
Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych

OCENA JAKOŚCI TERMICZNEJ, PRZEBUDOWY BUDYNKU UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ, POŁĄCZONEJ Z POPRAWĄ JEGO CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ

Wiesław SAROSIEK
Politechnika Białostocka, Białystok

Streszczenie

W artykule przedstawiono kompleksową ocenę przebudowy połączonej z termomodernizacją budynku służby zdrowia. Wykonane pomiary oraz obliczenia potwierdzały spostrzeżenia użytkowników i wskazywały na błędy popełnione podczas wykonywania robót. Analiza zużycia energii w sezonie ogrzewczym oraz obliczenia potwierdziły wstępną diagnozę. W podsumowaniu wskazano na dużą skuteczność pomiarów termowizyjnych i HFM w diagnostyce cieplnej budynku.

Słowa kluczowe: jakość termiczna, budynek użyteczności publicznej, charakterystyka energetyczna, diagnostyka cieplna.

Abstract

In 2010 reconstruction combined with thermal modernisation was carried out in the public building. Thermal characteristics of the building according to the project of modernisation was to be much improved, which should also improve thermal comfort of the rooms. During the first two years of operation after the completion of the modernization there were no expected effects according to the users of the object.

Actual heat transfer coefficients of partition were determined as the result of thermal imaging of the building and measurements of the heat flux and temperature coefficients. Energy consumption, heat and electricity for heating of the building were analysed. Calculation results for the six established operational conditions have been compared with the actual energy consumption for the applied computing terms and conditions.

Heat transfer coefficients determined by measurements were on average of 65% worse than projected one. Infrared images enabled the location and the approximate range of manufacturing defects. Based on the analysis of assumed variants operation of the building and energy consumption measurements it was found that the energy performance after the refurbishment is about of 33% worse than expected.

Measurements (HFM) and thermovision available now (allowing an evaluation of thermal parameters of partitions) are great tools for evaluation of the works related to the thermal quality of the building.

Correlating the measurements with calculation allows the correct assessment of a building's energy quality, which leads to further proposals, for example, regarding to the merits, scope and possible repair profitability.

Key words: thermal quality, public building, energy characteristics, thermal diagnostics.

1. WSTĘP

W budynku użyteczności publicznej w 2010 roku przeprowadzona została przebudowa połączona z modernizacją termiczną bryły. Charakterystyka termiczna budynku zgodnie z projektem modernizacji powinna zostać znacznie poprawiona, co powinno także wpłynąć na poprawę komfortu termicznego pomieszczeń budynku. Zdaniem użytkowników obiektu podczas pierwszych dwóch lat eksploatacji po wykonaniu modernizacji nie zanotowano efektów, których można się było spodziewać.

Wykonano analizę zużycia ciepła na cele centralnego ogrzewania budynku a także badania termowizyjne oraz pomiary strumienia ciepła. Celem było wskazanie ewentualnych przyczyn obniżonych wartości temperatury wewnętrznej w niektórych pomieszczeniach budynku oraz zwiększonego zużycia ciepła a także lokalizacja ewentualnych miejsc o obniżonej izolacyjności termicznej (termowizja).

W referacie przedstawiono kilka scenariuszy użytkowania budynku i wskazano na najbardziej prawdopodobny wykazujący najmniejsze rozbieżności w stosunku do zanotowanego zużycia ciepła (rzeczywistego). Wskazano na pomiary HFM i badania termowizyjne jako skuteczne elementy diagnostyki cieplnej budynków.

2. OPIS OBIEKTU

Analizowany obiekt to budynek parterowy, niepodpiwniczony, barakowy, na planie prostokąta, wzniesiony w latach 70-tych XX wieku, w konstrukcji drewnianej, szkieletowej. W 2010 r. budynek przebudowano i nieznacznie rozbudowano (przebudowano istniejący wcześniej wąski łącznik pomiędzy dwiema częściami budynku by całość stanowiła jedną kubaturę). Zdemontowano drewniane ściany pośrednie wspierające dźwigary, a w ich miejsce wykonano dwie podłużne ściany murowane z bloczków z betonu komórkowego. Pomiędzy elementami konstrukcji dachu poddanymi naprawie i wzmocnieniu zastosowano (w pasie dolnym) wełnę mineralną o grubości 18 cm. Dach dwuspadowy o kącie nachylenia 12° pokryto blachą. Ściany zewnętrzne zostały docieplone wełną mineralną rozprężną o grubości 12 cm umieszczoną pomiędzy elementami konstrukcji. Od strony zewnętrznej zastosowano wiatroizolację na ruszcie drewnianym oraz blachę również na ruszcie. Od strony wewnętrznej ściany wykończono płytami gipsowo-kartonowymi na ruszcie stalowym. Podwalina ścian została docieplona wełną mineralną o grubości 4 cm.

