

# ANALIZA ZMNIEJSZENIA ZAPOTRZEBOWANIA CIEPŁA PRZEZ CZYNNIKI SPRAWCZE TERMOMODERNIZACJI KOMPLEKSOWEJ

M. Owczarek, S. Owczarek

Katedra Budownictwa Ogólnego i Infrastruktury Wojskowej  
Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

## STRESZCZENIE

Zaprezentowano metodę obliczenia wpływu czynników sprawczych termomodernizacji kompleksowej na zapotrzebowania ciepła w budynku. Budynek przed termomodernizacją ma niską charakterystykę energetyczną. Analizowano zmniejszenie strat ciepła, ciepła i zwiększenie energii dostępnej z promieniowania słonecznego poprzez poprawę struktury obudowy budynku w wyniku zastosowania czynników termomodernizacji. Wyodrębniono pojedyncze czynniki sprawcze termomodernizacji kompleksowej: podwyższenie izolacyjności, rekuperacje powietrza wentylacyjnego, wymianę okien i zastosowania zmiennej w czasie roku struktury obudowy budynku i kolektorów słonecznych. Wyprowadzono zależności na określenie wpływu pojedynczego czynnika na wartość rocznego zapotrzebowania ciepła w budynku. Rozważania teoretyczne udokumentowano przykładami liczbowymi.

## WPROWADZENIE

W artykule rozpatrywano budynek, który został poddany termomodernizacji. Zajmowano się określeniem różnicy zapotrzebowania ciepła w budynku przed i po termomodernizacji (zmniejszenie, przyrost ujemny). Istnieje wiele programów do obliczenia zapotrzebowania ciepła w budynku. W charakterystyce „Recast” położono nacisk na uwzględnienie pojemności cieplnej i określenie sezonu grzewczego. W programach z lat ubiegłych sezon ogrzewania przyjmowano standardowy np. Warszawa 222 dni, Suwałki 250 dni – niezależnie od charakterystyki budynku. Tak dla budynku przed jak i po termomodernizacji. Jest to oczywiście sprzeczne z Dyrektywą. Celem niniejszego artykułu jest określenie zmniejszenia zapotrzebowania ciepła i liczby dni sezonu grzewczego w wyniku zastosowania środków sprawczych termomodernizacji.

## IDEALIZACJA ZAGADNIENIA

W niniejszym podejściu problem rozwiązywano w trzech etapach. W pierwszym etapie określono zapotrzebowanie ciepła w budynku przed

termomodernizacją (budynek bazowy). Przedstawiono ten etap w referacie [3]. W drugim etapie rozważano poprawę charakterystyki budynku przez ulepszenia izolacyjności budynku. Rozważano następujące środki sprawcze: poprawę izolacyjności, wentylacji i wymiany okien. W trzecim etapie zastosowano obudowę o zmiennej w czasie strukturze ścian. Odróżniono dwa zagadnienia: analizy wpływu izolacyjności i dostępności energii promieniowania słonecznego (transparentności ścian) na zapotrzebowanie ciepła w budynku.

Problem rozwiązywano metodą wariantowania.

Pierwszym wariantem jest budynek bazowy o nie zadawalającej charakterystyce energetycznej.

Budynek ten przeznaczono do termomodernizacji i oznaczono symbolem B<sub>1</sub>. Na podstawie B<sub>1</sub> przedstawiono analizę zbioru B<sub>2</sub> wariantów termomodernizacji budynku.

Wyróżniono tu dwa główne warianty: w pierwszym minimalizowano straty ciepła w budynku. Budynek ten oznaczono symbolicznie przez B<sub>21</sub>. W drugim analizowano wpływ dostępności promieniowania słonecznego na zapotrzebowanie ciepła w budynku. Budynek ten oznaczono symbolem B<sub>22</sub>. Warianty główne analizowano grupami wariantów składowych. Narzędziem analizowania wariantów są bilanse cieplne.

Budynek B<sub>21</sub> wariantowano ze względu na współczynnik strat H. Parametry opisujące stan budynku to współczynnik przenikania ściany u<sub>s</sub>, Izolacyjność okna u<sub>o</sub>, współczynnik przezroczystości okna g. Istotnym parametrem oceny jest bilans 1 m<sup>2</sup> ściany i okna.

W bilansie ściany  $b_{j21}^s$

$$b_{j21}^s = u_s \cdot \frac{sd(m) \cdot 24}{1000} \quad (1)$$

występują współczynniki strat, różnica temperatur i czas miesiąca.

W bilansie okien 1 m<sup>2</sup>  $b_{j21}^o$ .

$$b_{j21}^o = u_{ok} \cdot \frac{sd(m) \cdot 24}{1000} - \eta_{H,gn} \cdot g \cdot Z \cdot l_i \cdot k_\alpha \quad (2)$$

występuje współczynnik strat okien, współczynnik przezroczystości, efektywność wykorzystania zysków ciepła, promieniowanie i czas miesiąca.

Bilans całkowity ściany jest sumą bilansów jednostkowych ściany i okna pomnożonych przez powierzchnie. Oznaczono go  $b_{21}^c$

$$b_{21}^c = b_{j21}^s F_{netto} + b_{j21}^o F_{ok} \quad (3)$$

Budynek B<sub>22</sub>. Każda ściana jest albo przezroczysta o ustalonym  $g$  i  $u$  albo nieprzezroczysta o danym  $u$  albo częściowo przezroczysta o ustalonym procencie oszklenia. Ściana przezroczysta ma bilans jednostkowy okna  $b_{j21}^o$ . A ściana nieprzezroczysta bilans jednostkowy ściany  $b_{j21}^s$ . Ściana częściowo przezroczysta zawiera w sobie elementy bilansu  $b_{j21}^o$  jak i  $b_{j21}^s$ .

Bilans całkowity jest iloczynem bilansu jednostkowego i powierzchni całej ściany.

$$b^c = b_{j21}^o \cdot F_{śc} \quad , b^c = b_{j21}^s \cdot F_{śc} \quad (4)$$

### GRUPY WARIANTÓW ROZWIĄZANIA

Problem zmniejszenia zużycia energii w budynku rozwiązano metodą dekompozycji w dwóch grupach wariantowania rozwiązania. W pierwszej grupie założono niezmiennosc obudowy budynku w ciągu całego roku. W tym przypadku zmniejszenie zapotrzebowania zależy jedynie od poprawy izolacyjności. Problem ten przedstawiono w następnym punkcie niniejszego artykułu. W drugiej grupie czynników sprawczych założono zmienność struktury ścian zewnętrznych w ciągu roku. Na poszczególnych fasadach o określonej orientacji azymutu będzie zastosowana w kolejnych miesiącach struktura albo transparentna lub też nie transparentna. O przypisaniu transparentności będzie decydował wynik bilansu energetycznego ściany (budowa nie transparentna) i okna obudowa transparentna. Lepszy z dwóch wyników determinował przyjęcie w projekcie rodzaju struktury obudowy.

