

Symulacje energetyczne modernizacji budynku jednorodzinnego

Raport z przeprowadzonych obliczeń



FPE

FUNDACJA
POSZANOWANIA
ENERGII



Symulacje energetyczne modernizacji budynku jednorodzinnego
Raport z przeprowadzonych obliczeńMaciej Mijakowski
Antonina Mijakowska

Fundacja Poszanowania Energii, Warszawa, wrzesień 2025r.

Stan prawny oraz odnośniki zewnętrzne aktualne na dzień: 20 czerwca 2025r.

Copyright by Fundacja Poszanowania Energii

Wydawca:
Fundacja Poszanowania Energii
00-002 Warszawa,
ul. Świętokrzyska 20
<https://fpe.org.pl>

Opracowanie w całości ani we fragmentach nie może być powielane ani rozpowszechniane za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących i innych bez pisemnej zgody autorów.

WYŁĄCZENIE ODPOWIEDZIALNOŚCI

Raport zawiera wyniki symulacji energetycznych konkretnego budynku i nie może służyć jako uogólnienie wpływu poszczególnych modernizacji na charakterystykę energetyczną budynków jednorodzinnych. Autorzy i wydawca oświadczają, że dołożyli należytych starań w trakcie opracowania raportu, jednak nie gwarantują braku błędów.

Spis treści

Definicje i skróty.....	4
1 Wprowadzenie.....	5
1.1 Obliczanie zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną	5
1.2 Dlaczego symulacje programem EnergyPlus	7
1.3 Przyjęty schemat postępowania.....	8
2 Budynek przyjęty do analizy	9
2.1 Opis budynku.....	9
2.2 Zapotrzebowanie na energię.....	12
3 Modernizacje	15
3.1 Izolacja ścian.....	15
3.2 Izolacja stropu nad piętrem.....	16
3.3 Wymiana okien.....	16
3.4 Izolacja podłogi (parter).....	17
3.5 Wentylacja z odzyskiem ciepła	18
3.6 Kocioł kondensacyjny	18
3.7 Powietrzna pompa ciepła	19
3.8 Grunтова pompa ciepła	20
3.9 Fotowoltaika	21
3.10 Kolektory słoneczne.....	22
3.11 Przykład kompleksowej modernizacji	22
4 Analiza wybranych założeń budynku bazowego	25
4.1 Rodzaj zabudowy.....	25
4.2 Lata budowy (zmiany standardów ochrony cieplnej budynku).....	28
4.3 Lokalizacja.....	30
4.4 Temperatura utrzymywana w okresie zimowym	33
5 Podsumowanie	35

Definicje i skróty

Charakterystyka energetyczna - zbiór danych i wskaźników energetycznych budynku lub części budynku, określających całkowite zapotrzebowanie na energię niezbędną do ich użytkowania zgodnie z przeznaczeniem.

c.o. - centralne ogrzewanie.

c.w.u. - ciepła woda użytkowa.

Efektywność energetyczna - jest to stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, albo w wyniku wykonanej usługi niezbędnej do uzyskania tego efektu.

EK (wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową) - zapotrzebowanie na energię końcową odniesione do powierzchni o regulowanej temperaturze (ogrzewana lub chłodzona powierzchnia kondygnacji netto).

Energia końcowa - energia dostarczana do budynku lub części budynku dla systemów technicznych. Jest to ilość energii stanowiąca podstawę rachunków wystawianych przez dostawcę energii. Obliczenie zapotrzebowania na energię końcową wykonuje się na podstawie obliczonej wartości energii użytkowej z uwzględnieniem współczynników sprawności systemu instalacyjnego (ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody lub oświetlenia) lub produkcyjnego.

Energia pierwotna - energia zawarta w kopalnych surowcach energetycznych, która nie została poddana procesowi konwersji lub transformacji. Energia pierwotna dzieli się na odnawialną i nieodnawialną energię pierwotną. W Polsce w dokumentach prawnych używa się najczęściej nieodnawialnej energii pierwotnej. Obliczenie zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną wykonuje się na podstawie obliczonej wartości energii końcowej uwzględniając współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla poszczególnych nośników energii.

Energia pomocnicza - część energii końcowej dostarczanej do budynku lub części budynku dla zapewnienia funkcjonowania urządzeń pomocniczych (pomp, wentylatorów, itp.) w systemach technicznych.

Energia użytkowa - energia, która jest potrzebna bezpośrednio dla uzyskania wymaganego efektu użytkowego danego systemu (np. energia jaką trzeba dostarczyć do danego pomieszczenia w celu zapewnienia wymaganej temperatury) – czyli jest to energia efektywnie wykorzystywana.

EP (wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną) - zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną odniesione do powierzchni o regulowanej temperaturze (ogrzewana lub chłodzona powierzchnia kondygnacji netto).

EU (wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową) - zapotrzebowanie na energię użytkową odniesione do powierzchni o regulowanej temperaturze (ogrzewana lub chłodzona powierzchnia kondygnacji netto).

HVAC (ang. Heating, Ventilation and Air-conditioning) - ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja.

Jakość powietrza wewnętrznego - stan powietrza w pomieszczeniach, który nie wpływa negatywnie na zdrowie, samopoczucie, wydajność przybywających w nim osób. Osiągany jest za pomocą odpowiedniej wentylacji, czyli wymiany powietrza wewnętrznego na powietrze zewnętrzne, czasami połączony z filtracją powietrza. Minimalne wymagania dotyczące wentylacji budynków mieszkalnych wynikają z konieczności usuwania ok. 50-70 m³/h powietrza z każdej kuchni i łazienki oraz 30 m³/h z toalety. Równocześnie dla każdej osoby powinno być zapewnione co najmniej 20 m³/h powietrza zewnętrznego.

Komfort cieplny - stan, w którym organizm człowieka nie odczuwa ani zimna, ani nadmiernego ciepła. Przyjmuje się, że komfortowa temperatura odczuwalna (miks temperatury powietrza oraz temperatury promieniowania przegród przy niewielkiej prędkości powietrza oraz neutralnej wilgotności powietrza), dla osoby pozostającej w spoczynku zimą (ze względu na ubiór) wynosi 20-23°C, a latem 24-28°C.

Oszczędność energii - jest to różnica pomiędzy ilością energii zużywaną przed realizacją przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej i ilością energii zużywanej po zrealizowaniu tego przedsięwzięcia. Te ilości energii dotyczą znormalizowanych warunków zewnętrznych wpływających na zużycie energii, a więc sposobu użytkowania, warunków klimatycznych, itp.

Świadectwo charakterystyki energetycznej budynku (certyfikat energetyczny) - dokument podsumowujący charakterystykę energetyczną, sporządzony zgodnie z rozporządzeniem w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej ([Dz.U. 2015 poz. 376](#)) oraz zarejestrowany w [rejestrze świadectw](#) prowadzonym przez Ministerstwo Rozwoju i Technologii.

1 Wprowadzenie

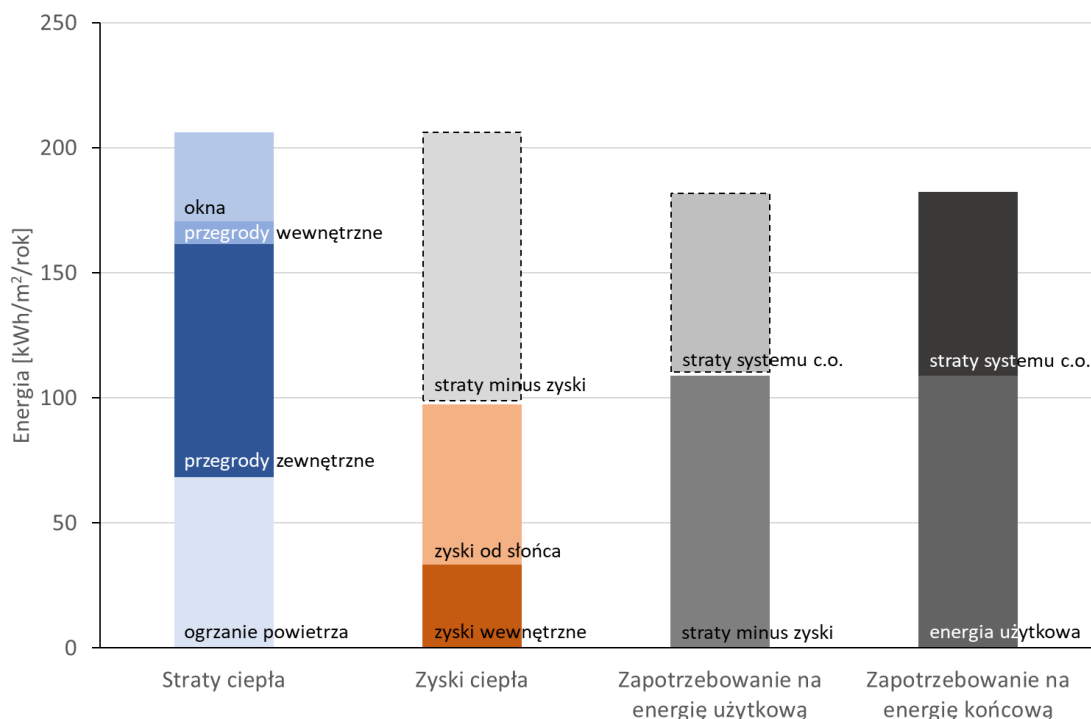
Często pojawiają się pytania dotyczące tego jak dostępne modernizacje budynku wpływają na jego zapotrzebowanie na energię, czyli koszty z tym związane. W niniejszym raporcie zajęliśmy się ich analizą poprzez przeprowadzenie różnych, szczegółowych symulacji.

1.1 Obliczanie zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną

Zgodnie z fizyką wykonywania obliczeń, zapotrzebowanie na energię użytkową wynika z bilansu cieplnego, w którym od strat ciepła (przenikanie ciepła przez przegrody, ogrzanie powietrza wentylacyjnego) odejmuje się zyski ciepła (zyski od urządzeń, ludzi, zyski słoneczne). Bilans można wykonywać dla różnych interwałów czasowych, np. w każdej godzinie (przypadek, który miał miejsce w niniejszych symulacjach), miesięcznych lub sezonowych. W zależności od interwału zmianie ulega tzw. współczynnik wykorzystania zysków ciepła. Współczynnik ten uwzględnia przesunięcie w czasie pomiędzy występowaniem zysków i strat, czyli nie można np. odjąć od strat w okresie nocy zysków od słońca, które wystąpiły w ciągu dnia. W ten sposób obliczone zapotrzebowanie na energię użytkową oznacza energię bezpośrednio dostarczoną do pomieszczenia (np. oddawaną przez

grzejnik), tak aby utrzymać założoną temperaturę wewnętrzną. Bilans energetyczny jest zachowany dla każdej chwili czasu, czyli jeżeli energia dostarczona przez grzejnik nie wynika z bilansu to wyrównanie następuje najczęściej przez zmianę temperatury wewnętrznej (niższa temperatura to niższe straty ciepła) lub przez zmianę strumienia powietrza np. poprzez otwarcie okna (większy strumień powietrza to wyższe straty). Oznacza to, że zmniejszyć zapotrzebowanie na energię użytkową można zmniejszając straty (izolacja przegród budynku oraz modernizacja systemu wentylacji) i/lub powiększając zyski.

Znając zapotrzebowanie na energię użytkową można obliczyć zapotrzebowanie na energię końcową. Wymaga to podzielenia zapotrzebowania na energię użytkową przez sprawność całkowitą systemu (η_{tot}), która jest iloczynem czterech częściowych sprawności sezonowych (odniesionych do interwału bilansowania energii użytkowej): wytwarzania, przesyłu, akumulacji oraz regulacji i wykorzystania. Warto zauważyć, że sprawność zawsze jest co najwyżej równa 1, ale za wyjątkiem dostarczania ciepła przez pompę ciepła, której współczynnik efektywności energetycznej (odpowiednik sprawności przez którą dzieli się energię użytkową) wynosi dla pomp zasilanych energią elektryczną od ok. 2.60 do ponad 4.00. Wynika z tego, że zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową można uzyskać oprócz samego zmniejszenia energii użytkowej również poprzez poprawianie sprawności systemów technicznych (zastosowanie źródła energii o większej sprawności wytwarzania, ograniczeniem strat przesyłu lub akumulacji ciepła czy zastosowanie bardziej efektywnych systemów automatyki). W zakres energii końcowej wchodzi również tzw. energia pomocnicza służąca do zasilania urządzeń pomocniczych instalacji c.o., wentylacji i c.w.u. Są to pompy, wentylatory, regulatory, sterowniki, czasami nagrzewnice elektryczne np. do odszraniania wymiennika do odzysku ciepła w wentylacji, itp. Energię końcową można również interpretować jako ilość paliwa, nośnika energii lub energii elektrycznej, którą trzeba zakupić, aby pokryć zapotrzebowanie na energię użytkową.