Sala konferencyjna wyposażona jest w wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną. W pozostałych pomieszczeniach występuje wentylacja grawitacyjna z napływem świeżego powietrza przez nieszczelności (lub celowe rozszczelnianie) stolarki okiennej. W pomieszczeniach higieniczno-sanitarnych (takich jak toalety, szatnie, umywalnie, pomieszczenia gospodarcze i pomieszczenia na odpady wentylacja grawitacyjna wspomagana jest wentylatorami elektrycznymi wyciągowymi sprzężonymi z oświetleniem.

Dane wymiarowe budynku: długość budynku 14,94 m, szerokość 62,52 m, wysokość pomieszczeń 2,80 m i 3,00 m w sali konferencyjnej, powierzchnia użytkowa budynku 829,50 m², kubatura budynku 2 875,5 m³.

Budynek wyposażony jest w instalację c.o. przyłączoną do kotłowni osiedlowej. Ciepła woda użytkowa przygotowywana jest w podgrzewaczach elektrycznych.

3. PREZENTACJA PROBLEMU; ZAŁOŻENIA DO OBLICZEŃ; POMIARY

Problem

Podczas dwóch pierwszych sezonów ogrzewczych po wykonaniu termomodernizacji, użytkownicy budynku zgłaszali brak komfortu termicznego (głównie niską temperaturę w pomieszczeniach a także sporadycznie zbyt duży ruch chłodnego powietrza). Ponadto zdaniem Zarządcy budynku rachunki za zużyta energię ciepłą były zbyt wysokie jak na budynek po termomodernizacji. Zgłaszano także potrzebę sporadycznego dogrzewania niektórych pomieszczeń w budynku.

Założenia do obliczeń

W celu sprawdzenia jakości wykonania prac termomodernizacyjnych i ewentualnego potwierdzenia w/w spostrzeżeń zaproponowano wykonanie:

- przeglądu termowizyjnego budynku,
- pomiarów strumienia ciepłego i temperatur w wybranych wrywkowo miejscach przegród zewnętrznych (w celu wyznaczenia rzeczywistych współczynników przenikania ciepła),
- obliczeń zapotrzebowania na ciepło wg różnych scenariuszy (wariantów) oraz analizy rzeczywistego zużycia energii cieplnej i elektrycznej.

Na potrzeby niniejszego opracowania wykonano obliczenia sześciu założonych wariantów eksploatacji przedmiotowego budynku:

W1/ zgodny ze stanem projektowanym przy przyjęciu współczynników przenikania ciepła poszczególnych przegród na podstawie projektu (wewnętrzna temperatura wg projektu średnio 20,6°C; strumień powietrza wentylacyjnego - krotność wymian 0,5[1/h]),

W2/ zgodny ze stanem projektowanym przy przyjęciu współczynników przenikania ciepła poszczególnych przegród na podstawie projektu (wewnętrzna temperatura wg projektu średnio 20,6°C; wentylacja - 0,5 wymiany korytarze, pokoje biurowe, gabinety i sala konferencyjna 1 wymiana, WC 30 [m³/h]),

W3/ przy założeniu współczynników przenikania ciepła głównych przegród (ściany i strop pod nieogrzewanym poddaszem zgodnie z wynikami uzyskanymi z pomiarów wrywkowych (wewnętrzna temperatura obniżona zgodnie z oświadczeniem użytkowników średnio 17°C; wentylacja – krotność wymian na poziomie 0,5 [1/h]),

W4/ jak wyżej lecz przy założeniu podwyższonej ilości powietrza wentylacyjnego jak w wariancie 2,

W5/ jak W3 ale średnia temperatura wewnętrzna 20,6°C,

W6/ jak W4 ale średnia temperatura wewnętrzna 20,6°C.

Obliczenia wykonano przy pomocy programu komputerowego Audytor OZC 3D wersja 5.0, dla danych meteorologicznych ze stacji Białystok.

Pomiary

W kilku pomieszczeniach budynku wykonano pomiary gęstości strumienia ciepła miernikiem typu HFM (Ahlborn Almemo 2490) i skorelowane z nimi pomiary wartości temperatury zewnętrznej i wewnętrznej. Pomiary wykonywano w kilku punktach na ścianach zewnętrznych i na stropie pod przestrzenią nieogrzewaną.