### MINIMALIZACJA STRAT CIEPŁA BUDYNKU

Działanie w każdej grupie podzielono na etapy. Powracając do pierwszej grupy termomodernizacji w pierwszym etapie określano sezon grzewczy w wariantach poprzez udoskonalenie budynku bazowego kolejno przyjmując pojedyncze środki sprawcze. W artykule sezon przed termomodernizacją oznaczony jest przez  $D_b$ , a po termomodernizacji przez  $D_t$ . Długość sezonu przed termomodernizacją  $D_b$  przy wszystkich środkach jest taki sam natomiast po termomodernizacji  $D_t$  jest inny dla każdego środka poprawy. Zwraca się uwagę, że w tym kroku nie określa się sumy strat w sezonie ogrzewania.

W drugim etapie określono przyrost (ujemny) zapotrzebowania ciepła budynku na skutek zastosowania środka. Jest to miernik, który stanowi przedmiot zainteresowania wszystkich rozporządzeń o audycie przed termomodernizacją, na przykład [4]. Ta różnica pomnożona przez cenę aktualną nośnika energii nazywana jest zyskiem termomodernizacji. Nie wdając się w szczegóły dyskusji mamy wyznaczyć różnice zapotrzebowania jakie występują w sezonie ogrzewania przed i po zastosowaniu środka sprawczego termomodernizacji. Przyrost (ujemny) zapotrzebowania ciepła budynku na skutek zastosowania środka wyprowadzono z poniższych rozważań. W pierwszej grupie środków sprawczych głównymi parametrami rozważań jest różnica współczynnik strat przed  $H_b$ , i  $H_t$ , oraz udział zysków ciepła budynku w danym sezonie ogrzewania. Przyrost ten możemy obliczyć bilansując straty w budynku przed termomodernizacją według wzoru:

$$Q_{zap}^b = \sum_{d \subset Db} [H_{str}^b (T_{in}(d) - T_e(d)) t^b(d) \cdot 10^{-3} - \eta^b_{Hgn}(d) Q^b_{Hgn}(d)] \quad (5)$$

po termomodernizacji

$$Q_{zap}^t = \sum_{d \subset Dt} [H_{str}^t (T_{in}(d) - T_e(d)) t^t(d) \cdot 10^{-3} - \eta^t_{Hgn}(d) Q^t_{Hgn}(d)] \quad (6)$$

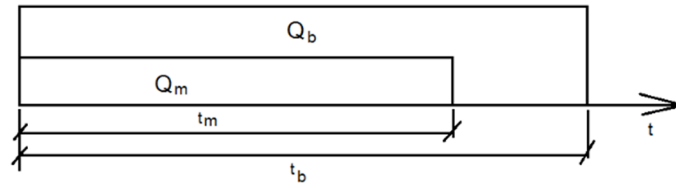
Wzór (5) napiszemy w postaci sumowanej w dwóch okresach  $D_T$  i „ $D_B - D_T$ ”

$$Q_{zap}^b = \sum_{d \subset Dt} [H_{str}^b (T_{in}(d) - T_e(d)) t^b(d) \cdot 10^{-3} - \eta^b_{Hgn}(d) Q^b_{Hgn}(d)] + \sum_{d \subset Db-DT} [H_{str}^b (T_{in}(d) - T_e(d)) t^b(d) \cdot 10^{-3} - \eta^b_{Hgn}(d) Q^b_{Hgn}(d)] \quad (7)$$

Wzór (6) piszemy również w postaci sumowanej w dwóch okresach  $D_B$  i „ $D_B - D_T$ ”

$$Q_{zap}^t = \sum_{d \subset Db} [H_{str}^t (T_{in}(d) - T_e(d)) t^t(d) \cdot 10^{-3} - \eta^t_{Hgn}(d) Q^t_{Hgn}(d)] + \sum_{d \subset Db-Dt} [H_{str}^t (T_{in}(d) - T_e(d)) t^t(d) \cdot 10^{-3} - \eta^t_{Hgn}(d) Q^t_{Hgn}(d)] \quad (8)$$

Sposób otrzymania powyższych zależności ilustruje rysunek 1. W dalszym ciągu skracając zapis pomieję zmienną „ $d$ ” w funkcjach  $T_i(d)$ ,  $t^b(d)$ ,  $t^t(d)$ ,  $\eta_g(d)$ ,  $Q^t(d)$ ,  $Q^b(d)$ .



Rys 1. Sezony grzewcze i zapotrzebowanie na ciepło budynku bazowego i modernizowanego.

Od równania (7) odejmujemy równanie (8) i otrzymujemy poszukiwaną prognozę redukcji zapotrzebowania przez modernizację.

$$\begin{aligned} \Delta Q_z = & \sum_{d \in Dt} [H_s^b (T_i - T_e) t^b 10^{-3} - \eta^b_g Q^b_g] \\ & - \sum_{d \in Db} [H_s^t (T_i - T_e) t^t 10^{-3} - \eta^t_g Q^t_g] + \\ & + \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^b (T_i - T_e) t^b 10^{-3} - \eta^b_g Q^b_g] + \\ & + \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^t (T_i - T_e) t^t 10^{-3} - \eta^t_g Q^t_g] \end{aligned} \quad (9)$$

To wyrażenie można przepisać w postaci

$$\begin{aligned} \Delta Q_z = & \sum_{d \in Dt} [H_s^b (T_i - T_e) t^b 10^{-3} - \eta^b_g Q^b_g] \\ & - \sum_{d \in Dt} [H_s^t (T_i - T_e) t^t 10^{-3} - \eta^t_g Q^t_g] + \\ & - \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^t (T_i - T_e) t^t 10^{-3} - \eta^t_g Q^t_g] \\ & + \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^b (T_i - T_e) t^b 10^{-3} - \eta^b_g Q^b_g] + \\ & + \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^t (T_i - T_e) t^t 10^{-3} - \eta^t_g Q^t_g] \end{aligned} \quad (10)$$

