



NAPE

NARODOWA AGENCJA POSZANOWANIA ENERGII S.A.

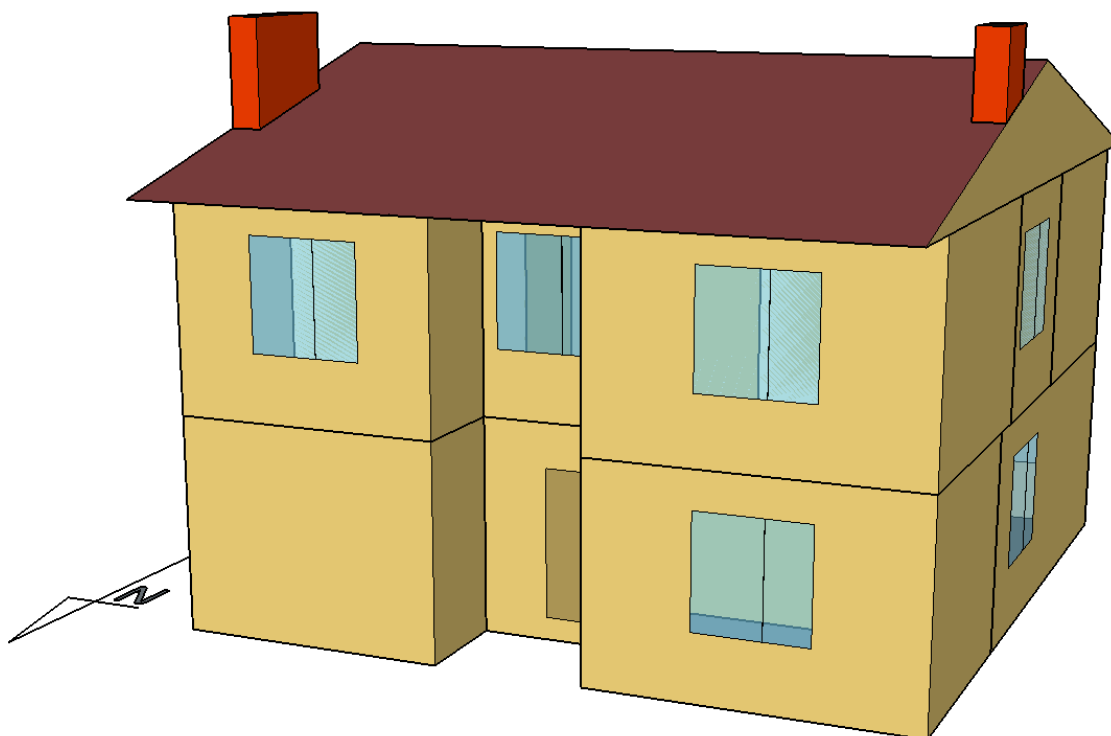
Firma istnieje od 1994 r.

ul. Świętokrzyska 20, 00-002 Warszawa

tel.: 22 505 46 61, e-mail: nape@nape.pl

<https://www.nape.pl>

Jednorodzinny budynek referencyjny NAPE



**zdefiniowany na potrzeby oceny efektywności energetycznej
systemów wentylacji w jednorodziennym budynku mieszkalnym**

Jerzy Kwiatkowski
Maciej Mijakowski
Joanna Rucińska
Jerzy Sowa

V4.1

Warszawa, czerwiec 2025

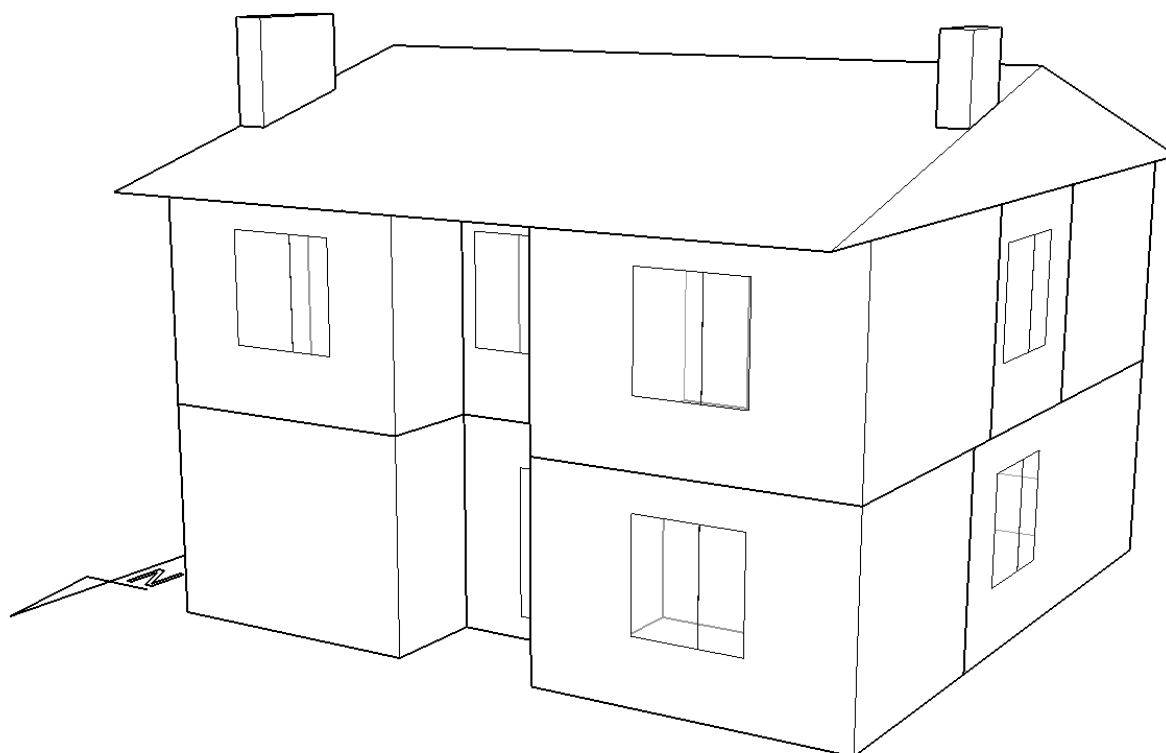
Spis treści

Wprowadzenie	3
Część I Opis budynku	6
1. Charakterystyka architektoniczna i opis użytkowania	6
1.1. Dane ogólne.....	6
2. Referencyjna izolacyjność cieplna przegród	12
3. Referencyjne źródło ciepła	13
4. Referencyjny system c.o.	13
5. Referencyjny system przygotowania c.w.u.	14
6. Referencyjny system wentylacji grawitacyjnej	15
6.1. Wymagany strumień powietrza wentylacyjnego	15
6.2. Elementy nawiewne systemu wentylacji	15
6.3. Elementy wywiewne systemu wentylacji.....	17
7. Referencyjny system wentylacji mechanicznej wywiewnej.....	18
7.1. Wymagany strumień powietrza wentylacyjnego	18
7.2. Elementy nawiewne systemu wentylacji	18
7.3. Elementy wywiewne systemu wentylacji.....	19
Część II Obliczenie zużycia energii.....	22
8. Dane meteorologiczne	22
9. Obliczenie strumieni powietrza wentylacyjnego dla referencyjnego systemu wentylacji grawitacyjnej	26
10. Obliczenie strumieni powietrza wentylacyjnego dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej.....	34
11. Obliczenie zużycia energii	42
11.1. Wyniki dla referencyjnej wentylacji grawitacyjnej.....	42
11.2. Wyniki dla referencyjnej wentylacji mechanicznej wywiewnej	46
12. Wyniki obliczeń dla referencyjnego budynku jednorodzinnego NAPE wyposażonego w referencyjne systemy wentylacji	49
13. Wyznaczenie charakterystyki energetycznej budynku referencyjnego.....	51
14. Literatura.....	54

Wprowadzenie

Ocena efektywności energetycznej polega na porównaniu rocznego zużycia energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji (wraz ze zużyciem energii przez urządzenia wprowadzające powietrze w ruch) oraz strumienia powietrza (minimum, maksimum i średnia – dla temperatury zewnętrznej poniżej 12°C) w budynku mieszkalnym jednorodzinnym posiadającym oceniany system wentylacji ze zużyciem energii w takim samym budynku wyposażonym w referencyjne systemy wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej wywiewnej.

Budynek referencyjny, szczegółowo opisany zarówno pod względem architektoniczno- konstrukcyjnym jak i pod względem sposobu użytkowania, stanowi przykład typowego współczesnego budynku jednorodzinnego w Polsce. Widok budynku stanowiącego podstawę opisu budynku referencyjnego przedstawia rys. 1



Rys. 1. Widok jednorodzinnego budynku referencyjnego NAPE

Podstawowe założenia dla budynku jednorodzinnego to:

- budynek 2 kondygnacyjny, niepodpiwniczony,
- pomieszczenia funkcjonalne: parter: pokój dzienny, gabinet, kuchnia z jadalnią, łazienka/WC, korytarz; I piętro 3 sypialnie, 2 łazienki/WC, garderoba, korytarz)
- garaż przylegający do budynku nieogrzewany,
- dach dwuspadowy
- parametry cieplne przegród budowlanych (minimalne wymagania wg warunków technicznych, [11] dla budynków nowowznoszonych),
- ogrzewanie wodne przy pomocy grzejników konwekcyjnych
- źródło ciepła kompaktowy węzeł cieplny z obudową zasilany z miejskiej sieci ciepłowniczej (sprawność 98%)
- kuchnia wyposażona w kuchenkę elektryczną
- budynek użytkuje 4 osobowa rodzina (2+2).

Analizowane są dwa warianty wentylacji:

- wentylacja grawitacyjna (okna z nawiewnikami, kanały wentylacji grawitacyjnej tak aby spełnione były wymagania PN-83/B-03430/Az3:2000, [10]),
- wentylacja mechaniczna wywiewna o stałym strumieniu powietrza zgodnym z PN-83/B-03430/Az3:2000, [10] i mocy właściwej wentylatorów zgodnej z aktualnymi warunkami technicznymi, [11],

Obliczenia symulacyjne prowadzone są dwuetapowo – obliczenia strumieni powietrza oraz bilans cieplny budynku.

Symulacja strumieni powietrza wentylacyjnego została przeprowadzona w programie CONTAM [13] (opis programu <http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis/CONTAM/index.htm>) w modelu wielostrefowym (jedno pomieszczenie odpowiada jednej strefie).

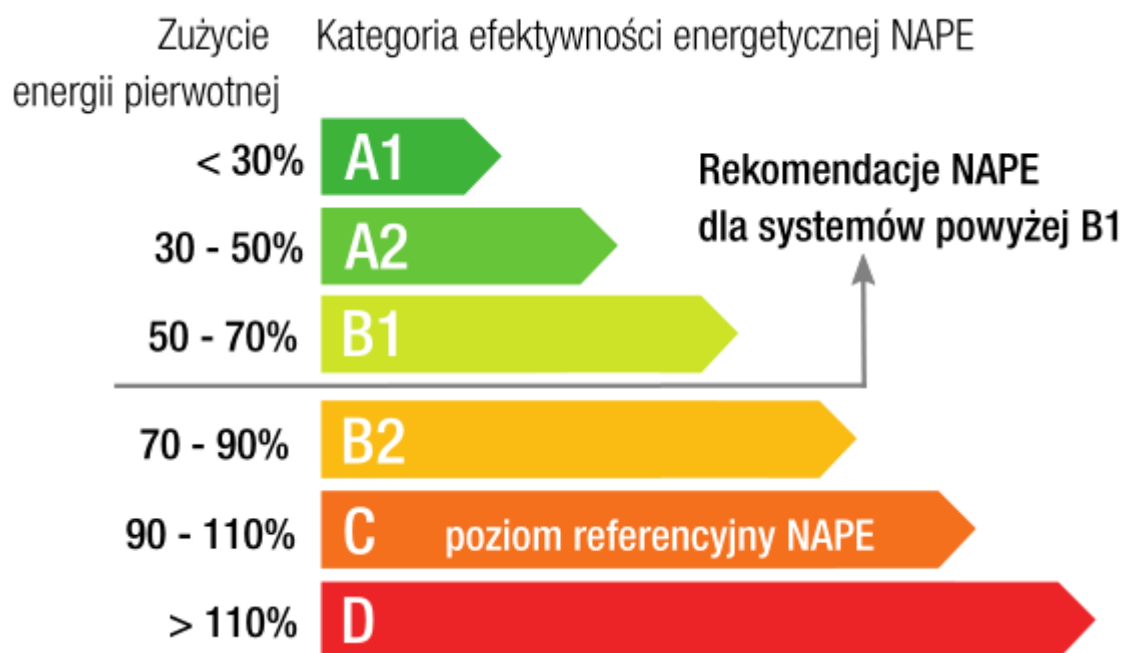
Po przeprowadzeniu symulacji przepływów powietrza i stwierdzeniu, że oceniany system jest w stanie spełnić wymagania minimalne zawarte w PN-83/B-03430/Az3:2000 [10] i w warunkach technicznych [11] obliczone strumienie powietrza stanowią dane wejściowe do obliczeń bilansu cieplnego.

Obliczenia bilansu cieplnego wykonane zostały zgodnie z PN-EN ISO 52016-1:2017-09, "Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, wewnętrzne temperatury oraz jawne i utajone obciążenia cieplne, część 1: Procedury obliczania", programem do całosciowych analiz cieplnych budynków EnergyPlus wersja 24.2.

Na podstawie wyników dla budynku z wentylacją referencyjną grawitacyjną i mechaniczną wywiewną opracowany został podział na kategorie efektywności energetycznej NAPE zgodnie z następującymi wytycznymi:

- średnia zużycia energii dla budynku z wentylacją referencyjną grawitacyjną i mechaniczną wywiewną stanowi poziom odniesienia równy 100% – poziom referencyjny zużycia energii pierwotnej
- wynik zużycia energii dla budynku bez wentylacji stanowi poziom odniesienia równy 0%
- wynik od 0% do 30% włącznie oznacza kategorię efektywności energetycznej NAPE – A1
- wynik od 30% do 50% włącznie oznacza kategorię efektywności energetycznej NAPE – A2
- wynik od 50% do 70% włącznie oznacza kategorię efektywności energetycznej NAPE – B1
- wynik od 70% do 90% włącznie oznacza kategorię efektywności energetycznej NAPE – B2
- wynik od 90% do 110% włącznie oznacza kategorię efektywności energetycznej NAPE – C
- wynik powyżej 110% oznacza kategorię efektywności energetycznej NAPE – D

Systemy, które uzyskały kategorię efektywności energetycznej NAPE A1, A2 i B1 (co najmniej 30% oszczędność energii w stosunku do poziomu referencyjnego) są rekomendowane do stosowania przez Narodową Agencję Poszanowania Energii. Systemy posiadające rekomendację NAPE mogą być oznaczone logo rekomendacji do czasu zmiany warunków technicznych [11] lub zmian technicznych mających wpływ na efektywność energetyczną ocenianego systemu.



Rys. 2. Ilustracja skali kategorii efektywności energetycznej NAPE

Uwaga:

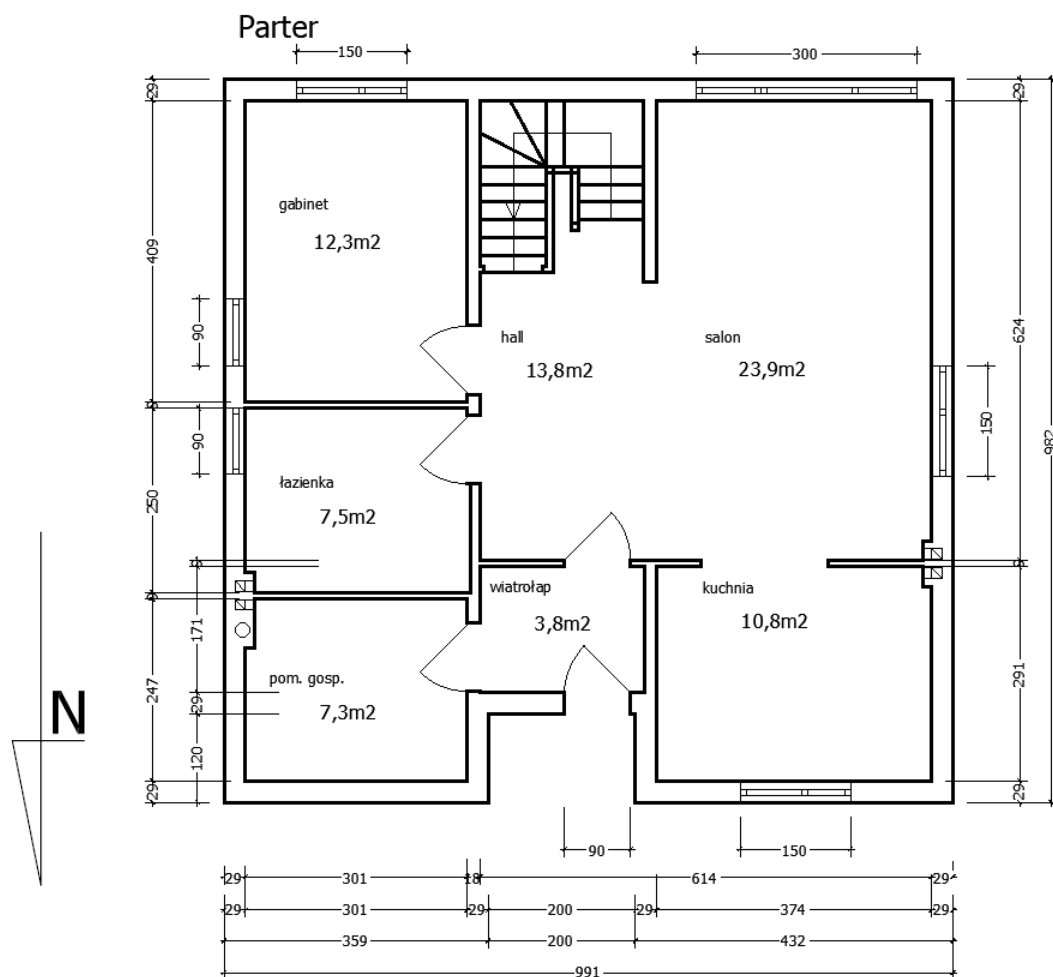
Przedstawione wyniki zostały otrzymane na podstawie przyjętych założeń, które szczegółowo opisano w niniejszej pracy. Narodowa Agencja Poszanowania Energii nie bierze odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikające z interpolacji wyników dla innych niż opisane przypadki.

Część I Opis budynku

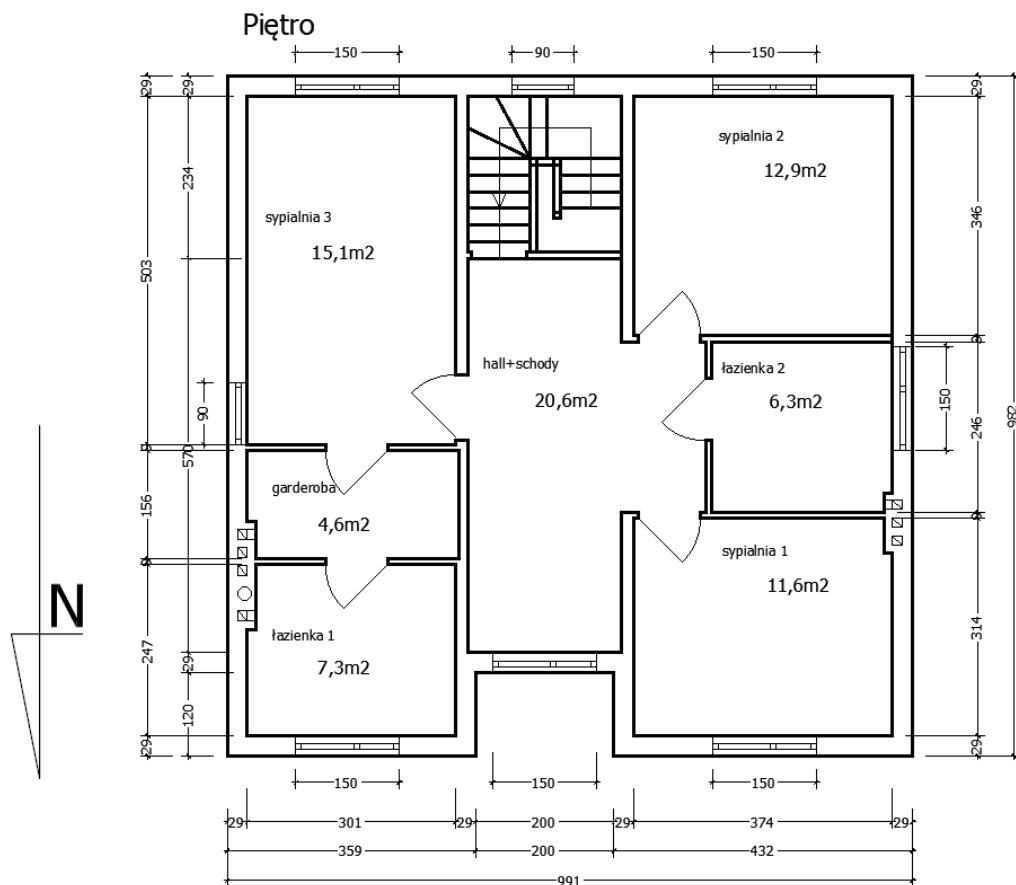
1. Charakterystyka architektoniczna i opis użytkowania

1.1. Dane ogólne

Analizowany budynek jednorodzinny posiada 2 kondygnacje naziemne ogrzewane. Budynek nie jest podpiwniczony. Rzut parteru oraz piętra pokazany jest na rys. 3 oraz rys. 4.



Rys. 3. Rzut parteru jednorodzinnego budynku referencyjnego NAPE

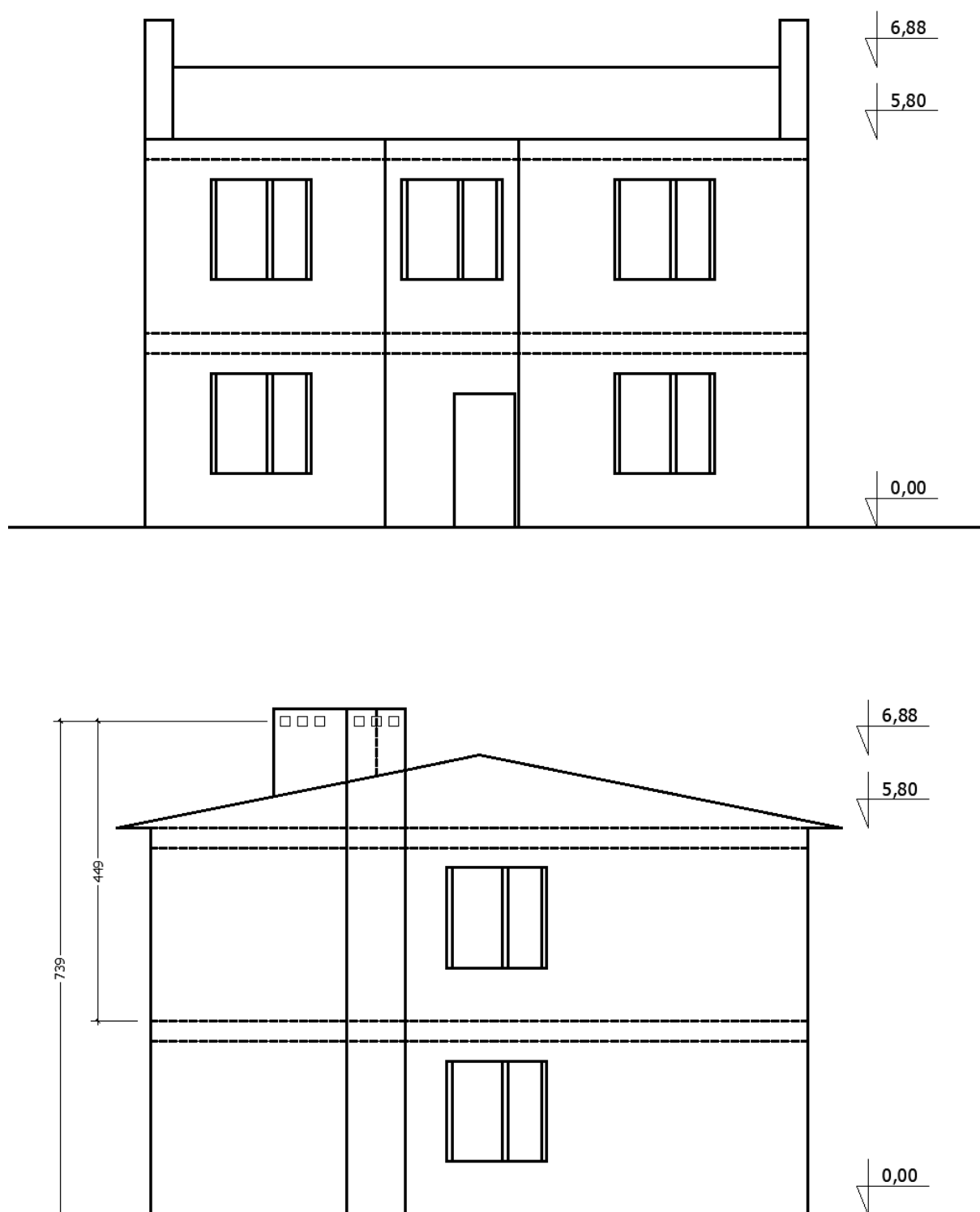


Rys. 4. Rzut piętra jednorodzinnego budynku referencyjnego NAPE

Na parterze budynku znajduje się wiatrołap, hall, pomieszczenie gospodarcze, łazienka razem z WC, aneks kuchenny, gabinet i pokój dzienny. Na piętrze budynku znajduje się hall, garderoba, dwie łazienki z WC oraz trzy sypialnie.

Pomieszczenie gospodarcze wyposażone jest w drzwi powietrzno szczelne i posiada odrębny system wentylacji, który nie jest brany pod uwagę w trakcie analizy działania wentylacji.

Całkowita powierzchnia domu wynosi 158 m². Poniżej przedstawiono widok północnej oraz wschodniej fasady budynku.



Rys. 5. Widok fasady północnej (góra) i zachodniej (dół) jednorodzinnego budynku referencyjnego NAPE

Poniżej w kolejnych tabelach przedstawiono dane dotyczące zarówno bryły budynku jak i właściwości cieplnych jego przegród. Tabela 1 zawiera podstawowe dane dotyczące budynku natomiast Tabela 2 oraz Tabela 3 charakterystykę przegród zewnętrznych.

