budynku dla każdego wariantu.

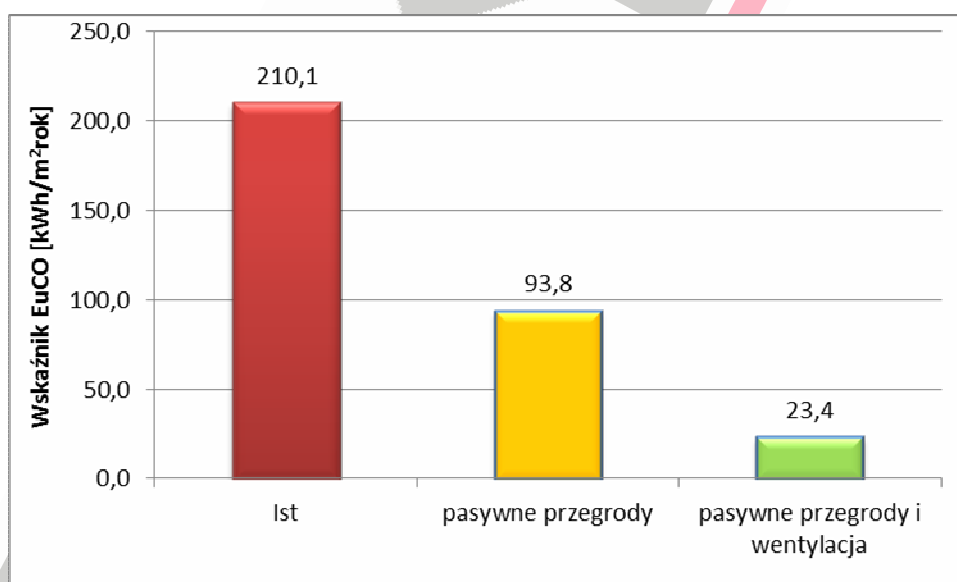


Rys. 20. Obniżenie wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową w budynku dla każdego wariantu.

Pomimo uzyskania przeszło 28% zmniejszenia zapotrzebowania na energię w stosunku do stanu istniejącego (wariant NF 15 przy dociepleniu ścian i stropodachu, rysunek 21), wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową jest 10 krotnie większy od obowiązującego dla standardu pasywnego! Zatem typowe zabiegi termomodernizacyjne (docieplenie ścian zewnętrznych i stropodachu), zgodnie z przyjętymi zmianami w zakresie wymagań izolacyjności termicznej, zastosowane na budynku wielkopłytowym, mogą nie przynieść oczekiwanych efektów energetycznych – zbliżenie budynku do standardu pasywnego. Także hipotetyczne dostosowanie pozostałych przegród (strop nad piwnicą i okna – zmuszenie indywidualnych właścicieli do wymiany) do wymagań przyszłego standardu (np. NF 15) nie daje wystarczającego efektu energetycznego (rys. 22). Nawet zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła o sprawności ok. 90% (wymagane 80%), w miejsce istniejącej wentylacji grawitacyjnej, nie pozwala osiągnąć poziomu energochłonności dla standardu budynku pasywnego. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na niebotyczne nakłady finansowe jakie trzeba by ponieść na wykonanie takiej instalacji i liczne problemy technologiczne utrudniające jej wykonanie (z brakiem technicznych możliwości włącznie). Zatem przedstawione na rysunku 22 wyniki należy traktować jako wielkości hipotetyczne.



Rys. 21. Procentowe obniżenie zapotrzebowania na energię użytkową w budynku dla każdego wariantu.



Rys. 22. Wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową dla dodatkowych zabiegów termomodernizacyjnych.

5. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań i analiz energetycznych dla wybranego budynku wielopłytkowego można sformułować następujące wnioski:

- istnieje znaczny potencjał zmniejszenia energochłonności budynków wielopłytkowych,
- uzyskanie wymaganej efektywności energetycznej budynku jest uzależnione w istotny sposób od przeprowadzenia poprawnej i pełnej diagnostyki cieplnej budynku w stanie istniejącym oraz właściwych rozwiązaniach projektowych,

- typowe zabiegi termomodernizacyjne (docieplenie ścian zewnętrznych i stropodachu) dla analizowanego przykładowego budynku przynoszą 28% zmniejszenie zapotrzebowania na energię użytkową w stosunku do stanu istniejącego. Obliczony wskaźnik Eu_{CO} , na poziomie $151 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$ jest 10-krotnie wyższy od wskaźnika granicznego dla standardu pasywnego, wynoszącego $15,0 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$;
- hipotetyczne doprowadzenie w analizowanym budynku całej obudowy ograniczającej strefę o regulowanej temperaturze do standardu pasywnego i wprowadzenie systemu wysokosprawnej wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła na poziomie ok. 90%, nie pozwoli na uzyskanie granicznego wskaźnika dla standardu pasywnego ($23,4 > 15,0 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$);
- możliwość modernizacji budynku w kierunku standardu pasywnego jest ściśle związana z jego orientacją względem stron świata (pasywne zyski ciepła od promieniowania słonecznego).
- termomodernizacja obejmująca jedynie obudowę budynków wielkopłytowych może być skuteczna tylko do pewnego momentu. Dalsze zwiększanie grubości izolacji termicznej nie skutkuje znacznym obniżeniem zapotrzebowania na energię.
- potencjał termomodernizacji budynków wielkopłytowych jest wysoki, jednakże doprowadzenie ich do standardu pasywnego może być bardzo trudne lub wręcz niemożliwe (wprowadzenie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, zwiększenie stopnia przeszklenia ścian zewnętrznych);
- zagadnienia szczelności budynków wielkopłytowych, w odniesieniu do obudowy zewnętrznej, sposobu mocowania stolarki okiennej oraz rozwiązań w zakresie wentylacji, powinny być poddane szczegółowym badaniom i analizom przy wykorzystaniu metody Blower Door, w kontekście nie pogarszania mikroklimatu wewnątrz przy poprawie jakości energetycznej budynków,
- jeżeli uwarunkowania techniczne i finansowe pozwalałyby na kompleksową termomodernizację obudowy budynku i wprowadzenie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła w miejsce istniejącej wentylacji grawitacyjnej, możliwe jest osiągnięcie standardu niskoenergetycznego ($Eu_{COMAX} = 40 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$).

6. Literatura

- [1] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [2] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 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 ich charakterystyki energetycznej, listopad 2008.
- [3] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. poz. 926.

- [4] PN-EN 13187 Właściwości cieplne budynków – Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – metoda podczerwieni.
- [5] Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego „STEKRA” – materiały własne.
- [6] Wytyczne zabezpieczenia przed przeciekami i przemarzaniem ścian zewnętrznych z wielkowymiarowych prefabrykatów warstwowych w wykonanych budynkach mieszkalnych, Instrukcja ITB 128, Warszawa 1972.

STEKRA