Przyjęto w sezonie równość zysków cieplnych przed i po termomodernizacji. Dwa pierwsze wiersze wyrażenia (10) napisano pod jedną sumą. Po redukcji otrzymujemy wzór (11). Z powodu zwiększenia izolacyjności zmniejszenie zapotrzebowania (przyrost ujemny) jest równe:

$$\begin{aligned} \Delta Q_z = & \sum_{d \in Dt} [[H_s^b - H_s^t] (T_i - T_e) t^b 10^{-3}] \\ & + \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^b (T_i - T_e) t^b 10^{-3} - \eta^b_g Q^b_g]. \end{aligned} \quad (11)$$

Ze wzoru (11) wynika, że z sumowania z różnicy współczynników strat po sezonie dla budynku po

termomodernizacji (12) otrzymujemy oszacowanie dolne lub górne. Oznaczmy przez

$$\Delta Q^S = \sum_{d \in Dt} [H_s^b - H_s^t] (T_i - T_e) t^b 10^{-3} \quad (12)$$

oraz przez

$$\Delta Q^b = \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^b (T_i - T_e) t^b 10^{-3} - \eta^b_g Q^b_g] \quad (13)$$

Jeżeli  $\Delta Q^b_{Db-Dt} \geq 0$  jest większa od zera to wyraz  $\Delta Q^S_{Dt}$  jest oszacowaniem dolnym.

Jeżeli  $\Delta Q^b_{Db-Dt} \leq 0$  jest większa od zera to wzór  $\Delta Q_{zapt}$  określa oszacowanie górne.

Obliczenie przyrostu strat można też wyrazić jako różnicę z sumowania przyrostu współczynnika strat w budynku bazowym po sezonie bazowym.

Korzystamy z równania (5)

$$Q_z^b = \sum_{d \in Db} [H_s^b (T_i - T_e) t^b 10^{-3} - \eta^b_g Q^b_g] \quad (14)$$

Wyzyskujemy wzór na straty po termomodernizacji w postaci (8);

$$\begin{aligned} Q_z^t = & \sum_{d \in Db} [H_s^t (T_i - T_e) t^t 10^{-3} - \eta^t_g Q^t_g] + \\ & - \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^t (T_i - T_e) t^t 10^{-3} - \eta^t_g Q^t_g] \end{aligned} \quad (15)$$

Od (14) odjęto (15) i otrzymano wyrażenie na prognozę różnicy strat w postaci:

$$\begin{aligned} \Delta Q_z = & \sum_{d \in Db} [[H_s^b - H_s^t] (T_i - T_e) t^b 10^{-3}] + \\ & + \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^t (T_i - T_e) t^t 10^{-3} - \eta^t_g Q^t_g]. \end{aligned} \quad (16)$$

Oznaczając przez

$$\Delta Q^S = \sum_{d \in Db} [[H_s^b - H_s^t] (T_i - T_e) t^b 10^{-3}] \quad (17)$$

Oraz przez

$$\Delta Q^t = \sum_{d \in Db-Dt} [H_s^t (T_i - T_e) t^t 10^{-3} + \eta^t_g Q^t_g] \quad (18)$$

Jeżeli  $\Delta Q^t_{Db-Dt} \geq 0$  jest większa od zera to wyraz  $\Delta Q^S_{Db}(\Delta H)$  jest oszacowaniem dolnym.

Jeżeli  $\Delta Q^t_{Db-Dt} \leq 0$  jest mniejsza od zera to wzór  $\Delta Q^S_{Db}(\Delta H)$  określa oszacowanie górne.

W większości przypadków wyrażenie (17) jest oszacowaniem górnym

Z dwóch wartości (11) i (16) wyznaczono średnią.

$$\begin{aligned} 2\Delta Q_z = & \sum_{d \in Db} [(H_s^b - H_s^t)(T_i - T_e) t^b 10^{-3}] \\ & + \sum_{d \in Dt} [(H_s^b - H_s^t)(T_i - T_e) t^b 10^{-3}] + \\ & + \sum_{d \in Db-Dt} [(H_s^b + H_s^t)(T_i - T_e) t^t 10^{-3}] + \\ & - \sum_{d \in Db-Dt} \eta^b_g Q^b_g - \sum_{d \in Db-Dt} \eta^t_g Q^t_g \end{aligned} \quad (19)$$

Skąd ostatecznie napisano:

$$\begin{aligned} \Delta Q_z = & \frac{1}{2} \left( \sum_{d \in Db} [(H_s^b - H_s^t)(T_i - T_e) t^b 10^{-3}] \right. \\ & + \sum_{d \in Dt} [(H_s^b - H_s^t)(T_i - T_e) t^b 10^{-3}] + \\ & + \frac{1}{2} \sum_{d \in Db-Dt} [(H_s^b + H_s^t)(T_i - T_e) t^t 10^{-3}] \\ & \left. - \sum_{d \in Db-D} (\eta^b_g Q^b_g) + (\eta^t_g Q^t_g) \right) \end{aligned} \quad (20)$$

Oznacza to że sumowanie różnicy strat odbywa się raz po sezonie budynku bazowego a drugi po zastosowaniu czynnika sprawczego. Trzeci człon w (20) stanowi wpływ sumy współczynników strat oraz zysków ciepłych w budynku sumowanych po okresie różnicy sezonów. Oznaczając przez

$$\begin{aligned} \Delta Q_z = & \frac{1}{2} \left( \sum_{d \in Db} [(H_s^b - H_s^t)(T_i - T_e) t^b 10^{-3}] \right. \\ & \left. + \sum_{d \in Dt} [(H_s^b - H_s^t)(T_i - T_e) t^b 10^{-3}] \right) \end{aligned} \quad (21)$$

Oraz przez

$$\begin{aligned} \Delta Q^{zap}_{Db-Dt} (H_{str}^b + H_{st}^t, Q^b_{Hgn}) = \\ = \frac{1}{2} \sum_{d \in Db-Dt} [ (H_s^b + H_s^t)(T_{in} - T_e) t^t 10^{-3} ] \\ - \sum_{d \in Db-D} (\eta^b_g Q^b_g) + (\eta^t_g Q^t_g). \end{aligned} \quad (22)$$

Jeżeli  $\Delta Q^{zap}_{Db-Dt} (H_{str}^b + H_{st}^t, Q^b_{Hgn}) \geq 0$

$\Delta Q^{zap}_{Db+Dt}(\Delta H)$  jest oszacowaniem dolnym.

przy  $\Delta Q^{zap}_{Db-Dt} (H_{str}^b + H_{st}^t, Q^b_{Hgn}) \leq 0$  wzór

$\Delta Q^{zap}_{Db+Dt}(\Delta H)$  określa oszacowanie górne.