Tabela 1 Dane budynku

1	Kubatura V_e [m ³]	410,8
2	Powierzchnia przegród zewnętrznych A_e [m ²]	471,0
3	Współczynnik kształtu A_e / V_e [m ⁻¹]	1,15
4	Powierzchnia użytkowa A_f [m ²]	158,0

Tabela 2 Charakterystyka geometryczna przegród nieprzezroczystych

Nr	Nazwa	Orientacja	Azymut	Pochylenie	Pole brutto przegrody
-	-	-	deg.	deg.	m ²
1	Ściana zewnętrzna	N	0	90	57,5
2	Ściana zewnętrzna	E	90	90	75,0
3	Ściana zewnętrzna	S	180	90	57,5
4	Ściana zewnętrzna	W	270	90	75,0
5	Strop pod nieogrzewanym poddaszem	H	0	0	97,3
6	Podłoga na gruncie	H	0	0	97,3
				Suma	264,9

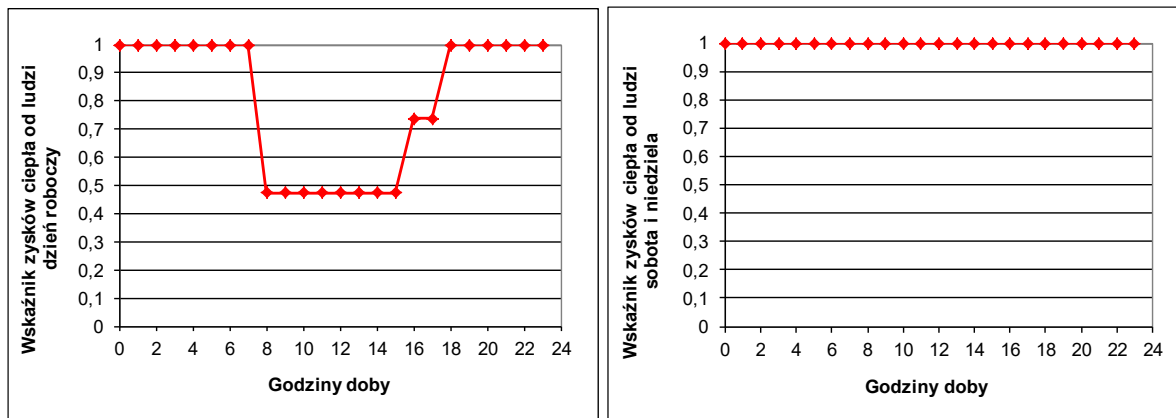
Uwaga: W tabelach przedstawiono powierzchnię brutto ścian zewnętrznych (wraz z oknami). Pole powierzchni brutto nie jest prostym iloczynem długości i szerokości całkowitej przegrody ze względu na złożoność przestrzenną geometrii budynku.

Tabela 3 Charakterystyka geometryczna przegród przezroczystych

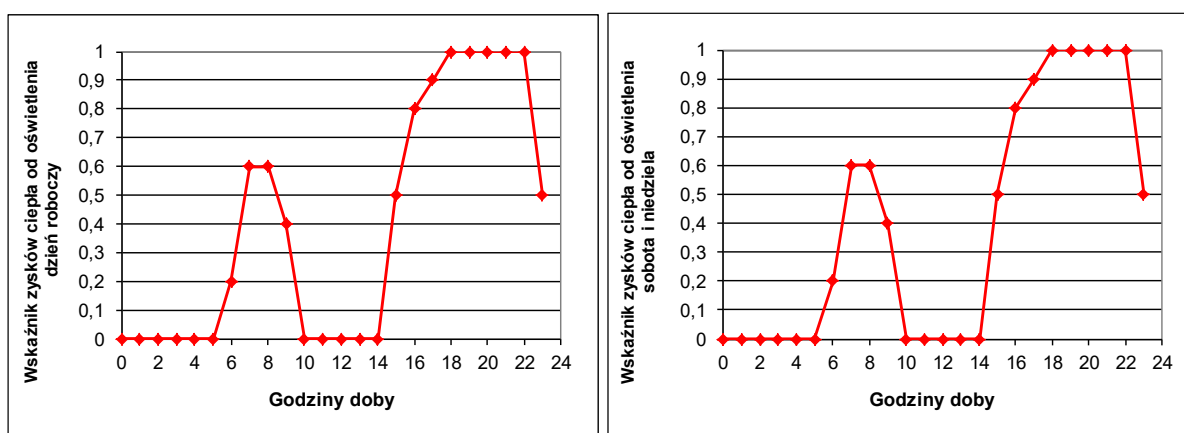
Nr	Nazwa	Orientacja	Azymut	Pochylenie	Pole powierzchni i okien i drzwi	Pole netto przegrody
-	-	-	deg.	deg.	m ²	m ²
1	Ściana zewnętrzna	N	0	90	9,0	48,5
2	Ściana zewnętrzna	E	90	90	3,6	71,4
3	Ściana zewnętrzna	S	180	90	13,2	44,3
4	Ściana zewnętrzna	W	270	90	4,5	70,5
5	Strop pod nieogrzewanym poddaszem	H	0	0	0	97,3
6	Podłoga na gruncie	H	0	0	0	97,3
				Suma	30,2	429,2

Analizowany budynek wyposażony jest w instalację centralnego ogrzewania oraz w zależności od wariantu: instalację wentylacji grawitacyjnej lub instalację wentylacji mechanicznej wywiewnej. Założona temperatura wewnętrzna pomieszczeń wynosi +20°C (w łazienkach +24°C).

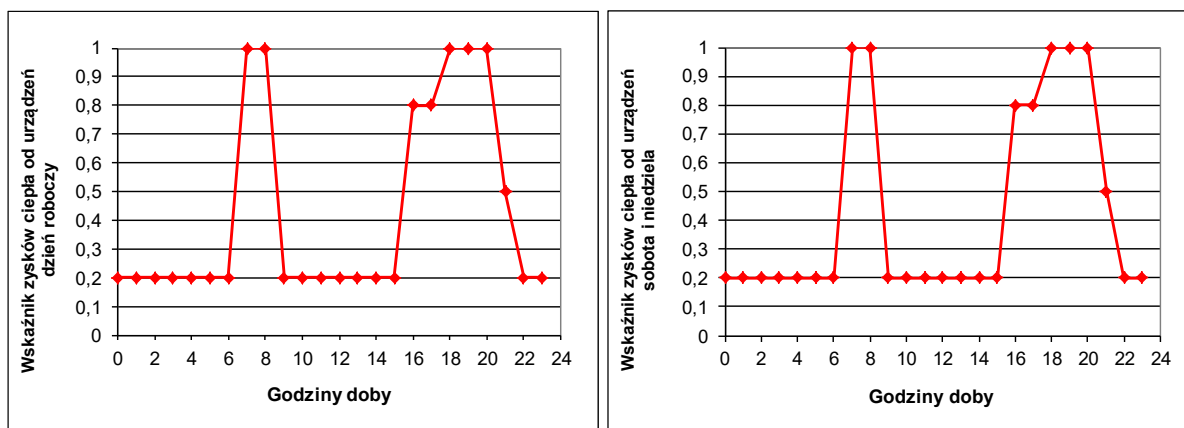
Budynek jest użytkowane przez dwie osoby dorosłe oraz dwójkę dzieci. Schemat zysków ciepła od mieszkańców, oświetlenia i urządzeń przedstawiono kolejno na poniższych wykresach. Maksymalne godzinowe wielkości zysków ciepła wynoszą odpowiednio 254,6 W dla przebywania mieszkańców, 470 W dla urządzeń oraz 300 W dla oświetlenia.



Rys. 6. Harmonogram zysków ciepła od ludzi dla domu jednorodzinnego



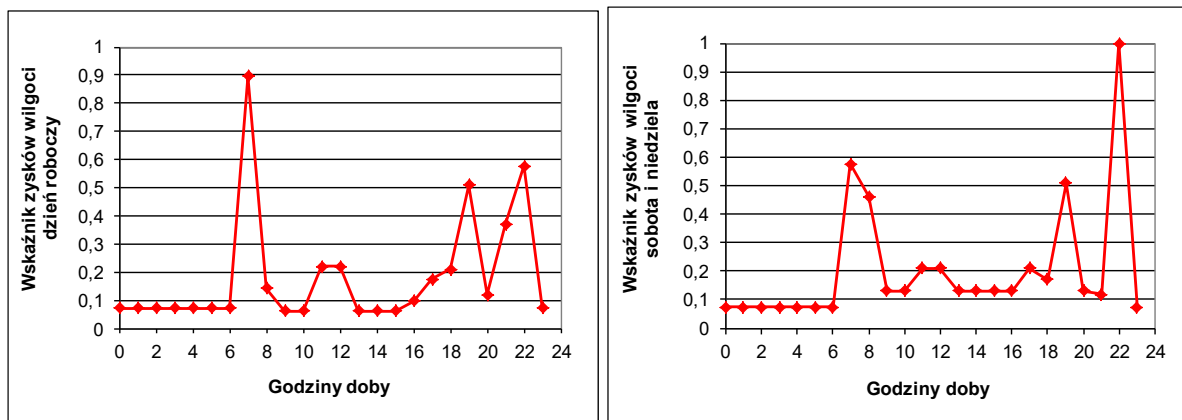
Rys. 7. Harmonogram zysków ciepła od oświetlenia dla domu jednorodzinnego



Rys. 8. Harmonogram zysków ciepła od urządzeń dla domu jednorodzinnego

Średnio dobowe sumaryczne zyski ciepła wynoszą $3,60 \text{ W/m}^2$ [1] [2] [3] [4]. Natomiast jednostkowe maksymalne zyski ciepła dla poszczególnych źródeł wynoszą odpowiednio $1,70 \text{ W/m}^2$ dla ludzi, $5,6 \text{ W/m}^2$ dla oświetlenia oraz $13,9 \text{ W/m}^2$ dla urządzeń.

W budynku założono również schemat występowania zysków wilgoci związanych z przebywaniem ludzi, pochodzących z procesów gotowania, zmywania oraz prania a także związanych z myciem się mieszkańców (prysznicami). Poniżej na wykresie pokazano schemat występowania zysków wilgoci w budynku jednorodzinny, przy czym maksymalne godzinowe zyski wilgoci wynoszą 1597 gram .



Rys. 9. Schemat występowania zysków wilgoci dla budynku jednorodzinnego

2. Referencyjna izolacyjność cieplna przegród

Założono izolacyjność cieplną przegród zewnętrznych na poziomie wymagań minimalnych określonych w warunkach technicznych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami) - [11] na dzień 1 stycznia 2022r.

Szczegółowe dane charakterystyki cieplnej nieprzezroczystych i przezroczystych przegród obudowy zewnętrznej budynku wykorzystane w analizach energetycznych przedstawione zostały w poniższych tabelach. Przegrody budynku spełniają wymagania obowiązujących przepisów dotyczących maksymalnych dopuszczalnych wartości współczynników przenikania ciepła U.

Tabela 7. Charakterystyka cieplna przegród nieprzezroczystych

Nr	Nazwa	Orientacja	Współczynnik przenikania ciepła	Współczynnik absorpcji promieniowania słonecznego	Współczynnik emisyjności promieniowania cieplnego
-	-	-	W/m ² K	-	-
1	Ściana zewnętrzna	N	0,20	0,6	0,9
2	Ściana zewnętrzna	E	0,20	0,6	0,9
3	Ściana zewnętrzna	S	0,20	0,6	0,9
4	Ściana zewnętrzna	W	0,20	0,6	0,9
5	Dach	H	0,15	0,85	0,9
6	Podłoga na gruncie	H	0,30	-	-

Tabela 8. Charakterystyka cieplna przegród przezroczystych

Nr	Nazwa	Orientacja	Współczynnik przenikania ciepła
-	-	-	W/m ² K
1	Ściana zewnętrzna	N	0,9
2	Ściana zewnętrzna	E	0,9
3	Ściana zewnętrzna	S	0,9
3	Ściana zewnętrzna	W	0,9

3. Referencyjne źródło ciepła

Źródłem ciepła w budynku jest kompaktowy węzeł cieplny z obudową (sprawność 98%). Węzeł jest wyposażony w regulator pogodowy i niezbędną armaturę.

Szczegółowy opis węzła znajduje się w opisie jednorodzinnego budynku referencyjnego NAPE na potrzeby oceny energetycznej systemów zaopatrzenia w ciepło.

Współczynnik nakładu w_i nieodnawialnej energii pierwotnej dla źródła ciepła wynosi 0,80. Zgodnie z [12]

4. Referencyjny system c.o.

Analizowany budynek wyposażony jest w instalację centralnego ogrzewania. Założona temperatura wewnętrzna w pomieszczeniach wynosi 20°C (łazienki 24°C).

Ciepło rozprowadzane jest w budynku poprzez tradycyjną instalację c.o. pompową, dwururową z rozdziałem dolnym o parametrach 70/50°C. Instalacja wyposażona jest w grzejnikowe zawory termostatyczne. Ogólna sprawność systemu c.o. i źródła ciepła wynosi 78%.

Energia elektryczna do napędów instalacji c.o., przy ocenie efektywności energetycznej systemu wentylacji nie została uwzględniona.

Szczegółowy opis systemu c.o. znajduje się w opisie jednorodzinnego budynku referencyjnego NAPE na potrzeby oceny energetycznej systemów c.o.

5. Referencyjny system przygotowania c.w.u.

Ciepła woda użytkowa przygotowywana jest w kompaktowym węźle cieplnym.

Zapotrzebowanie na energię pierwotną do przygotowania c.w.u. obliczono zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. [11]:

Jednostkowe dobowe zużycie c.w.u.	1,4 dm ³ /m ² /dzień
Temperatura na zaworze czerpalnym	55 degC
Temperatura wody zimnej	10 degC
Współczynnik korekcyjny	0,90
Zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u.	3608 kWh/rok
Sprawność przygotowania c.w.u.	0,98
Sprawność przesyłu c.w.u.	0,80
Zapotrzebowanie na energię końcową do przygotowania c.w.u.	4602 kWh/rok

Wskaźnik zapotrzebowanie na pomocniczą en.el.	0,15 W/m ²
Czas pracy w ciągu roku	8760 h/rok
Zapotrzebowanie na pomocniczą en.el.	197 kWh/rok

Zapotrzebowanie na energię pierwotną do przygotowania c.w.u.	4272 kWh/rok
--	--------------

Wskaźnik zapotrzebowania na energię do przygotowania c.w.u.	28,5 kWh/m ² rok
---	-----------------------------

Przy ocenie efektywności energetycznej systemu wentylacji zużycie ciepła na cele c.w.u. nie zostało uwzględnione.

Szczegółowy opis systemu przygotowania c.w.u. znajduje się w opisie jednorodzinnego budynku referencyjnego NAPE na potrzeby oceny energetycznej systemów przygotowania c.w.u.

6. Referencyjny system wentylacji grawitacyjnej

Przyjęto, że referencyjny system wentylacji grawitacyjnej powinien spełniać wymagania minimalne warunków technicznych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami) [11] oraz być zgodny z normą PN-83/B-03430/Az3:2000 [10].

Pomieszczenie gospodarcze (wężel) posiada odrębny system wentylacji, który nie jest brany pod uwagę w trakcie analizy działania wentylacji grawitacyjnej.

6.1. Wymagany strumień powietrza wentylacyjnego

Wymagany strumień powietrza wynika z zapisów normy PN-83/B-03430/Az3:2000 [10], zgodnie z którą należy zapewnić ilość powietrza usuwanego jak w poniższej tabeli:

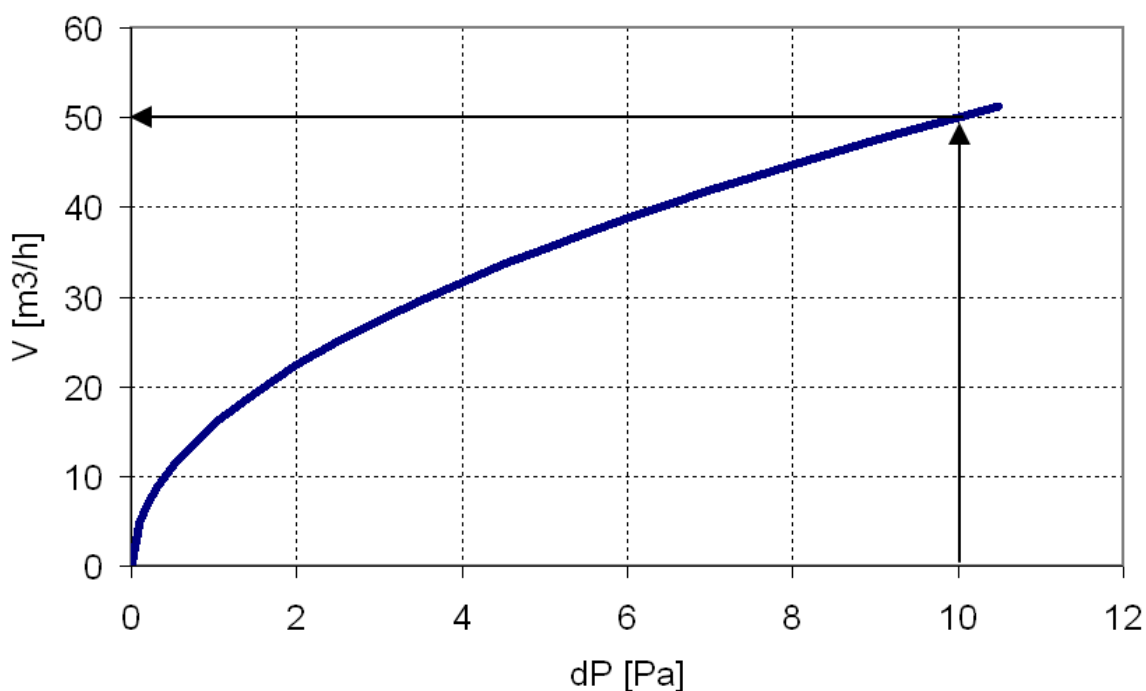
Tabela 9. Wymagane strumienie powietrza usuwanego

Pomieszczenie z którego należy usuwać powietrze	Minimalny strumień powietrza
-	m ³ /h
Parter	
Kuchnia	50
Łazienka	50
Piętro	
Łazienka 1	50
Łazienka 2	50
Garderoba	15
Razem dla budynku	215

Ze względu na to, iż na górnej kondygnacji znajdują się 2 łazienki i garderoba, z których należy odprowadzać 115 m³/h powietrza, zrezygnowano z umieszczenia dodatkowych krętek wywiewnych w pokojach na górnej kondygnacji (warunek 2.1.1.b według PN-83/B-03430/Az3:2000 [10]).

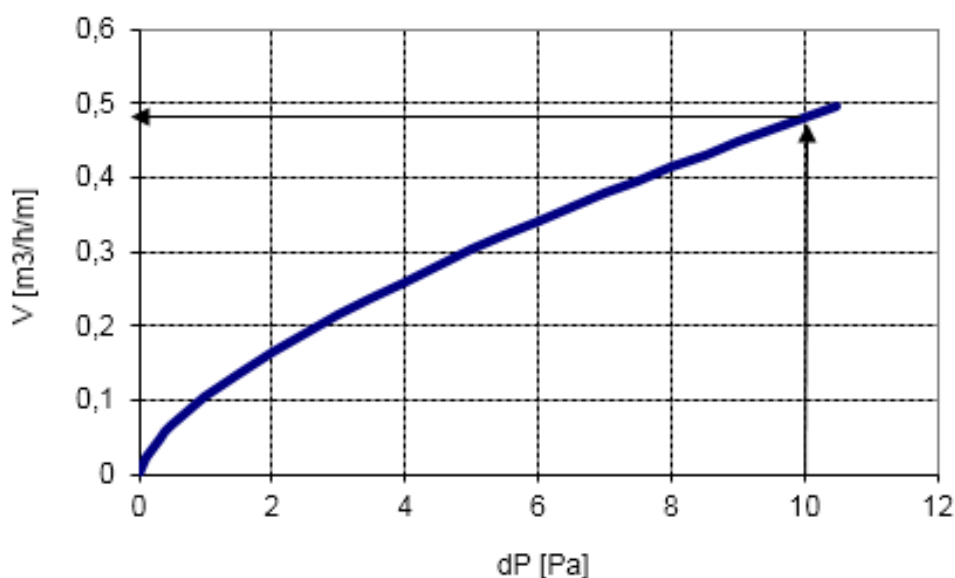
6.2. Elementy nawiewne systemu wentylacji

Przyjęto nawiew powietrza przy pomocy nawiewników zlokalizowanych w górnej krawędzi ramy okiennej. Założono jeden nawiewnik dla każdego pokoju (z wyjątkiem pokoju dziennego gdzie umieszczone są 2 nawiewniki) oraz kuchni. Nawiewniki mają charakterystykę zapewniającą przepływ 50 m³/h przy różnicy ciśnienia 10 Pa, [10]. Dla innych warunków strumień powietrza jest zgodny z poniższą charakterystyką:



Rys. 10. Charakterystyka nawiewnika powietrza dla referencyjnego systemu wentylacji grawitacyjnej

Powietrze w ograniczonym zakresie może również przepływać przez szczeliny okienne charakteryzujące się przepływem $0,48 \text{ m}^3/\text{h}$ na 1 m długości przy różnicy ciśnienia 10 Pa , [11] – klasa 3 przepuszczalności powietrznej wg PN-EN 12207:2001, [7]. Dla innych warunków strumień powietrza jest zgodny z poniższą charakterystyką:



Rys. 11. Charakterystyka szczeliny okiennej dla referencyjnego systemu wentylacji grawitacyjnej

6.3. Elementy wywiewne systemu wentylacji

Powietrze usuwane jest poprzez indywidualne kanały wentylacji grawitacyjnej znajdujące się w kuchni, łazienkach, garderobie. Przekroje kanałów mają wymiar 14x14 cm. Suma oporów miejscowych wynosi 2,5; opory liniowe wynikają z chropowatości ścianek wynoszącej 5 mm. Wlot kanału usytuowany jest 10 cm poniżej sufitu, a wylot na rzędnej 7,39 m (51 cm ponad kalenicą dachu). Wyloty kanałów skonstruowane są tak, aby niezależnie od kierunku wiatru zawsze ciśnienie dynamiczne powodowało zasysanie powietrza z kanału. Współczynnik konwersji ciśnienia dynamicznego przyjęto jako równy - 0,45.

Poprzez mieszkanie powietrze może swobodnie przepływać poprzez otwarte drzwi do pokoi i kuchni oraz kratki o przekroju 220 cm² w drzwiach do łazienki i garderoby.

Założono brak otwierania okien w warunkach obliczeniowych dla wentylacji grawitacyjnej – średnia dobową temperatura powietrza zewnętrznego poniżej 12°C.

7. Referencyjny system wentylacji mechanicznej wywiewnej

Przyjęto, że referencyjny system wentylacji mechanicznej wywiewnej powinien spełniać wymagania minimalne warunków technicznych (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami) [11] oraz być zgodny z normą PN-83/B-03430/Az3:2000 [10].

Pomieszczenie gospodarcze (węzeł cieplny) posiada odrębny system wentylacji, który nie jest brany pod uwagę w trakcie analizy działania wentylacji mechanicznej wywiewnej.

7.1. Wymagany strumień powietrza wentylacyjnego

Wymagany strumień powietrza wynika z zapisów normy PN-83/B-03430/Az3:2000 [10], zgodnie z którą należy zapewnić ilość powietrza usuwanego zgodnie z poniższą tabelą:

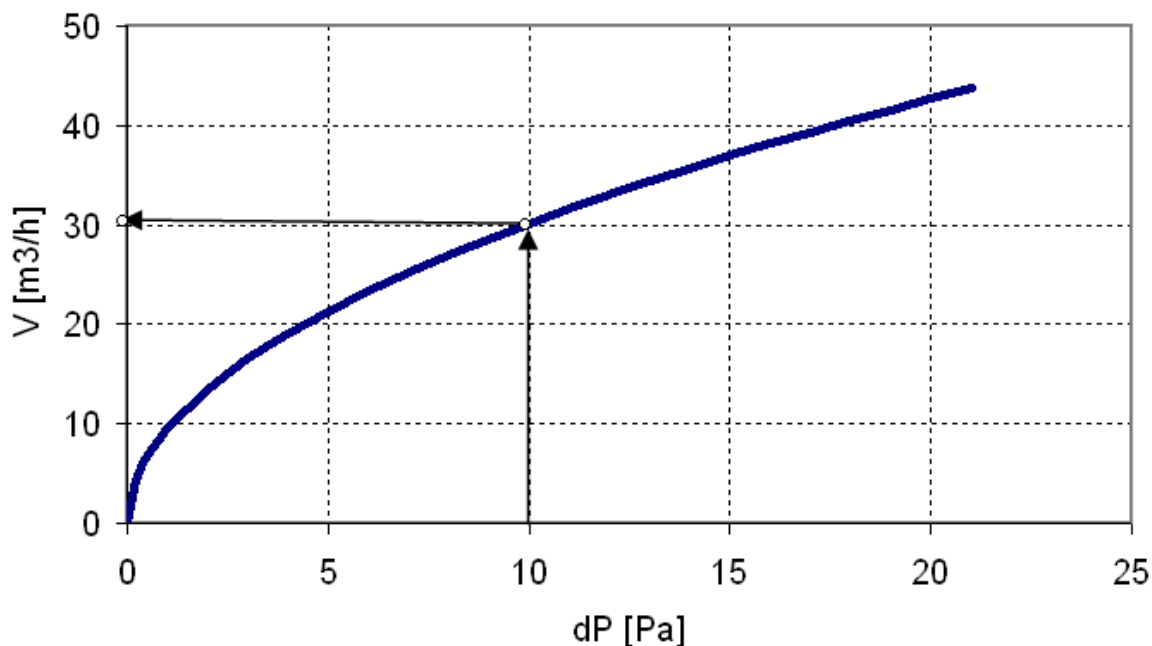
Tabela 10. Wymagane strumienie powietrza usuwanego

Pomieszczenie z którego należy usuwać powietrze	Minimalny strumień powietrza m ³ /h
-	m ³ /h
Parter	
Kuchnia	50
Łazienka	50
Piętro	
Łazienka 1	50
Łazienka 2	50
Garderoba	15
Razem dla budynku	215

Ze względu na to, iż na górnej kondygnacji znajdują się 2 łazienki i garderoba, z których należy odprowadzać 115 m³/h powietrza, zrezygnowano z umieszczenia dodatkowych krętek wywiewnych w pokojach na górnej kondygnacji (warunek 2.1.1.b według PN-83/B-03430/Az3:2000 [10]).