Wartość współczynnika przenikania ciepła U wyznaczano z zależności:

$$U = \frac{q}{(t_i - t_e)} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Gdzie:

q - gęstość strumienia ciepła [W/m^2],

t_i, t_e – temperatura powietrza po stronie wewnętrznej i zewnętrznej

Wyznaczone uśrednione wartości dla poszczególnych punktów na ścianach zewnętrznych to:

$U_3 = 0,66 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ i $U_4 = 0,39 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Dla punktów na stropie to:

$U_1 = 0,34 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ i $U_2 = 0,47 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Konstrukcja ściany (pustki powietrzne po stronie wewnętrznej i zewnętrznej) powodują, iż wyniki pomiarów strumienia ciepła mogą być zróżnicowane niekoniecznie w zależności od jakości przegrody w danym miejscu pomiarowym. Zróżnicowanie wyników może wynikać z ruchu powietrza po obu stronach przegrody (pod wewnętrzną i zewnętrzną warstwą osłonową). Z drugiej strony ruch powietrza w szczelinach powoduje uśrednianie wyniku (z najlepszych i najgorszych miejsc przegrody) rejestrowanego przez czujnik strumienia ciepła.

Przegląd termowizyjny pokazał znaczące różnice wartości temperatury na powierzchniach wewnętrznych przegród zewnętrznych (pomimo opisanej wcześniej konstrukcji ściany „wyrównującej” temperaturę powierzchni). Największe różnice dochodziły do $7,8^\circ\text{C}$ w warunkach temperatury zewnętrznej na poziomie ok. $+2^\circ\text{C}$.



Rys. 1. Przykładowy termogram fragmentu elewacji budynku

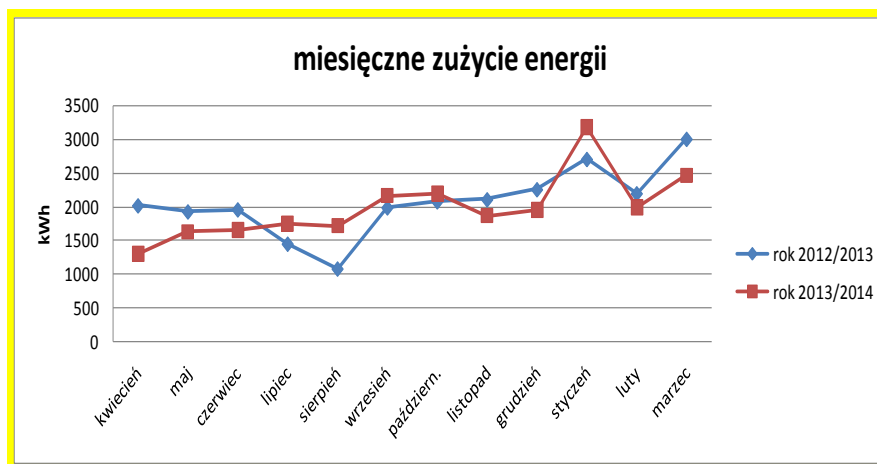
Analiza poszczególnych termogramów pozwoliła na wskazanie najgorszych pod względem termicznym miejsc (największych wad w wykonanych robotach). Na rys. 1 poniżej przykładowy termogram przedstawiający fragment elewacji budynku (jeden z kilkudziesięciu wykonanych w opisywanym obiekcie).

4. ANALIZA DANYCH EKSPLOATACYJNYCH I WYNIKÓW OBLICZEŃ

Wyniki obliczeń zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych wariantów opisanych w pkt 3 zamieszczono w tab. 1. W zestawieniu uwzględniono zarówno energię użytkową jak i końcową (także wskaźniki EU i EK) ale do porównań z danymi pomiarowymi posłużyła energia końcowa.

Ze względu na fakt, iż niektóre pomieszczenia użytkownicy podczas pracy dogrzewali grzejnikami elektrycznymi do energii cieplnej zużytej na potrzeby ogrzewania w przedmiotowym budynku należało dodać zużycie energii elektrycznej. Z całkowitej

zarejestrowanej ilości energii (na podstawie analizy jej miesięcznego zużycia) wydzielono energię, która z dużym prawdopodobieństwem została zużyta na potrzeby ogrzewania. Na rys. 2 poniżej zamieszczono wykres z ostatnich 2 lat obrazujący zwiększoną „konsumpcję” energii elektrycznej w okresie ogrzewczym. Zwraca uwagę zwiększone zużycie energii w sytuacji najniższych spadków temperatury (miesiące styczeń i marzec miały temperaturę średnią niższą od pozostałych miesięcy sezonu ogrzewczego).