W termomodernizacji w której występują różne czynniki sprawcze można obliczyć przyrosty ujemne zapotrzebowania z powodu każdego z tych czynników w stosunku do wartości występującej w budynku bazowym a następnie ustalić ich wpływ na termomodernizację kompleksową. Do obliczenia tych przyrostów ujemnych nie trzeba już wykonywać pełnej charakterystyki energetycznej a wystarczy obliczyć długości sezonów grzewczych w poszczególnych wariantach. Jako budynek bazowy przyjmujemy budynek określony w [3]. Również środki sprawcze modernizacji pozostają te same

Zaprojektować docieplenie przegród zewnętrznych przez podwyższenie współczynnika przenikania z poziomu; strop  $U_{bs} = 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ścian zewnętrznych

$U_{bs} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  podłogi  $U_{bp} = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$  do wartości określonej wymaganiami technicznymi termomodernizacji: strop i ściana  $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ , podłoga  $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$

Wymienić okna o współczynniku przenikania  $U_o = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  na nowe o współczynniku  $U_o = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Zastosować wentylację o sprawności odzysku ciepła z systemu 0,8. Nie będziemy jedynie rozpatrywać instalacji kolektora ponieważ nie wpływa on na długość sezonu grzewczego.

#### Obliczenie długości sezonów grzewczych dla kolejnych wariantów modernizacji

Dane potrzebne do obliczenia zmniejszenia zapotrzebowania spowodowanego czynnikami sprawczymi termomodernizacji kompleksowej zestawiono poniższej tablicy:

Tabela 1. Porównanie współczynników strat i długości sezonów grzewczych dla poszczególnych wariantów modernizacji.

Czynnik sprawczy	$H_{tr}$	$H_{ve}$	H	$D_t$	$D_b - D_t$
Bazowy	559,60	112,23	671,83	262	-
Izolacja	185,50	112,23	297,73	201	61
Okna	524,00	112,23	636,23	258	4
Wentylacja	559,60	30,60	590,20	255	7
Kompleksowy	150,0	30,60	180,6	149	113

Obliczenia długości sezonów zestawione w tabeli 1 przedstawiono bardziej szczegółowo w tabelach 2-4.

#### Obliczenie spadku zapotrzebowania dla budynku poprzez izolację ścian

Liczba dni sezonu grzewczego dla budynku bazowego wynosi 262 a dla budynku z dodatkową izolacją ścian 201.

Tabela 2. **Izolacja ścian.** Udziały sezonu grzewczego w poszczególnych miesiącach

m-c	$\gamma_{hlim}$	$\gamma_h$	$\gamma_p$	$\gamma_k$	$\gamma_{h1}$	$\gamma_{h2}$	$F_h$	$L_d$
1	1,15	0,298	0,281	0,323	0,281	0,323	1,00	31
2	1,15	0,349	0,323	0,505	0,323	0,505	1,00	28
3	1,15	0,660	0,505	0,810	0,505	0,810	1,00	31
4	1,15	0,960	0,810	1,529	0,810	1,529	0,66	20
5	1,15	2,098	1,529	4,049	1,529	4,049	0,00	0
9	1,15	1,649	3,134	1,173	1,173	3,134	0,00	0
10	1,15	0,697	1,173	0,512	0,512	1,173	0,98	30
11	1,15	0,328	0,512	0,296	0,296	0,512	1,00	30
12	1,15	0,265	0,296	0,281	0,281	0,296	1,00	31
Liczba dni sezonu								201

Tabela 3. **Wariant wymiany okien.** Udziały sezonu grzewczego w miesiącach

m-c	$\gamma_{hlim}$	$\gamma_h$	$\gamma_p$	$\gamma_k$	$\gamma_{h1}$	$\gamma_{h2}$	$F_h$	$L_d$
1	1,27	0,139	0,132	0,151	0,132	0,151	1,00	31
2	1,27	0,163	0,151	0,236	0,151	0,236	1,00	28
3	1,27	0,309	0,236	0,379	0,236	0,379	1,00	31
4	1,27	0,449	0,379	0,716	0,379	0,716	1,00	30
5	1,27	0,982	0,716	1,895	0,716	1,895	0,66	20
9	1,27	0,772	1,467	0,549	0,549	1,467	0,86	26
10	1,27	0,326	0,549	0,240	0,240	0,549	1,00	31
11	1,27	0,153	0,240	0,139	0,139	0,240	1,00	30
12	1,27	0,124	0,139	0,132	0,132	0,139	1,00	31
Liczba dni sezonu								258

Tabela 4. **Wariant modernizacji wentylacji.** Udziały sezonu grzewczego w miesiącach

m-c	$\gamma_{hlim}$	$\gamma_h$	$\gamma_p$	$\gamma_k$	$\gamma_{h1}$	$\gamma_{h2}$	$F_h$	$L_d$
1	1,26	0,150	0,142	0,163	0,142	0,163	1,00	31
2	1,26	0,176	0,163	0,255	0,163	0,255	1,00	28
3	1,26	0,333	0,255	0,409	0,255	0,409	1,00	31
4	1,26	0,484	0,409	0,772	0,409	0,772	1,00	30
5	1,26	1,059	0,772	2,043	0,772	2,043	0,60	19
9	1,26	0,832	1,581	0,592	0,592	1,581	0,79	24
10	1,26	0,352	0,592	0,259	0,259	0,592	1,00	31
11	1,26	0,165	0,259	0,149	0,149	0,259	1,00	30
12	1,26	0,134	0,149	0,142	0,142	0,149	1,00	31
Liczba dni sezonu								255

Łączny współczynnik strat przez przenikanie i wentylację wynosi dla budynku bazowego  $H_b^{str} = 671,83$ ,  $H_t^{str} = 297,73$

Różnica współczynnika strat przez przenikanie między budynkiem bazowym a z środkiem sprawczym zwiększenia izolacyjności wynosi;

$$\Delta H_{tr} = 671,83 - 297,73 = 374,1 \frac{W}{K} \quad (23)$$

Następnie obliczono zmniejszenie strat na podstawie sezonu w budynku modernizowanym przy zastosowaniu zwiększenia izolacyjności ścian.