Rysunek 1. Ilustracja strat i zysków ciepła oraz zapotrzebowania na energię użytkową i końcową na potrzeby ogrzewania i wentylacji dla analizowanego budynku jednorodzinnego

Z kolei zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną to iloczyn zapotrzebowania na energię końcową i współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i (wg Rozporządzenia¹ od 0.0 - dla OZE do 2.5 - dla energii elektrycznej z sieci systemowej). Przykładowo dla gazu jest to 1.10, dla drewna (biomasy) 0.20, a dla energii elektrycznej 2.5². Oznacza to, że zamiana gazu na energię elektryczną zmieni zapotrzebowanie na energię pierwotną na potrzeby ogrzewania prawie 2.3 razy, i odpowiednio zamiana gazu na drewno, zmniejszy zapotrzebowanie 5.5 krotnie. Oznacza to, że zmniejszyć zapotrzebowanie na energię pierwotną można (oprócz zmniejszenia zapotrzebowania na energię końcową), poprzez zmianę paliwa lub nośnika energii dostarczanego do budynku.

Bezpośrednio z zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną wynika wskaźnik EP, który przepisy¹ definiują dla budynków mieszkalnych jako wynikający z sumy następujących składowych:

- rocznego zapotrzebowania na energię dla systemu ogrzewania,
- rocznego zapotrzebowania na energię dla systemu przygotowania c.w.u.,
- rocznego zapotrzebowania na energię dla systemu chłodzenia (jeśli jest obecny),
- rocznego zapotrzebowania na energię pomocniczą dla systemu ogrzewania,
- rocznego zapotrzebowania na energię pomocniczą dla systemu przygotowania c.w.u.,
- rocznego zapotrzebowania na energię pomocniczą dla systemu chłodzenia (jeśli jest obecny).

Wskaźnik EP jest podawany na świadectwie charakterystyki energetycznej budynku i obecnie jest uznawany za jeden z najważniejszych wskaźników opisujących standard energetyczny budynku.

1.2 Dlaczego symulacje programem EnergyPlus

Obliczanie zapotrzebowania na energię do celów ogrzewania, chłodzenia i przygotowania ciepłej wody użytkowej jest zagadnieniem złożonym i wymagającym szeregu założeń. Oprócz samej charakterystyki energetycznej budynku (izolacyjność przegród zewnętrzną, sprawność systemów technicznych, rodzaj źródła ciepła) bardzo istotny jest sposób użytkowania budynku (liczba osób, preferencje dotyczące temperatury wewnętrznej, intensywności wentylacji, intensywność użytkowania urządzeń emitujących ciepło, otwierania okien, ilości czasu spędzanego w budynku). Jeśli chcielibyśmy oszacować efekty poszczególnych modernizacji na zużycie energii w budynku na podstawie pomiarów, to potrzebowalibyśmy rozbudowanej bazy danych, która ze statystyczną istotnością pokryłaby: poszczególne rodzaje budynków oraz sposoby użytkowania i jeszcze zawierała zużycie energii przed i po przeprowadzeniu modernizacji. Próba zawierająca dane z kilku budynków, użytkowanych w losowy niesprecyzowany sposób, niestety nie rozwiąże tego problemu. Z kolei wykorzystanie bazy jaką jest Centralny rejestr charakterystyki energetycznej budynków³, jest mocno ograniczone ze względu na specyfikę obowiązku sporządzania świadectw ograniczonego głównie do

¹ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, Dz.U. 2015 poz. 376, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20150000376>

² Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 28 marca 2023 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, Dz.U. 2023 poz. 697,

<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20230000697>

³ <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/centralny-rejestr-charakterystyki-energetycznej-budynkow>

nowych budynków oraz stosunkowo dużej liczby niewiarygodnych wyników. Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto, że najlepszym sposobem będzie wykorzystanie komputerowej symulacji dynamiki energetycznej budynku przy pomocy programu EnergyPlus⁴. Program jest uznanym narzędziem do obliczania zapotrzebowania na energię w budynkach. Już kilkanaście lat temu przeszedł pozytywnie tzw. BESTEST⁵. Raport z testu jest dostępny na stronach National Renewable Energy Laboratory⁶ i kończy się stwierdzeniem:

EnergyPlus Version 1.2.0.029 was used to model a range of building specifications as specified in ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 - Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs and in the Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method. The ability of EnergyPlus to predict thermal loads was tested using a test suite of 18 cases which included buildings with both low mass and high mass construction, without windows and with windows on various exposures, with and without exterior window shading, with and without temperature setback, with and without night ventilation, and with and without free floating space temperatures. The annual heating and cooling and peak heating and cooling results predicted by EnergyPlus for 13 different cases were compared to results from 8 other whole building energy simulation programs that participated in an International Energy Agency (IEA) project conducted in February 1995. Maximum and minimum free-floating temperatures were compared for 4 different cases. A solid conduction case was compared to only one other program due to modeling limitations in the other programs. Based on 62 separate possible comparisons of results, EnergyPlus was within the range of spread of results for the other 8 programs for 58 of the comparisons. The four cases outside of range were all less than 5.6% out of bounds.⁶

1.3 Przyjęty schemat postępowania

Do analizy, której poświęcony jest ten tekst, wykorzystano, częściowo zmodyfikowany, istniejący model. Model ten jest od roku 2011 rozwijany i wykorzystywany w ośrodku poszanowania energii, na który składają się Fundacja Poszanowania Energii (<https://fpe.org.pl>) i Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A. (<https://nape.pl>). Więcej informacji o modelu budynku w wersji 4.0, będącego podstawą dla testów, znajduje się w publikacji "Jednorodzinny budynek referencyjny NAPE"⁷.

⁴ EnergyPlus, funded by the U.S. Department of Energy's, Building Technologies Office, and managed by the National Renewable Energy Laboratory, <https://energyplus.net/>

⁵ ANSI/ASHRAE Standard 140, Method of Test for Evaluating Building Performance Simulation Software, <https://webstore.ansi.org/standards/ASHRAE/ansiashrae1402020>

⁶ EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST), EnergyPlus Version 1.2.0.029, U.S. Department of Energy, June 2004, https://simulationresearch.lbl.gov/dirpubs/epl_bestest_ash.pdf

⁷ Jerzy Kwiatkowski, Maciej Mijakowski, Joanna Rucińska, Jerzy Sowa, Jednorodzinny budynek referencyjny NAPE, zdefiniowany na potrzeby oceny efektywności energetycznej systemów wentylacji w jednorodzinnych

Na tej podstawie opracowano wariant bazowy budynku (rozdział 2.1) i wykonano dla niego symulacje komputerowe zapotrzebowania na energię na potrzeby ogrzewania i chłodzenia uzupełnione o energię na potrzeby przygotowania ciepłej wody oraz całkowite zużycie energii elektrycznej - wyniki zamieszczono w rozdziale 2.2.

Dzięki temu możliwe było uzyskanie wiarygodnych wyników dla budynku nie poddawanego modernizacjom, między innymi zapotrzebowanie na energię końcową, koszty energii i wartości wskaźnika EP - tabela 1.

Następnie w modelu budynku wprowadzono modernizacje i wykonano symulacje komputerowe zapotrzebowania na energię po poszczególnych działaniach modernizacyjnych. Wyniki zamieszczono w rozdziale 0.

Kolejnym etapem było zmodyfikowanie wariantu bazowego, tak, aby zamodelować różne rodzaje zabudowy (wolnostojący, bliźniak, segment środkowy). Wyniki symulacji modyfikacji zamieszczono w rozdziale 4.1. Następnie podobnie postąpiono modyfikując standard energetyczny (lata budowy) - rozdział 4.2 oraz lokalizację budynku - rozdział 4.3.

2 Budynek przyjęty do analizy

2.1 Opis budynku

Do testów wybrano budynek, którego właściciele mogliby być najbardziej zainteresowani określeniem jego efektywności energetycznej oraz oszacowaniem efektów poszczególnych działań termomodernizacyjnych, założono, że będzie to budynek:

- istniejący i charakteryzujący się nie najlepszą charakterystyką energetyczną, wybudowany w latach 1992-1997 i od tamtej pory utrzymywany w dobrym stanie technicznym, ale nie modernizowany (w latach 1992-1997 obowiązywała norma PN-91/B-02020⁸, wymagana maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych wynosiła $0.55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, dla stropodachów $0.30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, a przeciętne sezonowe zapotrzebowanie na ciepło (energia końcowa) na potrzeby ogrzewania mieściło się w przedziale 120-160 kWh/(m²·rok)⁹),
- piętrowy z nieużytkowanym poddaszem, niepodpiwniczony, o powierzchni użytkowej 158 m², powierzchni ścian zewnętrznych wynoszącej 264 m², w tym powierzchnia okien 30 m² (wobec powierzchni minimalnej zgodnej z warunkami technicznymi¹⁰, wynoszącej

budynku mieszkalnym, Warszawa, 2022, https://nape.pl/wp-content/uploads/2022/03/Jednorodzinny_bud_NAPE.pdf

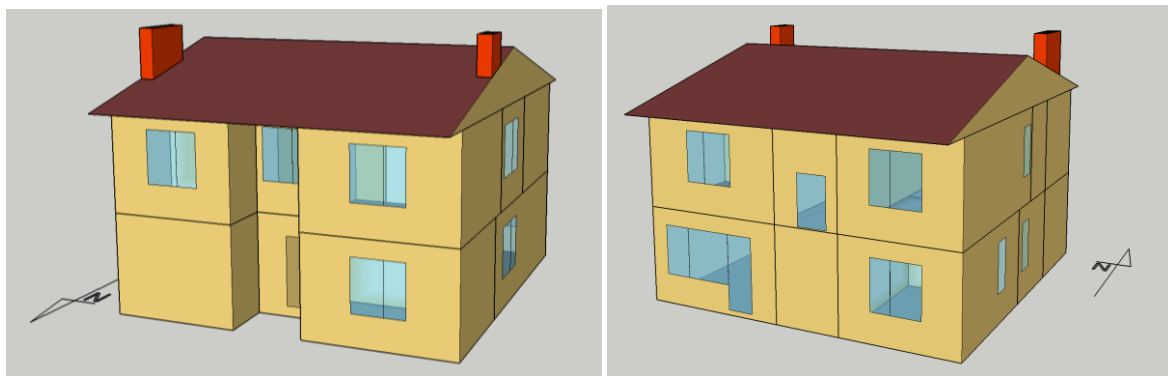
⁸ PN-91/B-02020, Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia

⁹ Maciej Robakiewicz, Ocena jakości energetycznej budynków, wymagania - dane - obliczenia, Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, Warszawa, 2004

¹⁰ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie Warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, par. 57.2, Dz.U. 2022 poz. 1225

- 14.07 m², przepisy te nie zmieniają się od lat, obowiązywały również w latach 1992-1997 i wcześniejszych) oraz powierzchni stropu nad piętrem wynoszącej 97 m²,
- użytkowany przez 4 osobową rodzinę o współczesnym profilu zużycia energii elektrycznej (en. el.), w tym z częściowo wymienionym oświetleniem na LED, dane na temat zużycia energii elektrycznej na potrzeby inne niż ogrzewanie, przygotowanie ciepłej wody i chłodzenie zaczerpnięto z badania GUS "Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2021 roku"¹¹, podobne wyniki zostały uzyskane w badaniu zleconym przez Krajową Agencję Poszanowania Energii S.A. na potrzeby sporządzenia "Krajowego Planu Renowacji Budynków"¹², według, którego średnioroczne zużycie energii elektrycznej przypadające na 1 m² budynków jednorodzinnych wynosi 22 kWh/m².
 - w którym utrzymywany jest właściwy komfort cieplny (temperatura wewnętrzna w większości pomieszczeń: 20°C zimą i 26°C latem - w przypadku chłodzenia) oraz odpowiednia intensywność wentylacji (wentylacja grawitacyjna i intensywne przewietrzanie "otwieranie okien" w sprzyjających temperaturowo okresach roku),
 - wyposażony w instalację centralnego ogrzewania (c.o.) wodną, grzejnikową, zasilaną z kotła gazowego z palnikiem atmosferycznym - ten rodzaj źródła grzewczego, według badań przeprowadzonych na potrzeby sporządzenia Krajowego Planu Renowacji Budynków jest najpopularniejszy i dotyczy 19.7% budynków jednorodzinnych¹²,
 - w którym ciepła woda użytkowa (c.w.u.) przygotowywana jest lokalnie w gazowych piecykach łazienkowych,
 - zasilany w gaz ziemny (taryfa W-3.9) oraz energię elektryczną (taryfa G11),
 - zlokalizowany na przedmieściach Warszawy.

