

**Raport z realizacji etapu 9. Określenie wpływu zmian struktury wewnętrznej
i zewnętrznej budynku na zwiększenie OZE w budownictwie**

Kierownik etapu:

dr hab. inż. Ireneusz Szczygieł, prof. w Pol. Śl.

Wykonawcy:

mgr inż. Edyta Korzec

mgr inż. Daniel Trzebiński

W ramach etapu 9. *Określenie wpływu zmian struktury wewnętrznej i zewnętrznej budynku na zwiększenie OZE w budownictwie* przeprowadzono analizę wpływu struktury zewnętrznej i wewnętrznej budynku na zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii do ogrzewania, oświetlenia i wytwarzania ciepłej wody użytkowej.

Analiza i selekcja najbardziej istotnych z punktu widzenia energochłonności budynku elementów struktury wewnętrznej i zewnętrznej

W pierwszym etapie prac dokonano analizy oraz selekcji elementów struktury zewnętrznej i wewnętrznej najsilniej wpływających na energochłonność budynków. Do najbardziej istotnych elementów należą:

- udział powierzchni okna w powierzchni zewnętrznej przegrody pionowej,
- rodzaj materiału budowlanego, z którego wykonane są przegrody,
- współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego,
- stosunek powierzchni ścian do kubatury,
- liczba kondygnacji budynku.

W ramach niniejszego etapu zaplanowane zostało przeprowadzenie analizy wpływu elementów struktury budynku na energochłonność oraz selekcja elementów najbardziej istotnych. Analiza ta została przeprowadzona przy użyciu komercyjnego oprogramowania ARCADIA. Wyznaczenie wpływu wrażliwości zmian wybranych elementów na zużycie paliw pierwotnych - ARCADIA. Do porównania proponuje się przyjąć budynki tego samego charakteru i odpowiednich według przeznaczenia pomieszczeń.

W pierwszej części przeprowadzono analizę stanu wiedzy w zakresie systemów solarnych, materiałów o zmiennej fazie, naziemnych i podziemnych magazynów ciepła oraz wykorzystania żaluzji. W wyniku przeprowadzonego studium literaturowego zebrano następujące informacje:

- dla wszystkich rodzajów budynków najbardziej opłacalny ekonomicznie jest system solarny do podgrzewania wody i wspomaganie ogrzewania,
- wydajność podziemnych magazynów ciepła silnie zależy od intensywności promieniowania słonecznego oraz dopasowanie pomiędzy objętością zbiornika wody i powierzchnią kolektora słonecznego,
- efektywność podziemnego magazynu ciepła opartego na całkowitym promieniowaniu na powierzchnię kolektora i zaabsorbowanej energii słonecznej wynoszą odpowiednio ponad 40% i ponad 70%,
- racjonalny współczynnik pomiędzy objętością zbiornika wody i powierzchni kolektora słonecznego powinien mieścić się w granicach 20-40 L/m²,
- ekonomicznie i energetycznie uzasadnione jest stosowanie podziemnych zbiorników do gromadzenia czynnika z kolektorów słonecznych,
- czas zwrotu nakładów inwestycyjnych dla zbiorników podziemnych wynosi 19 lat, natomiast dla naziemnych zbiorników bez izolacji wynosi on 34 lata,
- zastosowanie żaluzji przysłaniających będących jednocześnie kolektorem do wymiany ciepła nie jest tak wysoka jak się spodziewano.

Analiza wrażliwości energochłonności budynku na zmiany wyselekcjonowanych parametrów struktury

W kolejnym etapie badań analiza cieplna budynków mieszkalnych przeprowadzona została w oparciu o oprogramowanie ARCADIA. Algorytm obliczeń obejmował zmianę odpowiedniego współczynnika na danej ścianie, zorientowanej według stron świata. Przy czym na pozostałych

ścianach zostały przyjęte wartości normatywne podane w rozporządzeniu **wg. Dz.U. 2009 nr 43 poz. 346 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**, które wynoszą:

- współczynnik przepuszczalności promieniowania 0,75,
- współczynnik przenikania ciepła 1,8W/m²K,
- powierzchnia okien 6m².

Następnym elementem analizy była zmiana współczynników na wszystkich ścianach równocześnie. Obliczenia przeprowadzono dla czterech rodzajów budynków:

- jednokondygnacyjny o pow. użytkowej wynoszącej 100m²,
- jednokondygnacyjny o pow. użytkowej wynoszącej 225m²,
- dwukondygnacyjny o pow. użytkowej wynoszącej 200m²,
- dwukondygnacyjny o pow. użytkowej wynoszącej 450m²,

dla których została przeprowadzona analiza zmiany zapotrzebowania na energię pierwotną budynku w funkcji:

a) współczynnika przenikania ciepła oraz w funkcji współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szybę:

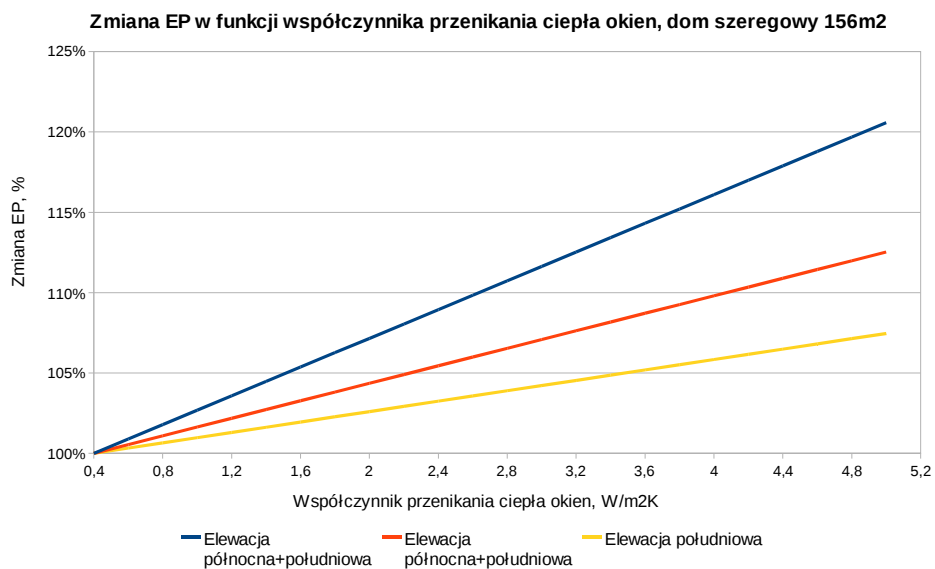
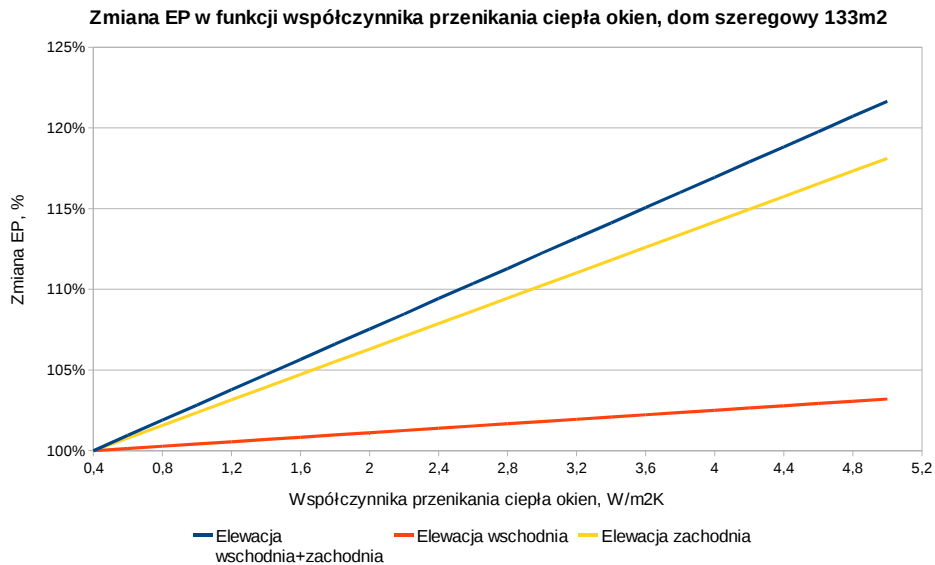
- zmianę zapotrzebowania na energię pierwotną budynku przy zmienianym współczynniku przenikania ciepła od wartości 0.4 do wartości 5 ze skokiem 0.2 oraz przy zmienianym współczynniku przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby od wartości 0 do 1 ze skokiem 0.05,
- początkowo wartości współczynnika przenikania ciepła oraz wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby zmieniane były dla każdej ściany osobno, przy czym wówczas na pozostałych ścianach zostały przyjęte warunki normatywne oraz powierzchni okna 6 m² dla domów jednokondygnacyjnych i 12 m² dla domów dwukondygnacyjnych,
- ostatnim elementem była zmiana wartości współczynnika przenikania ciepła na wszystkich elewacjach równocześnie (przy zachowaniu wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby na poziomie 0.75 oraz powierzchni okna 6 m² dla domów jednokondygnacyjnych i 12 m² dla domów dwukondygnacyjnych),

b) zmiana zapotrzebowania na energię pierwotną w budynku w funkcji udziału powierzchni okien do powierzchni ścian:

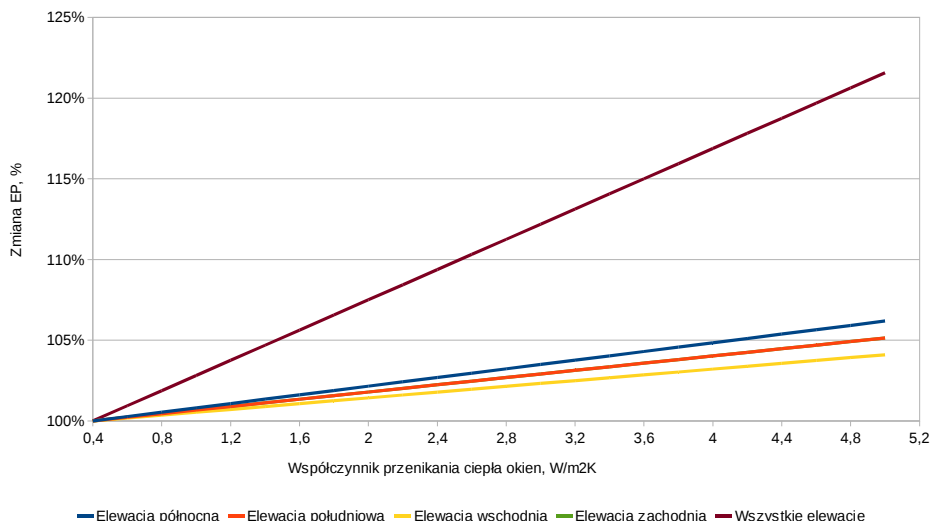
- zmianę zapotrzebowania na energię pierwotną budynku przy zmienianym udziale powierzchni okien w budynku do powierzchni ścian od 0 do 100 % ze skokiem 5%,
- początkowo udział powierzchni okien w budynku do powierzchni ścian zmieniany był dla każdej ściany osobno, przy czym wówczas na pozostałych ścianach zostały przyjęte warunki normatywne oraz powierzchnia okienna 0 m² – zakładane było, że okna są tylko na jednej ścianie,
- ostatnim elementem była zmiana udziału powierzchni okien w budynku do powierzchni ścian na wszystkich elewacjach równocześnie (przy zachowaniu normatywnych wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby i współczynnika przenikania ciepła dla okna.

Na rysunku 1 przedstawiono zależność zmiany wartości energii pierwotnej w funkcji współczynnika przenikania ciepła szyby dla poszczególnych elewacji jak i dla wszystkich elewacji

jednocześnie. W przypadku elewacji wschodniej wpływ zwiększenia współczynnika przenikania ciepła okien ma mniejszy wpływ na zapotrzebowanie energii pierwotnej niż dla elewacji zachodniej. Największe zapotrzebowanie na energię pierwotną jest dla przypadku gdy zmieniany jest współczynnik przenikania ciepła na obu elewacjach jednocześnie tj. na wschodniej oraz zachodniej. W przypadku domu wolnostojącego najniższe zapotrzebowanie na energię pierwotną jest w przypadku zmiany współczynnika przenikania ciepła dla elewacji południowej. Większe wartości zapotrzebowania na energię pierwotną występują w przypadku zmiany współczynnika przenikania ciepła okien dla elewacji południowej, natomiast największe dla elewacji północnej. Tutaj także największe zapotrzebowanie na energię pierwotną jest w przypadku gdy zmianie ulega współczynnik przenikania ciepła na wszystkich przegrodach jednocześnie.



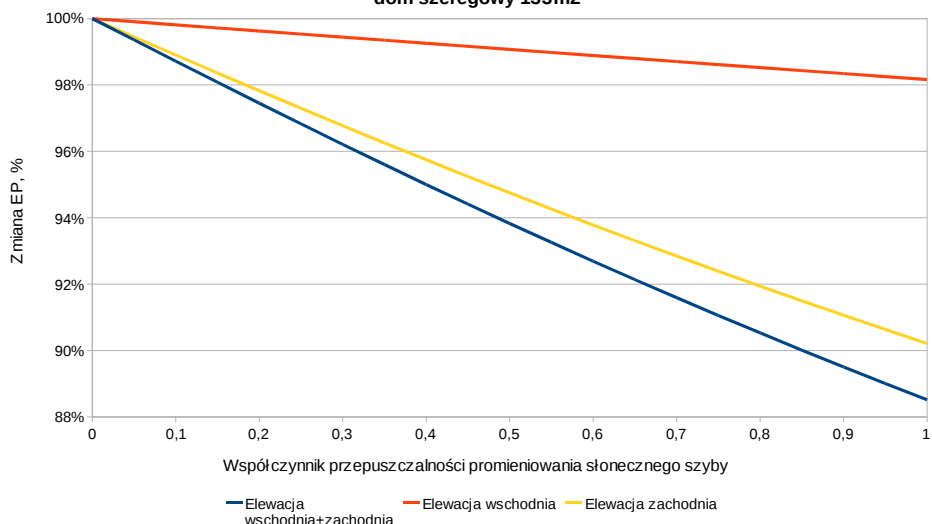
Zmiana EP w funkcji współczynnika przenikania ciepła okien, dom wolnostojący 277m²

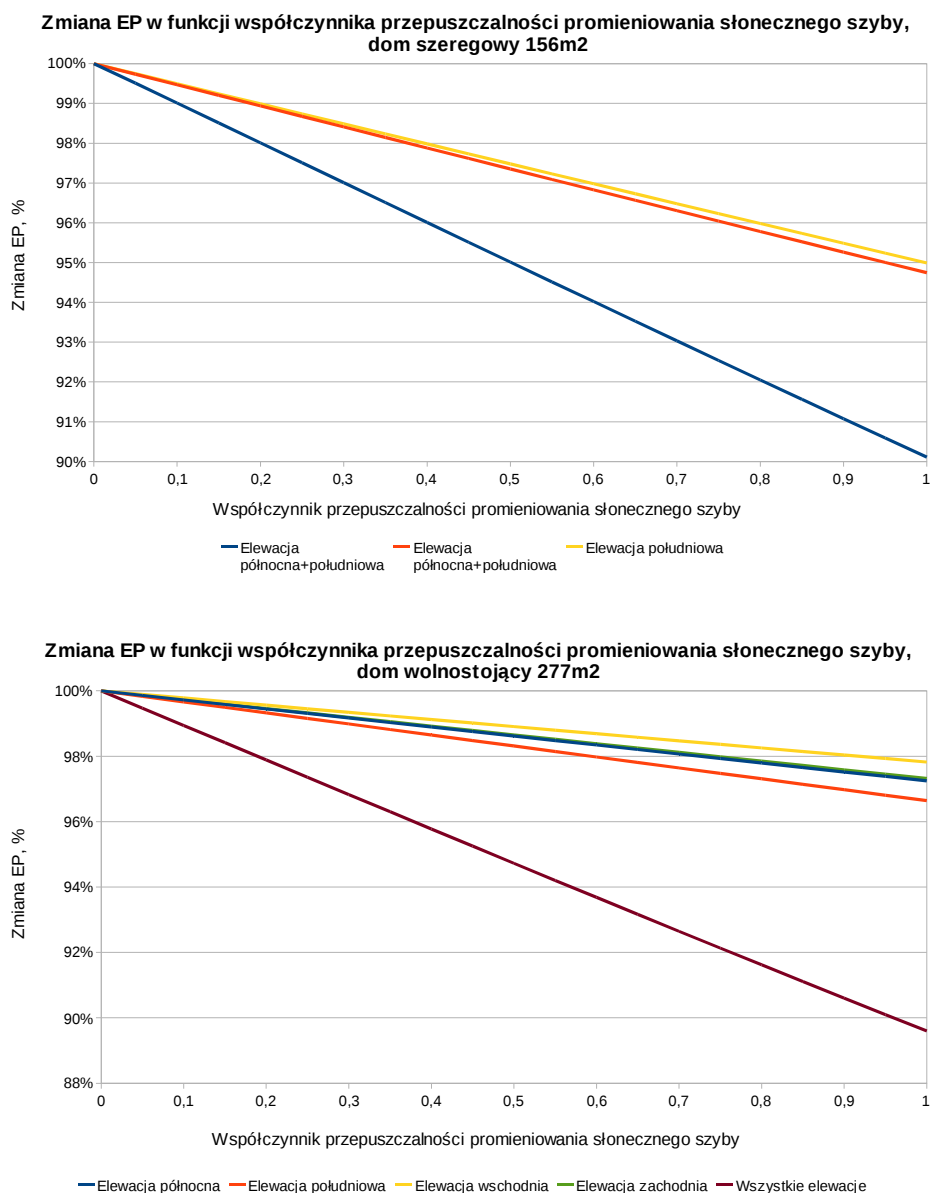


Rys. 1. Zmiana wartości zapotrzebowania na Energię Pierwotną w funkcji współczynnika przenikania ciepła szyby dla budynków o powierzchni 133 m², 156 m² oraz 277 m²

Na rysunku 2 przedstawiono zależność zapotrzebowania na energię pierwotną w funkcji współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego szyby dla budynków o powierzchni 133 m², 156 m² oraz 277 m². W tym przypadku trend jest odwrotny niż dla współczynnik przenikania ciepła szyby. Najmniejszy wpływ na zapotrzebowanie na energię pierwotną ma współczynnik przepuszczalności na elewacji wschodniej. Dla elewacji zachodniej, dla tej samej wartości współczynnika, zapotrzebowanie na EP jest od 2 do 10% niższe. Najniższe wartości zapotrzebowania na energię pierwotną występują w przypadku jego zmiany na wszystkich elewacjach jednocześnie, zarówno dla domu w zabudowie szeregowej jak i wolnostojącej. Dodatkowo w przypadku domu wolnostojącego wpływ kierunku elewacji na zapotrzebowanie na energię pierwotną przedstawia się następująco: największy wpływ ma elewacja południowa, północna, zachodnia i wschodnia.

Zmiana EP w funkcji współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego szyby, dom szeregowy 133m²

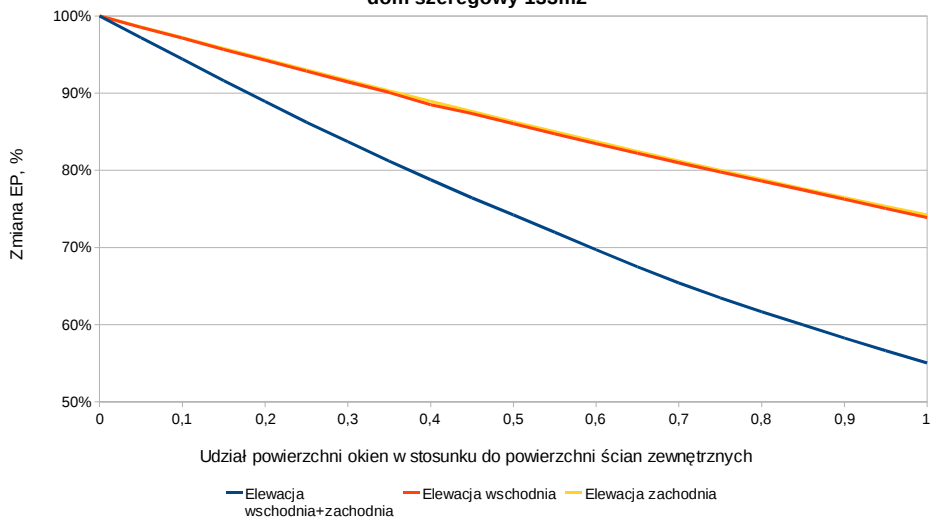




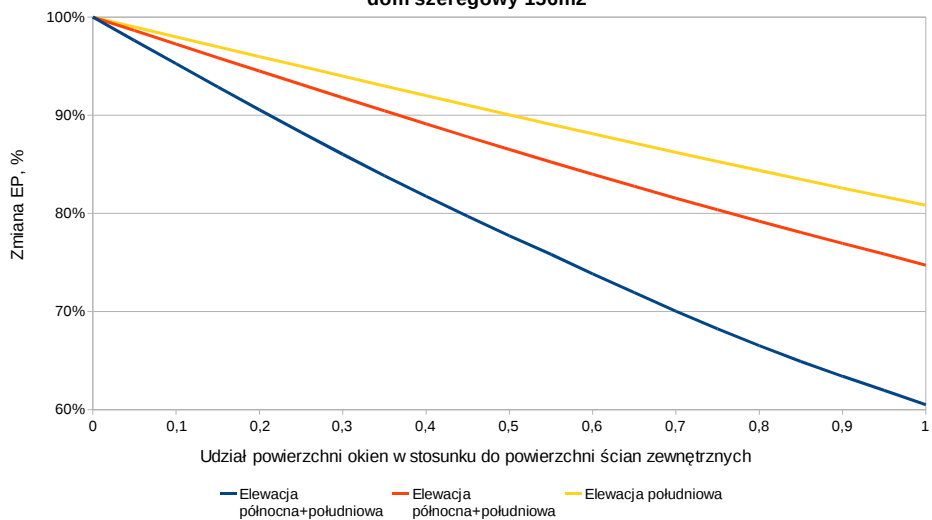
Rys. 2. Zmiana wartości zapotrzebowania na Energię Pierwotną w funkcji współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego szyby dla budynków o powierzchni 133 m², 156 m² oraz 277 m²

Rysunek 3 przedstawia wpływ udziału powierzchni okna w stosunku dla całkowitej powierzchni elewacji. W przypadku budynku szeregowego brak jest różnic pomiędzy elewacją wschodnią oraz zachodnią – wartości EP są na tym samym poziomie, natomiast można zauważyć różnice pomiędzy elewacjami północną oraz południową. Wpływ powierzchni okna na elewacji północnej ma większy wpływ na zapotrzebowanie na energię pierwotną budynku niż na elewacji południowej. W przypadku budynku wolnostojącego największy wpływ na zapotrzebowania na energię pierwotną ma udział powierzchni okna na elewacji wschodniej, a najmniejszy na elewacji zachodniej. Na elewacji północnej oraz południowej wartości zapotrzebowania na energię pierwotną przyjmują zbliżone wartości.

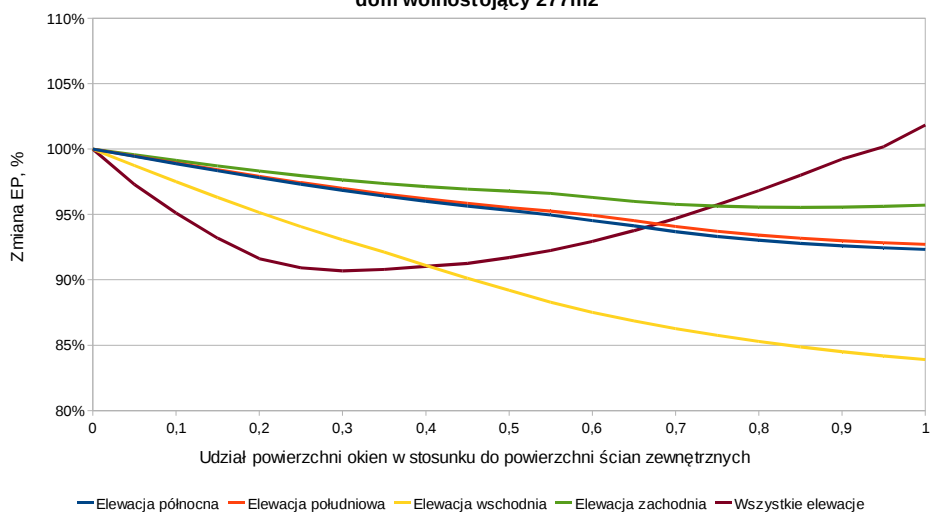
Zmiana EP w funkcji udziału powierzchni okien w stosunku do powierzchni ścian zewnętrznych, dom szeregowy 133m²



Zmiana EP w funkcji udziału powierzchni okien w stosunku do powierzchni ścian zewnętrznych, dom szeregowy 156m²



Zmiana EP w funkcji udziału powierzchni okien w stosunku do powierzchni ścian zewnętrznych, dom wolnostojący 277m²



Rys. 3 Zmiana wartości zapotrzebowania na Energię Pierwotną udziału powierzchni okna w stosunku do powierzchni elewacji dla budynków o powierzchni 133 m², 156 m² oraz 277 m²

Obliczenia wielowariantowe

W celu przeprowadzenia wielowariantowych obliczeń zdecydowano się na zbudowanie własnego kodu. Analizę całkowitych strat ciepła dla różnych typów budynków przeprowadzono w komercyjnym oprogramowaniu MATLAB w oparciu o Rozporządzeniem 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. W załączniku nr. 5 rozporządzenia znajduje się szczegółowy opis metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową, nie wyposażonych w instalację chłodzenia, na podstawie której przeprowadzono analizę różnych typów budynków mieszkalnych. W oparciu o własny kod przeprowadzono:

- analizę wpływu rodzaju materiałów budowlanych na całkowite straty ciepła,
- analizę wpływu stosunku powierzchni zewnętrznych przegród pionowych do kubatury budynku na całkowite straty ciepła,
- analizę wpływu współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego powierzchni przeszklonych na całkowite straty ciepła w budynku.

Dla każdego budynku w pierwszym etapie wyznaczone zostały roczne straty ciepła przez przenikanie i wentylację zgodnie z zależnością:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad \text{kWh/miesiąc} \quad (1)$$

$$Q_{tr} = H_{tr} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t_M \cdot 10^{-3} \quad \text{kWh/miesiąc} \quad (2)$$

$$Q_{ve} = H_{ve} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t_M \cdot 10^{-3} \quad \text{kWh/miesiąc} \quad (3)$$

gdzie:

Q_{tr} - miesięczne straty przez przenikanie,

Q_{ve} - miesięczne straty ciepła przez wentylację,

H_{tr} - współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie przez wszystkie przegrody zewnętrzne,

H_{ve} - współczynnik strat mocy cieplnej na wentylację,

$\theta_{int,H}$ - temperatura wewnętrzna dla okresu ogrzewania w budynku lub lokalu mieszkalnym przyjmowana zgodnie z wymaganiami zawartymi w przepisach techniczno-budowlanych,

θ_e - średnia temperatura powietrza zewnętrznego w analizowanym okresie miesięcznym według danych dla najbliższej stacji meteorologicznej,

t_M - liczba godzin w miesiącu.

Następnie zostały wyznaczone wewnętrzne zyski ciepła zgodnie z zależnością:

$$Q_{int} = q_{int} \cdot A_f \cdot t_M \cdot 10^{-3} \quad \text{kWh/miesiąc} \quad (4)$$

gdzie:

q_{int} - obciążenie cieplne pomieszczenia zyskami wewnętrznymi,

A_f - powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze w budynku lub lokalu mieszkalnym,

t_M - liczba godzin w miesiącu.

W kolejnym kroku, na podstawie wzoru (5), zostały obliczone zyski ciepła od promieniowania słonecznego przenikającego do przestrzeni ogrzewanej budynku przez przegrody przezroczyste.

$$Q_{sol} = \sum_i C_i \cdot A_i \cdot I_i \cdot g \cdot k_a \cdot Z \quad \text{kWh/miesiąc} \quad (5)$$

gdzie:

C_i - udział pola powierzchni płaszczyzny szklonej do całkowitego pola powierzchni okna, jest zależny od wielkości i konstrukcji okna,

A_i - pole powierzchni okna lub drzwi balkonowych w świetle otworu w przegrodzie,

I_i - wartość energii promieniowania słonecznego w rozpatrywanym miesiącu na płaszczyznę pionową, w której usytuowane jest okno o powierzchni A_i , według danych dotyczących najbliższego punktu pomiarów promieniowania słonecznego,

g - współczynnik przepuszczalności energii promieniowania słonecznego przez oszklenie,

k_α - współczynnik korekcyjny wartości I_i ze względu na nachylenie płaszczyzny połaci dachowej do poziomu,

Z - współczynnik zacienienia budynku ze względu na jego usytuowanie oraz przesłony na elewacji budynku.

W analizowanych przypadkach wartości energii promieniowania słonecznego zostały przyjęte dla stacji meteorologicznej w Katowicach. Budynki zostały usytuowane zgodnie z kierunkami stron świata i dla każdej elewacji zostały przyjęte odpowiednie wartości energii słonecznej.