Tablica 5 Zmniejszenie strat na podstawie sezonu w budynku modernizowanym

Miesiąc	$F_h$	$\Delta H_{tr}$	$T_e$	$T_i$	$\Delta Q$
1	1,000	374,1	-1,17	20	5901
2	1,000	374,1	-0,91	20	5254
3	1,000	374,1	4,43	20	4342
4	0,667	374,1	6,3	20	2461
10	0,976	374,1	8,18	20	3205
11	1,000	374,1	2,9	20	4606
12	1,000	374,1	0,79	20	5344
					31113

Z (23) obliczono zmniejszenie strat na podstawie sumowania sezonu w budynku bazowym

Tablica 6 Zmniejszenie strat na podstawie sezonu w budynku bazowym

Miesiąc	$F_h$	$\Delta H_{tr}$	$T_e$	$T_i$	$\Delta Q$
1	1	374,1	-1,17	20	5901
2	1	374,1	-0,91	20	5254
3	1	374,1	4,43	20	4342
4	1	374,1	6,35	20	3690
5	0,71	374,1	12,19	20	1541
9	0,92	374,1	12,82	20	1784
10	1	374,1	8,18	20	3284
11	1	374,1	2,9	20	4606
12	1	374,1	0,79	20	5344
					35747

Suma z tabeli 5 jest pierwszą sumą ze wzoru (11) a tabela 6 jest sumą ze wzoru (15).

Otrzymałmy oszacowanie dolne i górne wartości rzeczywistej. To jest

$$31113 \leq E_{rz} \leq 35747 \quad (24)$$

Aby zawęzić przedział oszacowań korzystamy ze wzorów (21) i (22) mamy

$$\Delta Q_{Dt+DB}^z = 0,5(35747 + 31113) = 33430 \text{ kWh} \quad (25)$$

$$\Delta Q_{Db-Dt}^{zap} (H_{str}^b + H_{st}^t, Q_{Hgn}^b) = 0,5(12803 - 11124) = 840 \text{ kWh} \quad (26)$$

Wartość ze wzoru (26) jest dodatnia stąd (25) jest oszacowaniem dolnym wartości poszukiwanej według procedury normowej. Stąd zawęziliśmy oszacowanie (24) do (27):

$$33430 \leq E_{rz} \leq 35747 \quad (27)$$

Aby w dalszym ciągu zawęzić przedział oszacowań korzystamy z poprawki (3.4)

$$\Delta Q_{Db-Dt}^{zap} (H_{str}^b + H_{st}^t, Q_{Hgn}^b) = 840 \text{ kWh} \quad (28)$$

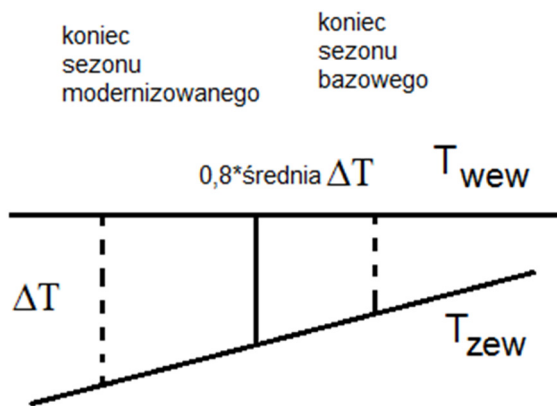
Otrzymujemy dalsze zawężenie przedziału poszukiwań:

$$34270 \leq E_{rz} \leq 35747 \quad (29)$$

W obliczeniu poprawki uśredniono temperaturę w przedziale skrócenia sezonu (61 dni):  
Poprawkę (22) obliczymy przyjmując wartości średnie.  
Suma współczynników strat ciepła wynosi

$$H_{str}^b + H_{str}^t = 671,83 + 297,73 = 969,6 \frac{W}{K} \quad (30)$$

Skrócenie sezonu, a więc domena sumowania wynosi 61 dni. Średnią różnicę temperatury w obszarze sumowania przyjęto jako 0,83 średniej różnicy temperatury zewnętrznej i wewnętrznej na końcach sezonów co pokazano na rysunku 3.



Rys 3. Sposób obliczenia średniej różnicy temperatury wewnętrznej i zewnętrznej

$$\Delta T_{sr} = 0,82 \frac{8 + 14}{2} = 9^\circ C \quad (31)$$

Wartość sumy w (22) dla analizowanego przypadku wyniesie

$$\sum_{d \in Db-Dt} [H_s^b + H_s^t] (T_i - T_e) t' 10^{-3} = \frac{969,56 * 9 * 61 * 24}{1000} = 12803 \frac{kWh}{sezon} \quad (32)$$

Wartość drugiej sumy we wzorze (22) czyli podwójne zyski w różnicy sezonów oszacujemy w sposób przybliżony. Zyski miesięczne w kwietniu dla budynku bazowego i modernizowanego wynoszą 2820 kWh/(m-c). Zatem zyski dzienne 94 kWh/dzień, efektywność wykorzystania zysków w kwietniu 0,97. Zyski w różnicy sezonów obliczymy na podstawie danych z kwietnia jako miesiąca leżącego na granicy sezonów budynku bazowego i modernizowanego. Podwójne zyski w różnicy sezonów czyli druga suma ze wzoru (22)

$$\sum_{d \in Db-Dt} (\eta_g^b Q_g^b) + (\eta_g^t Q_g^t) = 21 * 61 * 94 = 11124 \frac{kWh}{sezon} \quad (33)$$

Stąd bilans strat i zysków po domenie różnicy sezonu (D<sub>b</sub>-D<sub>t</sub>) jest:

$$\Delta Q_{Db-Dt}^z (H_s^b + H_s^t, Q_g^b) = 0,5 * (12803 - 11124) = 840 kWh \quad (34)$$

Wynik ten został uwzględniony we wzorze (34)  
Zatem spadek strat na skutek modernizacji według (20)

$$\Delta Q_{zap} = \frac{35747 + 31113 + 12803 - 11124}{2} = 34270 \frac{kWh}{sezon} \quad (35)$$

Oszacowanie spadku strat możemy otrzymać też bezpośrednio ze wzorów (11) i (15), jednakże nie będą to oszacowania istotne, zwiększające przedział oszacowań.