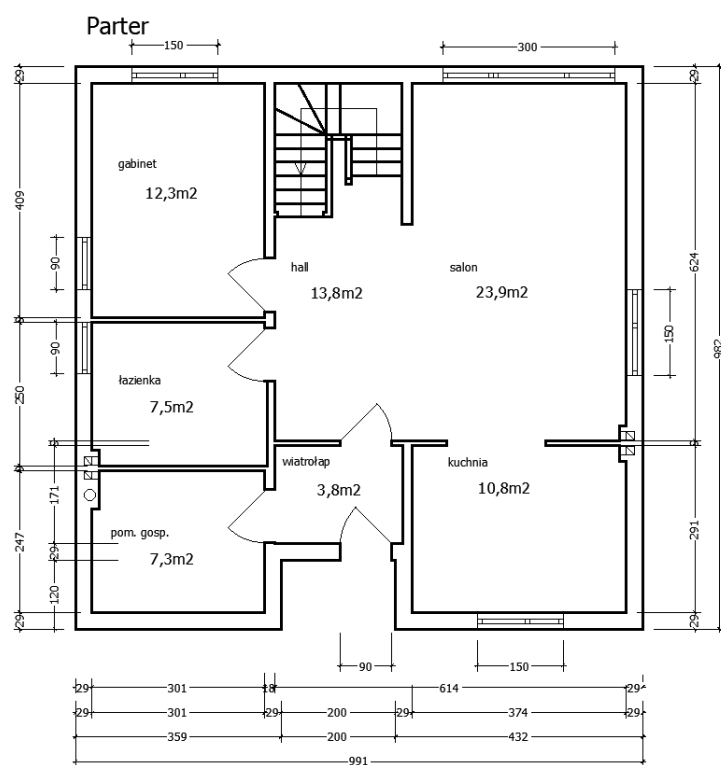
Poniżej przedstawiono widoki budynku oraz rzuty parteru i piętra.



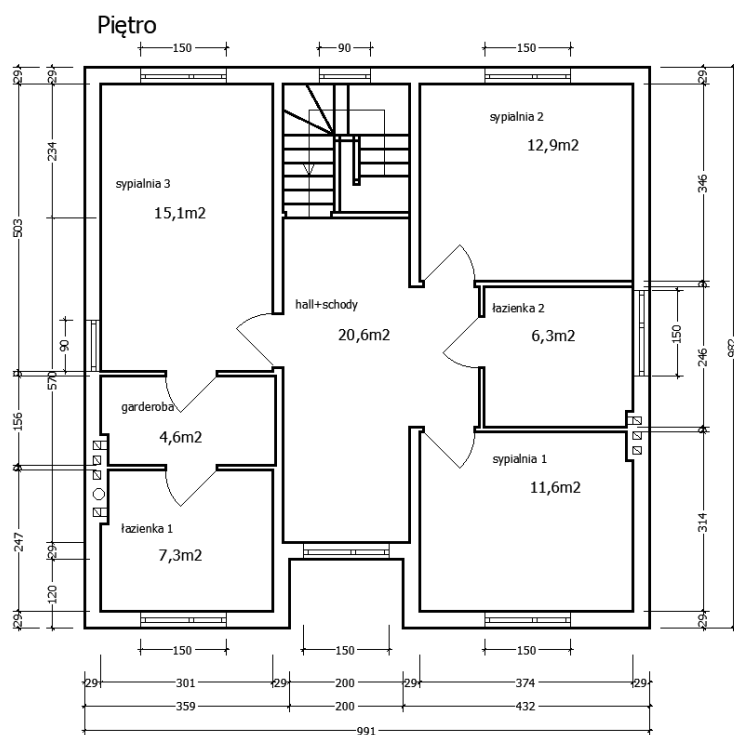
Rysunek 2. Widok na fasadę N i W (lewa strona) oraz fasadę Si E (prawa strona)

¹¹ <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2021-roku,2,5.html>

¹² Krajowy Plan Renowacji Budynków, 2024, projekt, <https://kape.gov.pl/blog/aktualnosci-kape-1/krajowy-plan-renowacji-budynkow-730>



Rysunek 3. Rzut parteru (wymiały w cm, rys. bez skali)



Rysunek 4. Rzut piętra (wymiały w cm, rys. bez skali)

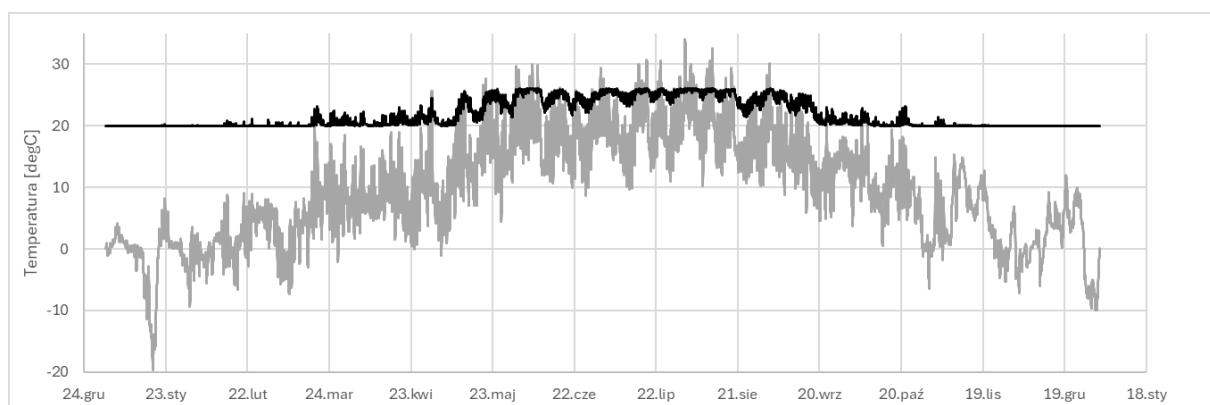
Więcej informacji o budynku i jego użytkowaniu znajduje się w opracowaniu "Jednorodzinny budynek referencyjny NAPE"⁷, przy czym budynek został zmodyfikowany zgodnie z założeniem roku powstania pomiędzy 1992-1997.

2.2 Zapotrzebowanie na energię

Obliczenia energetyczne wykonano w programie do całościowych analiz cieplnych budynków EnergyPlus wersja 24.2.0⁴. Model numeryczny budynku jest tworzony dla określonej strefy klimatycznej wraz z uwzględnieniem szczegółowych danych pogodowych oraz w oparciu o dane projektowe. Do programu wprowadzona zostaje geometria wraz z parametrami budynku (między innymi współczynniki przenikania ciepła przegród, współczynniki przepuszczalności promieniowania słonecznego). Następnie, model uzupełniono o dane dotyczące poszczególnych stref budynku (liczba użytkowników, moc i jakość oświetlenia, strumień powietrza wentylacyjnego, wyposażenia w urządzenia wraz z profilami ich użytkowania). Dla każdej ze stref definiowane są systemy HVAC oraz profile ich działania. Tak szczegółowy model budynku pozwala na obliczenie symulacyjnego zużycia energii w różnych obszarach (ogrzewanie, chłodzenie, oświetlenie, ciepła woda użytkowa czy napędy dodatkowe). Obliczenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia budynku przeprowadzono z krokiem czasowym równym 1/4 godziny z eksportem wyniku co godzina dla całego roku, czyli dla 8760 godzin pracy układu zasilania w energię budynku. Danymi meteorologicznymi dla analizy energetycznej był typowy rok meteorologiczny wyznaczony dla Warszawy według danych meteo z lat 2009-2023¹³.

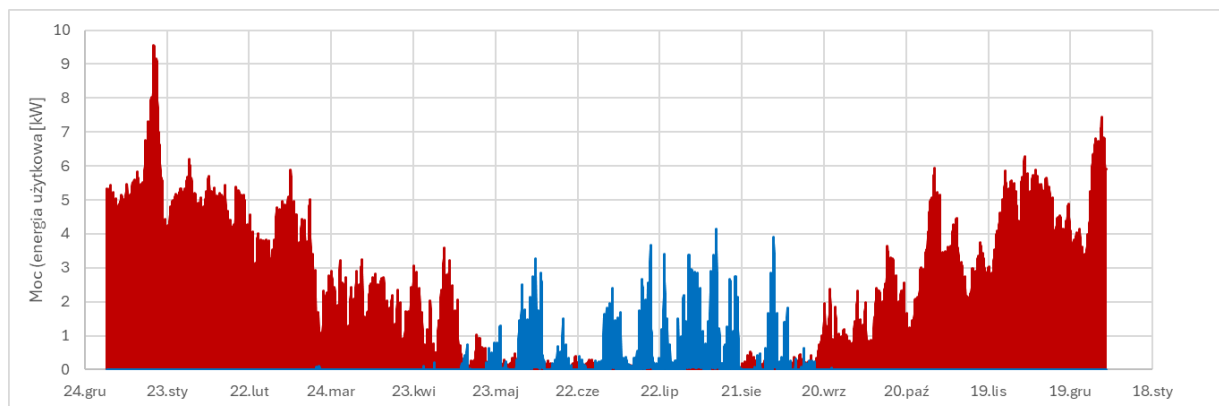
Na wykresach poniżej przedstawiono godzinowe wyniki obliczeń:

- temperaturę powietrza zewnętrznego oraz wynikową temperaturę wewnętrzną,
- zapotrzebowania na ciepło i chłód dla poszczególnych godzin w roku,
- zapotrzebowanie na ciepło/chłód w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego.

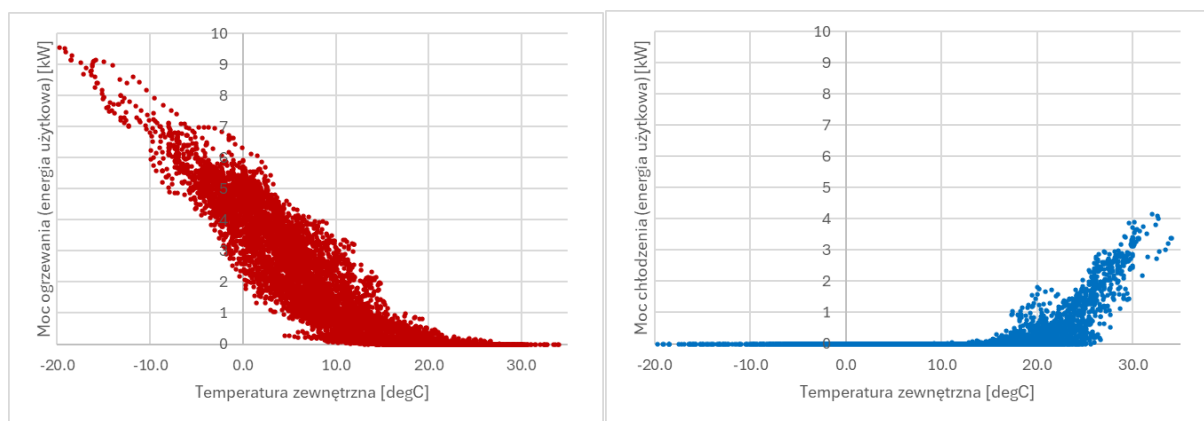


Rysunek 5. Przebieg temperatury powietrza zewnętrznego (linia szara) i wynikowej temperatury powietrza wewnętrznego (linia czarna) dla obliczeń energetycznych

¹³ EnergyPlus - Weather Data for Energy Simulation WMO, Region 6, Europe, Poland
https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/POL_Poland/index.html



Rysunek 6. Zapotrzebowania na ciepło (obszar czerwony) i chłód (obszar niebieski) dla poszczególnych godzin w roku



Rysunek 7. Zapotrzebowanie na ciepło/chłód w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego

Sumaryczne zapotrzebowanie na energię na cele: ogrzewania, chłodzenia, przygotowania c.w.u., oświetlenia, oraz zużycie energii elektrycznej na pozostałe cele zostało podsumowane w poniższej tabeli:

Tabela 1. Wyniki dla budynku bazowego

Dane dla instalacji ogrzewania (bez c.w.u., pomp, wentylatorów, regulacji, gotowania, oświetlenia i innych urządzeń elektrycznych)		
Energia użytkowa	17212	kWh/rok
Wskaźnik EU	109	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	28880	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	31998	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	2916	m ³ /rok
Wskaźnik EK	183	kWh/(m ² rok)
Koszty ogrzewania	11128	zł/rok
Dane dla instalacji chłodzenia (chłodzenie zdecentralizowane, system multi - split)		
Energia użytkowa	1059	kWh/rok
Wskaźnik EU	6.7	kWh/(m ² rok)

Energia końcowa	258	kWh/rok
Wskaźnik EK	1.6	kWh/(m ² rok)
Koszty chłodzenia	244	zł/rok
Dane dla instalacji c.w.u.		
Zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u.	2398	kWh/rok
Wskaźnik EU	15	kWh/(m ² rok)
Zapotrzebowanie na energię końcową	4796	kWh/rok
Zapotrzebowania na energię końcową (ciepło spalania)	5314	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	484	m ³ /rok
Wskaźnik EK	30	kWh/(m ² rok)
Koszty podgrzewu c.w.u.	1848	zł/rok
Dane dla en. el.		
Roczne zużycie en. el. na potrzeby chłodzenia	258	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. na potrzeby oświetlenia	1040	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. na pozostałe cele	2474	kWh/rok
Razem zużycie en. el.	3772	kWh/rok
Koszty en. el.	3558	zł/rok
Razem koszty	16534	zł/rok
Oszacowanie wskaźnika EP		
Wskaźnik EP ogrzewanie	201	kWh/(m ² rok)
Wskaźnik EP c.w.u.	33	kWh/(m ² rok)
Wskaźnik EP chłodzenie	4	kWh/(m ² rok)
Razem EP	239	kWh/(m ² rok)

Wskaźniki EP podane są jedynie informacyjnie, nie zostały one policzone zgodnie z metodologią wyznaczania świadectw charakterystyki energetycznej budynków. W dalszej analizie ograniczono się jedynie do wyznaczania energii użytkowej i końcowej jako najbardziej interesujących dla użytkownika budynku.

Przy analizie usprawnień korzystano z powyższych wartości w zależności od wpływu jaki dane usprawnienie powoduje, np. izolacja ścian - strumień energii na ogrzewanie/chłodzenie, kolektory słoneczne - strumień energii na przygotowanie c.w.u., wentylacja mechaniczna - zasilanie wentylatorów energią elektryczną, itp.

3 Modernizacje

W poniższych podrozdziałach przeanalizowano poszczególne modernizacje. Każdą z modernizacji rozpatrywano oddzielenie, aby wykluczyć wzajemne zależności pomiędzy nimi. Na końcu przeanalizowano kompleksową termomodernizację, w której uwzględniono większą liczbę modernizacji - typową dla kompleksowego remontu budynku jednorodzinnego (rozdział 3.11).

3.1 Izolacja ścian

Przy analizowaniu tej modernizacji założono, że tak jak ma to miejsce w większości przypadków przeprowadzanych termomodernizacji oraz wymogów formalnych programów wsparcia (np. program Czyste Powietrze¹⁴, załącznik 2, pkt 12¹⁵) izolacyjność ścian po modernizacji spełnia obecne wymagania określone w Warunkach Technicznych¹⁰. Oznacza to, że współczynnik przenikania ciepła ściany po modernizacji nie powinien być większy niż $0.20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ - założono dodatkowe 10 cm izolacji, wobec obecnej 5 cm warstwy (razem 15 cm warstwy styropianu). Oszczędność energii wynikająca ze zmiany współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych (dodanie do przegrody warstwy izolacji), przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 2. Oszczędności energii i kosztów po zaizolowaniu ścian zewnętrznych dodatkową 10 cm warstwą styropianu

Oszczędności (różnica pomiędzy budynkiem bazowym a zmodernizowanym)		
Energia użytkowa	4073	kWh/rok
Wskaźnik EU	26	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	6834	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	7572	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	690	m³/rok
Wskaźnik EK	43	kWh/(m ² rok)
Zmniejszenie kosztów ogrzewania	2633	zł/rok

Powierzchnia ścian zewnętrznych w budynku bazowym to ok. 264 m² brutto (razem z oknami i drzwiami), i taką powierzchnię przyjęto do wyceny ze względu na koszty obróbki okien i drzwi. Jednostkowy koszt modernizacji przyjęto wg maksymalnej kwoty dotacji przy 100% intensywności dofinansowania w programie "Czyste Powietrze"¹⁵, wynoszący 250 zł/m². Obliczone na tej podstawie koszty inwestycyjne wynoszą ok. 61500 zł. Czyli okres zwrotu dla tej modernizacji wynosi ponad 20 lat.

¹⁴ <https://czystepowietrze.gov.pl/>

¹⁵ Załącznik nr 2 do Programu Priorytetowego „Czyste Powietrze” - Koszty kwalifikowane oraz maksymalny poziom dofinansowania, https://czystepowietrze.gov.pl/wez-dofinansowanie/dokumenty-programowe/dokumenty-obowiazujace/02_zal_2_do_ppcp_popr.pdf

3.2 Izolacja stropu nad piętrem

Przy analizowaniu tej modernizacji założono, że tak jak ma to miejsce w większości przypadków przeprowadzanych termomodernizacji oraz wymogów formalnych programów wsparcia (np. program Czyste Powietrze¹⁴, załącznik 2, pkt 12¹⁵) izolacyjność stropu po modernizacji spełnia obecne wymagania określone w Warunkach Technicznych¹⁰. Oznacza to, że współczynnik przenikania ciepła stropu pod nieogrzewanym poddaszem nie powinien być większy niż $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ - założono podwojenie grubości izolacji (dodatkowe 12 cm, wobec obecnych 12 cm) czyli razem 24 cm warstwy wełny mineralnej. Oszczędność energii wynikająca ze zmiany współczynnika przenikania ciepła stropu (dodanie do przegrody warstwy izolacji), przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 3. Oszczędności energii i kosztów po zaizolowaniu stropu nad piętrem dodatkową 12 cm warstwą wełny mineralnej

Oszczędności (różnica pomiędzy budynkiem bazowym a zmodernizowanym)		
Energia użytkowa	874	kWh/rok
Wskaźnik EU	6	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	1467	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	1626	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	148	m³/rok
Wskaźnik EK	9	kWh/(m ² rok)
Zmniejszenie kosztów ogrzewania	565	zł/rok

Powierzchnia stropu nad piętrem w budynku bazowym to ok. 97 m², i taką powierzchnię przyjęto do wyceny. Jednostkowy koszt modernizacji przyjęto wg maksymalnej kwoty dotacji przy 100% intensywności dofinansowania w programie "Czyste Powietrze"¹⁵, wynoszący 200 zł/m². Obliczone na tej podstawie koszty inwestycyjne wynoszą ok. 19400 zł. Czyli okres zwrotu dla tej modernizacji wynosi ponad 30 lat.

3.3 Wymiana okien

Przy analizie tej modernizacji założono, że tak jak ma to miejsce w większości przypadków przeprowadzanych termomodernizacji oraz wymogów formalnych programów wsparcia (np. program Czyste Powietrze) izolacyjność okien po modernizacji spełnia obecne wymagania określone w Warunkach Technicznych¹⁰. Oznacza to, że współczynnik przenikania ciepła okna po modernizacji nie powinien być większy niż $0.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Założono również, że okna są szczelne, wyposażone w nawiewniki powietrza, w związku z powyższym ograniczona zostanie niekontrolowana infiltracja powietrza. Oszczędność energii wynikająca ze zmiany współczynnika przenikania ciepła oraz zwiększenia szczelności okien, przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 4. Oszczędności energii i kosztów po wymianie okien

Oszczędności (różnica pomiędzy budynkiem bazowym a zmodernizowanym)		
Energia użytkowa	5286	kWh/rok

Wskaźnik EU	33	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	8869	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	9826	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	896	m³/rok
Wskaźnik EK	56	kWh/(m ² rok)
Zmniejszenie kosztów ogrzewania	3417	zł/rok

Powierzchnia okien w budynku bazowym to 30.28 m², i taką powierzchnię przyjęto do wyceny modernizacji. Jednostkowy koszt modernizacji przyjęto wg maksymalnej kwoty dotacji przy 100% intensywności dofinansowania w programie "Czyste Powietrze"¹⁵, wynoszący 1200 zł/m². Obliczone na tej podstawie koszty inwestycyjne wynoszą ok. 36300 zł. Czyli okres zwrotu dla tej modernizacji wynosi około 10 lat.

3.4 Izolacja podłogi (parter)

Przy analizie tej modernizacji założono, że tak jak ma to miejsce w większości przypadków przeprowadzanych termomodernizacji oraz wymogów formalnych programów wsparcia (np. program Czyste Powietrze) izolacyjność podłogi po modernizacji spełnia obecne wymagania określone w Warunkach Technicznych¹⁰. Oznacza to, że współczynnik przenikania ciepła podłogi po modernizacji nie powinien być większy niż 0.30 W/(m²·K) - założono dodatkowe 5 cm izolacji, wobec obecnej 5 cm warstwy (razem 10 cm warstwy styropianu). Oszczędność energii wynikająca ze zmiany współczynnika przenikania ciepła podłogi (dodanie do przegrody warstwy izolacji), przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 5. Oszczędności energii i kosztów po izolacji podłogi na gruncie

Oszczędności (różnica pomiędzy budynkiem bazowym a zmodernizowanym)		
Energia użytkowa	306	kWh/rok
Wskaźnik EU	2	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	513	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	568	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	52	m³/rok
Wskaźnik EK	3	kWh/(m ² rok)
Zmniejszenie kosztów ogrzewania	198	zł/rok

Powierzchnia podłogi w budynku bazowym to ok. 95 m², i taką powierzchnię przyjęto do wyceny modernizacji. Jednostkowy koszt modernizacji przyjęto wg maksymalnej kwoty dotacji przy 100% intensywności dofinansowania w programie "Czyste Powietrze"¹⁵, wynoszący 150 zł/m². Obliczone na tej podstawie koszty inwestycyjne wynoszą ok. 14250 zł. Czyli okres zwrotu dla tej modernizacji wynosi ponad 70 lat.

3.5 Wentylacja z odzyskiem ciepła

Przy przeprowadzaniu symulacji dla tej modernizacji założono, że istniejący system wentylacji grawitacyjnej zostanie zastąpiony instalacją wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła. Przyjęto strumień powietrza nawiewanego i wywiewanego wynoszący 250 m³/h, średniosezonową sprawność odzysku ciepła wynoszącą 84%, i jednostkowy pobór mocy przez wentylatory 0.25 W/(m³/h) - wszystkie z danych zostały przyjęte na podstawie przykładowego urządzenia z listy ZUM¹⁶ programu "Czyste Powietrze".

Oszczędność energii wynikającą ze zmiany systemu wentylacji, przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 6. Oszczędności energii i kosztów po zastosowaniu instalacji wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła

Oszczędności (różnica pomiędzy budynkiem bazowym a zmodernizowanym)		
Energia użytkowa	5206	kWh/rok
Wskaźnik EU	33	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	8735	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	9678	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	882	m³/rok
Wskaźnik EK	55	kWh/(m ² rok)
Zmniejszenie kosztów ogrzewania	3366	zł/rok

Przy tej modernizacji pojawi się dodatkowe zużycie energii elektrycznej do napędu wentylatorów wynoszące 548 kWh/rok co przekłada się na koszt 516 zł/rok.

Koszty modernizacji przyjęto na podstawie Załącznika 2 do Programu Priorytetowego "Czyste Powietrze"¹⁵. Według tego źródła, koszt kwalifikowany to maksymalnie 16700 zł (w tym: zakup i montaż centrali oraz instalacji wentylacyjnej). Czyli okres zwrotu dla tej modernizacji wynosi ponad 5 lat.

3.6 Kocioł kondensacyjny

Przy przeprowadzaniu symulacji dla tej modernizacji założono, że istniejący kocioł gazowy z palnikiem atmosferycznym zostanie zastąpiony kotłem gazowym kondensacyjnym. Warto zauważyć, że przeprowadzenie takiego działania bez poprawy innych parametrów charakterystyki energetycznej budynku może być kłopotliwe między innymi z powodu instalacji c.o. nie przystosowanej do niskich parametrów (przy których kondensacja pary wodnej ze spalin kotła jest możliwa) lub nie przystosowania komina do spalin o niskiej temperaturze, co może prowadzić do zniszczenia komina. Przy takiej modernizacji warto również rozpatrzyć montaż kotła dwufunkcyjnego zastępującego równocześnie piecyki łazienkowe do przygotowania c.w.u. - w tej częściowej modernizacji z tego zrezygnowano, ma to za to miejsce w analizie kompleksowej modernizacji (rozdział 3.11).

¹⁶ <https://lista-zum.ios.edu.pl/bepub/ben002.aspx?rq=tDiKR%2b1YHU5LWqCAIoGxjQ%3d%3d>

Zmiana źródła ciepła powoduje wzrost średniorocznej sprawności wytwarzania z 0.86 do 0.91¹. Oszczędność energii wynikająca ze zmiany sprawności wytwarzania ciepła, przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 7. Oszczędności energii i kosztów po wymianie kotła

Oszczędności (różnica pomiędzy budynkiem bazowym a zmodernizowanym)		
Energia użytkowa	0	kWh/rok
Wskaźnik EU	0	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	1587	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	1758	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	160	m³/rok
Wskaźnik EK	10	kWh/(m ² rok)
Zmniejszenie kosztów ogrzewania	611	zł/rok

Koszty modernizacji przyjęto na podstawie Załącznika 2 do Programu Priorytetowego "Czyste Powietrze z roku 2024"¹⁷ (w obecnej edycji nie ma możliwości dofinansowania kotła na paliwo gazowe). Według tego źródła, koszt kwalifikowany to maksymalnie 15250 zł (w tym: zakup i montaż kotła z osprzętem, sterowaniem i armaturą, układ doprowadzenia powietrza, układ odprowadzenia spalin). Czyli okres zwrotu dla tej modernizacji wynosi ponad 20 lat.

3.7 Powietrzna pompa ciepła

Modernizacja ta polega na zainstalowanie pompy ciepła powietrze - woda, zastępującej istniejący kocioł gazowy. Taka sytuacja ma ekonomiczny sens jedynie w przypadku odpowiedniej relacji kosztów gazu ziemnego i energii elektrycznej. Założone dla budynku bazowego taryfy:

- gaz ziemny - taryfa W-3.9¹⁸,
- energia elektryczna - taryfa G11¹⁹,

powodują, że ciepło z pompy ciepła powietrze - woda o sprawności wytwarzania 2.6¹ jest cenowo porównywalne z ciepłem z gazu spalanego w kotle o sprawności wytwarzania 0.86¹ i stosunku ciepła spalania do wartości opałowej wynoszącym 1.108¹⁸. W tym konkretnym przypadku ta relacja przedstawia się następująco:

- koszt ciepła dla kotła gazowego: 0.4480 zł/kWh

¹⁷ Załącznik nr 2 do Programu Priorytetowego „Czyste Powietrze”, Koszty kwalifikowane oraz maksymalny poziom dofinansowania dla Części 1) Programu dla Beneficjentów uprawnionych do podstawowego poziomu dofinansowania, https://czystepowietrze.gov.pl/popzednie-edycje/dokumenty-programowe/dokumenty-obowiazujace/wersja-kolorowa/zalacznik_nr_2_do_programu_koszty_kwalifikowane_oraz_maksymalny_poziom_dofinansowania_dla_czesci_1_programu_dla_beneficjentow_uprawnionych_do_podstawowego_poziomu_dofinansowania-14-06-2024.pdf

¹⁸ <https://pgnig.pl/taryfa>

¹⁹ <https://www.gkpge.pl/dla-domu/oferta/oferta-taryfowa>

- koszt ciepła dla pompy ciepła powietrze - woda: 0.3628 zł/kWh

W tym przypadku relacja jest akurat na korzyść pompy ciepła, ale wystarczą drobne zmiany w założonych sprawnościach i może się ona odwrócić. O tym, że ta różnica jest niewielka i nie uzasadnia inwestycji świadczy porównanie całkowitych kosztów ogrzewania dla budynku bazowego dla policzonych powyżej dwóch stawek:

- koszt ogrzewania budynku bazowego z kotłem gazowym: 11129 zł/rok,
- koszt ogrzewania budynku bazowego z pompą ciepła powietrze - woda: 10479 zł/rok,
- różnica: 650 zł/rok.

Więcej informacji o "rozminięciu się" cen ciepła z gazu i pomp ciepła zasilanych energią elektryczną znaleźć można w raporcie "Budynki w pułapce gazowej" opublikowanym przez Forum Energii²⁰.

Ze względu na powyższe zrezygnowano z dokładnej analizy tego typu modernizacji.

3.8 Gruntowa pompa ciepła

Analizując ten wariant modernizacji założono, że zmiana źródła ciepła powoduje wzrost średniorocznej sprawności wytwarzania z 0.86 (obecnie założony kocioł gazowy z palnikiem atmosferycznym) do 3.6 (pompa ciepła woda - woda)^{Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.}. Oszczędność energii w ynikająca ze zmiany sprawności wytwarzania ciepła, przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 8. Oszczędności energii i kosztów po wymianie kotła

Oszczędności (różnica pomiędzy budynkiem bazowym a zmodernizowanym)		
Energia użytkowa	0	kWh/rok
Wskaźnik EU	0	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	21981	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	n.d.	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	n.d.	m³/rok
Wskaźnik EK	139	kWh/(m ² rok)
Zmniejszenie kosztów ogrzewania	4620	zł/rok

Z kolei, koszty modernizacji można przyjąć na podstawie Załącznika 2 do Programu Priorytetowego "Czyste Powietrze"¹⁵. Według tego źródła, koszt kwalifikowany to maksymalnie 45000 zł (zakup i montaż gruntowej pompy ciepła z osprzętem, regulatorem, zbiornikiem buforowym i c.w.u. z osprzętem) + 20000 zł (zakup i montaż dolnego źródła ciepła w tym prace gruntowe). Oczywiście jest to jedynie przybliżenie i dokładny kosztorys jest możliwy po wykonaniu projektu, badań gruntu, itd. Warto podkreślić, że czas zwrotu wynosi ok. 15 lat, ale wymiana tylko źródła ciepła w tym przypadku jest nieracjonalna. Powinna być ona powiązana z kompleksową modernizacją,

²⁰ Budynki w pułapce gazowej. Dlaczego rozwój mikroinstalacji i pomp ciepła w Polsce spowalnia?, <https://www.forum-energii.eu/download/pobierz/budynki-w-pulapce-gazowej>

ociepleniem ścian, stropów, wymianą okien, montażem nowej niskotemperaturowej instalacji c.o. itp. Przykład takiej modernizacji przedstawiono w rozdziale poniżej.

3.9 Fotowoltaika

Założono wykonanie instalacji PV najbardziej odpowiadającej obecnemu zużyciu energii w budynku bazowym, czyli brak ogrzewania, chłodzenia lub przygotowania c.w.u. przy pomocy energii elektrycznej. Oznacza to, że optymalna moc wynosi ok. 3.0 kWp co odpowiada 8 panelom PV o sprawności 20.1%, mocy nominalnej 375 kWp i powierzchni 1.82 m^2 ²¹ każdy, umieszczonych na południowej połaci dachu. Zgodnie z wymogami programu "Mój Prąd"²² panele współpracują z inwerterem on-grid, o sprawności 94.6%²¹. W wyniku przeprowadzenia symulacji energetycznej ww. instalacji, umieszczonej na budynku bazowym, otrzymano roczną ilość wyprodukowanej energii elektrycznej wynoszącą 2975 kWh. Niestety trudno określić ile ta energia jest warta. Obecnie dotowane instalacje PV muszą być wyposażone w magazyn energii lub magazyn ciepła, to zasadniczo zwiększa udział tzw. autokonsumpcji i zmniejsza ilość energii oddanej do sieci. Obecne rozliczenia w tzw. systemie net-billingu zakładają zmienną cenę zakupu energii przez sieć elektroenergetyczną zależną od bieżącego popytu i podaży. Dodatkowo, w obliczeniach opłacalności należałoby uwzględnić zakup magazynu ciepła/energii. W związku z powyższym bardzo zgrubnie założono, że 50% wyprodukowanej energii obniży zużycie energii z sieci. Oznacza to oszczędności roczne wynoszące ok. 1400 zł/rok. Instalację PV wyceniono na podstawie przykładowej oferty zawierającej: dostawę i montaż kompletnej instalacji (panele, inwerter, konstrukcja mocująca do dachu skośnego, okablowanie) oraz projekt, pomiary instalacji, pomoc w przygotowaniu dokumentów: przyłączenie/dofinansowanie. Koszt takiej inwestycji wynosi ok. 20000 zł²³, co oznacza okres zwrotu wynoszący ok. 14 lat.

Akurat z panelami PV jest jeszcze jeden problem, a mianowicie w sytuacji jak ma miejsce w budynku bazowym, energia wyprodukowana przez panele może być odjęta od wskaźnika EP jedynie w składowej wynikającej z energii pomocniczej do napędów instalacji c.o. i c.w.u. Inna sytuacja będzie miała miejsce przy kompleksowej modernizacji, np. panele PV połączone z instalacją pompy ciepła. Ponieważ pompa ciepła jest napędzana energią elektryczną to wtedy dużo większa część (lub cała) energia produkowana przez panele może zredukować wskaźnik EP. Warto dodać, że planowane zmiany w przepisach dotyczących wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku²⁴ (wdrożenie planowane od 1.06.2026r.) będą już umożliwiały "odjęcie" energii produkowanej przez PV również wtedy kiedy energia elektryczna nie zasila ani c.o. ani c.w.u.

²¹ Karta produktu, <https://lista-zum.ios.edu.pl/bepub/ben002.aspx?rq=n%2bTqRQmY7Isb48ihoOn43Q%3d%3d>

²² Program Priorytetowy "Mój Prąd" <https://mojprad.gov.pl/wp-content/uploads/2025/04/Program-Moj-Prad-na-lata-2024-2027.pdf>

²³ Przykładowe oferty: panele: <https://www.thermika.com.pl/panele-fotowoltaiczne/626-solaredge-spv375-r60dwmg-solaredge.html>, inwerter: <https://sklepsoltech.pl/pl/p/Inwerter-sieciowy-SolarEdge-SE3K-RWB/755>

²⁴ Konsultacje publiczne projektu rozporządzenia w sprawie zmiany metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków oraz świadectw charakterystyki energetycznej, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/klasy-charakterystyki-energetycznej-budynkow--ruszaja-konsultacje>

3.10 Kolektory słoneczne

Założono wykonanie instalacji kolektorów słonecznych najbardziej odpowiadającej 4 osobowej rodzinie. Oznacza to, że optymalna powierzchnia kolektorów płaskich wynosi ok. 4-5 m², co pozwoli pokryć ok. 50% rocznego zapotrzebowania na ciepło na potrzeby c.w.u. Dobrano 2 kolektory płaskie np. KS-900080 SX 2.85 AL o powierzchni czynnej 2.64 m², sprawności optycznej 81.1%²⁵, razem ze zbiornikiem buforowym o pojemności 200 l. Roczne zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u. w budynku bazowym przedstawiono w tabeli poniżej:

Tabela 9. Roczne koszty przygotowania c.w.u. w budynku bazowym

Jednostkowe dobowe zużycie c.w.u.	35	dm ³ /j.o.doba
Temperatura na zaworze czepalnym	45	°C
Temperatura wody zimnej	10	°C
Współczynnik temperaturowy	1.28	
Liczna osób	4	
Czas użytkowania	328.5	doba/rok
Zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u.	2398	kWh/rok
Sprawność przygotowania c.w.u.	0.50	
Sprawność przesyłu c.w.u.	1.00	
Sprawność akumulacji ciepła	1.00	
Zapotrzebowanie na energię końcową do przygotowania c.w.u.	4796	kWh/rok
Zapotrzebowania na energię końcową (ciepło spalania)	5314	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	484	m ³ /rok
Koszty podgrzewu c.w.u.	1848	zł/rok

Pokrycie 50% zużycia ciepła na potrzeby c.w.u. oznacza, że roczne oszczędności w wyniku zastosowania kolektorów słonecznych wynoszą ok. 920 zł. Koszty inwestycyjne zestawu solarnego to ok. 12000 zł²⁶, czyli okres zwrotu wynosi ok. 13 lat.

3.11 Przykład kompleksowej modernizacji

Wzajemną interakcję poszczególnych działań inwestycyjnych sprawdzono analizując kompleksową modernizację np. zgodną z programem Czyste Powietrze. Założono, że tego typu modernizacja analizowanego budynku bazowego powinna składać się z następujących elementów:

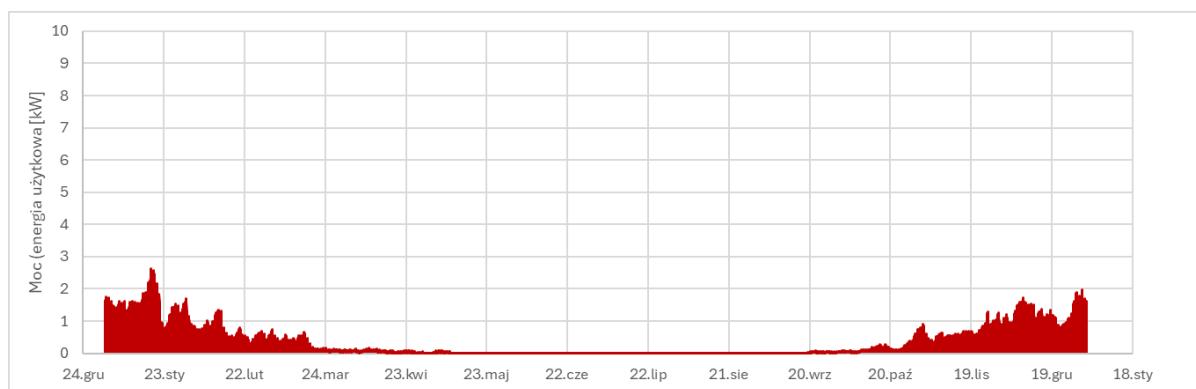
- izolacja ścian zewnętrznych (według założeń z rozdziału 3.1),
- wymiana okien i drzwi zewnętrznych (według założeń z rozdziału 3.3),

²⁵Karta produktu, <https://lista-zum.ios.edu.pl/bepub/ben002.aspx?rq=jBar4Mq1CtZIU7NKdVCwJg%3d%3d>

²⁶ Przykładowe oferty: <https://www.ceneo.pl/19712421>

- izolacja stropu nad ostatnią kondygnacją,
- montaż wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła (według założeń z rozdziału 3.5),
- modernizacja instalacji c.o. i c.w.u. (ogrzewanie niskotemperaturowe, montaż zaworów regulacyjnych i termostatycznych,
- zmiana kotła gazowego na powietrzną pompę ciepła (według założeń z rozdziału 3.7),
- montaż PV (według założeń z rozdziału **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**).

Obliczenia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania wykonano w programie do całosciowych analiz cieplnych budynków EnergyPlus wersja 24.2.0⁴. Godzinowe wyniki obliczeń przedstawiono na poniższym wykresie.



Rysunek 8. Zapotrzebowanie na ciepło dla poszczególnych godzin w roku - budynek po kompleksowej modernizacji (porównaj z rysunek 6 - budynek bazowy przed modernizacją, pominięto zapotrzebowanie na chłodzenie)

Oszczędność energii na potrzeby ogrzewania, wynikającą z przeprowadzenia tak opisanej kompleksowej modernizacji budynku bazowego, przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 10. Oszczędności energii i kosztów ogrzewania po zrealizowaniu kompleksowej modernizacji budynku bazowego

Oszczędności (różnica pomiędzy budynkiem bazowym a zmodernizowanym)		
Energia użytkowa	14168	kWh/rok
Wskaźnik EU	90	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	27482	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	n.d.	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	n.d.	m ³ /rok
Wskaźnik EK	174	kWh/(m ² rok)
Zmniejszenie kosztów ogrzewania	9809	zł/rok

Podana powyżej kwota zmniejszenia kosztów ogrzewania jest nie miarodajna z powodu zużycia dodatkowej energii związanej z napędem wentylatorów oraz oszczędnościami związanymi z produkcją energii przez panele PV. W związku z powyższym, aby określić oszczędności należy uzupełnić dane o strumieniu energii przeznaczonej na pozostałe cele. Dodatkowe zużycie energii

elektrycznej do napędu wentylatorów wynosi 548 kWh/rok, a energia wyprodukowana z paneli PV wynosi 2975 kWh/rok (rozdział **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**). Przy wykorzystaniu p ompy ciepła do przygotowywania c.w.u. jest duża szansa wykorzystania większości tej energii na miejscu w związku z powyższym można ją odjąć od całkowitego zużycia energii elektrycznej w budynku (tabela 11).

*Tabela 11. Wyniki dla budynku po modernizacji (porównaj z wynikami dla budynku bazowego - **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**)*

Dane dla instalacji ogrzewania (bez c.w.u., pomp, wentylatorów, regulacji, gotowania, oświetlenia i innych urządzeń elektrycznych)		
Energia użytkowa	3044	kWh/rok
Wskaźnik EU	19	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	1399	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	n.d.	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	n.d.	m ³ /rok
Wskaźnik EK	9	kWh/(m ² rok)
Koszty ogrzewania (en. el.)	1319	zł/rok
Dane dla energii elektrycznej		
Roczne zużycie en. el. na potrzeby c.o.	1399	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. na potrzeby c.w.u.	1808	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. na potrzeby oświetlenia	1040	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. do napędu wentylatorów	548	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. na pozostałe cele	2474	kWh/rok
Roczna produkcja en. el. przez PV	2975	kWh/rok
Razem zużycie en. el.	4294	kWh/rok
Koszty en. el. (ogrzewanie, wentylacja, c.w.u., oświetlenie, PV, inne)	4050	zł/rok
Oszacowanie wskaźnika EP		
Wskaźnik EP ogrzewanie	22	kWh/(m ² rok)
Wskaźnik EP c.w.u.	29	kWh/(m ² rok)
Razem EP	51	kWh/(m ² rok)

Kolejnym etapem jest analiza kosztów i uzyskanych oszczędności. Koszty modernizacji przyjęto na podstawie sumy wcześniej analizowanych modernizacji częściowych:

- izolacja ścian zewnętrznych - 61500 zł,
- wymiana okien i drzwi zewnętrznych - 36300 zł,
- izolacja stropu nad ostatnią kondygnacją - wartość oszacowana na podstawie Załącznika 2 do Programu Priorytetowego "Czyste Powietrze"¹⁵, 97 m² x 200 zł/m² = 19400 zł,

- montaż wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła - 16700 zł,
- modernizacja instalacji c.o. i c.w.u. - wartość oszacowana na podstawie Załącznika 2 do Programu Priorytetowego "Czyste Powietrze"¹⁵, 20500 zł,
- zmiana kotła gazowego na hybrydową pompę ciepła - wartość oszacowana na podstawie Załącznika 2 do Programu Priorytetowego "Czyste Powietrze"¹⁵, 31500 zł,
- montaż paneli słonecznych - 20000 zł.
- Razem koszt inwestycji - 205900 zł

Policzone wcześniej koszty energii wynoszące dla wariantu przed modernizacją 16534 zł/rok (tabela 1) oraz koszty energii po modernizacji wynoszące 4050 zł/rok (tabela 11) wyznaczają roczne oszczędności wynoszące: $16534 - 4050 = 12484$ zł. Oznacza to, że bez dotacji inwestycja charakteryzuje się około 16 letnim okresem zwrotu.

4 Analiza wybranych założeń budynku bazowego

Symulacje zapotrzebowania na energię zawsze należy bardzo ostrożnie interpretować i uogólniać. Największe znaczenie mają w tym przypadku poczynione założenia wyjściowe. W poniższych rozdziałach przeanalizowano wpływ niektórych z nich na uzyskane wyniki.

4.1 Rodzaj zabudowy

Na potrzeby analizy wpływu rodzaju zabudowy, opracowano dodatkowe modele budynków. Wszystkie są modyfikacją wariantu bazowego - odpowiadającego budynkowi wolnostojącemu. Oprócz tego przygotowano modele:

- budynku w zabudowie bliźniaczej (wschodnia ściana zewnętrzna budynku bazowego została pozbawiona okien, oraz wymuszono brak wymiany ciepła przez ścianę - ściana adyabatyczna)
- budynku w zabudowie szeregowej (wschodnia i zachodnia ściana zewnętrzna są ścianami pozbawionymi okien oraz są ścianami adyabatycznymi)

Widoki modeli powyżej opisanych budynków przedstawiono na poniższych rysunkach:

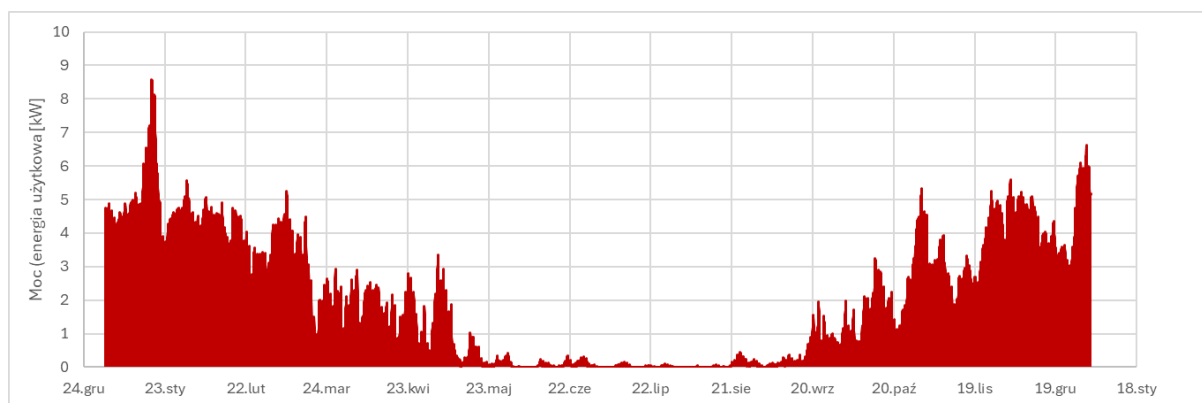


Rysunek 9. Budynek w zabudowie bliźniaczej

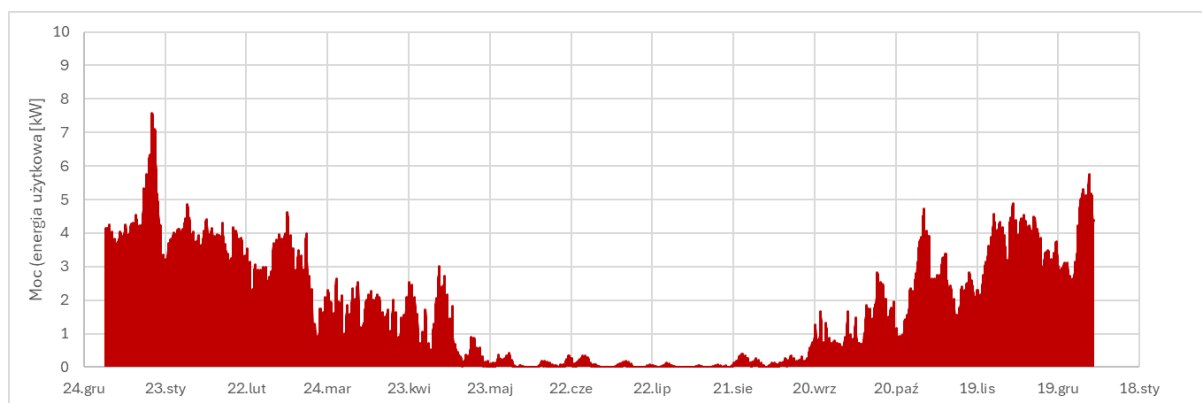


Rysunek 10. Budynek w zabudowie szeregowej

Obliczenia, tak jak w rozdziale 2.2 wykonano w programie do całościowych analiz cieplnych budynków EnergyPlus wersja 24.2.0⁴. Godzinowe wyniki obliczeń energii użytkowej na potrzeby ogrzewania dla budynków w zabudowie bliźniaczej i szeregowej przedstawiono na poniższych wykresach.



Rysunek 11. Zapotrzebowanie na ciepło dla poszczególnych godzin w roku - budynek w zabudowie bliźniaczej (porównaj z rysunek 6 - budynek wolnostojący, bez zapotrzebowania na energię do chłodzenia)



Rysunek 12. Zapotrzebowanie na ciepło dla poszczególnych godzin w roku - budynek w zabudowie szeregowej (porównaj z rysunek 6 - budynek wolnostojący, bez zapotrzebowania na energię do chłodzenia)

Wyniki symulacji dla budynków: wolnostojącego, bliźniaka i w zabudowie szeregowej przedstawiono poniżej w tabeli:

Tabela 12. Wyniki dla budynku wolnostojącego, bliźniaka i szeregowca

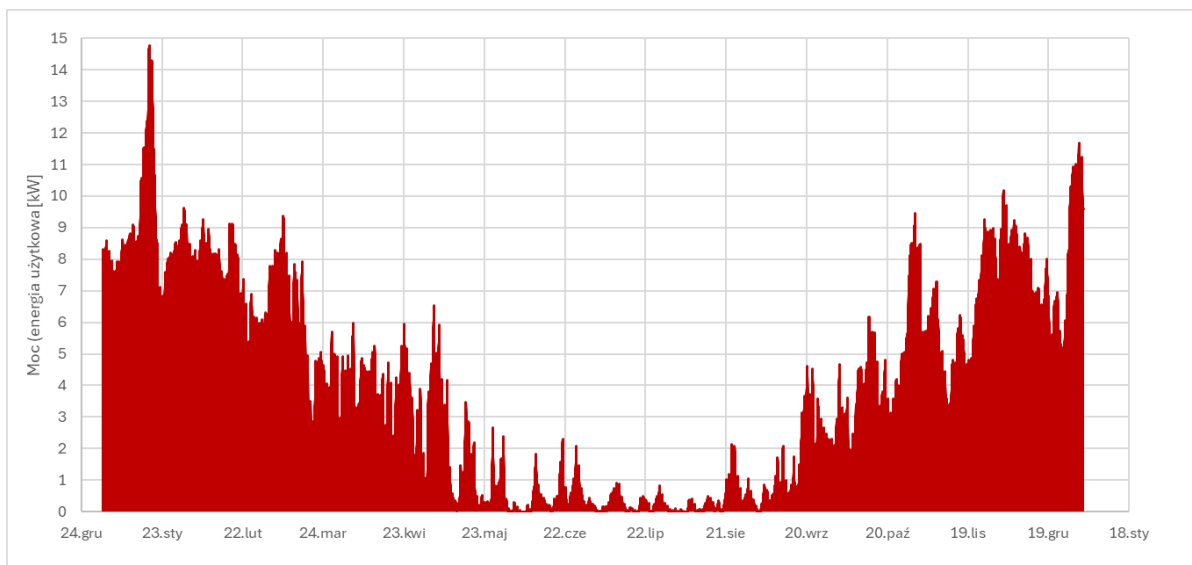
Dane dla instalacji ogrzewania (bez c.w.u., pomp, wentylatorów, regulacji, gotowania, oświetlenia i innych urządzeń elektrycznych)				
Parametr	Budynek			jednostka
	wolnost.	bliźniak	szeregow.	
Energia użytkowa	17212	15251	13342	kWh/rok
Wskaźnik EU	109	97	84	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	28880	25590	22386	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	31998	28352	24803	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	2916	2584	2261	m ³ /rok
Wskaźnik EK	183	162	142	kWh/(m ² rok)
Koszty ogrzewania	11128	9860	8626	zł/rok
Dane dla instalacji c.w.u.				
Zapotrzebowanie na ciepło c.w.u.	2398	2398	2398	kWh/rok
Wskaźnik EU	15	15	15	kWh/(m ² rok)

Zapotrzebowanie na energię końcową	4796	4796	4796	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	5314	5314	5314	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	484	484	484	m ³ /rok
Wskaźnik EK	30	30	30	kWh/(m ² rok)
Koszty podgrzewu c.w.u.	1848	1848	1848	zł/rok
Dane dla energii elektrycznej				
Roczne zużycie en. el. na potrzeby oświetlenia	1040	1040	1040	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. na pozostałe cele	2474	2474	2474	kWh/rok
Razem zużycie en. el.	3514	3514	3514	kWh/rok
Koszty en. el.	3315	3315	3315	zł/rok
Razem koszty				
	16291	15023	13788	zł/rok
Oszacowanie wskaźnika EP				
Wskaźnik EP ogrzewanie	201	178	156	kWh/(m ² rok)
Wskaźnik EP c.w.u.	33	33	33	kWh/(m ² rok)
Razem EP	234	212	189	kWh/(m ² rok)

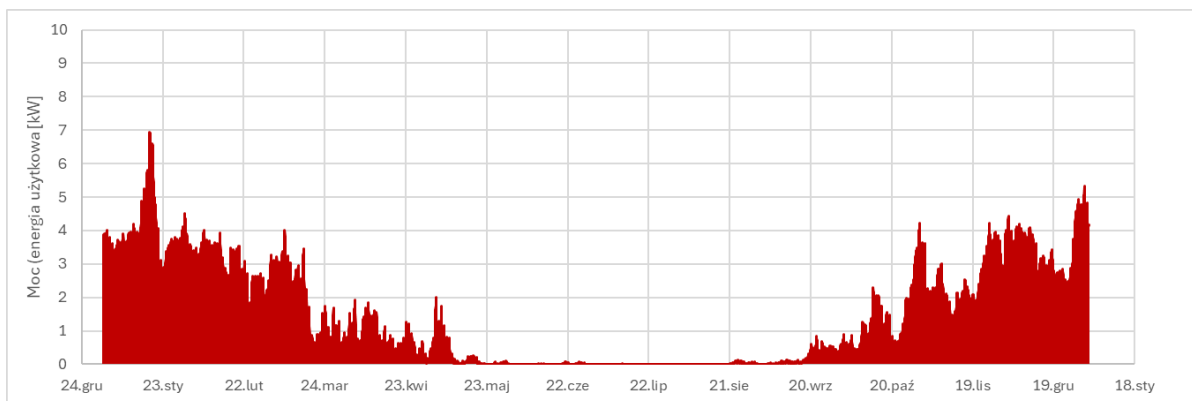
4.2 Lata budowy (zmiany standardów ochrony cieplnej budynku)

Na potrzeby analizy wpływu zmiany standardu energetycznego (lata budowy), opracowano dodatkowe modele budynków. Wszystkie są modyfikacją wariantu bazowego - odpowiadającego budynkowi wybudowanemu w latach 1992-1997. Oprócz tego przygotowano modele budynku starszego wybudowanego w latach 1955-1965 (wg. Krajowego Planu Renowacji Budynków¹², budynków jednorodzinnych, wybudowanych przez 1970r. jest zdecydowana większość 49%). Do analizy wybrano również budynek nowszy - rok budowy 2008-2013, czyli już na tyle stary, że mogący wymagać poprawy standardu energetycznego (budynków wybudowanych po 2010 roku jest 21%¹²). W budynkach założono: współczynniki izolacyjności ścian zewnętrznych, dachu, podłogi, okien i drzwi, jak dla danego roku budowy.

Obliczenia, tak jak w rozdziale 2.2 wykonano w programie do całościowych analiz cieplnych budynków EnergyPlus wersja 24.2.0⁴. Godzinowe wyniki obliczeń energii użytkowej na potrzeby ogrzewania dla budynków o różnym standardzie energetycznym (wybudowanych w różnych latach) przedstawiono na poniższych wykresach.



Rysunek 13. Zapotrzebowanie na ciepło dla poszczególnych godzin w roku - budynek wybudowany w roku 1955-1965 (porównaj z rysunek 6 - budynek wybudowany w 1992-1997)



Rysunek 14. Zapotrzebowanie na ciepło dla poszczególnych godzin w roku - budynek wybudowany w roku 2008-2013 (porównaj z rysunek 6 - budynek wybudowany w 1992-1997)

Wyniki symulacji dla budynków: bazowego (1992-97), starszego (1955-65) oraz nowszego (2008-13) przedstawiono poniżej w tabeli:

Tabela 13. Wyniki dla budynku wybudowanego w latach 1955-1965, 1992-1997 oraz 2008-2013

Dane dla instalacji ogrzewania (bez c.w.u., pomp, wentylatorów, regulacji, gotowania, oświetlenia i innych urządzeń elektrycznych)				
Parametr	Budynek			jednostka
	1955-65	1992-97	2008-13	
Energia użytkowa	31360	17212	10988	kWh/rok
Wskaźnik EU	198	109	70	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	52619	28880	18437	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	58300	31998	20427	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	5313	2916	1862	m ³ /rok
Wskaźnik EK	333	183	117	kWh/(m ² rok)
Koszty ogrzewania	20275	11128	7104	zł/rok

Dane dla instalacji c.w.u.				
Zapotrzebowanie na ciepło c.w.u.	2398	2398	2398	kWh/rok
Wskaźnik EU	15	15	15	kWh/(m ² rok)
Zapotrzebowanie na energię końcową	4796	4796	4796	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	5314	5314	5314	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	484	484	484	m ³ /rok
Wskaźnik EK	30	30	30	kWh/(m ² rok)
Koszty podgrzewu c.w.u.	1848	1848	1848	zł/rok
Dane dla energii elektrycznej				
Roczne zużycie en. el. na potrzeby oświetlenia	1040	1040	1040	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. na pozostałe cele	2474	2474	2474	kWh/rok
Razem zużycie en. el.	3514	3514	3514	kWh/rok
Koszty en. el.	3315	3315	3315	zł/rok
Razem koszty				
	25438	16291	12267	zł/rok
Oszacowanie wskaźnika EP				
Wskaźnik EP ogrzewanie	366	201	128	kWh/(m ² rok)
Wskaźnik EP c.w.u.	33	33	33	kWh/(m ² rok)
Razem EP	400	234	162	kWh/(m ² rok)

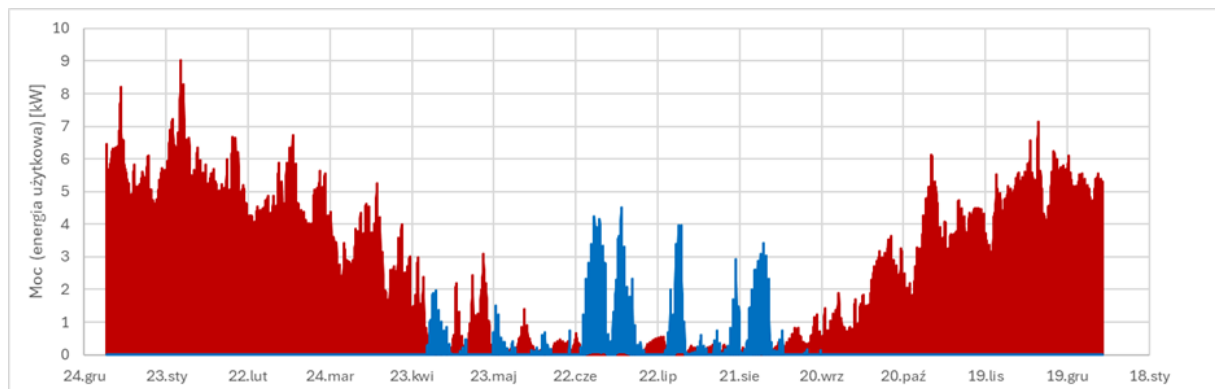
Warto zauważyć, że duże zużycie energii dla budynku z roku 1955-1965, jest zapewne tylko teoretyczne. W rzeczywistości, jeśli budynek nie został chociaż częściowo zmodernizowany (częściowa izolacja, wymiana okien itd.) to najczęściej mamy do czynienia bądź z obniżeniem temperatury wewnętrznej w całym budynku, w części pomieszczeń i/lub ograniczeniem wentylacji poprzez uszczelnienie okien, kratki wentylacyjnych itp. Z badania wykonanego na potrzeby Krajowego planu renowacji budynków¹² wynika, że:

28% badanych w nieocieplonych budynkach narzeka na niedogrzanie pomieszczeń w trakcie sezonu grzewczego, a niemal połowa gospodarstw domowych w budynkach niedocieplonych zgłasza problem niedogrzanych pomieszczeń w trakcie sezonu grzewczego.

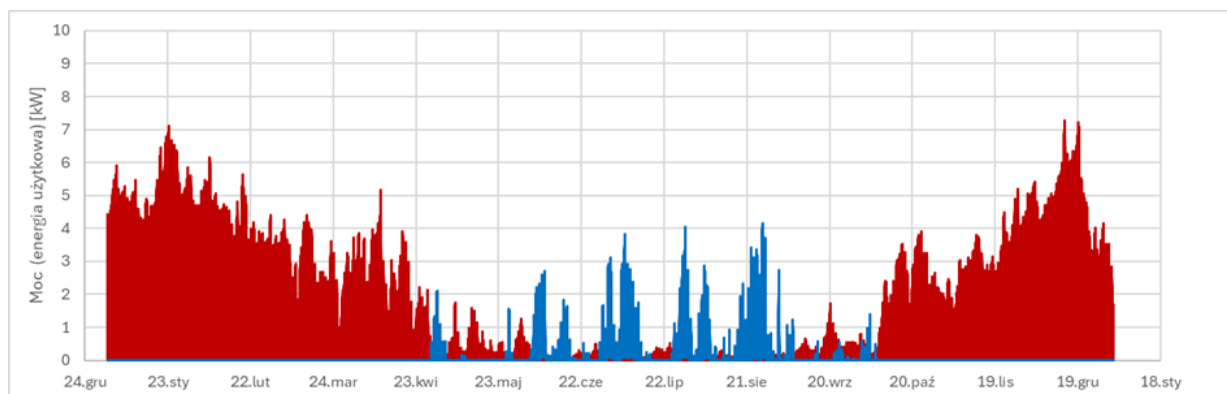
4.3 Lokalizacja

Na potrzeby zbadania wpływu zmiany lokalizacji budynku na jego zapotrzebowanie na energię zmieniano dane klimatyczne, dla których przeprowadzono symulacje. Wybór lokalizacji podyktowany został zróżnicowaniem klimatycznym Polski, które może powodować różnice w zapotrzebowaniu na energię. Do analizy wybrano trzy obszary: Polskę północno-wschodnią, centralną i południowo-zachodnią.

Wykorzystano dane klimatyczne, tzw. typowe lata meteorologiczne opracowane na podstawie danych z lat 2009 - 2023¹³. Obliczenia, tak jak w rozdziale 2.2 wykonano w programie do całościowych analiz cieplnych budynków EnergyPlus wersja 24.2.0⁴. Godzinowe wyniki obliczeń energii użytkowej na potrzeby ogrzewania dla budynków o różnych lokalizacjach przedstawiono na poniższych wykresach.



Rysunek 15. Zapotrzebowanie na ciepło (czerwone) i chłodzenie (niebieskie) dla poszczególnych godzin w roku - budynek zlokalizowany w Polsce północno-wschodniej (porównaj z rysunek 6 - budynek zlokalizowany w Warszawie)



Rysunek 16. Zapotrzebowanie na ciepło (czerwone) i chłodzenie (niebieskie) dla poszczególnych godzin w roku - budynek zlokalizowany w Polsce południowo-zachodniej (porównaj z rysunek 6 - budynek zlokalizowany w Warszawie)

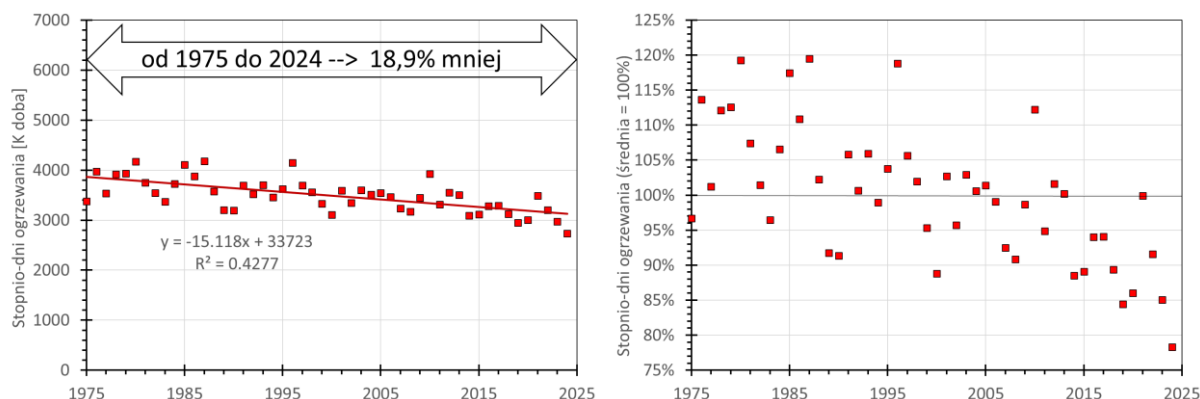
Wyniki symulacji dla Polski północno-wschodniej, centralnej i południowo-zachodniej przedstawiono w tabeli poniżej:

Tabela 14. Wyniki dla budynku zlokalizowanego w Polsce północno-wschodniej, centralnej i południowo-zachodniej

Dane dla instalacji ogrzewania (bez c.w.u., pomp, wentylatorów, regulacji, gotowania, oświetlenia i innych urządzeń elektrycznych)				
Parametr	Lokalizacja			jednostka
	Płn.-wsch.	Centr.	Płd.-zach.	
Energia użytkowa	19940	17212	15559	kWh/rok
Wskaźnik EU	126	109	98	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	33458	28880	26107	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	37070	31998	28925	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	3379	2916	2636	m ³ /rok

Wskaźnik EK	212	183	165	kWh/(m ² rok)
Koszty ogrzewania	12892	11128	10059	zł/rok
Dane dla instalacji c.w.u.				
Zapotrzebowanie na ciepło c.w.u.	2398	2398	2398	kWh/rok
Wskaźnik EU	15	15	15	kWh/(m ² rok)
Zapotrzebowanie na energię końcową	4796	4796	4796	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	5314	5314	5314	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	484	484	484	m ³ /rok
Wskaźnik EK	30	30	30	kWh/(m ² rok)
Koszty podgrzewu c.w.u.	1848	1848	1848	zł/rok
Dane dla energii elektrycznej				
Roczne zużycie en. el. na potrzeby oświetlenia	1040	1040	1040	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. na pozostałe cele	2474	2474	2474	kWh/rok
Razem zużycie en. el.	3514	3514	3514	kWh/rok
Koszty en. el.	3315	3315	3315	zł/rok
Razem koszty	18054	16291	15222	zł/rok
Oszacowanie wskaźnika EP				
Wskaźnik EP ogrzewanie	233	201	182	kWh/(m ² rok)
Wskaźnik EP c.w.u.	33	33	33	kWh/(m ² rok)
Razem EP	266	234	215	kWh/(m ² rok)

Zbadano również różnice jakie występują pomiędzy poszczególnymi latami. Na poniższym rysunku zilustrowano tzw. stopnio-dni ogrzewania (wskaźnik wprost proporcjonalny do zapotrzebowania na ciepło na potrzeby ogrzewania) na przestrzeni 1975-2024. Widać, że różnice rok do roku wahają się ok. $\pm 20\%$ od średniej wieloletniej co jest wartością zbliżoną do różnic spowodowanych zmianą lokalizacji budynku w obrębie Polski.

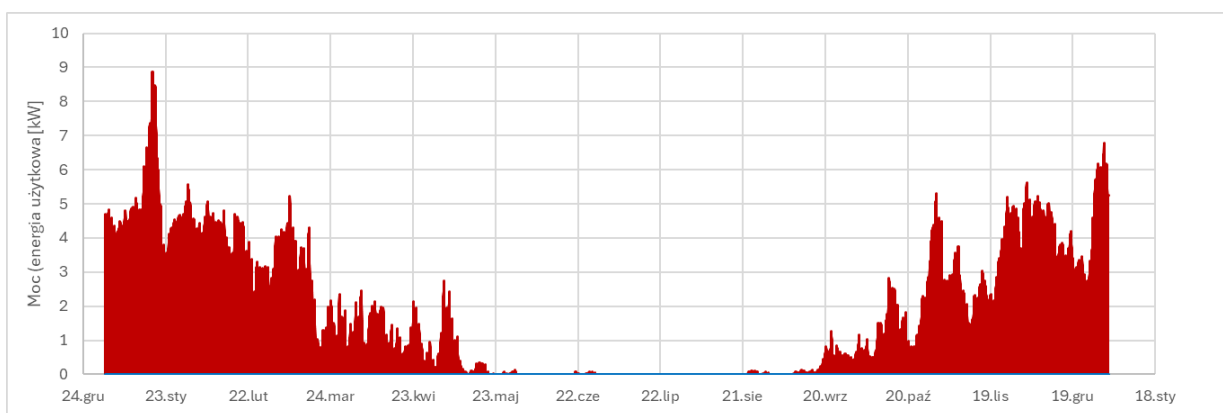


Rysunek 17. Stopnio-dni ogrzewania dla Polski na przestrzeni ostatnich 50 lat - opracowanie własne na podstawie https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/NRG_CHDD_A

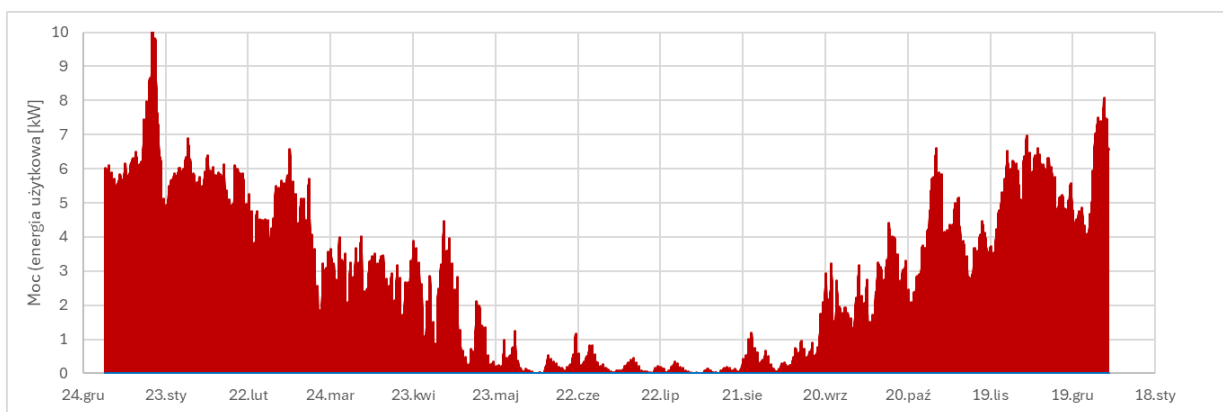
4.4 Temperatura utrzymywana w okresie zimowym

Na potrzeby zbadania wpływu zmiany temperatury wewnętrznej utrzymywanej w budynku na jego zapotrzebowanie na energię, w trakcie symulacji po prostu zmieniano tą temperaturę z 20°C, odpowiednio na 18°C i 22°C.

Obliczenia, tak jak w rozdziale 2.2 wykonano w programie do całościowych analiz cieplnych budynków EnergyPlus wersja 24.2.0⁴. Godzinowe wyniki obliczeń energii użytkowej na potrzeby ogrzewania dla budynków o różnej temperaturze wewnętrznej w okresie zimowym przedstawiono na poniższych wykresach.



Rysunek 18. Zapotrzebowanie na ciepło dla poszczególnych godzin w roku - budynek z temperaturą wewnętrzną utrzymywaną na poziomie 18°C w okresie zimowym (porównaj z rysunek 6 - budynek z temperaturą wewnętrzną utrzymywaną na poziomie 20°C)



Rysunek 19. Zapotrzebowanie na ciepło dla poszczególnych godzin w roku - budynek z temperaturą wewnętrzną utrzymywaną na poziomie 22°C w okresie zimowym (porównaj z rysunek 6 - budynek z temperaturą wewnętrzną utrzymywaną na poziomie 20°C)

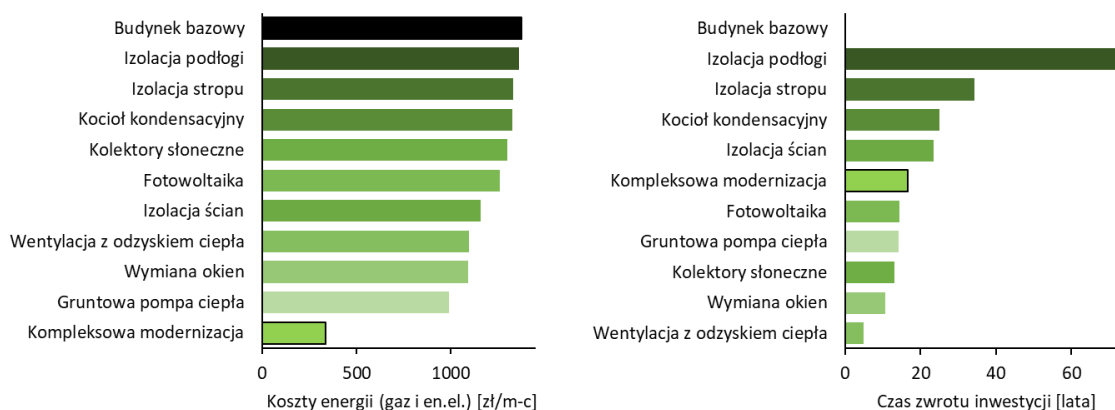
Wyniki symulacji dla temperatury 18°C, 20°C i 22°C przedstawiono w tabeli poniżej:

Tabela 15. Wyniki dla budynku z temperaturą wewnętrzną utrzymywaną na poziomie 18°C, 20°C i 22°C w okresie zimowym

Dane dla instalacji ogrzewania (bez c.w.u., pomp, wentylatorów, regulacji, gotowania, oświetlenia i innych urządzeń elektrycznych)				
Parametr	Temperatura wew. w trakcie sezonu ogrzewczego			jednostka
	18°C	20°C	22°C	
Energia użytkowa	13773	17212	21126	kWh/rok
Wskaźnik EU	87	109	134	kWh/(m ² rok)
Energia końcowa	23110	28880	35448	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	25604	31998	39275	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	2334	2916	3580	m ³ /rok
Wskaźnik EK	146	183	224	kWh/(m ² rok)
Koszty ogrzewania	8904	11128	13659	zł/rok
Dane dla instalacji c.w.u.				
Zapotrzebowanie na ciepło c.w.u.	2398	2398	2398	kWh/rok
Wskaźnik EU	15	15	15	kWh/(m ² rok)
Zapotrzebowanie na energię końcową	4796	4796	4796	kWh/rok
Energia końcowa (ciepło spalania)	5314	5314	5314	kWh/rok
Energia końcowa (rozliczenie)	484	484	484	m ³ /rok
Wskaźnik EK	30	30	30	kWh/(m ² rok)
Koszty podgrzewu c.w.u.	1848	1848	1848	zł/rok
Dane dla energii elektrycznej				
Roczne zużycie en. el. na potrzeby oświetlenia	1040	1040	1040	kWh/rok
Roczne zużycie en. el. na pozostałe cele	2474	2474	2474	kWh/rok
Razem zużycie en. el.	3514	3514	3514	kWh/rok
Koszty en. el.	3315	3315	3315	zł/rok
Razem koszty	14067	16291	18821	zł/rok
Oszacowanie wskaźnika EP				
Wskaźnik EP ogrzewanie	161	201	247	kWh/(m ² rok)
Wskaźnik EP c.w.u.	33	33	33	kWh/(m ² rok)
Razem EP	194	234	280	kWh/(m ² rok)

5 Podsumowanie

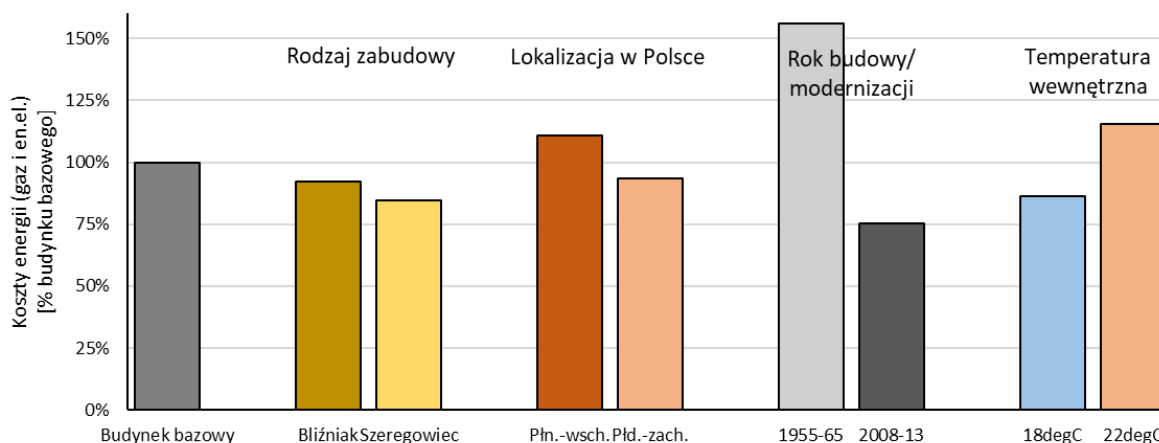
Uzyskane wyniki zostały podsumowane na poniższych wykresach. Największe zmniejszenie kosztów energii daje oczywiście kompleksowa modernizacja, a najszybszy czas zwrotu akurat w tym przypadku montaż wentylacji z odzyskiem ciepła. Oczywiście większość częściowych modernizacji, z praktycznego punktu widzenia, może nie mieć sensu - zawsze warto modernizację zaplanować i łączyć, również z pojawiającymi się potrzebami czysto remontowymi.



Rysunek 20. Podsumowanie wyników zapotrzebowania na energię dla poszczególnych modernizacji (lewa strona) oraz uzyskanych okresu zwrotu inwestycji dla danej modernizacji (prawa strona)

Warto przypomnieć również najważniejsze zastrzeżenia pojawiające się przy omawianiu poszczególnych modernizacji, przy czym najważniejsza jest chyba każdorazowa konieczność dostosowania instalacji c.o. do zmniejszonego zapotrzebowania na ciepło.

Równie istotne są poczynione założenia. Przedstawione obliczenia mają bardzo szacunkowy charakter, a najlepszym tego przykładem jest zmienność wyników widoczna na Rysunek 21 i porównanie wyników uzyskanych dla temperatury wewnętrznej 18°C i 22°C - wyniki znacząco się różnią. W praktyce często zdarza się, że po modernizacji rachunki pozostają na podobnym poziomie jak przed, ale znacząco poprawia się komfort cieplny i/lub intensywność wentylacji.



Rysunek 21. Podsumowanie wyników zapotrzebowania na energię dla różnych rodzajów zabudowy, lokalizacji w Polsce, lat budowy (modernizacji) oraz temperatury wewnętrznej w trakcie sezonu ogrzewczego dla budynku bazowego