Zyski ciepła wewnętrznego i od słońca w okresie rocznym wyliczone zostały na podstawie wzoru (6):

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad \text{kWh/miesiąc} \quad (6)$$

Miesięczne zapotrzebowanie ciepła użytkowego dla ogrzewania i wentylacji (straty ciepła) zostały wyliczone z zależności (7):

$$Q_{H,nd,n} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad \text{kWh/miesiąc} \quad (7)$$

gdzie:

$\eta_{H,gn}$ - współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła $\eta_{H,gn}$ w trybie ogrzewania.

Analiza wpływu stosunku powierzchni zewnętrznych przegród pionowych do kubatury budynku oraz udziału powierzchni przeszklonych w powierzchni przegród na całkowite straty ciepła

Następnie przeprowadzono analizę wpływu stosunku powierzchni przegród pionowych zewnętrznych do kubatury budynku oraz udziału powierzchni przeszklonych w powierzchni przegród. W tym celu badane budynki podzielono na grupy o takiej samej powierzchni użytkowej i kubaturze. Grupę pierwszą stanowią domy jednorodzinne ze spadzistym dachem o powierzchni użytkowej 200 m² oraz o kubaturze 540 m³ o następujących wymiarach:

- 10x10x5,4m (połacie przegrody dachowej zorientowane zostały w kierunkach północnym oraz południowym),
- 10x10x5,4m (połacie przegrody dachowej zorientowane zostały w kierunkach wschodnim oraz zachodnim),
- 10x10x5,4m (połacie przegrody dachowej zorientowane zostały w kierunkach północnym oraz południowym, jednak okna zostały usytuowane wyłącznie na południowej połaci dachowej),
- 14x14x2,7m (połacie przegrody dachowej zorientowane zostały w kierunkach północnym oraz południowym),
- 14x14x2,7m (połacie przegrody dachowej zorientowane zostały w kierunkach wschodnim oraz zachodnim),
- 14x14x2,7m (połacie przegrody dachowej zorientowane zostały w kierunkach północnym

oraz południowym, jednak okna zostały usytuowane wyłącznie na południowej pości dachowej).

Grupę drugą stanowią domy jednorodzinne z płaskim dachem o powierzchni użytkowej 200 m² oraz o kubaturze 540 m³ o następujących wymiarach:

- 10x10x5,4m (przegroda dachowa jest nieprzeszkłona),
- 14x14x2,7m (przegroda dachowa jest nieprzeszkłona),
- 10x10x5,4m (przegroda dachowa jest powierzchnią przeszkłoną),
- 14x14x2,7m (przegroda dachowa jest powierzchnią przeszkłoną).

Grupę trzecią stanowią bloki mieszkalne o powierzchni użytkowej 2000 m² i kubaturze 5400 m³ o następujących wymiarach:

- 20x20x13,5m (przegroda dachowa jest nieprzeszkłona),
- 45x45x2,7m (przegroda dachowa jest nieprzeszkłona),
- 26x26x8,1m (przegroda dachowa jest nieprzeszkłona),
- 15x15x24,3m (przegroda dachowa jest nieprzeszkłona),
- 16x25x13,5m (przegroda pionowa o długości 16 m została usytuowana w kierunkach północnym oraz południowym, natomiast ściana o długości 25 m została usytuowana w kierunkach wschodnim oraz zachodnim, zakłada się, że dach jest przegrodą nieprzeszkłoną),
- 16x25x13,5m (przegroda pionowa o długości 16 m została usytuowana w kierunkach wschodnim oraz zachodnim, natomiast ściana o długości 25 m została usytuowana w kierunkach północnym oraz południowym, zakłada się, że dach jest przegrodą nieprzeszkłoną),
- 25x40x5,4m (przegroda pionowa o długości 25 m została usytuowana w kierunkach północnym oraz południowym, natomiast ściana o długości 40 m została usytuowana w kierunkach wschodnim oraz zachodnim, zakłada się, że dach jest przegrodą nieprzeszkłoną),
- 25x40x5,4m (przegroda pionowa o długości 16 m została usytuowana w kierunkach wschodnim oraz zachodnim, natomiast ściana o długości 25 m została usytuowana w kierunkach północnym oraz południowym, zakłada się, że dach jest przegrodą nieprzeszkłoną),
- 10x20x27m (przegroda pionowa o długości 10 m została usytuowana w kierunkach północnym oraz południowym, natomiast ściana o długości 20 m została usytuowana w kierunkach wschodnim oraz zachodnim, zakłada się, że dach jest przegrodą nieprzeszkłoną),
- 10x20x27m (przegroda pionowa o długości 10 m została usytuowana w kierunkach wschodnim oraz zachodnim, natomiast ściana o długości 20 m została usytuowana w kierunkach północnym oraz południowym, zakłada się, że dach jest przegrodą nieprzeszkłoną).

W grupie czwartej znajdują się wieżowce o powierzchni użytkowej 17600m² oraz kubaturze 48000m³ o następujących wymiarach:

- 20x80x30m (przegroda pionowa o długości 20 m została usytuowana w kierunkach północnym oraz południowym, natomiast ściana o długości 80 m została usytuowana w kierunkach wschodnim oraz zachodnim, zakłada się, że dach jest przegrodą nieprzeszkłoną),
- 20x80x30m (przegroda pionowa o długości 20 m została usytuowana w kierunkach

wschodnim oraz zachodnim, natomiast ściana o długości 80 m została usytuowana w kierunkach północnym oraz południowym, zakłada się, że dach jest przegrodą nieprzeszkłąną).

Grupa piąta to budynki magazynowe o powierzchni użytkowej 2500 m² oraz kubaturze 15000 m³ o następujących wymiarach:

- 50x50x6m (założono, że z uwagi na przeznaczenie budynku – budynek magazynowy – w przegrodach pionowych nie znajdują się elementy przeszklone, natomiast w przegrodzie dachowej są elementy przeszklone) ,
- 100x25x6m (założono, że z uwagi na przeznaczenie budynku – budynek magazynowy – w przegrodach pionowych nie znajdują się elementy przeszklone, natomiast w przegrodzie dachowej są elementy przeszklone).

Założono, że ściany domu jednorodzinnego zarówno z dachem płaskim jak również z dachem spadzistym zostały wykonane z cegły pełnej zwykłej o grubości $d=0,25$ m oraz współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,78$ W/mK. Przegrody zewnętrzne zostały zaizolowane cieplnie poprzez zamocowanie od strony zewnętrznej styropianu o grubości $d=0,15$ m oraz współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,04$ W/mK.

Dla domu jednorodzinnego z dachem płaskim został przyjęty dach składający się z pięciu warstw. Pierwszą warstwą począwszy od wnętrza budynku jest tynk cementowo-wapienny o grubości $d = 0,015$ m oraz współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,82$ W/mK, następną warstwą jest płyta żelbetowa o grubości $d = 0,15$ m oraz o współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 1,7$ W/mK. Dach składa się również z warstwy spadkowej z betonu lekkiego o współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 1$ W/mK oraz o grubości $d = 0,1$ m. Przegroda dachowa jest zaizolowana cieplnie warstwą wełny szklanej o grubości $d = 0,2$ m oraz o współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038$ W/mK. Dach od strony zewnętrznej pokryty jest warstwą papy o grubości $d = 0,005$ oraz o współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,18$ W/mK.

Przegroda dachowa domu jednorodzinnego ze spadzistym dachem składała się z trzech warstw. Od strony wewnętrznej pierwszą warstwę stanowi płyta gipsowo-kartonowa o grubości $d = 0,01$ m oraz współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,23$ W/mK. Dach został zaizolowany cieplnie przy użyciu wełny szklanej o grubości $d = 0,1$ m oraz współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,04$ W/mK. Dach został wykończony dachówką ceramiczną o współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 1$ W/mK oraz grubości $d = 0,01$ m.

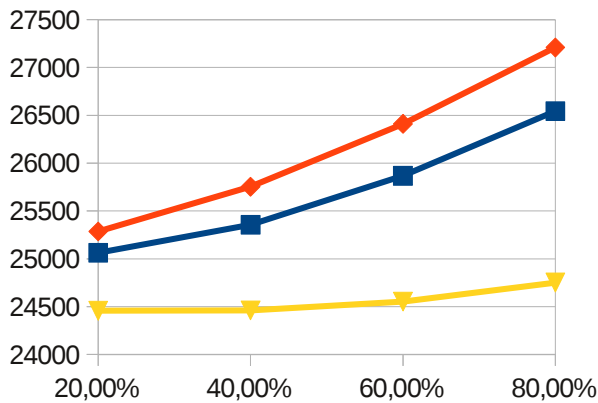
Dla budynku mieszkalnego wielorodzinnego (w analizowanym przypadku są to bloki mieszkalne o powierzchni użytkowej ok. 2000 m² oraz kubaturze 5400 m³) materiał budowlany został przyjęty taki sam jak dla domu jednorodzinnego, czyli przegrody pionowe zbudowane z cegły ceramicznej pełnej o grubości $d=0,25$ m oraz współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,78$ W/mK. W tym przypadku również przegrody zewnętrzne zostały zaizolowane cieplnie poprzez zamocowanie od strony zewnętrznej styropianu o grubości $d=0,15$ m oraz współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,04$ W/mK. Przegroda dachowa jest również taka sama jak dla budynku jednorodzinnego z dachem płaskim.

Kolejnym analizowanym budynkiem jest wielopiętrowy budynek wielorodzinny (jedenastokondygnacyjny). Przegrody pionowe zbudowane są z betonu o grubości $d = 0,15$ m oraz o współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 1,7$ W/mK. W budynku tym również założono izolację cieplną w postaci warstwy styropianu o grubości $d = 0,15$ m oraz o współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,04$ W/mK.

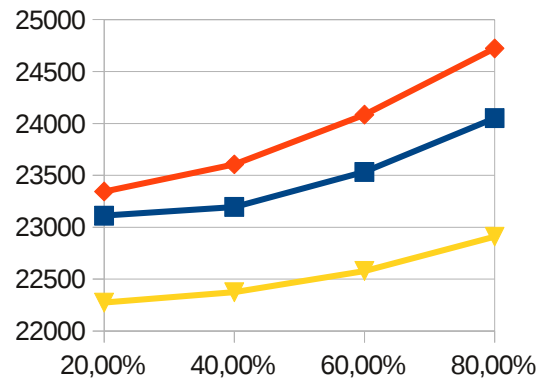
Ostatnim z analizowanych budynków jest budynek magazynowy o powierzchni użytkowej 2500 m² oraz kubaturze 15000 m³. Zarówno przegrody pionowe jak również przegroda dachowa składają się z dwóch warstw blachy o grubości $d = 0,02$ m oraz o współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 50$ W/mK pomiędzy którymi znajduje się warstwa izolacyjna, którą jest styropian o grubości $d = 0,1$ m oraz o współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,04$ W/mK.

BUDYNKI Z DACHAMI SPADZISTYMI

Analizie poddano dwa rodzaje budynków jednorodzinnych z dachami spadzistymi o wymiarach 10x10x5,7m oraz o wymiarach 14x14x2,7m o powierzchni użytkowej ok. 200 m² oraz kubaturze ok. 540 m³. Zakłada się, że okna znajdują się na wszystkich elewacjach w następujących ilościach: na elewacji północnej 20% powierzchni ściany stanowią okna, na elewacjach południowej, wschodniej oraz zachodniej okna stanowią 40% powierzchni ściany. Dach spadzisty nachylony jest pod kątem 30° do powierzchni poziomej. Zakłada się trzy warianty usytuowania budynków. W wariantie pierwszym na powierzchni dachowe budynku promieniowanie słoneczne pada z kierunków północnego i południowego, przy czym założono równy udział powierzchni okna w powierzchni dachu dla obu kierunków. W wariantie drugim promieniowanie słoneczne pada z kierunku wschód oraz zachód. Dla tego wariantu również założono równy udział powierzchni okna w powierzchni dachu dla obu kierunków padania promieniowania słonecznego. W wariantie trzecim budynek usytuowany jest w taki sposób, że połacie dachowe ukierunkowane są na północ południe, jednak w tym przypadku okna znajdują się tylko na południowej połąci. Sprawdzono cztery udziały powierzchni okien w powierzchni dachu (20%, 40%, 60% oraz 80%).



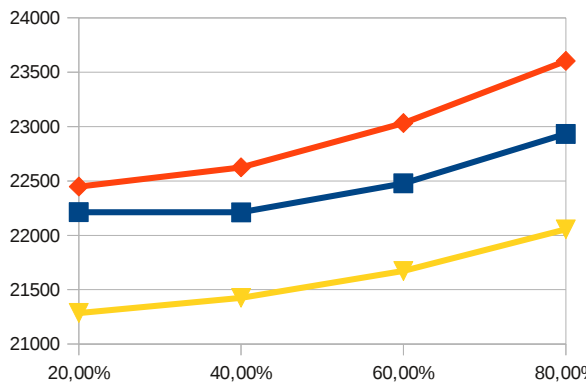
■ dach spadzisty 10x10x5,4 S-N
 ◆ dach spadzisty 10x10x5,4 E-W
 ▼ dach spadzisty 10x10x5,4m S-N okna tylko na S



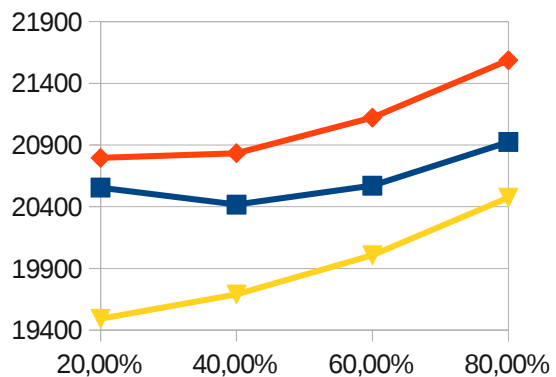
■ dach spadzisty 10x10x5,4 S-N
 ◆ dach spadzisty 10x10x5,4 E-W
 ▼ dach spadzisty 10x10x5,4m S-N okna tylko na S

a)g=0,6

b)g=0,7



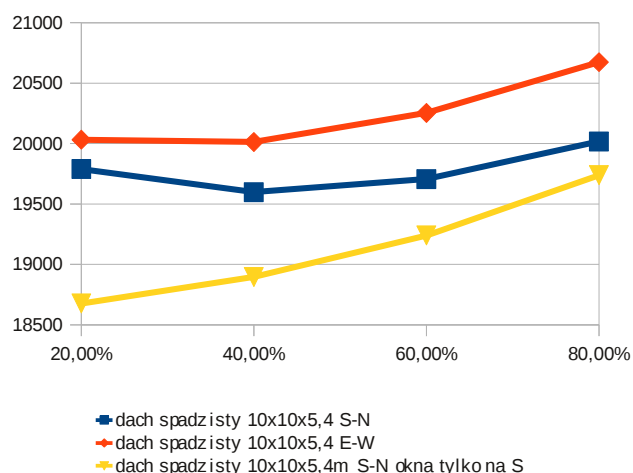
■ dach spadzisty 10x10x5,4 S-N
 ◆ dach spadzisty 10x10x5,4 E-W
 ▼ dach spadzisty 10x10x5,4m S-N okna tylko na S



■ dach spadzisty 10x10x5,4 S-N
 ◆ dach spadzisty 10x10x5,4 E-W
 ▼ dach spadzisty 10x10x5,4m S-N okna tylko na S

c) $g=0,75$

d) $g=0,85$



e) $g=0,9$

Rys. 4. Porównanie wartości całkowitych strat ciepła z budynków ze spadzistym dachem o wymiarach 10x10 m oraz wysokości 5,4 m z udziałem okien na połaciach północ-południe, z udziałem okien na połaciach wschód-zachód oraz z udziałem okien tylko na pości południowej dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,6$

Na rysunku 4. przedstawiono porównanie wartości całkowitych strat ciepła z budynków o wymiarach 10x10 m oraz wysokości 5,4 m dla trzech wariantów w zależności od udziału powierzchni okna w powierzchni dachu dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,6$.

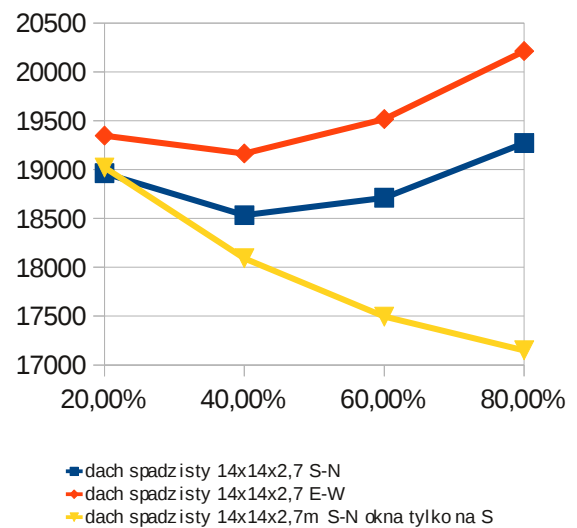
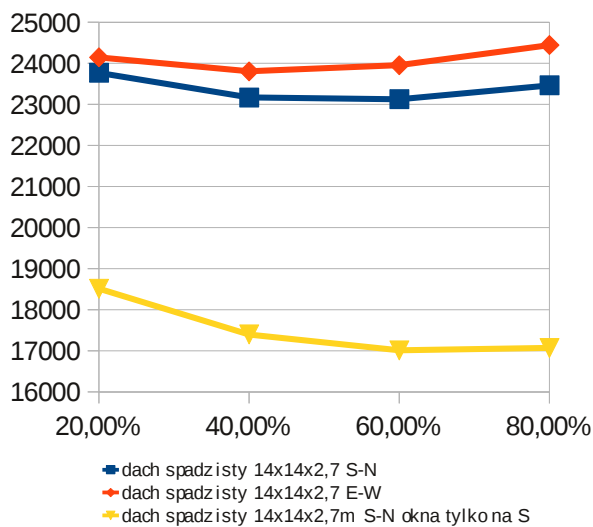
Na podstawie analizy można stwierdzić, iż najbardziej opłacalnym wariantem wśród budynków o wymiarach 10x10 m oraz wysokości 5,4 m jest budynek usytuowany połaciami dachowymi w kierunkach północ-południe, w którym powierzchnie przeszklone o 20-sto procentowym udziale powierzchni okien w powierzchni dachu znajdują się wyłącznie na południowej pości dachowej. Niezależnie jednak od współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone najkorzystniejszy z punktu widzenia zapotrzebowania na ciepło jest budynek usytuowany w kierunku północ-południe z oknami tylko na południowej pości dachowej. W tym przypadku dla współczynników przepuszczalności promieniowania słonecznego o niższych wartościach (0,6) różnice w zapotrzebowaniu na ciepło grzejne pomiędzy 20-sto, 40-sto oraz 60-cio procentowym udziałem okna w powierzchni dachu są niewielkie (Rys. 4). Jednak nawet dla 80-cio procentowego udziału powierzchni oszklonych w powierzchni dachowej całkowite straty ciepła rosną nieznacznie. Dla wyższych wartości współczynników przepuszczalności promieniowania słonecznego wraz ze wzrostem udziału powierzchni okna w powierzchni dachu całkowite straty ciepła również rosną, jednak wraz ze wzrostem wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone całkowite straty ciepła z budynku maleją.

Najbardziej energochłonnym wariantem jest budynek usytuowany w kierunkach wschód-zachód z oknami na obu połaciach. Dla tego budynku wraz ze wzrostem wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego oraz ze wzrostem udziału powierzchni przeszklonych w powierzchni dachowej można zaobserwować wzrost wartości całkowitych strat ciepła.

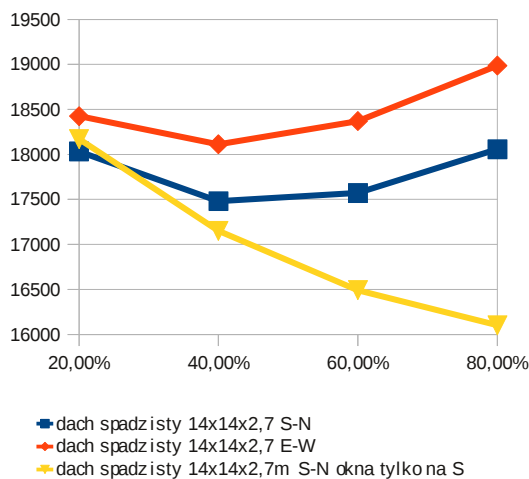
Dla budynków usytuowanych w kierunku północ-południe z udziałem powierzchni okien w powierzchni dachu na obydwóch połaciach można zaobserwować występowanie minimum. Wynika z tego, iż najkorzystniejszym rozwiązaniem wśród analizowanych przypadków jest

budynek o 20-sto procentowym udziale powierzchni okna w powierzchni dachu. Dla wyższych wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego (powyżej 0,75) całkowite straty ciepła z budynku usytuowanego w kierunkach północ-południe z 80-cio procentowym udziałem powierzchni oszklonych w zarówno północnej, jak i południowej powierzchni dachu są bardzo zbliżone do zapotrzebowania na ciepło budynku usytuowanego również w kierunku północ-południe, jednak z 40-sto procentowym udziałem okna w powierzchni dachu jedynie na południowej pości.

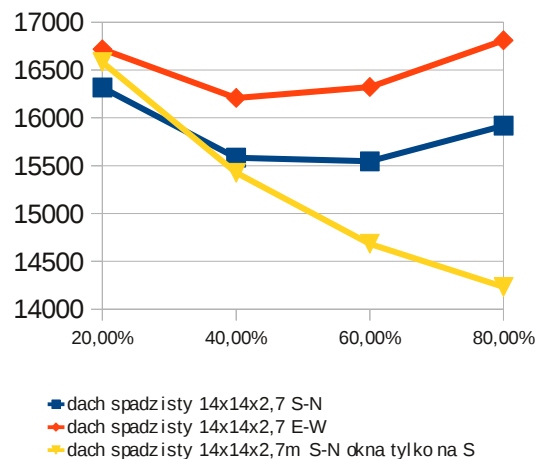
Na rysunku 5. przedstawiono porównanie całkowitych strat ciepła z budynku o wymiarach 14x14 m oraz wysokości 2,7 m dla trzech wariantów usytuowania powierzchni przeszklonych, dla ich różnego udziału w powierzchni dachu oraz dla różnych wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego.



a) $g=0,6$

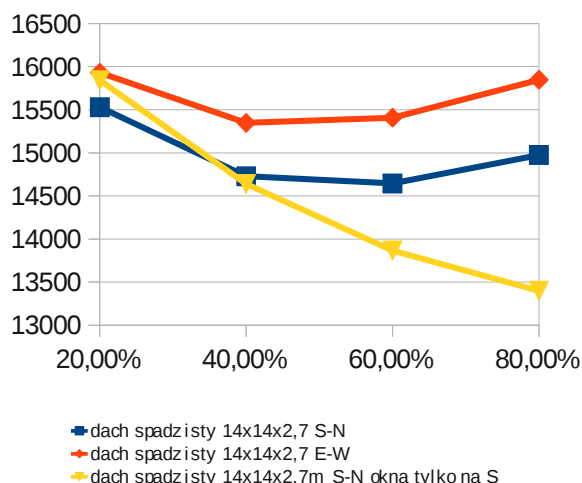


b) $g=0,7$



c) $g=0,75$

d) $g=0,85$

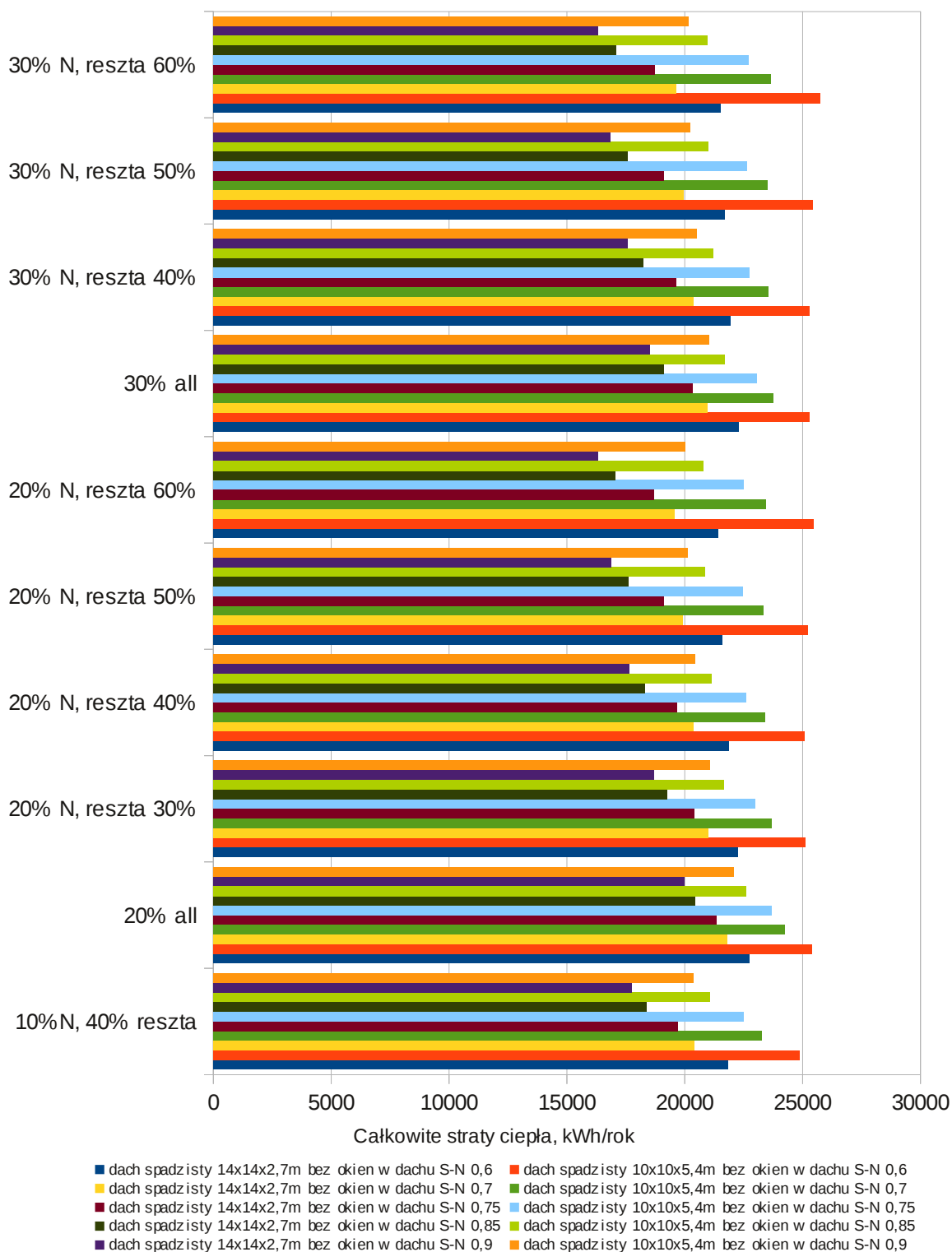


e) $g=0,9$

Rys. 5. Porównanie wartości całkowitych strat ciepła z budynków ze spadzistym dachem o wymiarach 14x14 m oraz wysokości 2,7 m z udziałem okien na połaciach północ-południe, z udziałem okien na połaciach wschód-zachód oraz z udziałem okien tylko na połaci południowej dla różnych wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego

Dla budynków o wymiarach 14x14 m oraz wysokości 2,7 m w których okna znajdują się na obu połaciach (zarówno dla wariantu północ-południe, jak również dla wariantu wschód-zachód) całkowite straty ciepła dla budynków, kształtują się podobnie jak dla budynków o wymiarach 10x10 m oraz wysokości 5,4 m. Jednak dla budynku usytuowanego w kierunkach północ-południe z oknami tylko na połaci południowej zapotrzebowanie na ciepło grzejne kształtuje się zupełnie inaczej aniżeli ma to miejsce w przypadku budynków o wymiarach 10x10 m oraz wysokości 5,4 m. Również najkorzystniejszym wariantem jest budynek usytuowany w kierunku północ-południe z oknami tylko na południowej połaci dachowej. Jednak w przeciwieństwie do wyższych budynków najniższe całkowite straty ciepła są z budynków o 80-cio procentowym udziale powierzchni okna w powierzchni dachu.

Następnie porównano całkowite straty ciepła z budynków bez okien w powierzchni dachu spadzistego. Ze względu na równe długości ścian zewnętrznych oraz brak okien w dachu usytuowanie budynku w przestrzeni nie wpływa na zapotrzebowanie na ciepło grzejne, gdyż nie występują zyski ciepła od nasłonecznienia powierzchni dachowych. Na rysunku 6. przedstawiono porównanie wartości całkowitych strat ciepła w zależności od udziału powierzchni przeszklonych w powierzchni zewnętrznych przegród pionowych oraz od wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego.



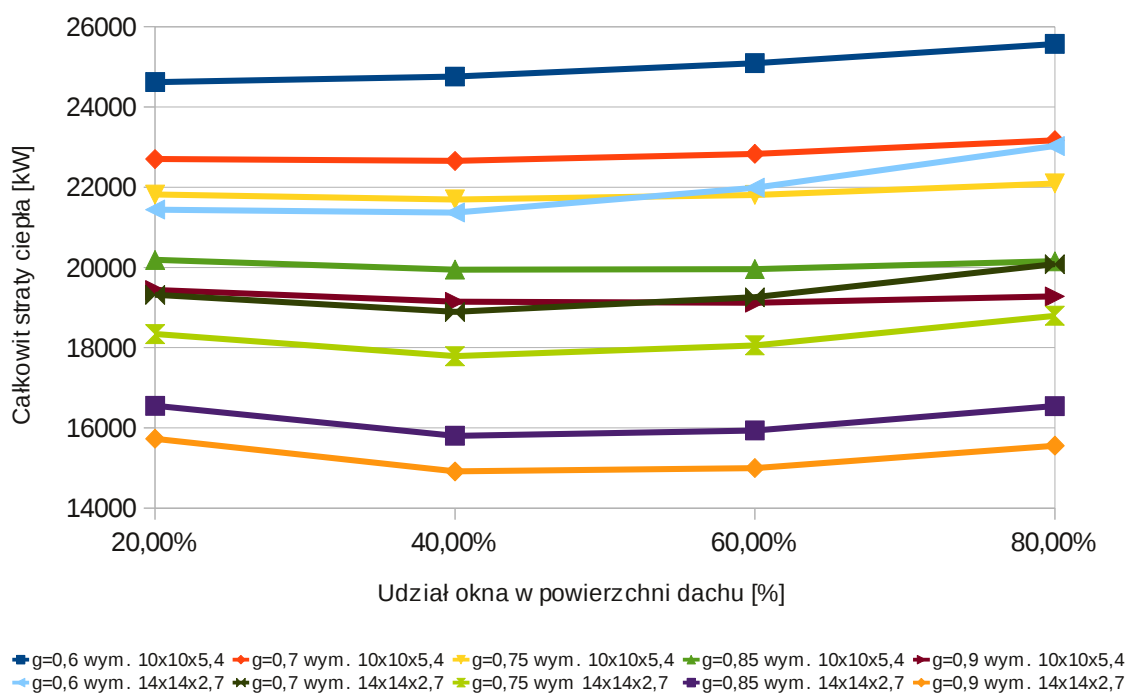
Rys. 6. Porównanie wartości całkowitych strat ciepła z budynków ze spadzistym dachem bez okien w przegrodzie dachowej o wymiarach 14x14 m oraz wysokości 2,7 m oraz 10x10 m oraz wysokości 5,4 m dla różnych wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, iż niższe budynki jednak o większych wymiarach są mniej energochłonne. Natomiast budynki, w których zostały umieszczone okna w powierzchni dachowej charakteryzują się mniejszym zapotrzebowaniem na ciepło grzejne,

aniżeli budynki o podobnych rozmiarach jednak bez okien w przegrodzie dachowej.

BUDYNKI Z DACHAMI PŁASKIMI

Analizie poddano dwa rodzaje budynków jednorodzinnych z płaskim dachem o wymiarach 10x10x5,7m oraz o wymiarach 14x14x2,7m o powierzchni użytkowej 200 m² oraz kubaturze 540 m³. Zakłada się, że okna znajdują się na wszystkich elewacjach w następujących ilościach: na elewacji północnej 20% powierzchni ściany stanowią okna, na elewacjach południowej, wschodniej oraz zachodniej okna stanowią 40% powierzchni ściany. Zakłada się również zmienny udział okien w dachu. Sprawdzono cztery udziały powierzchni okien w powierzchni dachu (20%, 40%, 60% oraz 80%). Na rys. 7 przedstawiono porównanie zapotrzebowania na ciepło dla wyżej opisanych budynków w zależności od współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone zarówno w pionowych przegrodach zewnętrznych, jak również w powierzchni dachowej.



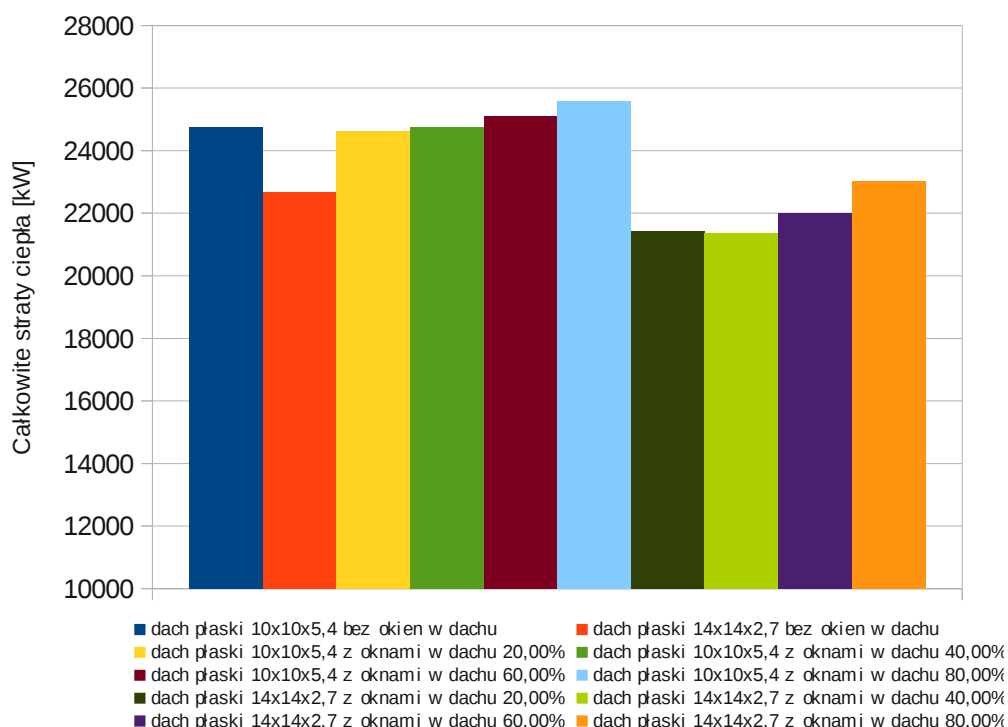
Rys. 7. Całkowite straty ciepła z budynków o płaskim dachu z oknami w przegrodzie dachowej dla współczynników przepuszczalności promieniowania słonecznego o różnych wartościach

Dla analizowanego przypadku najkorzystniejsze jest zamontowanie okna dachowego w budynku o wymiarach 14x14x2,7m dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego o wartości 0,9 oraz o udziale okna w powierzchni dachu około 40%. Ponadto korzystniejsze jest budowanie budynków o mniejszej wysokości oraz o większej powierzchni podłogi. Najmniejsze całkowite straty ciepła uzyskuje się dla wysokich współczynników przepuszczalności promieniowania słonecznego, natomiast dla współczynników promieniowania słonecznego o niższych wartościach uzyskuje się większe straty ciepła. Można również zauważyć, iż dla budynku o wymiarach 14x14x2,7m o wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego równej 0,6 całkowite straty ciepła są większe aniżeli dla budynku o wymiarach 10x10x5,4m jednak o wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego 0,9. Wynika z tego, iż wartość współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie przeszklone ma duży wpływ na zapotrzebowanie na ciepło budynku.

Następnie porównano wielkości całkowitych strat ciepła dla budynków o wymiarach 10x10x5,4m z dachem płaskim, w których nie ma elementów przeszklonych, budynków o wymiarach 14x14x2,7m z dachem płaskim, w których również nie ma elementów przeszklonych, dla

budynków o wymiarach 10x10x5,4m z dachem płaskim, w których umieszczone zostały elementy przeszklone oraz dla budynków o wymiarach 14x14x2,7m z dachem płaskim, w których również zostały umieszczone elementy przeszklone. Udziały powierzchni przeszklonych w dachu, dla których została przeprowadzona analiza wynoszą 20%, 40%, 60% i 80%. Dla wszystkich budynków zakłada się udział powierzchni okna w powierzchni przegród zewnętrznych pionowych na elewacji północnej wynoszący 20% oraz na elewacjach południowej, wschodniej i zachodniej na poziomie 40%. Analizę przeprowadzono dla pięciu różnych współczynników przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone, które zostały dobrane na podstawie istniejących na rynku okien oraz elementów przeszklonych.

W pierwszej części analizy uwzględniono przeszklenie przy wykorzystaniu pustaka szklanego o współczynniku przepuszczalności promieniowania słonecznego równego 0,6. Wyniki analizy przedstawiono na rys. 8.

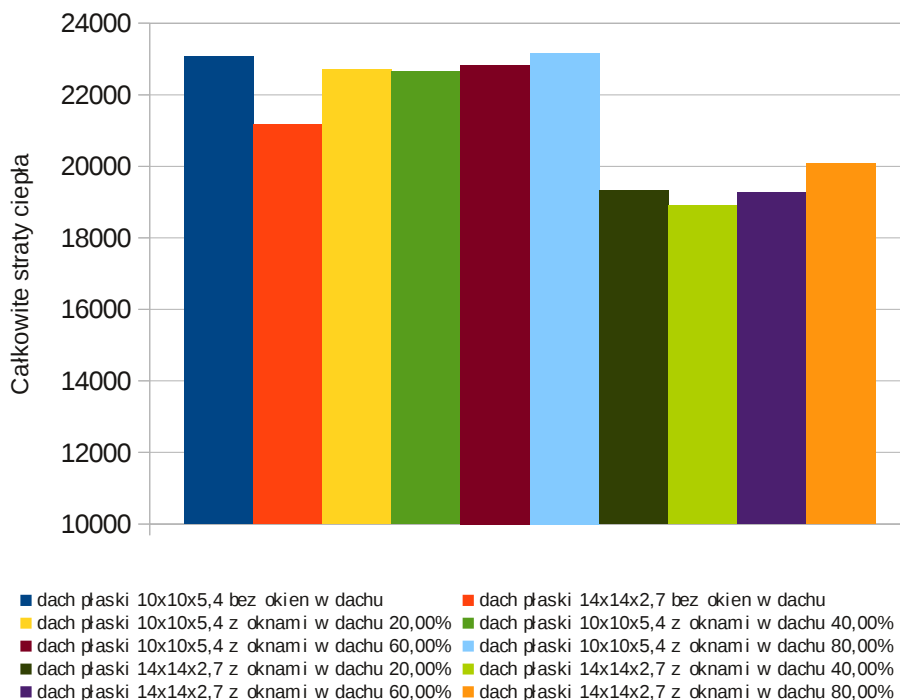


Rys. 8. Całkowite straty ciepła dla budynków o różnych wymiarach i różnym udziale powierzchni okien do powierzchni przegród pionowych zewnętrznych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego o wartości 0,6

Dla budynku z płaskim dachem o wymiarach 14x14x2,7m dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego równego 0,6 (pustak szklany) dla udziału powierzchni przeszklonych w powierzchni dachu na poziomie 40% całkowite straty ciepła są najmniejsze. Nieznacznie wyższe zapotrzebowanie na ciepło grzejne jest dla budynku o wymiarach 14x14x2,7m z 20-procentowym udziałem okien w powierzchni dachu. Dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,6$ przez powierzchnie oszklone w ścianach pionowych dla budynku bez okien w powierzchni dachowej korzystniejszą wersją pod kątem strat ciepła do otoczenia jest to budynek o wymiarach 14x14x2,7m, gdyż całkowite straty ciepła są niższe niż dla budynku o wymiarach 10x10x5,4m. Budynkiem o największych stratach jest budynek o wymiarach 10x10x5,4m, dla którego udział powierzchni oszklonej w powierzchni dachu wynosi 80%. Na podstawie analizy można również zaobserwować, iż całkowite straty ciepła z budynków o wymiarach 14x14x2,7m są znacznie mniejsze aniżeli dla budynków o wymiarach 10x10x5,4m,

przy założeniu, że udział powierzchni okna w przegrodzie zewnętrznej pionowej jest taki sam dla obu typów budynków.

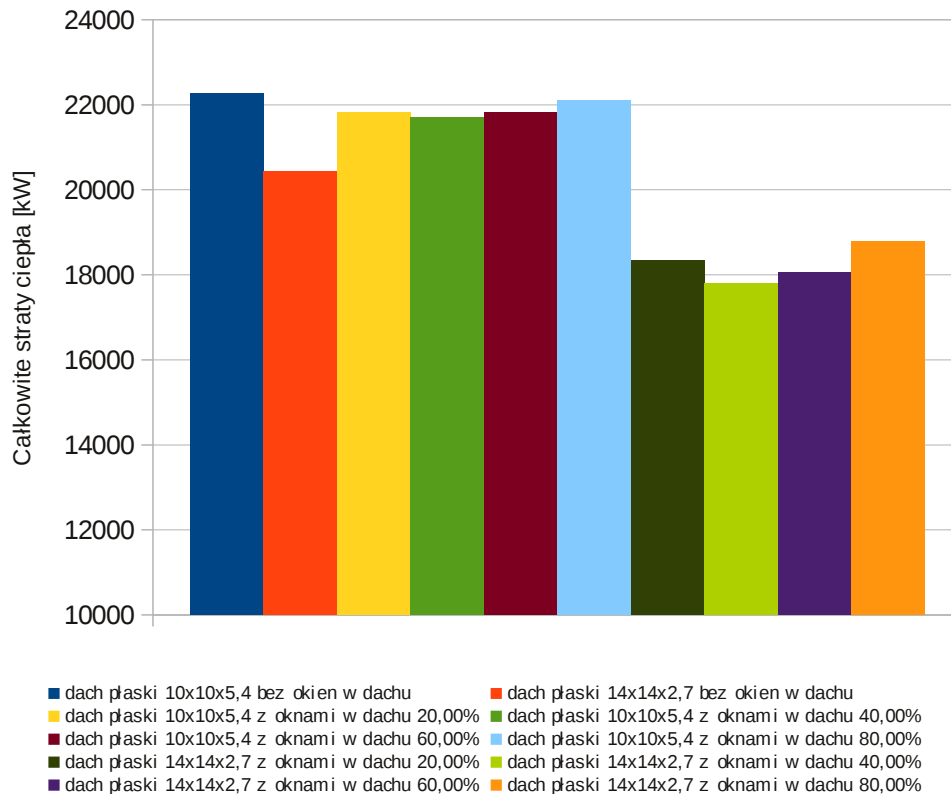
W drugiej części analizy uwzględniono oszklenie potrójną szybą, dla którego współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego wynosi 0,7. Wyniki analizy przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Całkowite straty ciepła dla budynków o różnych wymiarach i różnym udziale powierzchni okien do powierzchni przegród pionowych zewnętrznych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego o wartości 0,7

Budynek o wymiarach 14x14x2,7 m oraz o udziale powierzchni okna w powierzchni ściany zewnętrznej równym 40% ma najmniejsze zapotrzebowanie na ciepło. Największe straty ciepła do otoczenia generuje budynek o wymiarach 10x10 m oraz o wysokości 5,4 m, w którym założono 80-procentowy udział powierzchni okna w powierzchni ściany zewnętrznej. Na podstawie przeprowadzonej analizy zaobserwować można niewielkie różnice w całkowitych stratach ciepła pomiędzy budynkiem o wymiarach 10x10x5,4m, w którym uwzględniono okno w dachu oraz o takich samych wymiarach jednak bez okna w przegrodzie dachowej. Budynki o wymiarach 14x14 m oraz o wysokości 2,7 m mają znacznie niższe zapotrzebowanie na ciepło aniżeli budynki o wymiarach 10x10 m oraz o wysokości 5,4 m. Wartości całkowitych strat ciepła z budynków o wymiarach 10x10 m oraz wysokości 5,4 m dla różnych wartości udziału powierzchni okna w powierzchni ściany (20%, 40%, 60%, 80%) różnią się w nieznaczny sposób. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku budynków o wymiarach 14x14 m oraz wysokości 2,7 m, jednak w tym przypadku różnice są większe.

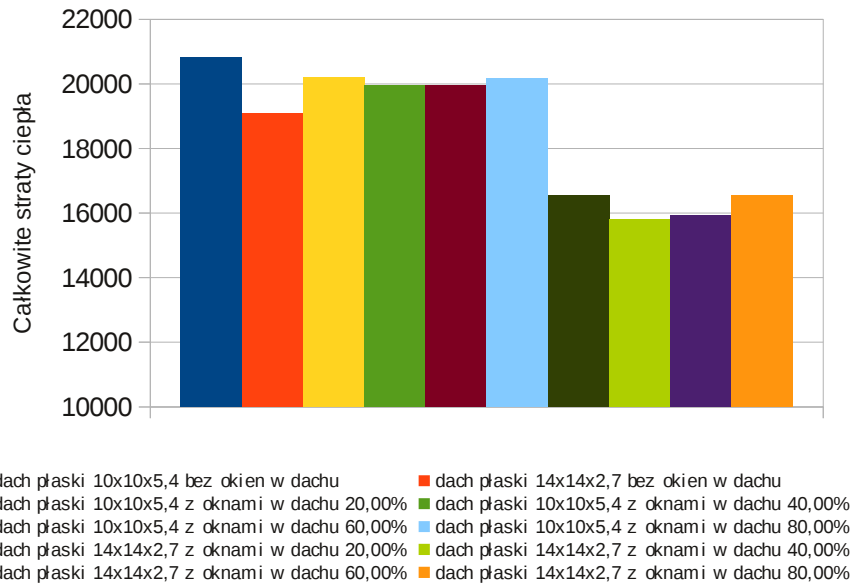
W trzeciej części analizy uwzględniono oszklenie podwójną szybą, dla którego współczynnik promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone wynosi 0,75. Wyniki przedstawiono na rys. 10.



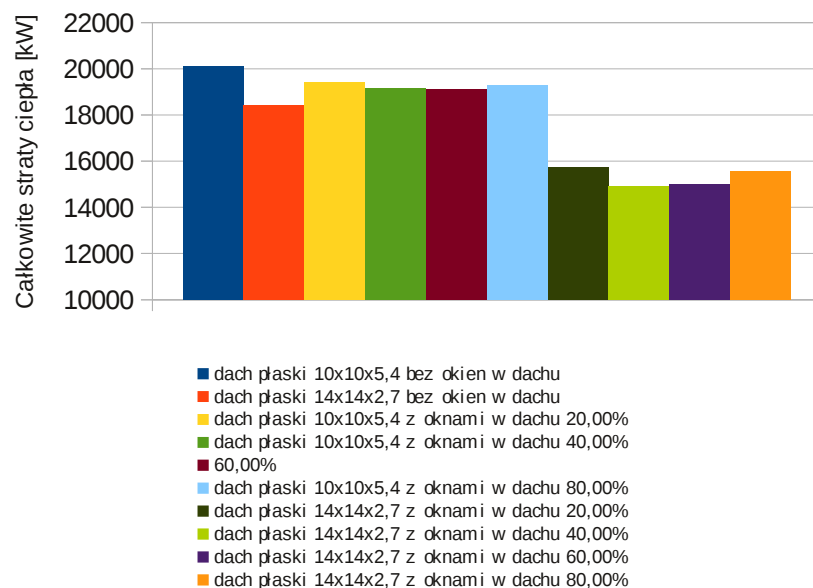
Rys. 10. Całkowite straty ciepła dla budynków o różnych wymiarach i różnym udziale powierzchni okien do powierzchni przegród pionowych zewnętrznych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego o wartości 0,75

Dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,75$ również najkorzystniejszy pod kątem zapotrzebowania na energię cieplną jest budynek o wymiarach 14x14 m oraz o wysokości 2,7 m oraz o 40-sto procentowym udziale powierzchni okna w powierzchni dachu płaskiego. Jednak w przeciwieństwie do niższych wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby całkowite straty ciepła z budynku o wymiarach 10x10 m oraz o wysokości 5,4 m bez uwzględnienia powierzchni przeszklonych w połąci dachowej są nieznacznie większe aniżeli dla budynków o takich samych wymiarach lecz z uwzględnieniem okien w powierzchni dachu. Budynki o wymiarach 10x10 m oraz o wysokości 5,4 m, w których okna w powierzchni dachu nie występują mają największe zapotrzebowanie na ciepło. Dla budynków o wymiarach 10x10 m oraz o wysokości 5,4 m różnice pomiędzy całkowitymi stratami ciepła w zależności od udziału okna w powierzchni dachowej są niewielkie. Podobnie jak dla niższych wartości współczynników przepuszczalności promieniowania słonecznego, całkowite straty ciepła dla budynków o wymiarach 10x10 m oraz o wysokości 5,4 m są wyższe aniżeli dla budynków o wymiarach 14x14 m oraz o wysokości 2,7 m.

W kolejnej części analizy przeprowadzono badania całkowitego zapotrzebowania na ciepło budynku przy zastosowaniu oszklenia pojedynczą szybą, dla której współczynnik promieniowania słonecznego wynosi 0,85 oraz 0,9. Wyniki przedstawione zostały odpowiednio na rys. 11 oraz rys. 12.



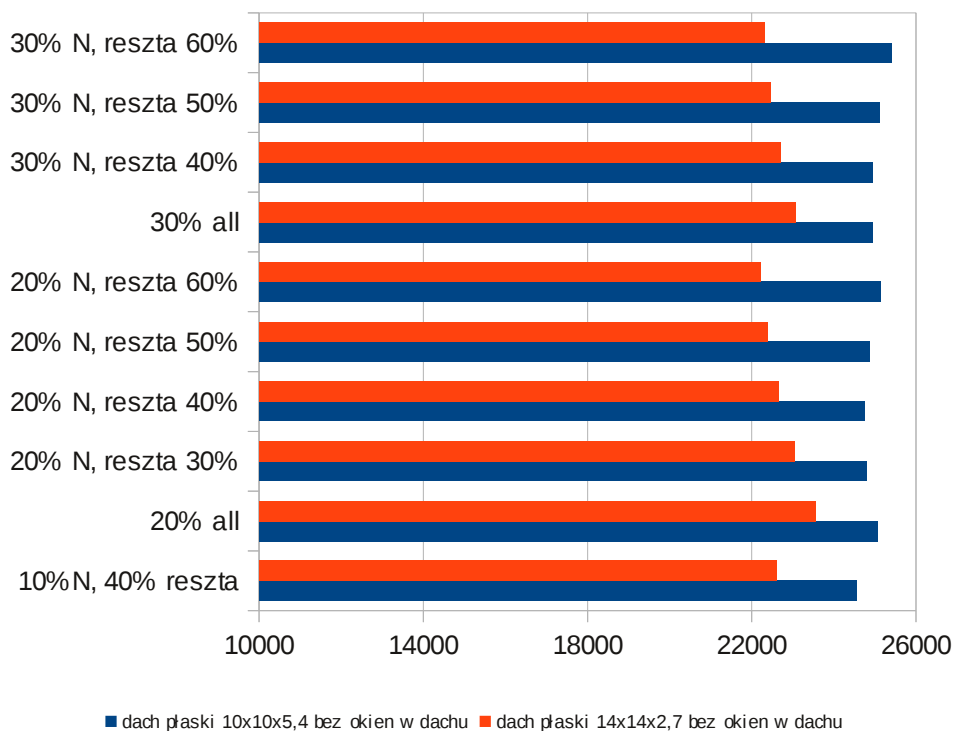
Rys. 11. Całkowite straty ciepła dla budynków o różnych wymiarach i różnym udziale powierzchni okien do powierzchni przegród pionowych zewnętrznych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego o wartości 0,85



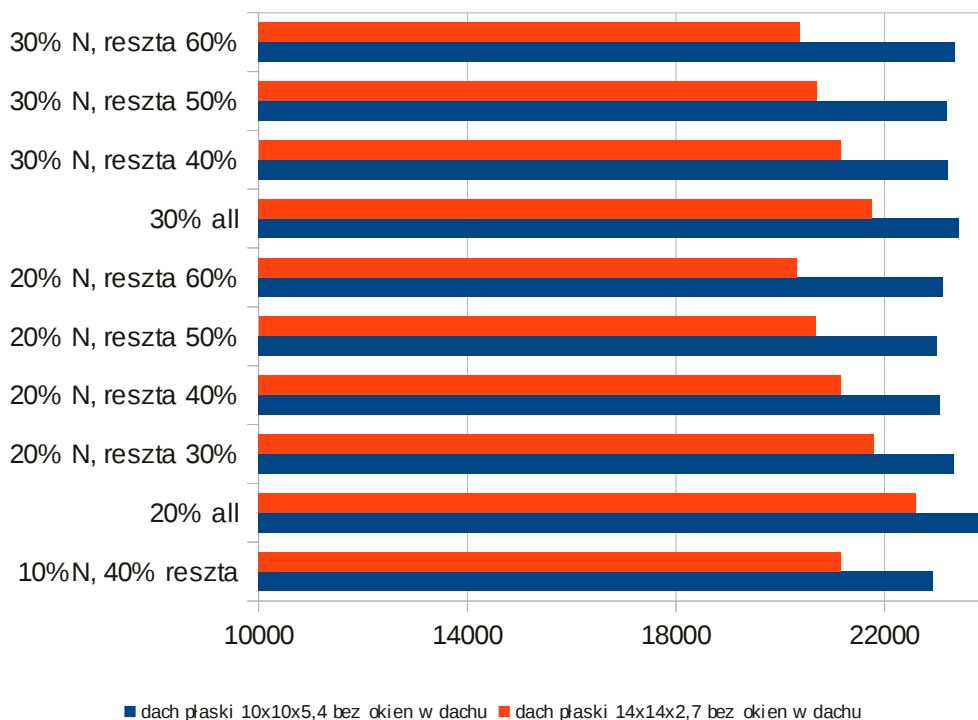
Rys. 12. Całkowite straty ciepła dla budynków o różnych wymiarach i różnym udziale powierzchni okien do powierzchni przegród pionowych zewnętrznych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego o wartości 0,9

Wraz ze wzrostem wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone zmniejsza się wartość całkowitych strat ciepła budynku. Jest to związane z uwzględnianiem promieniowania słonecznego padającego na powierzchnie poziome. Zarówno przy założeniu powierzchni oszklonych o współczynniku przepuszczalności promieniowania słonecznego równej 0,85 jak również dla wartości 0,9 najkorzystniejszym wariantem jest budynek o wymiarach 14x14 m oraz wysokości 2,7 m. Jednak dla okien o wyższej wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego całkowite straty ciepła z budynku maleją. Następnie porównano całkowite straty ciepła dla budynków bez okien w przegrodzie dachowej dla

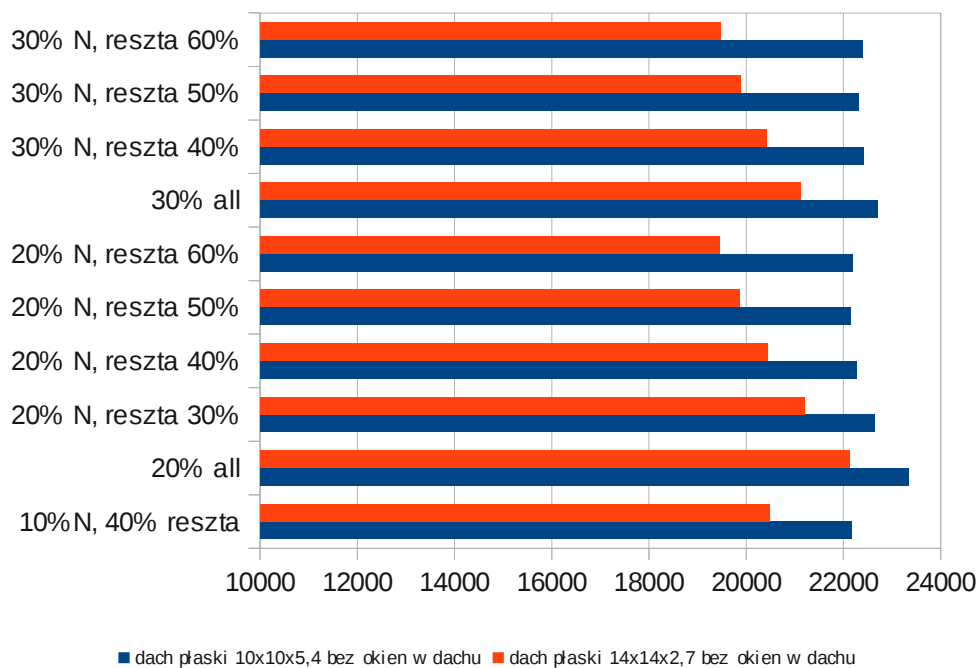
różnych wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez elementy przeszklone umieszczone w przegrodzie zewnętrznej pionowej.



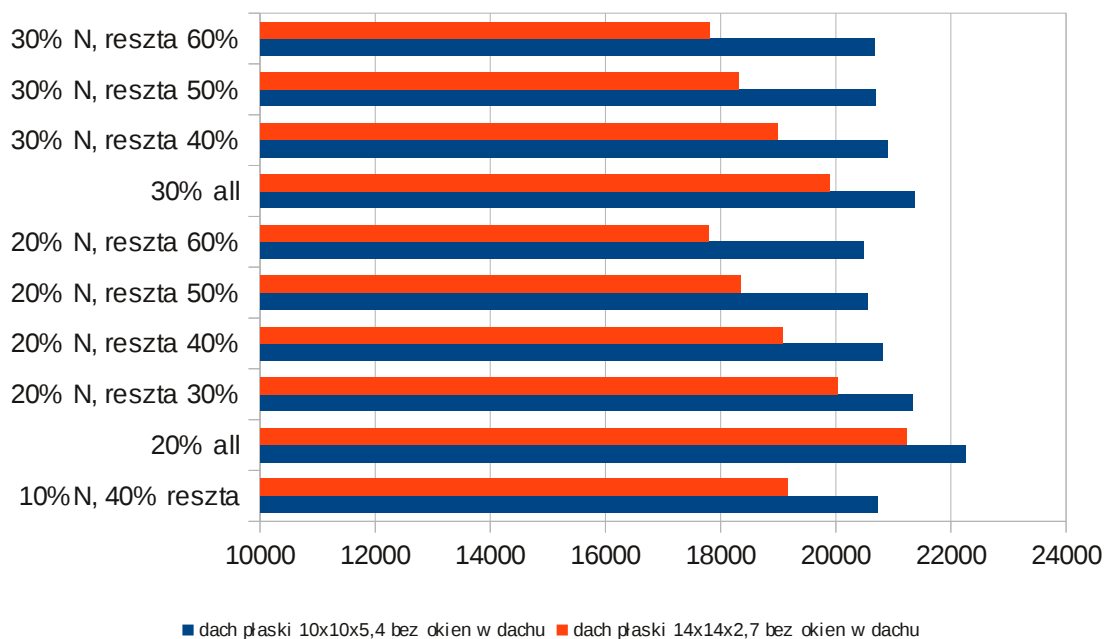
Rys. 13. Całkowite straty ciepła dla budynku bez okien w dachu płaskim o współczynniku promieniowania słonecznego przez szyby $g=0,6$ w przegrodach zewnętrznych pionowych



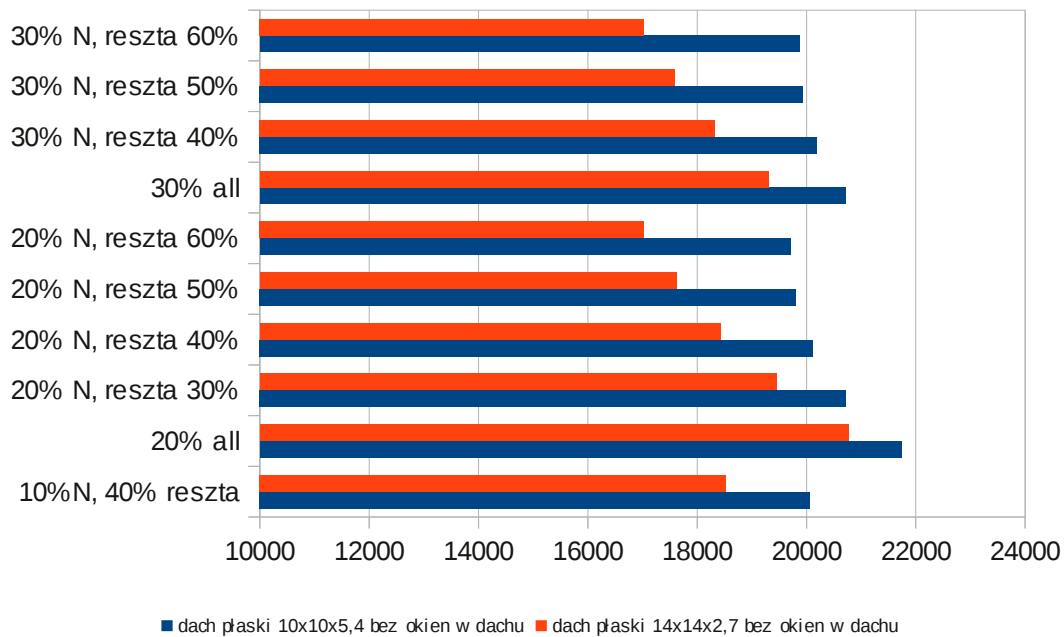
Rys. 14. Całkowite straty ciepła dla budynku bez okien w dachu płaskim o współczynniku promieniowania słonecznego przez szyby $g=0,7$ w przegrodach zewnętrznych pionowych



Rys. 15. Całkowite straty ciepła dla budynku bez okien w dachu płaskim o współczynniku promieniowania słonecznego przez szyby $g=0,75$ w przegrodach zewnętrznych pionowych



Rys. 16. Całkowite straty ciepła dla budynku bez okien w dachu płaskim o współczynniku promieniowania słonecznego przez szyby $g=0,85$ w przegrodach zewnętrznych pionowych



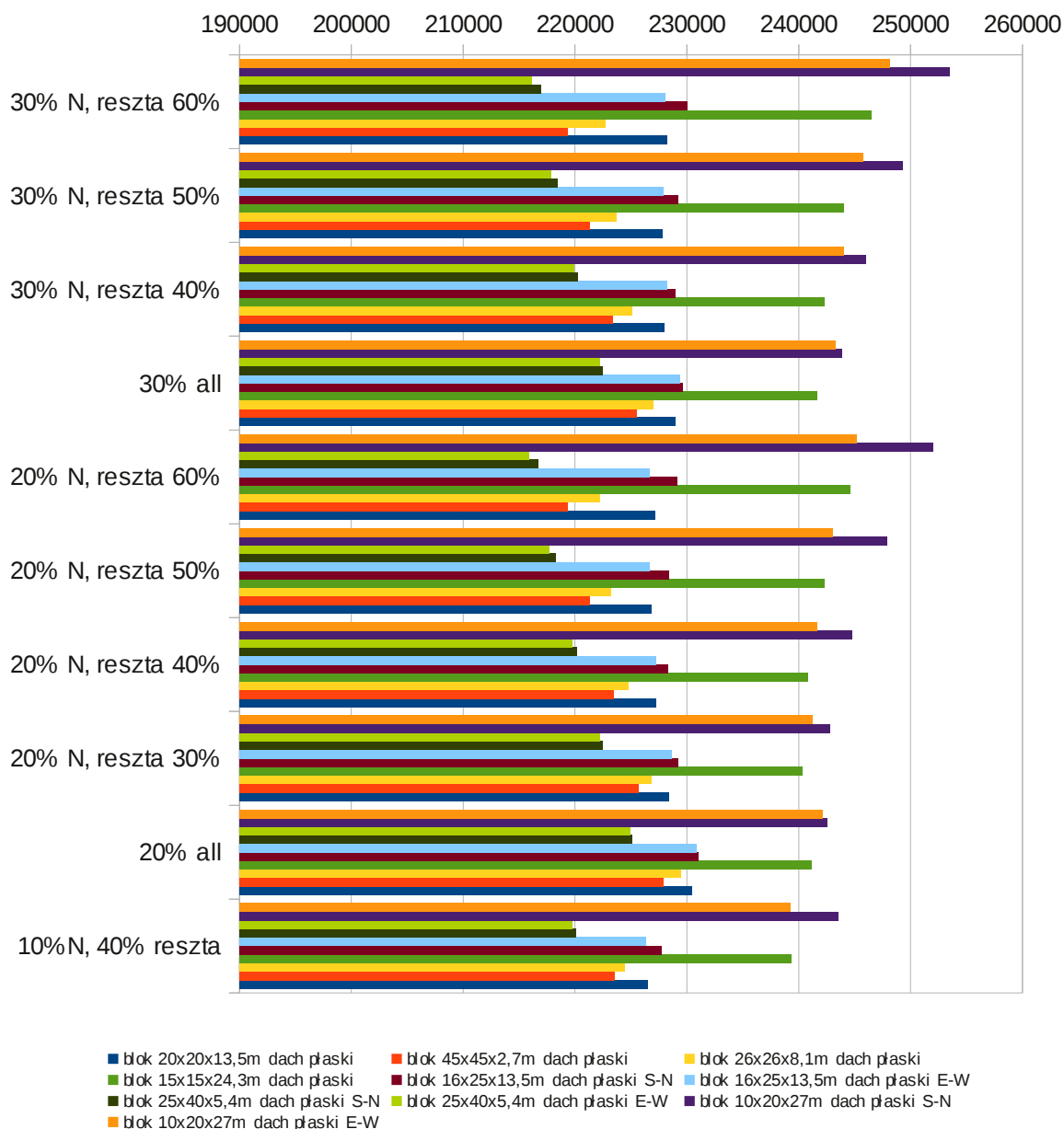
Rys. 17. Całkowite straty ciepła dla budynku bez okien w dachu płaskim o współczynniku promieniowania słonecznego przez szyby w przegrodach zewnętrznych pionowych $g=0,9$

Najkorzystniejszym rozwiązaniem budowlanym pod kątem całkowitych strat ciepła jest budynek o wymiarach 14x14 m oraz o wysokości 2,7 m, w którym na powierzchni elewacji północnej 20% powierzchni ściany stanowi powierzchnia okna, natomiast na pozostałych elewacjach, czyli południowej, wschodniej oraz zachodniej okna stanowią 60% powierzchni ściany. Niezależnie jednak od udziału powierzchni okien w przegrodach zewnętrznych pionowych budynki o wymiarach 14x14 m oraz wysokości 2,7 m mają mniejsze zapotrzebowanie na ciepło aniżeli budynki o wymiarach 10x10 m oraz o wysokości 5,4 m. Budynek o wymiarach 10x10 m oraz o wysokości 5,4 m, w którym udział powierzchni okna w powierzchni przegrody zewnętrznej pionowej ukierunkowanej na północ wynosi 30%, natomiast na pozostałych elewacjach wynoszą po 60%. Wraz ze wzrostem wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego zapotrzebowanie na ciepło z budynków zmniejsza się, dlatego też najkorzystniejszym współczynnikiem przepuszczalności promieniowania słonecznego jest $g=0,9$, odpowiada to szybie o pojedynczym oszkleniu.

BLOKI

Analizie poddano budynki z grupy czwartej, które można określić mianem budynków wielorodzinnych. We wszystkich analizowanych budynkach założono występowanie okien tylko na powierzchniach pionowych zewnętrznych, natomiast dach jest traktowany jako powierzchnia nieprzeszkłona. Na podstawie analizy określono zapotrzebowanie na ciepło grzejne budynków dla różnego udziału powierzchni przeszklonych w powierzchni ścian zewnętrznych oraz dla różnych wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszkłone.

Na rysunku 18. przedstawiono porównanie wartości całkowitych strat ciepła z budynków z grupy czwartej dla różnego udziału okien w powierzchni ściany zewnętrznej dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby $g=0,6$.

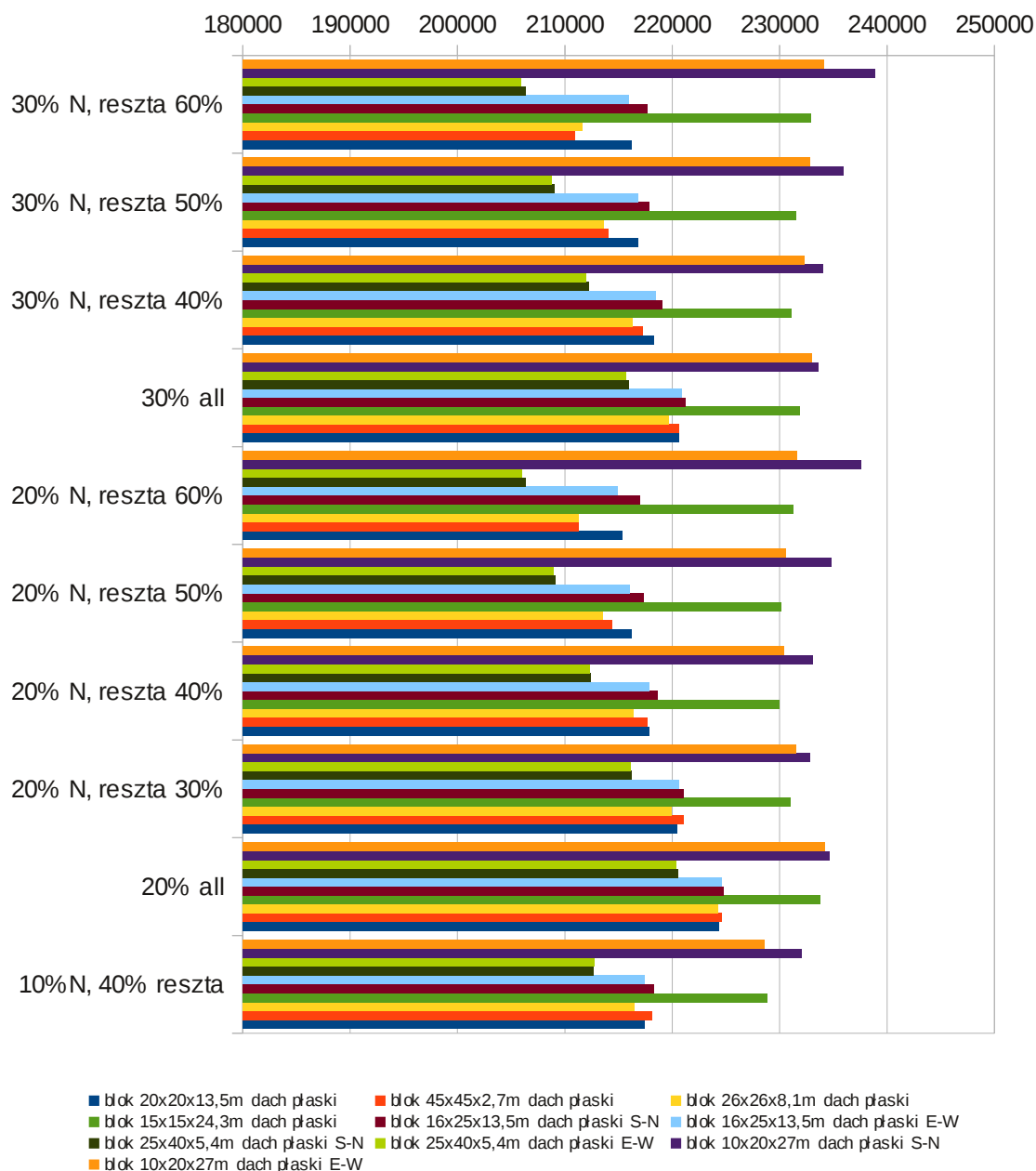


Rys. 18. Porównanie wartości całkowitych strat ciepła dla budynków o różnych wymiarach, jednak o takiej samej powierzchni użytkowej oraz kubaturze dla różnego udziału powierzchni przeszklonych w przegrodach zewnętrznych pionowych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,6$

Najkorzystniejszym wariantem z punktu widzenia zapotrzebowania na ciepło grzejne budynku dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez elementy przeszklone $g=0,6$ jest budynek o wymiarach 25x40 m oraz wysokości 5,4 m, w którym krótsze boki zwrócone są w kierunku wschodnim oraz zachodnim. W budynku tym przyjęto 20-sto procentowy udział powierzchni okna w powierzchni północnej przegrody zewnętrznej oraz 60-cio procentowy udział powierzchni okna w powierzchniach pozostałych elewacji. Dla tego samego budynku jednak o 30-sto procentowym udziale powierzchni okna w powierzchni północnej ściany zewnętrznej oraz 60-cio procentowym udziale powierzchni okna w powierzchniach pozostałych ścian wartości całkowitych strat ciepła są nieznacznie wyższe. Są to dwa najkorzystniejsze warianty budynków wielorodzinnych. Najmniej korzystnymi rozwiązaniami okazały się budynki o wymiarach 10x20 m oraz wysokości 27 m, w których krótsze boki usytuowane są w kierunkach

północnym oraz południowym oraz budynki o takich samych wymiarach, jednak dla którego krótsze boki usytuowane są w kierunkach wschodnim oraz zachodnim. Również mało korzystnym rozwiązaniem jest budynek o wymiarach 15x15 m oraz o wysokości 24,3 m. Dla tych trzech budynków niezależnie od udziału powierzchni okna w powierzchni ścian zewnętrznych całkowite straty ciepła są największe.

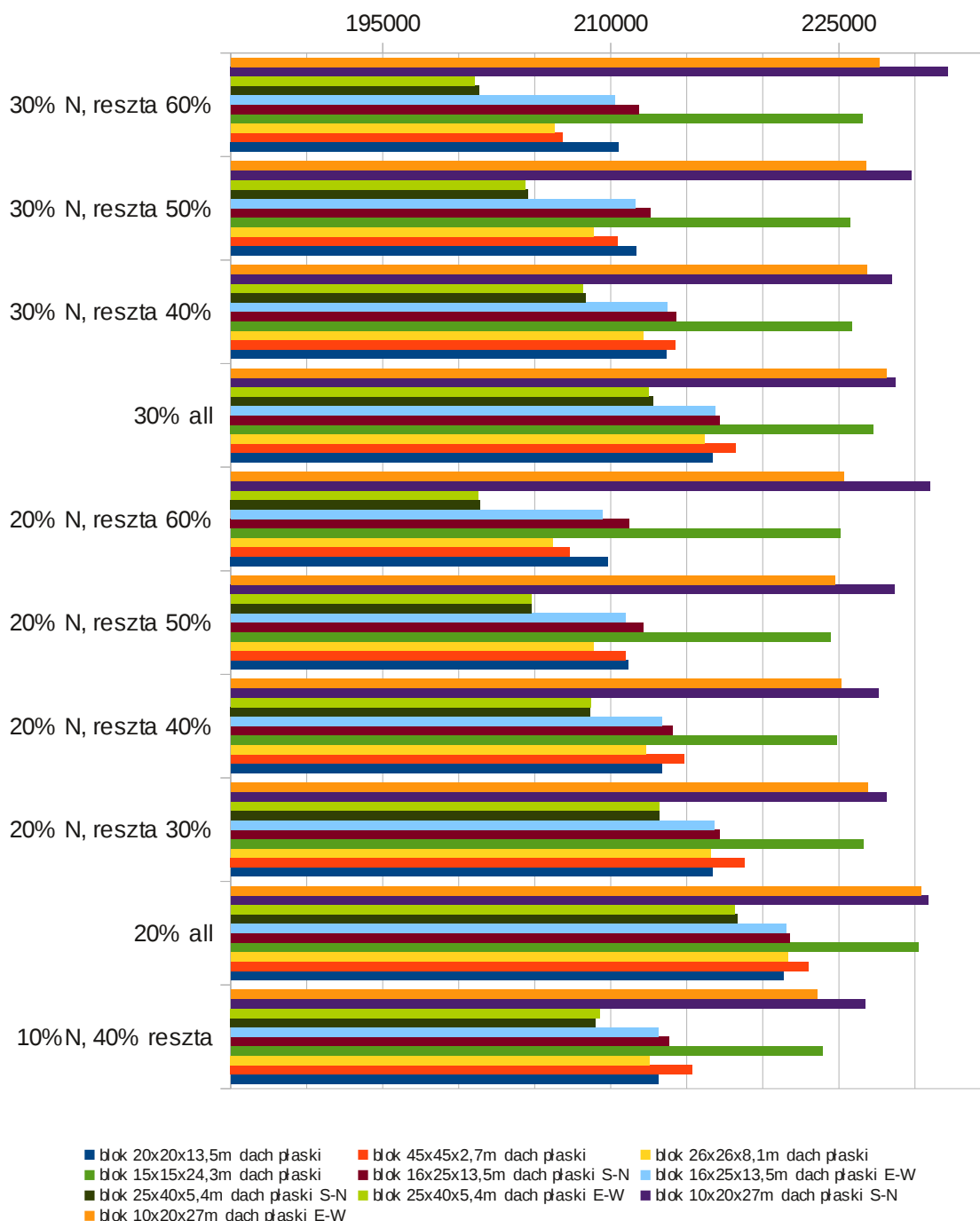
Na rysunku 19. przedstawiono całkowite zapotrzebowanie na ciepło z budynków o różnych wymiarach oraz dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,7$.



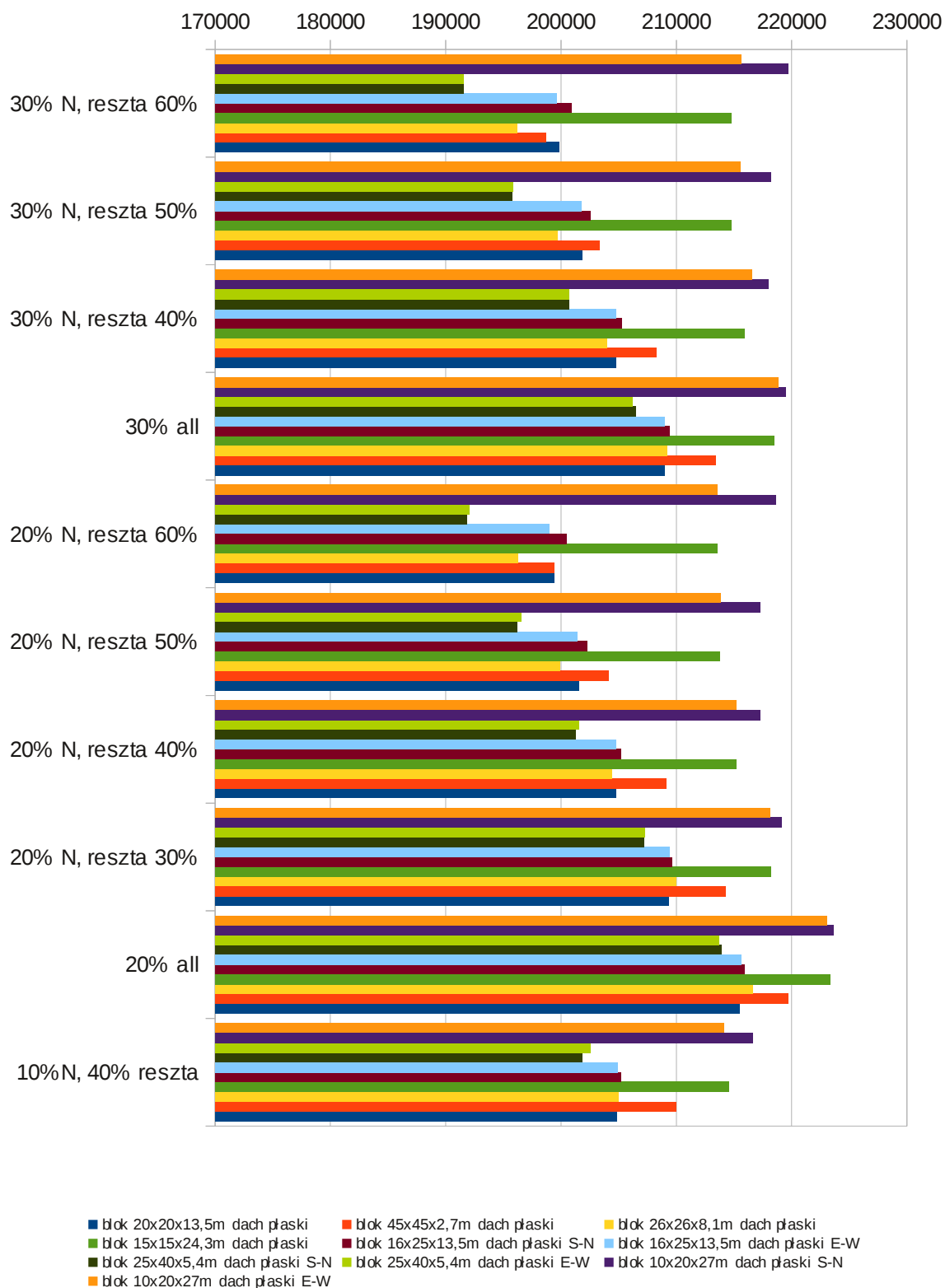
Rys. 19. Porównanie wartości całkowitych strat ciepła dla budynków o różnych wymiarach, jednak o takiej samej powierzchni użytkowej oraz kubaturze dla różnego udziału powierzchni przeszklonych w przegrodach zewnętrznych pionowych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,7$

Dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,7$ najkorzystniejszym wariantem są również budynki o wymiarach 20x40 m oraz wysokości 5,4 m usytuowane w taki sposób, że krótsze boki są skierowane na wschód oraz zachód, jak również nieznacznie tylko

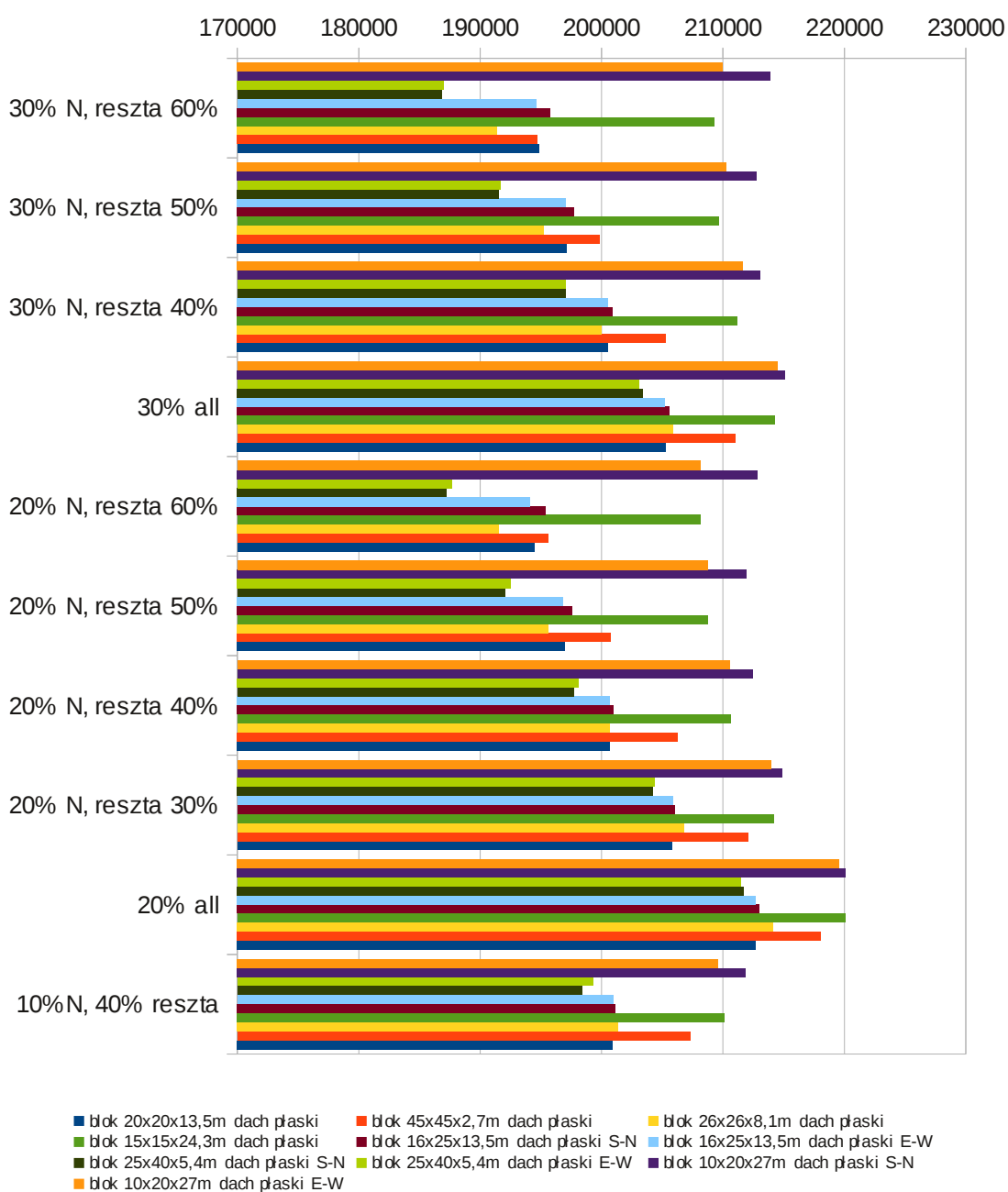
bardziej energochłonne są budynki o takich samych wymiarach jednak ukierunkowany na północ oraz południe. Ponownie najmniej korzystnymi rozwiązaniami są budynki najwyższe o najmniejszych wymiarach. Jednak wraz ze wzrostem wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego całkowite straty ciepła z budynku maleją. Na rysunkach 20 - 22 przedstawiono całkowite zapotrzebowanie na ciepło z budynków o różnych wymiarach oraz dla współczynników przepuszczalności promieniowania słonecznego odpowiednio $g=0,75$; $g=0,85$ oraz $g=0,9$.



Rys. 20. Porównanie wartości całkowitych strat ciepła dla budynków o różnych wymiarach, jednak o takiej samej powierzchni użytkowej oraz kubaturze dla różnego udziału powierzchni przeszklonych w przegrodach zewnętrznych pionowych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,75$



Rys. 21. Porównanie wartości całkowitych strat ciepła dla budynków o różnych wymiarach, jednak o takiej samej powierzchni użytkowej oraz kubaturze dla różnego udziału powierzchni przeszklonych w przegrodach zewnętrznych pionowych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,85$



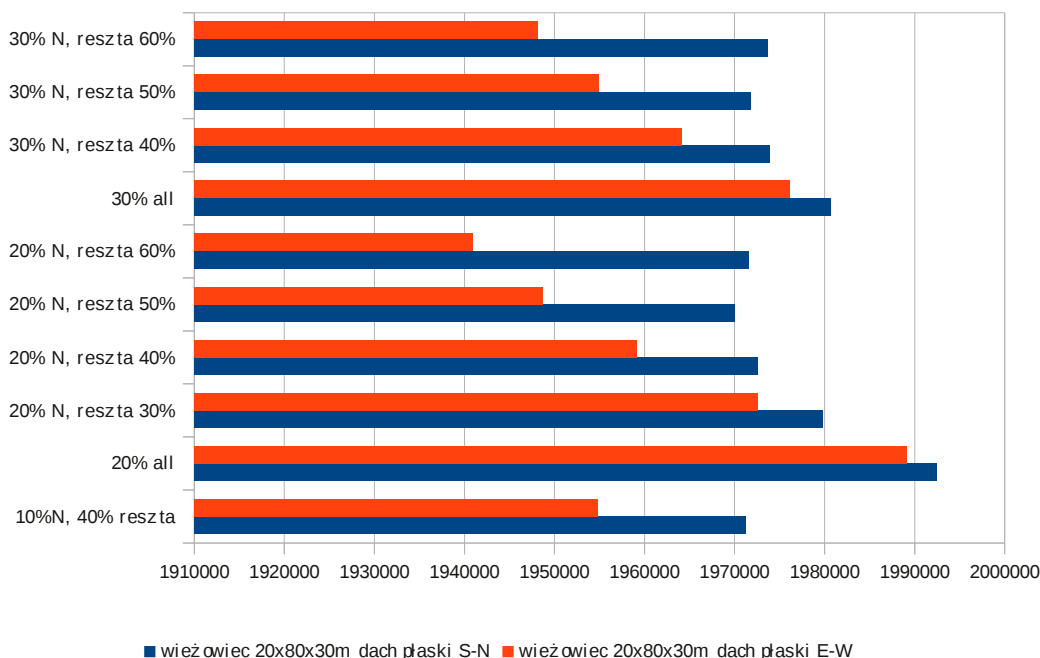
Rys. 22. Porównanie wartości całkowitych strat ciepła dla budynków o różnych wymiarach, jednak o takiej samej powierzchni użytkowej oraz kubaturze dla różnego udziału powierzchni przeszklonych w przegrodach zewnętrznych pionowych dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,9$

Na podstawie przeprowadzonej analizy można zaobserwować, iż wraz ze wzrostem współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego zmniejszają się całkowite straty ciepła z budynków. Najkorzystniejszym wariantem jest budynek o wymiarach 25x40 m usytuowany krótszymi bokami w kierunkach północnym oraz południowym, dla którego udział powierzchni przeszklonych w powierzchni ściany północnej wynosi 20%, natomiast 60% w powierzchni pozostałych ścian. Bardzo zbliżone wartości zapotrzebowania na ciepło grzejne jest dla budynków o takich samych wymiarach oraz udziale powierzchni okien w ścianach, jednak usytuowanego w kierunkach wschód-zachód. Bardzo korzystnym wariantem jest również budynek, w którym udział powierzchni przeszklonych na elewacji północnej wynosi 30% oraz na pozostałych

elewacjach wynosi 60%.

WIEŻOWIEC

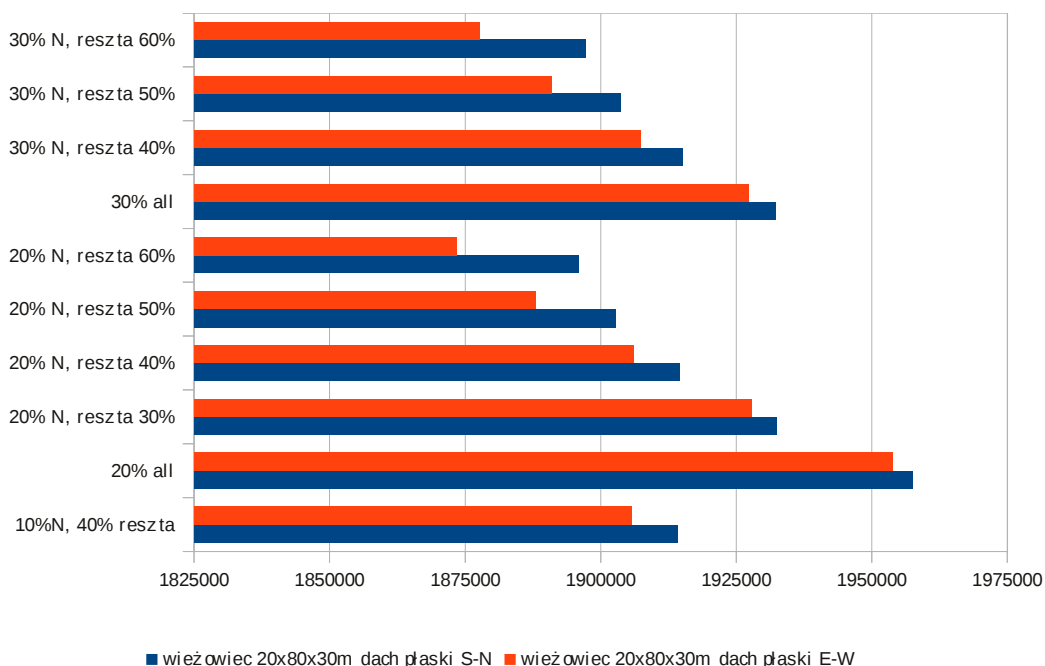
Analizie zostały poddane dwa budynki o wymiarach 20x80 m oraz wysokości 30 m, w którym krótsze boki usytuowane są w kierunkach północnym oraz południowym oraz budynek o takich samych wymiarach jednak krótsze elewacje usytuowane zostały w kierunkach wschodnim oraz zachodnim. Założono, że w powierzchni dachowej nie znajdują się elementy przeszklone. Na rysunku 23. przedstawiono porównanie całkowitych strat ciepła z budynków dla różnego udziału powierzchni okna w powierzchni przegród zewnętrznych pionowych na różnych elewacjach dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby $g=0,6$.



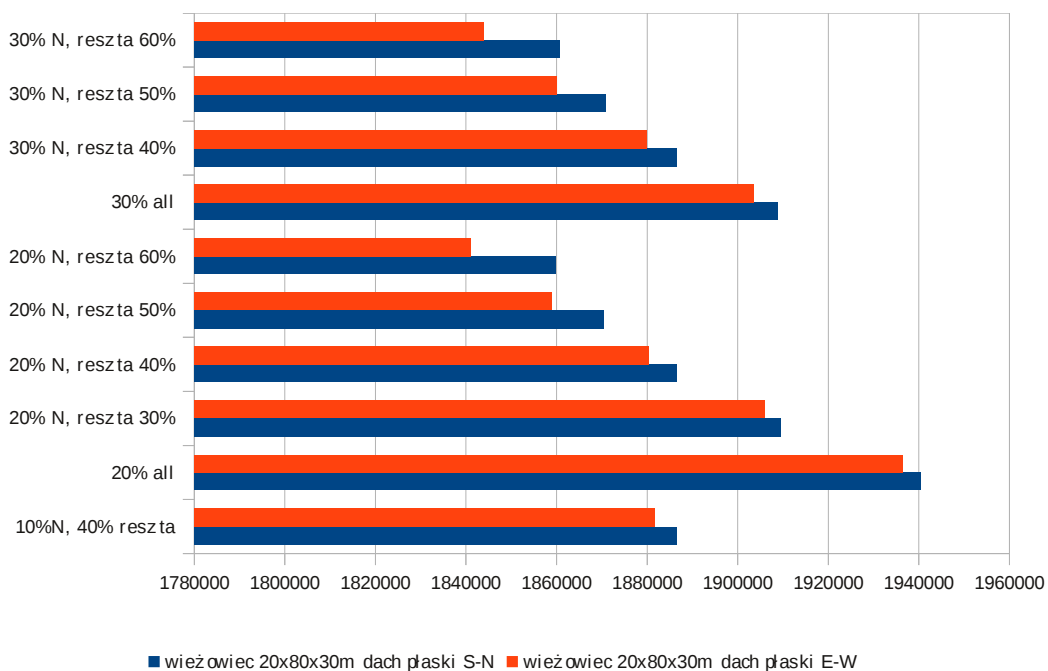
Rys. 23. Porównanie całkowitych strat ciepła z budynków o wymiarach 20x80 m oraz o wysokości 30 m ukierunkowanych krótszym bokiem na północ-południe oraz na wschód-zachód dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,6$

Dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone $g=0,6$ najmniejsze zapotrzebowanie na ciepło ma budynek, dla którego krótsze ściany pionowe usytuowane są w kierunkach wschodnim oraz zachodnim, natomiast udział powierzchni oszklonej w powierzchni północnej zewnętrznej przegrody pionowej wynosi 20%, natomiast w pozostałych przegrodach zewnętrznych pionowych wynosi 60%. Niezależnie jednak od udziału powierzchni okna w powierzchni ścian zewnętrznej dla budynków usytuowanych krótszymi bokami w kierunkach północnym i południowym całkowite straty ciepła są znacznie większe niż dla budynków usytuowanych krótszymi ścianami w strony wschodnią oraz zachodnią. Najmniej korzystnymi rozwiązaniami są budynki o 20-sto procentowym udziale powierzchni okien w powierzchni pionowych ścian zewnętrznych.

Na rysunkach 24 oraz 25 przedstawiono porównanie całkowitych strat ciepła z budynków dla różnego udziału powierzchni okna w powierzchni przegród zewnętrznych pionowych na różnych elewacjach dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby odpowiednio $g=0,7$ oraz $g=0,75$.



Rys. 24. Porównanie całkowitych strat ciepła z budynków o wymiarach 20x80 m oraz o wysokości 30 m ukierunkowanych krótszym bokiem na północ-południe oraz na wschód-zachód dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,7$

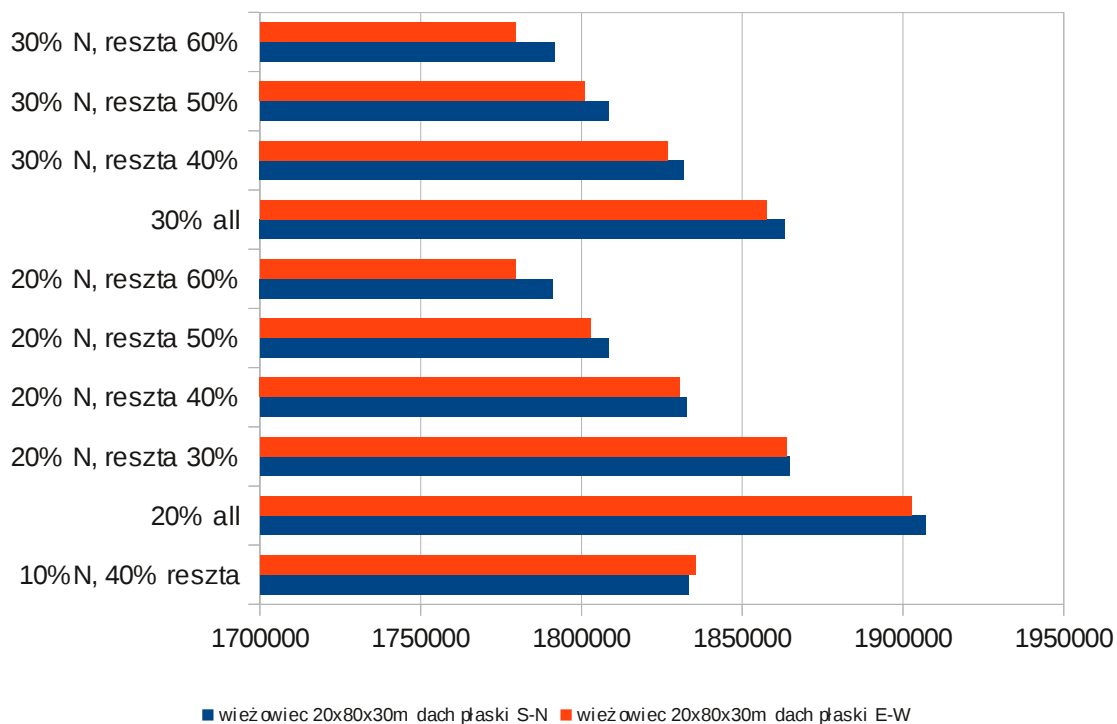


Rys. 25. Porównanie całkowitych strat ciepła z budynków o wymiarach 20x80 m oraz o wysokości 30 m ukierunkowanych krótszym bokiem na północ-południe oraz na wschód-zachód dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,75$

Dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,7$ oraz $g=0,75$ różnice w wartościach całkowitych strat ciepła pomiędzy budynkami usytuowanymi krótszymi ścianami na północ i południe oraz wschód i zachód są znacznie mniejsze aniżeli ma to miejsce w przypadku współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,6$. Budynkiem o najmniejszych całkowitych stratach ciepła dla obydwóch wartości g jest budynek o wymiarach 20x80 m oraz wysokości 30 m usytuowany krótszymi bokami w kierunkach wschodnim oraz

zachodnim, w którym powierzchnie przeszklone znajdują się w 20-stu procentach na północnej elewacji oraz w 60-ciu procentach na pozostałych elewacjach. Niezależnie od usytuowania budynku w przestrzeni najmniej korzystnym wariantem jest przypadek, w którym na wszystkich elewacjach okna stanowią 20% powierzchni zewnętrznej przegrody pionowej.

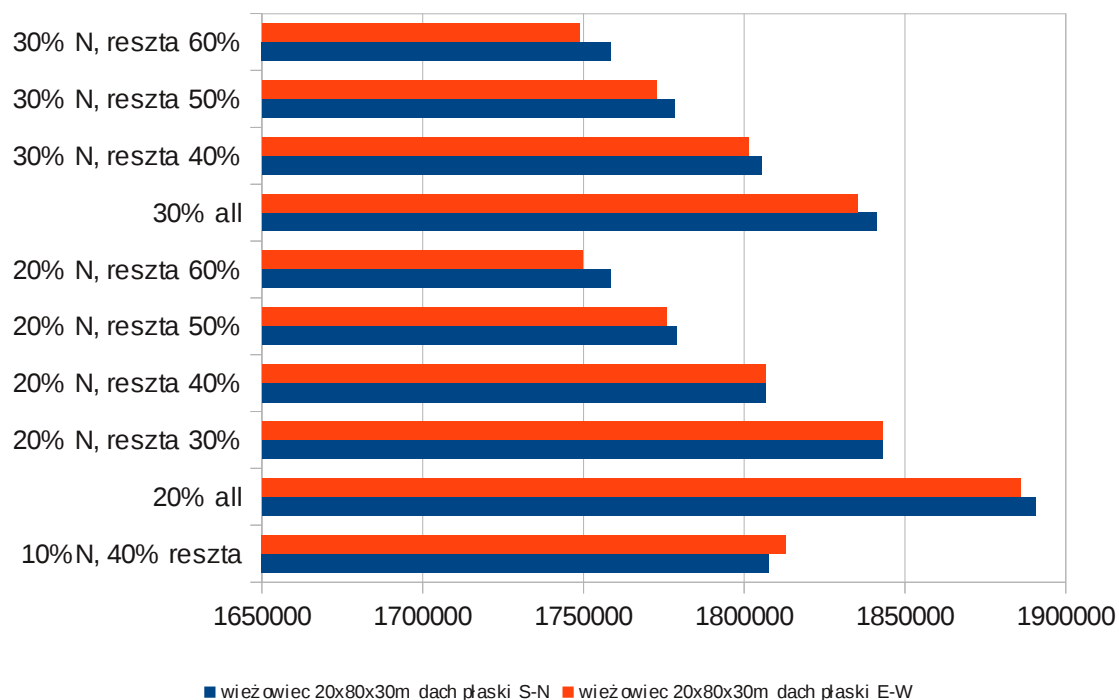
Na rysunku 26 przedstawiono porównanie całkowitych strat ciepła z budynków dla różnego udziału powierzchni okna w powierzchni przegród zewnętrznych pionowych na różnych elewacjach dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby $g=0,85$.



Rys. 26. Porównanie całkowitych strat ciepła z budynków o wymiarach 20x80 m oraz o wysokości 30 m ukierunkowanych krótszym bokiem na północ-południe oraz na wschód-zachód dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,85$

Dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,85$ podobnie jak dla innych wartości g występują różnice co do wielkości całkowitych strat ciepła z budynków usytuowanych krótszymi bokami na północ-południe oraz wschód-zachód, jednak dla $g=0,85$ różnice te są znacznie mniejsze. Najkorzystniejszymi wariantami są budynki ukierunkowane krótszymi bokami na wschód oraz zachód, w których okna stanowią 20% powierzchni północnej elewacji oraz 60% powierzchni pozostałych elewacji, a także takie budynki, w których powierzchnia okien na ścianie północnej stanowi 30%, natomiast na pozostałych ścianach po 60%. Dla wariantu, w którym okna stanowią 10% powierzchni elewacji północnej oraz po 40% powierzchni pozostałych elewacji korzystniejszym ułożeniem budynku jest ustawienie krótszych boków na północ oraz południe.

Na rysunku 27 przedstawiono porównanie całkowitych strat ciepła z budynków dla różnego udziału powierzchni okna w powierzchni przegród zewnętrznych pionowych na różnych elewacjach dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szyby $g=0,9$.



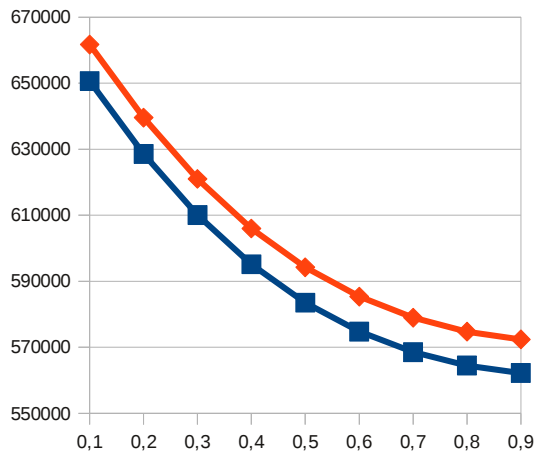
Rys. 27. Porównanie całkowitych strat ciepła z budynków o wymiarach 20x80 m oraz o wysokości 30 m ukierunkowanych krótszym bokiem na północ-południe oraz na wschód-zachód dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,9$

Dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego 0,9 najmniejsze wartości całkowitych strat ciepła z budynku są dla wariantu, w którym powierzchnia okien stanowi 20% powierzchni elewacji północnej oraz po 60% powierzchni pozostałych elewacji.

Na podstawie analizy można zaobserwować zmniejszające się zapotrzebowanie na ciepło grzejne z budynku wraz ze zwiększającą się wartością współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone.

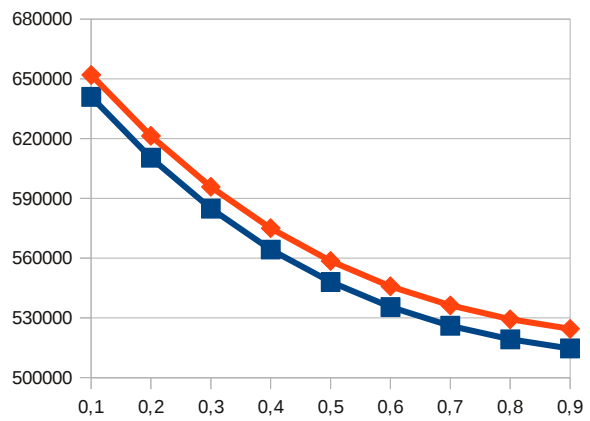
BUDYNEK MAGAZYNOWY

Analizie poddano dwa budynki magazynowe o wymiarach 50x50 m oraz wysokości 6 m oraz budynek o wymiarach 100x25 m oraz wysokości 6 m. Budynki te mają podobną powierzchnię użytkową (2500 m²) oraz kubaturę (15 000 m³). Do przeprowadzonej analizy przyjęto założenie, że w zewnętrznych przegrodach pionowych nie znajdują się elementy przeszklone. Znajdują się one natomiast w powierzchni dachowej. Przyjęto, że dach jest płaski, w związku z powyższym nie jest istotne usytuowanie budynku na poszczególne strony świata. Podczas analizy badano w jaki sposób udział powierzchni przeszklonych w powierzchni dachu oraz wartość współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego wpływają na całkowite straty ciepła z budynku. Na rysunku 28 przedstawiono porównanie całkowitego zapotrzebowania na ciepło grzejne z budynków magazynowych.



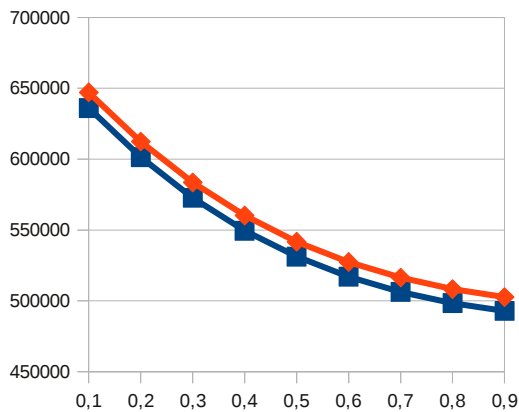
■ magazyn 50x50x6m dach płaski
 ◆ magazyn 100x25x6m dach płaski

a) $g=0,6$



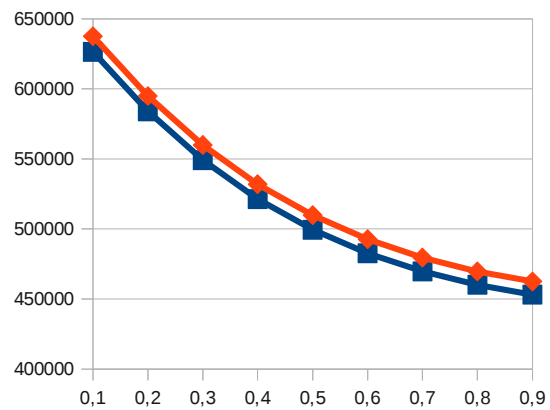
■ magazyn 50x50x6m dach płaski
 ◆ magazyn 100x25x6m dach płaski

b) $g=0,7$



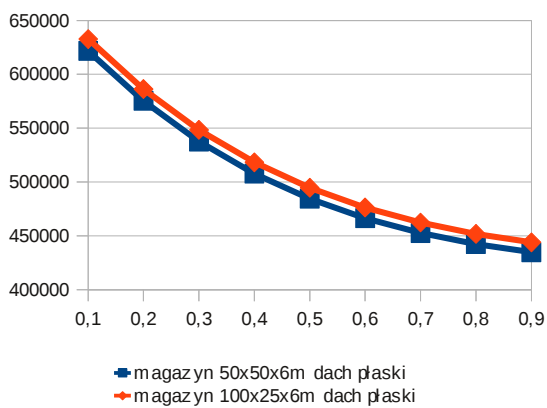
■ magazyn 50x50x6m dach płaski
 ◆ magazyn 100x25x6m dach płaski

c) $g=0,75$



■ magazyn 50x50x6m dach płaski
 ◆ magazyn 100x25x6m dach płaski

d) $g=0,85$



■ magazyn 50x50x6m dach płaski
 ◆ magazyn 100x25x6m dach płaski

e) $g=0,9$

Rys. 28. Porównanie wartości całkowitych strat ciepła z budynków z płaskim dachem o wymiarach 50x50 m oraz wysokości 6 m z budynkiem o wymiarach 100x25 m oraz wysokości 6 m dla różnych wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego

Dla przeanalizowanych budynków o wymiarach 50x50 m oraz 100x25 m oraz wysokości 6 m różnice w wartościach zapotrzebowania na ciepło grzejne są niewielkie. W obydwóch przypadkach całkowite straty ciepła maleją wraz ze wzrostem udziału powierzchni elementów przeszklonych w powierzchni dachu. Wzrost wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego również powoduje znaczne zmniejszenie się zapotrzebowania na ciepło grzejne budynku. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że najkorzystniejszym z analizowanych wariantów pod względem wielkości całkowitych strat ciepła jest budynek o wymiarach 100x25 m oraz wysokości 6 m, w którym udział powierzchni przeszklonych w powierzchni dachu wynosi 90%.

Analiza wpływu współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego powierzchni przeszklonych na całkowite straty ciepła w budynku

Analizie zostały poddane następujące typy budynków:

a) budynki mieszkalne z płaskim dachem:

- parterowy dom z płaskim dachem o powierzchni użytkowej 100 m² i kubaturze 270 m³,
- parterowy dom z płaskim dachem o powierzchni użytkowej 200 m² i kubaturze 540 m³,
- jednopiętrowy dom z płaskim dachem o powierzchni użytkowej 200 m² i kubaturze 540 m³,
- budynek 5-piętrowy z płaskim dachem o powierzchni użytkowej 2000 m² i kubaturze 5400 m³,
- budynek 10-piętrowy z płaskim dachem o powierzchni użytkowej 16000 m² i kubaturze 48000 m³,

b) budynki mieszkalne ze spadzistym dachem:

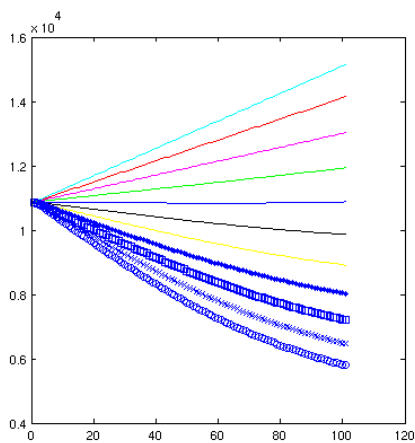
- parterowy dom z dachem dwuspadowym usytuowany spadem dachu w kierunku północno-południowym o powierzchni użytkowej 100 m² i kubaturze 270 m³,
- parterowy dom z dachem dwuspadowym usytuowany spadem dachu w kierunku północno-południowym o powierzchni użytkowej 200 m² i kubaturze 540 m³,
- jednopiętrowy dom z dachem dwuspadowym usytuowany spadem dachu w kierunku północno-południowym o powierzchni użytkowej 200 m² i kubaturze 540 m³,

c) budynek techniczno-użytkowy:

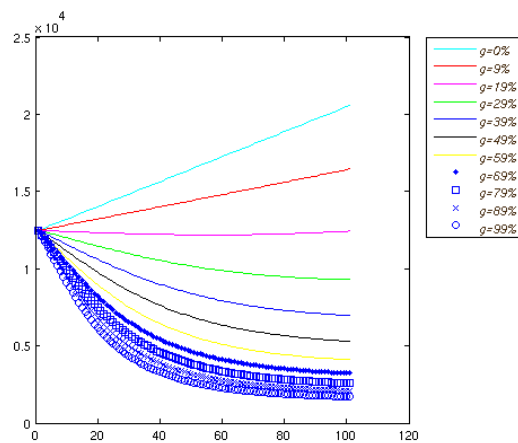
- budynek magazynowy z płaskim dachem o powierzchni użytkowej 250 m² i kubaturze 2000 m³.

Budynek o wymiarach 10x10m i wysokości 2,7m

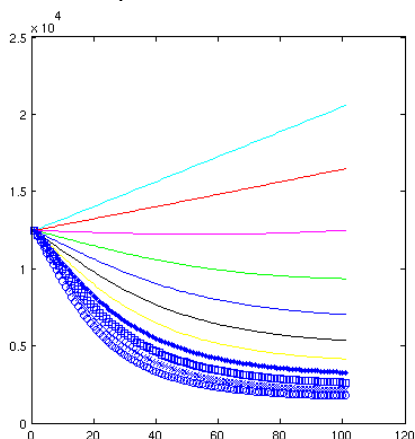
Całkowite straty ciepła przez dach dla budynku mieszkalnego parterowego z dachem płaskim o powierzchni użytkowej 100 m² i kubaturze 270 m³ mają w przybliżeniu charakter liniowy. Straty ciepła dla współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez powierzchnie oszklone poniżej 0,5 straty ciepła rosną, natomiast dla wartości powyżej 0,5 straty maleją. Dla budynku ze spadzistym dachem o powierzchni użytkowej 100 m² i kubaturze 270 m³ w przypadku współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szybę poniżej 0,3 straty ciepła rosną w sposób liniowy, natomiast powyżej 0,3 straty ciepła maleją w sposób wykładniczy, niezależnie od ustawienia budynku w kierunku północno-południowym czy wschodnio-zachodnim. Zależność strat ciepła przez dach w zależności od udziału powierzchni okna przedstawiono na rysunku 29.



a) 10x10x2,7-płaski dach



b) 10x10x2,7-spadzisty dach EW



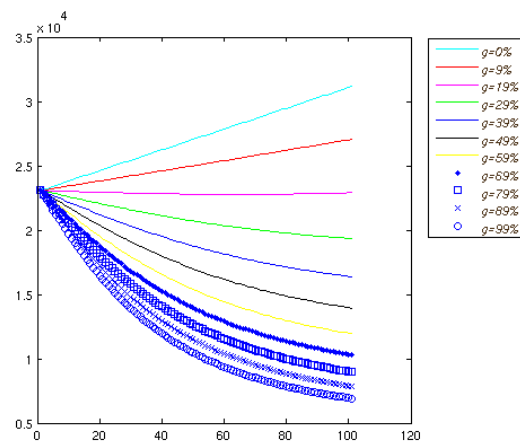
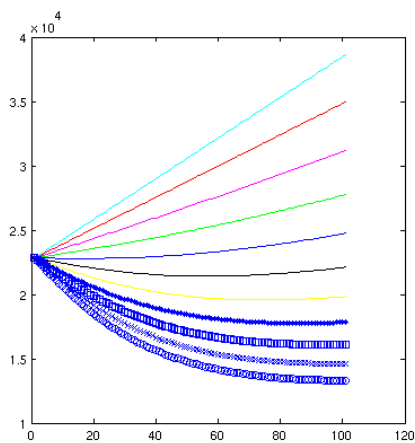
c) 10x10x2,7-spadzisty dach SN

Rysunek 29. Straty ciepła przez dach dla budynku o wymiarach 10x10m i wysokości 2,7m

Dla budynku z dachem spadzistym (niezależnie od ukierunkowania) dla współczynnika przepuszczalności promieniowania przez szyby powyżej 0,7 oraz dla udziału powierzchni okna w ścianie powyżej 80% straty ciepła mają bardzo zbliżone wartości. Całkowite straty ciepła przez dach dla udziału powierzchni okna w ścianie poniżej 10% są mniejsze dla budynku z dachem płaskim, jednak powyżej 10% mniejsze straty ciepła są dla domu o spadzistym dachu (niezależnie od ukierunkowania).

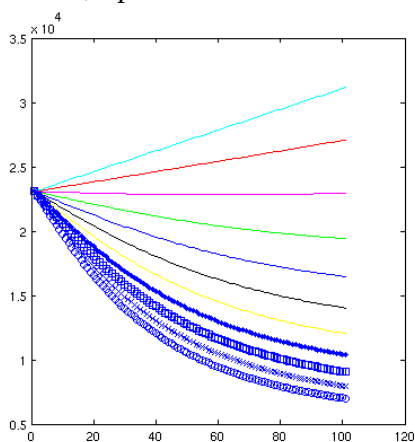
Budynek o wymiarach 10x10 m i wysokości 5,4 m

Całkowite straty ciepła przez dach budynku jednopiętrowego o powierzchni użytkowej 200 m² i kubaturze 540 m³ dla wartości udziału okna w powierzchni ściany poniżej 10% mają zbliżone wartości, jednak dla udziału okna powyżej 10% całkowite straty ciepła przez dach są znacznie niższe dla budynku o takiej samej powierzchni i kubaturze lecz ze spadzistym dachem. Dla współczynnika przepuszczalności promieniowania przez szybę powyżej 0,3 dla wszystkich trzech budynków straty ciepła mają charakter liniowy, natomiast dla wartości tego współczynnika powyżej 0,3 straty ciepła mają charakter wykładniczy. Zależność strat ciepła przez dach w zależności od udziału powierzchni okna przedstawiono na rysunku 30.



a) 10x10x5,4-płaski dach

b) 10x10x5,4-spadzisty dach EW

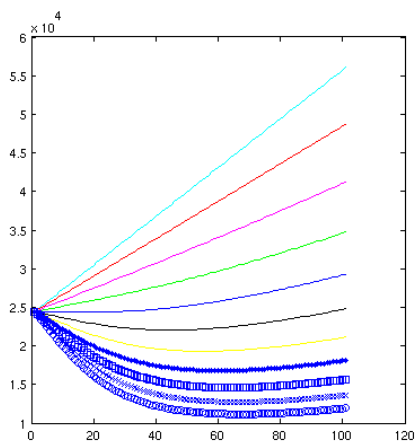


c) 10x10x5,4-spadzisty dach SN

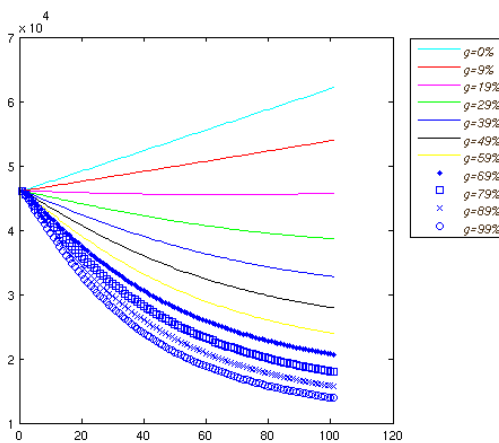
Rysunek 30. Straty ciepła przez dach dla budynku o wymiarach 10x10m i wysokości 5,4m

Budynek o wymiarach 14x14 m i wysokości 2,7 m

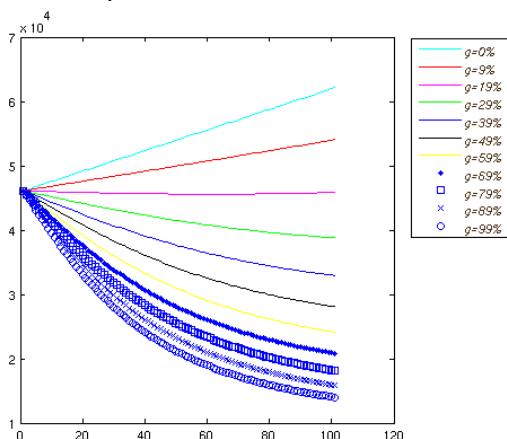
Całkowite straty ciepła z dachu dla budynku parterowego o powierzchni użytkowej 200 m² i kubaturze 540 m³ z płaskim dachem są znacznie mniejsze niż dla budynku o takiej samej powierzchni użytkowej i kubaturze jednak z dachem spadzistym (niezależnie od orientacji budynku północ-południe czy zachód wschód). Dla budynku z płaskim dachem dla współczynnika przepuszczalności promieniowania przez szybę powyżej 0,4 zaobserwować można punkt, w którym straty ciepła są najmniejsze. Dla wartości tego współczynnika poniżej 0,4 zwiększanie się strat ciepła ma charakter liniowy. Dla budynku z dachem spadzistym nie występuje punkt optymalny, przy czym wielkość strat ciepła jest w bardzo małym stopniu zależna od orientacji budynku. Dla budynku z płaskim dachem o wymiarach 10x10x5,4 m dla powierzchni okiennej o współczynniku przepuszczalności promieniowania poniżej 0,6 całkowite straty ciepła z dachu są mniejsze niż dla budynku z płaskim dachem o wymiarach 14x14x2,7 m, dla współczynnika w zakresie 0,6 do 0,8 całkowite straty ciepła są porównywalne, natomiast dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania przez szybę powyżej 0,8 straty ciepła dla budynku o wymiarach 14x14x2,7 m są mniejsze. Zależność strat ciepła przez dach w zależności od udziału powierzchni okna przedstawiono na rysunku 31.



a) 14x14x2,7-płaski dach



b) 14x14x2,7-spadzisty dach EW



c) 14x14x2,7-spadzisty dach SN

Rysunek 31. Straty ciepła przez dach dla budynku o wymiarach 14x14m i wysokości 2,7m

Dla budynku o wymiarach 14x14x2,7 m dla wartości współczynnika przepuszczalności promieniowania przez szybę powyżej 0,4 można zaobserwować optymalny udział powierzchni okna w dachu, dla którego straty ciepła są najmniejsze.

Analiza wpływu prędkości wiatru na współczynnik wnikania ciepła

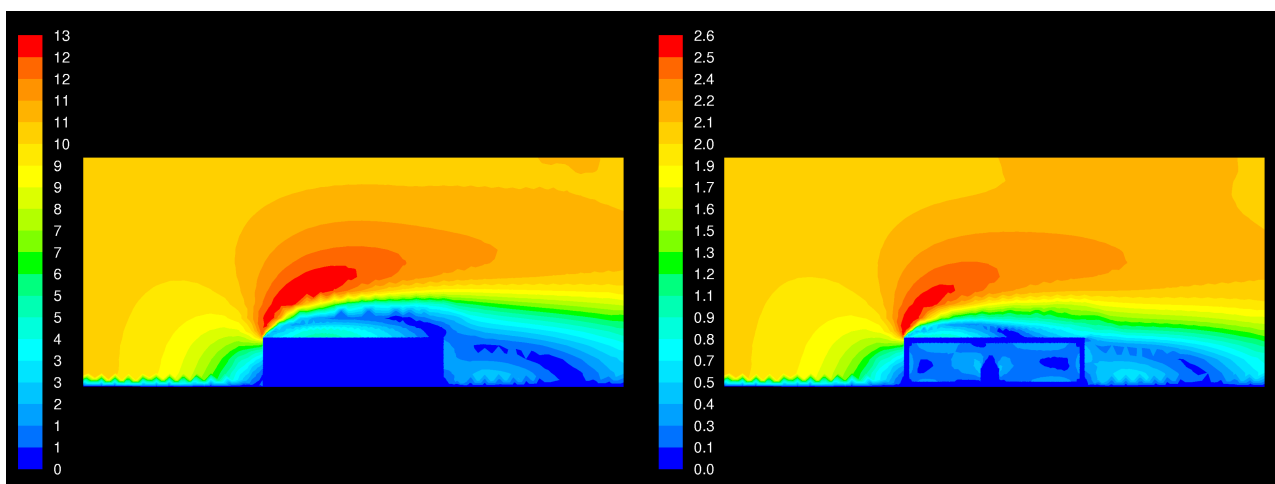
W celu określenia wpływu prędkości wiatru opływającego budynek na współczynnik wnikania ciepła od powietrza zewnętrznego do ścian budynku przeprowadzono analizę numeryczną wybranych budynków w programie Fluent, który jest częścią komercyjnego pakietu Ansys. Do wykonania analizy wybrano następujące przypadki:

- budynek o długości 10m, szerokości 10m oraz wysokości 2,7m z dachem płaskim,
- budynek o długości 10m, szerokości 10m oraz wysokości 2,7m z dachem spadzistym,
- budynek o długości 20m, szerokości 20m oraz wysokości 13m z dachem płaskim.

Budynki w punkcie 1 i 2 odpowiadają budynkom mieszkalnym jednorodzinny, natomiast budynek w punkcie 3 odpowiada pięciokondygnacyjnemu blokowi mieszkalnemu.

Budynek z dachem płaskim o wymiarach 10x10 m i wysokości 2,7 m

Wyniki symulacji opływu powietrza budynku o wymiarach 10x10m oraz wysokości 2,7m z dachem płaskim przedstawiono na rysunkach 32 i 33.



Rysunek 32. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiejącego z prędkością 10 m/s

Rysunek 33. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiejącego z prędkością 2 m/s

Można zauważyć tworzenie się po zawietrznej stronie budynku strefy o bardzo niskiej prędkości powietrza, w której spada ona niemal do zera. Jest to tzw. cień aerodynamiczny, charakteryzujący się silnymi zawirowaniami. Drugim obszarem o równie niskiej prędkości jest dolna część (od podstawy do połowy wysokości) nawietrznej ściany budynku.

W zależności od prędkości napływającego powietrza nad dachem budynku tworzy się również strefa o praktycznie zerowej prędkości powietrza (tzw. „poduszka powietrzna”).

Przy 10 m/s obszar ten pokrywa się niemal z zawietrzną ścianą budynku, tworząc pomiędzy tą strefą a dachem obszar zawirowań powietrza nie mieszającego się z główną strugą napływającego powietrza. Natomiast dla prędkości 2 m/s obszar ten przesunął się w stronę ściany nawietrznej, zmniejszając jednocześnie obszar zawirowań powietrza nie mieszającego się z główną strugą powietrza.

Tabela 1. Współczynniki wnikania ciepła (W/m^2K) dla budynku z dachem płaskim

Prędkość wiatru, m/s	Ściany zewnętrzne, W/m^2K	Dach, W/m^2K
2	10	13
10	40	6

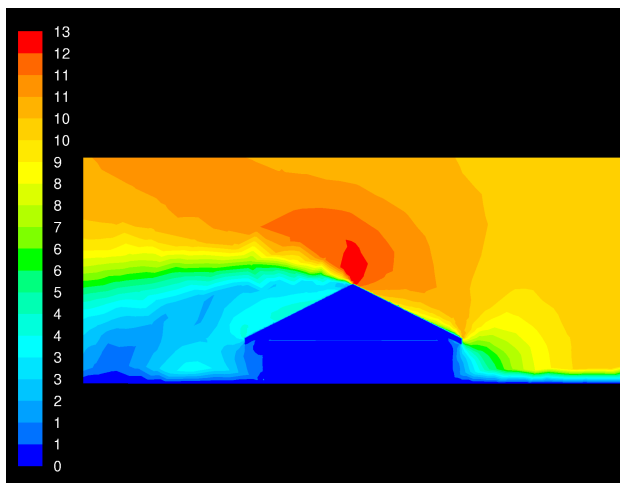
Tworząca się w obszarze zawirowań strefa powietrza nie mieszającego się działa niczym dodatkowy izolator dla dachu zmniejszając straty ciepła do otoczenia.

Najprawdopodobniej przy jeszcze niższej prędkości powietrza tj. poniżej 2 m/s, obszar o niskiej prędkości a co za tym idzie obszar zawirowań nad dachem będzie tak mały, że główna struga powietrza będzie w stanie omywać bezpośrednio powierzchnię dachu co może zdecydowanie zwiększyć straty ciepła z dachu. Współczynniki wnikania ciepła dla budynku z płaskim dachem o wymiarach 10x10m i wysokości 2,7 przedstawione zostały w tabeli 1.

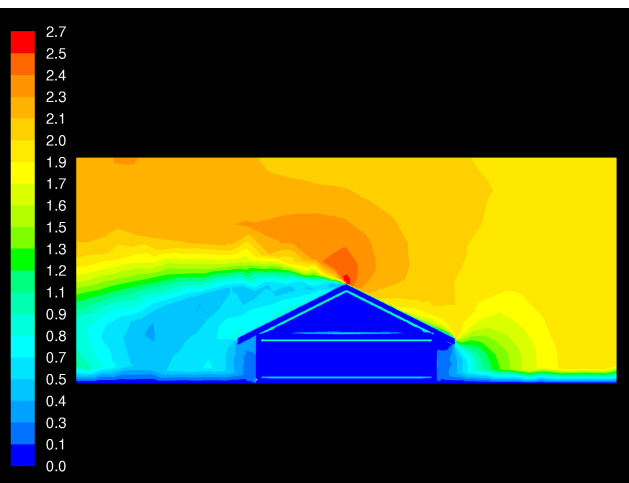
Budynek z dachem skośnym o wymiarach 10x10m i wysokości 2,7m

Wyniki symulacji opływu powietrza budynku o wymiarach 10x10m oraz wysokości 2,7m z dachem spadzistym przedstawiono na rysunkach 34, 35 oraz 36. Rysunki 34 i 35 przedstawiają napływ powietrza prostopadle do elewacji na której znajduje się płaszczyzna spadku dachu, natomiast rysunek 36 przedstawia pole prędkości dla przypadku gdy powietrze napływa od strony elewacji ze

ścianą szczytową.

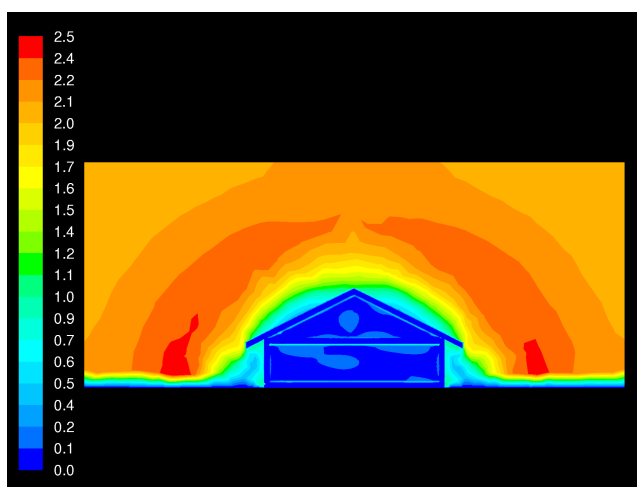


Rysunek 34. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiejącego z prędkością 10 m/s



Rysunek 35. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiejącego z prędkością 2 m/s

W przypadku napływu powietrza prostopadle do elewacji na której znajduje się połąc dachu, obszary o najniższej prędkości powietrza to okolice ścian: nawietrznej i zawietrznej oraz połąci zawietrznej. Ze względu na budowę dachu, prędkości powietrza przy połąci nawietrznej są niemal dwukrotnie wyższe niż na połąci zawietrznej co sprawia, że współczynniki wnikania ciepła także mają wyższą wartość na połąci nawietrznej niż na zawietrznej.



Rysunek 36. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiejącego z prędkością 2 m/s

Podobnie jak przy dachu płaskim tutaj także możemy zaobserwować tworzenie się przy połąci zawietrznej lokalnych zawirowań oddzielonych od głównej strugi powietrza warstwą o bardzo niskiej prędkości powietrza co dodatkowo zmniejsza strumień ciepła traconego poprzez połąc dachową. W przypadku kierunku wiatru prostopadłego do ściany szczytowej warunki izolacyjności stają się dużo korzystniejsze od powyższego przypadku. Mają na to wpływ przede wszystkim istnienie występu dachu na ścianie szczytowej („pod wiatr”), które powoduje tworzenie obszaru powietrza o prędkości niższej niż główna struga ograniczając jej bezpośrednie działanie na ścianę zewnętrzną. Z drugiej strony cała powierzchnia dachu znajduje się w zakresie bezpośredniego działania strugi co zwiększa współczynniki wymiany ciepła dla dachu.

Współczynniki wnikania ciepła dla budynku z dachem skośnym o wymiarach 10x10m i wysokości 2,7m – kierunku wiatru prostopadły do połąci dachowej, przedstawione zostały w tabeli 2.

Tabela 2. Współczynniki wnikania ciepła (W/m^2K) dla budynku z dachem płaskim

Prędkość wiatru, m/s	Ściana zewnętrzna nawietrzna, W/m^2K	Ściana zewnętrzna zawietrzna, W/m^2K	Ściany zewnętrzne pozostałe, W/m^2K	Dach połać nawietrzna, W/m^2K	Dach połać zawietrzna, W/m^2K
2	13	12	12	10	8
10	34	22	45	49	40

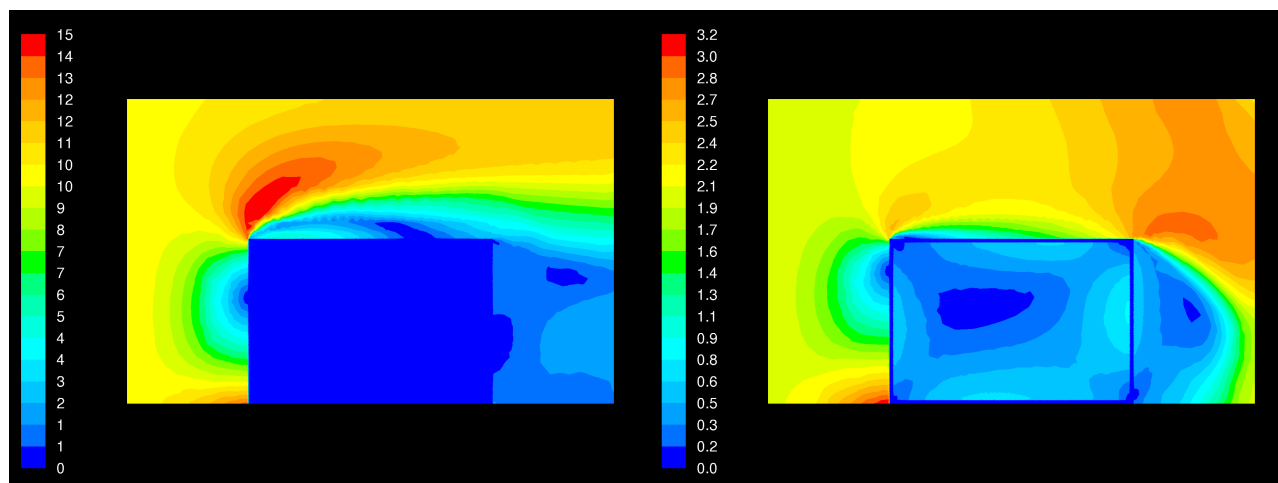
Współczynniki wnikania ciepła dla budynku z dachem skośnym o wymiarach 10x10m i wysokości 2,7m – kierunek wiatru prostopadły do ściany szczytowej, przedstawione zostały w tabeli 3.

Tabela 3. Współczynniki wnikania ciepła (W/m^2K) dla budynku z dachem płaskim

Prędkość wiatru, m/s	Ściana zewnętrzna nawietrzna, W/m^2K	Ściana zewnętrzna zawietrzna, W/m^2K	Ściany zewnętrzne pozostałe, W/m^2K	Dach, W/m^2K
2	12	7	9	14

Budynek z dachem płaskim o wymiarach 20x20m i wysokości 13m

Wyniki symulacji opływu powietrza budynku o wymiarach 10x10m oraz wysokości 2,7m z dachem płaskim przedstawiono na rysunkach 37 i 38. Rozkład prędkości wokół budynku o wysokości 13m i wymiarach 20x20m przypomina ten wokół budynku o wymiarach 10x10m i wysokości 2,7m. Tutaj także strefy o najniższej prędkości to zawietrzna strona budynku (tzw. cień aerodynamiczny) oraz powyżej dachu ale tylko dla prędkości 10 m/s.



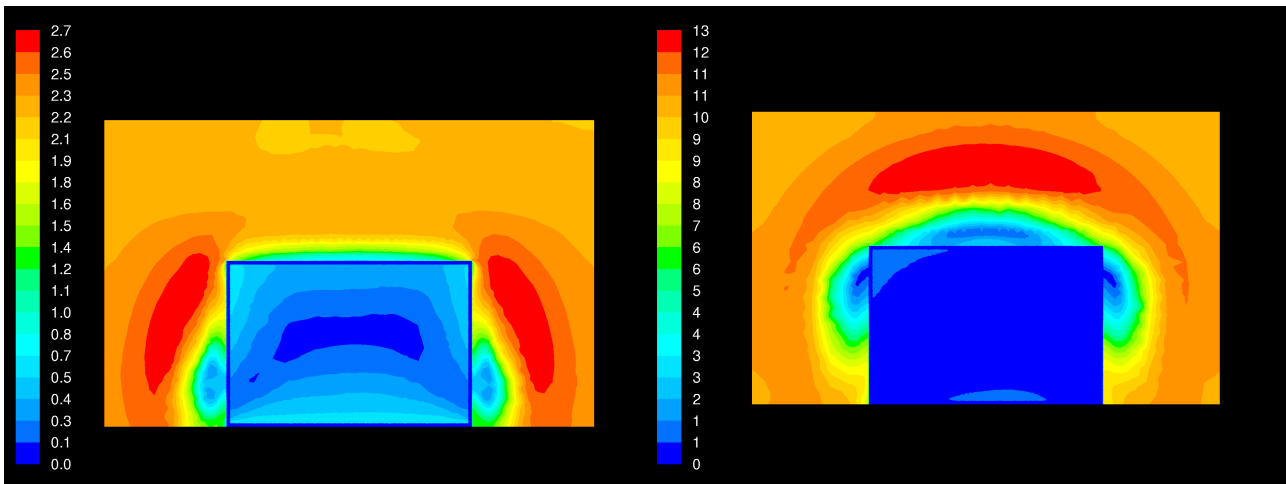
Rysunek 37. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiejącego z prędkością 10 m/s

Rysunek 38. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiejącego z prędkością 2 m/s

Trzecią strefą o niskich wartościach prędkości powietrza jest to górna część ściany nawietrznej. Odwrotnie niż w przypadku budynku niskiego, dla ściany nawietrznej najwyższe prędkości występują w jej dolnej części zarówno dla prędkości 2 m/s jak i 10 m/s.

Przy prędkości wiatru 2 m/s zjawisko „poduszki powietrznej” jest stosunkowo niewielkie i ponad połowa długości dachu omywana jest bezpośrednio przez główną strugę wiatru.

Na rysunkach 39 i 40 przedstawiono rozkład prędkości powietrza w przekroju poprzecznym strugi wiatru.



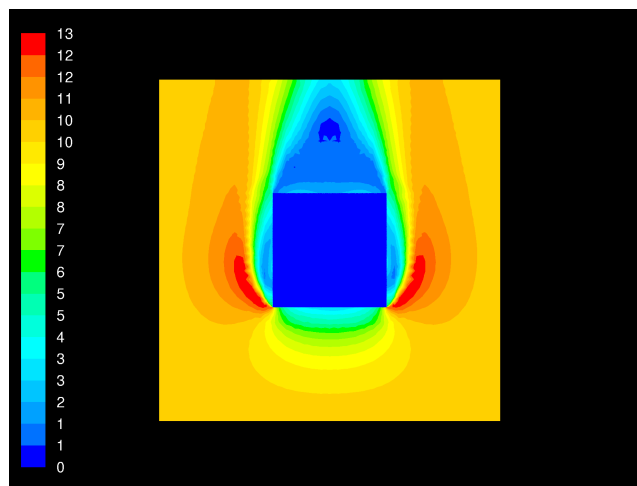
Rysunek 39. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiatru wiejącego z prędkością 10 m/s

Rysunek 40. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiejącego z prędkością 2 m/s

Można zauważyć, że przy wyższych prędkościach, tj. 10 m/s, strefa o najniższej prędkości rozciąga się wzdłuż całej szerokości dachu oraz w górnej (od połowy wysokości do dachu) części ścian zewnętrznych bocznych tj. równoległych do kierunku wiatru.

Dla niskich prędkości wiatru strefa najniższych prędkości rozciąga się także wzdłuż całej szerokości dachu, natomiast w przypadku bocznych ścian zewnętrznych jest to obszar od powierzchni ziemi do połowy ich wysokości.

Na rysunku 41 przedstawiono przekrój poziomy wzdłuż strugi powietrza. Można zauważyć tworzenie się strefy o niskiej prędkości powietrza po jego zawietrznej stronie, w której można wydzielić nawet obszar o zerowej prędkości powietrza.



Rysunek 41. Pole prędkości powietrza (m/s) dla wiatru wiatru wiejącego z prędkością 10 m/s

W przypadku ścian bocznych także można wyróżnić strefy o prędkości powietrza niewiele wyższej od zera. Strefa taka rozciąga się od nawietrznego brzegu do połowy jej długości. Od połowy jej długości do brzegu zawietrznego występuje już bezpośredni zasięg strugi głównej. Współczynniki wnikania ciepła dla budynku z dachem płaskim o wymiarach 20x20m i wysokości 13m przedstawione zostały w tabeli 4.

Tabela 4. Współczynniki wnikania ciepła (W/m^2K) dla budynku z dachem płaskim

Prędkość wiatru, m/s	Ściana zewnętrzna nawietrzna, W/m^2K	Ściana zewnętrzna zawietrzna, W/m^2K	Ściany zewnętrzne pozostałe, W/m^2K	Dach, W/m^2K
2	18	6	14	13
10	74	14	49	52

Przeprowadzone analizy wykazały zasadność wysiłków mających na celu obniżenie prędkości powietrza wokół budynku. Zmniejszenie prędkości powietrza z 10 m/s do 2 m/s powoduje zmniejszenie współczynnika wnikania ciepła dla przegród zewnętrznych od około 2 do 5 razy, a co za tym idzie także od 2 do 5 razy mniejsze straty ciepła poprzez przegrody zewnętrzne. Ograniczenie prędkości powietrza można uzyskać np. poprzez stosowanie zabudowy zwartej czyli budowa budynków w otoczeniu innych budynków o tej samej wysokości lub wyższej lub umieszczenie w odległości kilku-kilkunastu metrów od budynku gęstych drzew lub krzewów. Z drugiej jednak strony takie osłanianie budynku od wiatru może spowodować ograniczenie dostępu do promieniowania słonecznego, a co za tym idzie ograniczenie zysków ciepła od nasłonecznienia co wpływa na zwiększenie zużycia paliwa do utrzymania zadanej temperatury wewnątrz budynku.

Analiza wykorzystania kilku źródeł energii w jednym budynku wraz z algorytmem ich obciążenia w funkcji zmian warunków pogodowych (np. bierne i czynne wykorzystanie energii słonecznej) oraz analiza zmienności w czasie zapotrzebowania na ciepło, chłód i ciepłą wodę użytkową, pracy źródeł ciepła pod zmiennym obciążeniem, w tym pochodzących z OZE

W kolejnym etapie przeprowadzono analizę wykorzystania kilku źródeł energii w jednym budynku wraz z algorytmem ich obciążenia w funkcji zmian warunków pogodowych (np. bierne i czynne wykorzystanie energii słonecznej). Następnie przeprowadzono analizę zmienności w czasie zapotrzebowania na ciepło, chłód i ciepłą wodę użytkową, pracy źródeł ciepła pod zmiennym obciążeniem, w tym pochodzących z OZE. Podczas analizy wykorzystania źródeł ciepła w budynkach bardzo istotne są badania możliwości zapewnienia dostaw ciepła na cele grzewcze. W tabeli YY. przedstawiono zapotrzebowanie na moc cieplną budynków dla miesięcznych wartości temperatur w miesiącach sezonu grzewczego.

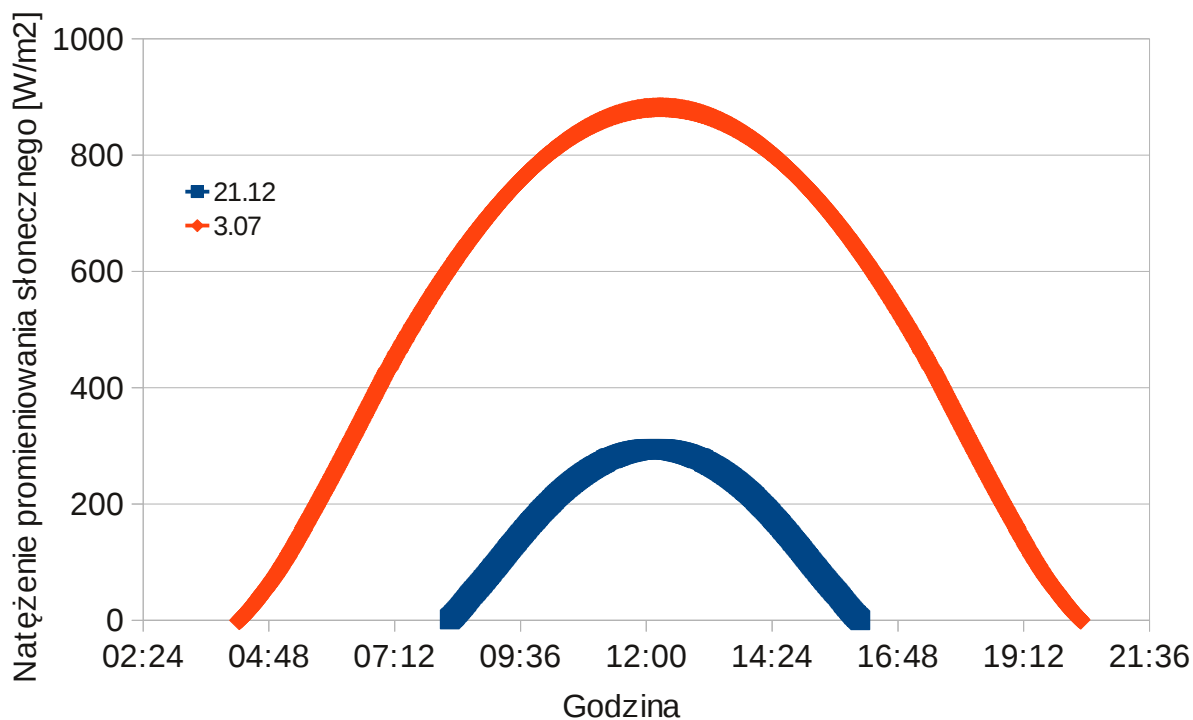
Tabela 5. Zmniejszenie zapotrzebowania na moc cieplną w zależności od temperatury zewnętrznej

Miesiąc	I	II	III	IV	V	IX	X	XI	XII
Temperatura [°C]	-1,9	-2,4	3,0	8,2	13,4	13,0	9,3	4,2	-2,0
Zapotrzebowanie na moc	98%	100%	76%	53%	29%	31%	48%	71%	98%

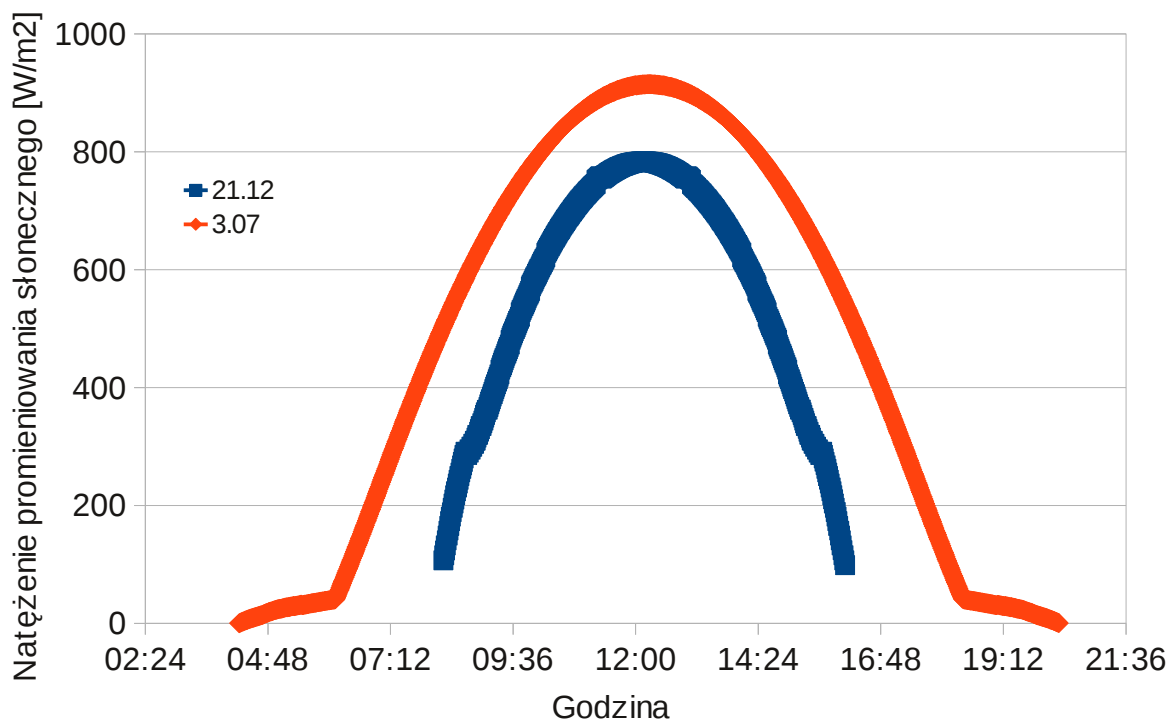
W związku z tym przeprowadzono analizę rozkładu wartości natężenia promieniowania słonecznego na płaszczyzny o różnym nachyleniu. Badaniom poddano dwa podstawowe usytuowania powierzchni.

Na wykresie 42 przedstawiono wartości natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię

poziomą dla dwóch dni w roku: 21 grudnia oraz dla 3 lipca w zależności od godziny w ciągu dnia, natomiast na wykresie 43. przedstawiono wartości natężenia promieniowania słonecznego w zależności od godziny w ciągu dnia dla 21 grudnia oraz 3 lipca dla powierzchni ustawionej pod kątem 45° .



Wykres 42. Natężenie promieniowania słonecznego w zależności od godziny dla powierzchni poziomej



Wykres 43. Natężenie promieniowania słonecznego w zależności od godziny dla powierzchni nachylonej pod kątem 45° do płaszczyzny poziomej

Natężenie promieniowania słonecznego zależy od kąta nachylenia powierzchni, na którą padają promienie słoneczne. 21 grudnia w godzinach 8-16 na powierzchnię nachyloną pod kątem 45° pada znacznie więcej promieniowania słonecznego aniżeli na płaszczyznę poziomą. Dla dnia 3-go lipca dla różnego kąta ustawienia płaszczyzny różnice w natężeniu promieniowania są również znaczne, szczególnie w godzinach tuż po wschodzie oraz tuż przed zachodem słońca. Dla powierzchni nachylonej pod kątem 45° od wschodu słońca do godziny 6 rano oraz od 20 do zachodu słońca występują bardzo małe wzrosty wartości promieniowania słonecznego.

Znajomość powyższych zależności może być wykorzystana do zmniejszenia zużycia energii pierwotnej w budynku. Jak można zauważyć dodatkowy strumień ciepła dopływający poprzez energię słoneczną wynosi nawet 800 W/m². Dzięki odpowiedniemu usytuowaniu okien już na etapie projektowania budynku możliwe jest jego wykorzystanie w ciągu znacznej części dnia. Dodatkowo zastosowanie materiałów o zmiennej fazie (PCB) lub ścian akumulacyjnych pozwala na nie tylko bezpośrednie wykorzystanie energii słonecznej do zmniejszania zużycia energii pierwotnej ale możliwy jest także proces pośredni czyli akumulacja padającego promieniowania w postaci ciepła właśnie w ścianach akumulacyjnych.

Innym sposobem wykorzystania dopływającego promieniowania słonecznego jest zastosowanie urządzeń do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ze względu na nieregularność zapotrzebowania na cwu w ciągu doby oraz stosunkowo niską gęstość dopływającego strumienia energii słonecznej, konieczne jest stosowanie akumulatorów energii, pozwalających na gromadzenie jej w okresach o największej intensywności promieniowania słonecznego oraz oddających energię w okresie o niższej intensywności. Najwyższe wartości natężenia promieniowania pojawiają się w okolicach południa (dla płaszczyzny nieruchomej, skierowanej na południe), a najniższe w okolicach porannych oraz wieczornych. Najczęściej odwrotnie ma się sytuacja z zapotrzebowaniem na CWU – najniższe jest w południe a najwyższe rano lub wieczorem. Tak więc zastosowanie odpowiedniego akumulatora energii, jak również odpowiednie usytuowanie elementów wychwytyjących promieniowanie słoneczne pozwala na znaczne zmniejszenie zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną.

Analiza wpływu parametrów materiałów budowlanych oraz rozmiarów elementów budynku na zapotrzebowanie na ciepło grzejne przy uwzględnieniu stanów nieustalonych (akumulacji) oraz optymalizacja obciążeń nocnych i urlopowych obniżen temperaturowych

W następnym etapie dokonano analizy wpływu parametrów materiałów budowlanych oraz rozmiarów elementów budynku na zapotrzebowanie na ciepło grzejne przy uwzględnieniu stanów nieustalonych (akumulacji) oraz analizę optymalizacyjną obciążeń nocnych bądź urlopowych obniżen temperaturowych. Obniżenie temperatury stosowane jest najczęściej w okresie nocnym oraz w przypadku braku osób w budynku. Obniżenie to ma na celu zmniejszenie strat ciepła na potrzeby grzewcze, a w związku z tym zmniejszenie kosztów ogrzewania budynku. Jednak wykonanie kompletnych obliczeń numerycznych takiego budynku wymaga bardzo długich czasów obliczeń. Szacunkowy czas obliczeń jednego przypadku dla przyjętego czasu obniżenia tj. 8h, wynosi około 2000 dni (około 5,5 roku). Z tego względu zdecydowano się na wykonanie modelu uproszczonego, na podstawie którego wykonano poniższe symulacje.

Na potrzeby obliczeń zapotrzebowania na ciepło grzejne przy uwzględnieniu stanów nieustalonym stworzono model budynku, w którym przyjęto następujące założenia:

- długość ścian zewnętrznych: 40 m
- długość ścian wewnętrznych: 20 m
- wysokość ścian: 2,5 m
- gęstość ścian: 1800 kg/m³

- grubość ścian wewnętrznych: 0,25 m
- temperatura powietrza zewnętrznego: -10 °C
- temperatura powietrza wewnętrznego: 20 °C
- długość obniżenia temperatury: 8 h
- opór wnikania ciepła od strony wewnętrznej: 0,13 m²K/W
- opór wnikania ciepła od strony zewnętrznej: 0,04 m²K/W

Przeprowadzone analizy porównano z przypadkiem gdy brak jest obniżenia temperatury. Do obliczeń przyjęto jednowymiarowy model przepływu ciepła.

Jako pierwsze wykonano analizy strat ciepła budynku w zależności od współczynnika przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych.

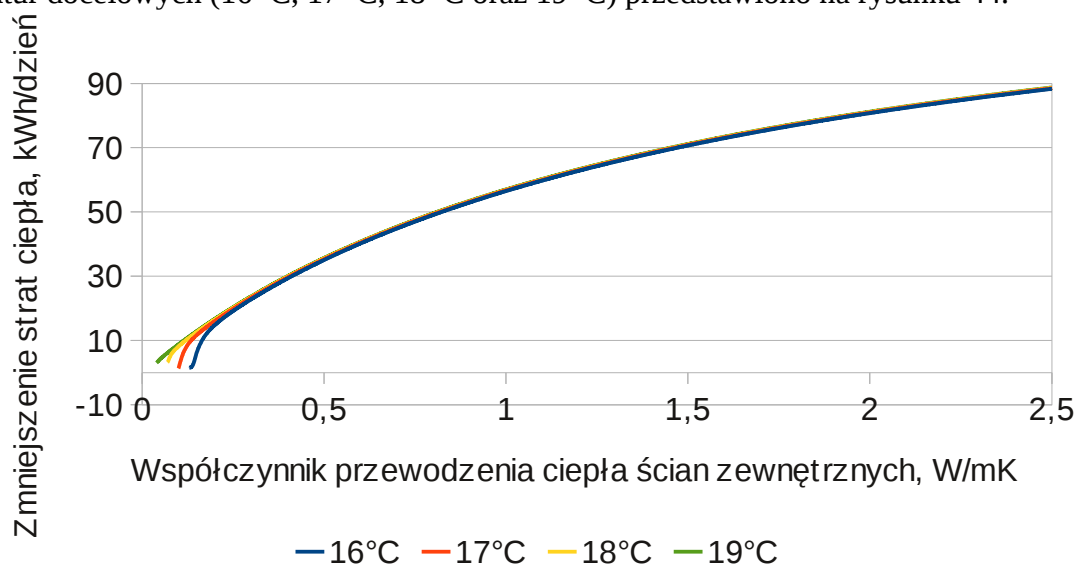
Pozostałe wartości przyjęto w sposób następujący:

- pojemność cieplna ścian: 870 J/kgK,
- pojemność cieplna powietrza: 770 J/kgK,
- grubość ścian zewnętrznych: 0,25 m oraz 0,5 m,
- docelowa temperatura obniżenia nocnego: 16 °C, 17 °C, 18 °C oraz 19 °C.

W pierwszym wariantcie analizy przyjęto, że grubość ścian zewnętrznych wynosi 0,25 m. Przeprowadzone analizy wykazały, iż najwyższe oszczędności dzięki stosowaniu obniżenia nocnego występują w przypadku przegród o najwyższych współczynnikach przewodzenia ciepła. Jest to spowodowane faktem szybkiego wychładzania obiektu, a co za tym idzie szybkim doprowadzaniu do docelowego poziomu temperatury obniżenia nocnego. Nie ma przy tym większej różnicy pomiędzy wartościami zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło przy różnym poziomie docelowym temperatur obniżenia.

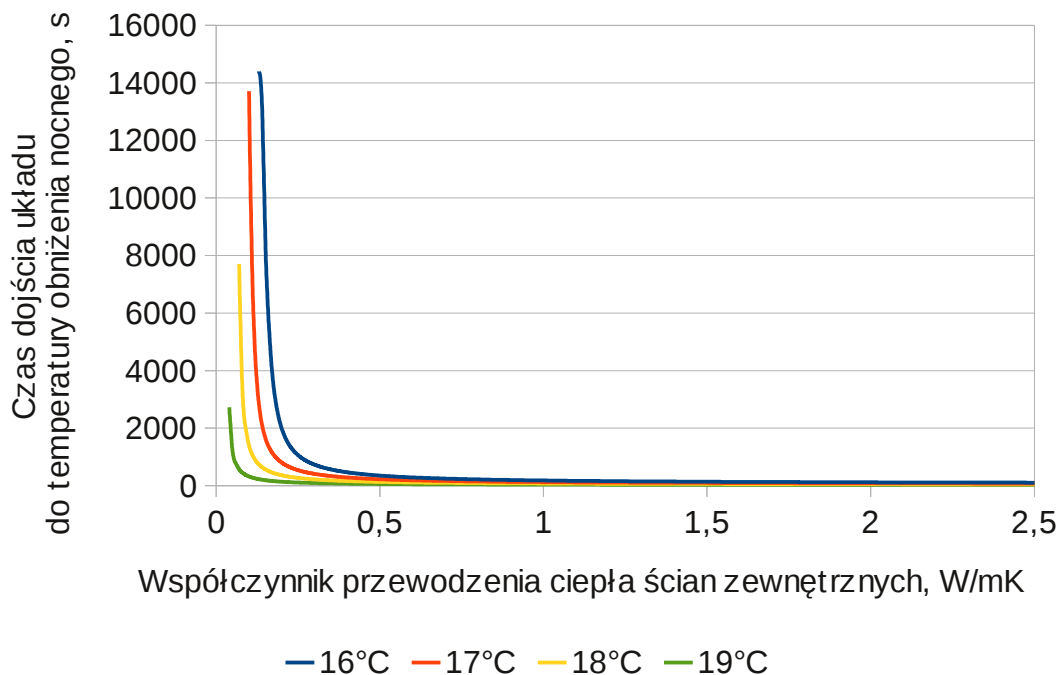
Różnica ta zwiększa się wraz ze zmniejszeniem się współczynnika przewodzenia ciepła ścian. Dodatkowo należy wziąć pod uwagę, iż przy niskich współczynnikach przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych nie jest możliwe doprowadzenie budynku do zadanej temperatury – straty ciepła przez przegrody zewnętrzne są zbyt niskie aby możliwe było schłodzenie budynku do zadanej temperatury.

Zależność pomiędzy współczynnikiem przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych a zmniejszaniem zapotrzebowania na ciepło z budynku w stosunku do przypadku braku obniżenia dla różnych temperatur docelowych (16 °C, 17 °C, 18 °C oraz 19 °C) przedstawiono na rysunku 44.



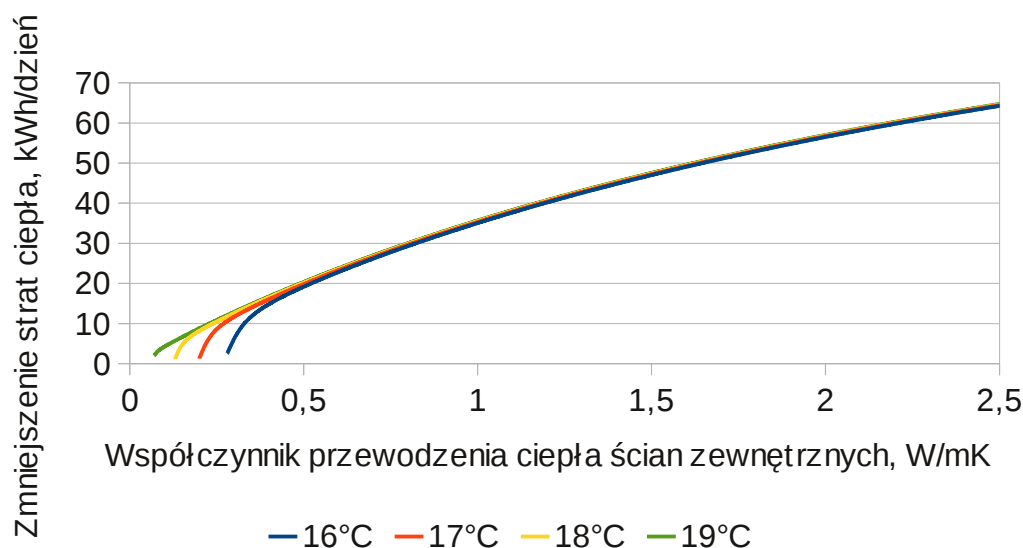
Rys. 44 Zależność zmniejszenia strat ciepła na potrzeby grzewcze w funkcji współczynnika przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych

Przeanalizowano również czas, po jakim w budynku zostanie osiągnięta zadana temperatura obniżenia nocnego w zależności od współczynnika przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych. Największe różnice występują przy niskich współczynnikach przewodzenia ciepła. W przypadku wysokich współczynników przewodzenia ciepła różnice te są niewielkie. Wynika to z faktu wyższych strat ciepła przez przenikanie dla ścian zewnętrznych. Zależność pomiędzy czasem dojścia układu do zadanej temperatury w zależności od współczynnika przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych dla różnych poziomów temperatur docelowych obniżenia (16 °C, 17 °C, 18 °C oraz 19 °C) przedstawiono na rysunku 45.



Rys. 45 Zależność czasu dojścia układu w funkcji współczynnika przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych

W drugim wariantcie analizy przyjęto, że grubość ścian zewnętrznych wynosi 0,5 m. Dla tego wariantu uzyskano zbliżone wyniki jak dla grubości ścian zewnętrznych 0,25 m. Podobnie jak w przypadku poprzednim im wyższy jest współczynnik przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych (czyli im gorsza jest ich izolacyjność termiczna przegrody zewnętrznej) tym wyższe są oszczędności ciepła na potrzeby grzewcze w stosunku do braku takiego obniżenia. Tutaj także największe różnice widoczne są przy niskich współczynnikach przewodzenia ciepła. Wynika to z długiego czasu dochodzenia układu do zadanego poziomu temperatur.

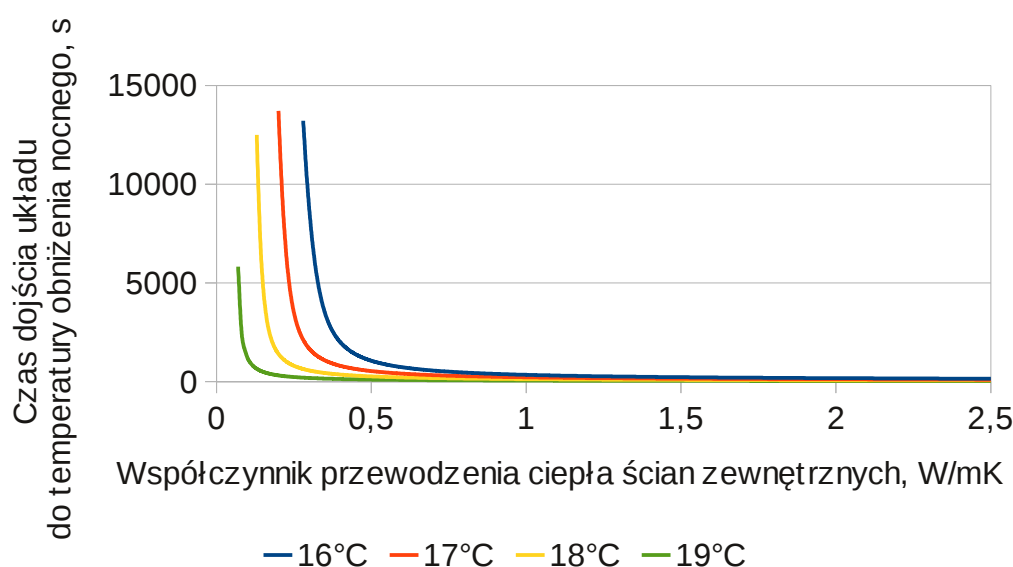


Rys 46. Zależność zmniejszenia strat ciepła na potrzeby grzewcze w funkcji współczynnika przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych.

Zależność pomiędzy współczynnikiem przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych a zmniejszeniu zapotrzebowania na ciepło w stosunku do przypadku braku obniżenia dla różnych temperatur docelowych (16 °C, 17 °C, 18 °C oraz 19 °C) przedstawiono na rysunku 46.

Czas dojścia układu do zadanej temperatury również silnie zależy od współczynnika przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych. Czas ten rośnie wraz ze zmniejszeniem współczynnika przewodzenia ciepła. Jest to konsekwencją, iż dla budynków o wysokiej izolacyjności występują niskie straty przez przenikanie ciepła do otoczenia.

Zależność pomiędzy czasem dojścia układu do zadanej temperatury w zależności od współczynnika przewodzenia ciepła ścian dla różnego poziomu temperatur docelowych obniżenia (16 °C, 17 °C, 18 °C oraz 19 °C) przedstawiono na rysunku 47.



Rys. 47 Zależność czasu dojścia układu w funkcji współczynnika przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych.

Analiza wpływu grubości przegród zewnętrznych

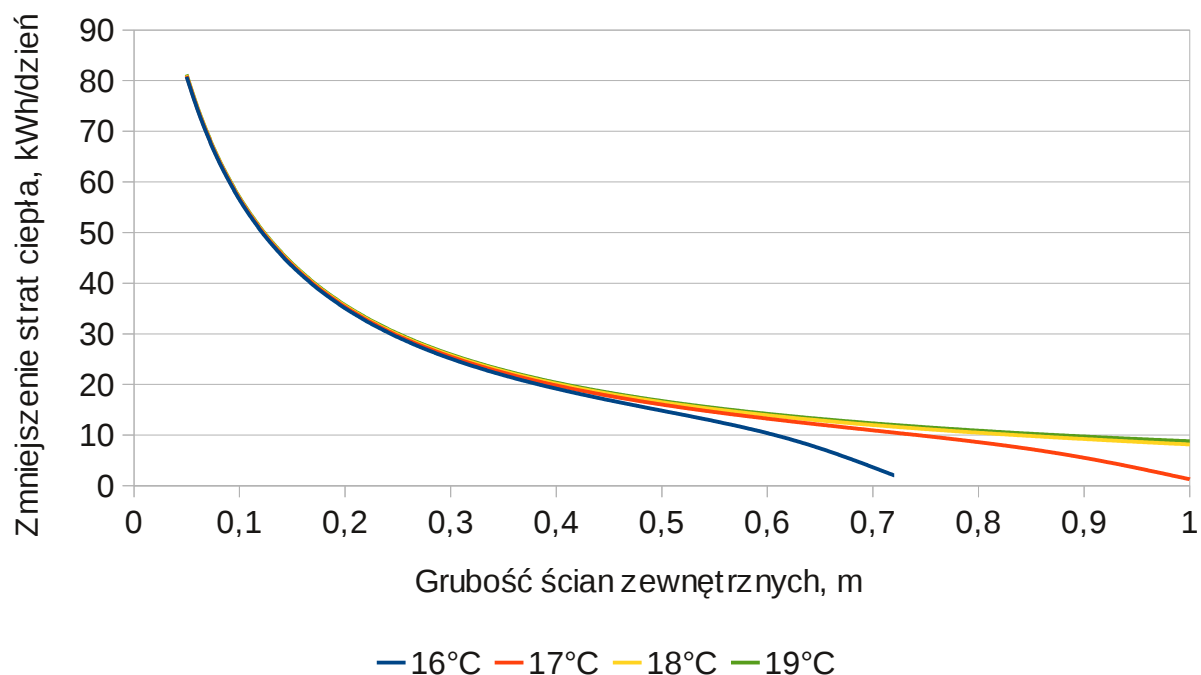
Przeprowadzono analizę zmniejszenia strat ciepła budynku w zależności od grubości ścian zewnętrznych. Przyjęto współczynnik przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych na poziomie 0,4 W/mK.

Pozostałe współczynniki przyjęto następująco:

- pojemność cieplna ścian: 870 J/kgK,
- pojemność ciepła powietrza: 770 J/kgK,
- współczynnik przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych: 0,4 W/mK,
- docelowa temperatura obniżenia nocnego: 16 °C, 17 °C, 18 °C oraz 19 °C.

Można zauważyć, iż wraz ze wzrostem grubości ścian zewnętrznych spada wartość zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło grzewcze. Jest to spowodowane faktem, iż ze wzrostem grubości przegród rośnie także ich izolacyjność, a co za tym idzie czas dojścia układu do zadanej temperatury obniżenia jest dłuższy.

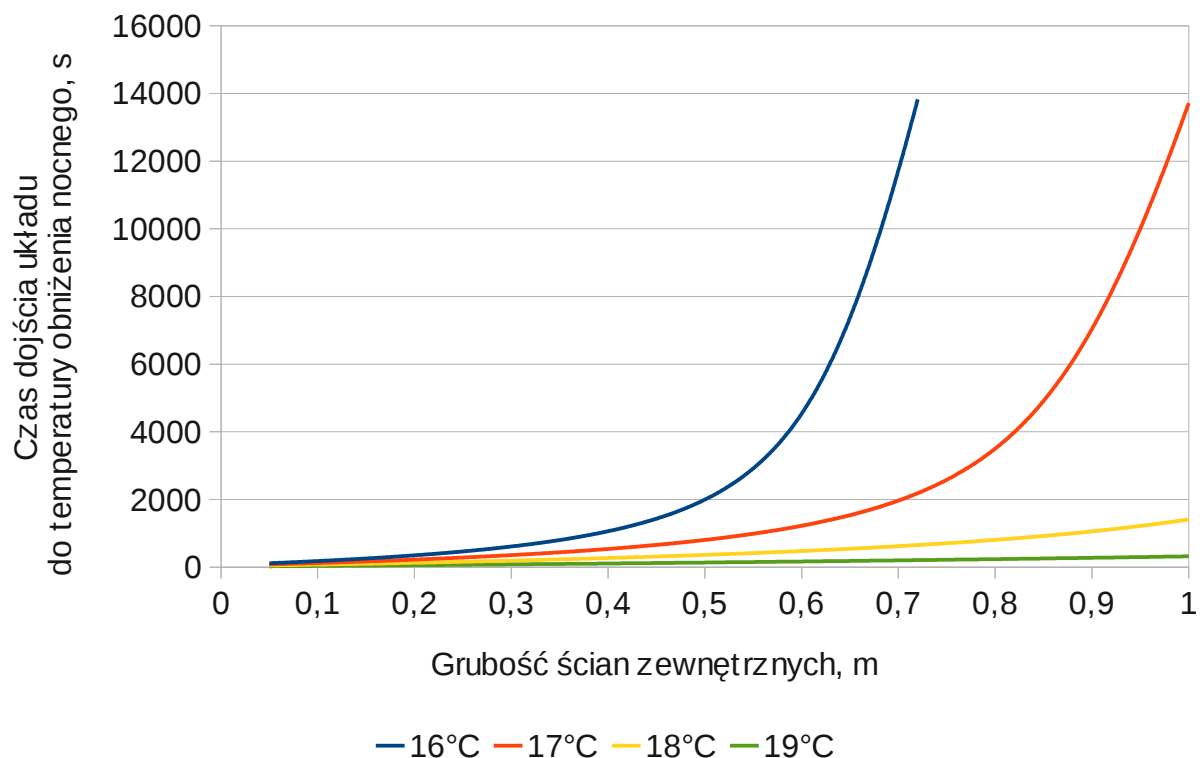
Różnica pomiędzy wartościami zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło grzewcze dla różnych temperatur rośnie wraz ze wzrostem grubości ścian zewnętrznych. Zależności te przedstawiono na rysunku 48.



Rys. 48 Zależność zmniejszenia strat ciepła w funkcji grubości ścian zewnętrznych.

Czas dojścia układu do zadanej temperatury obniżenia nocnego także zależy silnie od grubości ścian zewnętrznych. W przypadku temperatury na poziomie 18 °C oraz 19 °C zależność ta przyjmuje charakter zbliżony do liniowego. Natomiast wraz ze spadkiem temperatury docelowej zależność przyjmuje charakter wykładniczy.

Zależność pomiędzy czasem, który jest konieczny do osiągnięcia przez układ temperatury obniżenia nocnego w zależności od grubości ścian zewnętrznych dla różnego poziomu docelowej temperatury przedstawiono na rysunku 49.



Rys.49 Zależność czasu dojścia układu do temperatury obniżenia nocnego w funkcji grubości ścian zewnętrznych.

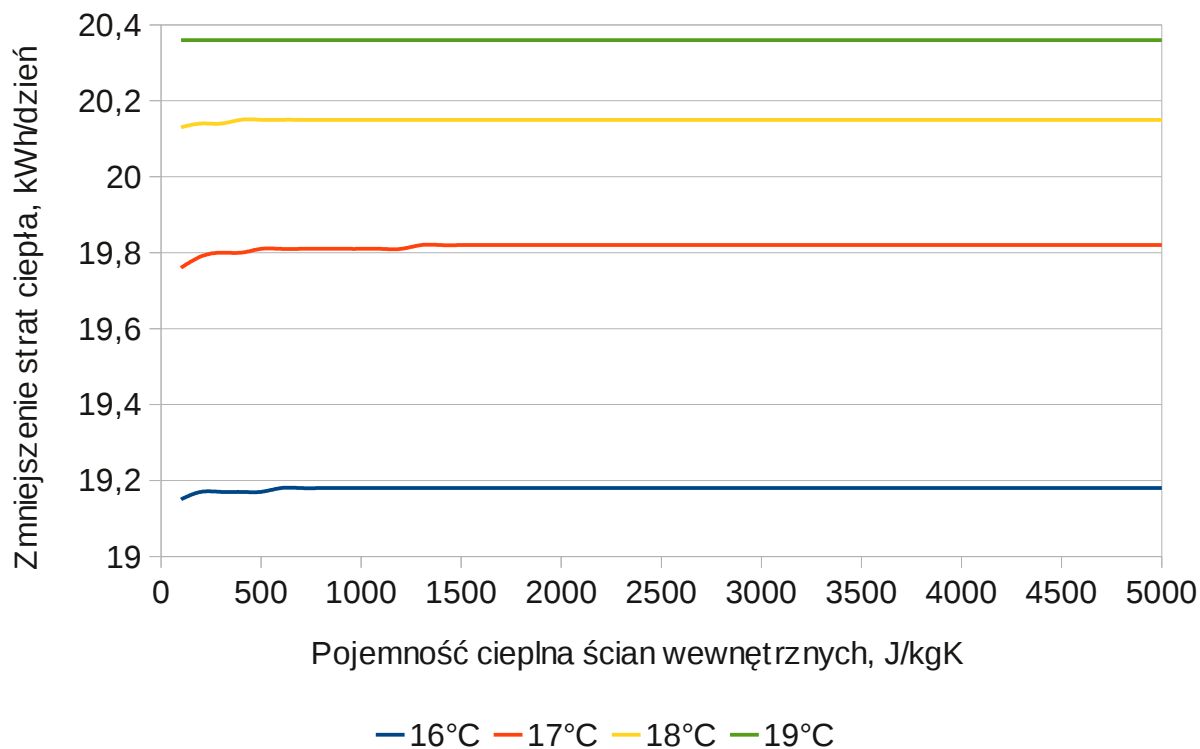
Ostatnią z przeprowadzonych analiz był wpływ pojemności cieplnej ścian wewnętrznych na zmniejszenie strat ciepła do otoczenia oraz na czas dojścia układu do temperatury obniżenia. Analizie poddano przegrody wewnętrzne o pojemności cieplnej od 100 J/kgK do 5000 J/kgK.

Pozostałe parametry przyjęto następująco:

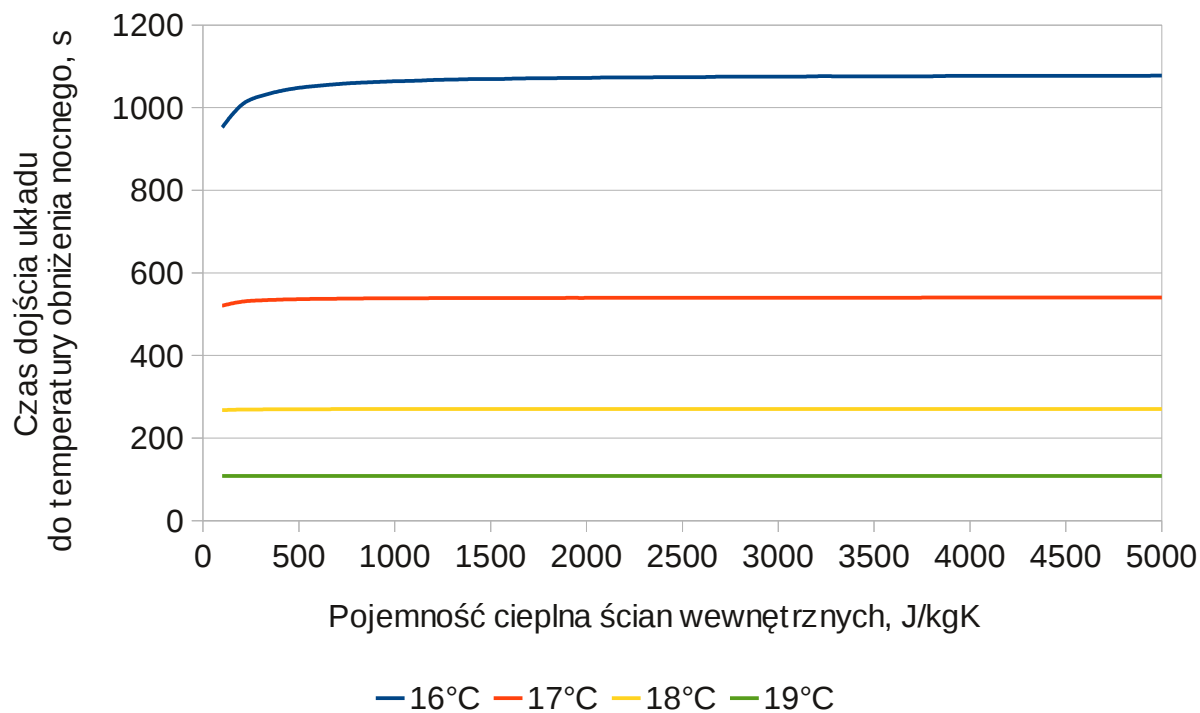
- grubość ścian zewnętrznych: 0,5 m,
- pojemność ciepła powietrza: 770 J/kgK,
- współczynnik przewodzenia ciepła ścian zewnętrznych: 0,5 W/mK,
- docelowa temperatura obniżenia nocnego: 16 °C, 17 °C, 18 °C oraz 19 °C.

W tym przypadku zależności pomiędzy zmniejszeniem strat ciepła przez przenikanie oraz czasem dojścia układu do temperatury obniżenia w zależności od pojemności cieplnej ścian wewnętrznych przyjmują charakter zbliżony do liniowego. Dodatkowo jedynie przy niskich wartościach pojemności cieplnej ścian wewnętrznych widać zależność pomiędzy pojemnością cieplną a zmniejszeniem zapotrzebowania na ciepło oraz czasem dojścia układu do temperatury obniżenia. Powyżej 1200 J/kgK pojemności cieplnej brak jest jej wpływu na zmniejszenie strat ciepła oraz na czas dojścia układu do temperatury obniżenia.

Zależność zmniejszenia strat ciepła do otoczenia w zależności od pojemności cieplnej ścian wewnętrznych dla przedstawiona została na rysunku 50, natomiast zależność pomiędzy czasem dojścia układu do temperatury obniżenia w zależności od pojemności cieplnej ścian wewnętrznych przedstawiono na rysunku 51.



Rys.50 Zależność zmniejszenia strat ciepła w funkcji pojemności cieplnej ścian wewnętrznych



Rys.51 Zależność czasu dojścia układu do temperatury obniżenia nocnego w funkcji pojemności cieplnej ścian wewnętrznych.

Optimalizacja temperatury przygotowania ciepłej wody użytkowej w zasobnikach w funkcji zmienności dobowej poboru

W następnym etapie przeprowadzono optymalizację temperatury przygotowania ciepłej wody użytkowej w zasobnikach w funkcji zmienności dobowej poboru.

Analiza instalacji CWU (ciepłej wody użytkowej) została przeprowadzona przy następujących założeniach zużycia CWU w ciągu dnia:

Tabela 6. Użytkowanie instalacji CWU w ciągu doby

Godzina	Czas trwania, min	Zużycie wody, dm ³	Temperatura wody na armaturze, °C
7:00	3	15	40
7:20	3	15	40
17:00	3	15	40
17:20	3	15	40
19:00	5	30	40
22:00	6	50	40
22:30	6	50	40

Do rozważań przyjęto instalację ze zbiornikiem akumulacyjnym (bojlerze) bez strat ciepła do otoczenia, wyposażonym w grzałkę elektryczną o mocy 10kW.

Przeprowadzono analizy wrażliwości pracy układu ze względu na:

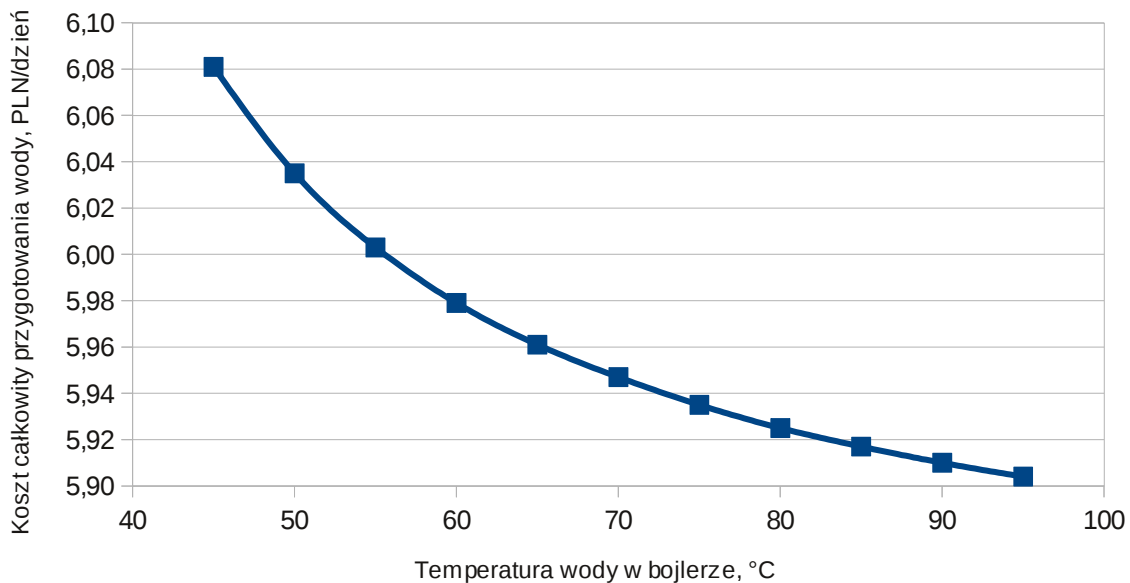
- cenę wody zimnej,
- temperaturę wody zimnej,
- temperaturę wody w zbiorniku,
- cenę energii elektrycznej.

Analiza wpływu temperatury wody w zbiorniku akumulacyjnym na dzienny koszt przygotowania CWU

Do przeprowadzenia tej analizy przyjęto cenę wody zimnej na poziomie 13,18 PLN/m³. Cena ta uwzględnia również odprowadzenie nieczystości do miejskiej sieci kanalizacyjnej. Cenę energii elektrycznej przyjęto jako 0,5 PLN/kWh. Temperatura wody zimnej doprowadzanej do instalacji to 10°C.

Zależność dziennych kosztów przygotowania CWU w zależności od temperatury wody w zbiorniku przedstawiono na rysunku 52.

Ograniczeniem maksymalnej temperatury wody jest jej temperatura nasycenia, która pod ciśnieniem 1 bar wynosi około 100 °C. W związku na potrzeby analiz przyjęto jako maksymalną temperaturę wody w zasobniku na poziomie 95 °C.



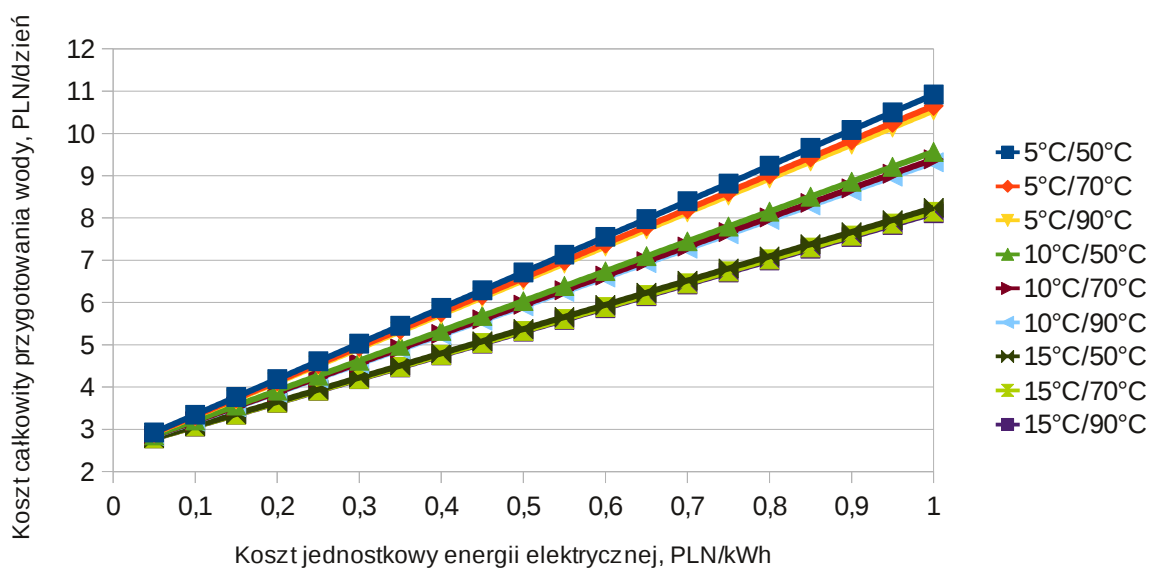
Rys. 52 Zależność dziennych kosztów przygotowania CWU w funkcji temperatury wody w bojlerze

Dzienny koszt przygotowania CWU spada wraz ze wzrostem temperatury wody w bojlerze. Różnica pomiędzy kosztami dla temperatury wody na poziomie 50°C a 90°C to 13 gr dziennie, co oznacza rocznie zmniejszenie kosztów przygotowania CWU o około 48 PLN.

Analiza wpływu ceny energii elektrycznej na dzienny koszt przygotowania CWU

Przeprowadzona analiza pozwoliła na wyznaczenie zależności pomiędzy ceną energii elektrycznej a dziennym kosztem przygotowania CWU. Analizę przeprowadzono trzykrotnie, za każdym razem przy innej temperaturze wody zimnej doprowadzanej do instalacji. Pod uwagę wzięto cenę energii elektrycznej od 0,05 PLN/kWh do 1 PLN/kWh.

Przyjęto cenę wody zimnej: 13,18 PLN/m³.



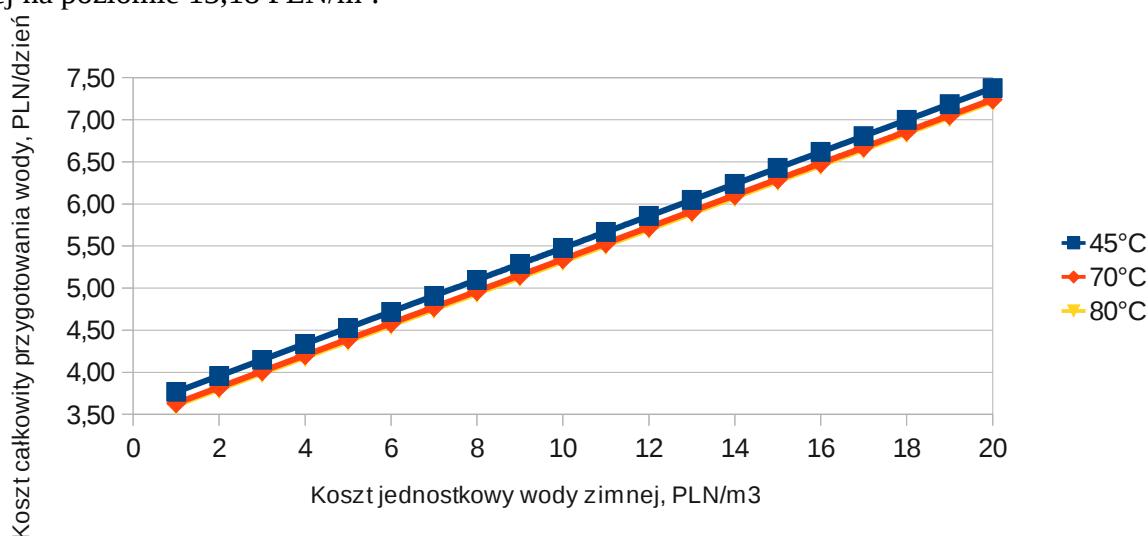
Rys 53. Zależność dziennych kosztów przygotowania CWU w funkcji jednostkowej ceny energii elektrycznej

Koszt przygotowania CWU rośnie wraz ze wzrostem ceny energii elektrycznej. Różnica pomiędzy wartością minimalną (tj. dla 0,05 PLN/kWh) a maksymalną (dla 1 PLN/kWh) wynosi od 5,35 PLN do 7,99 PLN. Różnica ta zależy od temperatury wody zimnej doprowadzanej do instalacji. Im ta temperatura jest wyższa tym różnica jest mniejsza, gdyż potrzebna jest mniejsza ilość energii elektrycznej do podgrzania wody do wymaganej temperatury.

Przy niskiej cenie energii elektrycznej np. 0,05 PLN/kWh różnica pomiędzy kosztem przygotowania CWU dla wody zasilającej o temp 5°C oraz 15°C wynosi 0,14 PLN/dzień. Przy cenie energii elektrycznej na poziomie 1 PLN/kWh różnica ta wzrasta do 2,8 PLN/dzień.

Analiza wpływu ceny wody zimnej na dzienny koszt przygotowania CWU

Przeprowadzono również analizę wpływu ceny wody zimnej na dzienny koszt użytkowania instalacji CWU. Przyjęto cenę energii elektrycznej na poziomie 0,5 PLN/kWh oraz cenę wody zimnej na poziomie 13,18 PLN/m³.



Rys 54. Zależność dziennych kosztów przygotowania CWU w funkcji jednostkowej ceny wody zimnej

Dzienny koszt przygotowania CWU rośnie wraz ze wzrostem ceny wody zimnej. Różnica ta w niewielkim stopniu zależy od temperatury wody w zbiorniku akumulacyjnym – różnice kosztów dla temperatury wody na poziomie 45°C oraz 80°C wynoszą 0,16 PLN/dzień. Natomiast dzienna różnica w kosztach przygotowania CWU dla ceny wody na poziomie 1 PLN/m³ oraz 20 PLN/m³ wynosi 3,61 PLN/dzień.

Ocena efektów ekonomicznych i ekologicznych przyjętych rozwiązań

W ostatnim etapie pracy dokonano oceny efektów ekonomicznych i ekologicznych przyjętych rozwiązań dla budynków jednorodzinnych. W tym celu przeprowadzono analizę porównawczą dwóch typów budynków. Pierwszy z nich jest budynkiem o wymiarach 14x14 m oraz wysokości 2,7 m z 20-sto procentowym udziałem okien na elewacji północnej oraz 40-sto procentowym udziale powierzchni okien w powierzchni ściany na pozostałych elewacjach. Budynek jest ogrzewany przy użyciu kotła węglowego, natomiast ciepła woda użytkowa przygotowana jest w kotle gazowym. Wartość opałowia węgla wynosi 27 MJ/kg. Na podstawie przeprowadzonych wcześniej analiz otrzymano iż najkorzystniejszym wariantem domu jednorodzinnego to budynek o wymiarach 14x14 m oraz o wysokości 2,7 m z 20-sto procentowym udziałem powierzchni okna w powierzchni elewacji północnej oraz 40-sto procentowym udziałem powierzchni okna w powierzchniach pozostałych elewacji, z dachem spadzistym o nachyleniu 30°. W dachu zamontowane są okna dachowe znajdujące się jedynie na połaci dachowej usytuowanej w kierunku południowym, ich udział w dachu wynosi 80%. Powierzchnie przeszklone wykonane są z materiału

o współczynniku przepuszczalności promieniowania słonecznego $g=0,85$ co odpowiada oszkleniu pojedynczą szybą. Na połąci dachowej ukierunkowanej na północ zamontowane zostały kolektory słoneczne, które będą wspomagały przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Budynek jest ogrzewany przy pomocy kotła zasilanego biomasą. Wartość opałowia biomasy wynosi 17 MJ/kg. Założono, że obydwie budynki są docieplone styropianem o grubości 15 cm. Ściany zbudowane są z cegły zwykłej pełnej o grubości 25 cm o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,78 \text{ W/(mK)}$. Przyjęto również iż budynek zamieszkały jest przez czteroosobową rodzinę. W wyniku analizy przeprowadzonej w oparciu o komercyjne oprogramowanie ARCADIA dla budynku jednorodzinnego ogrzewanego przy pomocy kotła na węgiel kamienny oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej przy użyciu kotła na gaz ziemny określono średnioroczne zużycie węgla kamiennego na potrzeby grzewcze, średnioroczne zużycie gazu ziemnego na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz średnioroczne zużycie energii elektrycznej.

Tabela 7. Zużycie energii pierwotnej oraz energii elektrycznej z budynku ogrzewanego węglem kamiennym

Węgiel kamienny [kg/rok]	8024
Energia elektryczna produkcja mieszana [kWh/rok]	823,2
Gaz ziemny [m ³ /rok]	544,7

Dla budynku ogrzewanego w tradycyjny sposób konieczne jest zużycie ponad 8 ton węgla roczne oraz niespełna 550 m³ gazu ziemnego. Analogiczne obliczenia przeprowadzono dla budynku ogrzewanego przy pomocy kotła na biomasę oraz przygotowywania ciepłej wody użytkowej przy pomocy kolektorów słonecznych.

Tabela 8. Zużycie energii pierwotnej oraz energii elektrycznej z budynku ogrzewanego biomasą

Biomasa [kg/rok]	18789,3
Energia elektryczna produkcja mieszana [kWh/rok]	137,2
Kolektory termiczne [kWh/rok]	5947,5

Ze względu na niższą wartość opałowia biomasy w porównaniu do wartości opałowia węgla kamiennego konieczne jest jej większe zużycie. W przypadku biomasy roczne zużycie energii pierwotnej wynosi niespełna 19 ton, natomiast w celu przygotowania ciepłej wody użytkowej konieczne jest zużycie niemal 6000 kWh/rok. W tabeli 3 przedstawiono koszty eksploatacyjne związane z ogrzewaniem oraz przygotowaniem ciepłej wody użytkowej.

Tabela 9. Koszty eksploatacyjne związane z ogrzewaniem oraz przygotowaniem ciepłej wody użytkowej dla budynku ogrzewanego węglem kamiennym

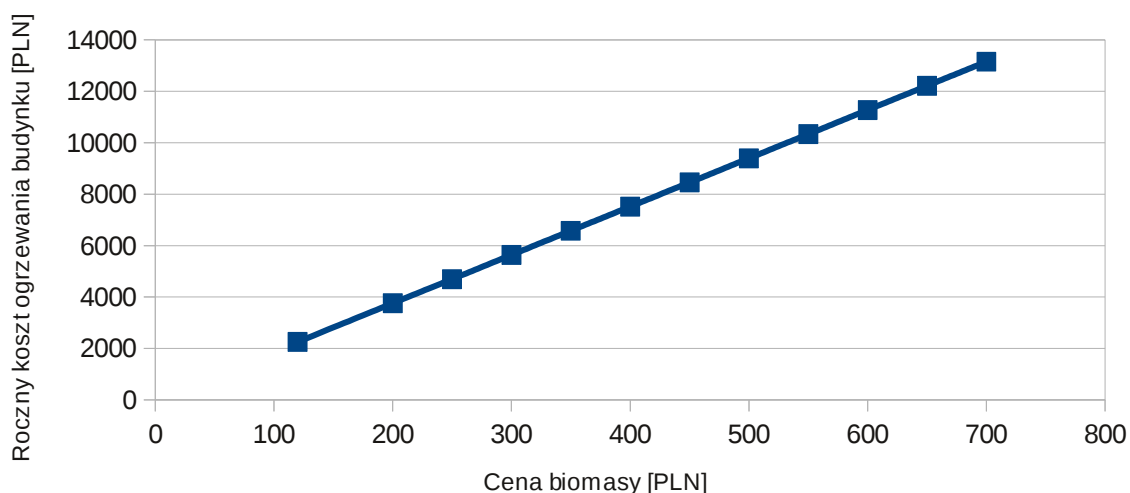
Ciepło grzejne [PLN/rok]	6028,4
Ciepła woda użytkowa [PLN/rok]	1312,6
Koszty całkowite [PLN/rok]	7341
Koszty eksploatacyjne na m ² powierzchni ogrzewanej [PLN/m ²]	37,5

Przy obecnych cenach zakupu węgla kamiennego roczny koszt ogrzewania budynku o powierzchni użytkowej 200 m² wynosi około 6000 zł, natomiast roczne koszty przygotowania ciepłej wody użytkowej w kotle gazowym wynoszą około 1300 zł. Koszty eksploatacyjne związane z ogrzewaniem oraz przygotowaniem ciepłej wody użytkowej dla budynku wykorzystującego alternatywne źródła ciepła oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej przy użyciu kolektorów słonecznych przedstawione zostały w tabeli 4.

Tabela 10. Koszty eksploatacyjne związane z ogrzewaniem oraz przygotowaniem ciepłej wody użytkowej dla budynku ogrzewanego biomasą

Ciepło grzejne [PLN/rok]	13376,2
Ciepła woda użytkowa [PLN/rok]	68,6
Koszty całkowite [PLN/rok]	13444,8
Koszty eksploatacyjne na m ² powierzchni ogrzewanej [PLN/m ²]	68,6

Dla budynków, w których ogrzewanie realizowane jest poprzez spalanie biomasy w kotle koszty eksploatacyjne są znacznie wyższe aniżeli ma to miejsce w przypadku spalania węgla kamiennego. Jest to związane ze znaczną różnicą w wartości opałowej tych dwóch surowców oraz z ich ceną. W ostatnich latach cena biomasy gwałtownie wzrosła.



Rys. 55. Wpływ ceny biomasy na koszty eksploatacyjne ogrzewania budynku jednorodzinnego

Ze względu na niską opłacalność ekonomiczną wykorzystania biomasy w celach grzewczych konieczna była analiza przy jakich cenach biomasy jej spalanie byłoby opłacalne. Na wykresie 55. przedstawiono wysokość kosztów eksploatacyjnych w zależności od ceny biomasy.

Na podstawie przeprowadzonej analizy określono, że maksymalna cena biomasy, dla której jej spalanie będzie ekonomicznie opłacalne wynosi 320 PLN/tonę.

Pod względem ekologicznym znacznie korzystniejszy jest budynek ogrzewany przy pomocy kotła na biomasę. W tabelach 11 oraz 12 przedstawiono emisję zanieczyszczeń z budynków ogrzewanych kotłem na węgiel kamienny oraz na biomasę.

Tabela 11. Emisja zanieczyszczeń z budynku ogrzewanego węglem kamiennym w kg/rok

SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	pył	sadza	BaP
161,6	10,6	361,8	17940,9	85,5	2,8	0,1

Spalanie węgla kamiennego powoduje znaczną emisję dwutlenku siarki, tlenku węgla oraz dwutlenku węgla.

Tabela 12. Emisja zanieczyszczeń z budynku ogrzewanego biomasą w kg/rok

SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	pył	sadza	BaP
21,7	377,4	22,6	960,4	14,4	0,0	0,0

Spalanie biomasy powoduje znaczne zmniejszenie emisji wielu zanieczyszczeń, między innymi dwutlenku siarki, dwutlenku węgla, tlenku węgla pyłu, sadzy oraz benzoapirenu (BaP). Niestety spalanie biomasy powoduje zwiększenie emisji tlenków azotu.