#### Obliczenie spadku zapotrzebowania dla budynku zmodernizowanego poprzez wymianę wentylacji

Liczba dni sezonu grzewczego dla budynku bazowego wynosi 262 a dla budynku modernizowanego 255. Łączny współczynnik strat przez przenikanie i wentylację wynosi dla budynku bazowego  $H_b^{str} = 671,83$ ,  $H_t^{str} = 590,2$

Różnica współczynnika strat przez przenikanie między budynkiem bazowym a z środkiem sprawczym wymiany wentylacji.

$$\Delta H_{tr} = 671,83 - 590,2 = 81,63 \frac{W}{K} \quad (36)$$

Zmniejszenie strat na podstawie sumowania sezonu w budynku modernizowanym

Tablica 7 Zmniejszenie strat na podstawie sumowania w budynku modernizowanym

m-c	Fh	$\Delta H_{tr}$	Te	Ti	$\Delta Q$
1	1,00	81,63	-1,17	20	1288
2	1,00	81,63	-0,91	20	1146
3	1,00	81,63	4,43	20	947
4	1,00	81,63	6,3	20	805
5	0,60	81,63	12,19	20	285
9	0,79	81,63	12,82	20	333
10	1,00	81,63	8,18	20	717
11	1,00	81,63	2,9	20	1005
12	1,00	81,63	0,79	20	1166
					7692

Tablica 8 Zmniejszenie strat na podstawie sumowania w budynku bazowym

m-c	Fh	$\Delta H_{tr}$	Te	Ti	$\Delta Q$
1	1	81,63	-1,17	20	1288
2	1	81,63	-0,91	20	1146
3	1	81,63	4,43	20	947
4	1	81,63	6,35	20	805
5	0,71	81,63	12,19	20	334
9	0,92	81,63	12,82	20	390
10	1	81,63	8,18	20	717
11	1	81,63	2,9	20	1005
12	1	81,63	0,79	20	1166
					7799

Suma z tabeli 7 jest pierwszą sumą ze wzoru (11) a tabela 8 jest sumą ze wzoru (15). Otrzymałmy oszacowanie dolne i górne wartości rzeczywistej. To jest

$$7692 \leq E_{rz} < 7793 \quad (37)$$

Aby zawęzić przedział oszacowań korzystamy ze wzorów (21) i (22) mamy

$$\Delta Q_{D_{tr+DB}}^{zap}(\Delta H) = 0,5 * (7799 + 7692) = 7746 kWh \quad (38)$$

$$\Delta Q_{D_{b-Dt}}^{zap}(H_{str}^b + H_{st}^t, Q_{Hgn}^b) = 0,5(1357 - 1294) = 32 kWh \quad (39)$$

Widać że wartość ze wzoru (39) jest dodatnia stąd (38) jest oszacowaniem dolnym wartości poszukiwanej według procedury normowej. Stąd zawęziliśmy oszacowanie (4.2) do (4.5)

$$7746 \leq E_{rz} < 7799 \quad (40)$$

W obliczeniu poprawki według wzoru (22) przyjmując wartości średnie współczynników strat i temperatury. Suma współczynników strat ciepła wynosi

$$H_{str}^b + H_{str}^t = 671,83 + 590,2 = 1262 \frac{W}{K} \quad (41)$$

Skrócenie sezonu, a więc domena sumowania wynosi 7 dni. Ponieważ obydwie sezony kończą się w maju przyjęto różnicę temperatury wewnętrznej i zewnętrznej dla tego miesiąca.

$$\Delta T_{sr} = 20 - 13,5 = 6,5 \text{ } ^\circ C \quad (42)$$

Wartość pierwszej sumy w (22) dla analizowanego przypadku wyniesie

$$\sum_{d \in D_{b-Dt}} [H_s^b + H_s^t](T_i - T_e)t^t 10^{-3} = \frac{1262 * 6,4 * 7 * 24}{1000} = 1357 \frac{kWh}{sezon} \quad (43)$$

Wartość drugiej sumy czyli podwójne zyski w różnicy sezonów oszacowano jak następuje. Zyski miesięczne w maju zarówno dla budynku bazowego jak i modernizowanego wyniosą 3625 kWh/(m-c). Zatem zyski dzienne 117 kWh/dzień, efektywność wykorzystania zysków w kwietniu 0,79. Wartość podwójnych zysków obliczono według (44)

$$\sum_{d \in D_{b-Dt}} (\eta^b_{Hgn} Q^b_{Hgn}) + (\eta^t_{Hgn} Q^t_{Hgn}) = 2 * 0,79 * 7 * 117 = 1294 \frac{kWh}{sezon} \quad (44)$$

Zatem spadek strat na skutek modernizacji według (20)

$$\Delta Q_{zap} = \frac{7799 + 7692 + 1357 - 1294}{2} = 7778 \frac{kWh}{sezon} \quad (45)$$

Ostatecznie otrzymano oszacowanie

$$7778 \leq E_{rz} < 7799 \quad (46)$$

Podobnie możemy oszacować zmniejszenie zapotrzebowania powodowane wymianą okien. Zestawienie zmniejszenia zapotrzebowania w wariantach i sumaryczne zawiera tabela.

Tablica 9 Zestawienie zmniejszenia strat w zależności od wariantu w pierwszej grupie środków sprawczych przy niezmienności struktury fasady w obudowie budynku.

Wariant	$\Delta Q_{min}$	$\Delta Q_{max}$	%max	%min
Izolacja	34270	35747	75	76
Okna	3401	3429	8	7
wentylacja	7778	7799	17	17
Kompleksowy, suma	45449	46975	--	--

**OBLICZENIE ZAPOTRZEBOWANIA CIEPŁA W DRUGIEJ GRUPIE DEKOMPOZYCJI CZYNNIKÓW SPRAWCZYCH. STRUKTURA FASAD ZMIENNA W ROKU ZALEŻNA OD WYNIKU BILANSU OKNA I ŚCIANY.**

Sformułowanie tego zadania wymaga obliczenia strat i zysków przez 1 m<sup>2</sup> ściany dla czterech ścian budynku, dla każdej orientacji według stron świata w założeniu transparentności i struktury nie transparentnej w każdym miesiącu roku. Porównanie bilansów tych dwóch typów fasad decyduje o przyjęciu rodzaju jej struktury. Bilanse te opisano wzorami (1)-(2). W tabeli przedstawiono straty i zyski dla poszczególnych fasad.