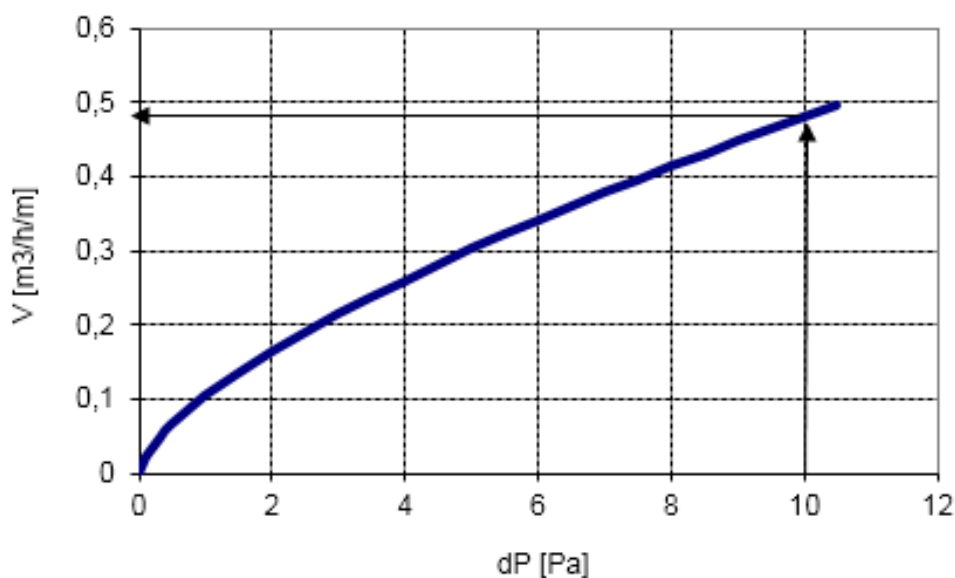
7.2. Elementy nawiewne systemu wentylacji

Przyjęto nawiew powietrza przy pomocy nawiewników zlokalizowanych w górnej krawędzi ramy okiennej. Założono jeden nawiewnik dla każdego pokoju (z wyjątkiem pokoju dziennego gdzie umieszczone są 2 nawiewniki) oraz kuchni. Nawiewniki mają charakterystykę zapewniającą przepływ 30 m³/h przy różnicy ciśnienia 10 Pa, [10]. Dla innych warunków strumień powietrza jest zgodny z poniższą charakterystyką:



Rys. 12. Charakterystyka nawiewnika powietrza dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej

Powietrze w ograniczonym zakresie może również przepływać przez szczeliny okienne charakteryzujące się przepływem $0,48 \text{ m}^3/\text{h}$ na 1 m długości przy różnicy ciśnienia 10 Pa , [11] – klasa 3 przepuszczalności powietrznej wg PN-EN 12207:2001, [7]. Dla innych warunków strumień powietrza jest zgodny z poniższą charakterystyką:

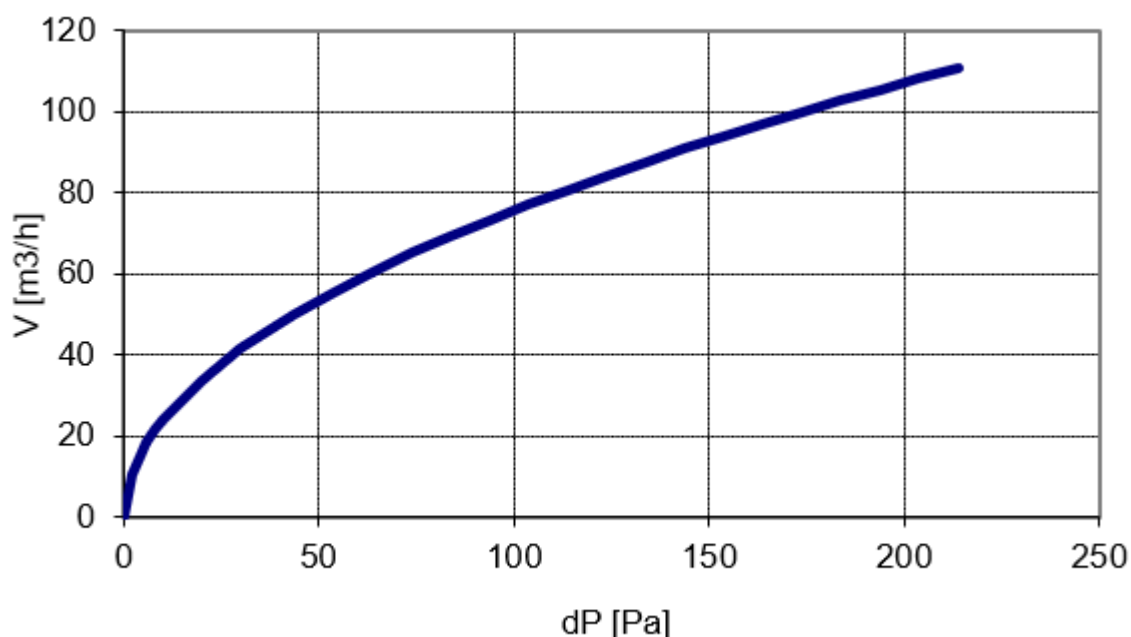


Rys. 13. Charakterystyka szczeliny okiennej dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej

7.3. Elementy wywiewne systemu wentylacji

W pomieszczeniach, z których należy usuwać powietrze znajdują się zawory wywiewne o charakterystyce jak na poniższym rysunku:

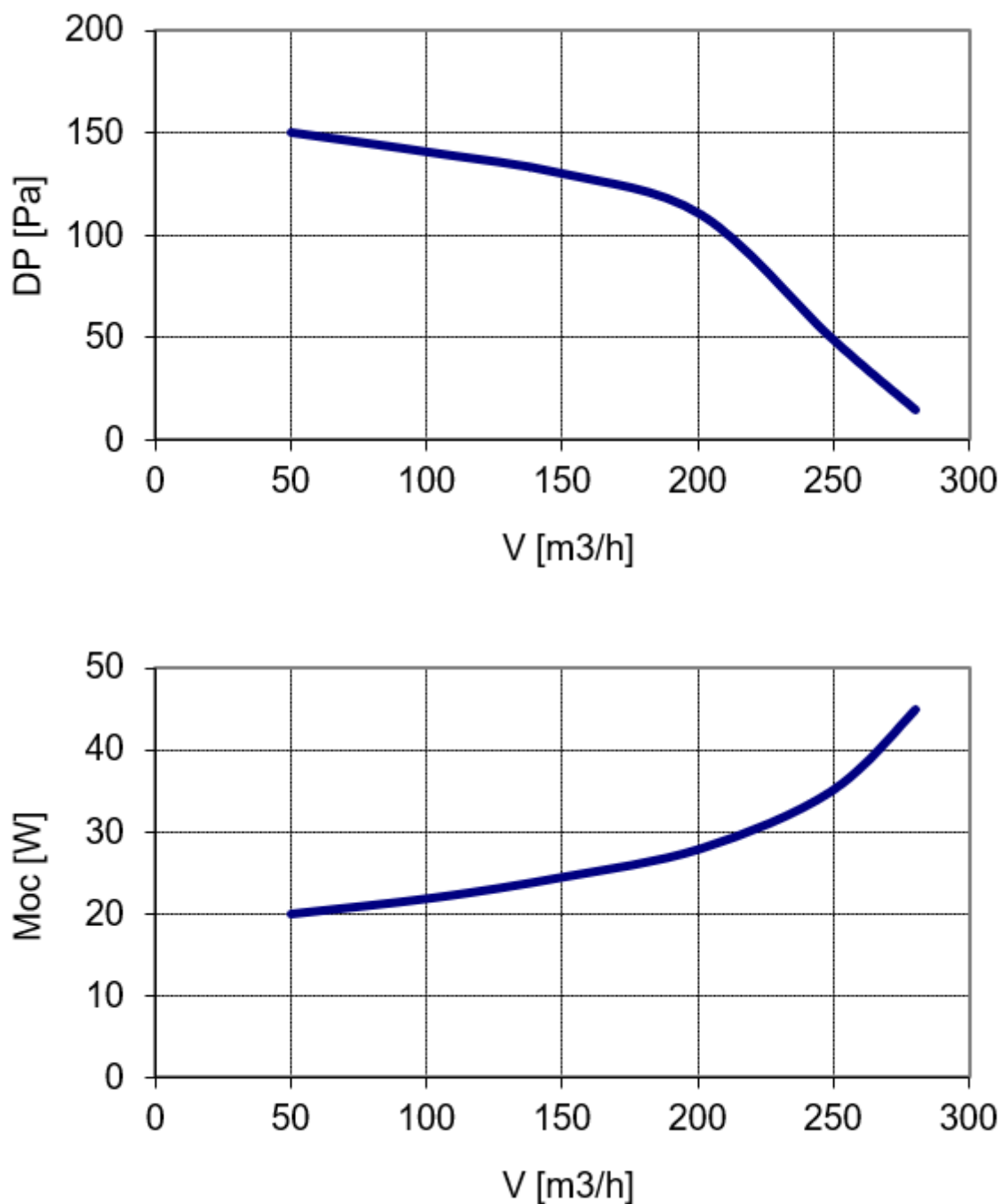




Rys. 14. Charakterystyka zaworu wywiewnego dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej

Poprzez zawór powietrze wpływa do sieci kanałów wentylacji wywiewnej wykonanej z przewodów blaszanych okrągłych typu „spiro” o średnicy 100 mm. Przewody prowadzone są pionowo na poddasze, gdzie znajduje się komora wyrównawcza. Instalacja została wyrównana przy pomocy przepustnic umieszczonych na poszczególnych przewodach. Powietrze usuwane jest na zewnątrz przy pomocy wentylatora promieniowego zlokalizowanego także na poddaszu. Charakterystykę wentylatora przedstawia rys. 15.

Suma oporów miejscowych wyrzutni 1,5; opory liniowe wszystkich kanałów wynikają z chropowatości ścianek wynoszącej 0,09 mm. Wlot kanału usytuowany jest 10 cm poniżej sufitu, a wylot 56 cm ponad dachem. Wylot umieszczony jest tak, aby niezależnie od kierunku wiatru zawsze ciśnienie dynamiczne powodowało zasysanie powietrza z kanału. Współczynnik konwersji ciśnienia dynamicznego przyjęto jako równy - 0,45.



Rys. 15. Charakterystyki wentylatora wywiewnego dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej

W budynku powietrze może swobodnie przepływać poprzez otwarte drzwi z pokoi do korytarza a następnie kratki o przekroju 220 cm^2 w drzwiach do łazienek i garderoby. Założono brak otwierania okien, a obliczenia przeprowadzono tylko dla sezonu ogrzewczego – średnia dobowa temperatura powietrza zewnętrznego poniżej 12°C .

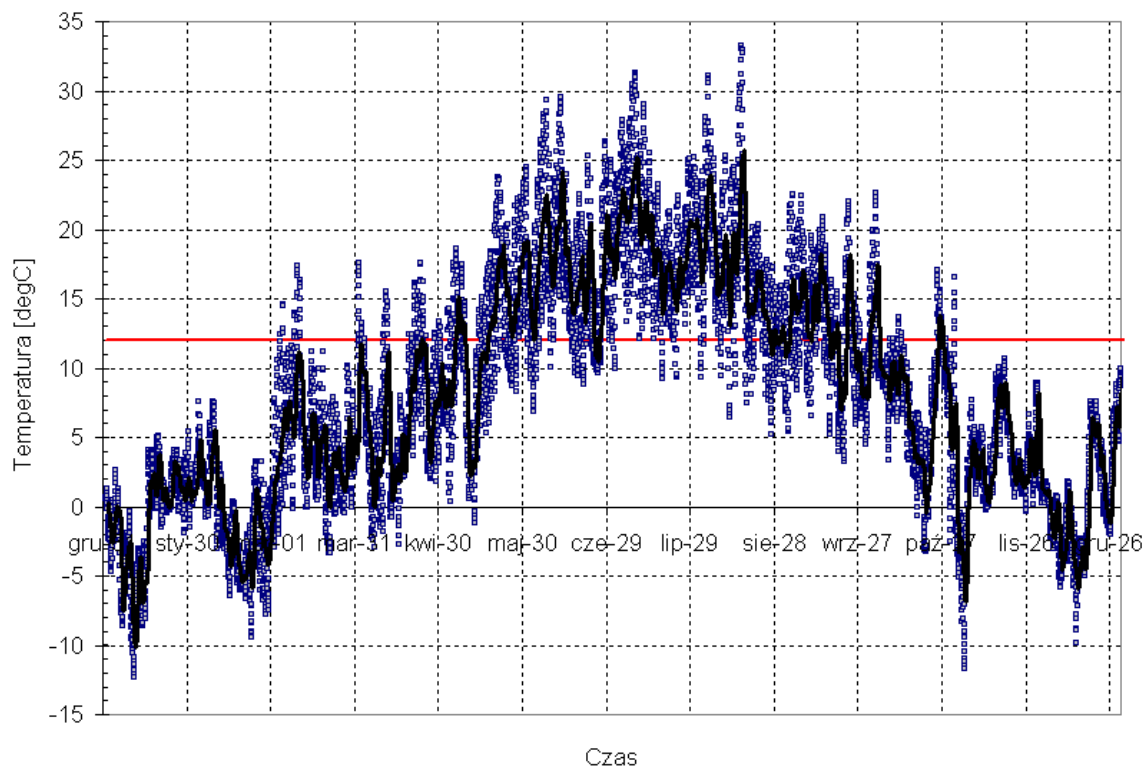
Część II Obliczenie zużycia energii

8. Dane meteorologiczne

Analizę zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia budynku przeprowadzono z krokiem czasowym równym jednej godzinie 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 wg normy PN-EN ISO 15927-4:2007, [9].

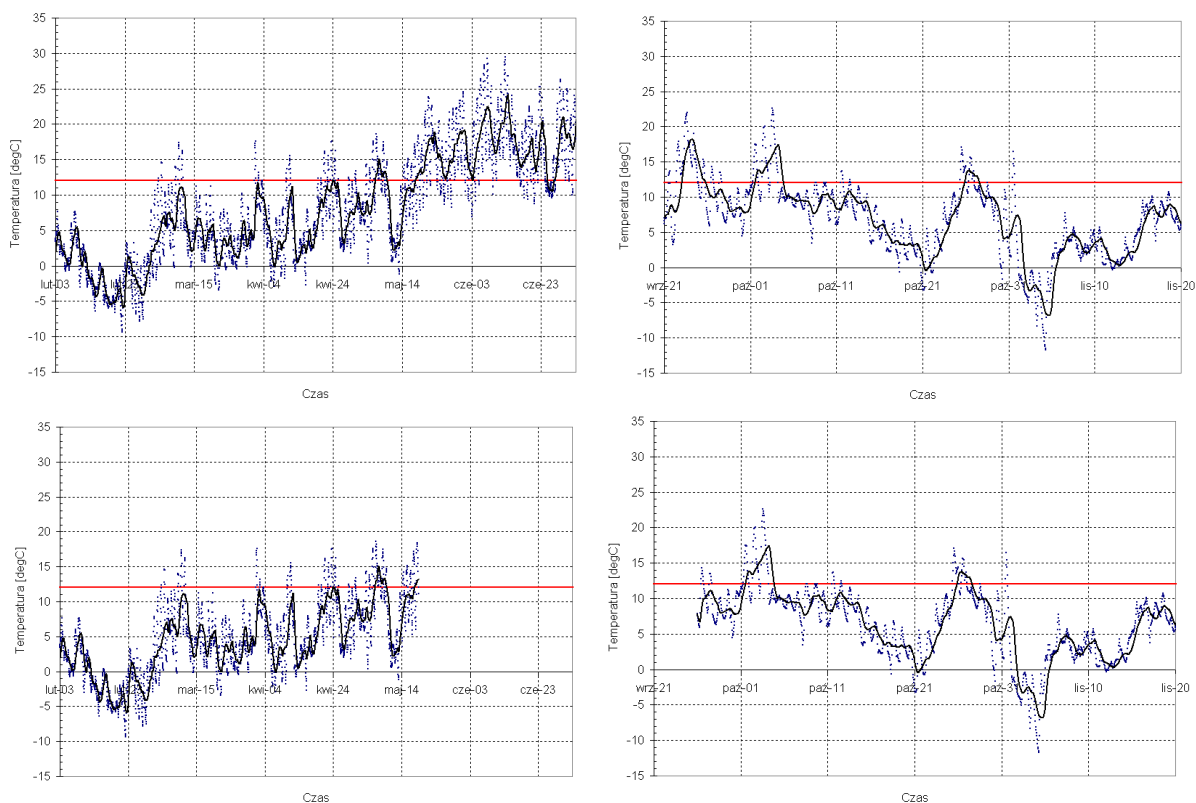
Typowy rok meteorologiczny ISO dla obliczeń energetycznych został opracowany przez International Organization for Standardization i przyjęty przez CEN jako norma EN ISO 15927-4, [9]. Roczny ciąg danych pogodowych dla obliczeń energetycznych tworzony jest z 12 miesięcy wybranych z okresu minimum 10 lat obserwacji meteorologicznych dla danej lokalizacji. Wybór miesiąca przeprowadza się poprzez wyznaczenie z wielolecia trzech miesięcy, dla których suma statystyk Finkelsteina-Schafera dla natężenia całkowitego promieniowania słonecznego, temperatury termometru suchego i wilgotności względnej jest najmniejsza. Spośród tych trzech miesięcy jako najlepszy wybiera się ten, dla którego odchylenie średniej prędkości wiatru od miesięcznej średniej wieloletniej jest najmniejsze. Dane typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy dostępne są na stronie internetowej archiwum Ministerstwa Inwestycji i Rozwoju pod adresem: <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>.

Na rysunkach poniżej przedstawiono wykres zmian temperatury powietrza wg termometru suchego dla Warszawy oraz przebieg rocznej zmienności całkowitego natężenia promieniowania słonecznego. Wybrane parametry meteorologiczne mają podstawowy wpływ na obliczenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia budynków i dlatego zostały przedstawione na rysunkach. Pozostałe parametry meteorologiczne takie jak prędkość i kierunek wiatru, wilgotność powietrza, czy temperatura niebosłonu również mają wpływ na zużycie energii przez budynki i zostały uwzględnione w obliczeniach energetycznych i/lub symulacji przepływów powietrza.



Rys. 16. Przebieg zmienności temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy

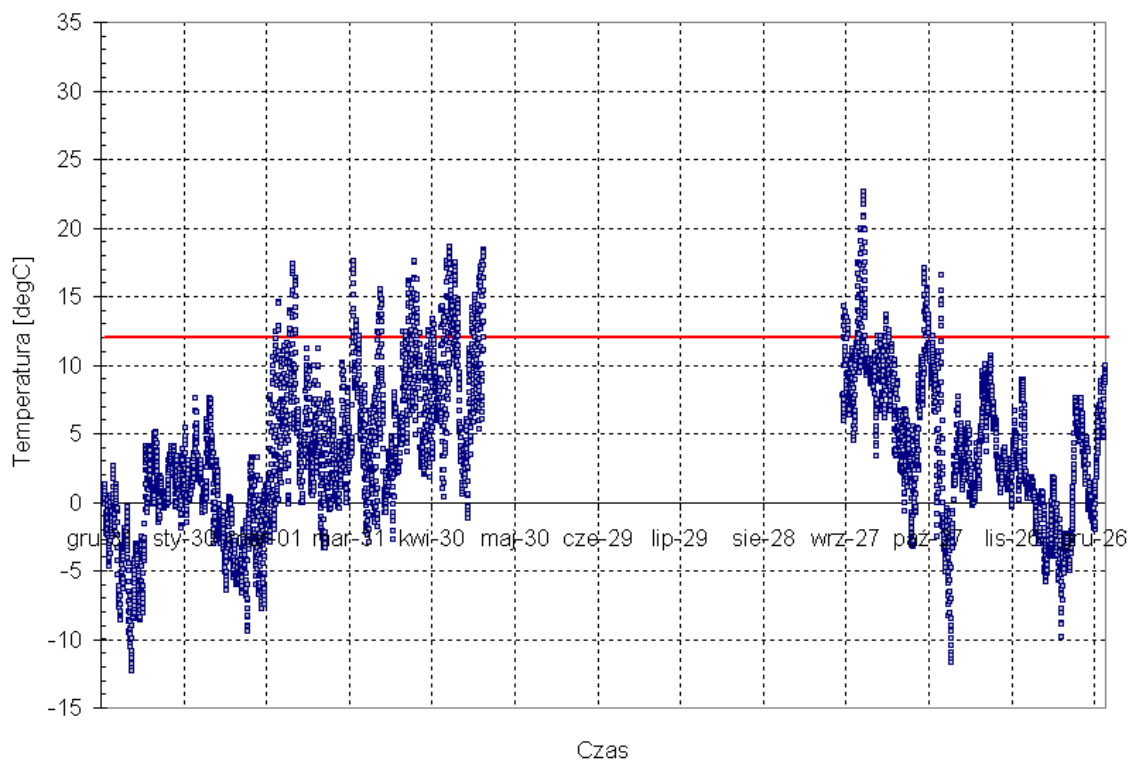
Obliczenia przeprowadzono jedynie dla okresu sezonu ogrzewczego. Założono początek i koniec sezonu ogrzewczego wynikający z wartości temperatury średnio dobowej przekraczającej 12°C. Ilustrację wyboru początku i końca sezonu ogrzewczego przedstawiono na poniższych wykresach.



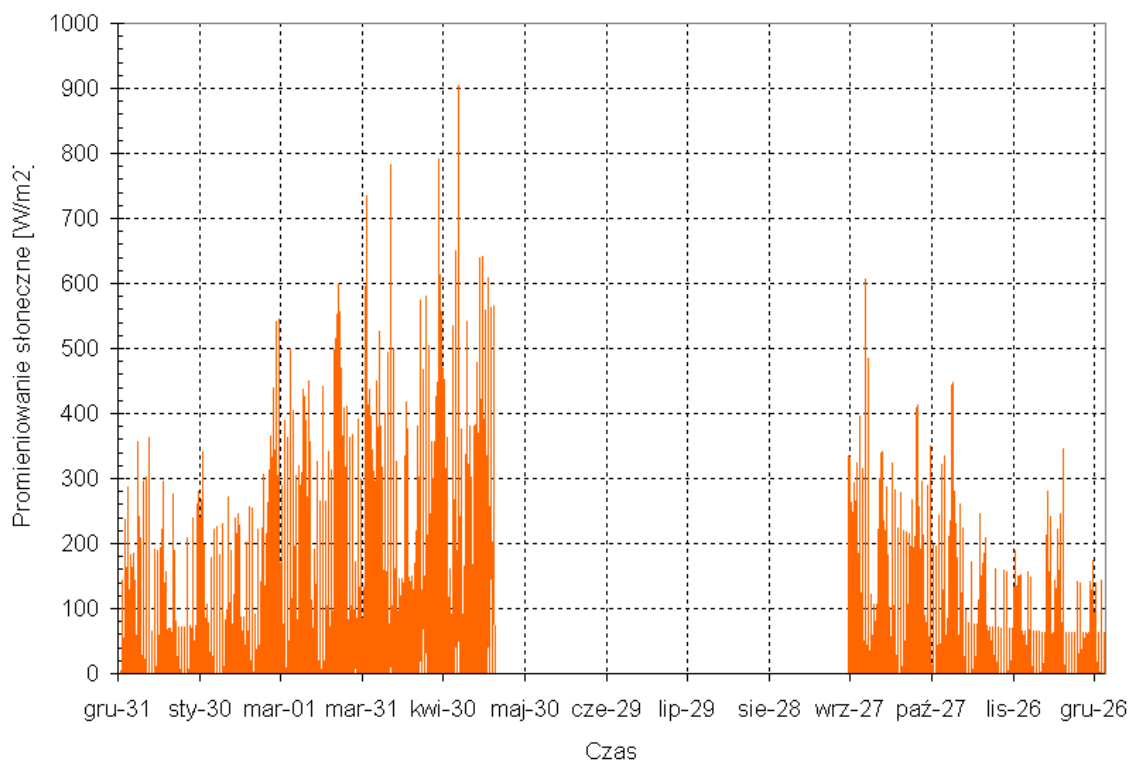
Rys. 17. Ilustracja wyboru początku i końca sezonu ogrzewczego



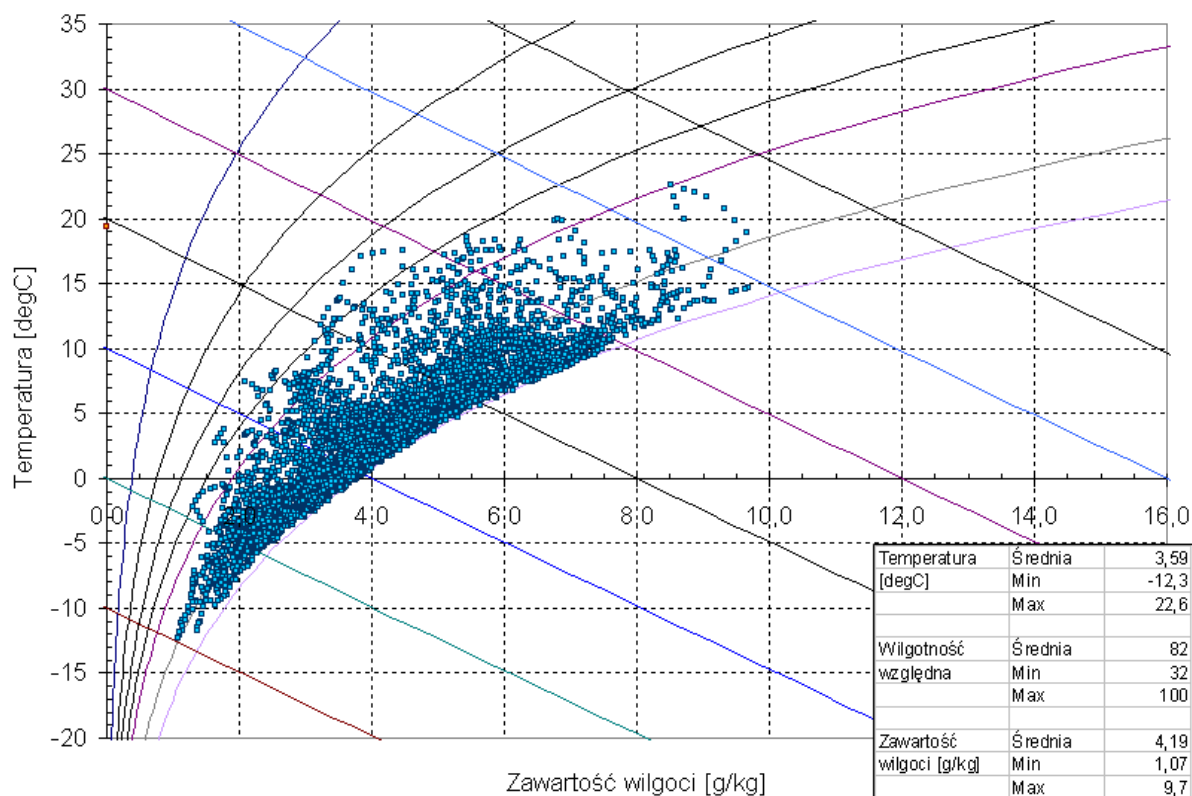
Wybrany w ten sposób okres sezonu ogrzewczego charakteryzuje się liczbą stopniodni wynoszącą 3855 °C·dzień, wobec 3885 °C·dzień liczby stopniodni dla Warszawy według popularnej normy PN-B-02025 [6].