Rys.2. Zużycie energii elektrycznej w latach 2102-2014

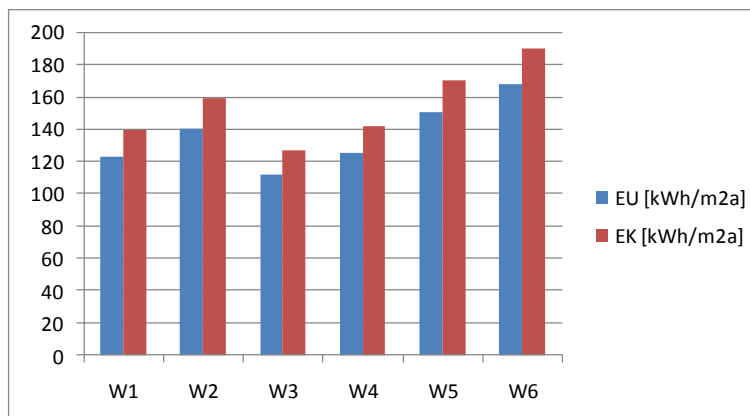
W tab. 1 znajdują się wyniki obliczeń założonych sześciu wariantów zużycia energii.

TABELA 1.

Zestawione wyniki obliczeń

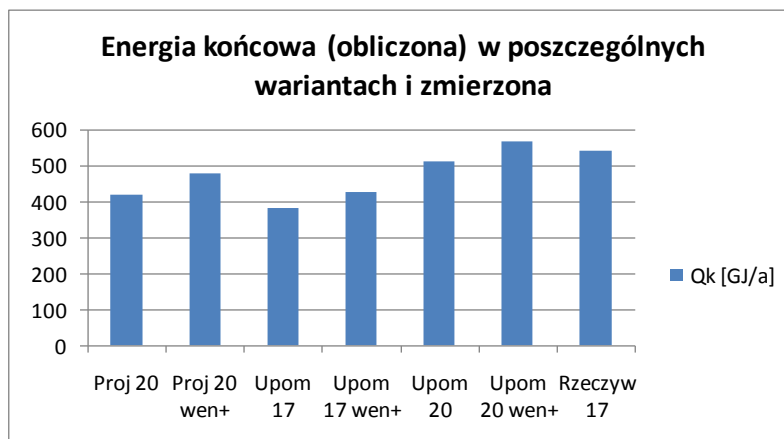
Parametr energetyczny	warianty						
	1	2	3	4	5	6	
obciążenie ciepłe budynku	43,12	48,73	46,61	51,64	51,98	57,59	W
zapotrzebowanie na ciepło (energia użytkowa)	369,49	420,59	335,78	376,05	450,28	501,55	GJ
EU	123,7	140,80	112,40	125,9	150,80	168,00	kWh/m ² rok
zapotrzebowanie na ciepło (energia końcowa):	418,21	476,05	380,06	425,64	509,65	567,69	GJ
EK	140,01	159,37	127,22	142,50	170,68	190,15	kWh/m ² rok

Na rys. 3 przedstawiono wskaźniki energii użytkowej i końcowej wyznaczone dla wszystkich założonych wariantów eksploatacji budynku.



Rys. 3. Wskaźniki zapotrzebowania na energię użytkową i końcową wszystkich wariantów

Rys. 4 przedstawia wyznaczone dla poszczególnych wariantów energie końcowe oraz rzeczywiste zużycie energii zmierzone w sezonie ogrzewczym. W celu umożliwienia porównań energię zmierzoną przeliczono na sezon standardowy.



Rys. 4 Energia końcowa dla poszczególnych wariantów eksploatacyjnych i rzeczywista przeliczona na warunki obliczeniowe

Przy założeniu warunków obliczeniowych zgodnie z projektem budynek powinien zużyć 418,21 GJ energii cieplnej natomiast przy założeniu zwiększonej wentylacji (krotność wymian powyżej 0,5 [1/h]) nawet 476,05 GJ. Natomiast przy założeniu współczynników przenikania ciepła U głównych przegród (ściany i strop pod nieogrzewaną przestrzenią wentylacyjną) zgodnych z wynikami pomiarów oraz obniżeniu temperatury wewnętrznej do poziomu 17°C energia ta powinna wynieść 380,06 GJ i 425,64 GJ (przy jednoczesnym zwiększeniu wentylacji jak w wariantcie W2). Wartości wyznaczone na podstawie zarejestrowanych odczytów liczników (energii cieplnej i elektrycznej) i sprowadzone do sezonu standardowego i standardowej – projektowanej temperatury wewnętrznej wynoszą:

- ✓ 438,0 GJ przy założeniu, że wewnątrz panowała przeciętna temperatura 20,6°C (jak w stanie projektowym),
- ✓ 539,9 GJ przy założeniu, że panowały obniżone wartości temperatury wewnętrznej (do 17°C).

Wg oświadczenia użytkowników, w sezonie ogrzewczym wartości temperatury wewnętrznej w pomieszczeniach znacznie odbiegały w dół od normatywnych – stąd dogrzewanie pomieszczeń energią elektryczną (wzięte pod uwagę w analizie energii z pomiarów).

Z analizy obliczeń oraz przeliczonego na sezon standardowy rzeczywistego zużycia energii wynika, iż zużycie energii zanotowane jest wyższe od projektowanego o 138,9 GJ (przy przyjętych w opracowaniu założeniach).

Obliczone wielkości zapotrzebowania na ciepło przedmiotowego budynku dla wyznaczonych na podstawie pomiaru wartości współczynników przenikania ciepła U przy założeniu projektowanej temperatury wewnętrznej (20,6°C) wynosi 509,65 GJ lub 567,69 GJ (zależnie od mniejszego lub podwyższonego strumienia powietrza wentylacyjnego).

Wartość energii cieplnej zmierzona i sprowadzona do warunków obliczeniowych wynosi 539,9 GJ przy założeniu, że panowała wewnątrz średnio w całym sezonie ogrzewczym temperatura 17°C. Wartości te są z dokładnością do plus/minus 5% zgodne

co świadczy o poprawności przyjętych do obliczeń założeń oraz poprawnych wartościach parametrów termicznych głównych przegród wyznaczonych na podstawie pomiarów strumienia ciepła. Z porównania ich wynikać może, iż na przykład ilość powietrza wentylacyjnego jest w rzeczywistości na pośrednim poziomie (pomiędzy przyjętymi do obliczeń wartościami) lub, że temperatura średnia wewnątrz była wyższa lub niższa od 17°C (zależnie od rzeczywistego strumienia powietrza wentylacyjnego).

5. PODSUMOWANIE

Dostępne w obecnej chwili pomiary (HFM) oraz przeglądy termowizyjne pozwalające na ocenę parametrów cieplnych przegród są znakomitym narzędziem pozwalającym na ocenę robót związanych z jakością termiczną budynku.

Skorelowanie pomiarów z obliczeniami pozwala na dokonanie poprawnej oceny jakości energetycznej budynku, co prowadzi do dalszych wniosków na przykład odnośnie zasadności, zakresu i opłacalności ewentualnej naprawy.

W omawianym przypadku wartości współczynników przenikania ciepła (U) podstawowych przegród zewnętrznych (ściany zewnętrzne i strop pod nieogrzewaną przestrzenią) wyznaczone na podstawie przeprowadzonych pomiarów strumienia ciepła i temperatury wewnętrznej są odpowiednio o ok. 60% i 70% wyższe od obliczonych na podstawie projektu, co z kolei doprowadziło do zwiększonego o ok. 33% zapotrzebowania na ciepło przedmiotowego budynku (w stosunku do stanu projektowanego).

Pomimo specyficznej konstrukcji ścian zewnętrznych (pustki powietrzne po wewnętrznej i zewnętrznej stronie) w zasadzie wykluczającej dokładną lokalizację mostków termicznych przegląd termowizyjny był bardzo pomocny w poprawnej diagnozie stanu budynku.

Błędy wykonawcze które spowodowały pogorszenie izolacyjności termicznej przegród przyczyniają się nie tylko do zwiększonego zużycia ciepła ale również do obniżonej temperatury wewnętrznej w pomieszczeniach co z kolei powoduje konieczność ich dogrzewania za pomocą energii elektrycznej.

Analiza zużycia energii elektrycznej pozwala na dość dobrą ocenę jej udziału w bilansie ciepła budynku (energii elektrycznej zużytej na potrzeby dogrzewania pomieszczeń); w analizowanym przypadku udział ten przekroczył 3% całkowitego zużycia energii cieplnej.

Literatura

1. Sarosiek W., Sadowska B.: Opinia techniczna dotycząca budynku użyteczności publicznej, na prawach rękopisu, Białystok 2014.
2. PN-EN ISO 6946 „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczeń”,
3. PN-83/B-03430Az3:2000 „Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej”,
4. PN-EN ISO 13790:2009 „Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia”.
5. PN-EN ISO 12831 „Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowanego obciążenia cieplnego”.