Tablica 10. Wybór struktury dla ściany południowej – liczba dodatnia oznacza straty

Azymut S	Okno straty kWh	Okno, zyski kWh	Okno, bilans kWh	Ściana, straty kWh	Preferowana struktura
m-c					
1	22,08	19,73	2,37	3,15	OKNO
2	19,66	20,41	-0,70	2,81	OKNO
3	16,25	35,28	-14,19	2,32	OKNO
4	13,81	42,80	-13,10	1,97	OKNO
5	8,12	54,26	-7,56	1,16	OKNO
6	2,92	55,64	-2,70	0,42	OKNO
7	0,83	57,10	-0,76	0,12	OKNO
8	3,54	53,63	-3,50	0,51	OKNO
9	7,26	38,57	-6,93	1,04	OKNO
10	12,29	26,00	-9,32	1,76	OKNO
11	17,24	12,85	4,40	2,46	ŚCIANA
12	20,00	10,84	9,16	2,86	ŚCIANA

Tablica 11. Wybór struktury dla ściany północnej – liczba dodatnia oznacza straty

Azymut N	Okno straty kWh	Okno, zyski kWh	Okno, bilans kWh	Ściana, straty kWh	Preferowana struktura
m-c					
1	22,08	9,88	12,21	3,15	ŚCIANA
2	19,66	11,90	7,79	2,81	ŚCIANA
3	16,25	22,96	-3,56	2,32	OKNO
4	13,81	32,12	-6,39	1,97	OKNO
5	8,12	43,86	-4,55	1,16	OKNO
6	2,92	46,69	-1,80	0,42	OKNO
7	0,83	48,28	-0,51	0,12	OKNO
8	3,54	41,32	-1,89	0,51	OKNO
9	7,26	28,64	-3,28	1,04	OKNO
10	12,29	17,06	-1,89	1,76	OKNO
11	17,24	8,39	8,86	2,46	ŚCIANA
12	20,00	7,24	12,76	2,86	ŚCIANA

Tablica 12. Wybór struktury dla ściany zachodniej – liczba dodatnia oznacza straty

Azymut W	Okno straty kWh	Okno, zyski kWh	Okno, bilans kWh	Ściana, straty kWh	Preferowana Struktura
m-c					
1	22,08	10,55	11,54	3,15	ŚCIANA
2	19,66	13,53	6,16	2,81	ŚCIANA
3	16,25	25,72	-5,94	2,32	OKNO
4	13,81	37,53	-9,79	1,97	OKNO
5	8,12	51,84	-6,86	1,16	OKNO
6	2,92	56,51	-2,79	0,42	OKNO
7	0,83	56,66	-0,74	0,12	OKNO
8	3,54	49,45	-2,95	0,51	OKNO
9	7,26	33,41	-5,03	1,04	OKNO
10	12,29	19,61	-4,00	1,76	OKNO
11	17,24	9,34	7,91	2,46	ŚCIANA
12	20,00	7,46	12,54	2,86	ŚCIANA

Tablica 13. Wybór struktury dla ściany wschodniej – liczba dodatnia oznacza straty

Azymut E	Okno straty kWh	Okno, zyski kWh	Okno, bilans kWh	Ściana, straty kWh	Preferowana struktura
m-c					
1	22,08	11,07	11,02	3,15	ŚCIANA
2	19,66	14,11	5,58	2,81	ŚCIANA
3	16,25	28,08	-7,98	2,32	OKNO
4	13,81	39,00	-10,71	1,97	OKNO
5	8,12	55,50	-7,92	1,16	OKNO
6	2,92	56,52	-2,79	0,42	OKNO
7	0,83	59,99	-0,84	0,12	OKNO
8	3,54	51,22	-3,18	0,51	OKNO
9	7,26	32,41	-4,66	1,04	OKNO
10	12,29	18,64	-3,20	1,76	OKNO
11	17,24	8,98	8,27	2,46	ŚCIANA
12	20,00	7,46	12,54	2,86	ŚCIANA

Jeżeli bilans dla fasady przezroczystej jest korzystniejszy projektujemy jej strukturę jako przezroczystą. Podobnie dla fasady nie transparentnej. Przyjmujemy, że w praktyce technologia zmiany fasad jest opanowana. W analizie ważnym jest przyjęcie metody obliczenia energii dostępnej z konwersji energii promieniowania w ścianie o strukturze transparentnej. W efekcie przyjęcia takiego założenia istnieje możliwość że budynek w odstępach miesięcznych będzie się składał ze ścian o zmiennej strukturze. W większości przypadków w miesiącach zimowych ścianę transparentną będą posiadać elewacje południowe pozostałe ściany będą nie transparentne. I odwrotnie w lecie ścianą nie transparentną będzie elewacja północna, pozostałe ściany będą transparentne. W okresach przejściowych ściany zachodnie i wschodnie w zależności od bilansu 1 m<sup>2</sup> będą transparentnym lub nietransparentnymi. W przypadku modelowym z powodu mało znaczących wartości bilansów istnieją odchyłki od zasady, patrz tablica 11. Kluczem do analizy są średnie dane promieniowania słonecznego w każdym miesiącu, które są zmiennym parametrem analizy oraz dane fizyczne fasady transparentnej. W analizie wariantu poprawionego przyrost zysków jest równy jest równy przyrostowi współczynniki konwersji dostępności promieniowania słonecznego. Miarą zmniejszenia zapotrzebowania jest różnica bilansu budynku bazowego i modernizowanego.

$$\nabla Q_{zap} = \sum_i \nabla b_{j21}^o \cdot F_{sc} + \sum_k \nabla b_{j21}^s \cdot F_{sc} \quad (47)$$

Gdzie i oznacza przyrost bilansu dla ścian przezroczystych a k przyrost bilansu dla ścian nie transparentnych. Przyrost oznacza tu polepszenie bilansu na skutek właściwego wyboru struktury dostosowanej do wartości temperatury i sum promieniowania na elewacji.



Przy czym każdy z bilansów równa się różnicy strat i zysków dla poszczególnych przegród jak we wzorze (d). Ponieważ struktura obudowy budynku jest zmienna, zmienne w czasie są też wartości współczynników strat i stałej czasowej budynków.

Jako budynek bazowy przyjęto budynek zmodernizowany w wybranym wariantcie z pierwszej grupy. Bilans dla budynku bazowego przedstawiono w tabeli.14, a modernizowanego w tablicy 15.