Rys. 18. Przebieg zmienności temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy przyjętego do analiz energetycznych i symulacji przepływów powietrza



Rys. 19. Przebieg zmienności całkowitego natężenia promieniowania słonecznego typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy przyjętego do analiz energetycznych

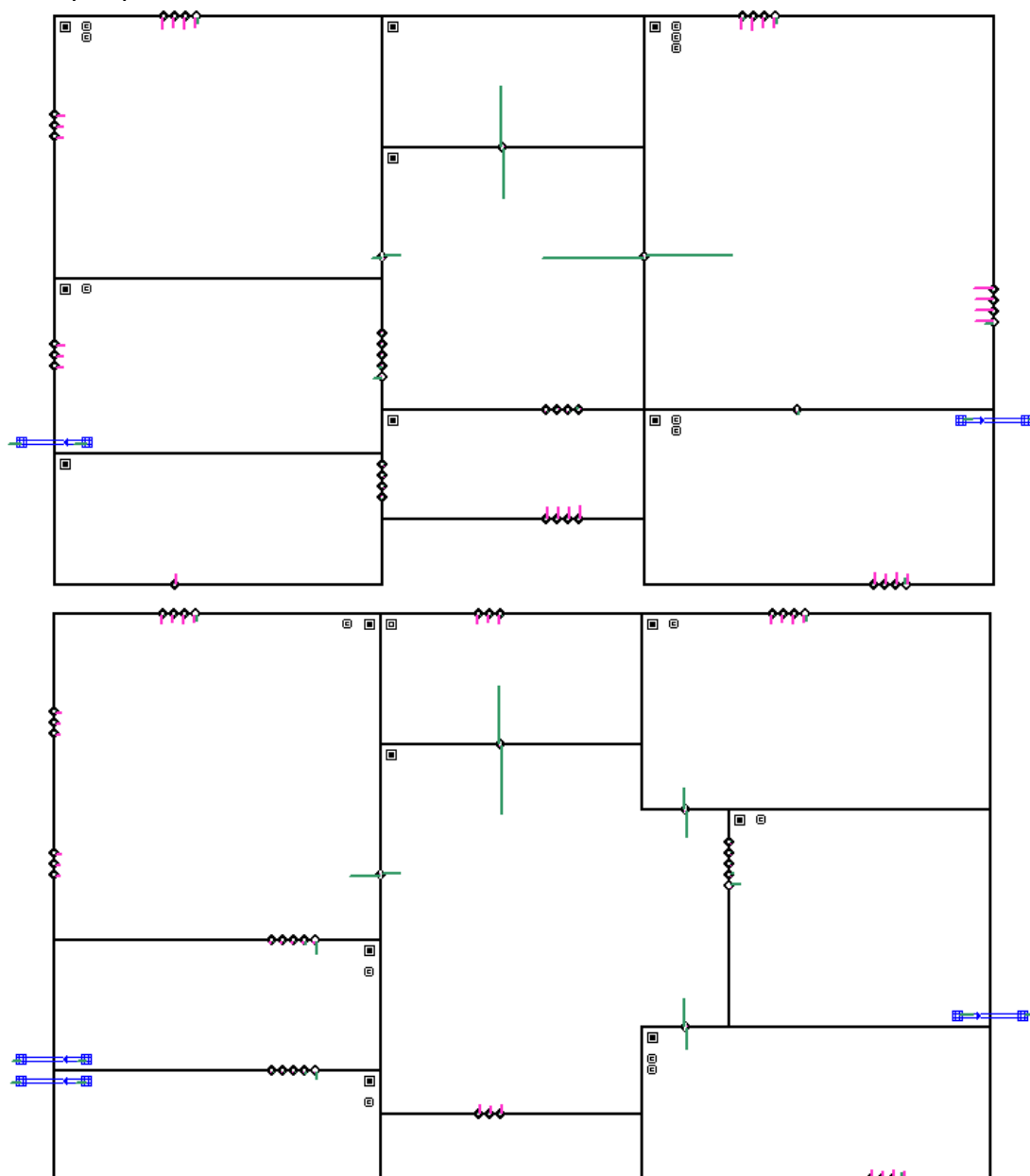


Rys. 20. Ilustracja parametrów psychrometrycznych powietrza zewnętrznego typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy przyjętego do analiz energetycznych i przepływu powietrza.

Uwaga: Typowy rok meteorologiczny stosowany do wyznaczania rocznego zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia budynków nie zawiera wartości ekstremalnych używanych do projektowania instalacji ogrzewczych i wentylacyjnych. Zmienności parametrów meteorologicznych typowego roku meteorologicznego są najbardziej zbliżone do zmienności tych parametrów w wieloleciu. Z tego powodu w przebiegu zmienności temperatury powietrza zewnętrznego nie ma ekstremalnych i obliczeniowych wartości temperatury powietrza dla zimy na poziomie -20°C .

9. Obliczenie strumieni powietrza wentylacyjnego dla referencyjnego systemu wentylacji grawitacyjnej

Obliczenia strumienia powietrza przeprowadzone zostały zgodnie z danymi dla budynku referencyjnego NAPE i referencyjnej wentylacji grawitacyjnej w programie CONTAM, [13] (opis programu <https://www.nist.gov/el/energy-and-environment-division-73200/nist-multizone-modeling/software/contam>) w modelu wielostrefowym (jedno pomieszczenie odpowiada jednej strefie). Ilustrację odwzorowania parteru i pierwszego piętra budynku w programie CONTAM przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 21. Ilustracja opisu parteru i pierwszego piętra referencyjnego budynku jednorodzinnego NAPE wyposażonego w referencyjny system wentylacji grawitacyjnej w programie CONTAM

W obliczeniach wykorzystano godzinowe dane pogodowe dla Warszawy do obliczeń energetycznych budynków (Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do

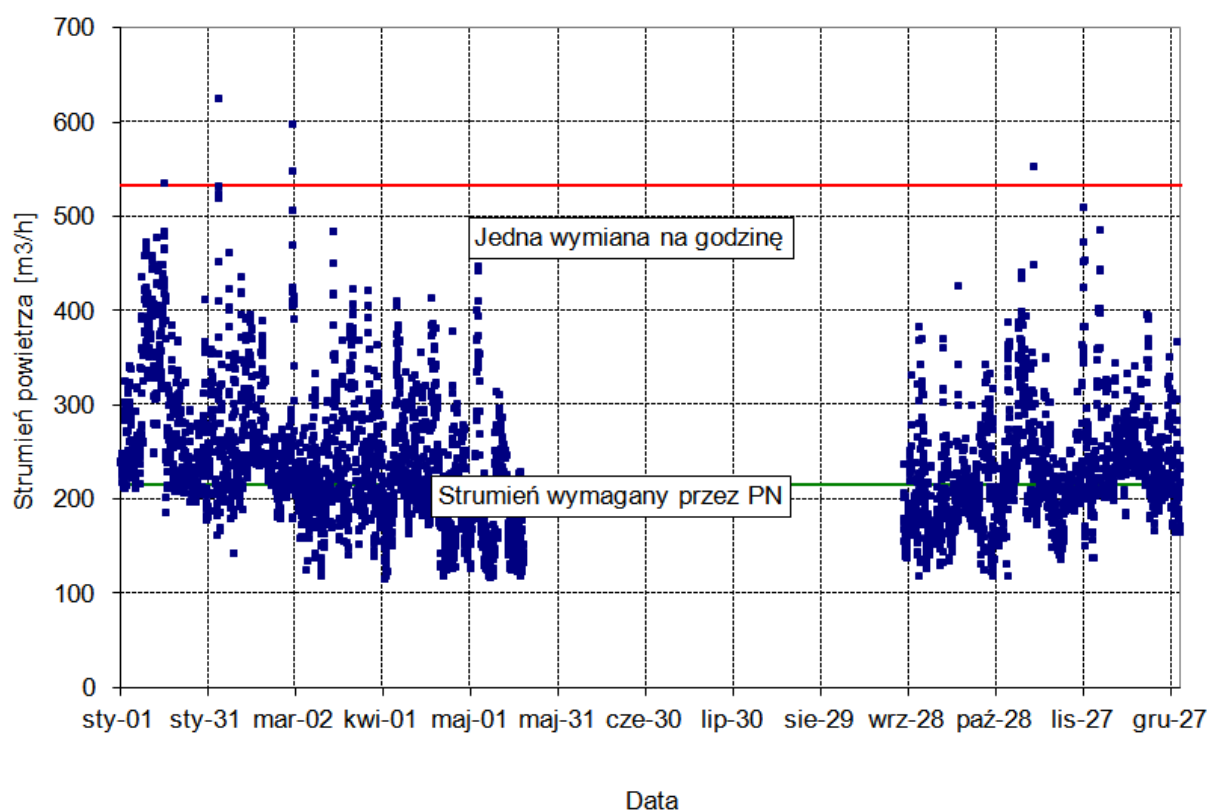
obliczeń energetycznych budynków: <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>. Obliczenia przeprowadzono dla danych od 1 stycznia do 18 maja i od 26 września do 31 grudnia.

Podstawowe wyniki obliczeń przedstawiono w poniższej tabeli.

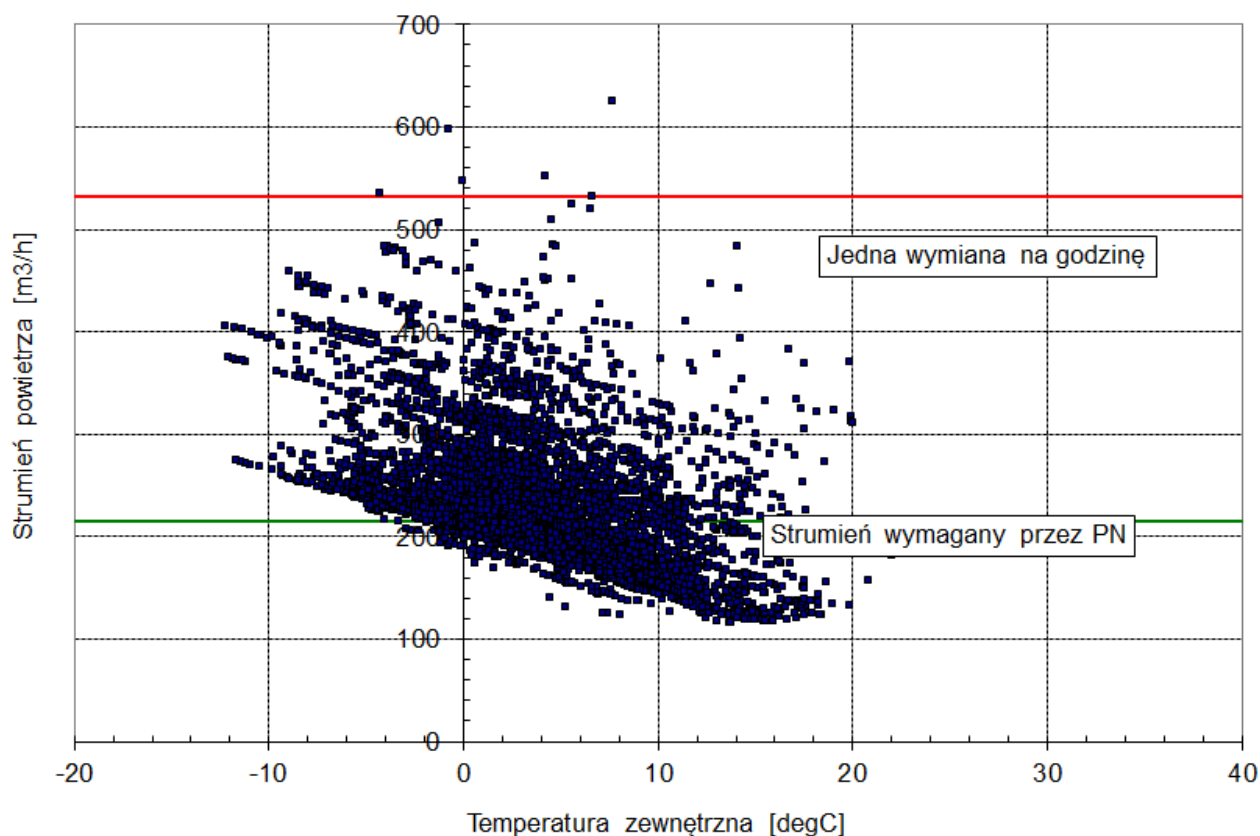
Tabela 11. Podstawowe wyniki obliczeń

	Strumień powietrza dla całego budynku	Strumień powietrza łazienka parter	Strumień powietrza garderoba	Strumień powietrza kuchnia	Strumień powietrza łazienka 1, piętro	Strumień powietrza łazienka 2, piętro
	m^3/h					
Średnia	238	46	33	61	56	43
Minimum	116	29	-23	29	34	-22
Maksimum	625	100	109	144	131	141
Odchylenie standardowe	64,8	8,1	14,8	13,5	11,4	17,9

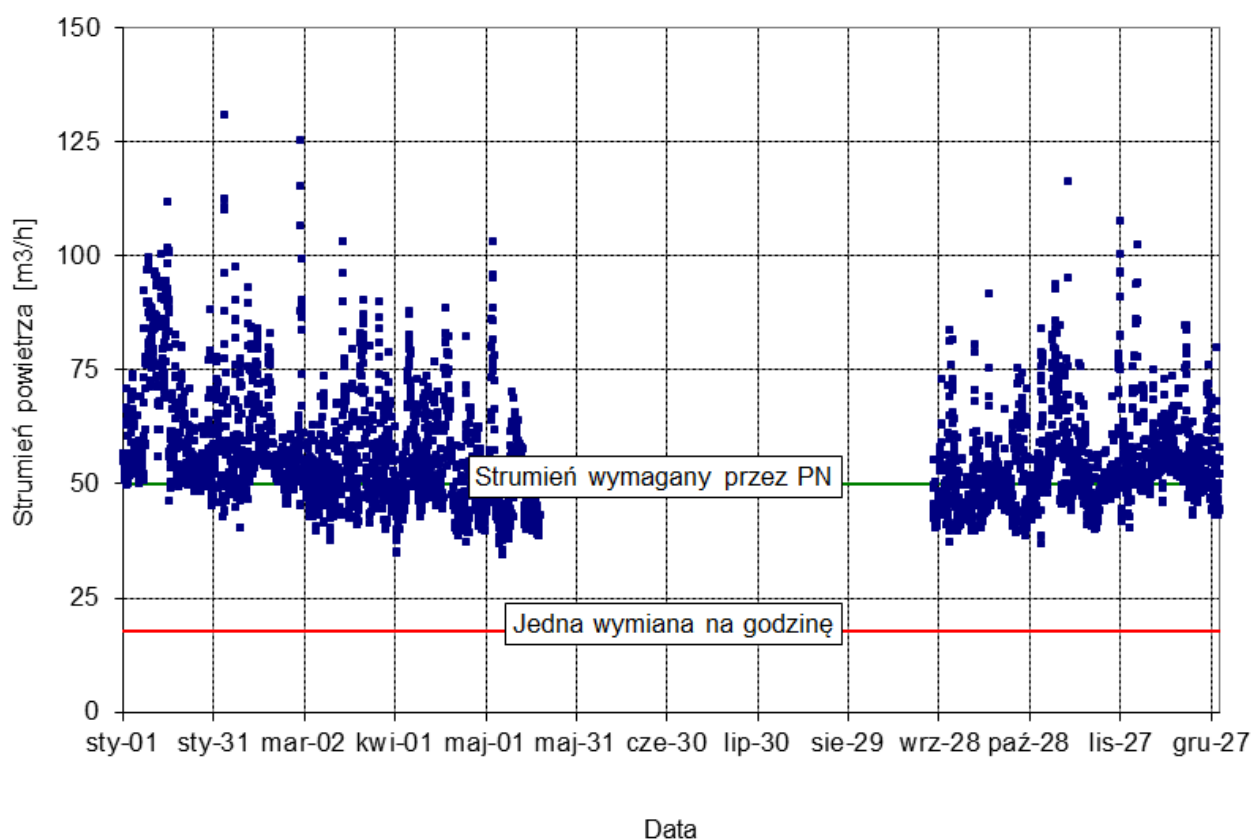
Dokładne wyniki obliczeń zilustrowano również na poniższych rysunkach.



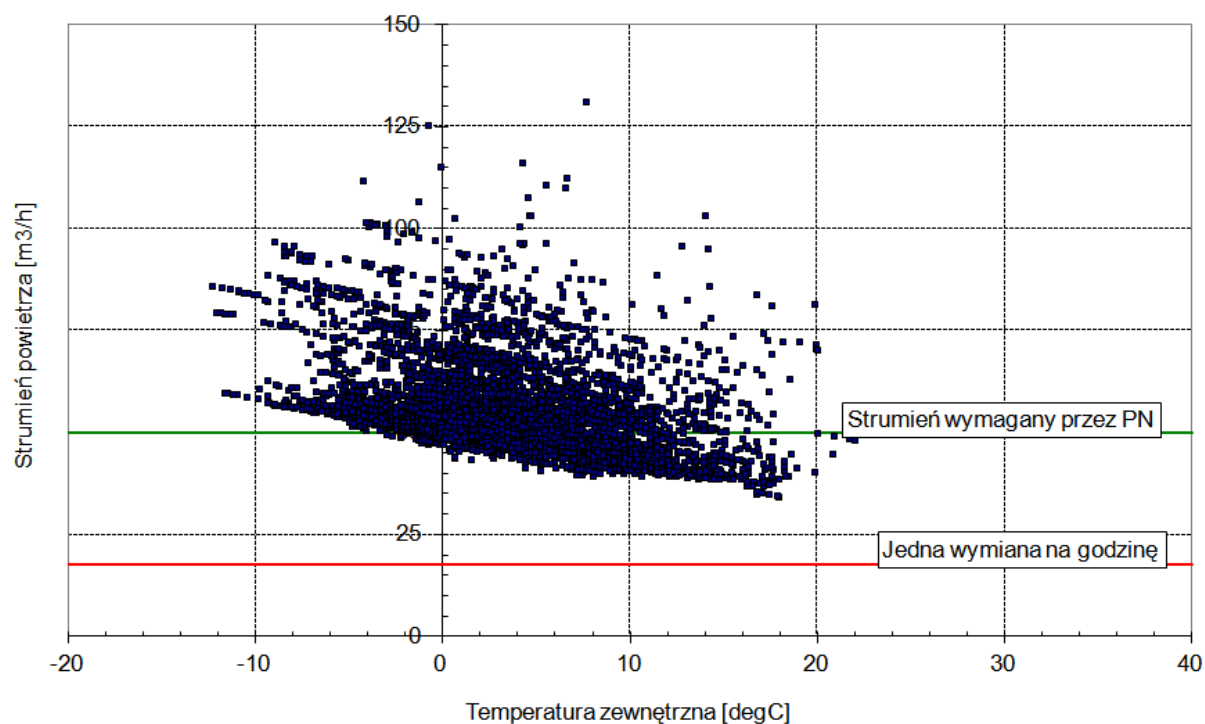
Rys. 22. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla budynku.



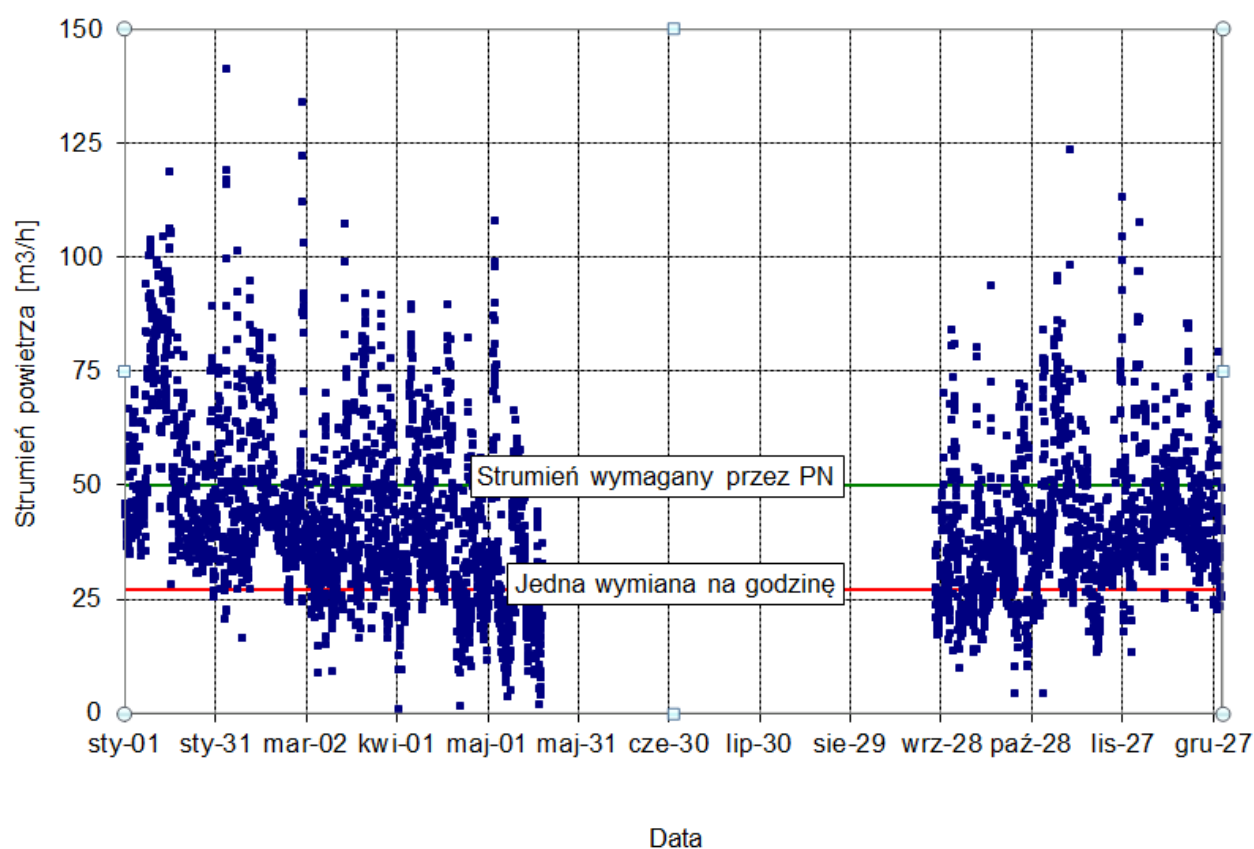
Rys. 23. Zależność strumienia powietrza dla budynku od temperatury powietrza zewnętrznego.



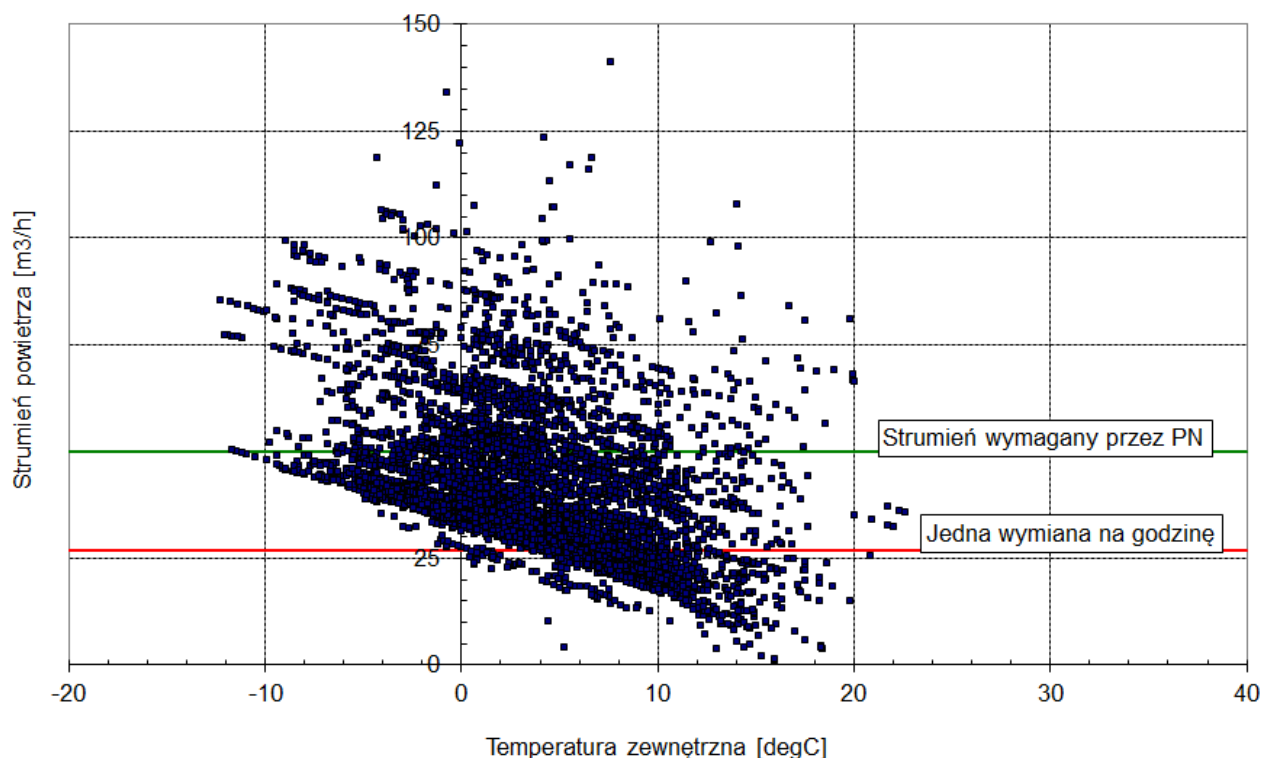
Rys. 24. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym w łazience na parterze.



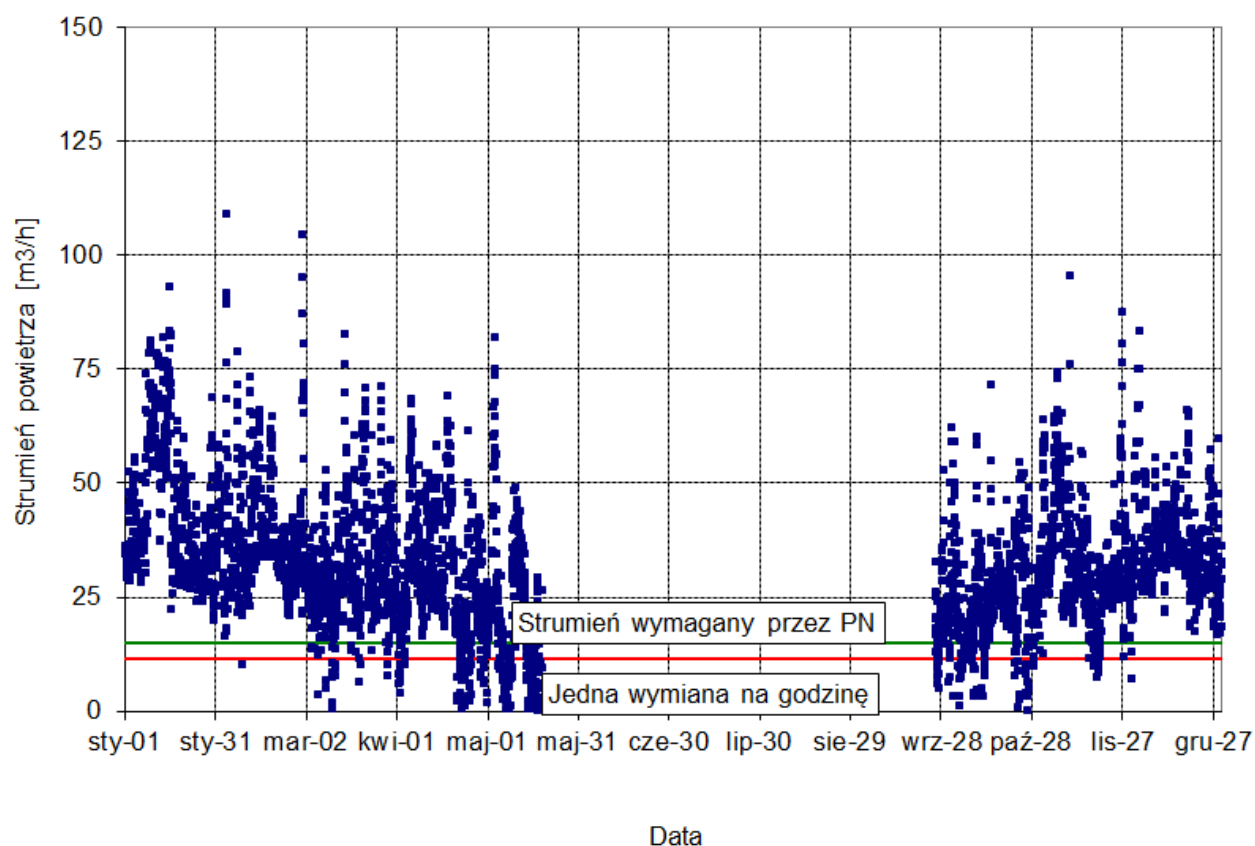
Rys. 25. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym w łazience na parterze od temperatury powietrza zewnętrznego.



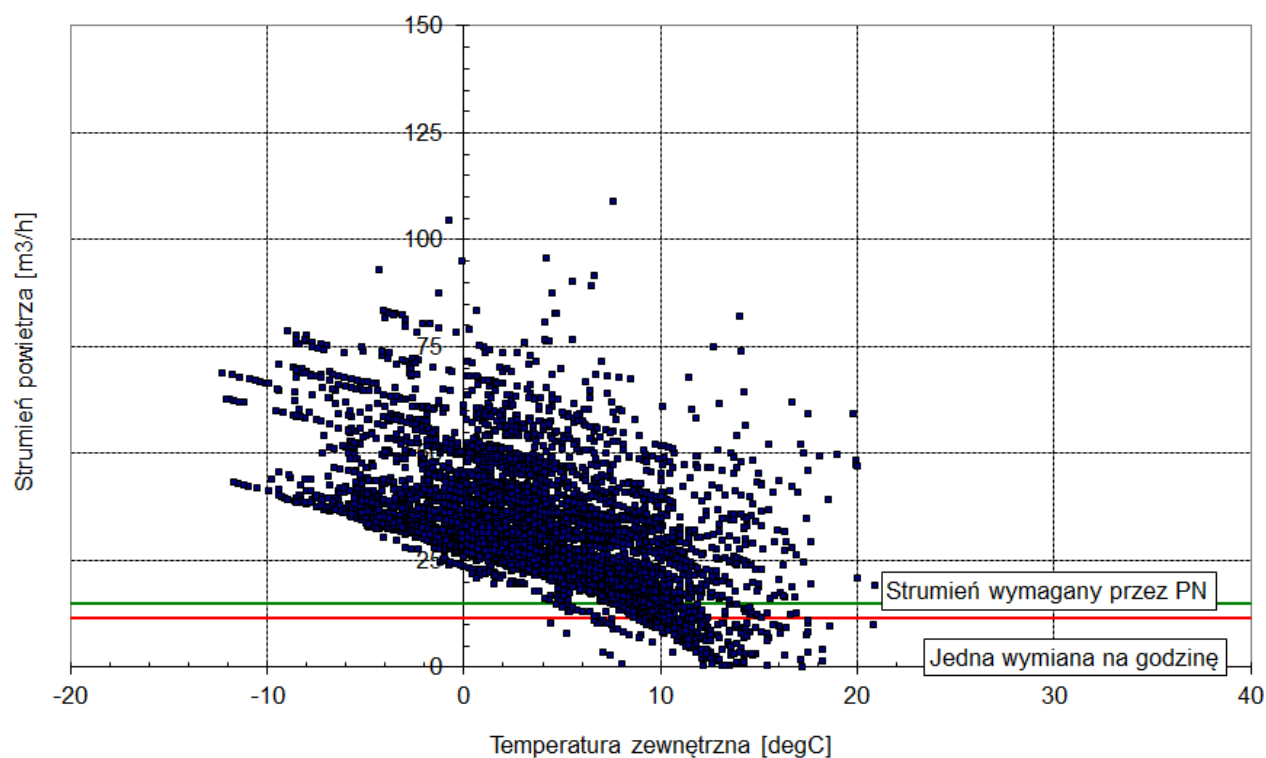
Rys. 26. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym w kuchni.



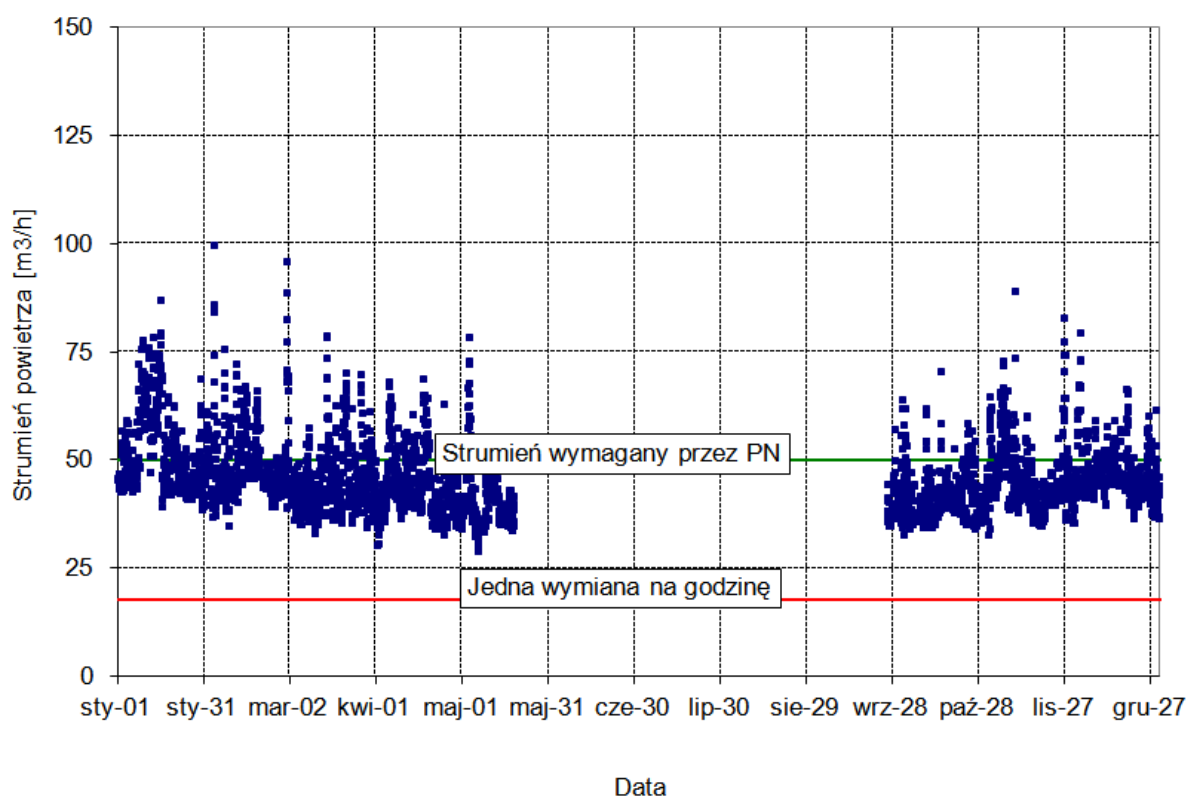
Rys. 27. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym w kuchni od temperatury powietrza zewnętrznego.



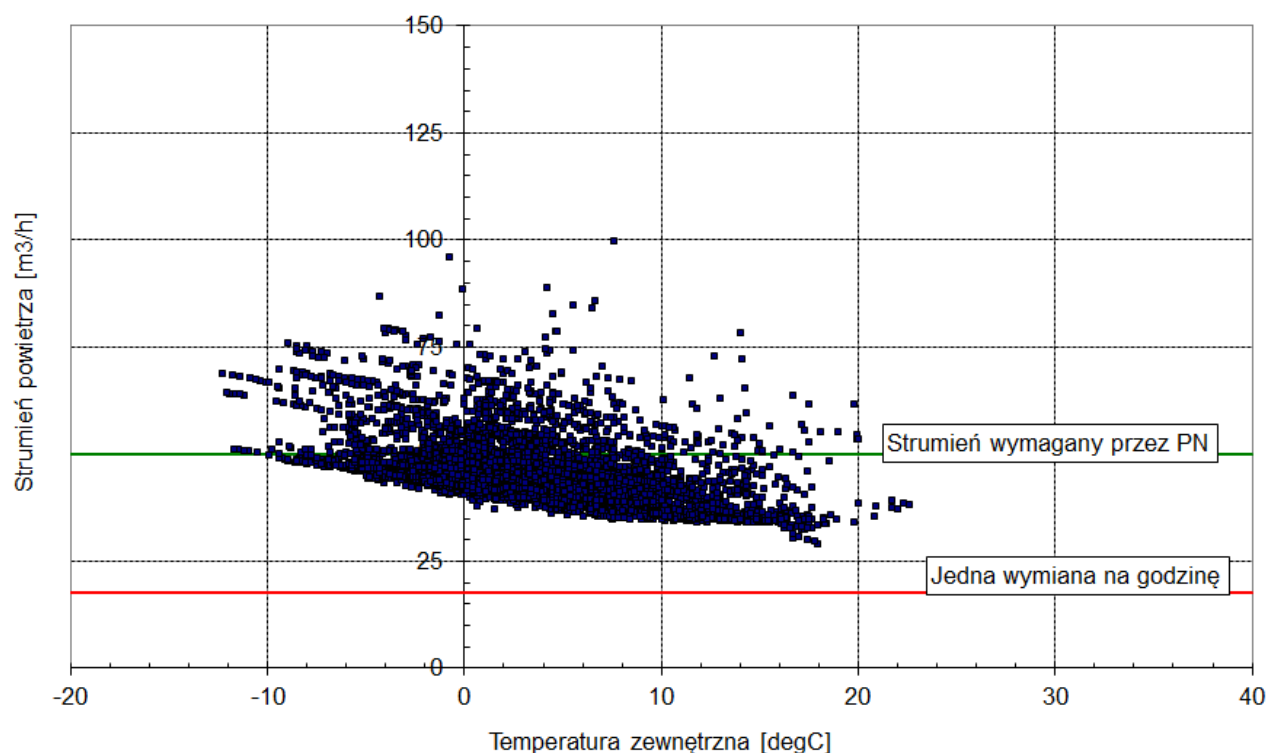
Rys. 28. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym w garderobie.



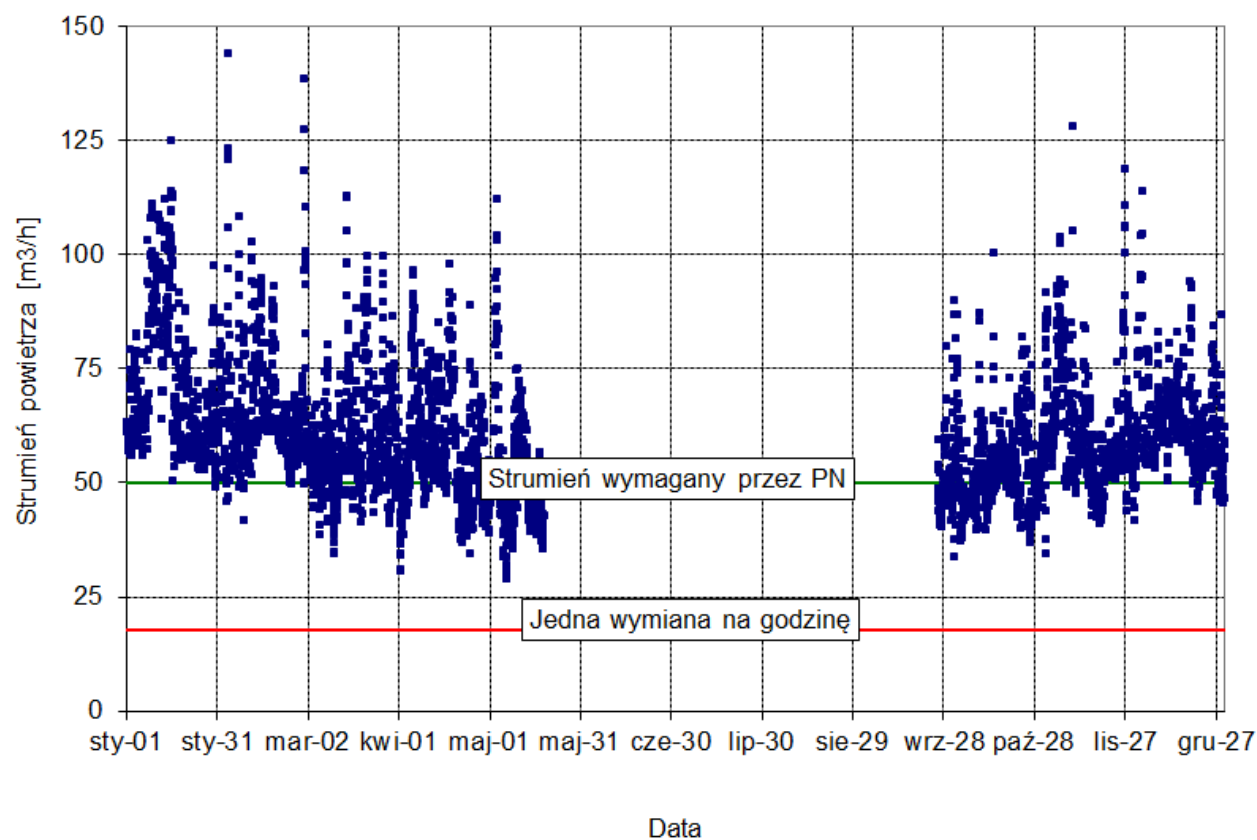
Rys. 29. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym w garderobie od temperatury powietrza zewnętrznego.



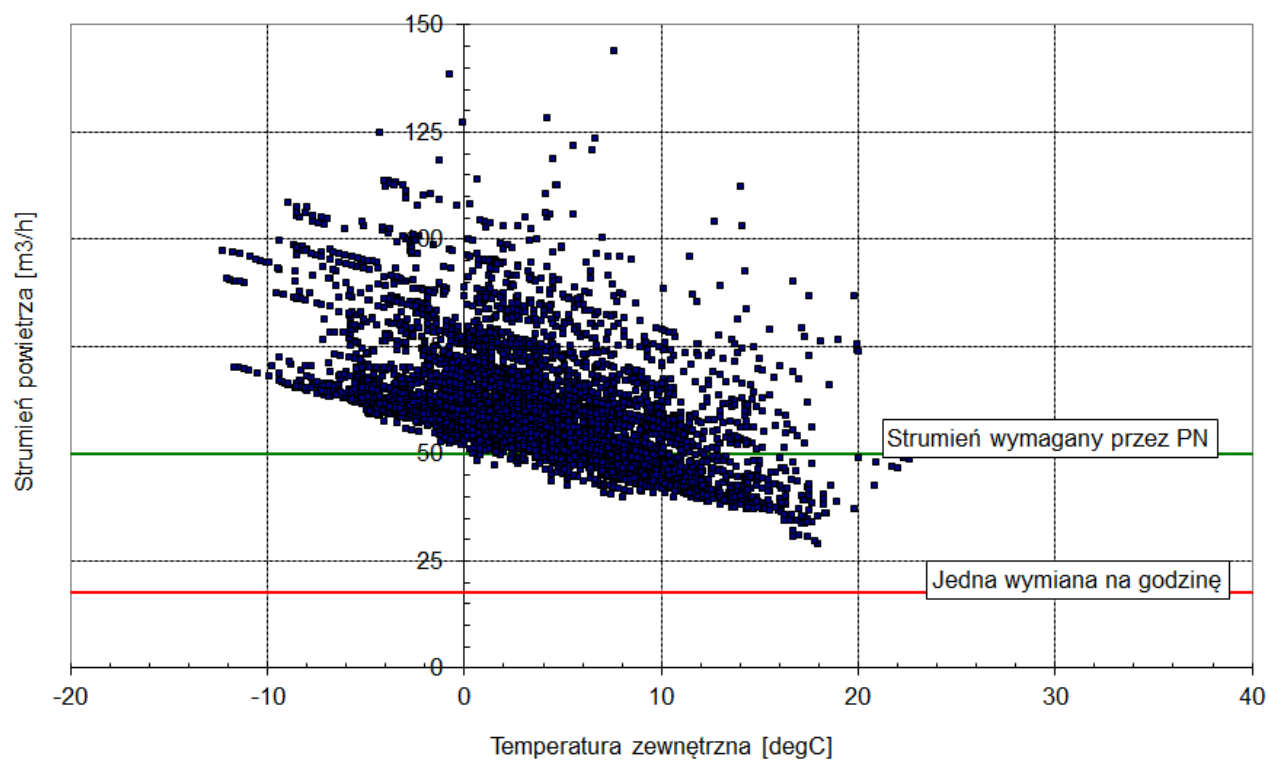
Rys. 30. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym dla łazienki 1 na piętrze.



Rys. 31. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym dla łazienki 1 na piętrze od temperatury powietrza zewnętrznego.



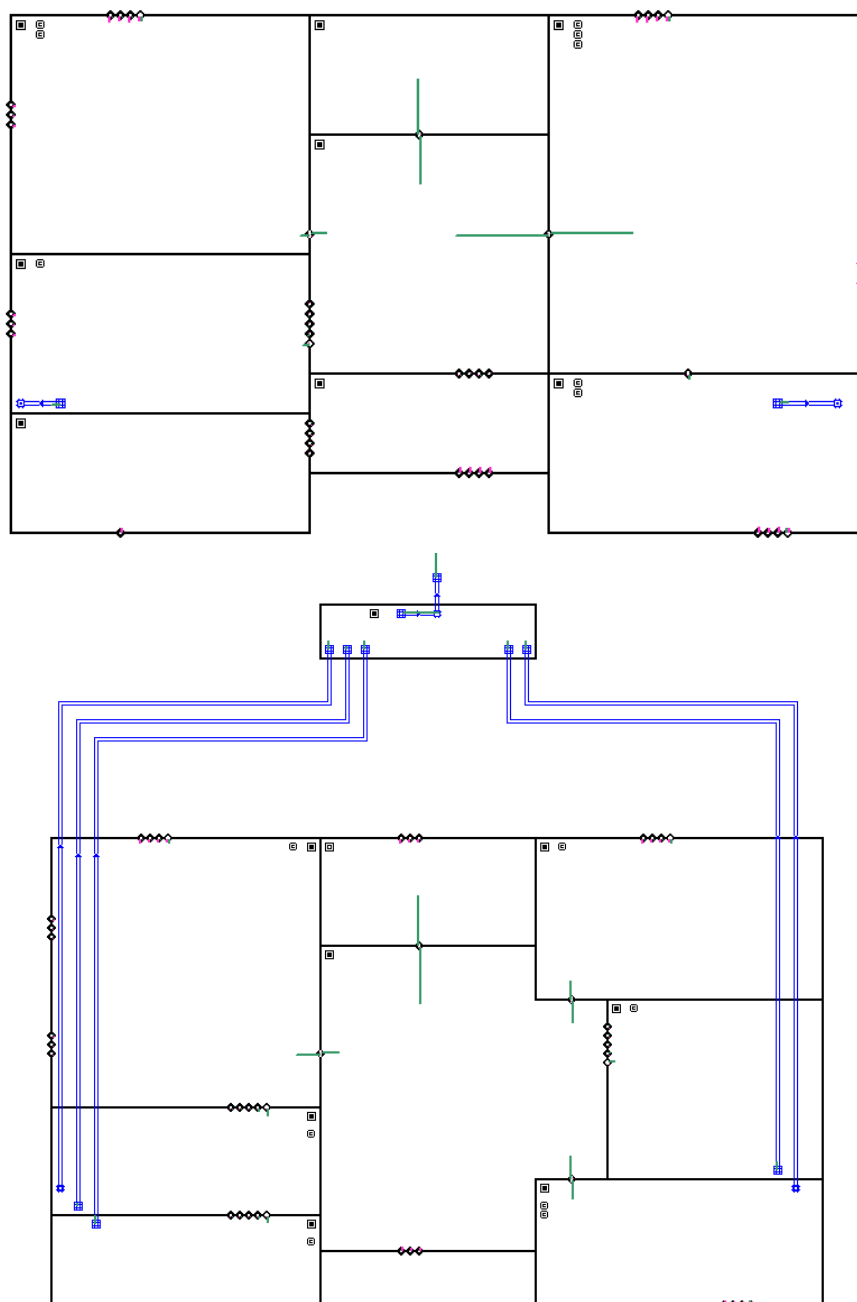
Rys. 32. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym w łazience 2 na piętrze.



Rys. 33. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym w łazience 2 na piętrze od temperatury powietrza zewnętrznego.

10. Obliczenie strumienia powietrza wentylacyjnego dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej

Obliczenia strumienia powietrza przeprowadzone zostały zgodnie z danymi dla budynku referencyjnego NAPE i referencyjnej wentylacji mechanicznej wywiewnej w programie CONTAM, [13] (opis programu <https://www.nist.gov/el/energy-and-environment-division-73200/nist-multizone-modeling/software/contam>) w modelu wielostrefowym (jedno pomieszczenie odpowiada jednej strefie). Ilustrację opisu pierwszej i ostatniej kondygnacji budynku w programie CONTAM przedstawiono na poniższym rysunku:



Rys. 34. Ilustracja opisu parteru i pierwszego piętra referencyjnego budynku jednorodzinnego NAPE wyposażonego w referencyjny system wentylacji mechanicznej wywiewnej w programie CONTAM

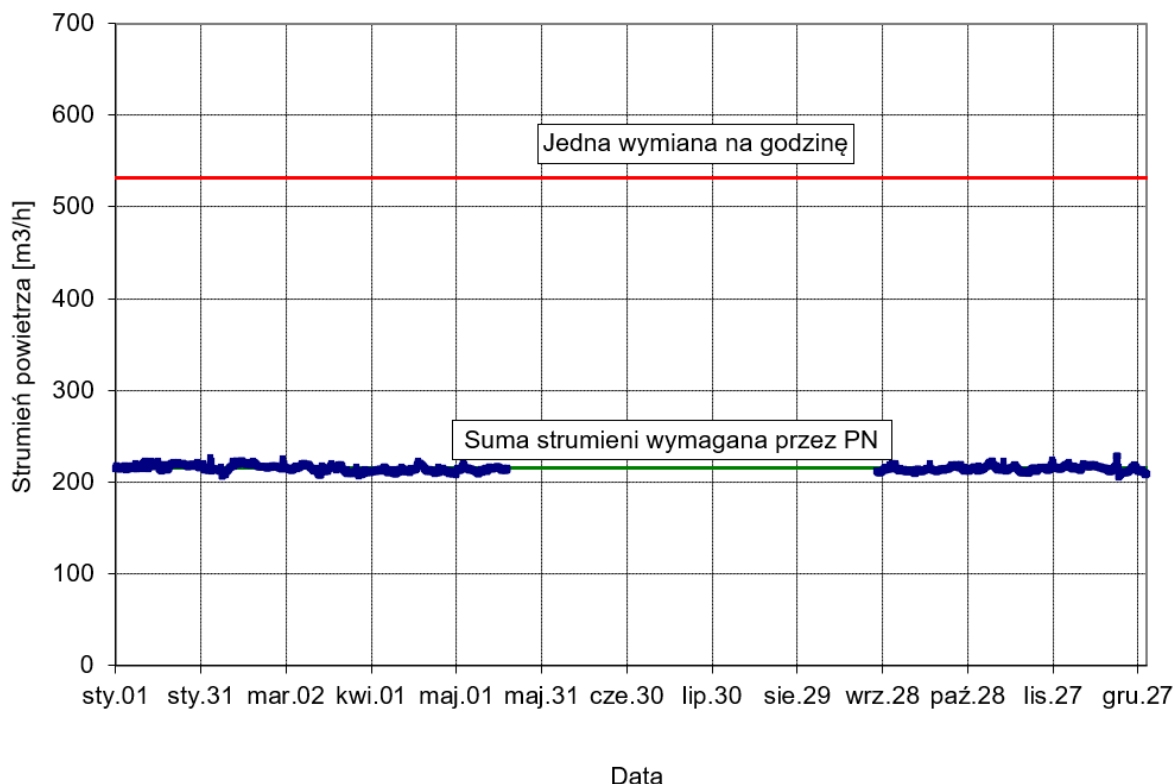
W obliczeniach wykorzystano godzinowe dane pogodowe dla Warszawy do obliczeń energetycznych budynków (Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków; <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>). Obliczenia przeprowadzono dla danych od 1 stycznia do 18 maja i od 26 września do 31 grudnia.

Podstawowe wyniki obliczeń przedstawiono w poniższej tabeli.

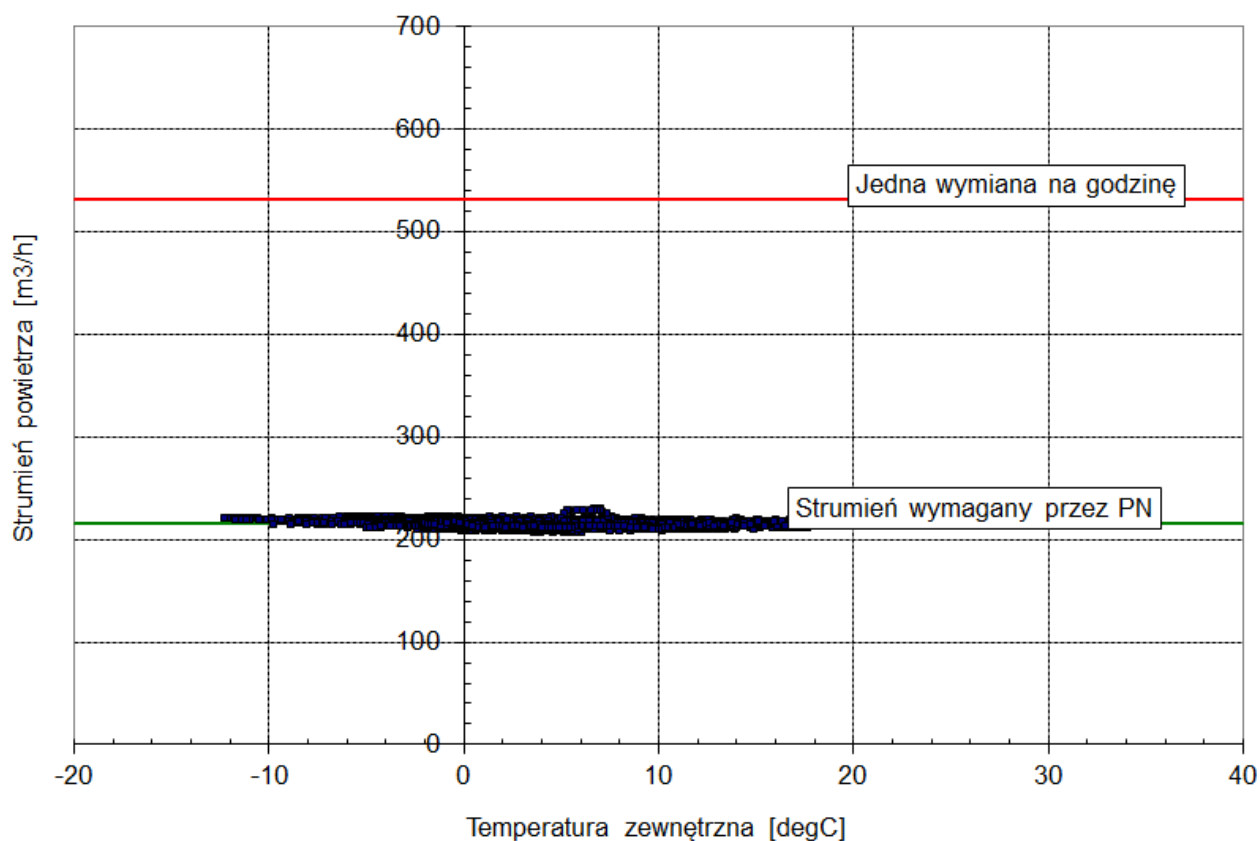
Tabela 12. Podstawowe wyniki obliczeń

	Strumień powietrza dla całego budynku	Strumień powietrza łazienka parter	Strumień powietrza garderoba	Strumień powietrza kuchnia	Strumień powietrza łazienka 1, piętro	Strumień powietrza łazienka 2, piętro
	m^3/h					
Średnia	215	50	15	50	50	50
Minimum	206	48	14	48	48	48
Maksimum	229	53	16	54	53	53
Odchylenie standard.	3,2	0,7	0,2	0,7	0,7	0,7

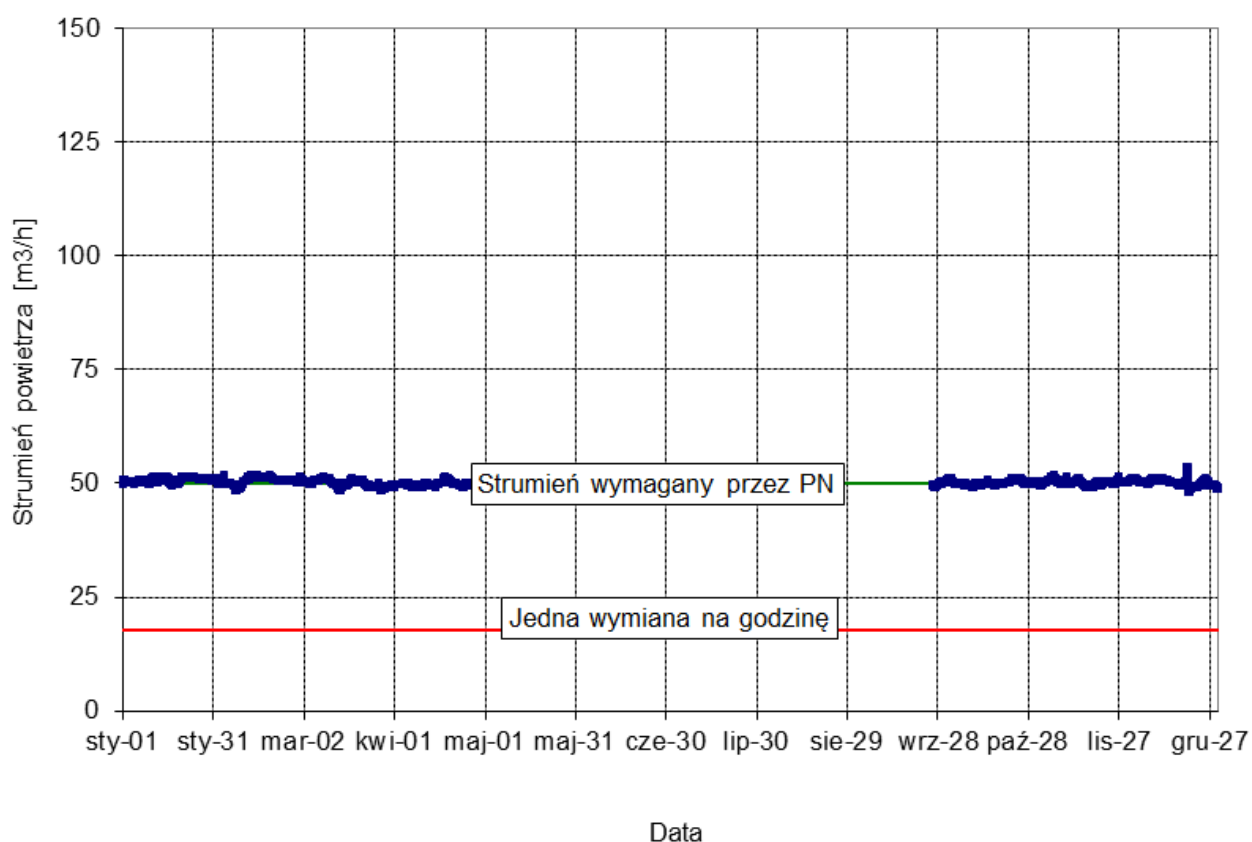
Dokładne wyniki obliczeń zilustrowano również na poniższych rysunkach.



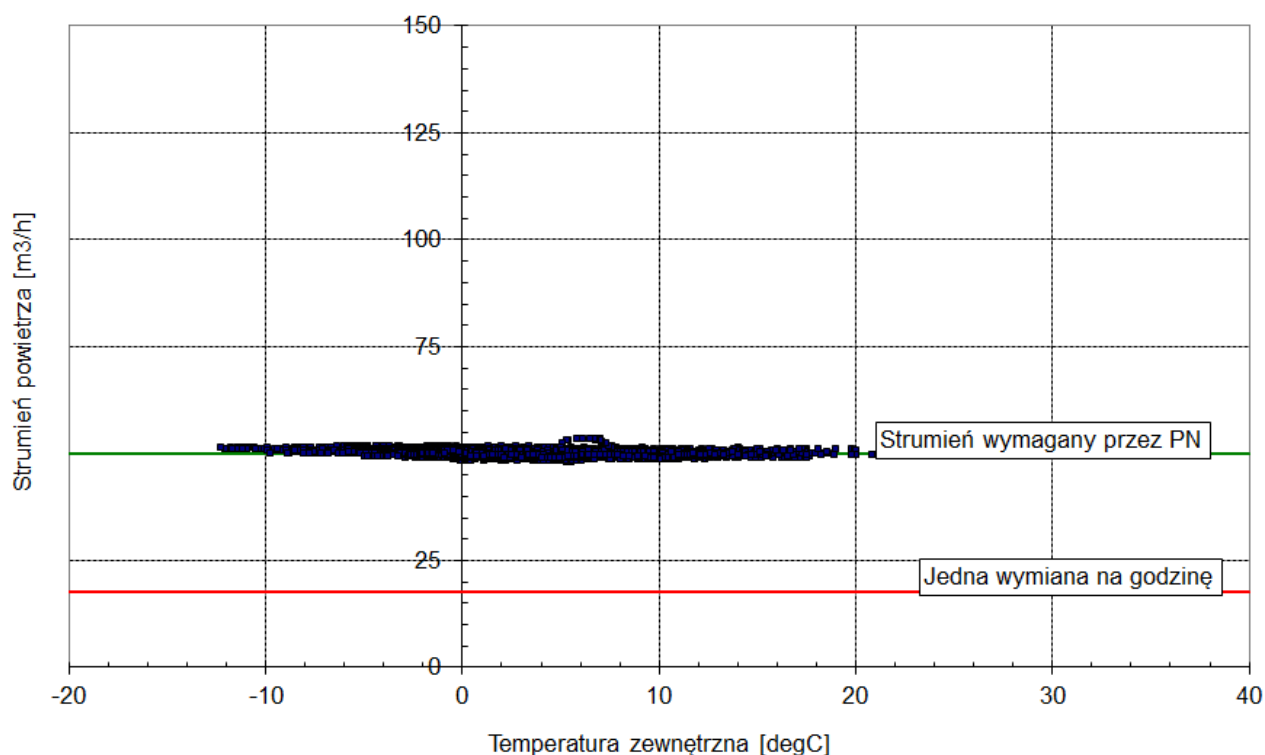
Rys. 35. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla budynku.



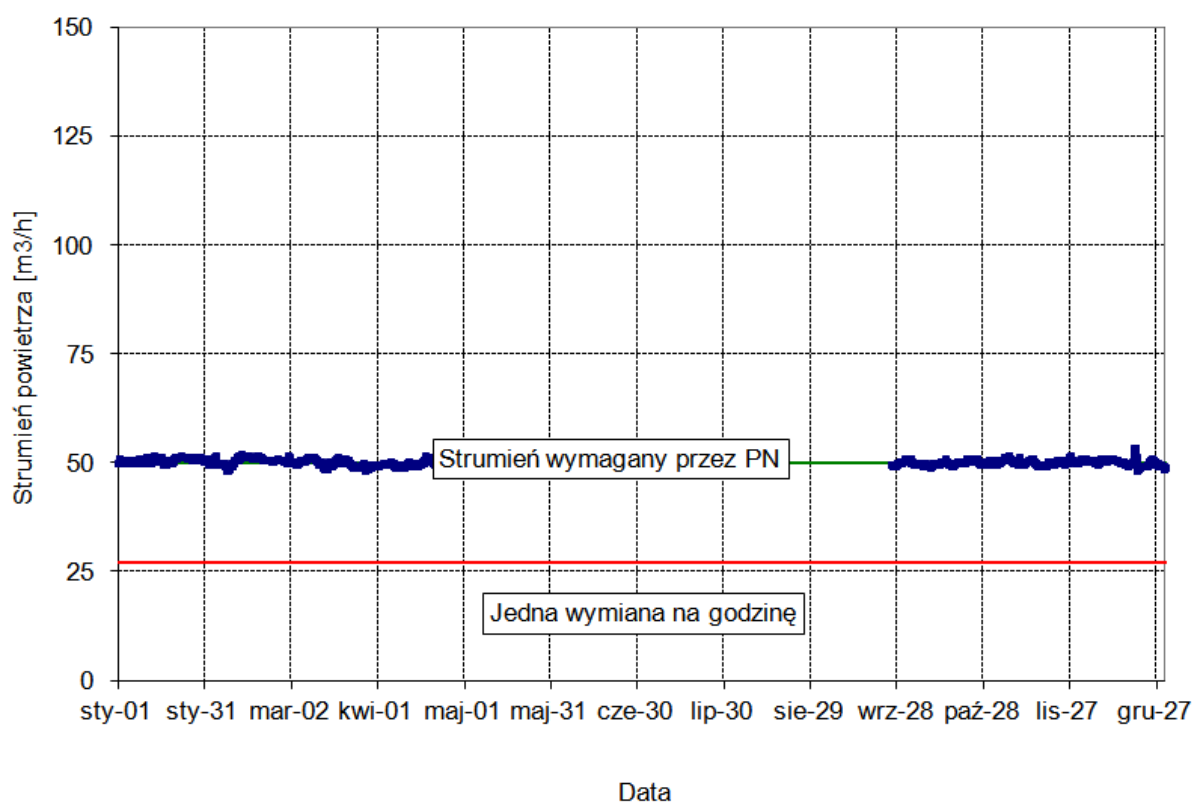
Rys. 36. Zależność strumienia powietrza dla budynku od temperatury powietrza zewnętrznego.



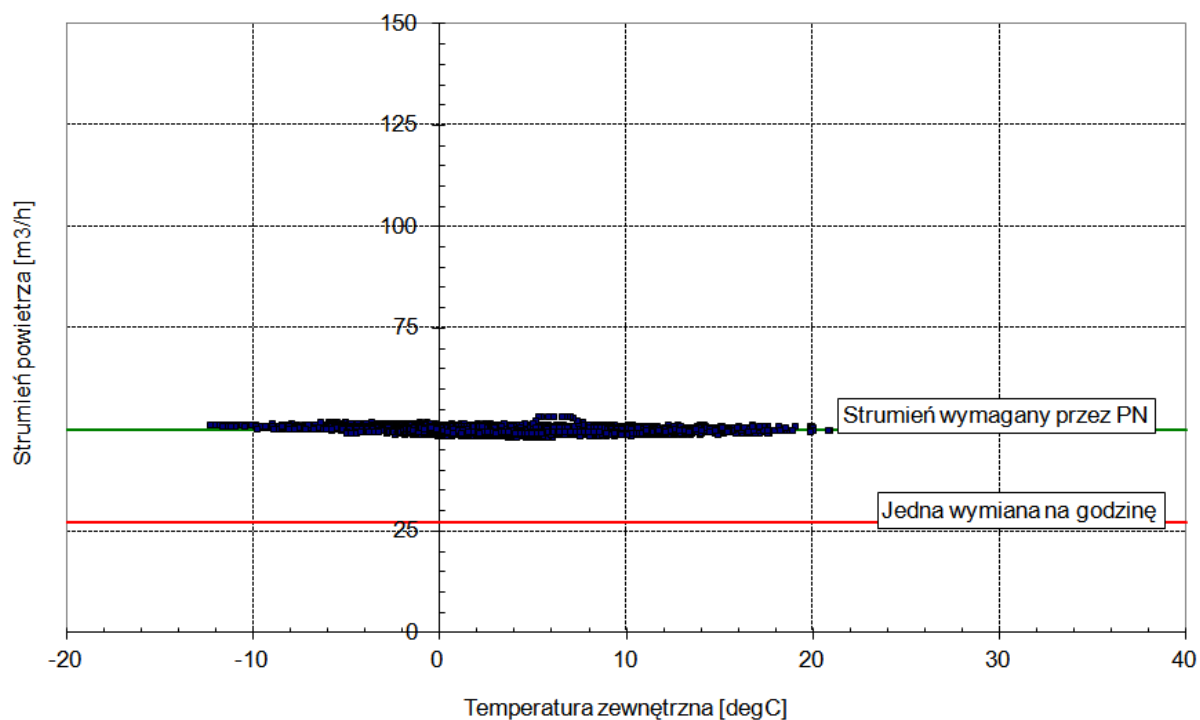
Rys. 37. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym w łazience na parterze.



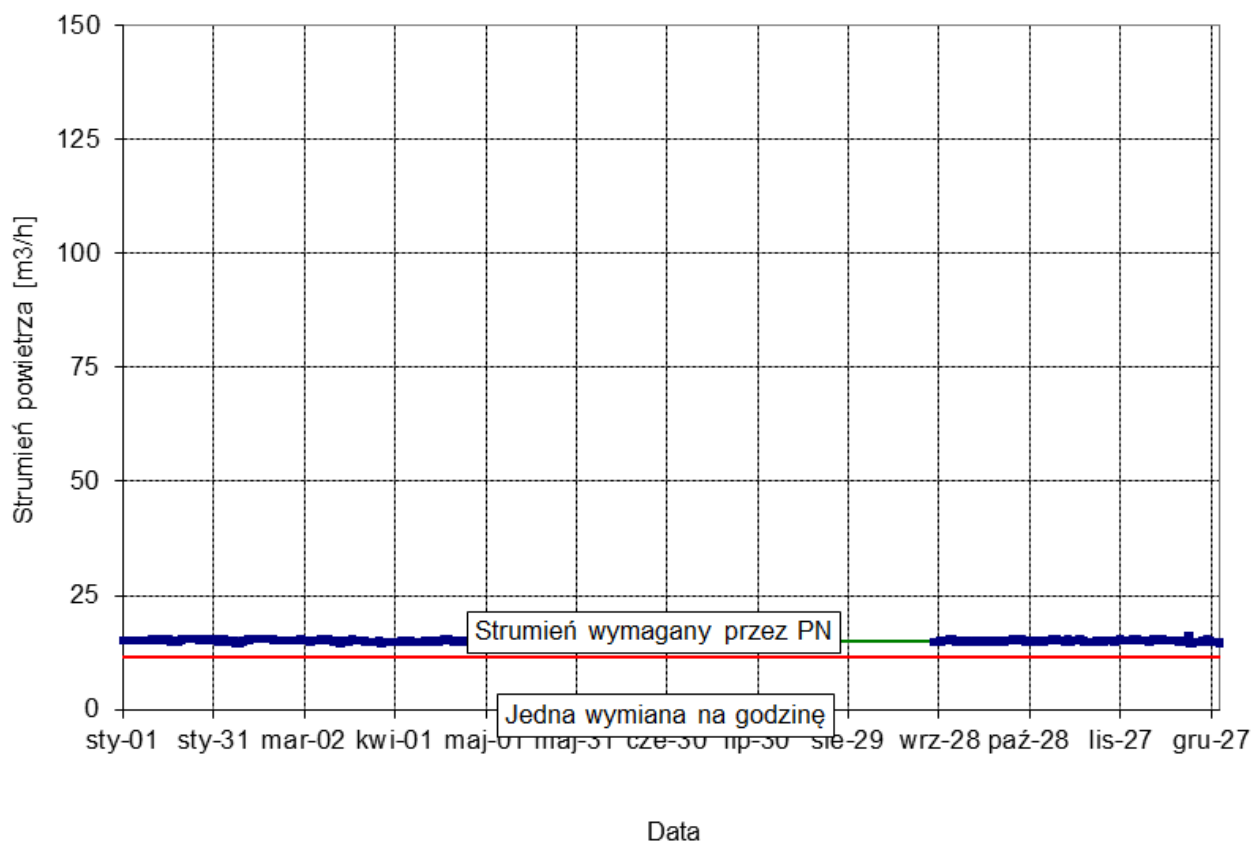
Rys. 38. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym w łazience na parterze od temperatury powietrza zewnętrznego.



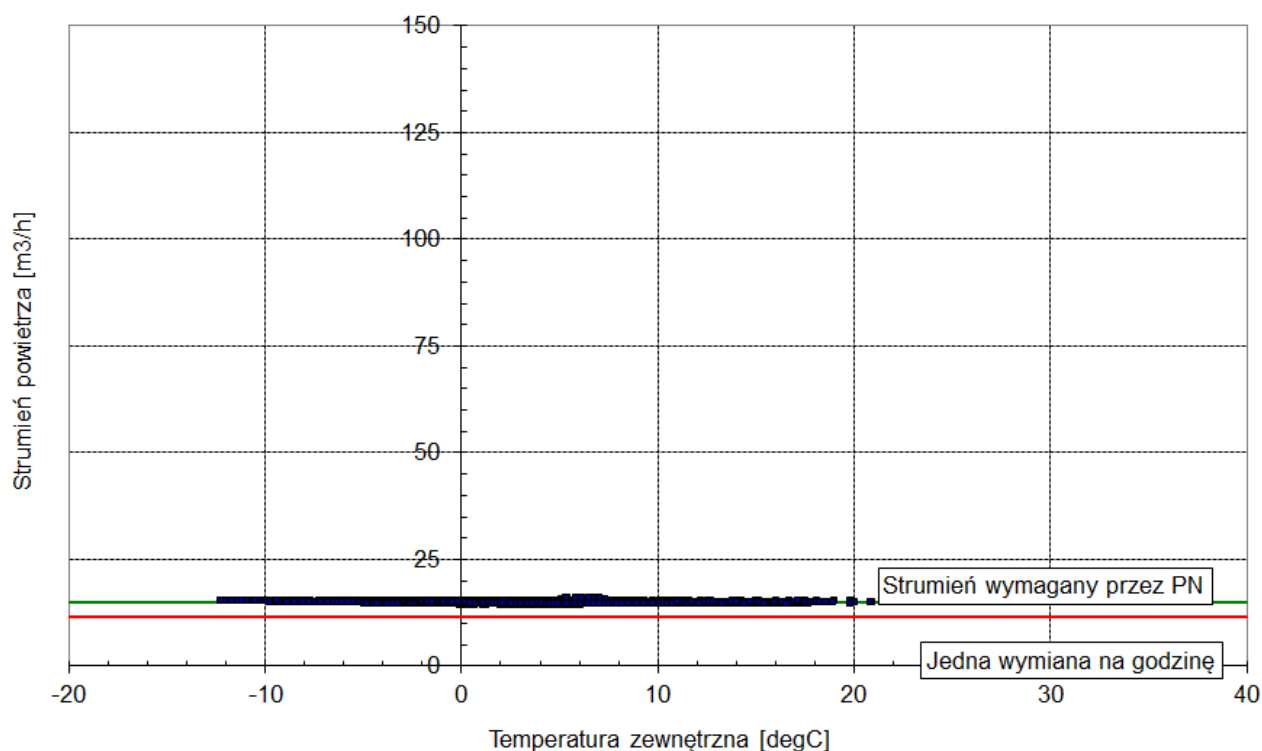
Rys. 39. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym w kuchni.



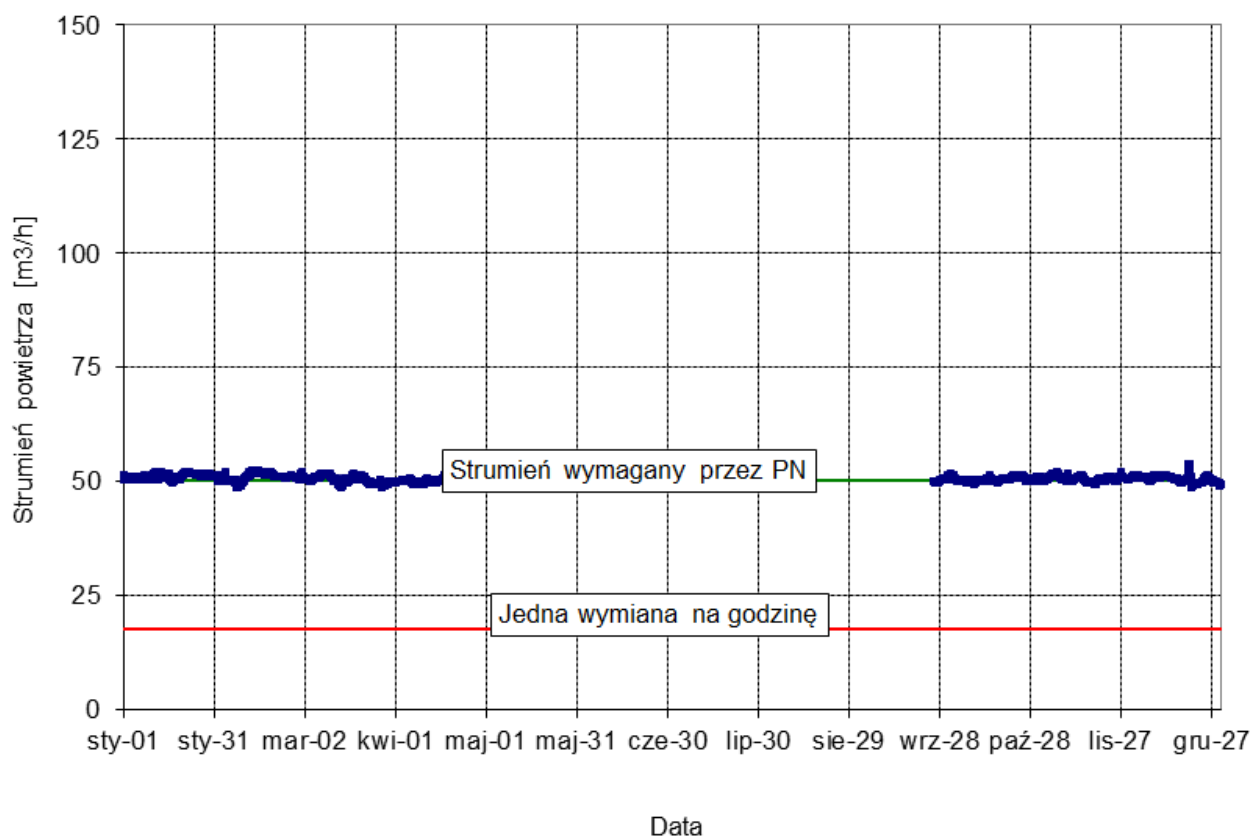
Rys. 40. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym w kuchni od temperatury powietrza zewnętrznego.



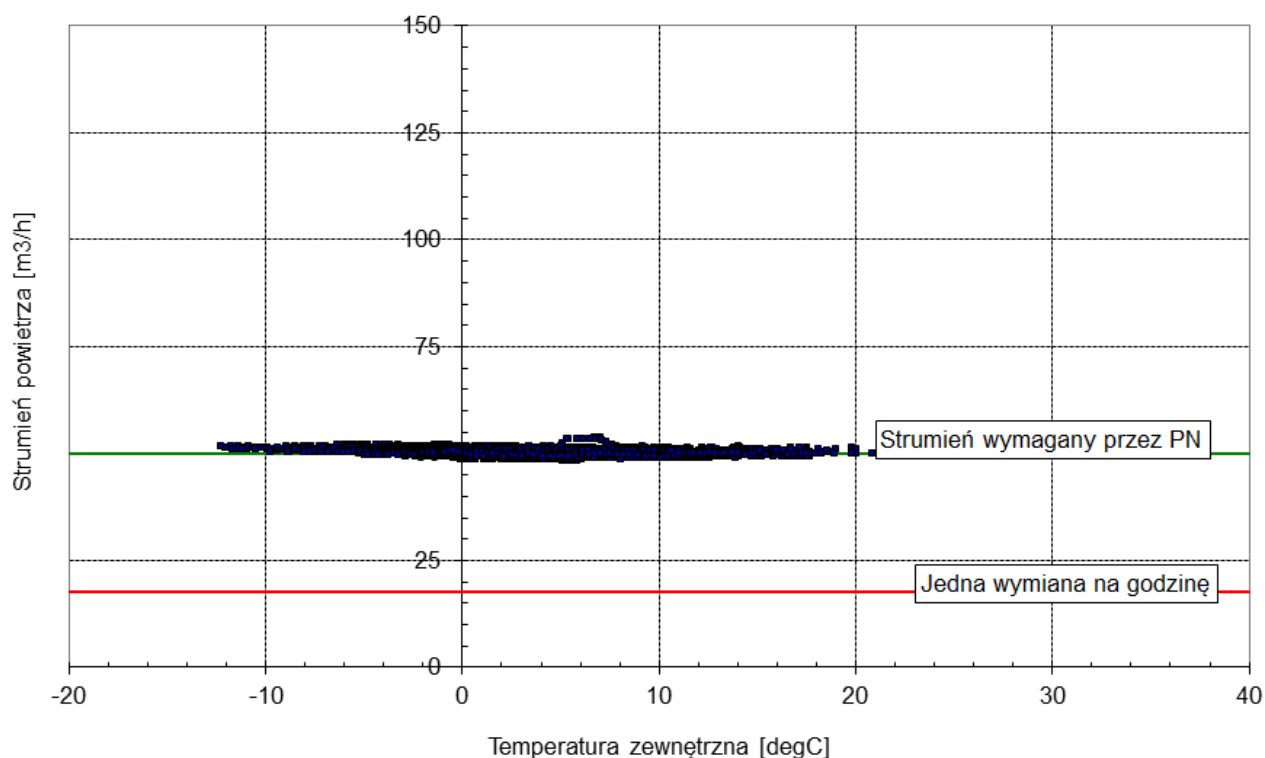
Rys. 41. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym w garderobie.



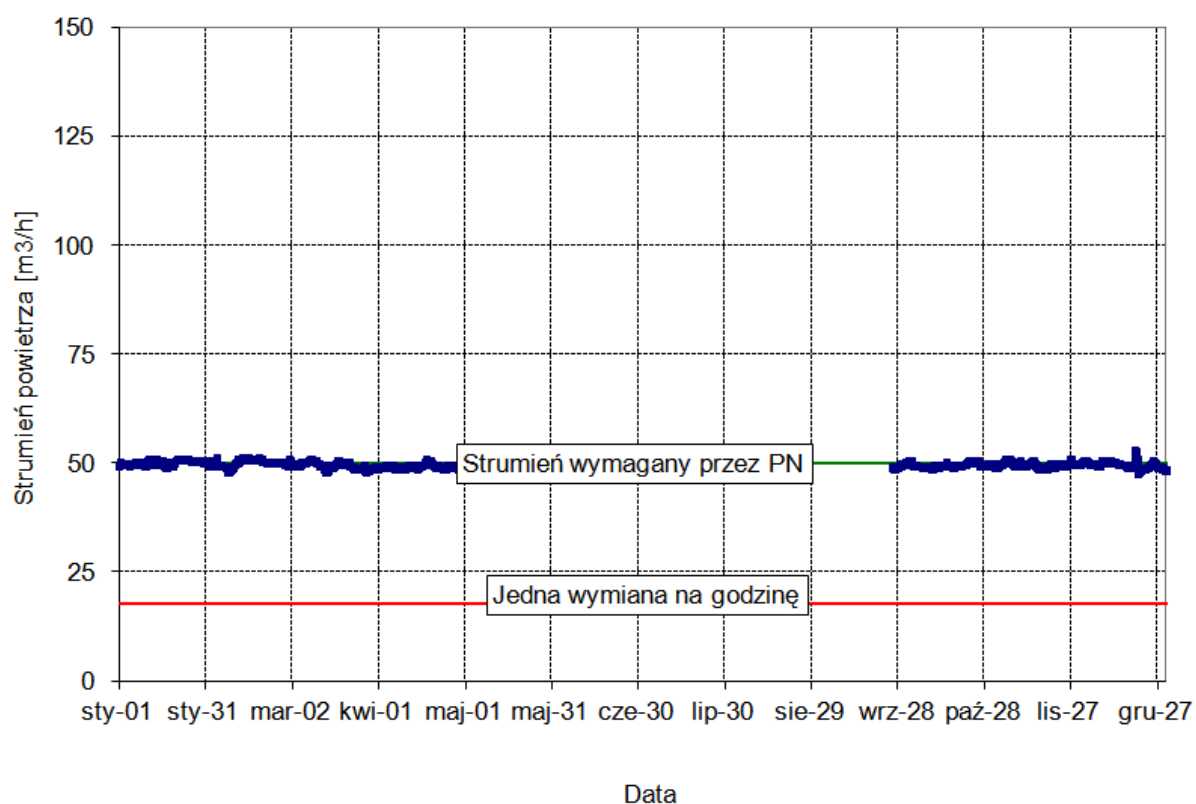
Rys. 42. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym w garderobie od temperatury powietrza zewnętrznego.



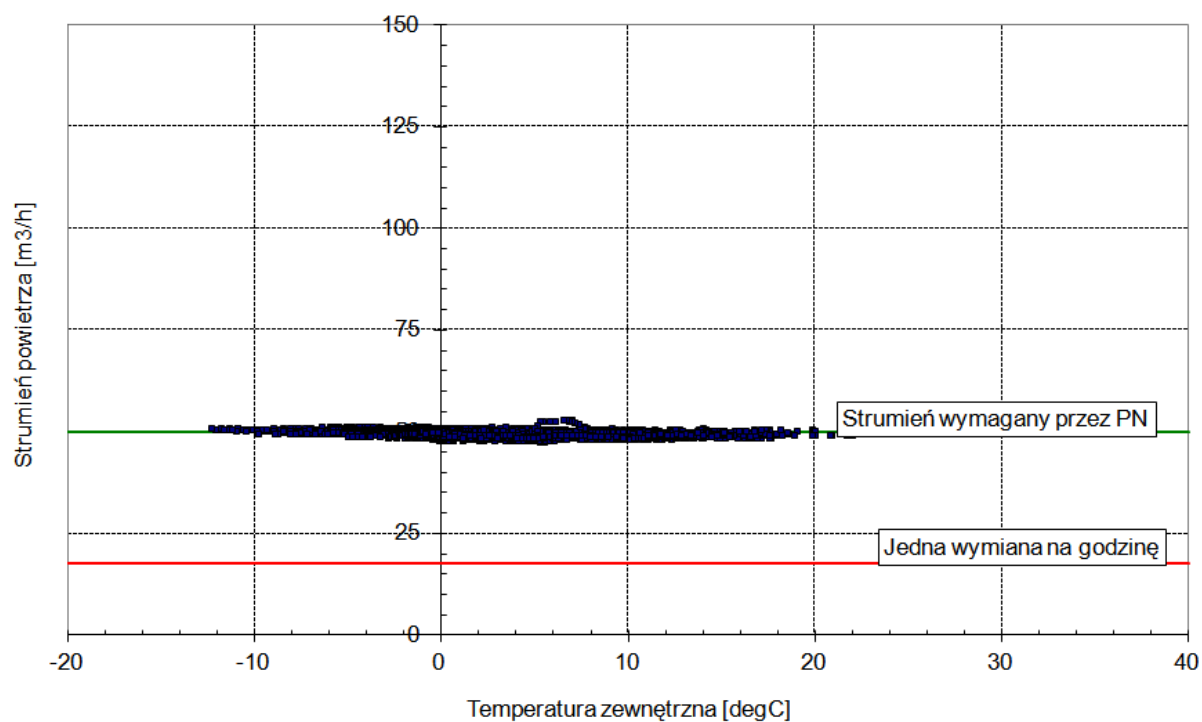
Rys. 43. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym dla łazienki 1 na piętrze.



Rys. 44. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym dla łazienki 1 na piętrze od temperatury powietrza zewnętrznego.



Rys. 45. Przebieg zmienności strumienia powietrza w kanale wywiewnym w łazience 2 na piętrze.



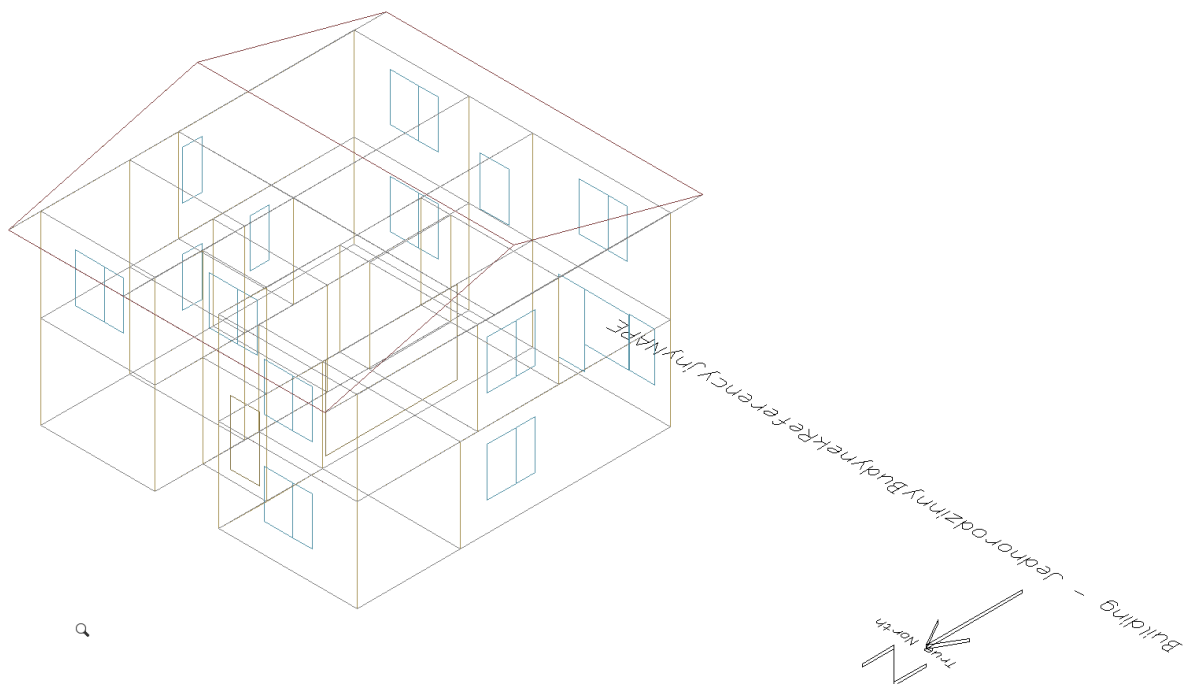
Rys. 46. Zależność strumienia powietrza w kanale wywiewnym w łazience 2 na piętrze od temperatury powietrza zewnętrznego.

11. Obliczenie zużycia energii

11.1. Model wykorzystany do obliczeń zużycia energii

Obliczenia zużycia energii przeprowadzone zostały zgodnie z danymi dla budynku referencyjnego NAPE i z referencyjną wentylacją grawitacyjną oraz oddzielnie dla budynku z referencyjną wentylacją mechaniczną wywiewną. Obliczenia energetyczne wykonano w programie do całosciowych analiz cieplnych budynków EnergyPlus wersja 24.2 [2], zgodnym z normą PN-EN ISO 52016-1:2017- 09 [9]). Strumienie powietrza dla całego budynku obliczone przy pomocy programu CONTAM, [14] stanowiły daną wejściową do modelu.

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 (współczynniki przenikania ciepła U, współczynniki przepuszczalności promieniowania słonecznego g). Następnie, model uzupełniany jest 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). Należy jednak zaznaczyć, że wyniki symulacji oparte są na standardowym roku meteorologicznym oraz na przyjętych założeniach dotyczących wyposażenia budynku i sposobu jego użytkowania. Nie można, zatem traktować wyników obliczeń jako idealnego odzwierciedlenia późniejszego zużycia energii w budynku.



Rys. 47. Widok geometrii budynku wprowadzonej do programu EnergyPlus

Class List		Comments from IDF							
[0001] ConvergenceLimits [0001] Site.Location [0002] SizingPeriod.DesignDay [0001] RunPeriod [0001] RunPeriodControl.DaylightSavingTime [0001] Site.GroundTemperature.BuildingSurface [0001] Site.GroundTemperature.FClactorMethod [0001] Site.GroundTemperature.Shallow [0001] Site.GroundTemperature.Deep [0001] Site.GroundReflectance [0001] Site.GroundReflectance.SnowModifier [0005] ScheduleTypeLimits [0009] ScheduleTypeLimitsCompact [0017] Material [0001] Material.InfraredTransparent [0001] WindowMaterial.SimpleGlazingSystem [0012] Construction [0001] Construction.AirBoundary		Name Type Type All days in year All hours in day Explanation of Object and Current Field Object Description: Irregular object. Does not follow the usual definition for fields. Fields A3... are: Through: Date For: Applicable days (ref: Schedule/Week/Compact) Interpolate: Average/Linear/No (ref: Schedule/Day/Interval) -- optional, if not used will be "No" Unit: <Time> (ref: Schedule/Day/Interval) <numeric value> words "Through", "For", "Interpolate", "Unit" must be included.							
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		On	Off 24/7	Heating set point sc	Cooling set point scl	NAPE_ludzie_jedno	NAPE_oscwiecenie_	NAPE_urzadzenia_i	Activity Schedule
Schedule Type Limits Name		Any Number	Any Number	Any Number	Any Number	Fraction	Fraction	Fraction	Any Number
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 31 Dec	Through: 31 Dec	Through: 31 Dec	Through: 12/31
Field 2	varies	For: All days	For: All days	For: All days	For: All days	For: Weekdays Sun	For: Weekdays Sun	For: Weekdays Sun	For: All days
Field 3	varies	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 08:00	Unit: 05:00	Unit: 06:00	Unit: 24:00
Field 4	varies	1	0	20	50	1	0	0.2	100
Field 5	varies					Unit: 16:00	Unit: 06:00	Unit: 08:00	
Field 6	varies					0.47	0.2	1	
Field 7	varies					Unit: 18:00	Unit: 08:00	Unit: 15:00	
Field 8	varies					0.74	0.6	0.2	
Field 9	varies					Unit: 24:00	Unit: 09:00	Unit: 17:00	
Field 10	varies					1	0.4	0.8	
Field 11	varies					For: Weekends	Unit: 14:00	Unit: 20:00	
Field 12	varies					Unit: 24:00	0	1	
Field 13	varies					1	Unit: 15:00	Unit: 21:00	
Field 14	varies					For: Holidays	0.5	0.5	
Field 15	varies					Unit: 24:00	Unit: 16:00	Unit: 24:00	
Field 16	varies					1	0.8	0.2	
Field 17	varies					For: WinterDesignD	Unit: 17:00	For: Weekends	
Field 18	varies					Unit: 24:00	0.9	Unit: 06:00	
Field 19	varies					0	Unit: 22:00	0.2	
Field 20	varies						1	Unit: 08:00	
Field 21	varies						Unit: 23:00	1	
Field 22	varies						0.5	Unit: 15:00	
Field 23	varies						Unit: 24:00	0.2	
Field 24	varies						0	Unit: 17:00	
Field 25	varies						For: Weekends	0.8	
Field 26	varies						Unit: 05:00	Unit: 20:00	
Field 27	varies						0	1	
Field 28	varies						Unit: 06:00	Unit: 21:00	
Field 29	varies						0.2	0.5	
Field 30	varies						Unit: 08:00	Unit: 24:00	
Field 31	varies						0.6	0.2	
Field 32	varies						Unit: 09:00	For: Holidays	
Field 33	varies						0.4	Unit: 06:00	
Field 34	varies						Unit: 14:00	0.2	
Field 35	varies						0	Unit: 08:00	
Field 36	varies						Unit: 15:00	1	
Field 37	varies						0.5	Unit: 15:00	
Field 38	varies						Unit: 16:00	0.2	
Field 39	varies						0.8	Unit: 17:00	
Field 40	varies						Unit: 17:00	0.8	
Field 41	varies						0.9	Unit: 20:00	
Field 42	varies						Unit: 22:00	1	
Field 43	varies						1	Unit: 21:00	
Field 44	varies						Unit: 23:00	0.5	
Field 45	varies						0.5	Unit: 24:00	
Field 46	varies						Unit: 24:00	0.2	
Field 47	varies						0	For: WinterDesignD	
Field 48	varies						For: Holidays	Unit: 24:00	
Field 49	varies						Unit: 05:00	0	
Field 50	varies						0		
Field 51	varies						Unit: 06:00		
Field 52	varies						0.2		
Field 53	varies						Unit: 08:00		
Field 54	varies						0.6		
Field 55	varies						Unit: 09:00		
Field 56	varies						0.4		
Field 57	varies						Unit: 14:00		
Field 58	varies						0		
Field 59	varies						Unit: 15:00		

Rys. 48. Schematy użytkowania budynku wprowadzone do EnergyPlus

Class List		Comments from IDF											
[0001] ConvergenceLimits [0001] Site.Location [0002] SizingPeriod.DesignDay [0001] RunPeriod [0001] RunPeriodControl.DaylightSavingTime [0001] Site.GroundTemperature.BuildingSurface [0001] Site.GroundTemperature.FClactorMethod [0001] Site.GroundTemperature.Shallow [0001] Site.GroundTemperature.Deep [0001] Site.GroundReflectance [0001] Site.GroundReflectance.SnowModifier [0005] ScheduleTypeLimits [0009] ScheduleTypeLimitsCompact [0017] Material [0001] Material.InfraredTransparent [0001] WindowMaterial.SimpleGlazingSystem [0012] Construction [0001] Construction.AirBoundary		Explanation of Object and Current Field Object Description: Start with outside layer and work your way to the inside layer Up to 10 layers total, 0 for windows Enter the material name for each layer Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value											
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Name		Surface	podloga_grunt	internal floor	internal wall	sciana zew	dzwizew	strop nad piętrem	unoccupied roof	dach okap	okno	wyposazenie	strop nad piętrem_R
Outside Layer		IR1Materials	izolacja_XPS_jedno	Cast Concrete (Den	GypsumPlasterboar	Concret/plaster/floor	drewno	izolacja_strop_pietr	Clay Tile Roofing_0	External Rendering	SimpleGlazingSystem	drewno	izolacja_strop_pietr
Layer 2			Cast Concrete_005		Concrete block/whl	izolacja_XPS_scian	izolacja_2cm	drewno					
Layer 3					GypsumPlasterboar	Concrete Block (Me	Gypsum Plastering_						
Layer 4													
Layer 5													
Layer 6													
Layer 7													
Layer 8													
Layer 9													
Layer 10													

Rys. 49. Konstrukcja przegród wprowadzona do programu EnergyPlus



Class List	Comments from IDF														
[0123] BuildingSurfaceDetailed [0038] FenestrationSurfaceDetailed [0009] InteriorMass [0015] People [0014] Lights [0014] ElectricEquipment [0015] ZoneInfiltrationDesignFlowRate [0009] ZoneVentilationDesignFlowRate [0009] ZoneMassing [0003] HVACTemplateThermostat [0003] HVACTemplateThermostatCoolingSchedules															
[0001] OutputVariableDictionary [0001] OutputSurfacesList [0001] OutputSurfacesDrawing [0001] OutputContributions [0001] OutputTableSummaryReports [0001] OutputControlTableStyle [0003] OutputVariable	Explanation of Object and Current Field Object Description: Zone with ideal air system that meets heating or cooling loads Field Description: Zone name must match a building zone name ID: All Selected from list of objects This field is required														
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14
Zone Name		X0:Wentylator	X0:Pom.Gosp	X0:Łazienka	X0:Kuchnia	X0:Łazienka	X0:Łazienka	X0:Łazienka	X0:Łazienka	X0:Łazienka	X0:Łazienka	X0:Łazienka	X0:Łazienka	X0:Łazienka	X0:Łazienka
Template Thermostat Name		Temostat_inne	Temostat_inne	Temostat_Łazienka	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal	Temostat_miejskal
System Availability Schedule Name															
Maximum Heating Supply Air Temperature	C	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Minimum Cooling Supply Air Temperature	C	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Heating Limit	m3/s	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Heating Air Flow Rate	W	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Sensible Heating Capacity	W	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Cooling Limit	m3/s	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Cooling Air Flow Rate	W	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Total Cooling Capacity	W	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit	NoLimit
Heating Availability Schedule Name															
Cooling Availability Schedule Name															
Dehumidification Control Type	dimensionless	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH	ConstantSensibleH
Cooling Sensible Heat Ratio	percent	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Dehumidification Setpoint	percent	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Humidification Control Type	percent	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Humidification Setpoint	percent	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Outdoor Air Method	m3/s	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/m2	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Outdoor Air Flow Rate per Zone															
Design Specification Outdoor Air Object Name															
Demand Controlled Ventilation Type	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Outdoor Air Economizer Type	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Heat Recovery Type	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Sensible Heat Recovery Effectiveness	dimensionless	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None
Latent Heat Recovery Effectiveness	dimensionless	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None

Rys. 50. Systemy HVAC wprowadzone do programu EnergyPlus

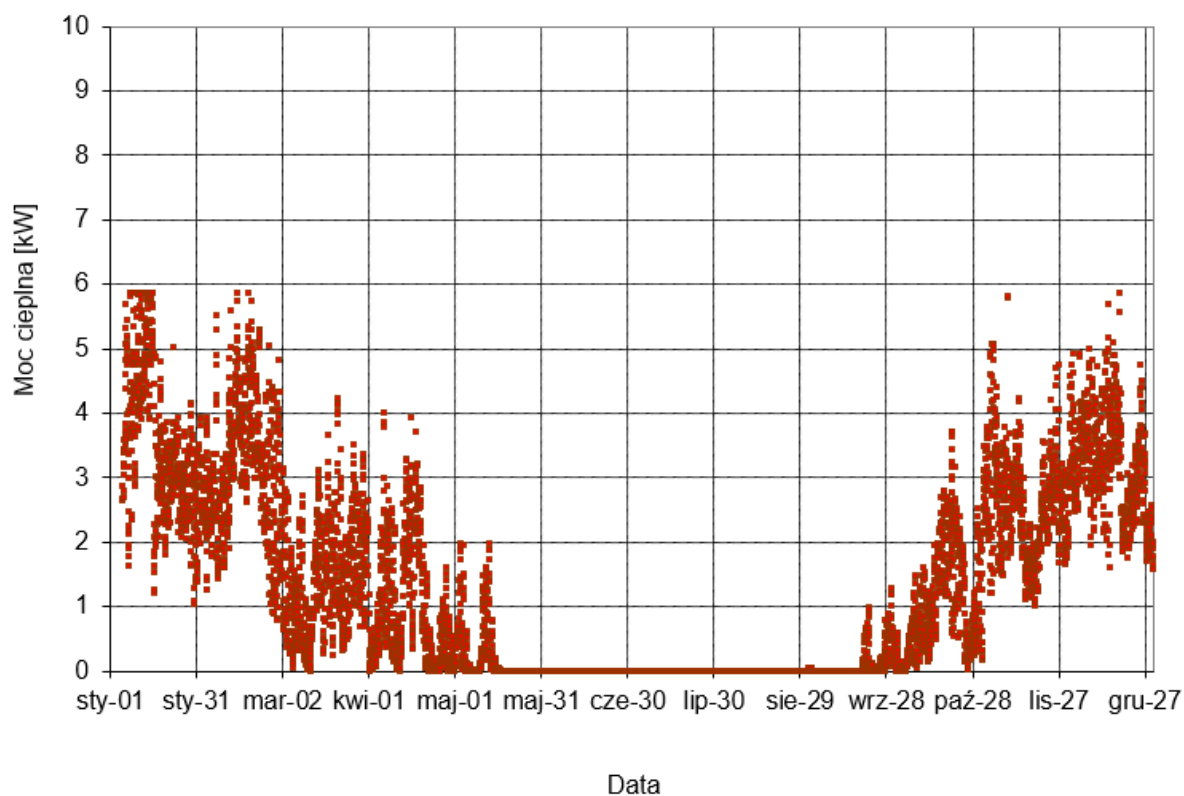
11.2. Wyniki dla referencyjnej wentylacji grawitacyjnej

Wyniki zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych miesięcy przedstawiono w poniższej tabeli:

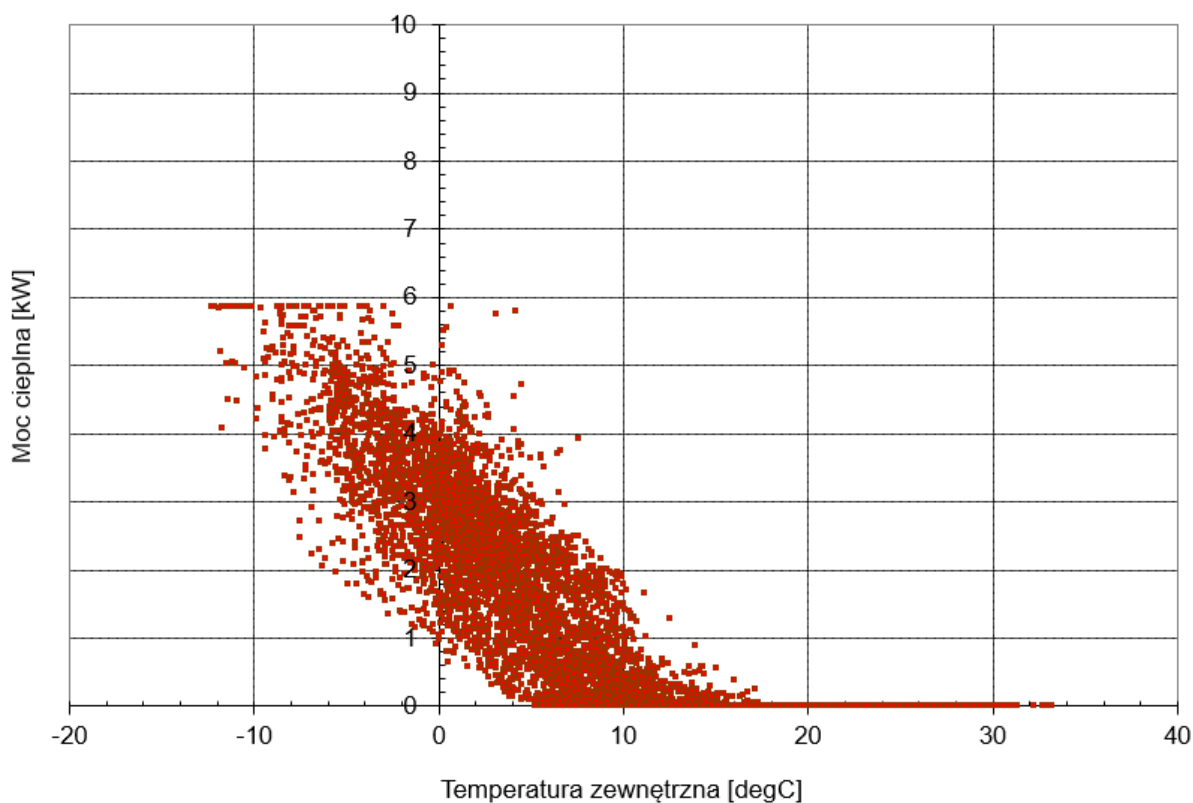
Tabela 13. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania

Miesiąc	Ogrzewanie	Chłodzenie
	kWh	kWh
Styczeń	2 599	0
Luty	2 143	0
Marzec	1 106	0
Kwiecień	699	0
Maj	122	0
Czerwiec	0	0
Lipiec	0	0
Sierpień	0	0
Wrzesień	59	0
Październik	730	0
Listopad	1 849	0
Grudzień	2 325	0
Suma	11 632	0

Na wykresach (rys. 51, rys. 52) przedstawiono godzinowe wyniki obliczeń zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych godzin w roku oraz zapotrzebowanie na ciepło w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego.



Rys. 51. Zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych godzin w roku.



Rys. 52. Zapotrzebowania na ciepło w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego.

Po uwzględnieniu sprawności systemu ogrzewania wynoszącego 0,88 otrzymuje się zużycie energii cieplnej wynoszące 13 189 kWh/rok. Po przeliczeniu wskaźnikiem nakładu dla energii pierwotnej 0,8 otrzymano zużycie energii pierwotnej wynoszące 10 551 kWh/rok, co stanowi 70,34 kWh/(m²rok).

11.3. Wyniki dla referencyjnej wentylacji mechanicznej wywiewnej

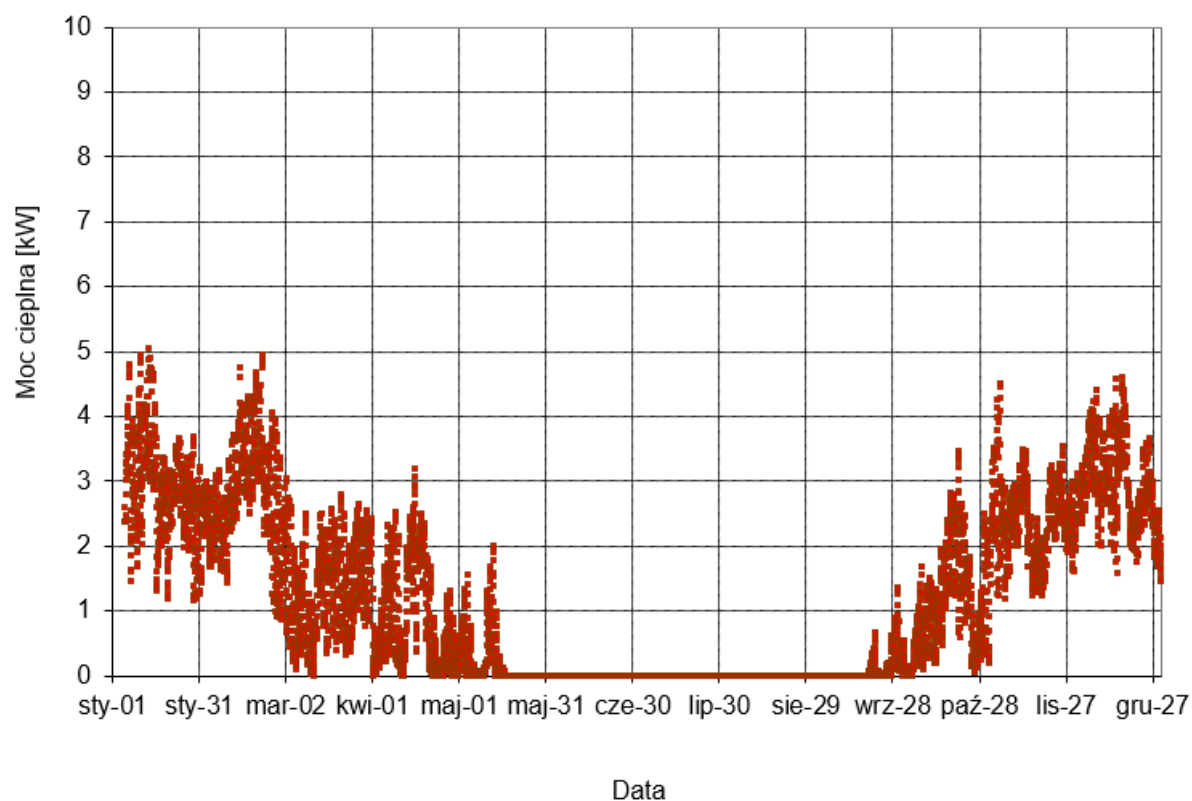
Wyniki zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych miesięcy przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 14. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania

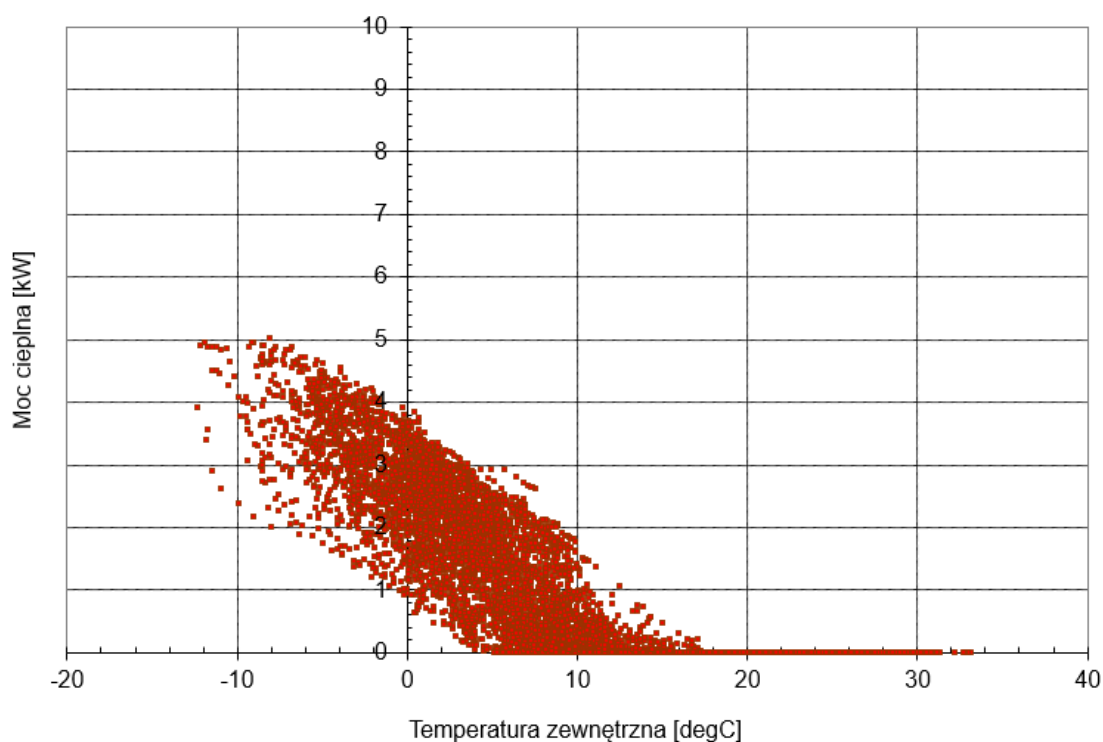
Miesiąc	Ogrzewanie kWh	Chłodzenie kWh
Styczeń	2 181	0
Luty	1 919	0
Marzec	994	0
Kwiecień	621	0
Maj	114	0
Czerwiec	0	0
Lipiec	0	0
Sierpień	0	0
Wrzesień	49	0
Październik	746	0
Listopad	1 731	0
Grudzień	2 151	0
Suma	10 506	0

Na wykresach (rys. 53, rys. 54) przedstawiono godzinowe wyniki obliczeń zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych godzin w roku oraz zapotrzebowanie na ciepło w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego.

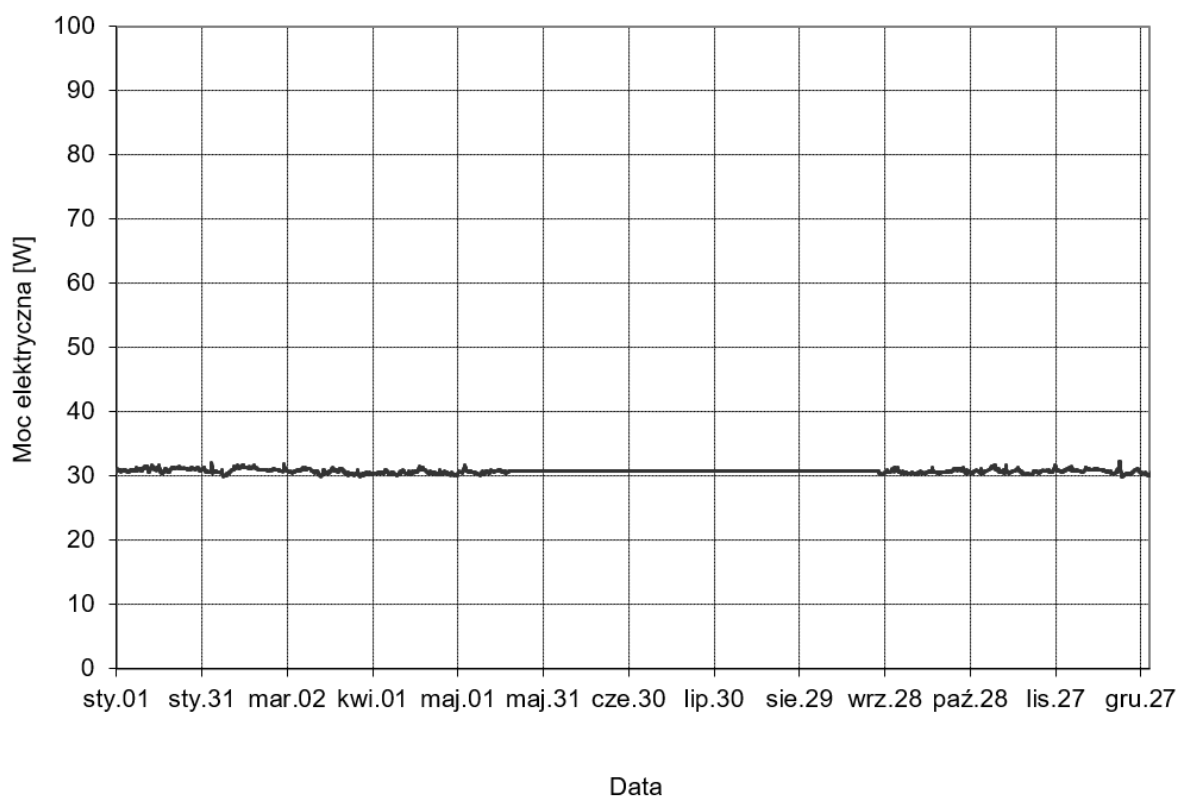
Na rys. 55 przedstawiono zużycie energii elektrycznej do napędu wentylatorów.



Rys. 53. Zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych godzin w roku.



Rys. 54. Zapotrzebowania na ciepło w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego.



Rys. 55. Zużycie energii do napędu wentylatorów.

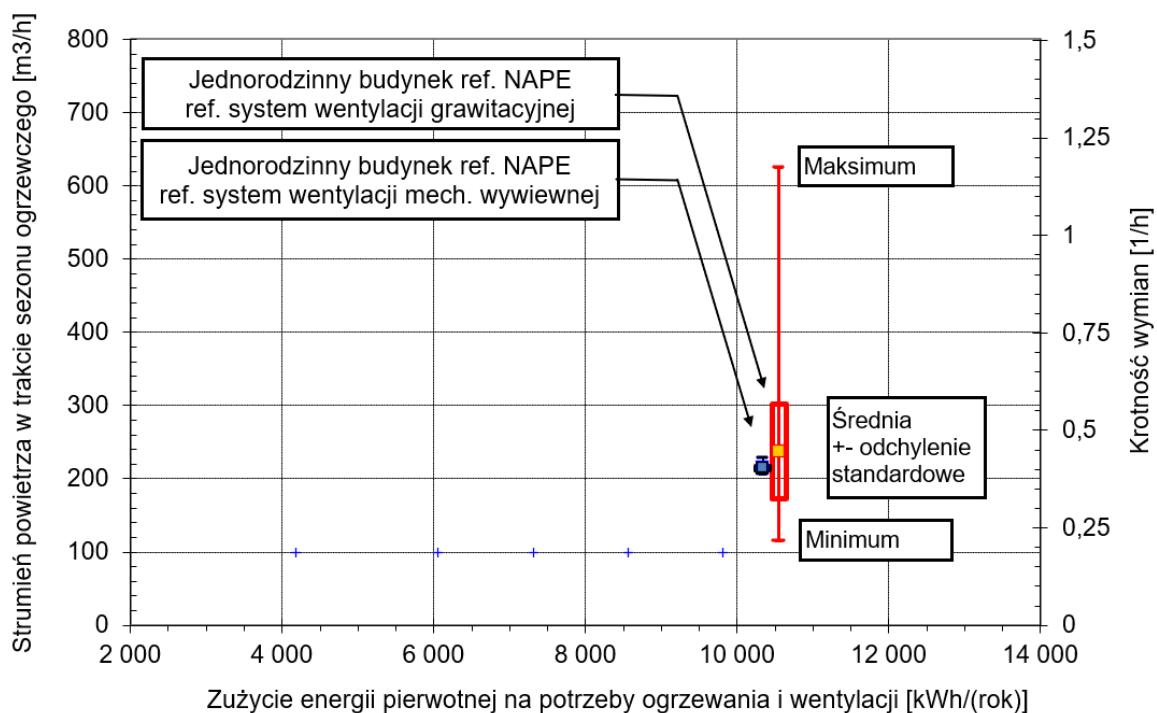
Po uwzględnieniu sprawności systemu ogrzewania wynoszącego 0,88 otrzymuje się zużycie energii cieplnej wynoszące 11 912 kWh/rok.

Zużycie energii elektrycznej przez wentylatory w ciągu całego roku wynosi 269 kWh.

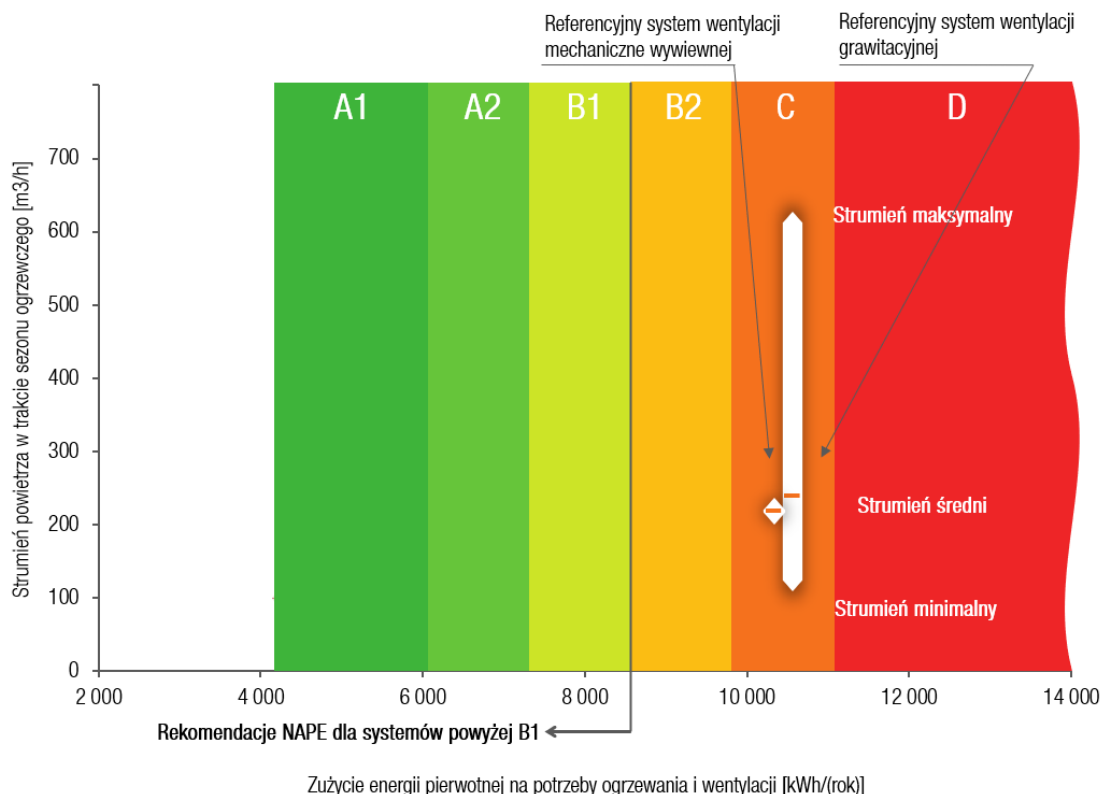
Po przeliczeniu wskaźnikiem nakładu dla energii pierwotnej 0,80 i 3,0 (energia elektryczna) zgodnie z [11], otrzymano zużycie energii pierwotnej wynoszące 10 337 kWh/rok, co stanowi 69,01 kWh/(m²rok).

12. Wyniki obliczeń dla referencyjnego budynku jednorodzinnego NAPE wyposażonego w referencyjne systemy wentylacji

Wyniki końcowe uzyskanych strumieni powietrza w budynku oraz zużycia energii pierwotnej na potrzeby ogrzewania i wentylacji przedstawiono na rys. 56, a na rys. 57 przedstawiono wyniki na tle podziału zużycia energii na kategorie efektywności energetycznej NAPE.



Rys. 56. Ilustracja zużycia energii pierwotnej i strumienia powietrza dla jednorodzinnego budynku referencyjnego NAPE wyposażonego w referencyjne systemy wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej wywiewnej



Rys. 57. Ilustracja kategorii efektywności energetycznej NAPE dla jednorodzinnego budynku referencyjnego NAPE wyposażonego w referencyjne systemy wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej wywiewnej.

Wymagana maksymalna wartość wskaźnika EP [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$] dla budynku referencyjnego, zgodnie z warunkami technicznymi [11] wynosi $70,00 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$. Uwzględniając zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania c.w.u. wynoszące $28,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$ - punkt 5 oraz jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do napędu urządzeń pomocniczych systemu ogrzewania wynoszącą $7,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$, otrzymujemy wartość graniczą dotyczącą ogrzewania i wentylacji wynoszącą $33,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$.

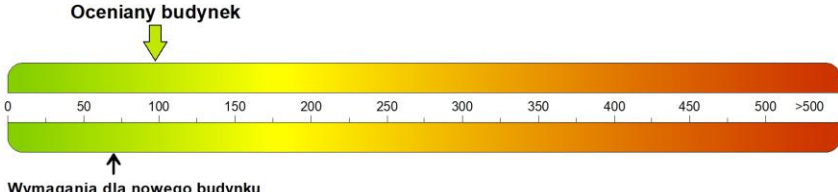
Obliczone zapotrzebowanie na energię pierwotną dla budynku referencyjnego wyposażonego w system wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej wywiewnej wynosi odpowiednio $70,34 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$ oraz $69,01 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$. Wartości te przekraczają wymagania, co oznacza, że dla budynku referencyjnego zasymulowane działanie wentylacji grawitacyjnej, lub mechanicznej wywiewnej nie pozwoli na spełnienie wymagań WT [11] obowiązujących od 01.01.2021. Korzystając z metodologii [11], i wykorzystując średnie strumienie powietrza, uzyskuje się mniejsze wyniki (choć wciąż nie spełniające wymagań WT) – co przedstawiono w rozdziale 13.

13. Wyznaczenie charakterystyki energetycznej budynku referencyjnego

Na potrzeby ilustracji właściwości budynku referencyjnego została obliczona jego charakterystyka energetyczna. Do obliczeń wykorzystano opisane źródło ciepła, instalację c.o. oraz sposób przygotowania c.w.u. - opisane w rozdziałach 3-5. Wszystkie obliczenia wykonano zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 27 lutego 2015 r. [11], wykorzystując w nich jednostkowy strumień powietrza wentylacyjnego podany w rozporządzeniu. Dane wykorzystane w obliczeniach przedstawiają się następująco:

Powierzchnia ogrzewana	158,0 m ²
Liczba osób	4
Czas użytkowania	365 doba/rok
Współczynnik nakładu dla energii cieplnej	0,80
Współczynnik nakładu dla en.el.	3
Strefa 1	20 degC
Całkowity współczynnik przenoszenia ciepła do strefy zewnętrznej	130,13 W/K
Vve (wentylacja grawitacyjna - wentylacja ciągła)	167 m ³ /h
Vve (wentylacja mechaniczna wywiewna – z osłabieniem w nocy)	146 m ³ /h
Wskaźnik zysków ciepła (strefa 1)	6,8 W/m ²
Cm	38948000 J/K
Sprawność wytwarzania ciepła	0,98
Sprawność regulacji i wykorzystania ciepła	0,88
Sprawność przesyłu ciepła	0,90
Sprawność akumulacji ciepła	1,00
Zapotrzebowanie na pomocniczą en.el. (wentylacja grawitacyjna)	591 kWh/rok
Zapotrzebowanie na pomocniczą en.el. (wentylacja mechaniczna wywiewna)	945 kWh/rok

Wyniki obliczeń zostały zilustrowane jako pierwsza strona charakterystyki energetycznej.

ŚWIADECTWO CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU			
WAŻNE DO ⁸⁾		7 Lutego 2032	NUMER ŚWIADECTWA ¹⁾
BUDYNEK OCENIANY			
RODZAJ BUDYNKU ²⁾	Mieszkalny		
PRZEZNACZENIE BUDYNKU ³⁾	Jednorodzinny		
ADRES BUDYNKU	Warszawa,		
BUDYNEK, O KTÓRYM MOWA W ART 3 UST.2 USTAWY ⁴⁾	Nie		
ROK ODDANIA DO UŻYTKOWANIA BUDYNKU ⁵⁾			
METODA WYZNACZANIA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ ⁶⁾	Metoda obliczeniowa		
POWIERZCHNIA POMIESZCZEŃ O REGULOWANEJ TEMPERATURZE POWIETRZA (POWIERZCHNIA OGRZEWANA LUB CHŁODZONA) A [m ²] ⁷⁾	149,80		
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA [m ²]	149,80		
STACJA METEOROLOGICZNA, WEDŁUG KTÓREJ DANYCH OBLICZANA JEST CHARAKTERYSTYKA ENERGETYCZNA ⁹⁾	Warszawa Okęcie		
OCENA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU ¹⁰⁾			
WSKAŹNIK CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ	OCENIANY BUDYNEK		WYMAGANIA DLA NOWEGO BUDYNKU WEDŁUG PRZEPISÓW TECHNICZNO-BUDOWLANÝCH
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ UŻYTKOWĄ	EU = 84,1 kWh/(m ² ·rok)		
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ KOŃCOWĄ ¹¹⁾	EK = 111,9 kWh/(m ² ·rok)		
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA NIEODNAWIALNĄ ENERGIĘ PIERWOTNĄ ¹¹⁾	EP = 98,2 kWh/(m ² ·rok)		EP = 70,0 kWh/(m ² ·rok)
JEDNOSTKOWA WIELKOŚĆ EMISJI CO ₂	E _{CO2} = 0,034 t CO ₂ /(m ² ·rok)		
UDZIAŁ ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W ROCZNYM ZAPOTRZEBOWANIU NA ENERGIĘ KOŃCOWĄ	U _{OZE} = 0,0 %		
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA NIEODNAWIALNĄ ENERGIĘ PIERWOTNĄ EP [kWh/(m ² ·rok)]			
Oceniany budynek  Wymagania dla nowego budynku			
OBLICZENIOWA ROCZNA ILOŚĆ ZUŻYWANEGO NOŚNIKA ENERGII LUB ENERGII PRZEZ BUDYNEK ¹²⁾			
SYSTEM TECHNICZNY	RODZAJ NOŚNIKA ENERGII LUB ENERGII	ILOŚĆ NOŚNIKA ENERGII LUB ENERGII	JEDNOSTKA/(m ² ·rok)
OGRZEWACZ	Energia ciepła z sieci ciepłowniczej.	0,278	GJ
	Energia elektryczna.	2,628	kWh
PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ	Energia ciepła z sieci ciepłowniczej.	0,111	GJ
	Energia elektryczna.	1,314	kWh
CHŁODZENIA			
SPORZĄDZAJĄCY ŚWIADECTWO			
IMIĘ I NAZWISKO		PODPIS I PIECZĄTKA	
NR WPISU DO WYKAZU ¹³⁾			
DATA WYSTAWIENIA ŚWIADECTWA		7 Lutego 2022	

Rys. 58. Charakterystyka energetyczna budynku referencyjnego NAPE wyposażonego w system wentylacji grawitacyjnej.



ŚWIADECTWO CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU			
WAŻNE DO ⁸⁾		7 Lutego 2032	NUMER ŚWIADECTWA ¹⁾
BUDYNEK OCENIANY			
RODZAJ BUDYNKU ²⁾	Mieszkalny		
PRZEZNACZENIE BUDYNKU ³⁾	Jednorodzinny		
ADRES BUDYNKU	Warszawa,		
BUDYNEK, O KTÓRYM MOWA W ART 3 UST.2 USTAWY ⁴⁾	Nie		
ROK ODDANIA DO UŻYTKOWANIA BUDYNKU ⁵⁾			
METODA WYZNACZANIA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ ⁶⁾	Metoda obliczeniowa		
POWIERZCHNIA POMIESZCZEŃ O REGULOWANEJ TEMPERATURZE POWIETRZA (POWIERZCHNIA OGRZEWANA LUB CHŁODZONA) A _[m²] ⁷⁾	149,80		
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA [m ²]	149,80		
STACJA METEOROLOGICZNA, WEDŁUG KTÓREJ DANYCH OBLICZANA JEST CHARAKTERYSTYKA ENERGETYCZNA ⁹⁾	Warszawa Okęcie		
OCENA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU ¹⁰⁾			
WSKAŹNIK CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ	OCENIANY BUDYNEK		WYMAGANIA DLA NOWEGO BUDYNKU WEDŁUG PRZEPISÓW TECHNICZNO-BUDOWLANYCH
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ UŻYTKOWĄ	EU = 80,0 kWh/(m ² ·rok)		
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ KOŃCOWĄ ¹¹⁾	EK = 110,3 kWh/(m ² ·rok)		
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA NIEODNAWIALNĄ ENERGIĘ PIERWOTNĄ ¹¹⁾	EP = 104,6 kWh/(m ² ·rok)		EP = 70,0 kWh/(m ² ·rok)
JEDNOSTKOWA WIELKOŚĆ EMISJI CO ₂	E _{CO2} = 0,037 t CO ₂ /(m ² ·rok)		
UDZIAŁ ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W ROCZNYM ZAPOTRZEBOWANIU NA ENERGIĘ KOŃCOWĄ	U _{OZE} = 0,0 %		
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA NIEODNAWIALNĄ ENERGIĘ PIERWOTNĄ EP [kWh/(m ² ·rok)]			
Oceniany budynek Wymagania dla nowego budynku			
OBLICZENIOWA ROCZNA IŁOŚĆ ZUŻYWANEGO NOŚNIKA ENERGII LUB ENERGII PRZEZ BUDYNEK ¹²⁾			
SYSTEM TECHNICZNY	RODZAJ NOŚNIKA ENERGII LUB ENERGII	IŁOŚĆ NOŚNIKA ENERGII LUB ENERGII	JEDNOSTKA/(m ² ·rok)
OGRZEWACZY	Energia ciepła z sieci ciepłowniczej.	0,260	GJ
	Energia elektryczna.	6,132	kWh
PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ	Energia ciepła z sieci ciepłowniczej.	0,111	GJ
	Energia elektryczna.	1,314	kWh
CHŁODZENIA			
SPORZĄDZAJĄCY ŚWIADECTWO			
IMIĘ I NAZWISKO		PODPIS I PIECZĄTKA	
NR WPISU DO WYKAZU ¹³⁾			
DATA WYSTAWIENIA ŚWIADECTWA		7 Lutego 2022	

Rys. 59. Charakterystyka energetyczna budynku referencyjnego NAPE wyposażonego w system wentylacji mechanicznej wywiewnej.

14. Literatura

- [1] ASHRAE Handbook – Fundamentals 2001
- [2] EnergyPlus, funded by the U.S. Department of Energy's, Building Technologies Office, and managed by the National Renewable Energy Laboratory, <https://energyplus.net/>
- [3] EN 15241 Ventilation for buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings
- [4] Lubina P., Nantka M., Internal heat gains in relation to the dynamics of buildings heat requirements, Architecture Civil Engineering Environment, 2009, Vol. 2, no. 1, s. 137-142
- [5] Persily A.K., A Modeling Study of Ventilation, IAQ and Energy Impacts of Residential Mechanical Ventilation, NISTIR 6162, May 1998
- [6] PN B 02025 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego
- [7] PN-EN 12207:2001 Okna i drzwi – Przepuszczalność powietrza – Klasyfikacja
- [8] PN-EN ISO 52016-1:2017-09, "Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, wewnętrzne temperatury oraz jawne i utajone obciążenia cieplne, część 1: Procedury obliczania"
- [9] PN-EN ISO 15927-4:2007 – Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych -- Część 4: Dane godzinowe do oceny rocznego zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia
- [10] PN-83/B-03430/Az3:2000, Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania
- [11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku, lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, Dz.U. 2015 poz. 376
- [13] Walton G.N., Dols S.W., CONTAM – User Guide and Program Documentation, NISTIR 7251, October 2005