Tablica 14 Bilanse energetyczne budynku bazowego

m-c	przenikanie	zyski słoneczne	wentylacja	zyski wewnętrzne	$H_{tr}$	$H_{ve}$	tau	ah	efekty	bilans
1	2302,25	734,83	482,92	651,00	145,96	30,60	142,61	10,51	1,00	1399,79
2	2050,03	847,37	430,01	588,00	145,96	30,60	142,61	10,51	1,00	1046,60
3	1694,11	1566,88	355,35	651,00	145,96	30,60	142,61	10,51	0,87	113,69
4	1439,78	2095,85	302,01	630,00	145,96	30,60	142,61	10,51	0,64	5,72
5	847,05	2823,25	177,68	651,00	145,96	30,60	142,61	10,51	0,29	0,00
9	756,67	1847,31	158,72	630,00	145,96	30,60	142,61	10,51	0,37	0,02
10	1281,44	1141,63	268,79	651,00	145,96	30,60	142,61	10,51	0,83	56,09
11	1797,10	555,96	376,96	630,00	145,96	30,60	142,61	10,51	1,00	989,03
12	2085,06	462,98	437,36	651,00	145,96	30,60	142,61	10,51	1,00	1408,55
Suma										5019,496

Tablica 15 Bilanse energetyczne budynku modernizowanego

m-c	przenikanie	zyski słoneczne	wentylacja	zyski wewnętrzne	$H_{tr}$	$H_{ve}$	tau	ah	efekty	bilans
1	3248,67	2546,54	482,92	651,00	205,97	30,60	85,15	6,68	0,93	769,00
2	2892,76	2721,84	430,01	588,00	205,97	30,60	106,44	8,10	0,89	371,09
3	4165,62	10716,02	355,35	651,00	358,91	30,60	64,65	5,31	0,40	20,43
4	3540,26	14376,31	302,01	630,00	358,91	30,60	64,65	5,31	0,26	2,06
5	2082,81	19402,23	177,68	651,00	358,91	30,60	64,65	5,31	0,11	0,02
9	1860,58	12667,90	158,72	630,00	358,91	30,60	64,65	5,31	0,15	0,08
10	3150,92	7799,82	268,79	651,00	358,91	30,60	64,65	5,31	0,40	16,75
11	1797,10	555,96	376,96	630,00	145,96	30,60	142,61	10,51	1,00	989,03
12	2085,06	462,98	437,36	651,00	145,96	30,60	142,61	10,51	1,00	1408,55
Suma										3577,016

### Obliczenie liczby dni sezonu grzewczego

Tablica 16 Obliczenie dni sezonu grzewczego

m-c	$\gamma_{h \text{ lim}}$	$\gamma_h$	$\gamma_{h \text{ p}}$	$\gamma_{h \text{ k}}$	$\gamma_{h \text{ 1}}$	$\gamma_{h \text{ 2}}$	$f_h$	dni	dni sezon
1	1,15	0,86	0,65	0,93	0,86	0,93	1,00	31,00	31,00
2	1,12	1,00	0,93	1,76	1,00	1,76	0,58	28,00	16,00
3	1,19	2,51	1,76	3,21	2,51	3,21	0,00	31,00	0,00
4	1,19	3,91	3,21	6,39	3,91	6,39	0,00	30,00	0,00
5	1,19	8,87	6,39	17,32	8,87	17,32	0,00	31,00	0,00
9	1,19	6,59	13,02	4,53	4,53	6,59	0,00	30,00	0,00
10	1,19	2,47	4,53	1,51	1,51	2,47	0,00	31,00	0,00
11	1,10	0,55	1,51	0,49	0,49	0,55	1,00	30,00	30,00
12	1,10	0,44	0,49	0,65	0,44	0,65	1,00	31,00	31,00
suma								108,00	

## WNIOSKI

### Wnioski z charakterystyki energetycznej przez poprawę izolacyjności

Wpływ izolacyjności na zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło ogrzewania jest w rozważanym budynku zdecydowanie największy. Wymiana okien najmniej zmniejsza zapotrzebowanie na ogrzewanie. Opracowana metoda analizy wpływu na wartość zapotrzebowania ciepła pojedynczych czynników poprzez średnią oszacowania dolnego i górnego z sezonów przed i po termomodernizacji jest prosta i daje na wynik wyrazisty obrazu wpływu czynników termomodernizacji na efekt końcowy. Sumowanie różnicy strat ciepła w budynku w sezonie modernizowanym prowadzi do szacowania dolnego zmiany zapotrzebowania na energię natomiast w sezonie bazowym do górnego. Odpowiednia poprawka polega na bilansie strat i zysków w różnicy sezonów. Poprawka ta może być dodatnia albo ujemna. Najbliższe wartości dokładnej jest średnia arytmetyczna sumowania po sezonie bazowym i modernizowanym.

### Wnioski z charakterystyki energetycznej poprzez zwiększenie dostępności energii promieniowania słonecznego, zastosowanie obudowy o zmiennej strukturze w ciągu roku.

Zmiana struktury obudowy w ciągu roku spowodowała zmniejszenie zapotrzebowania na energię użytkową z 5020 kWh/a na 3577 kWh/a i spadek liczby dni sezonu grzewczego ze 148 do 108 dni. Powierzchnia użytkowa  $A_f=250 \text{ m}^2$ . Wskaźnik zapotrzebowania  $E_K = 14,3 \text{ kWh/m}^2$  określa w klasyfikacji energetycznej jako bardzo nisko energetyczny budynek pasywny.

## SPIS SYMBOLI

$Q_{zap}$  – zapotrzebowanie ciepła w budynku  
kWh/sezon

$H_{str}$  – współczynnik strat ciepła W/K

$T_{in}$  – temperatura w budynku

$T_e$  – temperatura zewnętrzna

indeks b – wielkość przed modernizacją

indeks t – wielkość po modernizacji

$b_{j21}^s$  - bilans ciepła  $1\text{m}^2$  ściany kWh/( $\text{m}^2$ rok)

$b_{j21}^o$  - bilans ciepła  $1\text{m}^2$  okna kWh/( $\text{m}^2$ rok)

b – wartość bilansu cieplnego kWh/( $\text{m}^2$ rok)

Symbole greckie

$\eta_{H,gn}$  – współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła

## LITERATURA

1. Rozporządzenie ministra infrastruktury i rozwoju z dnia 2 lipca 2014 roku 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
2. Dyrektywa parlamentu europejskiego 2010/31/EU (recast) w sprawie efektywności energetycznej budynków
3. Owczarek S., Owczarek M. Charakterystyka energetyczna budynku przed i po termomodernizacji kompleksowej. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna Problemy Inżynierii Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych
4. Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego