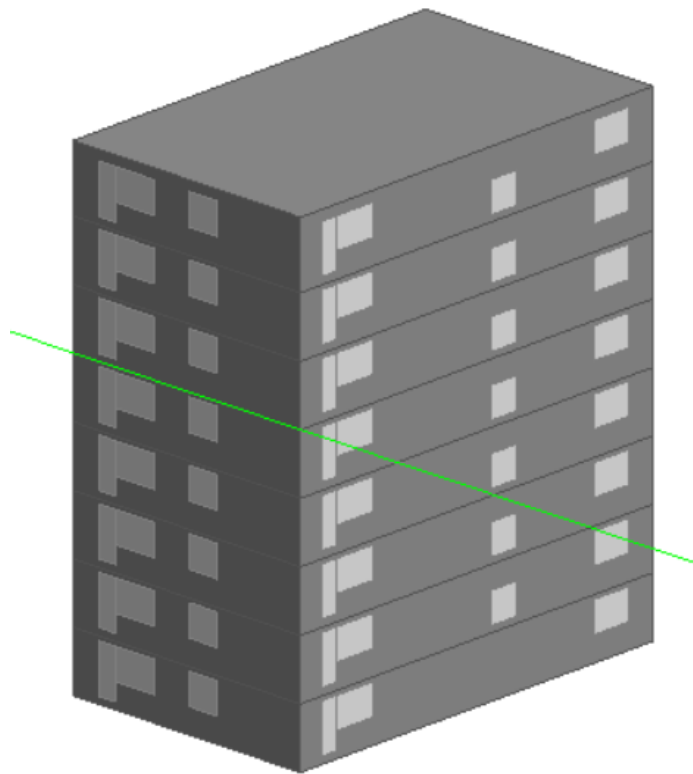


Wielorodzinny budynek referencyjny NAPE



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

Jerzy Kwiatkowski
Maciej Mijakowski
Joanna Rucińska
Jerzy Sowa

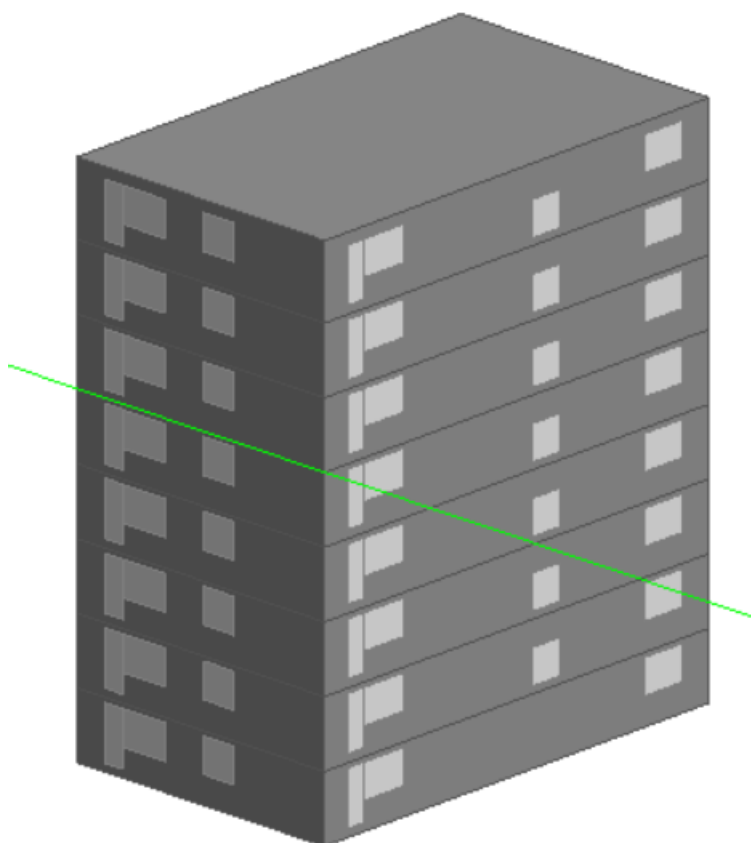
Spis treści

Wprowadzenie	3
Część I Opis budynku	6
1. Charakterystyka architektoniczna i opis użytkowania	6
1.1. Dane ogólne	6
1.2. Opis mieszkania M1	9
1.3. Opis mieszkania M2	11
1.4. Opis mieszkania M3	14
2. Referencyjna izolacyjność cieplna przegród	17
3. Referencyjne źródło ciepła	18
4. Referencyjny system c.o.	18
5. Referencyjny system przygotowania c.w.u.	19
6. Referencyjny system wentylacji grawitacyjnej	21
6.1. Wymagany strumień powietrza wentylacyjnego	21
6.2. Elementy nawiewne systemu wentylacji	21
6.3. Elementy wywiewne systemu wentylacji	23
7. Referencyjny system wentylacji mechanicznej wywiewnej	24
7.1. Wymagany strumień powietrza wentylacyjnego	24
7.2. Elementy nawiewne systemu wentylacji	24
7.3. Elementy wywiewne systemu wentylacji	26
Część II Obliczenie zużycia energii	28
8. Dane meteorologiczne	28
9. Obliczenie strumieni powietrza wentylacyjnego dla referencyjnego systemu wentylacji grawitacyjnej	32
10. Obliczenie strumieni powietrza wentylacyjnego dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej	41
11. Obliczenie zużycia energii	50
11.1. Model wykorzystany do obliczeń zużycia energii	50
11.2. Wyniki dla referencyjnej wentylacji grawitacyjnej	52
11.3. Wyniki dla referencyjnej wentylacji mechanicznej wywiewnej	54
12. Wyniki obliczeń dla referencyjnego budynku wielorodzinnego NAPE wyposażonego w referencyjne systemy wentylacji	57
13. Wyznaczenie charakterystyki energetycznej budynku referencyjnego	59
Literatura	61

Wprowadzenie

Ocena efektywności energetycznej polega na porównaniu rocznego zużycia energii (ogrzewanie i napędy związane z wentylacją) oraz strumienia powietrza (minimum, maksimum i średnia – dla temperatury zewnętrznej poniżej 12°C) w budynku mieszkalnym wielorodzinnym posiadającym oceniany system wentylacji ze zużyciem energii w takim samym budynku wyposażonym w referencyjne systemy wentylacji naturalnej i mechanicznej wywiewnej.

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



Rys. 1. Widok wielorodzinnego budynku referencyjnego NAPE

Podstawowe założenia dla budynku wielorodzinnego wyposażonego w referencyjny system wentylacji grawitacyjnej to:

- budynek 8 kondygnacyjny podpiwniczony,
- mieszkania typu M1, M2 i M3 (i odpowiednie założenia odnośnie sposobu użytkowania budynku),
- dach płaski,
- parametry cieplne przegród budowlanych (minimalne wymagania wg warunków technicznych, [12] dla budynków nowowznoszonych),
- ogrzewanie wodne przy pomocy grzejników konwekcyjnych,
- źródło ciepła – sieć ciepłownicza ,
- wentylacja grawitacyjna (okna z nawiewnikami, kanały wentylacji grawitacyjnej tak aby spełnione były wymagania PN-83/B-03430/Az3:2000, [11]).

Podstawowe założenia dla budynku wielorodzinnego wyposażonego w referencyjny system wentylacji mechanicznej wywiewnej to:

- budynek 8 kondygnacyjny podpiwniczony,
- mieszkania typu M1, M2 i M3 (i odpowiednie założenia odnośnie sposobu użytkowania budynku),
- dach płaski,
- parametry cieplne przegród budowlanych (minimalne wymagania wg warunków technicznych [12] dla budynków nowowznoszonych),
- ogrzewanie wodne przy pomocy grzejników konwekcyjnych,
- źródło ciepła – sieć ciepłownicza,
- wentylacja mechaniczna wywiewna o stałym strumieniu powietrza zgodnym z PN-83/B-03430/Az3:2000, [11] i mocy właściwej wentylatorów zgodnej z aktualnymi warunkami technicznymi, [12].

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

Symulacja strumieni powietrza wentylacyjnego została przeprowadzona w programie CONTAM [14] (opis programu <http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis/CONTAM/index.htm>) w modelu wielostrefowym (jedno pomieszczenie odpowiada jednej strefie).

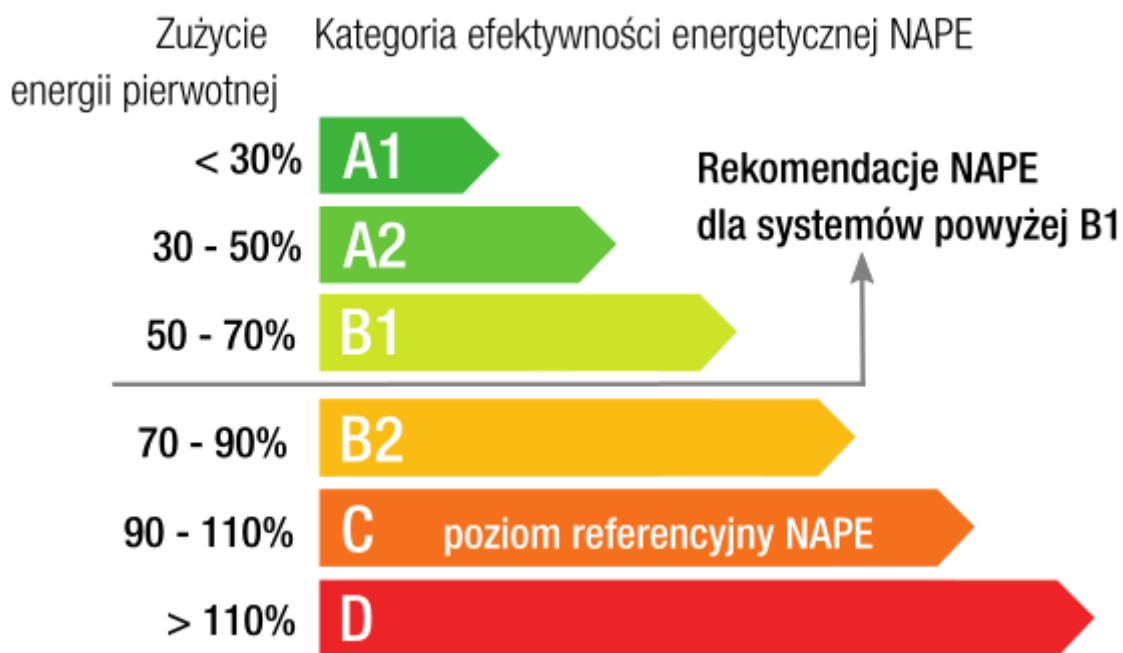
Po przeprowadzeniu symulacji przepływów powietrza i stwierdzeniu, że oceniany system jest w stanie spełnić wymagania minimalne zawarte w PN-83/B-03430/Az3:2000 [11] i w warunkach technicznych [12] obliczone strumienie powietrza są daną wejściową do obliczeń bilansu cieplnego.

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" [9], programem do całosciowych analiz cieplnych budynków DesignBuilder wersja 4.7.0.027.

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 [12] lub zmian technicznych mających wpływ na efektywność energetyczną ocenianego systemu.



Rys. 2. Ilustracja skali kategorii efektywności energetycznej NAPE

Uwaga:

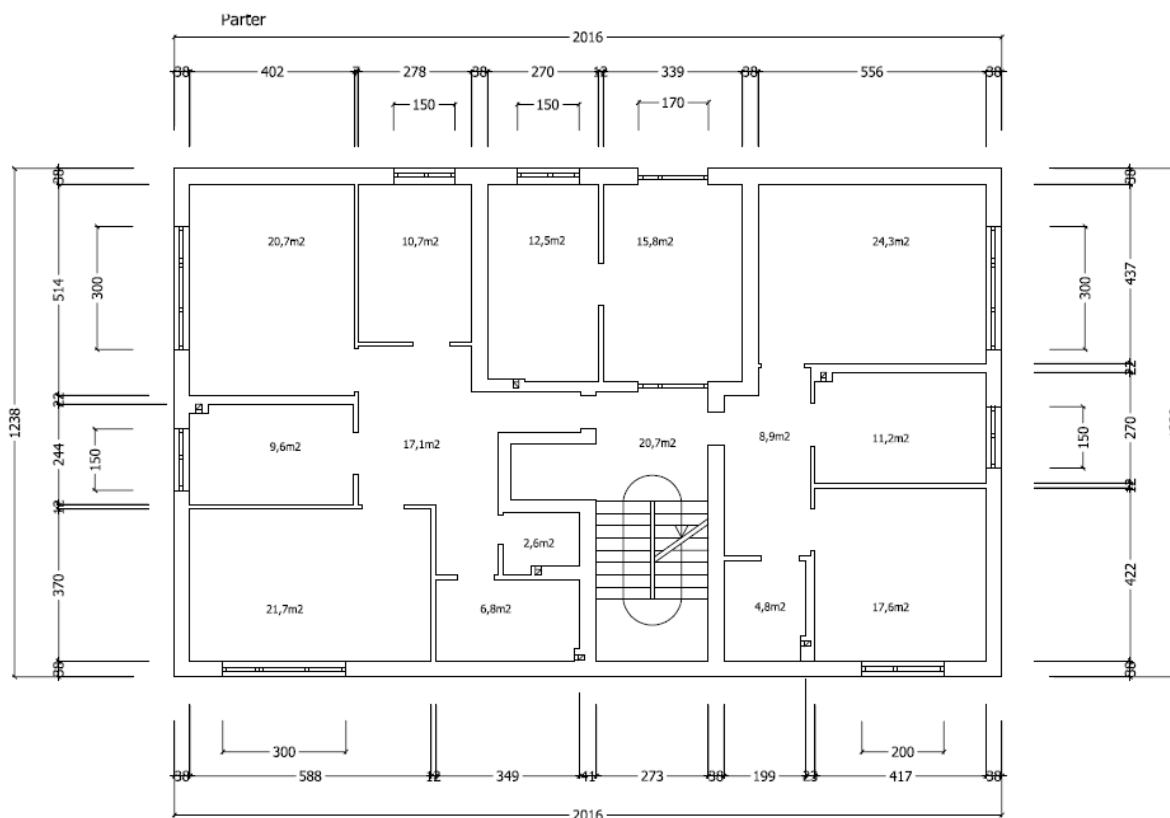
Przedstawione wyniki otrzymane na podstawie przyjętych założeń, które szczegółowo opisano w niniejszej pracy. Narodowa Agencja Poszanowania Energii nie bierze odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikające z interpolacji wyników dla innych niż opisane przypadki.

Część I Opis budynku

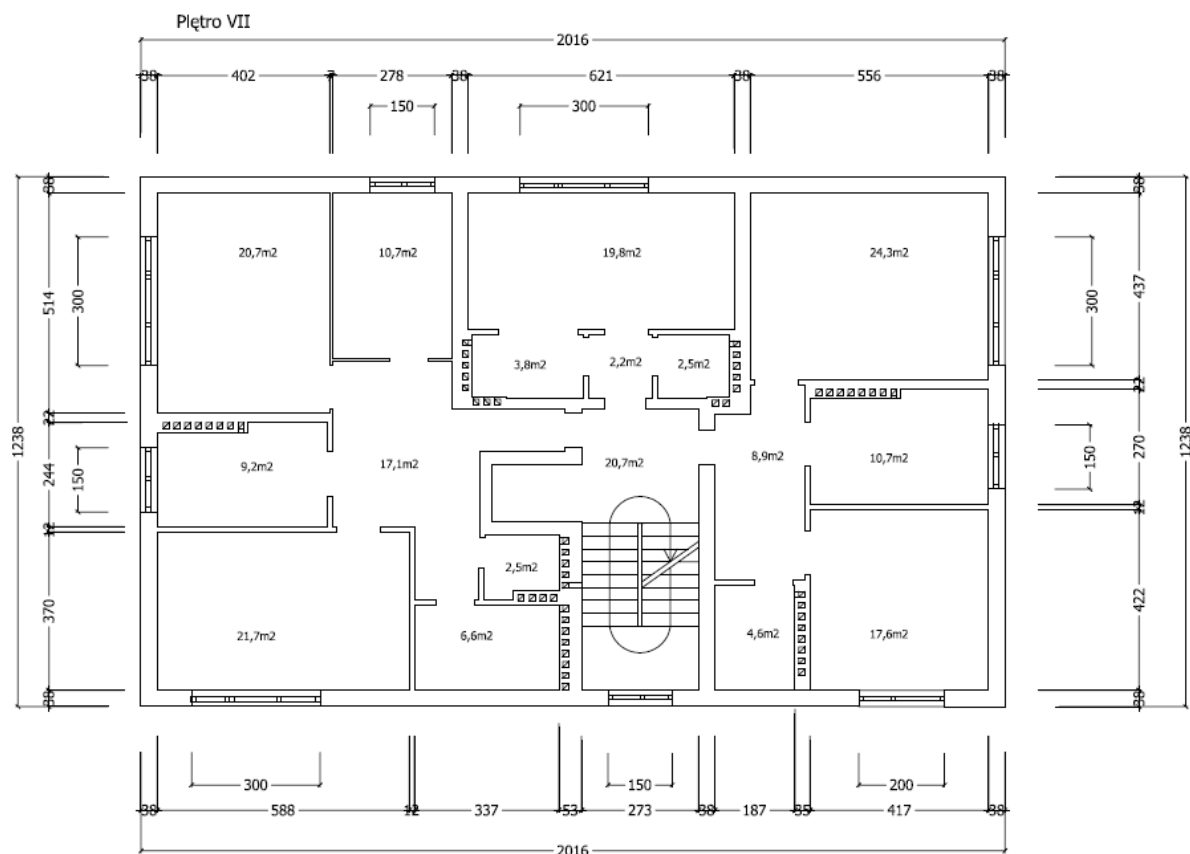
1. Charakterystyka architektoniczna i opis użytkowania

1.1. Dane ogólne

Analizowany budynek wielorodzinny posiada 8 kondygnacji naziemnych ogrzewanych oraz 1 kondygnację podziemną nieogrzewaną. Rzut parteru oraz ostatniej kondygnacji pokazany jest na rys. 3 oraz rys. 4.

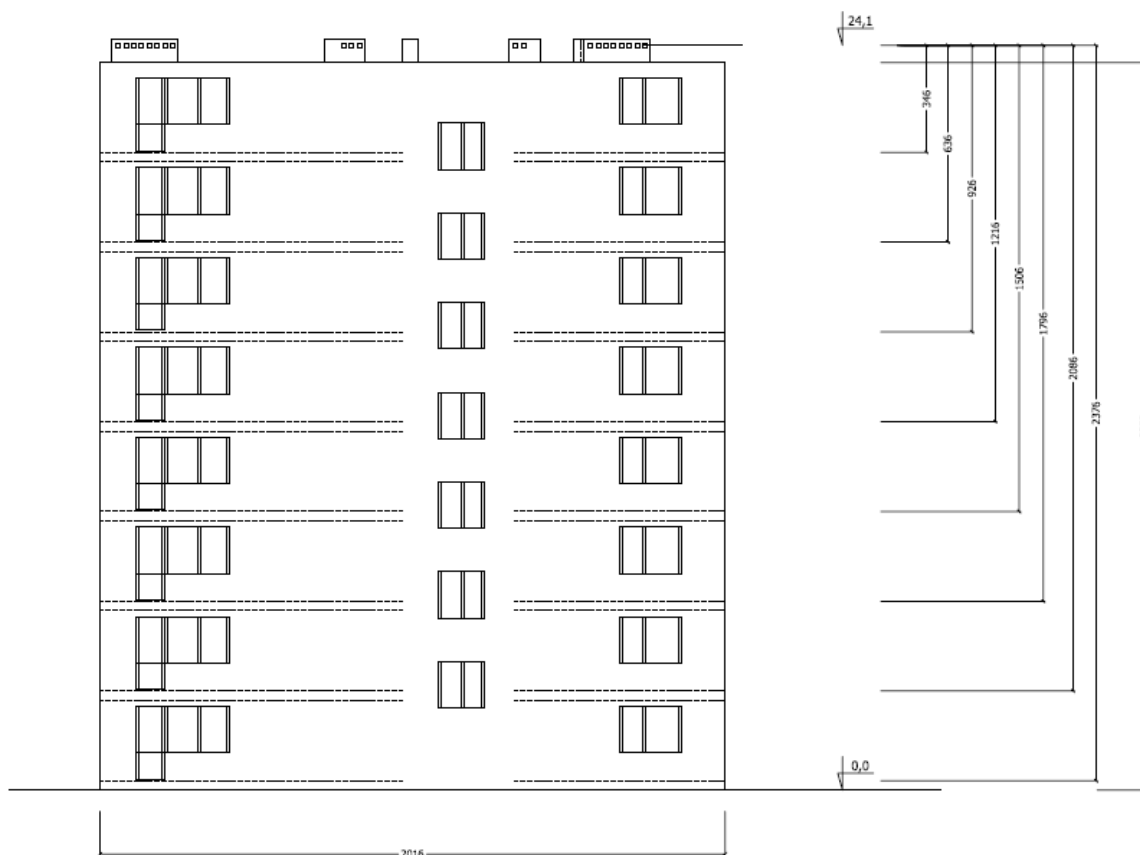


Rys. 3. Rzut parteru wielorodzinnego budynku referencyjnego NAPE



Rys. 4. Rzut piętra powtarzalnego wielorodzinnego budynku referencyjnego NAPE

Na parterze budynku znajduje się wiatrołap, wózkownia oraz dwa mieszkania – M2 i M3. Na każdej kolejnej kondygnacji znajdują się po trzy mieszkania M1, M2 i M3. W sumie w budynku znajdują się 23 mieszkania, w których mieszka 47 osób. Wejście do budynku znajduje się od strony północno-wschodniej. Okna mieszkań M1 także znajdują się od strony północno-wschodniej. Okna mieszkań M2 znajdują się od strony południowo-wschodniej i południowo-zachodniej. Okna mieszkań M3 znajdują się od strony północno-wschodniej, północno-zachodniej i południowo-zachodniej. Na poniższym rysunku przedstawiono widok południowo-zachodniej fasady budynku.



Rys. 5. Widok południowo-zachodniej fasady 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]	5865
2	Kubatura do symulacji wentylacji (objętość powietrza mieszkań, korytarzy i klatki schodowej) [m ³]	4202
3	Powierzchnia przegród zewnętrznych A_e [m ²]	2029
4	Współczynnik kształtu A_e/V_e [m ⁻¹]	0,35
5	Powierzchnia użytkowa A_f [m ²]	1634
6	Powierzchnia do symulacji wentylacji (powierzchnia mieszkań, korytarzy i klatki schodowej) [m ²]	1616

Tabela 2. Charakterystyka geometryczna przegród nieprzezroczystych

Nr	Nazwa	Orientacja	Azymut	Pochylenie	Pole brutto przegrody
-	-	-	deg.	deg.	m ²
1	Ściana zewnętrzna	NE	45	90	473,8
2	Ściana zewnętrzna	SE	135	90	290,9
3	Ściana zewnętrzna	SW	225	90	473,8



Nr	Nazwa	Orientacja	Azymut	Pochylenie	Pole brutto przegrody
-	-	-	deg.	deg.	m ²
4	Ściana zewnętrzna	NW	315	90	290,9
5	Stropodach	H	0	0	249,6
6	Strop nad nieogrzewaną piwnicą	H	0	0	249,6

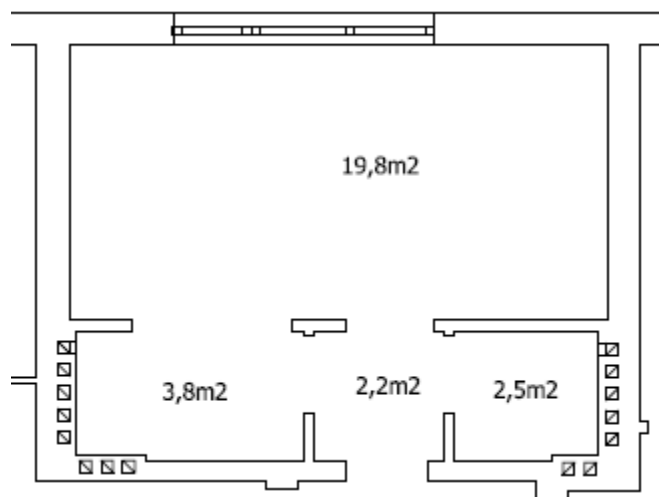
Uwaga: W tabelach przedstawiono powierzchnię brutto ścian zewnętrznych (wraz z oknami). Pole powierzchni brutto nie musi być prostym iloczynem długości i szerokości całkowitej przegrody ze względu na złożoność przestrzenną geometrii budynku.

Tabela 3. Charakterystyka geometryczna przegród przezroczystych

Nr	Nazwa	Orientacja	Azymut	Pochylenie	Pole powierzchni okien i drzwi	Pole netto przegrody
-	-	-	deg.	deg.	m ²	m ²
1	Ściana zewnętrzna	NE	45	90	61,0	412,7
2	Ściana zewnętrzna	SE	135	90	60,1	230,9
3	Ściana zewnętrzna	SW	225	90	81,8	392,0
4	Ściana zewnętrzna	NW	315	90	60,1	230,9
5	Dach	H	0	0	0,0	249,6
6	Strop nad nieogrzewaną piwnicą	H	0	0	0,0	249,6
				Suma	262,9	1765,6

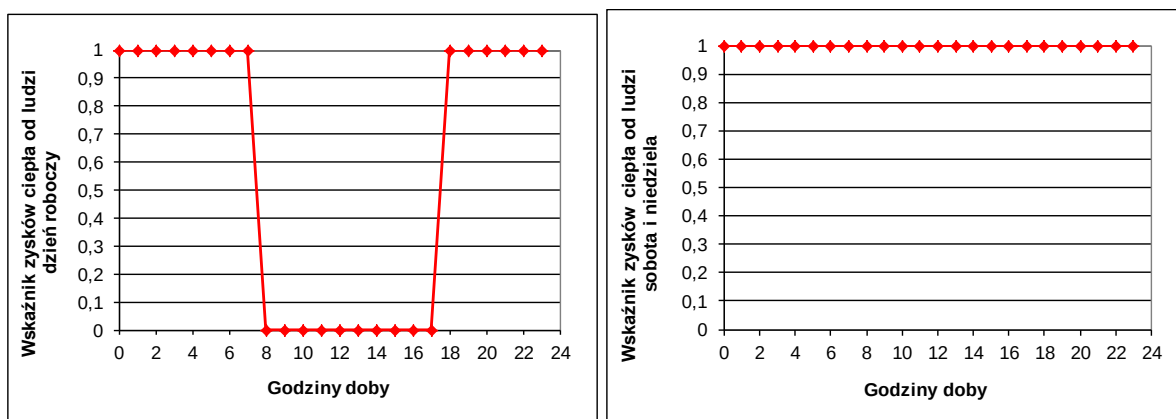
1.2. Opis mieszkania M1

W referencyjnym budynku wielorodzinnym NAPE znajduje się 7 mieszkań typu M1 zlokalizowanych na piętrach od 1 do 7. Na parterze w miejsce mieszkania M1 znajduje się wejście do budynku z wiatrołapem oraz wózkowania. Poniżej na rysunku przedstawiono rzut mieszkania M1.

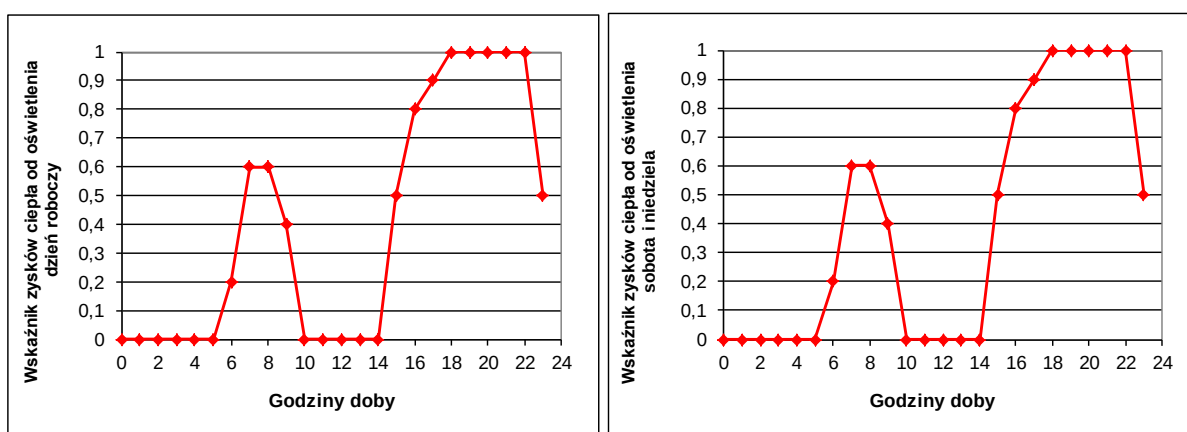


Rys. 6. Rzut mieszkania M1 w wielorodzinnym budynku referencyjnym NAPE

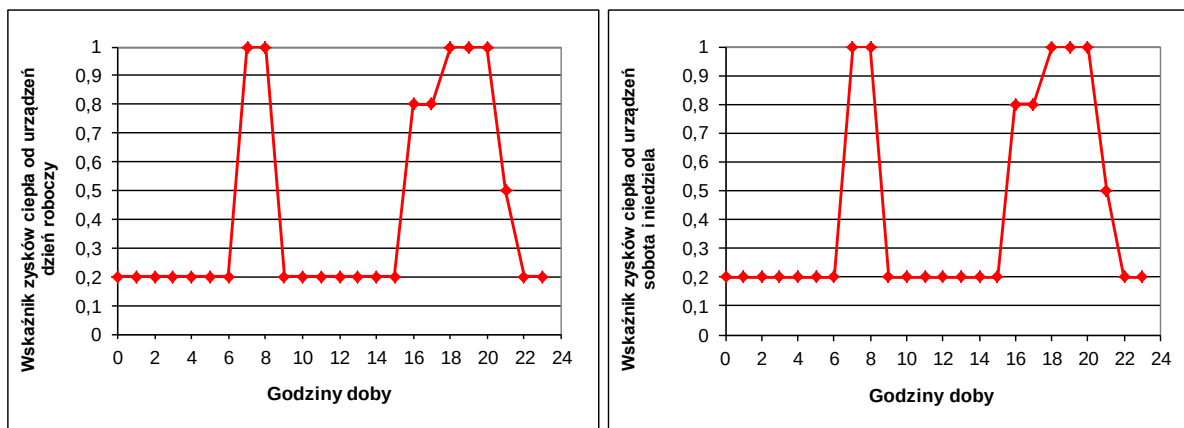
W mieszkaniu tym znajduje się przedsiónek, łazienka wraz z WC, aneks kuchenny oraz pokój dzienny, a całkowita powierzchnia mieszkania wynosi 28,8 m². Mieszkanie to jest użytkowane przez jedną osobę dorosłą. Schemat zysków ciepła od mieszkańców, oświetlenia i urządzeń przedstawiono kolejno na poniższych wykresach. Maksymalne godzinowe wielkości zysków ciepła wynoszą odpowiednio 67 W dla przebywania mieszkańców, 350 W dla urządzeń oraz 77 W dla oświetlenia.



Rys. 7. Harmonogram zysków ciepła od ludzi dla mieszkania M1

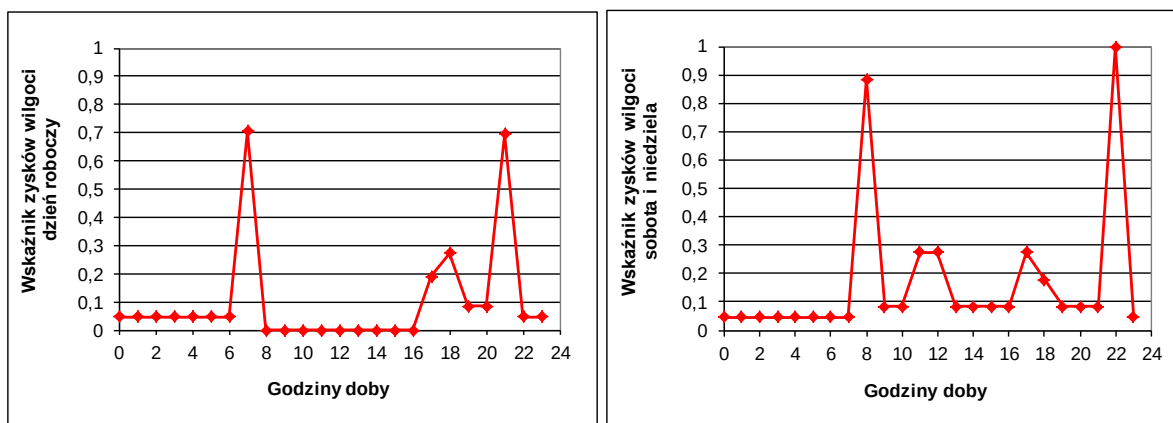


Rys. 8. Harmonogram zysków ciepła od oświetlenia dla mieszkania M1



Rys. 9. Harmonogram zysków ciepła od urządzeń dla mieszkania M1

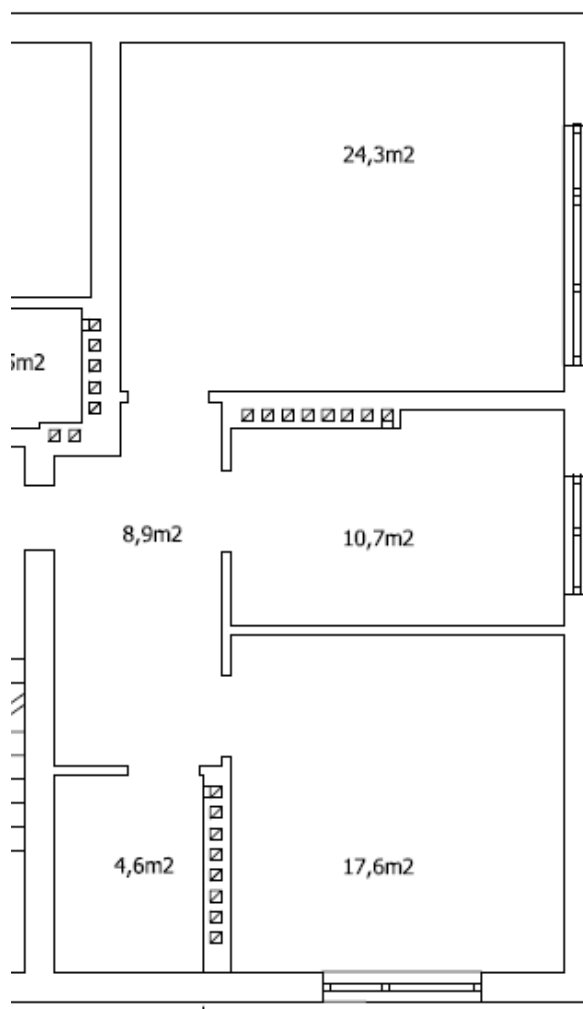
W mieszkaniu założono również schemat występowania zysków wilgoci związanych z przebywaniem ludzi, pochodzących z procesów gotowania, zmywania oraz prania a także związanych z myciem się mieszkańców (prysznicami). Poniżej na wykresie pokazano schemat występowania zysków wilgoci w mieszkaniu M1, przy czym maksymalne godzinowe zyski wilgoci wynoszą 658 gram.



Rys. 10. Schemat występowania zysków wilgoci dla mieszkania M1

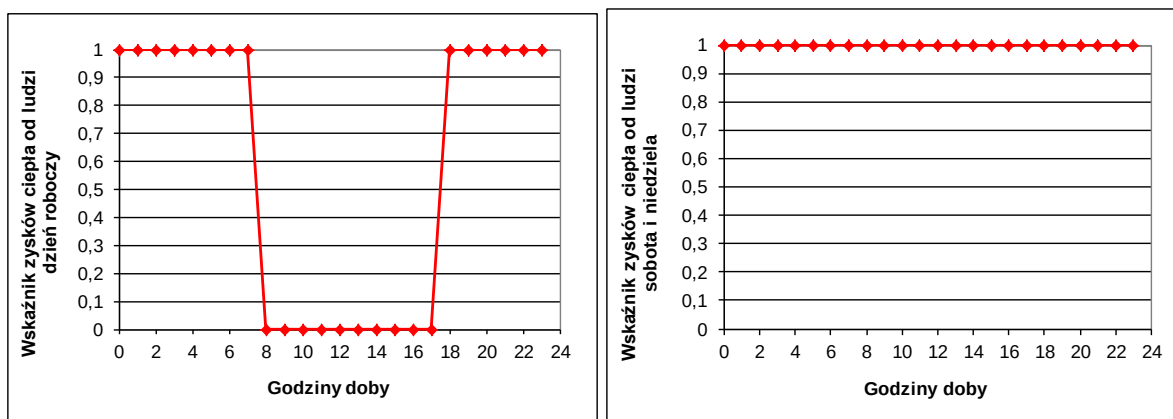
1.3. Opis mieszkania M2

W referencyjnym budynku wielorodzinnym NAPE znajduje się 8 mieszkań typu M2 zlokalizowanych na piętrach od 1 do 7 oraz na parterze. Poniżej na rysunku przedstawiono rzut mieszkania M2.

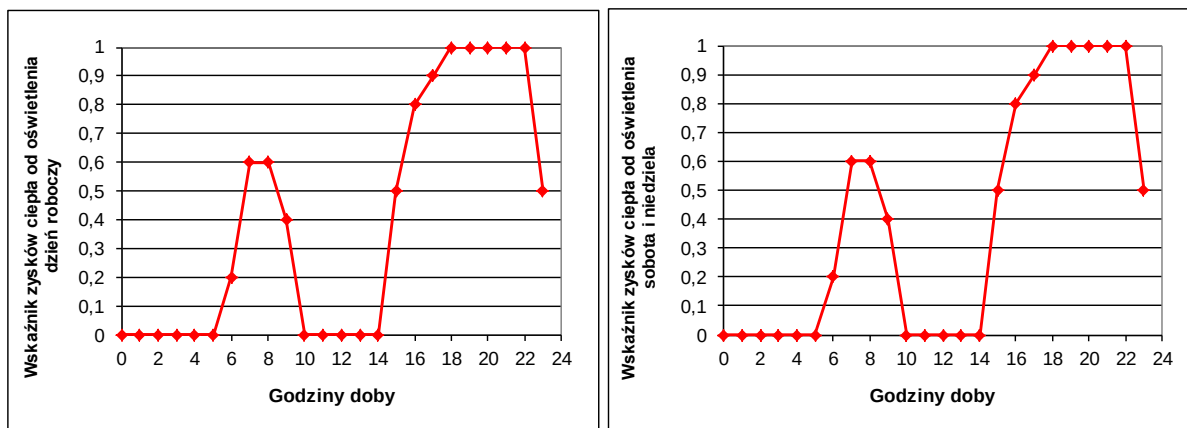


Rys. 11. Rzut mieszkania M2 w wielorodzinnym budynku referencyjnym NAPE

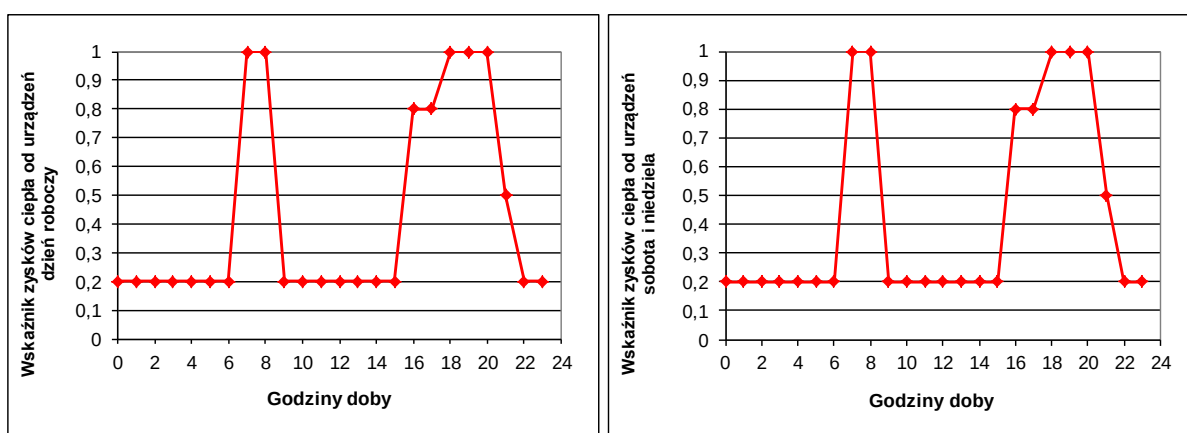
W mieszkaniu tym znajduje się przedsionek, łazienka wraz z WC, oddzielna kuchnia, pokój dzienny oraz jedna sypialnia, a całkowita powierzchnia mieszkania wynosi około 66,5 m². Mieszkanie to jest użytkowane przez dwie osoby dorosłe. Schemat zysków ciepła od mieszkańców, oświetlenia i urządzeń przedstawiono kolejno na poniższych wykresach. Maksymalne godzinowe wielkości zysków ciepła wynoszą odpowiednio: 134 W dla przebywania mieszkańców, 350 W dla urządzeń oraz 177 W dla oświetlenia.



Rys. 12. Harmonogram zysków ciepła od ludzi dla mieszkania M2

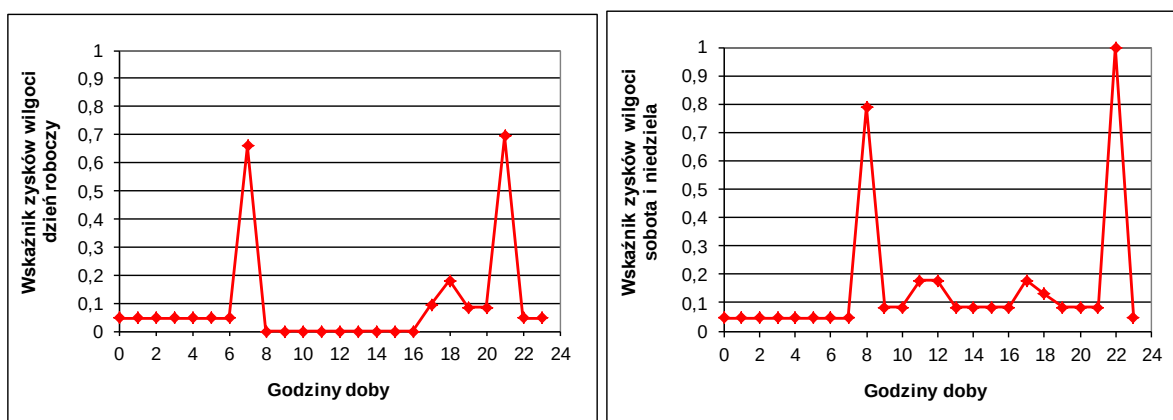


Rys. 13. Harmonogram zysków ciepła od oświetlenia dla mieszkania M2



Rys. 14. Harmonogram zysków ciepła od urządzeń dla mieszkania M2

W mieszkaniu 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 mieszkaniu M2, przy czym maksymalne godzinowe zyski wilgoci wynoszą 1316 gram.

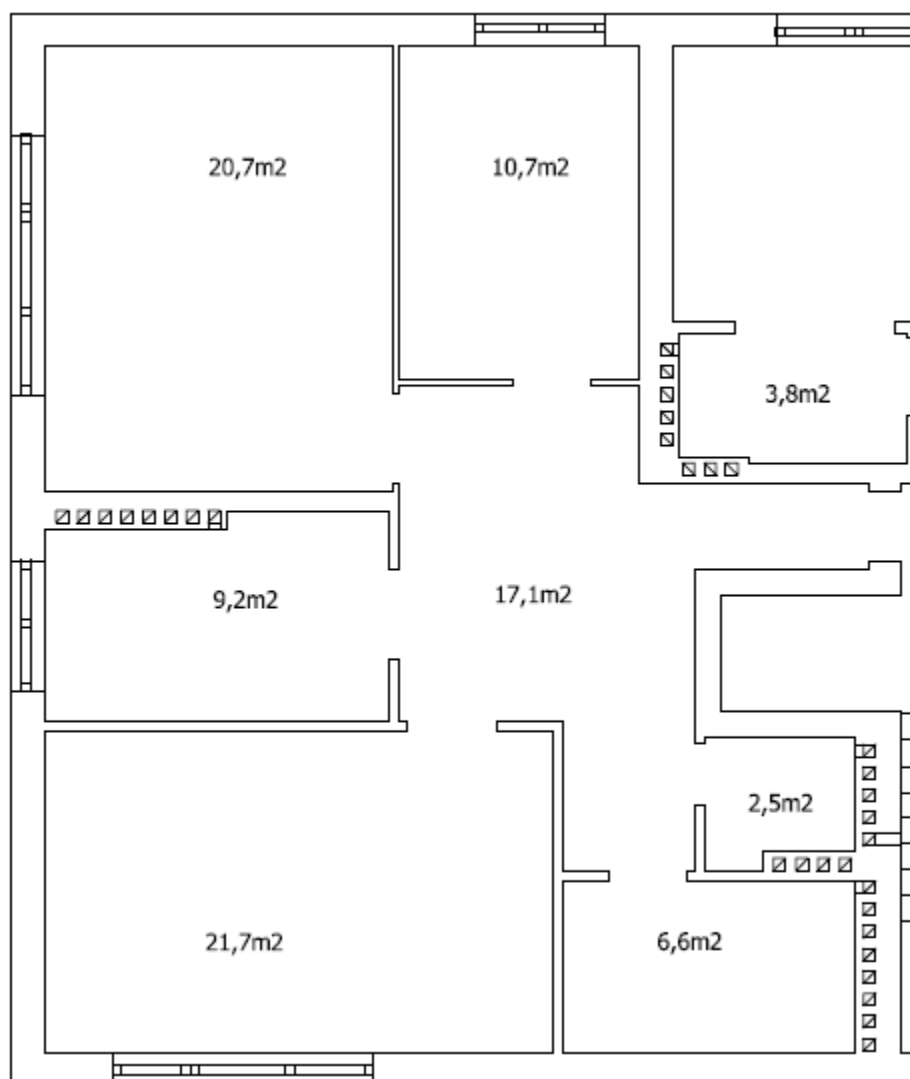


Rys. 15. Schemat występowania zysków wilgoci dla mieszkania M2

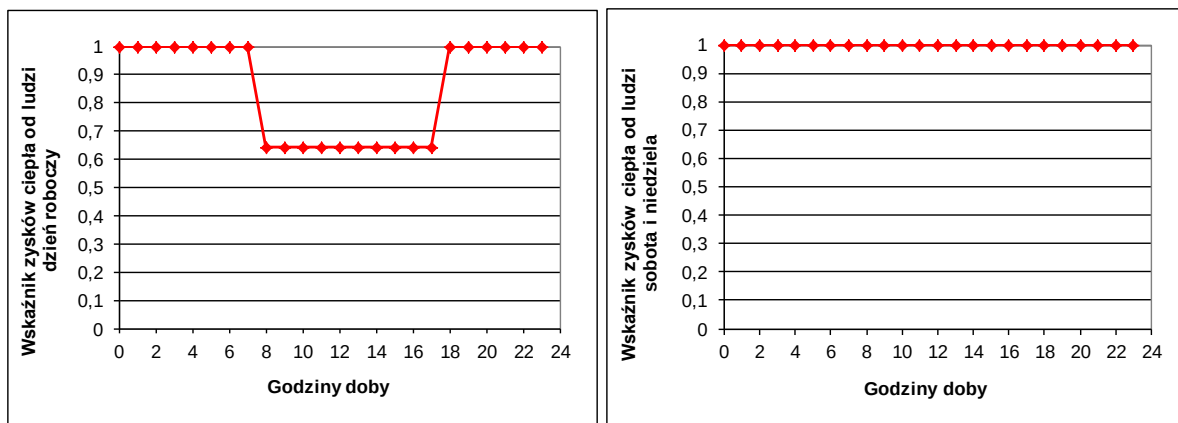
1.4. Opis mieszkania M3

W referencyjnym budynku wielorodzinnym NAPE znajduje się 8 mieszkań typu M3 zlokalizowanych na piętrach od 1 do 7 oraz na parterze. Poniżej na rysunku przedstawiono rzut mieszkania M3.

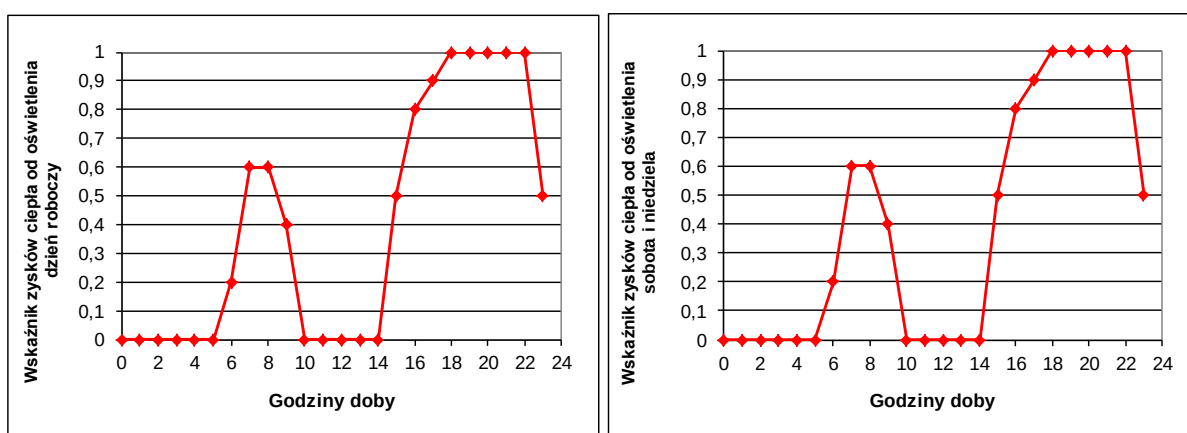
W mieszkaniu tym znajduje się przedsionek, łazienka, oddzielny WC, oddzielna kuchnia, pokój dzienny oraz dwie sypialnie, a całkowita powierzchnia mieszkania wynosi około 88,9 m². Mieszkanie to jest użytkowane przez dwie osoby dorosłe oraz jedno dziecko. Schemat zysków ciepła od mieszkańców, oświetlenia i urządzeń przedstawiono kolejno na wykresach (rys. 17 - rys. 19). Maksymalne godzinowe wielkości zysków ciepła wynoszą odpowiednio: 187,6 W dla przebywania mieszkańców, 350 W dla urządzeń oraz 237 W dla oświetlenia.



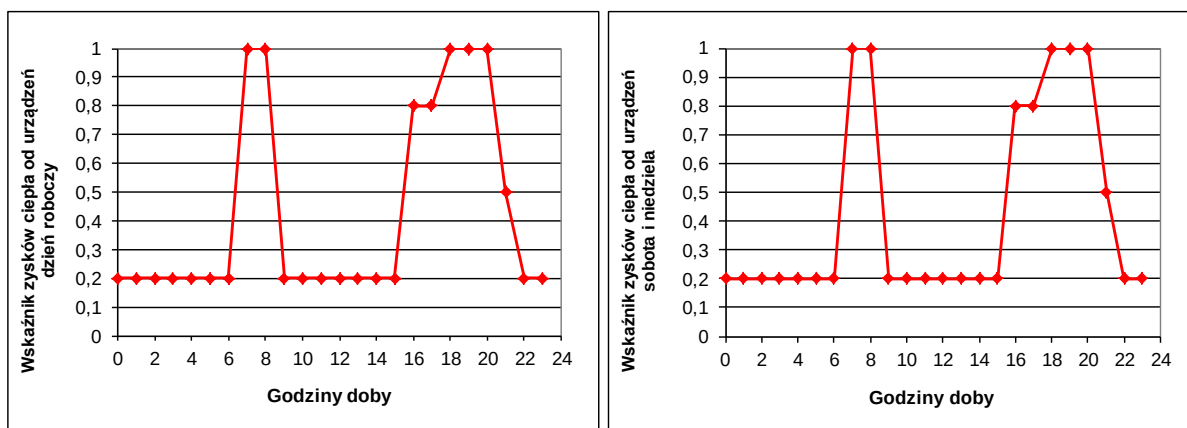
Rys. 16. Rzut mieszkania M3 w wielorodzinnym budynku referencyjnym NAPE



Rys. 17. Harmonogram zysków ciepła od ludzi dla mieszkania M3

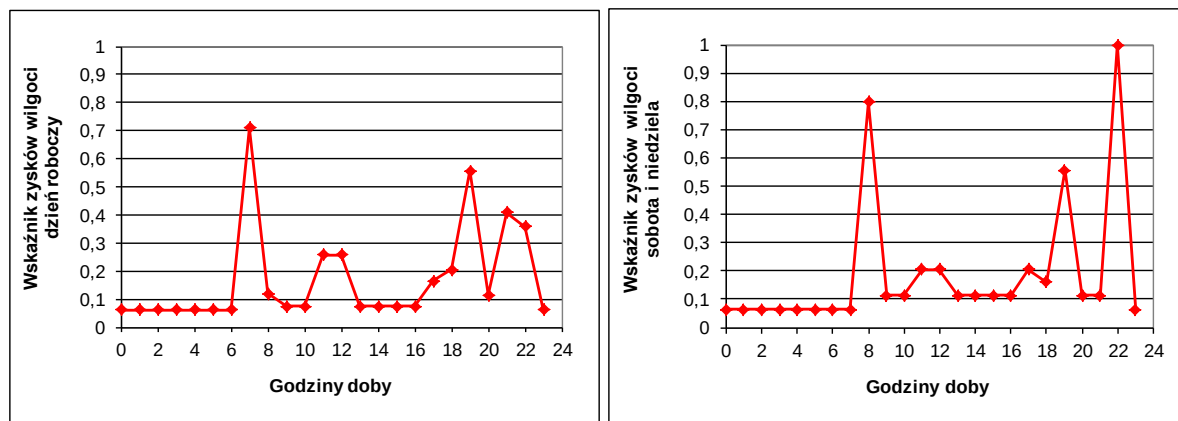


Rys. 18. Harmonogram zysków ciepła od oświetlenia dla mieszkania M3



Rys. 19. Harmonogram zysków ciepła od urządzeń dla mieszkania M3

W mieszkaniu 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 mieszkaniu M3, przy czym maksymalne godzinowe zyski wilgoci wynoszą 1361 gram.



Rys. 20. Schemat występowania zysków wilgoci dla mieszkania M3

Powyżej przedstawione zyski ciepła, średnio dobowo i sumarycznie wynoszą: 5,13 W/m² [1], [5], [7], [9]. Natomiast jednostkowe maksymalne zyski ciepła dla poszczególnych źródeł wynoszą odpowiednio: 2,11 W/m² dla ludzi, 2,67 W/m² dla oświetlenia oraz 5,59 W/m² dla urządzeń.

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) - [12] na dzień **1 stycznia 2021r.**

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 4. 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	NE	0,20	0,6	0,9
2	Ściana zewnętrzna	SE	0,20	0,6	0,9
3	Ściana zewnętrzna	SW	0,20	0,6	0,9
4	Ściana zewnętrzna	NW	0,20	0,6	0,9
5	Dach	H	0,15	0,6	0,9
6	Strop nad nieogrzewaną piwnicą	H	0,25	0,6	0,9

Tabela 5. Charakterystyka cieplna przegród przezroczystych

Nr	Nazwa	Orientacja	Współczynnik przenikania ciepła
-	-	-	W/m ² K
1	Ściana zewnętrzna	NE	0,9
2	Ściana zewnętrzna	SE	0,9
3	Ściana zewnętrzna	SW	0,9
3	Ściana zewnętrzna	NW	0,9

3. Referencyjne źródło ciepła

Źródłem ciepła w budynku jest warszawska miejska sieć ciepłownicza. Ciepło przekazywane jest w węźle wyposażonym w wymiennik płytowy, licznik ciepła, regulator pogodowy i niezbędną armaturę.

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

Ogólna sprawność źródła ciepła na potrzeby c.o. i ogrzania powietrza wentylacyjnego wynosi 90%.

Współczynnik nakładu w nieodnawialnej energii pierwotnej dla źródła ciepła wynosi 0,80.

4. Referencyjny system c.o.

Analizowany budynek wyposażony jest w instalację centralnego ogrzewania. Założona temperatura wewnętrzna w mieszkaniach wynosi 20°C (łazienki 24°C), natomiast temperatura na klatce schodowej wynosi 12°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 zwory podpionowe, a grzejniki w zawory termostatyczne.

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 wielorodzinnego budynku referencyjnego NAPE na potrzeby oceny energetycznej systemów c.o.

5. Referencyjny system przygotowania c.w.u.

Referencyjną instalację ciepłej wody użytkowej dla budynku wielorodzinnego zaprojektowano zgodnie z normą PN-74/H-74200 i wytycznymi technicznymi dla budynków zawartych w rozporządzeniu [12]. Jako materiał instalacyjny przyjęto rury stalowe ocynkowane ze szwem średnie zgodne z normą PN-74/H-74200, łączone za pomocą gwintowanych łączników z żeliwa ciągliwego. Ciepła woda przygotowana jest w wymienniku płytowym zasilanym czynnikiem grzewczym z miejskiej sieci ciepłowniczej, zlokalizowanym w pomieszczeniu węzła cieplnego znajdującego się w piwnicy budynku. Instalację ciepłej wody zaprojektowano z rozdziałem dolnym na poziomie kondygnacji piwnic budynku (rys. 21). Woda ciepła rozprowadzana jest do poszczególnych punktów czerpalnych za pomocą 6 pionów na poszczególne kondygnacje. Na każdym odgałęzieniu od pionu zlokalizowano zawór odcinający oraz wodomierz mieszkaniowy służący do rozliczania ilości zużytej ciepłej wody w poszczególnych lokalach mieszkalnych.



Rys. 21. Aksonometria instalacji c.w.u. i instalacji cyrkulacyjnej.

Przepływy obliczeniowe dla poszczególnych odcinków instalacji c.w.u. określono na podstawie wzorów z normy PN-B-01706:1992/Az1:1999. Na tej podstawie dobrano średnice poszczególnych odcinków instalacji wody ciepłej oraz przewodów cyrkulacyjnych.

Z instalacją współpracuje pompa cyrkulacyjna, zapewniająca zgodną z wymaganiami technicznymi temperaturę wody ciepłej w zakresie: 60-55°C. Pompa zlokalizowana jest na przewodzie cyrkulacyjnym doprowadzającym wodę ciepłą z obiegu cyrkulacyjnego do króćca zasilającego wymiennik do c.w.u.

Przewody instalacji ciepłej wody oraz przewody cyrkulacyjne zaizolowano zgodnie z wymaganiami normy PN-B-02421:2000 otuliną o grubości ścianki 20 mm dla rur o średnicy do 20 mm i 30 mm dla rur o średnicy do 50 mm. Wymagane grubości ścianek otuliny odnoszą się do materiału izolacyjnego o współczynniku przewodności cieplnej 0,035 W/(m²·K).

Wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię dla instalacji c.w.u. w budynku referencyjnym zamieszczono w poniższej tabeli.

Tabela 6. Wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię dla instalacji c.w.u. w budynku referencyjnym NAPE.

Dzień roboczy	Dzień wolny	Razem tydzień	Razem miesiąc	Razem rok
[kWh/d]	[kWh/d]	[kWh/tydz]	[kWh/mc]	[kWh/r]
Zużycie energii na podgrzanie CWU				
209,48	220,08	1 487,53	6 369,08	77 561,14
Straty ciepła w całej instalacji CWU				
46,80	46,80	327,63	1404,11	17083,32
Energia do napędu pompy cyrkulacyjnej				
0,91	0,91	6,38	27,36	332,88
Łączne zapotrzebowanie na energię dla instalacji CWU				
257,19	267,79	1821,54	7800,55	94977,34

Razem energia cieplna	94 961 kWh/rok
Razem energia elektryczna	333 kWh/rok
Sprawność źródła ciepła	0,9
Razem energia końcowa cieplna	105 512 kWh/rok
Razem energia końcowa elektryczna	333 kWh/rok

Po uwzględnieniu sprawności źródła ciepła wynoszącej 0,9 oraz wskaźników nakładu dla energii pierwotnej 0,80 (zgodnie z referencyjnym źródłem ciepła opisanym w punkcie 3) i 3,0 (energia elektryczna) zgodnie z [13], otrzymano zużycie energii pierwotnej wynoszące 85 408 kWh/rok.

Szczegółowy opis systemu przygotowania c.w.u. znajduje się w opisie wielorodzinnego budynku referencyjnego NAPE na potrzeby oceny energetycznej systemów przygotowania c.w.u. [2].

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) [12] oraz być zgodny z normą PN-83/B-03430/Az3:2000 [11].

6.1. Wymagany strumień powietrza wentylacyjnego

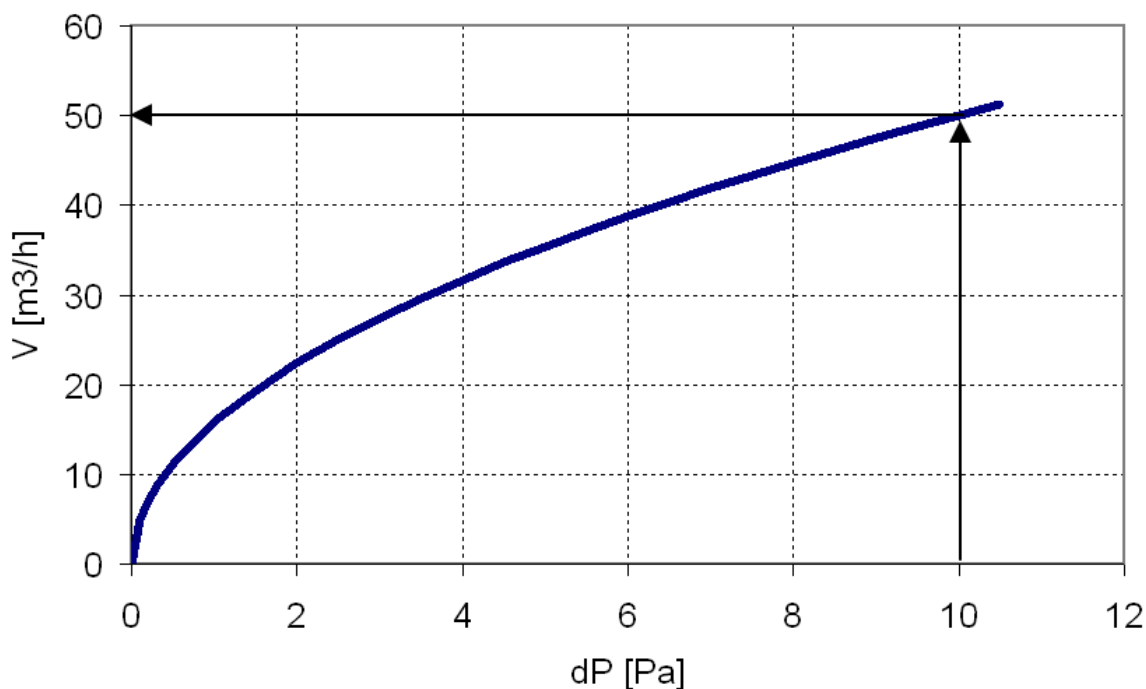
Wymagany strumień powietrza wynika z zapisów normy PN-83/B-03430/Az3:2000 [11], zgodnie z którą należy zapewnić ilość powietrza usuwanego jak w poniższej tabeli:

Tabela 7. Wymagane strumienie powietrza usuwanego

Pomieszczenie z którego należy usuwać powietrze	Minimalny strumień powietrza m^3/h
-	
Kuchnia w mieszkaniu M1	50
Łazienka w mieszkaniu M1	50
Kuchnia w mieszkaniu M2	30
Łazienka w mieszkaniu M2	50
Kuchnia w mieszkaniu M3	50
Łazienka w mieszkaniu M3	50
Toaleta w mieszkaniu M3	30
Razem mieszkanie typu M1	100
Razem mieszkanie typu M2	80
Razem mieszkanie typu M3	130
Razem dla mieszkań	2380

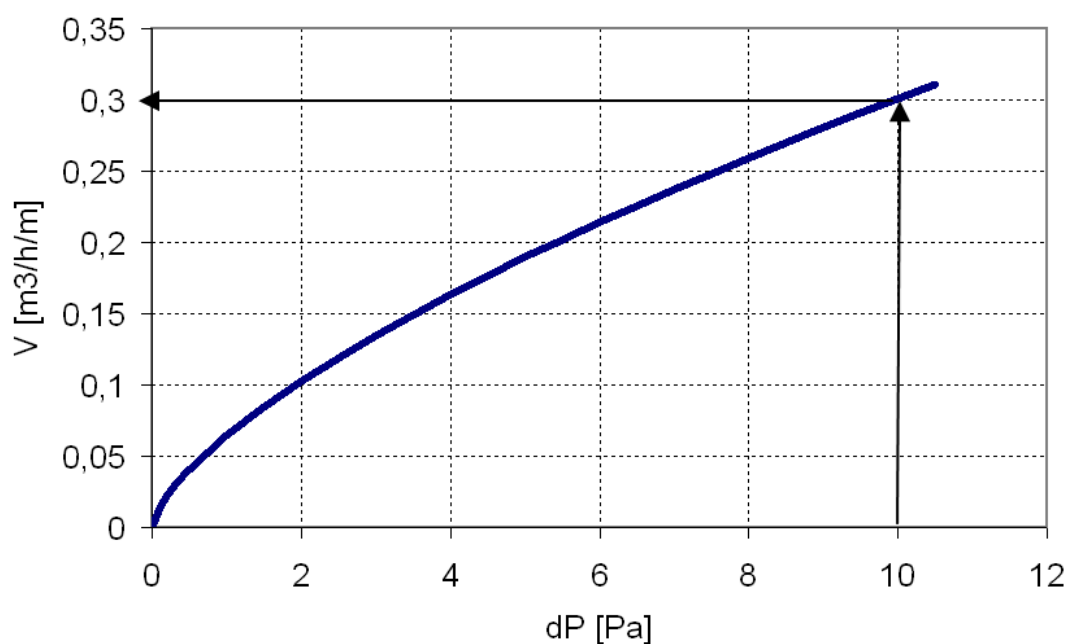
6.2. Elementy nawiewne systemu wentylacji

Przyjęto nawiew powietrza przy pomocy nawiewników zlokalizowanych w górnej krawędzi ramy okiennej. Założono jeden nawiewnik dla każdego pokoju oraz kuchni. W mieszkaniu typu M1 w oknie pokoju są dwa nawiewniki ze względu na brak okna w kuchni. Nawiewniki mają stałą charakterystykę zapewniającą przepływ $50 \text{ m}^3/\text{h}$ przy różnicy ciśnienia 10 Pa , [12]. Dla innym warunków strumień powietrza jest zgodny z poniższą charakterystyką:



Rys. 22. Charakterystyka nawiewnika powietrza dla referencyjnego systemu wentylacji grawitacyjnej

Powietrze w ograniczonym zakresie może również przepływać przez szczeliny okienne charakteryzujące się przepływem $0,3 \text{ m}^3/(\text{h m})$ przy różnicy ciśnienia 10 Pa, [12] – klasa 3 przepuszczalności powietrznej wg PN-EN 12207:2001 [8]. Dla innym warunków strumień powietrza jest zgodny z poniższą charakterystyką:



Rys. 23. Charakterystyka szczeliny okiennej dla referencyjnego systemu wentylacji grawitacyjnej

6.3. Elementy wywiewne systemu wentylacji

Powietrze usuwane jest poprzez kanały wentylacji grawitacyjnej znajdujące się w kuchniach, łazienkach oraz toaletach. Kanały 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 56 cm ponad dachem. Wylot kanału skonstruowany jest 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 toalety.

Założono brak otwierania okien w warunkach obliczeniowych dla wentylacji naturalnej – 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) [12] oraz być zgodny z normą PN-83/B-03430/Az3:2000 [11].

7.1. Wymagany strumień powietrza wentylacyjnego

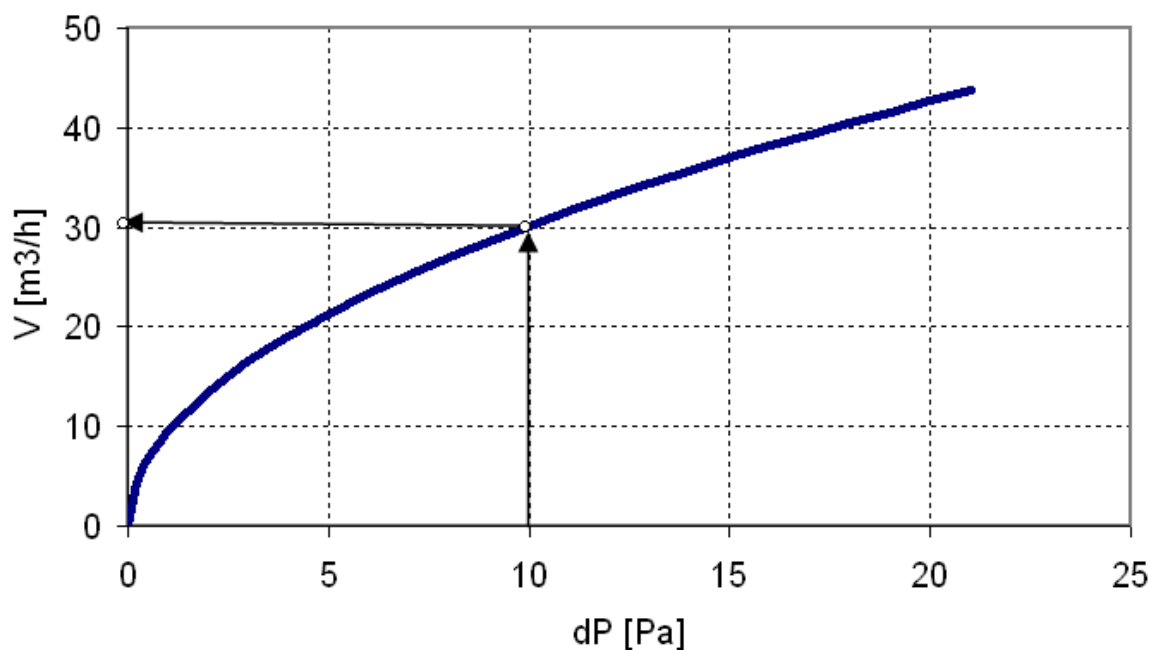
Wymagany strumień powietrza wynika z zapisów normy PN-83/B-03430/Az3:2000 [11], zgodnie z którą należy zapewnić ilość powietrza usuwanego zgodnie z poniższą tabelą:

Tabela 8. Wymagane strumienie powietrza usuwanego

Pomieszczenie z którego należy usuwać powietrze	Minimalny strumień powietrza m^3/h
-	
Kuchnia w mieszkaniu M1	50
Łazienka w mieszkaniu M1	50
Kuchnia w mieszkaniu M2	30
Łazienka w mieszkaniu M2	50
Kuchnia w mieszkaniu M3	50
Łazienka w mieszkaniu M3	50
Toaleta w mieszkaniu M3	30
Razem mieszkanie typu M1	100
Razem mieszkanie typu M2	80
Razem mieszkanie typu M3	130
Razem dla mieszkań	2380

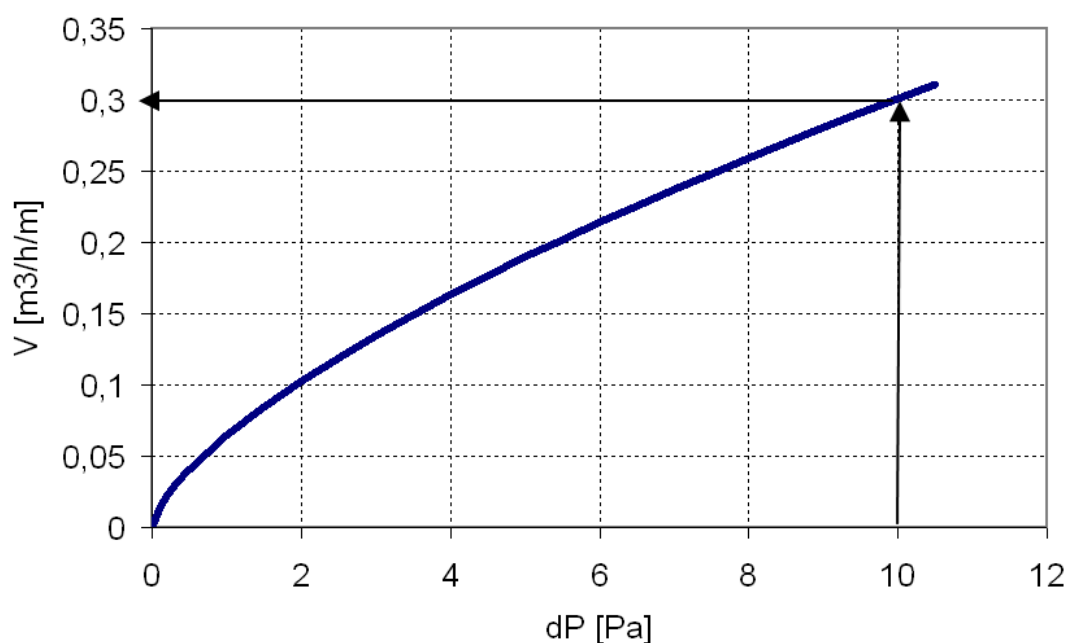
7.2. Elementy nawiewne systemu wentylacji

Przyjęto nawiew powietrza przy pomocy nawiewników zlokalizowanych w górnej krawędzi ramy okiennej. Założono jeden nawiewnik dla każdego pokoju oraz kuchni. W mieszkaniu typu M1 w oknie pokoju są dwa nawiewniki ze względu na brak okna w kuchni. Nawiewniki mają stałą charakterystykę zapewniającą przepływ $30 \text{ m}^3/\text{h}$ przy różnicy ciśnienia 10 Pa, [12]. Dla innym warunków strumień powietrza jest zgodny z poniższą charakterystyką:



Rys. 24. Charakterystyka nawiewnika powietrza dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej

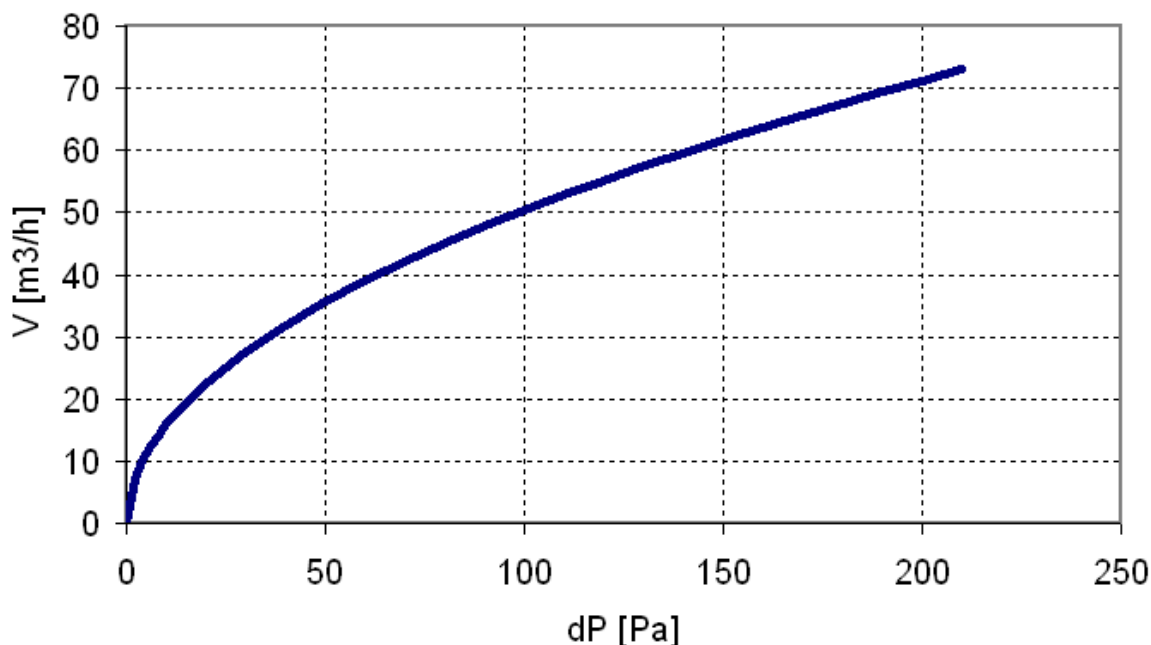
Powietrze w ograniczonym zakresie może również przepływać przez szczeliny okienne charakteryzujące się przepływem $0,3 \text{ m}^3/(\text{h m})$ przy różnicy ciśnienia 10 Pa, [12] – klasa 3 przepuszczalności powietrznej wg PN-EN 12207:2001 [8]. Dla innym warunków strumień powietrza jest zgodny z poniższą charakterystyką:



Rys. 25. 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. 26. Charakterystyka zaworu wywiewnego dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej

Poprzez zawór powietrze wpływa do przyłącza zbiorczych kanałów wentylacyjnych. Wszystkie przyłącza są realizowane przewodem okrągłym o wymiarze 100 mm i oporach równoważnych długości kanału wynoszącej 0,5 m.

Powietrze usuwane jest poprzez zbiorcze kanały wentylacyjne znajdujące się w kuchniach, łazienkach oraz toaletach. Szachty pionowe mają wymiary:

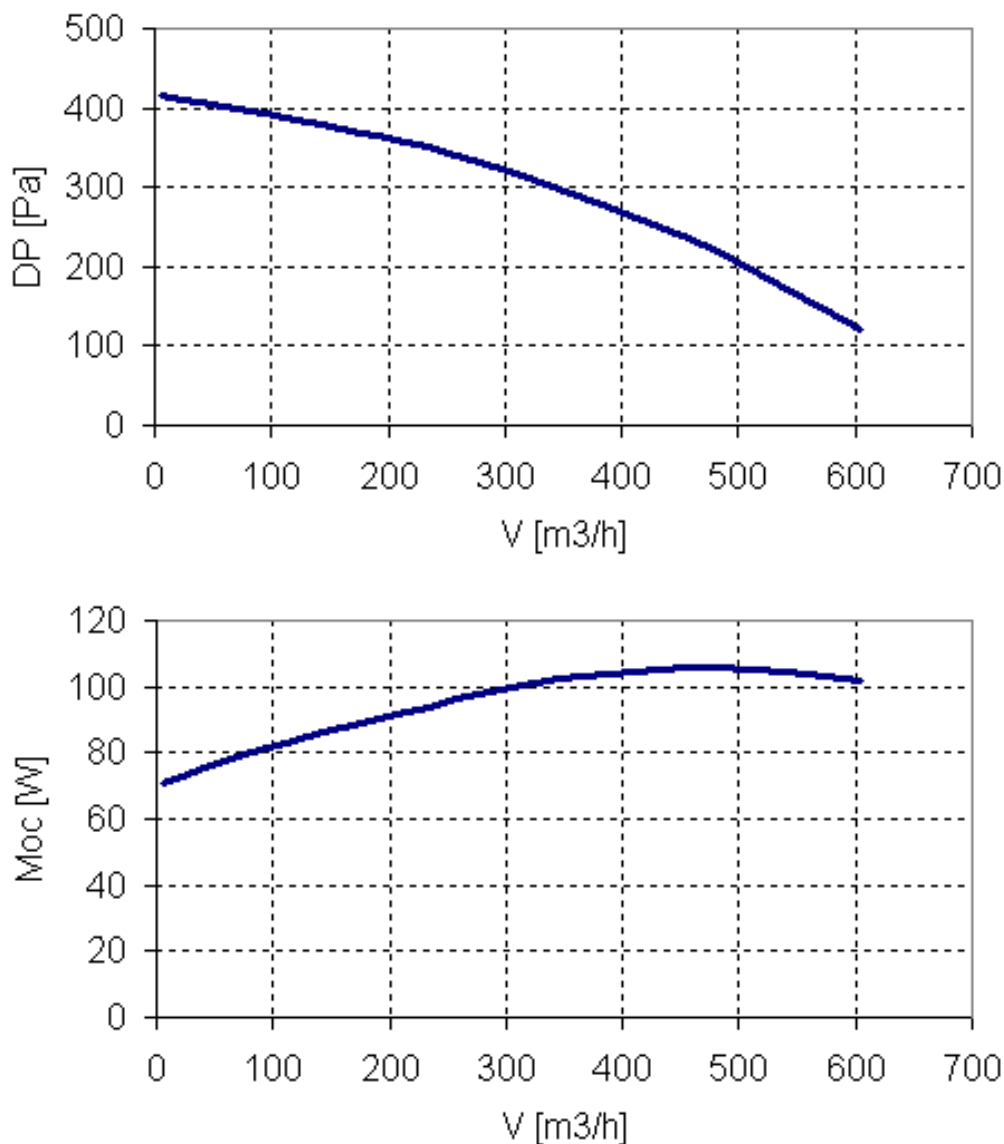
- dla kanałów w kuchniach M1, kuchniach M3 - 300x140 mm,
- dla kanałów w łazienkach M1, kuchniach M2, łazienkach M2, łazienka M3 – 200x140 mm,
- dla kanału w toalecie M3 – 140x140 mm.

Na końcach kanałów znajdują się wentylatory wywiewne o charakterystykach jak na rys. 27. W całym budynku zastosowano 7 wentylatorów dachowych.

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 kanału skonstruowany jest tak, aby niezależnie od kierunku wiatru zawsze ciśnienie dynamiczne powodowało zasysanie powietrza z kanału. Współczynnik konwersji ciśnienia dynamicznego przyjęto jako równy -0,45.

Instalacja została wyregulowana do założonych wydatków strumienia powietrza poprzez zmianę prędkości obrotowej wentylatorów wywiewnych. Współczynniki zmniejszające wynoszą:

- szachty z kuchni w mieszkaniach M3, kuchni w mieszkaniach M1, łazienkach w mieszkaniach M1, łazienki w mieszkaniach M2, łazienki w mieszkaniach M3, – 0,67
- szachty z kuchni w mieszkaniach M2, toalety w mieszkaniach M3, – 0,40



Rys. 27. Charakterystyki wentylatora wywiewnego dla referencyjnego systemu wentylacji mechanicznej wywiewnej

Moc wentylatorów wynika z przeliczenia charakterystyki zgodnie z zależnością $N/N' = (n/n')^{1,6}$, gdzie N/N' to stosunek mocy przed i po zmianie obrotów z n na n' . Wykładnik 1,6 uwzględnia wszystkie sprawności konwersji.

W mieszkaniu powietrze może swobodnie przepływać poprzez otwarte drzwi do pokoi i kuchni oraz kratki o przekroju 220 cm^2 w drzwiach do łazienki i toalety.

Założono brak otwierania okien, a obliczenia przeprowadzono tylko dla sezonu ogrzewczego – średnia dobową temperatura powietrza zewnętrznego poniżej 12°C .

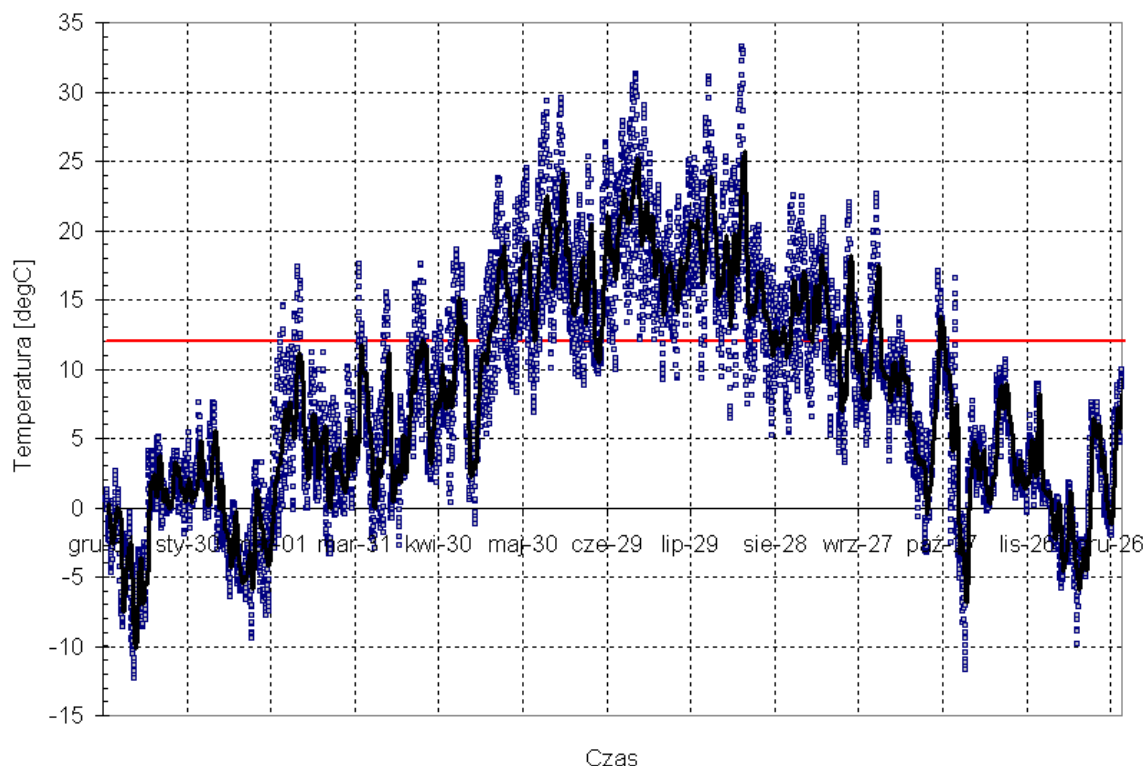
Część II Obliczenie zużycia energii

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].

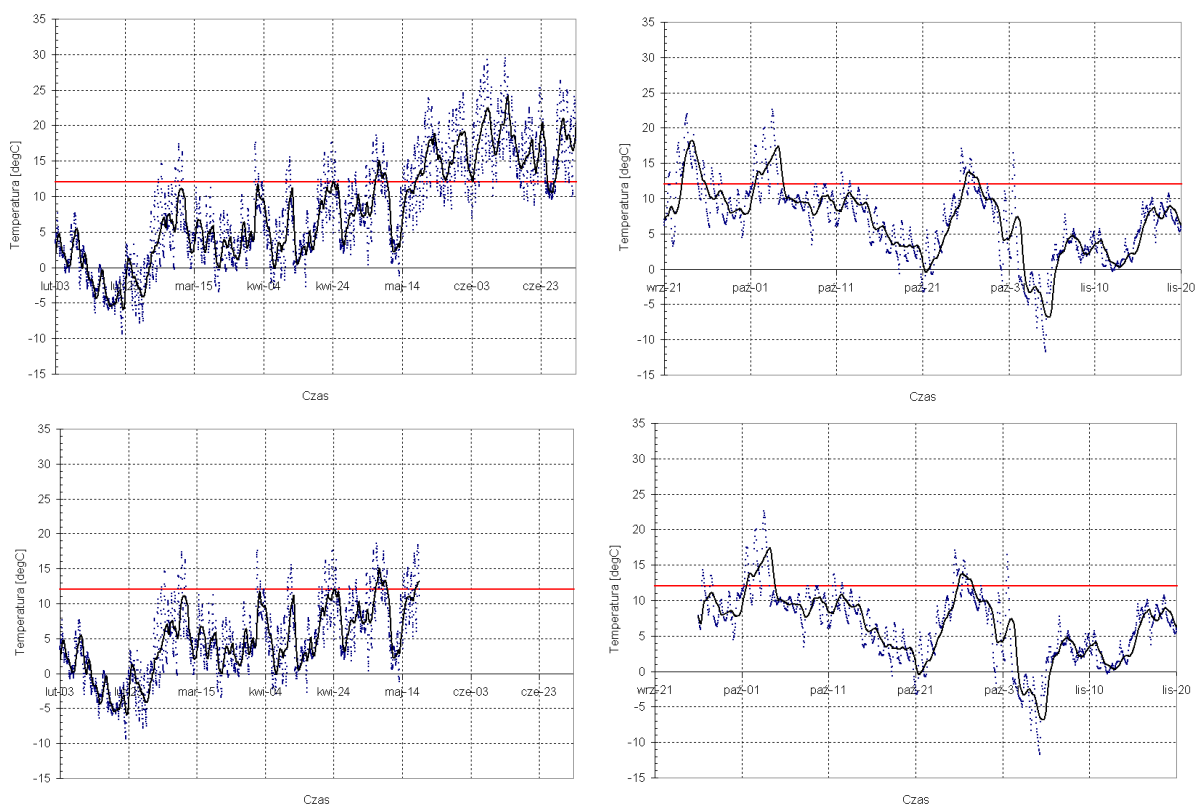
Typowy rok meteorologiczny ISO dla obliczeń energetycznych został opracowany przez International Organization for Standardization przez CEN jako norma EN ISO 15927-4, [9]. Roczny ciąg danych pogodowych dla obliczeń energetycznych tworzony jest z 12 miesięcy wybranych z okresu minimum 10 lat obserwacji 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 Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa pod adresem: <https://dane.gov.pl/dataset/797,typowe-lata-meteorologiczne-i-statystyczne-dane-klimatyczne-dla-obszaru-polski-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. 28. Przebieg zmienności temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy

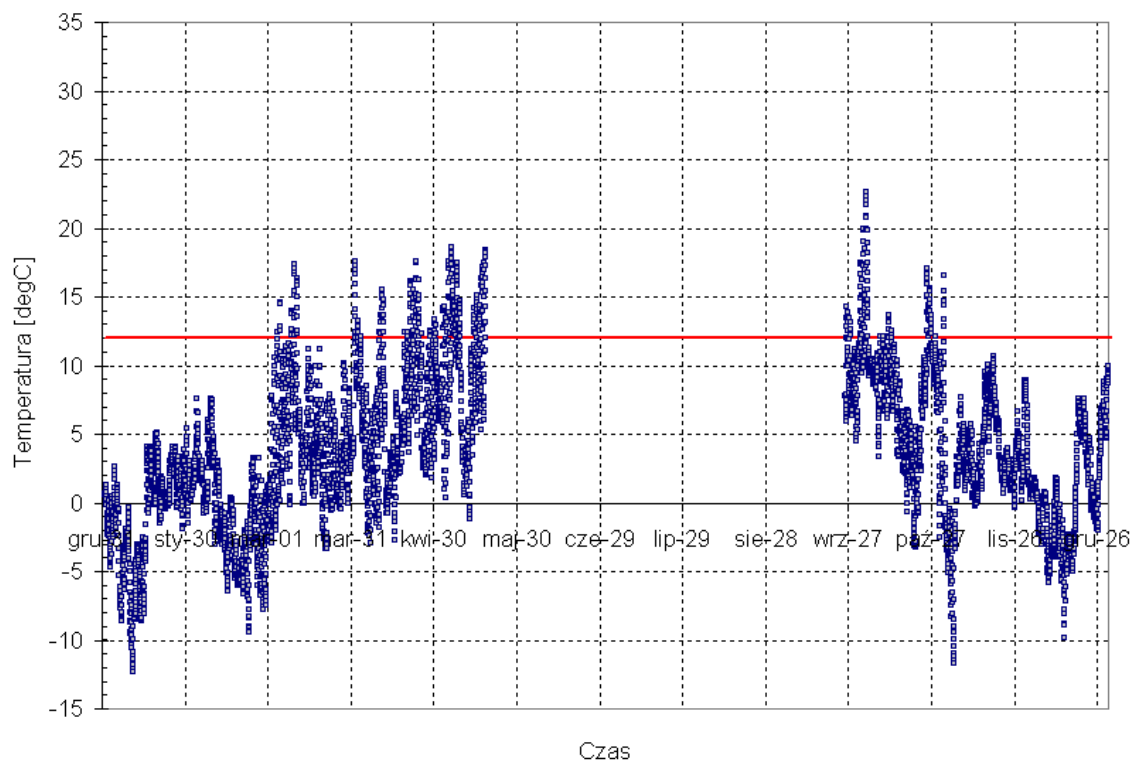
Obliczenia przeprowadzono jedynie dla okresu sezonu ogrzewczego. Założono początek i koniec sezonu ogrzewczego wynikający z wartości temperatury średnio dobowej przekraczającej 12°C. Ilustrację wyboru początku i końca sezonu ogrzewczego przedstawiono na poniższych wykresach.



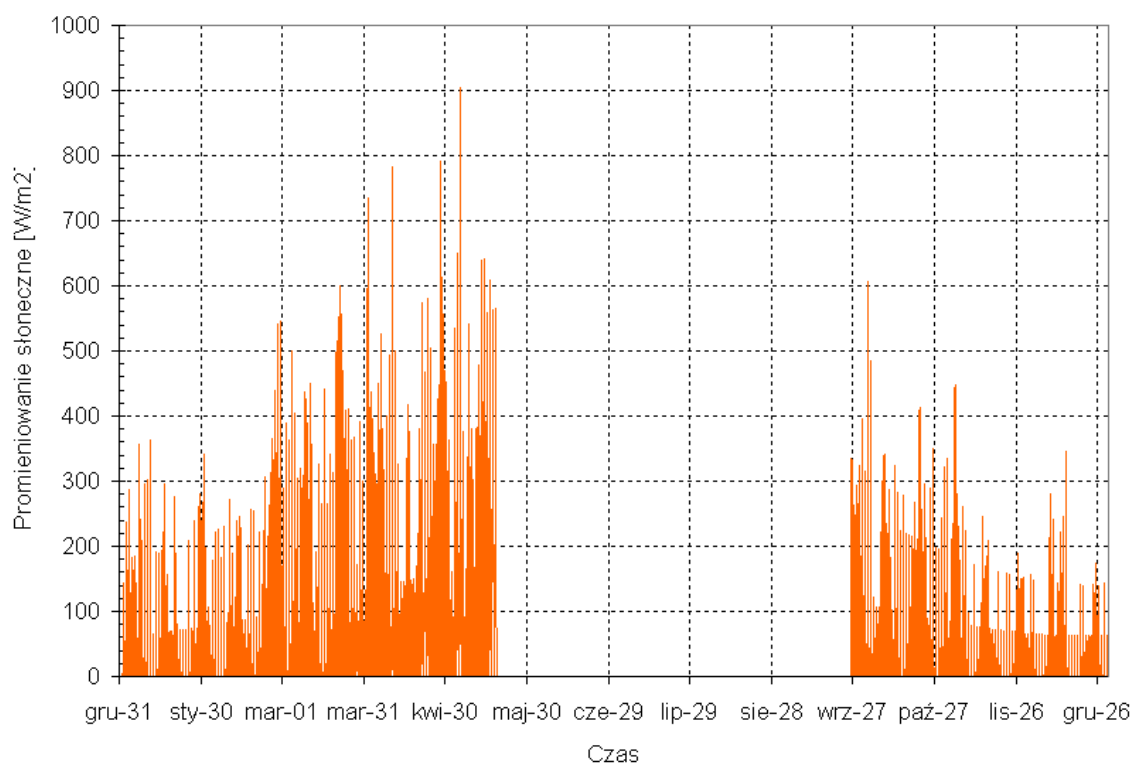
Rys. 29. Ilustracja wyboru początku i końca sezonu ogrzewczego



Wybrany w ten sposób okres sezonu ogrzewczego charakteryzuje się ilością stopniodni wynoszącą 3855°C·dzień, wobec 3885°C·dzień ilości stopniodni dla Warszawy według popularnej normy PN-B-02025 [7].

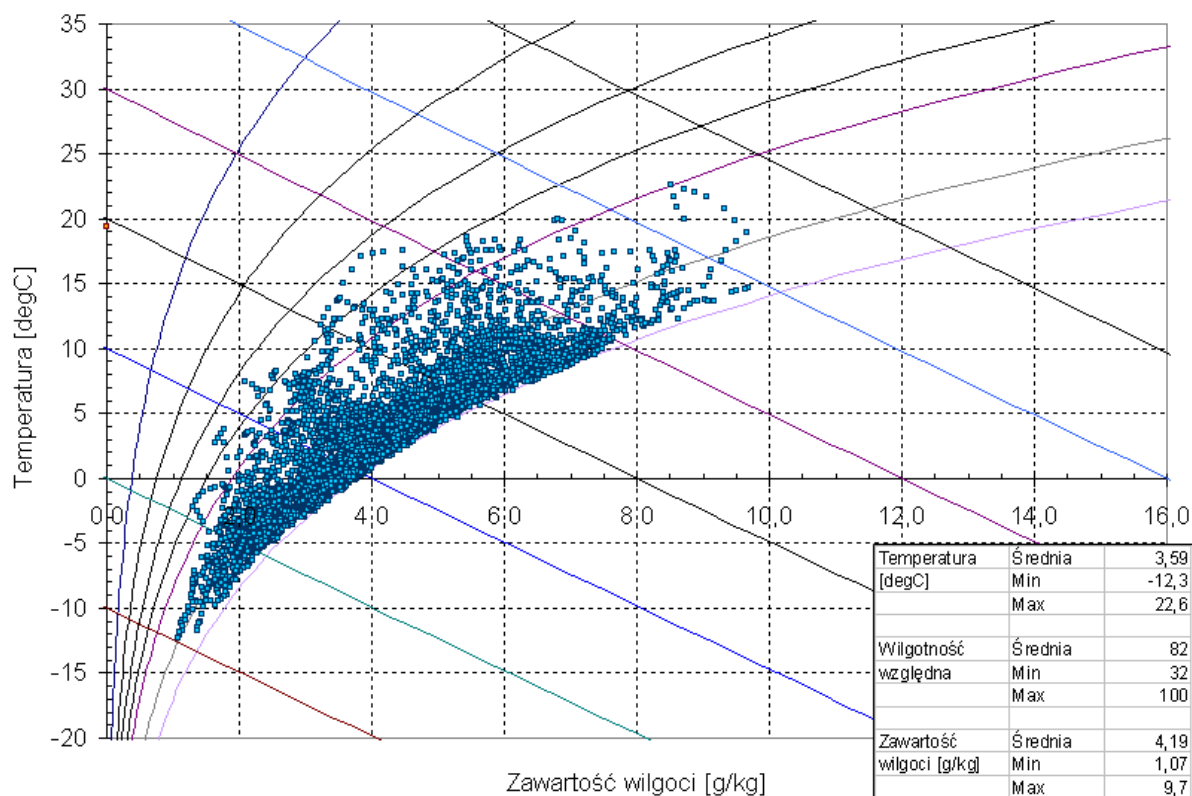


Rys. 30. Przebieg zmienności temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy przyjętego do analiz energetycznych i symulacji przepływów powietrza



Rys. 31. Przebieg zmienności całkowitego natężenia promieniowania słonecznego typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy przyjętego do analiz energetycznych



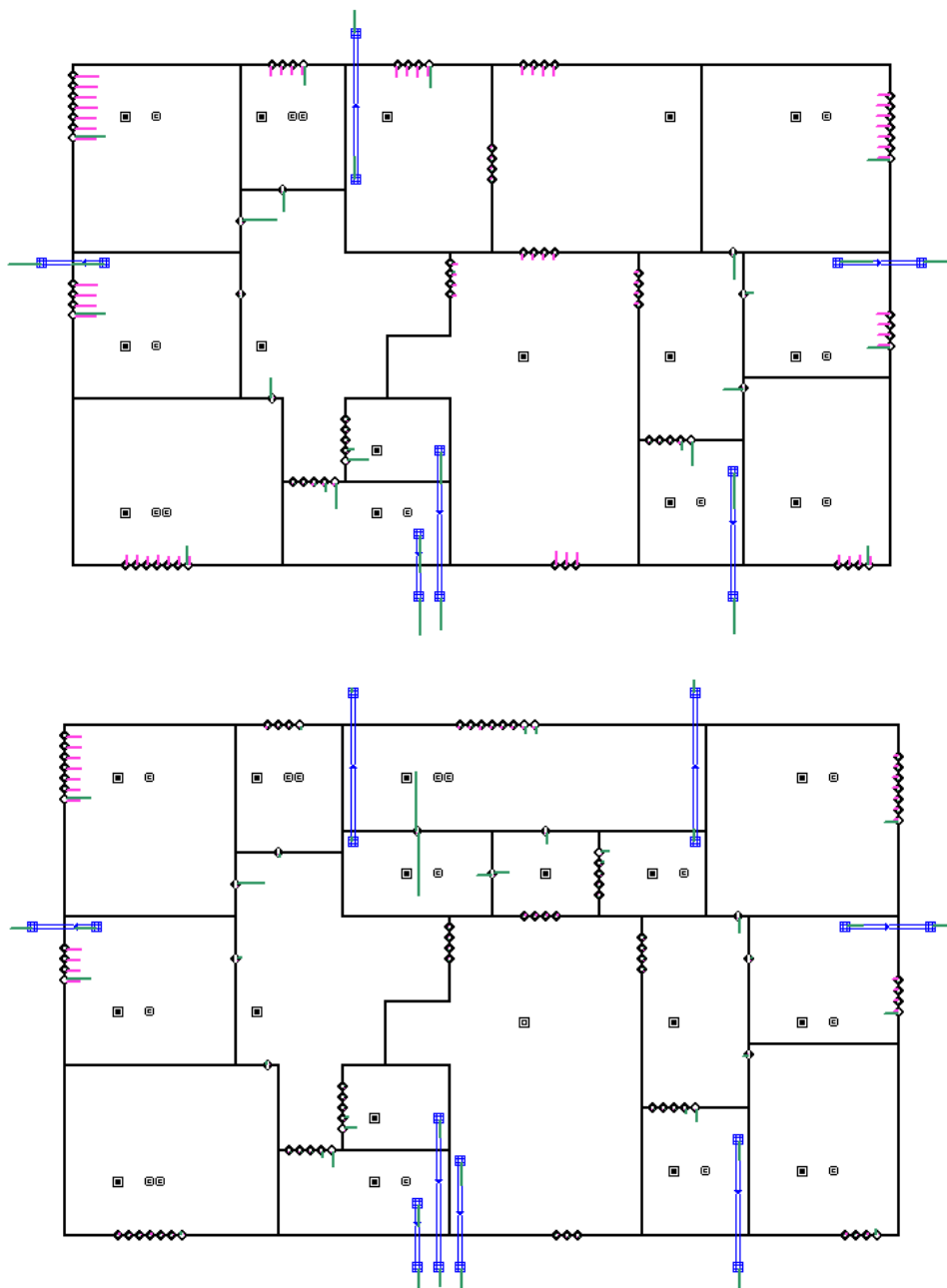


Rys. 32. Ilustracja parametrów psychrometrycznych powietrza zewnętrznego typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy przyjętego do analiz energetycznych i przepływu powietrza.

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, [14] (opis programu <https://www.nist.gov/services-resources/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. 33. Ilustracja opisu pierwszej i ostatniej kondygnacji referencyjnego budynku wielorodzinnego NAPE wyposażonego w referencyjny system wentylacji naturalnej 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://dane.gov.pl/dataset/797,typowe-lata-meteorologiczne-i->

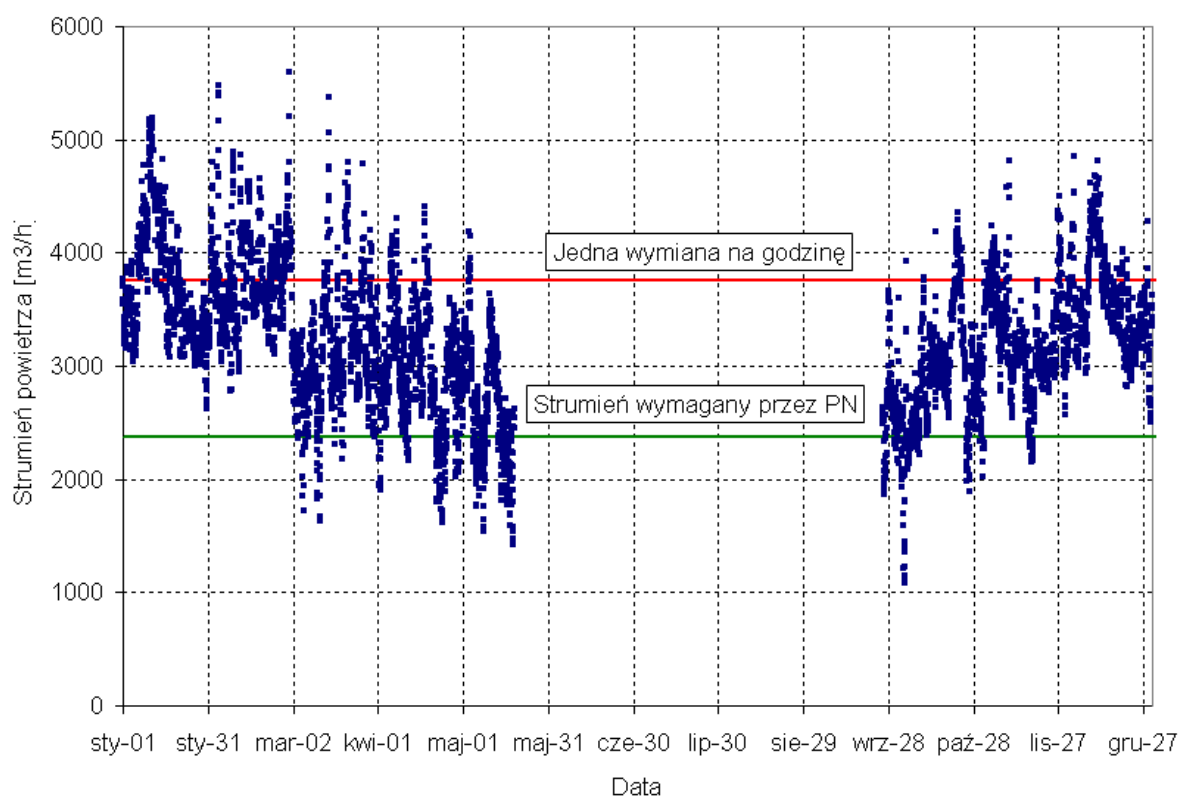
statystyczne-dane-klimatyczne-dla-obszaru-polski-do-obliczen-energetycznych-budynkow). Obliczenia przeprowadzono dla danych od 1 stycznia do 18 maja i od 26 września do 31 grudnia.

Podstawowe wyniki obliczeń przedstawiono w poniższej tabeli.

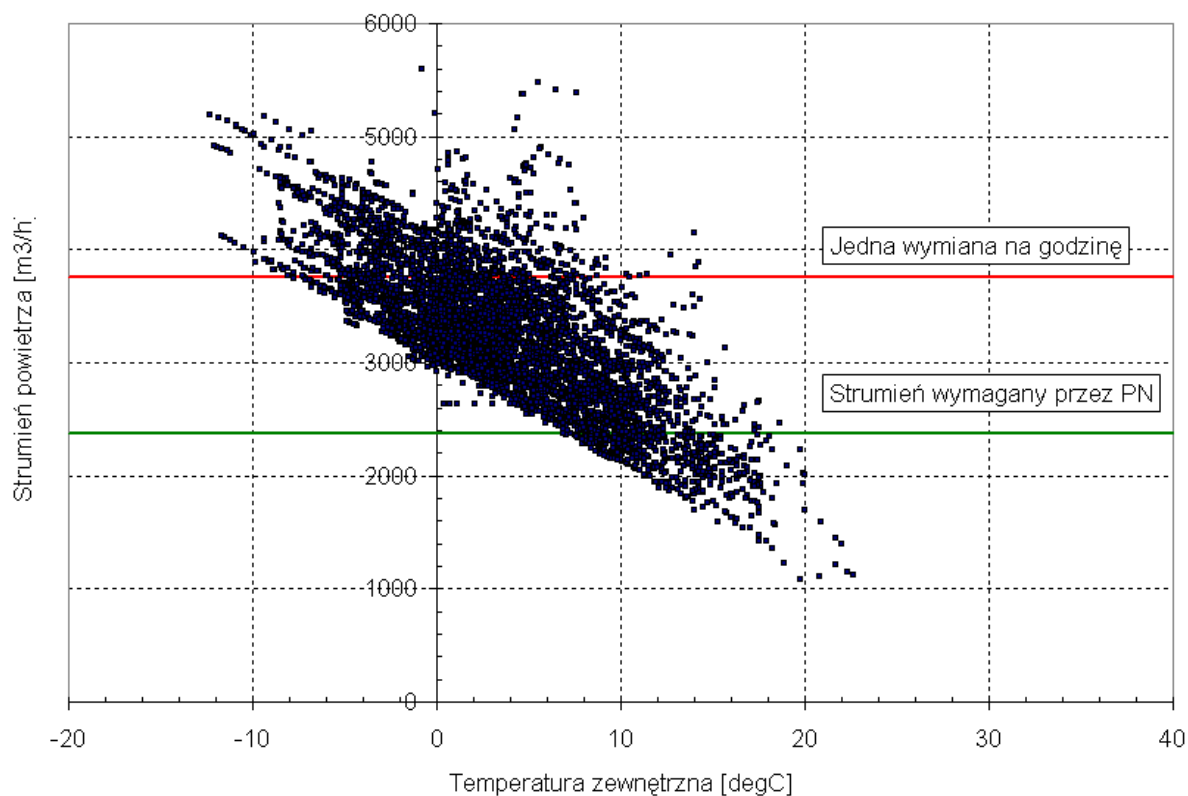
Tabela 9. Podstawowe wyniki obliczeń

	Strumień powietrza dla mieszkań	Strumień powietrza dla mieszkania M1 piętro 7	Strumień powietrza dla mieszkania M2 piętro 7	Strumień powietrza dla mieszkania M3 piętro 7	Strumień powietrza dla mieszkania M1 piętro 1	Strumień powietrza dla mieszkania M2 parter	Strumień powietrza dla mieszkania M3 parter
	m ³ /h						
Średnia	3253	54	88	119	120	167	230
Minimum	1086	3	28	32	45	41	48
Maksimum	5590	261	289	360	243	270	349
Odchylenie standar.	615,8	29,1	36,1	45,7	24,6	30,3	41,9

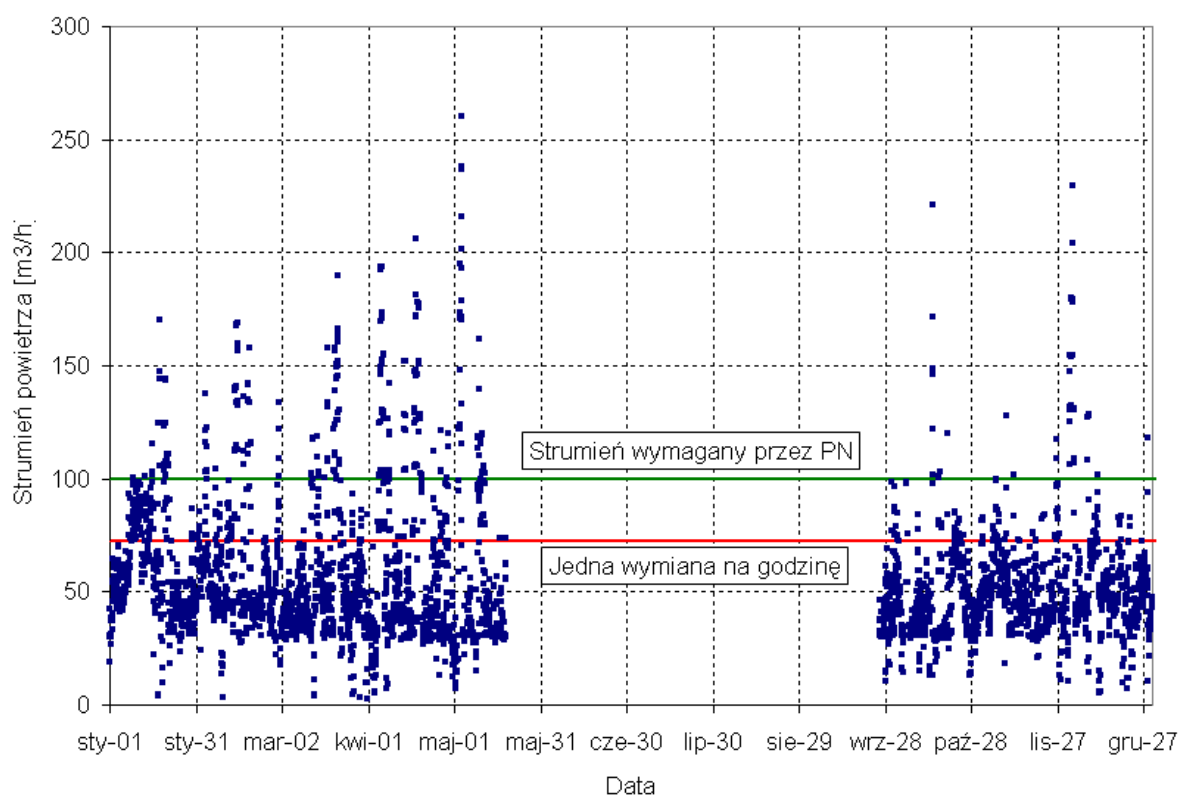
Dokładne wyniki obliczeń zilustrowano również na poniższych rysunkach.



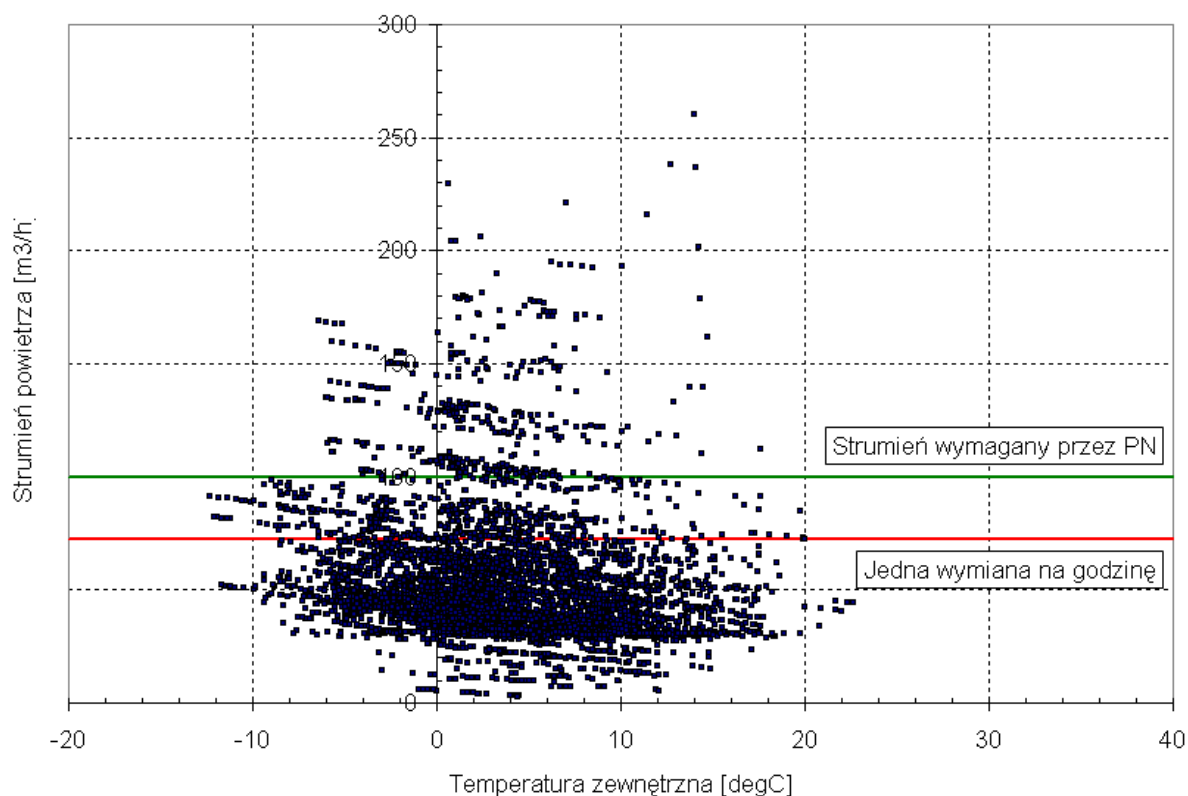
Rys. 34. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkań.



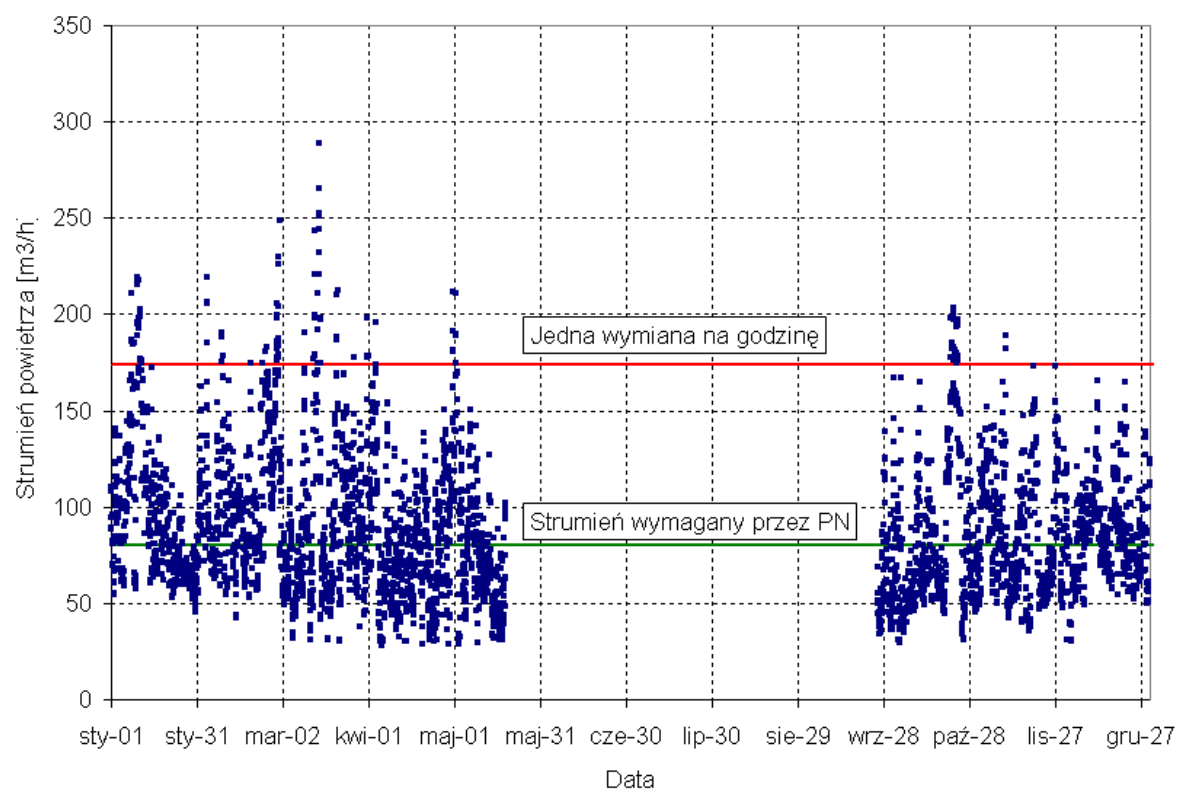
Rys. 35. Zależność strumienia powietrza dla mieszkań od temperatury powietrza zewnętrznego.



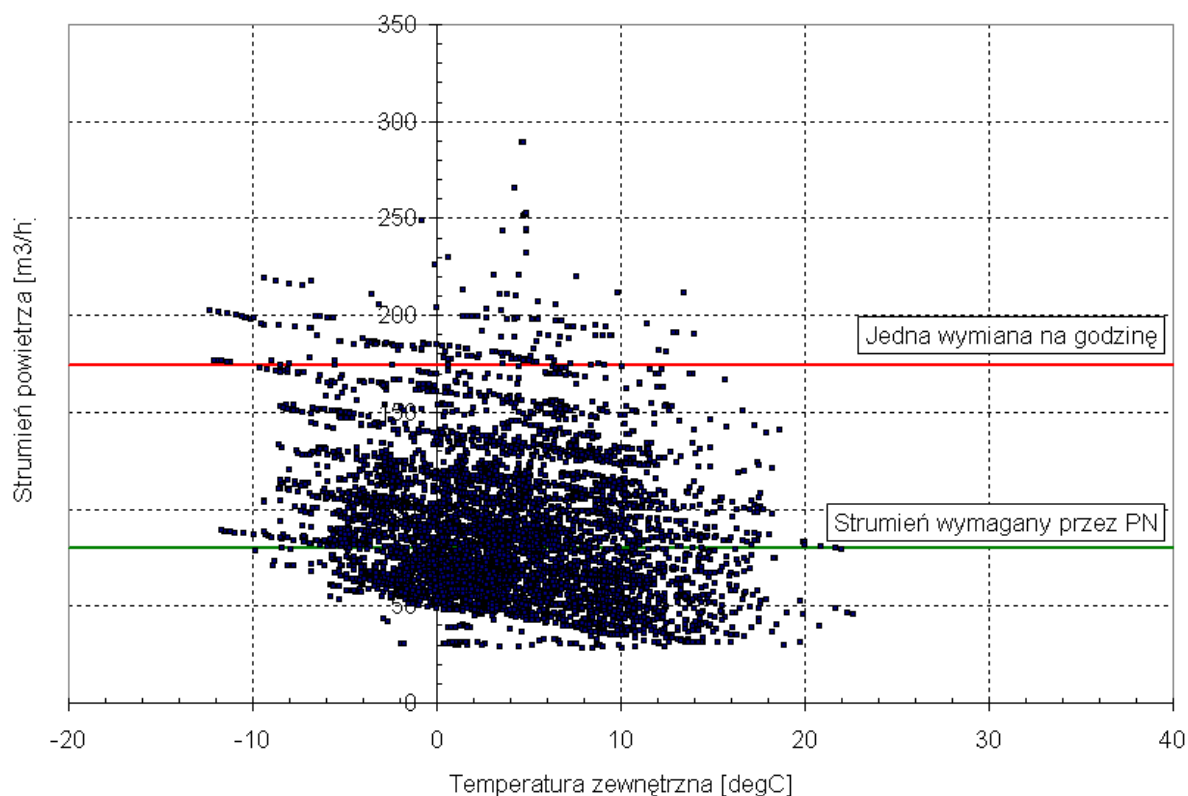
Rys. 36. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M1 na piętrze 7.



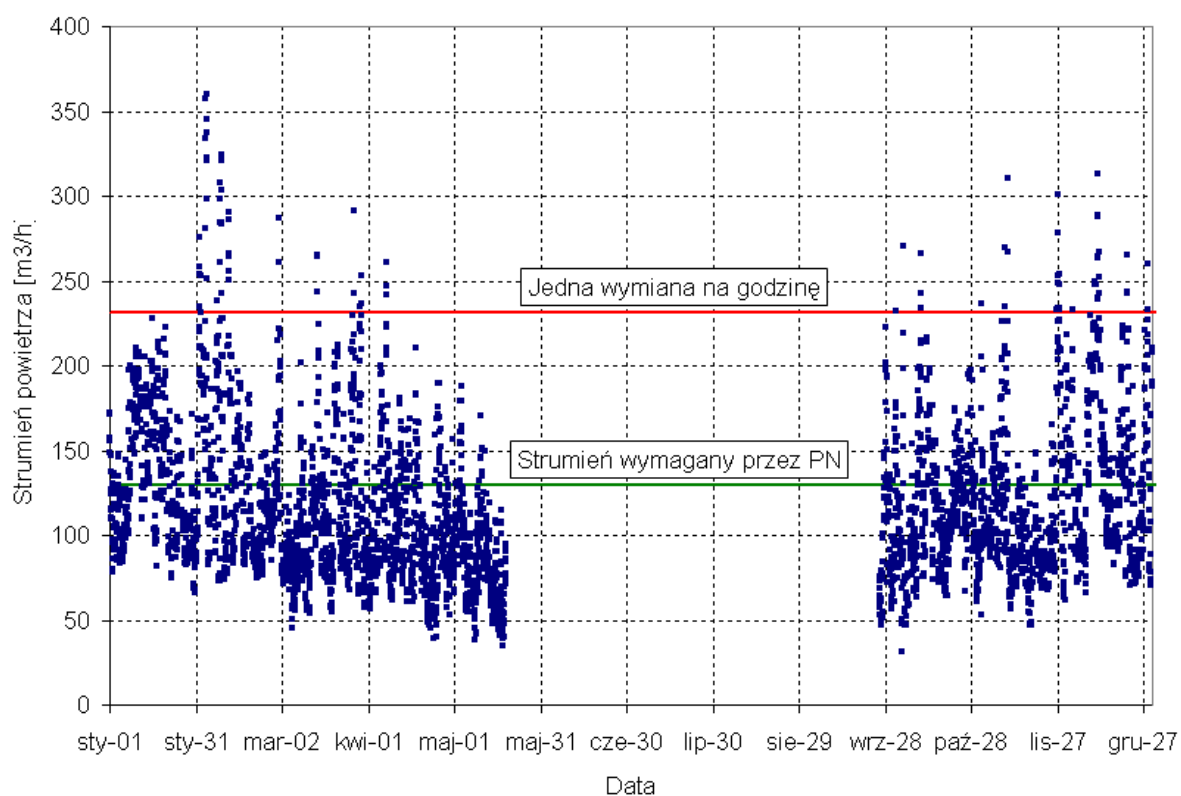
Rys. 37. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M1 na piętrze 7 od temperatury powietrza zewnętrznego.



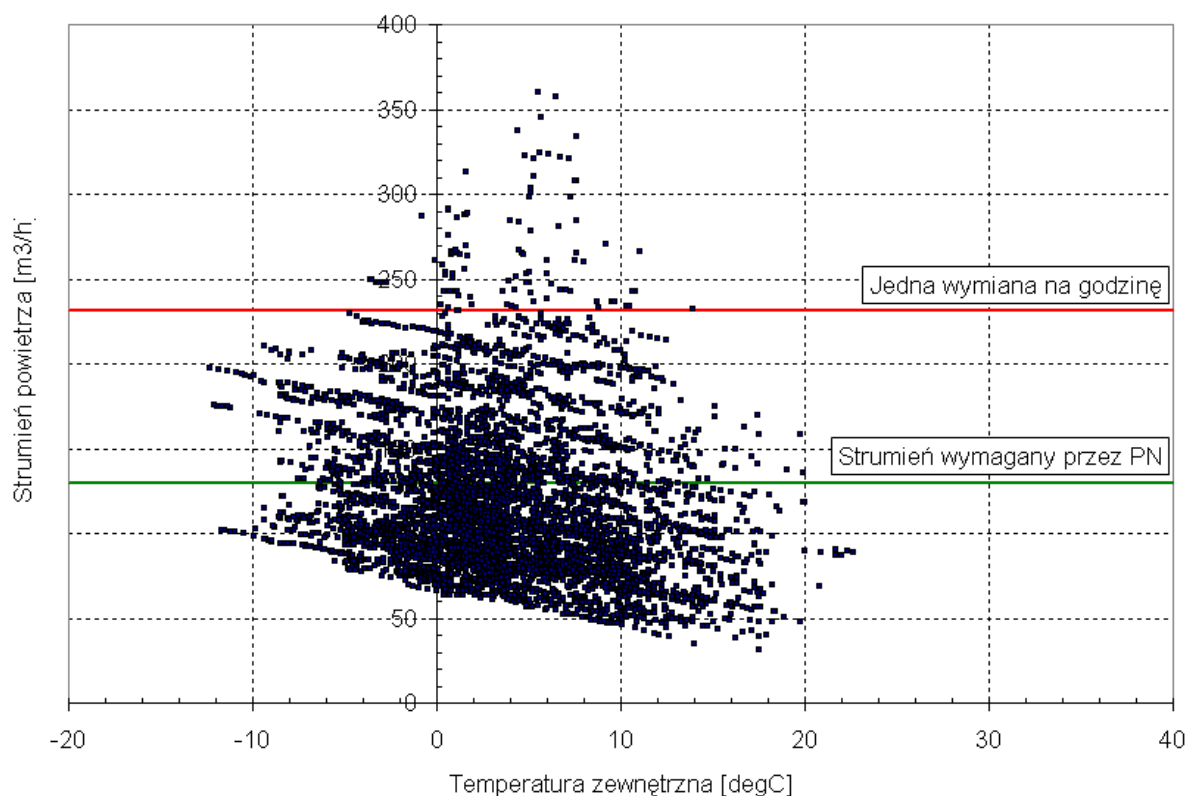
Rys. 38. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M2 na piętrze 7.



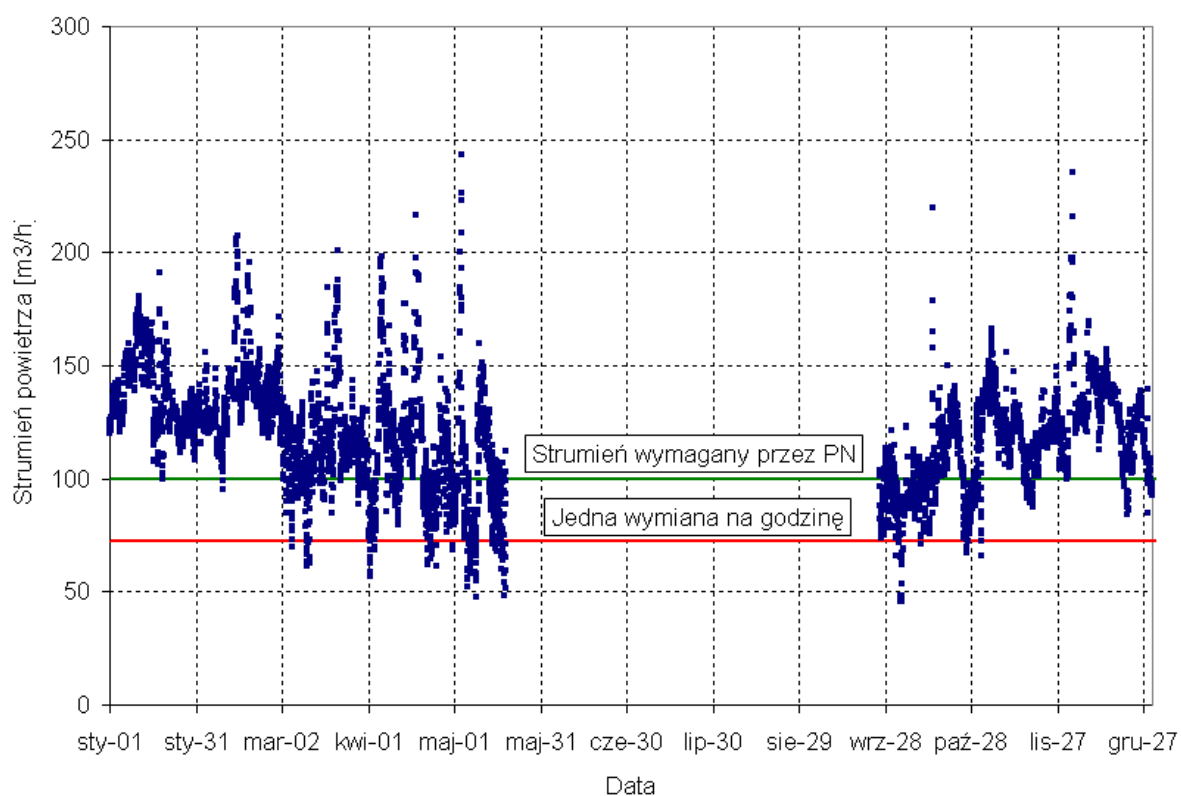
Rys. 39. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M2 na piętrze 7 od temperatury powietrza zewnętrznego.



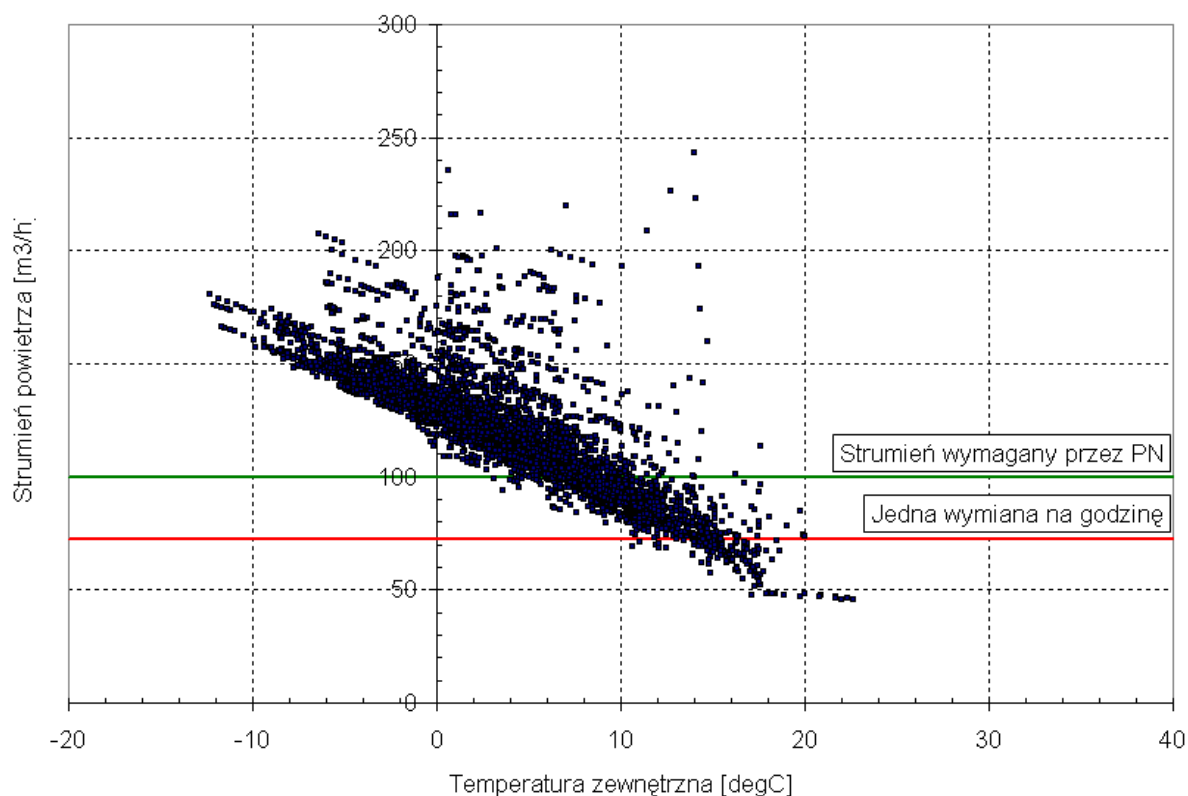
Rys. 40. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M3 na piętrze 7.



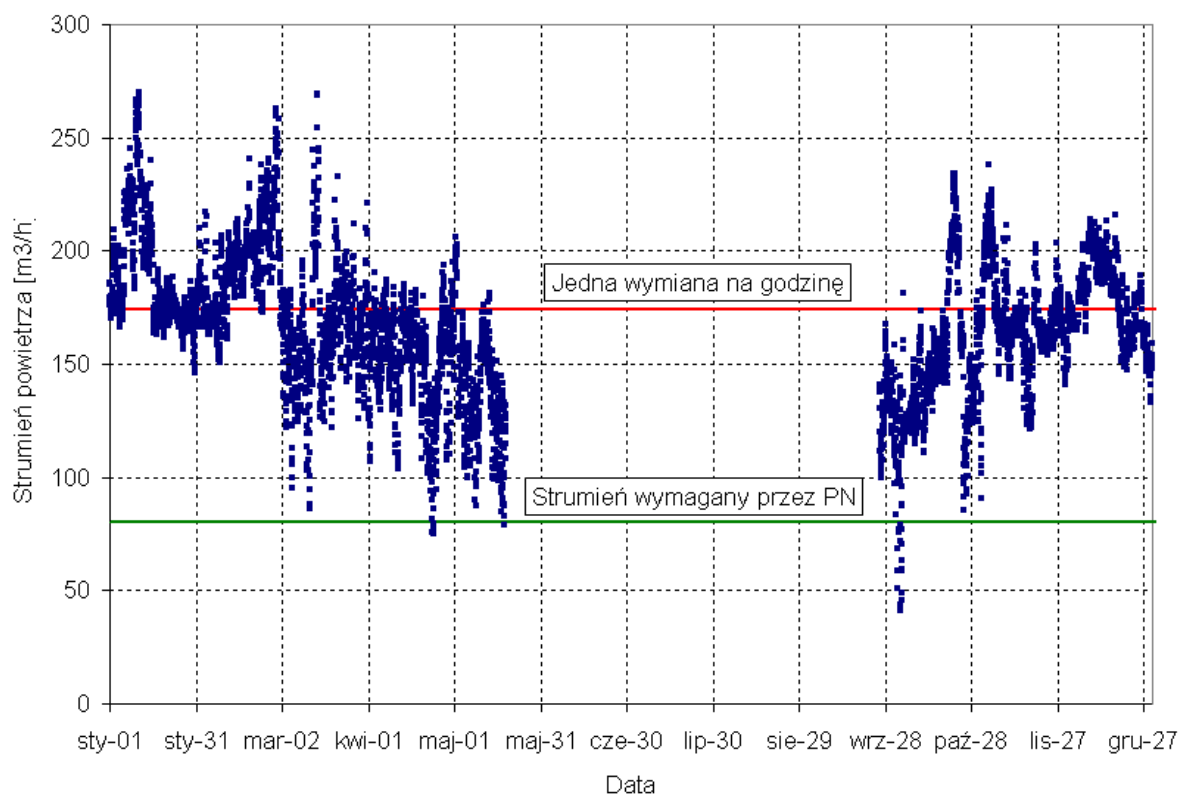
Rys. 41. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M3 na piętrze 7 od temperatury powietrza zewnętrznego.



Rys. 42. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M1 na piętrze 1.

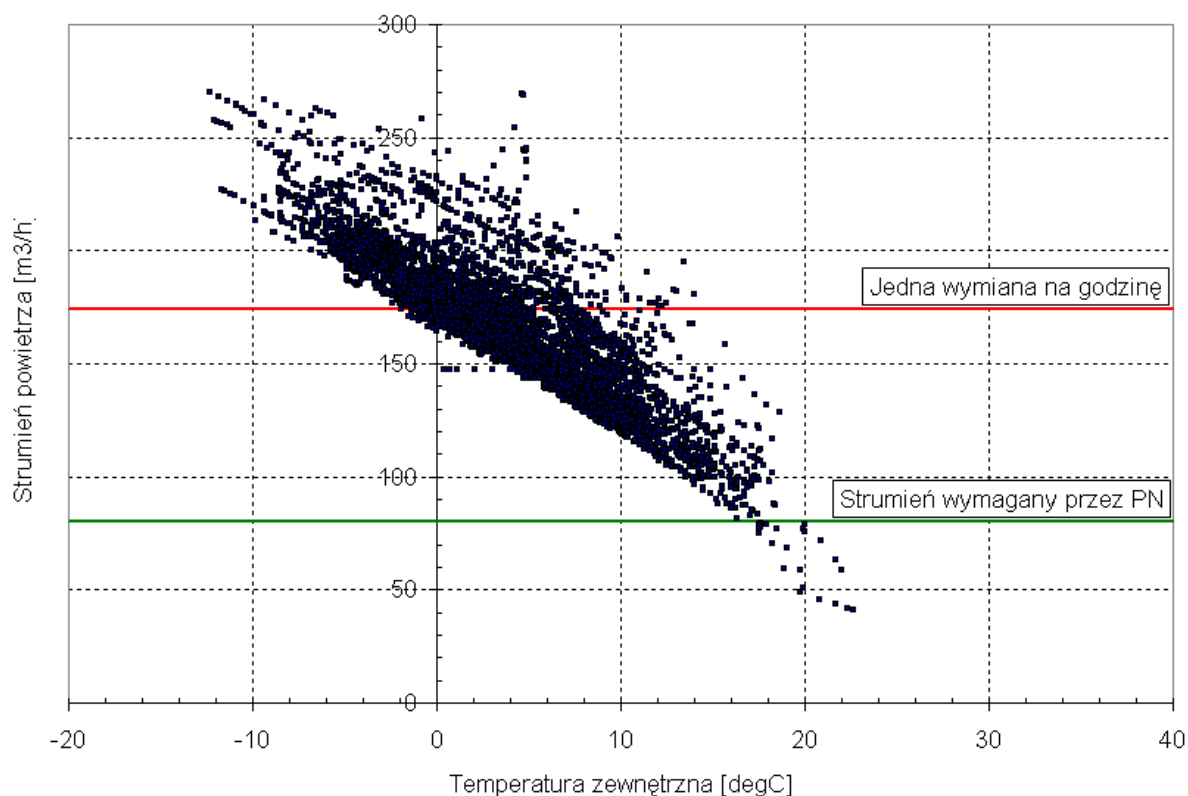


Rys. 43. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M1 na piętrze 1 od temperatury powietrza zewnętrznego.

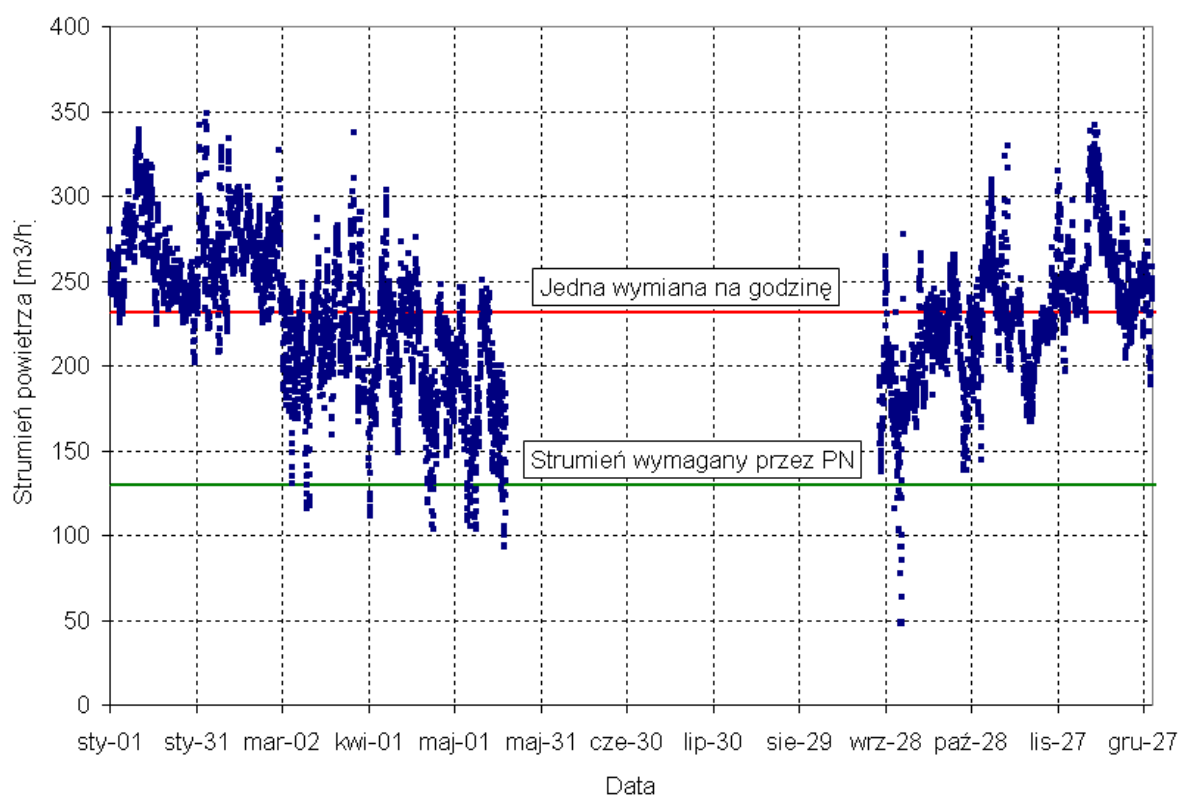


Rys. 44. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M2 na parterze.

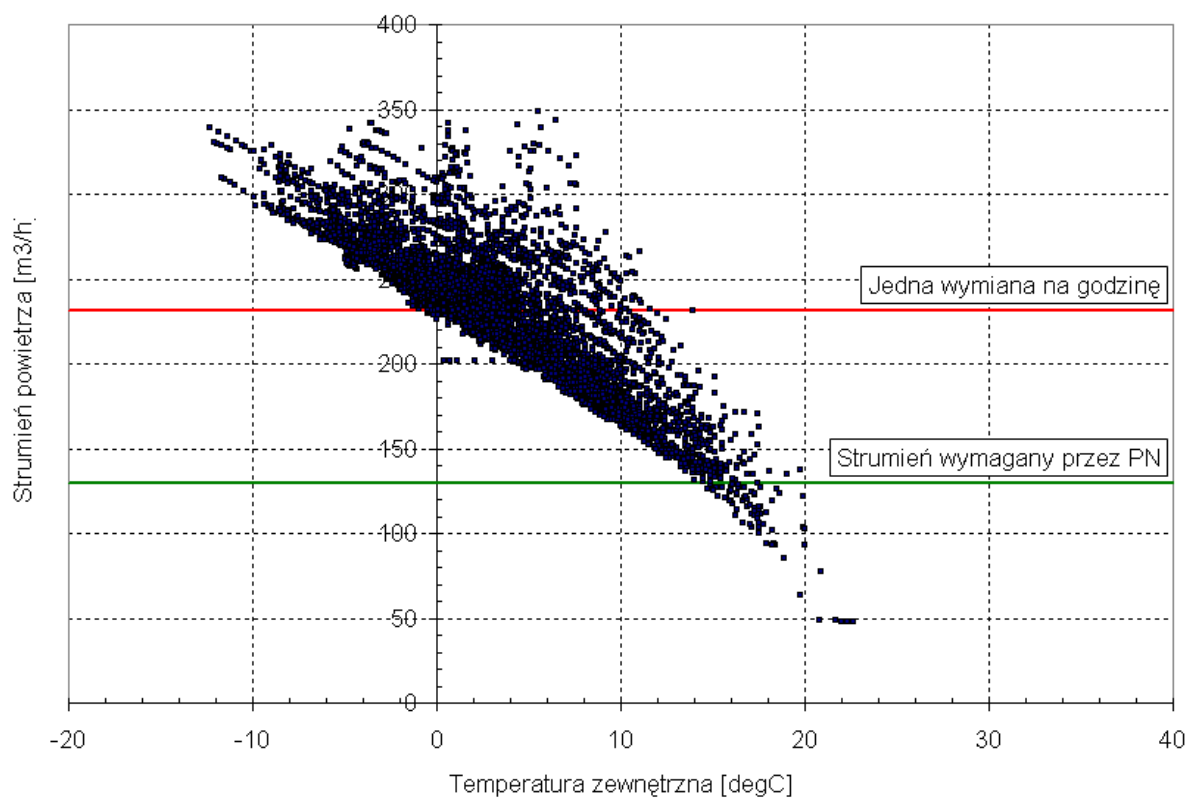




Rys. 45. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M2 na parterze od temperatury powietrza zewnętrznego.



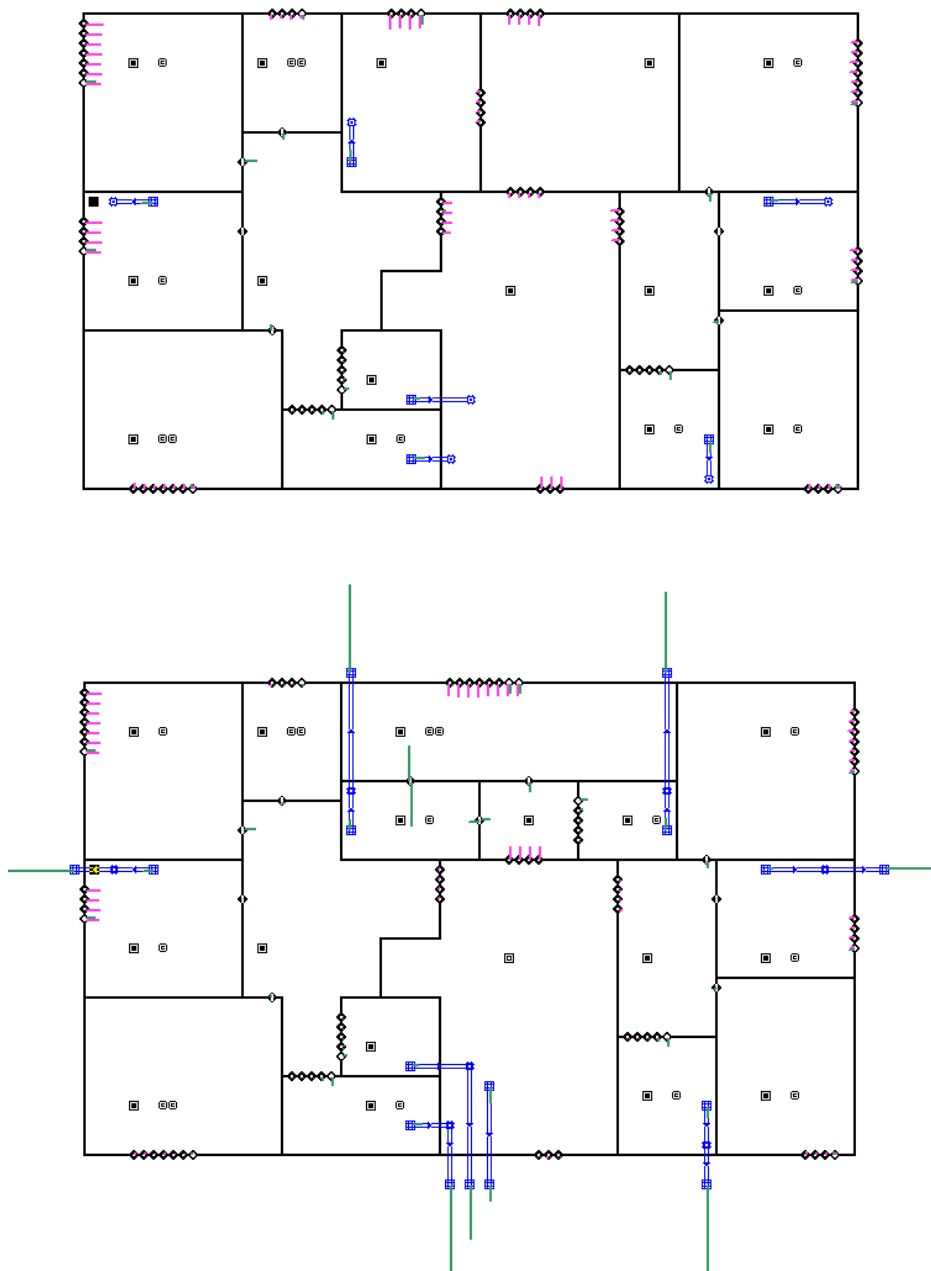
Rys. 46. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M3 na parterze.



Rys. 47. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M3 na parterze od temperatury powietrza zewnętrznego.

10. Obliczenie strumieni 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, [14] (opis programu <https://www.nist.gov/services-resources/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. 48. Ilustracja opisu pierwszej i ostatniej kondygnacji referencyjnego budynku wielorodzinnego 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://dane.gov.pl/dataset/797,typowe-lata-meteorologiczne-i-statystyczne-dane-klimatyczne-dla-obszaru-polski-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.

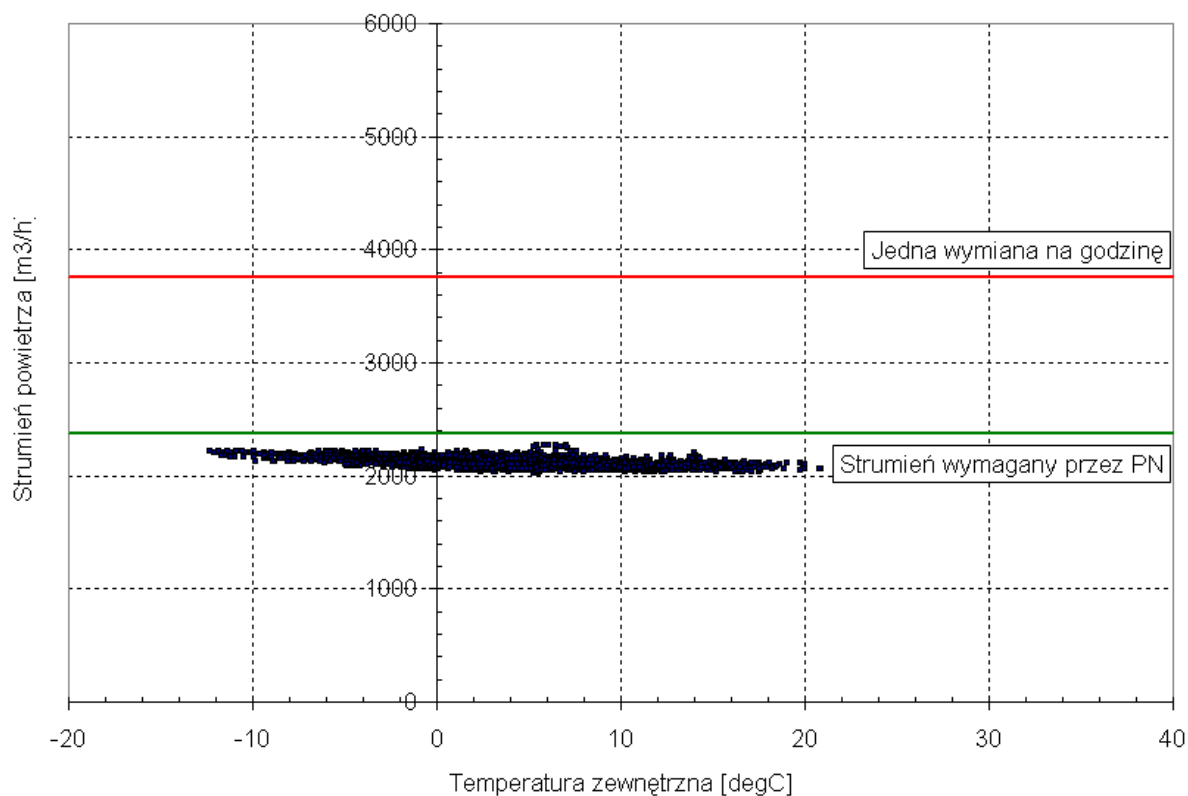
Tabela 10. Podstawowe wyniki obliczeń

	Strumień powietrza dla mieszkań	Strumień powietrza dla mieszkania M1 piętro 7	Strumień powietrza dla mieszkania M2 piętro 7	Strumień powietrza dla mieszkania M3 piętro 7	Strumień powietrza dla mieszkania M1 piętro 1	Strumień powietrza dla mieszkania M2 parter	Strumień powietrza dla mieszkania M3 parter
	m ³ /h						
Średnia	2114	85	67	109	90	74	117
Minimum	2026	82	63	105	85	66	108
Maksimum	2265	99	76	120	100	84	128
Odchylenie standar.	36,5	1,5	1,6	1,9	2,1	2,7	3,5

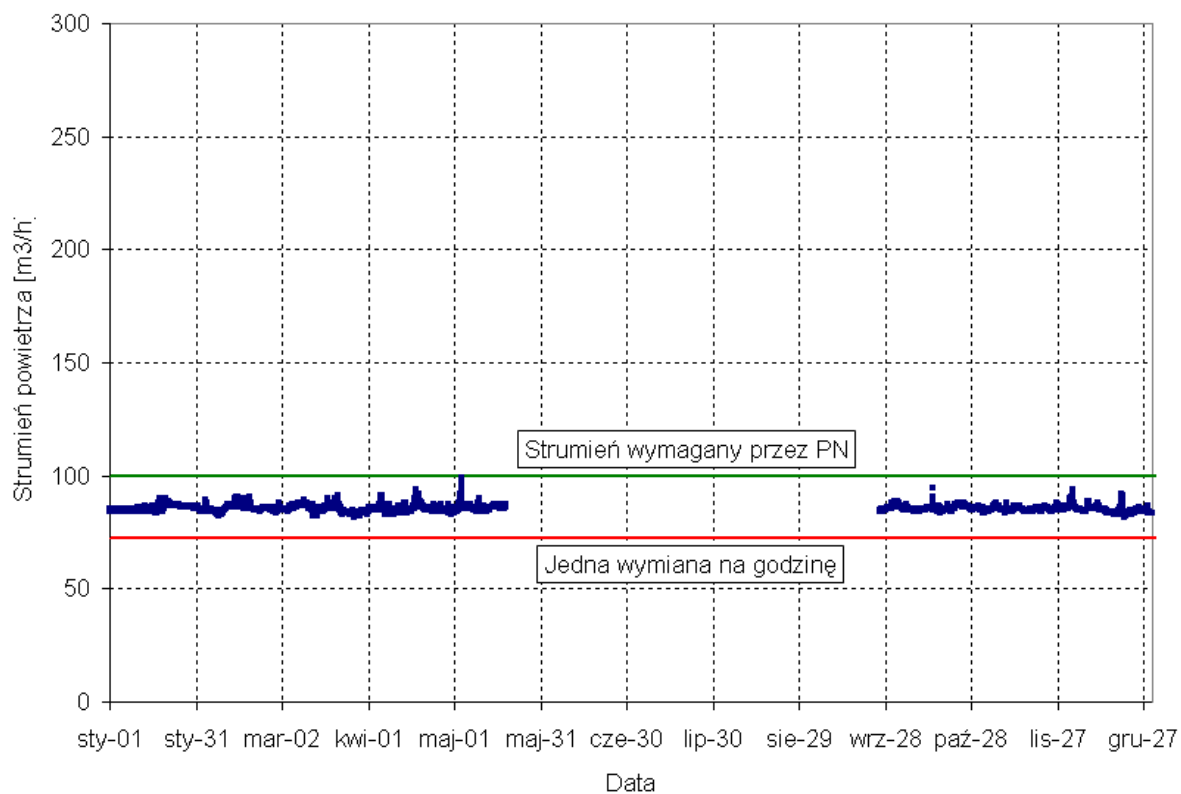
Dokładne wyniki obliczeń zilustrowano również na poniższych rysunkach.



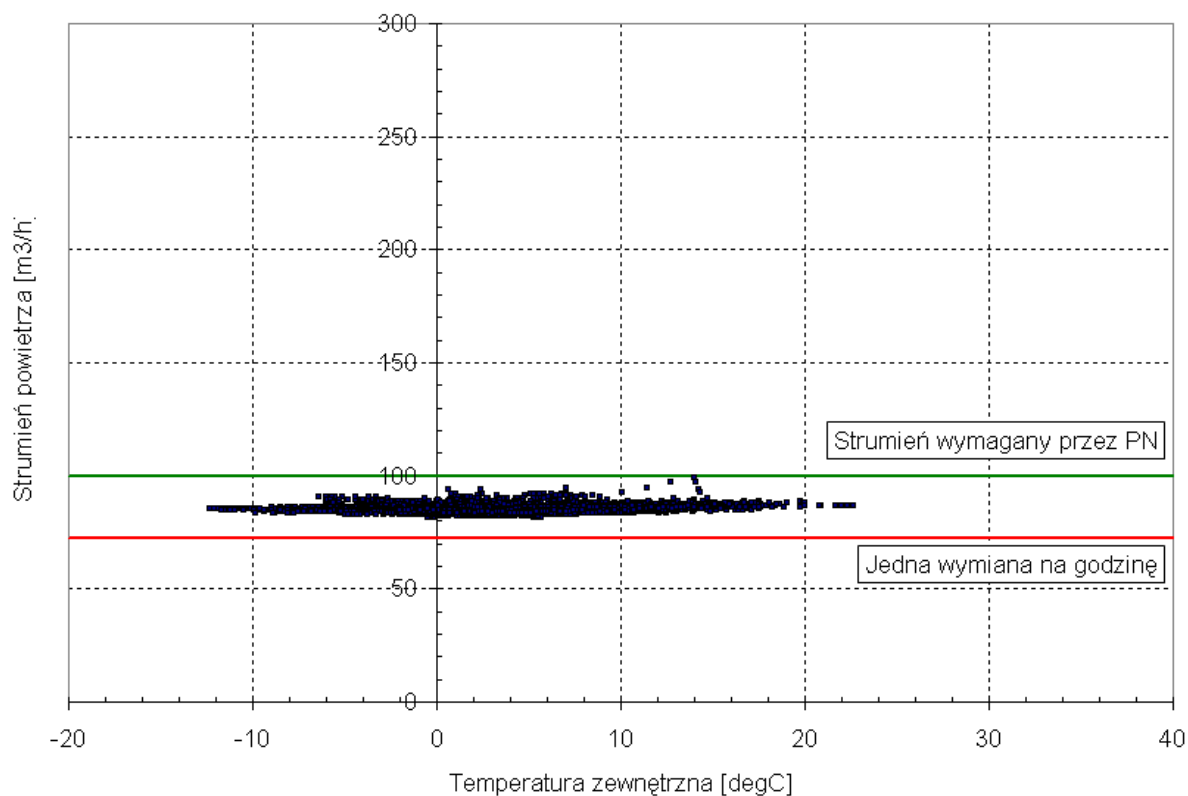
Rys. 49. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkań.



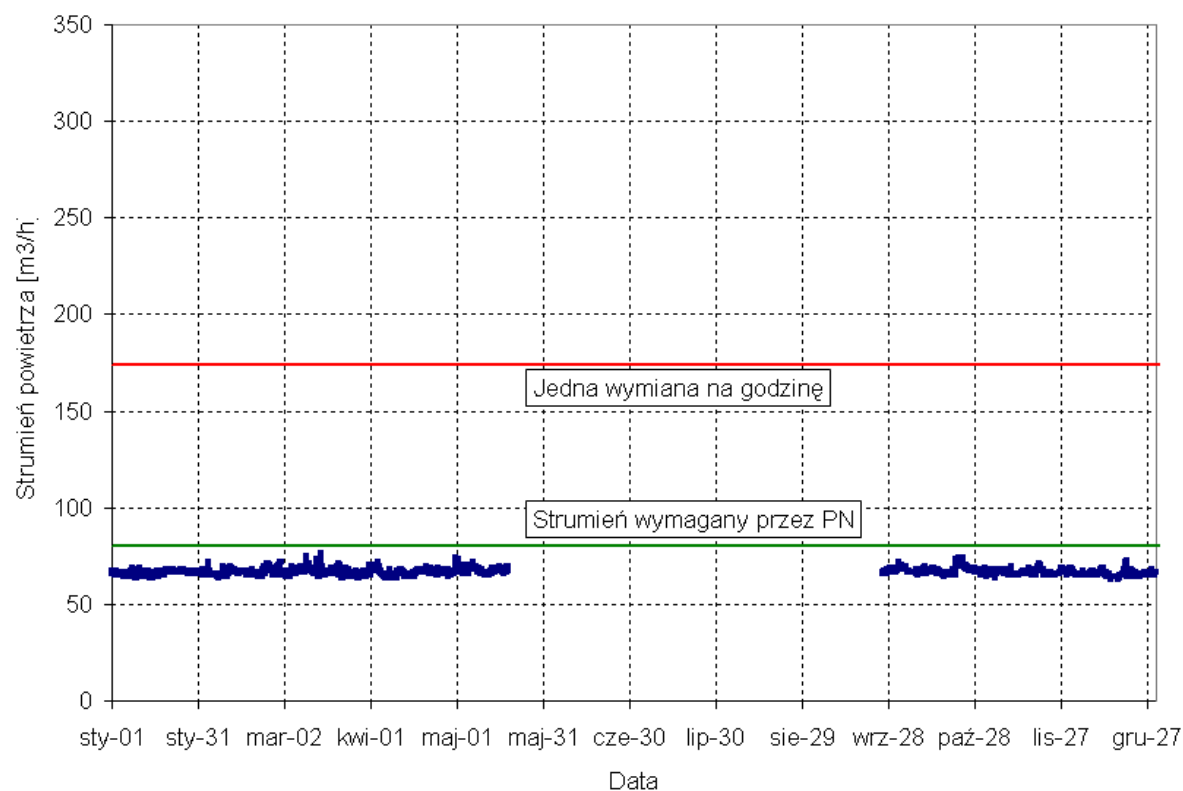
Rys. 50. Zależność strumienia powietrza dla mieszkań od temperatury powietrza zewnętrznego.



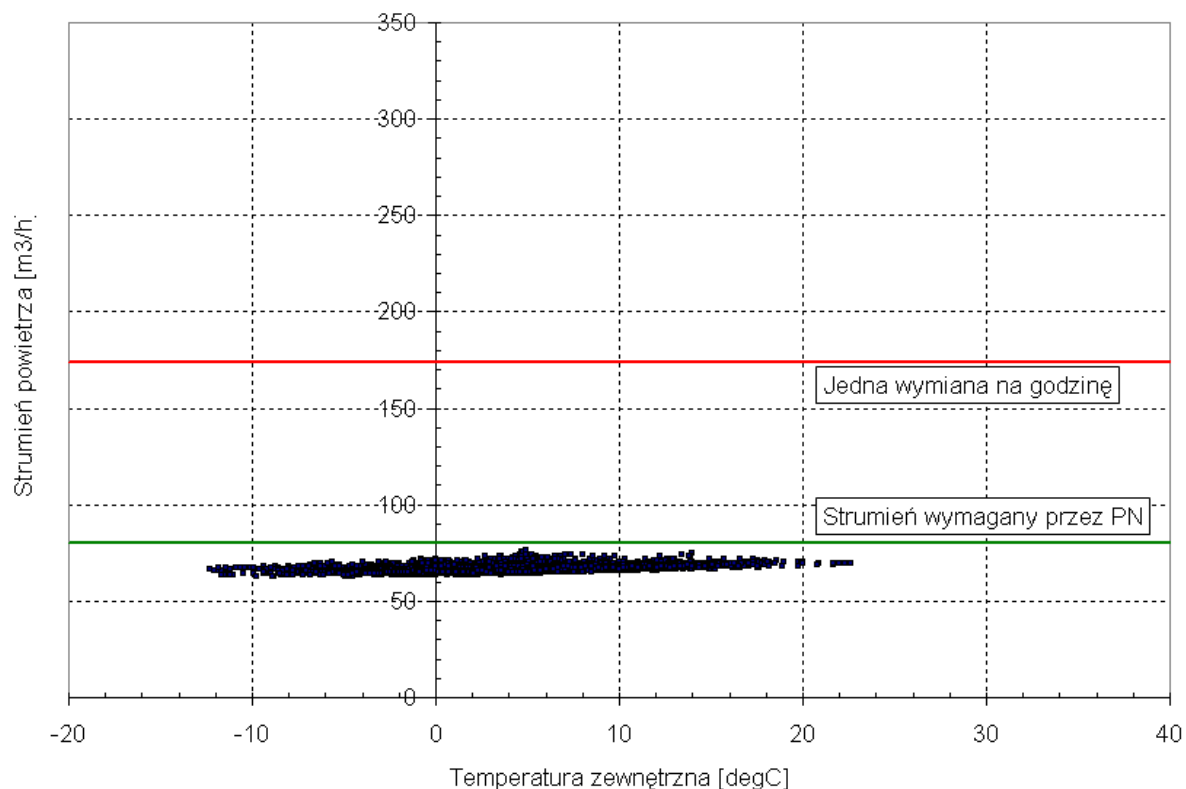
Rys. 51. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M1 na piętrze 7.



Rys. 52. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M1 na piętrze 7 od temperatury powietrza zewnętrznego.



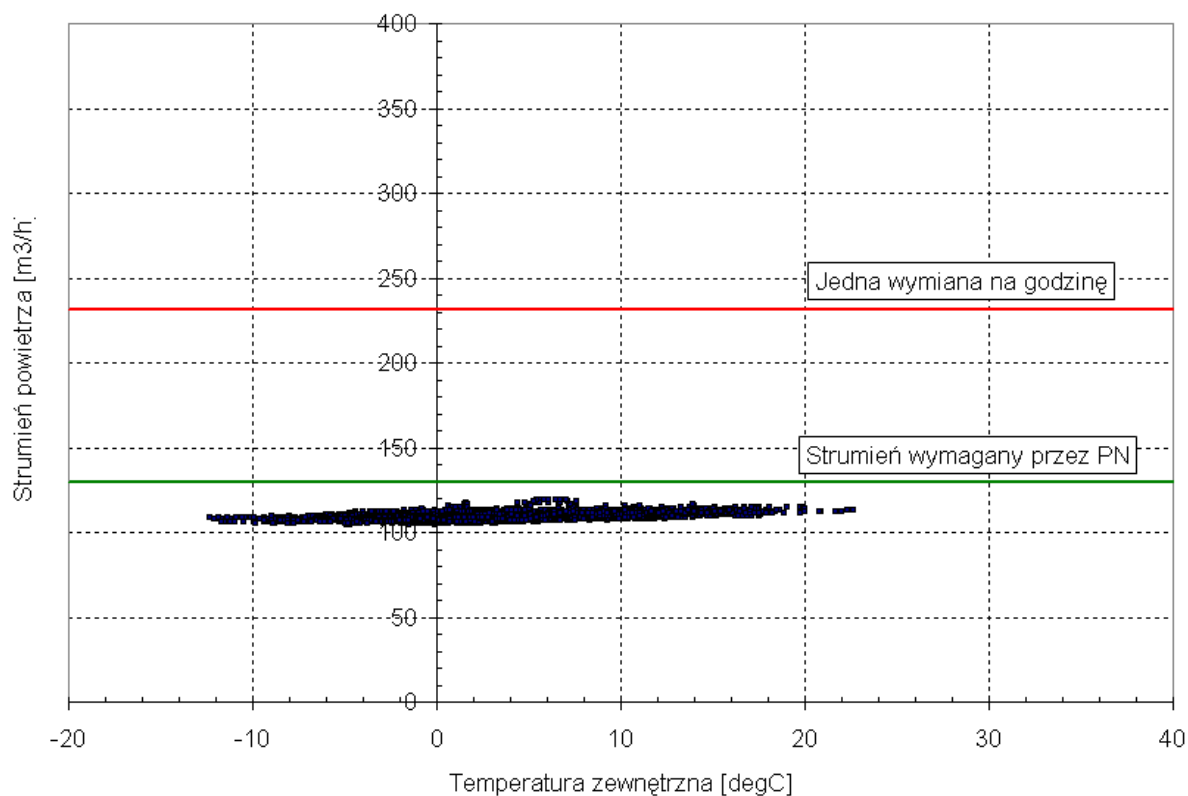
Rys. 53. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M2 na piętrze 7.



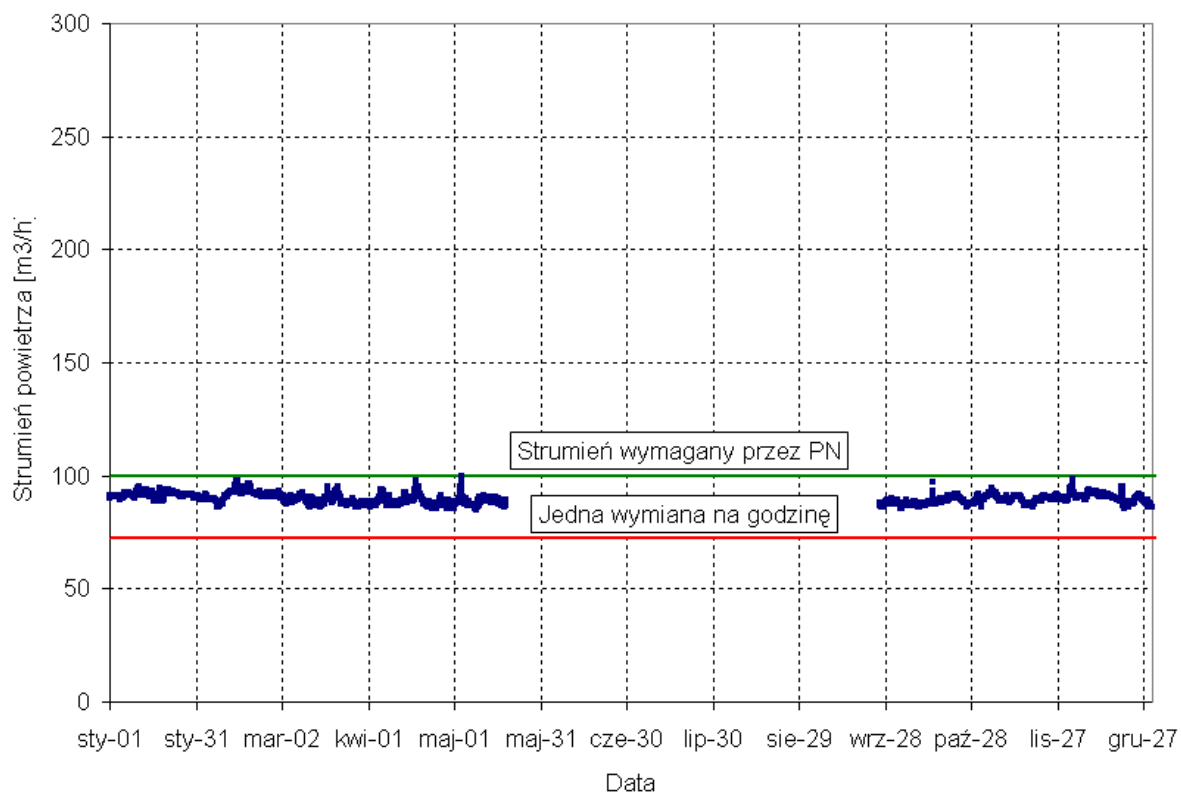
Rys. 54. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M2 na piętrze 7 od temperatury powietrza zewnętrznego.



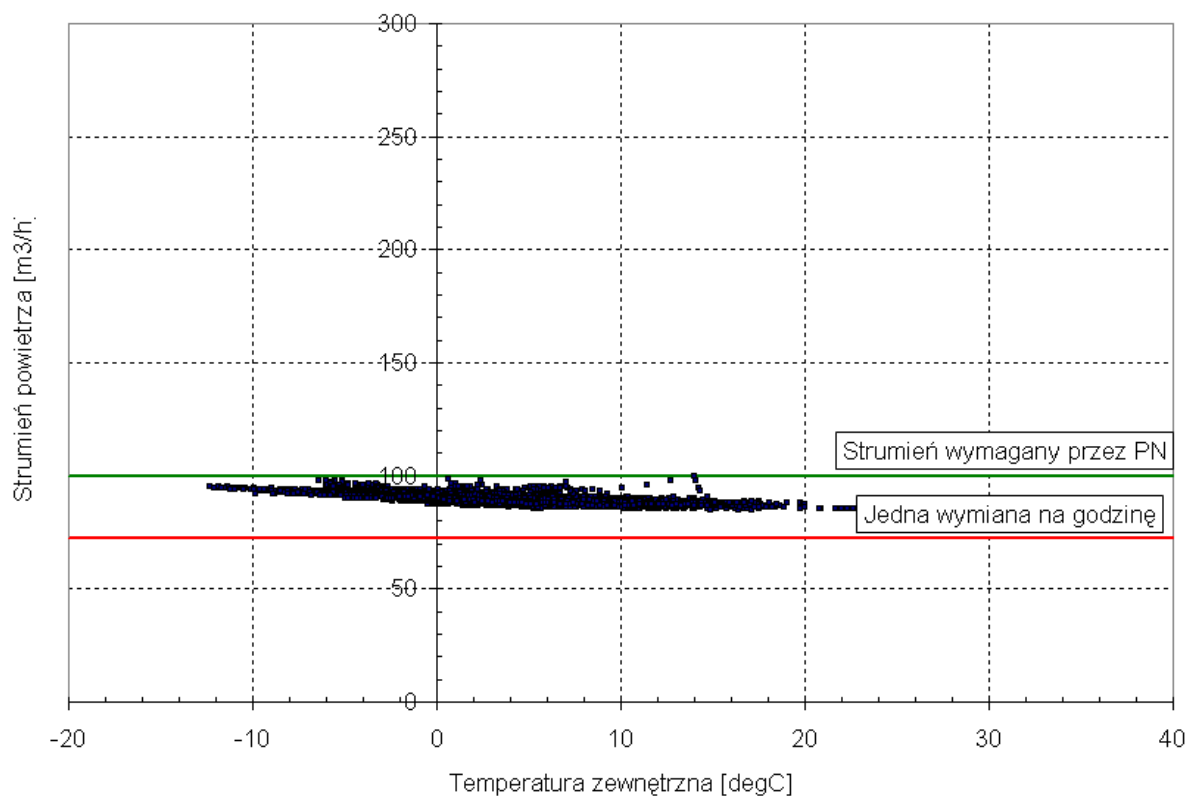
Rys. 55. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M3 na piętrze 7.



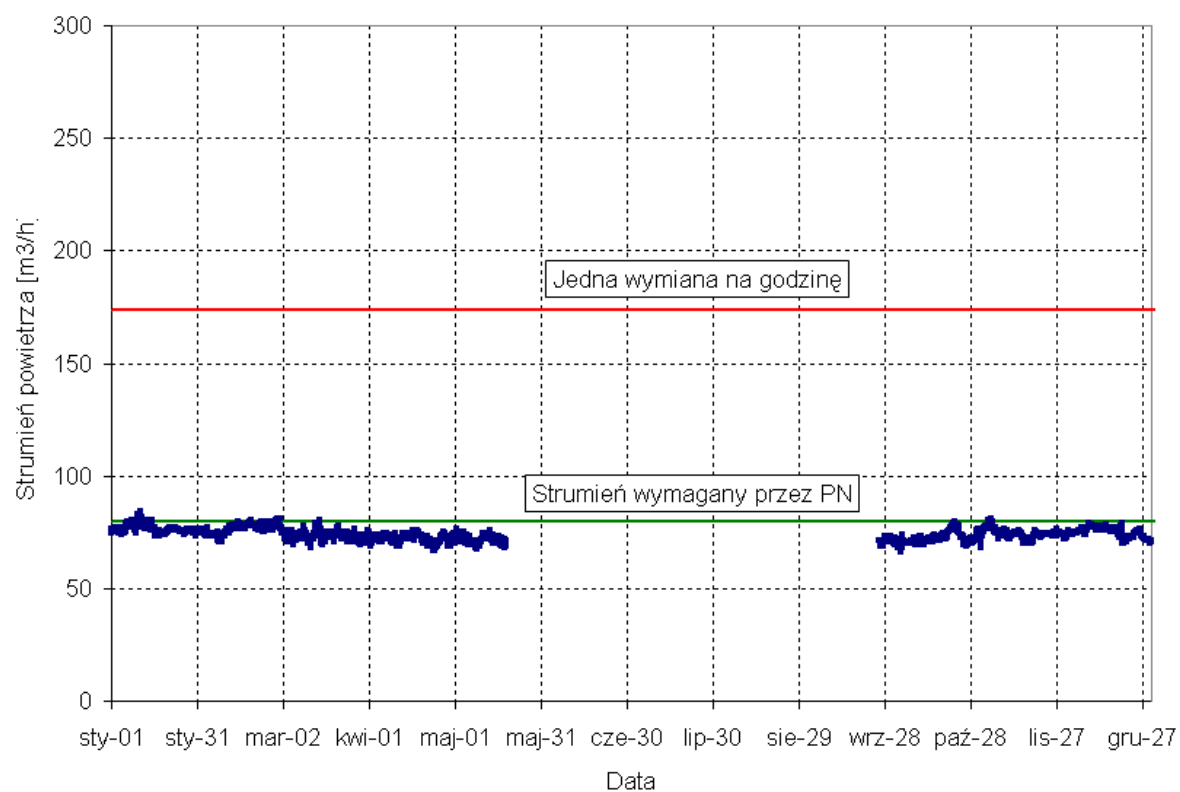
Rys. 56. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M3 na piętrze 7 od temperatury powietrza zewnętrznego.



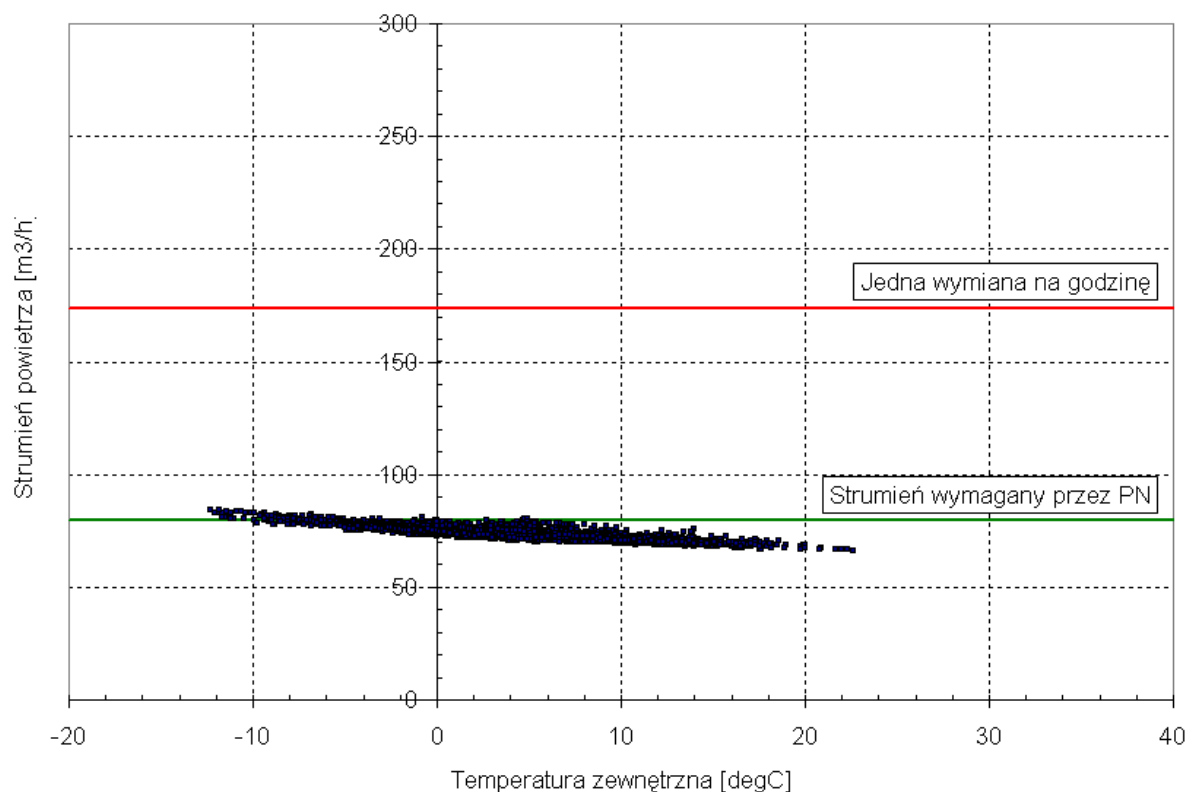
Rys. 57. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M1 na piętrze 1.



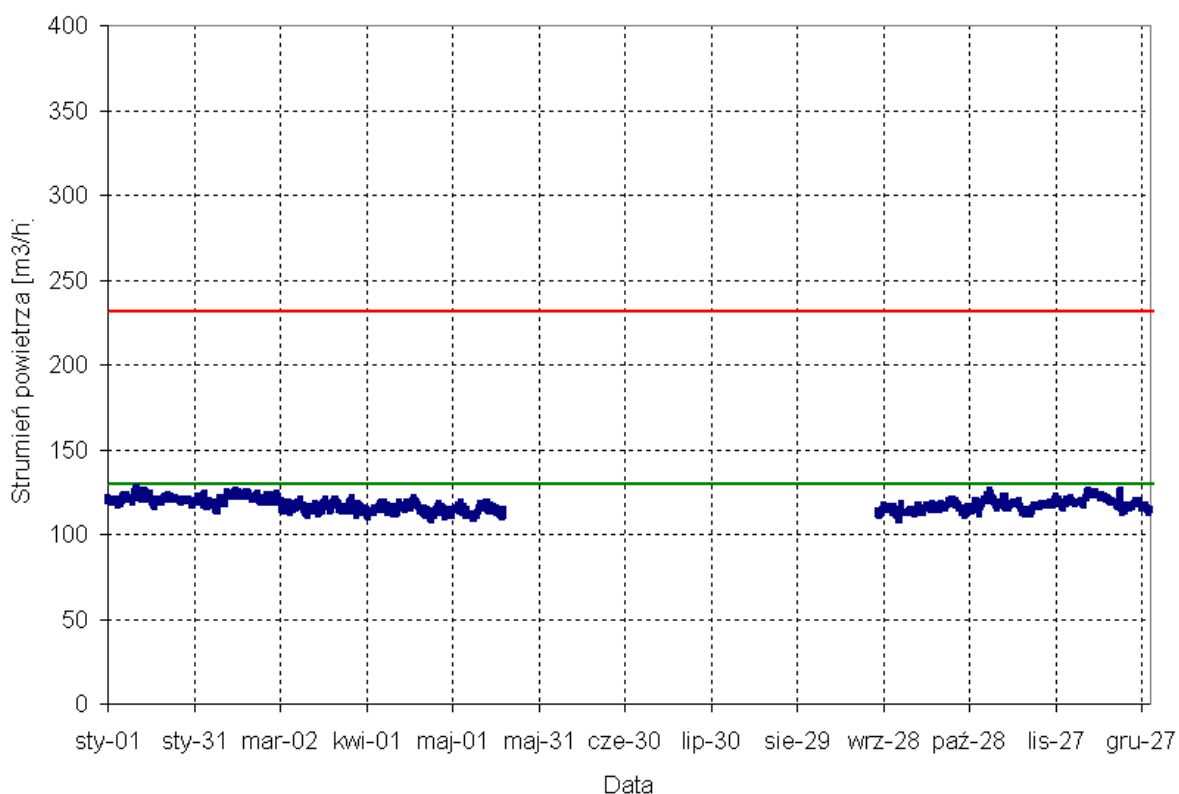
Rys. 58. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M1 na piętrze 1 od temperatury powietrza zewnętrznego.



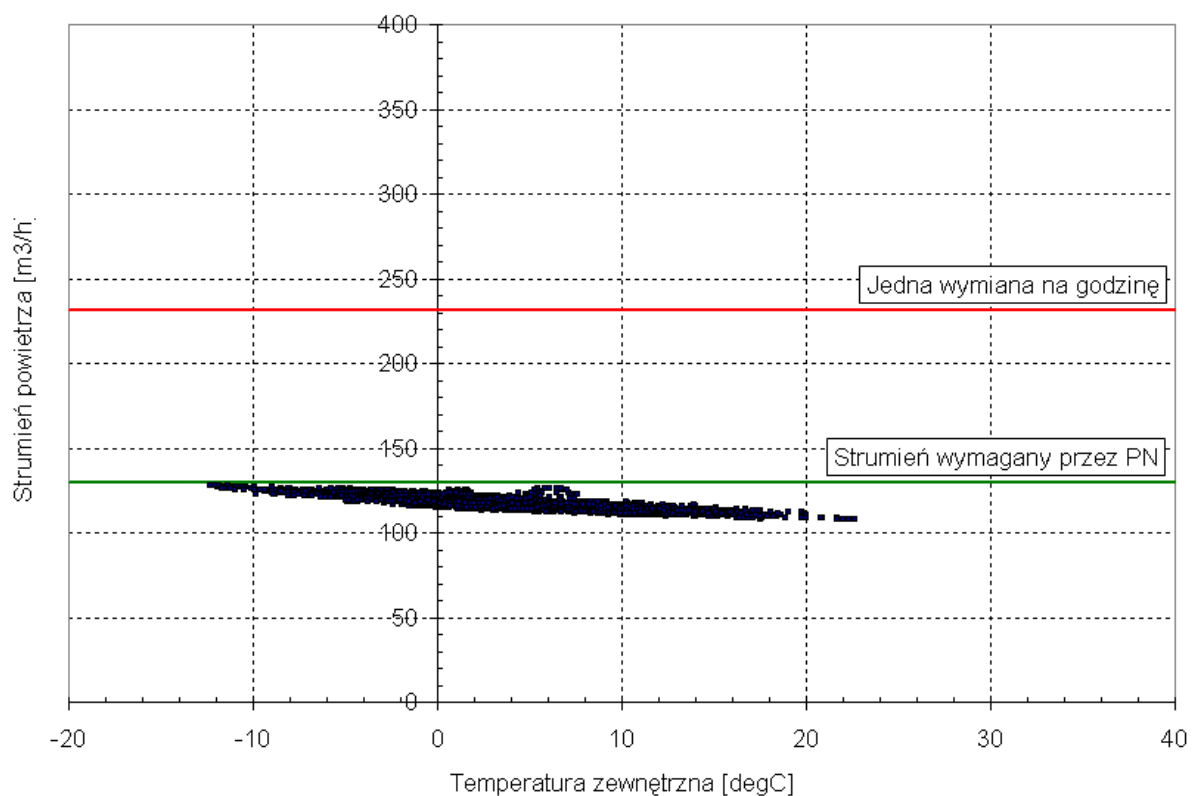
Rys. 59. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M2 na parterze.



Rys. 60. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M2 na parterze od temperatury powietrza zewnętrznego.



Rys. 61. Przebieg zmienności strumienia powietrza dla mieszkania M3 na parterze.



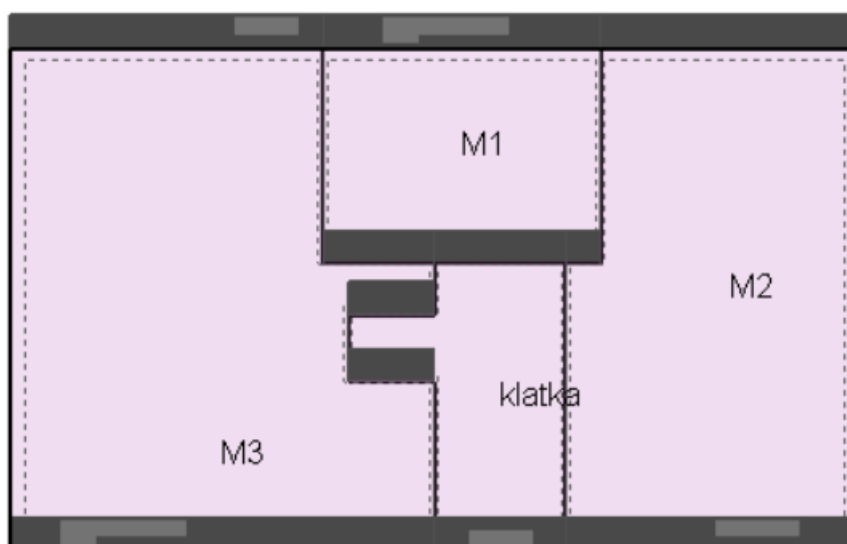
Rys. 62. Zależność strumienia powietrza dla mieszkania M3 na parterze od temperatury powietrza zewnętrznego.

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 referencyjnej wentylacji grawitacyjnej oraz oddzielnie dla budynku z wentylacją referencyjną mechaniczną wywiewną. Obliczenia energetyczne wykonano w programie do całosciowych analiz ciepłych budynków DesignBuilder wersja 4.7.0.027 [3], 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 (ilość użytkowników, moc i jakość oświetlenia, ilość 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. 63. Rzut kondygnacji budynku w programie DesignBuilder

Activity Template

- Template: Domestic Bedroom
- Sector: Residential spaces
- Zone type: 1-Standard
- Zone multiplier: 1
- ☒ Include zone in thermal calculations
- ☒ Include zone in Radiance daylighting calculations

Occupancy

- Density (people/m2): 0.0572
- Schedule: ref_wilorodzinny_ludzie_M1

Office Equipment

- ☒ On
- Gain (W/m2): 5.59
- Schedule: ref_wilorodzinny_urzadzenia
- Radiant fraction: 0.200

Miscellaneous

- ☐ On
- Catering
- Process

Rys. 64. Zakładka Activity do wprowadzenia harmonogramów użytkowania budynku w programie DesignBuilder

Construction Template

- Template: Project construction template

Construction

- External walls: WT2021_SZ
- Below grade walls: Project below grade wall
- Flat roof: WT_2021_dach
- Pitched roof (occupied): Project pitched roof
- Pitched roof (unoccupied): Project unoccupied pitched roof
- Internal partitions: SW_U=1,0

Semi-Exposed

- Semi-exposed walls: Project semi-exposed wall
- Semi-exposed ceiling: Project semi-exposed ceiling
- Semi-exposed floor: Project semi-exposed floor

Floors

- Ground floor: WT_2021_podloga
- Basement ground floor: Project basement ground floor
- External floor: External floor -
- Internal floor: Project internal floor

Sub-Surfaces

- Internal Thermal Mass
- Adjacency
- Geometry, Areas and Volumes
- Surface Convection
- Linear Thermal Bridging at Junctions

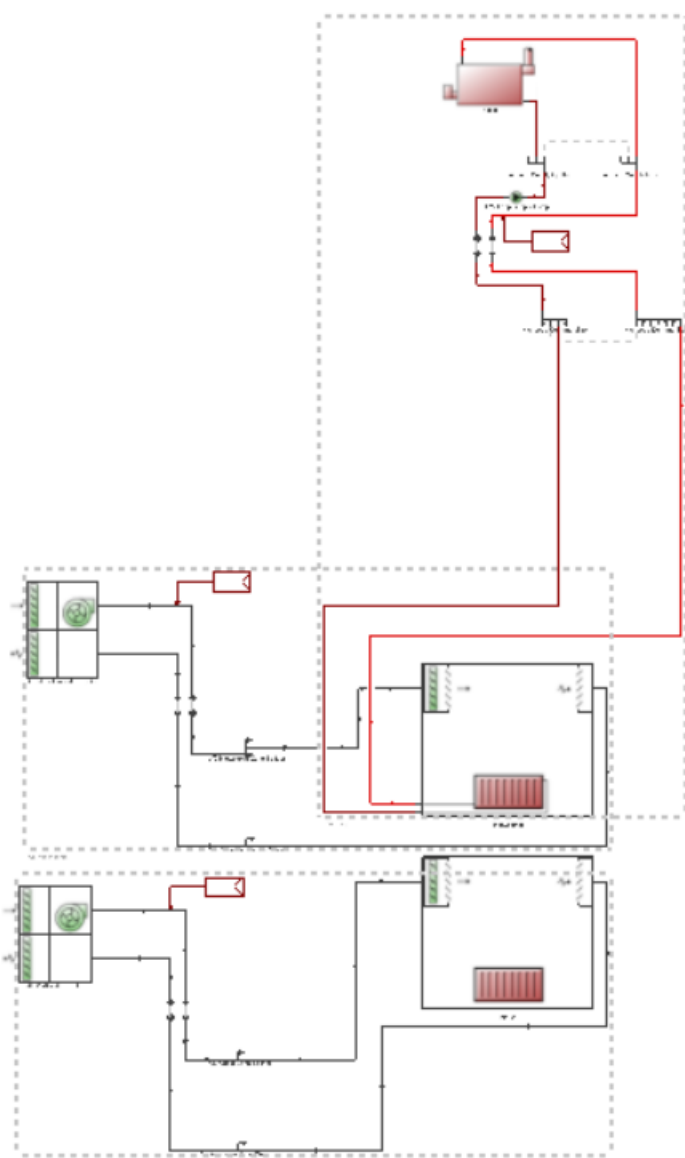
Airtightness

- ☒ Model infiltration
- Infiltration rate at 50 Pa (ac/h): 1.5000
- Schedule: On 24/7
- Delta T and Wind Speed Coefficients

Cost

- Cost

Rys. 65. Zakładka Construction do wprowadzenia danych dotyczących przegród budynku w programie DesignBuilder



Rys. 66. Schemat instalacji w programie DesignBuilder

11.2. Wyniki dla referencyjnej wentylacji grawitacyjnej

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

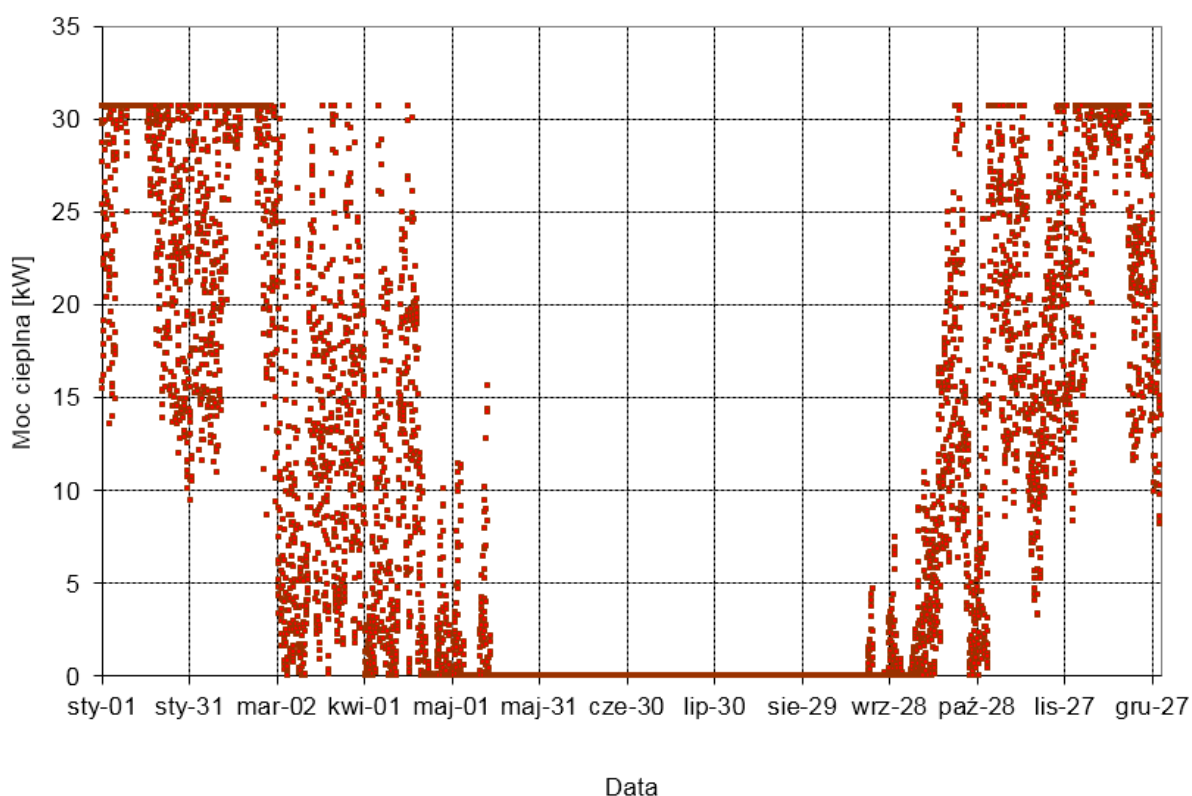
Tabela 11. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania

Miesiąc	Ogrzewanie kWh	Chłodzenie kWh
Styczeń	19 761,4	
Luty	17 861,7	
Marzec	8 672,9	
Kwiecień	4 567,2	
Maj	465,9	
Czerwiec	0,0	

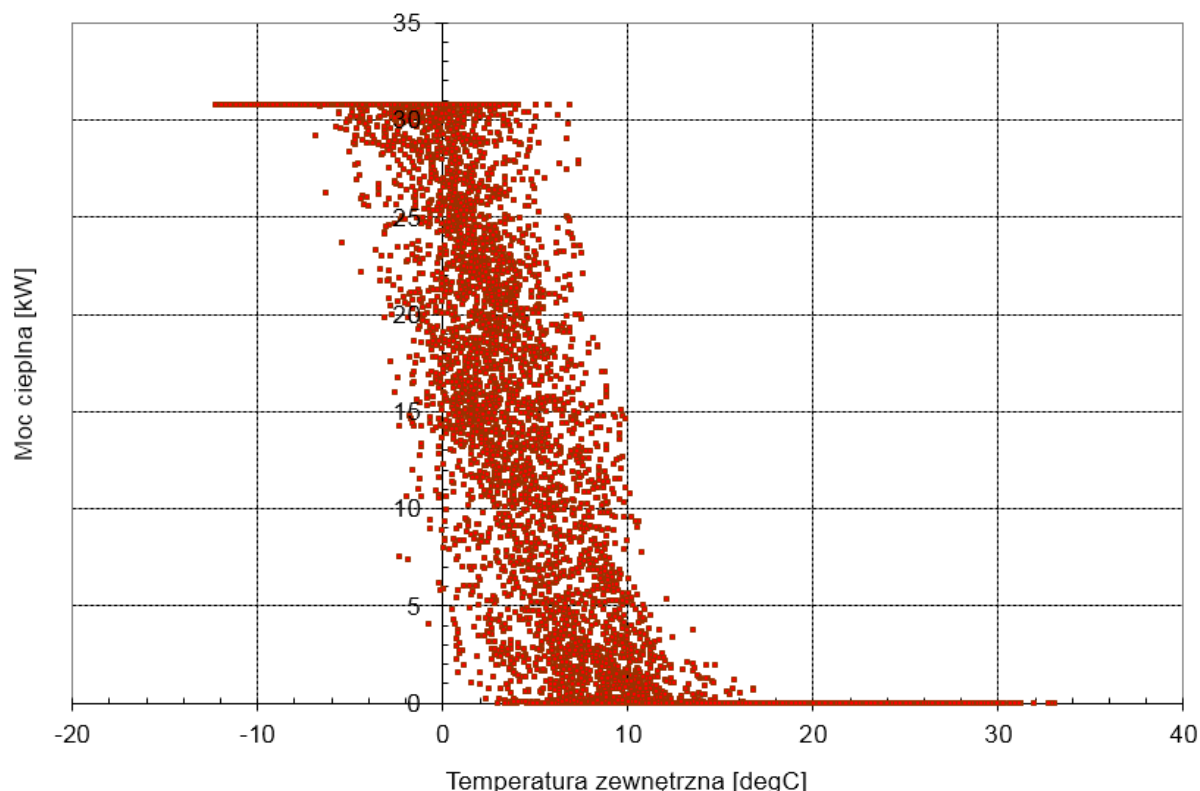


Lipiec	0,0	
Sierpień	0,0	
Wrzesień	180,6	
Październik	5 252,2	
Listopad	14 083,3	
Grudzień	18 668,8	
Suma	89 514,0	

Na wykresach (rys. 67, rys. 68) przedstawiono godzinowe wyniki obliczeń zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych godzin w roku oraz zapotrzebowanie na ciepło w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego.



Rys. 67. Zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych godzin w roku



Rys. 68. Zapotrzebowania na ciepło w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego

Po uwzględnieniu sprawności systemu ogrzewania wynoszącego 0,9 otrzymuje się zużycie energii cieplnej wynoszące 99 460 kWh/rok. Po przeliczeniu wskaźnikiem nakładu dla energii pierwotnej 0,8 [13] otrzymano zużycie energii pierwotnej wynoszące 79 568 kWh/rok, co stanowi 48,69 kWh/(m²rok).

11.3. Wyniki dla referencyjnej wentylacji mechanicznej wywiewnej

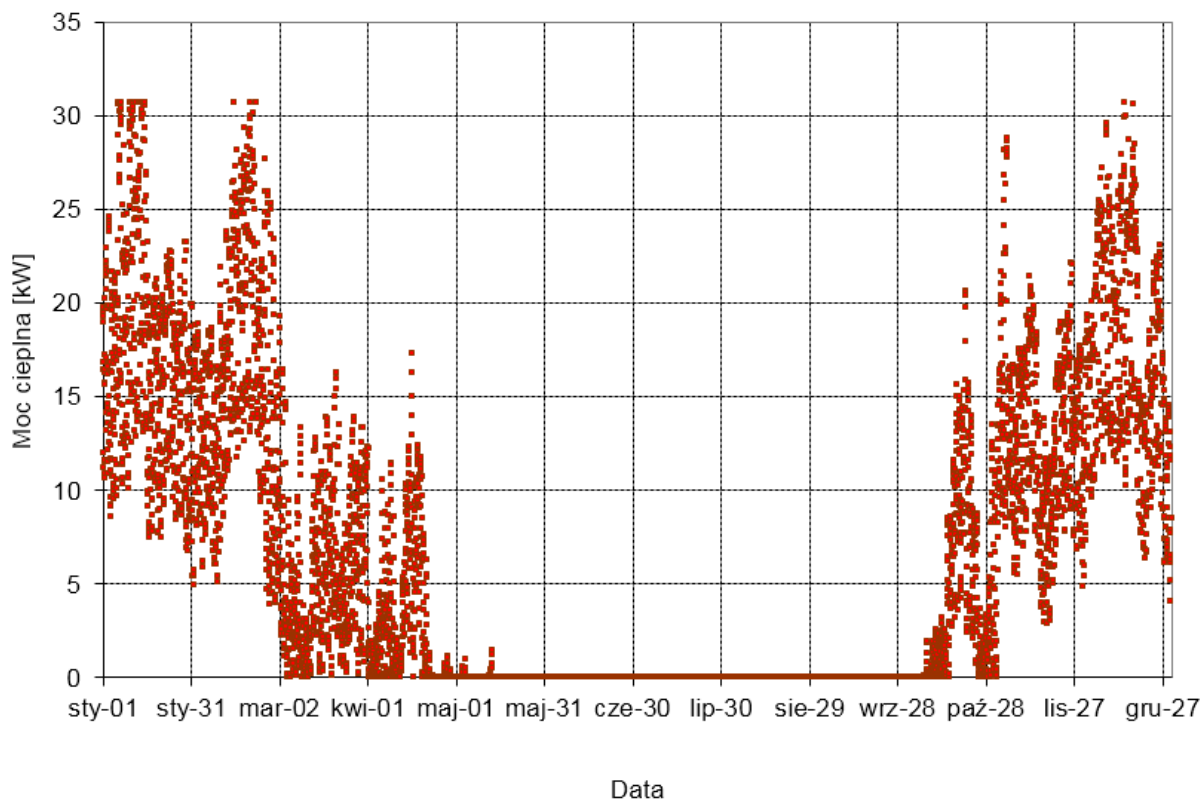
Wyniki zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych miesięcy przedstawiono w poniższej tabeli:

Tabela 12. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania

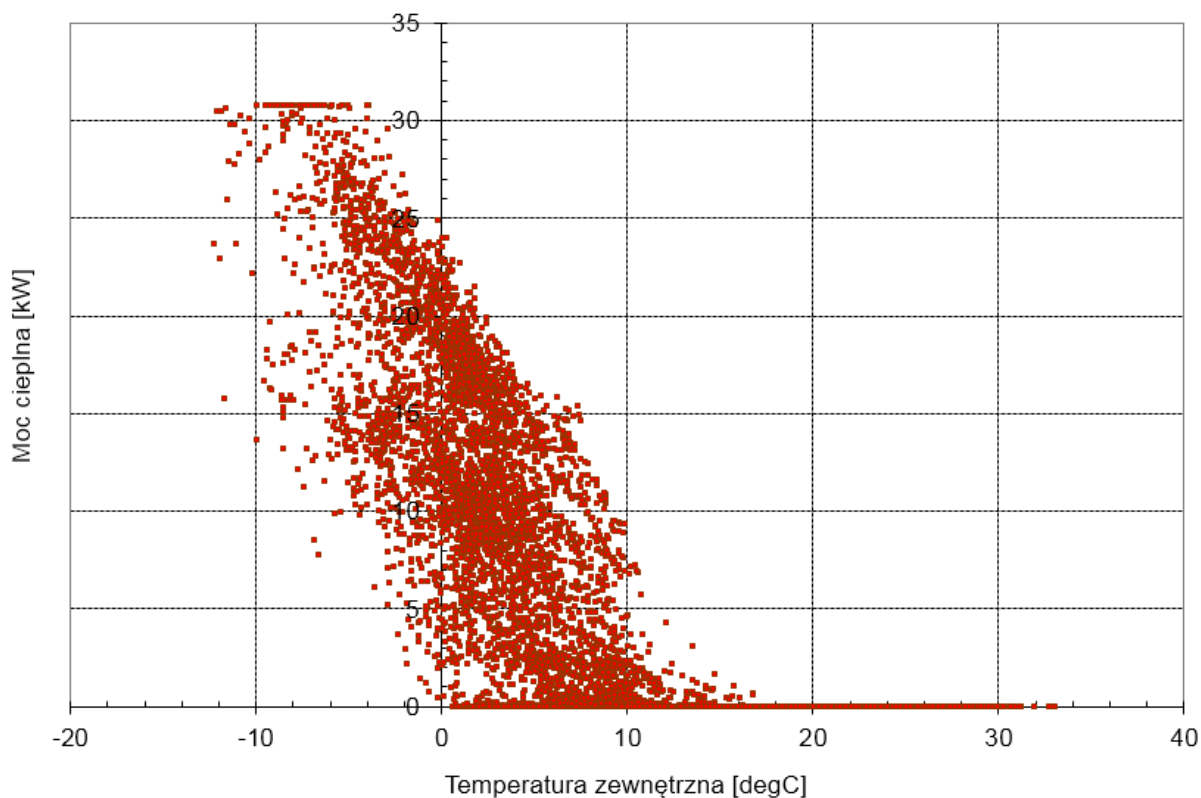
Miesiąc	Ogrzewanie kWh	Chłodzenie kWh
Styczeń	12 873,6	0
Luty	11 112,8	0
Marzec	4 126,7	0
Kwiecień	1 878,9	0
Maj	9,4	0
Czerwiec	0,0	0
Lipiec	0,0	0
Sierpień	0,0	0
Wrzesień	0,0	0
Październik	2 638,5	0
Listopad	9 198,4	0
Grudzień	12 326,3	0
Suma	54 164,5	0

Na wykresach (rys. 69, rys. 70) przedstawiono godzinowe wyniki obliczeń zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych godzin w roku oraz zapotrzebowanie na ciepło w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego.

Na rys. 71 przedstawiono zużycie energii elektrycznej do napędu wentylatorów.

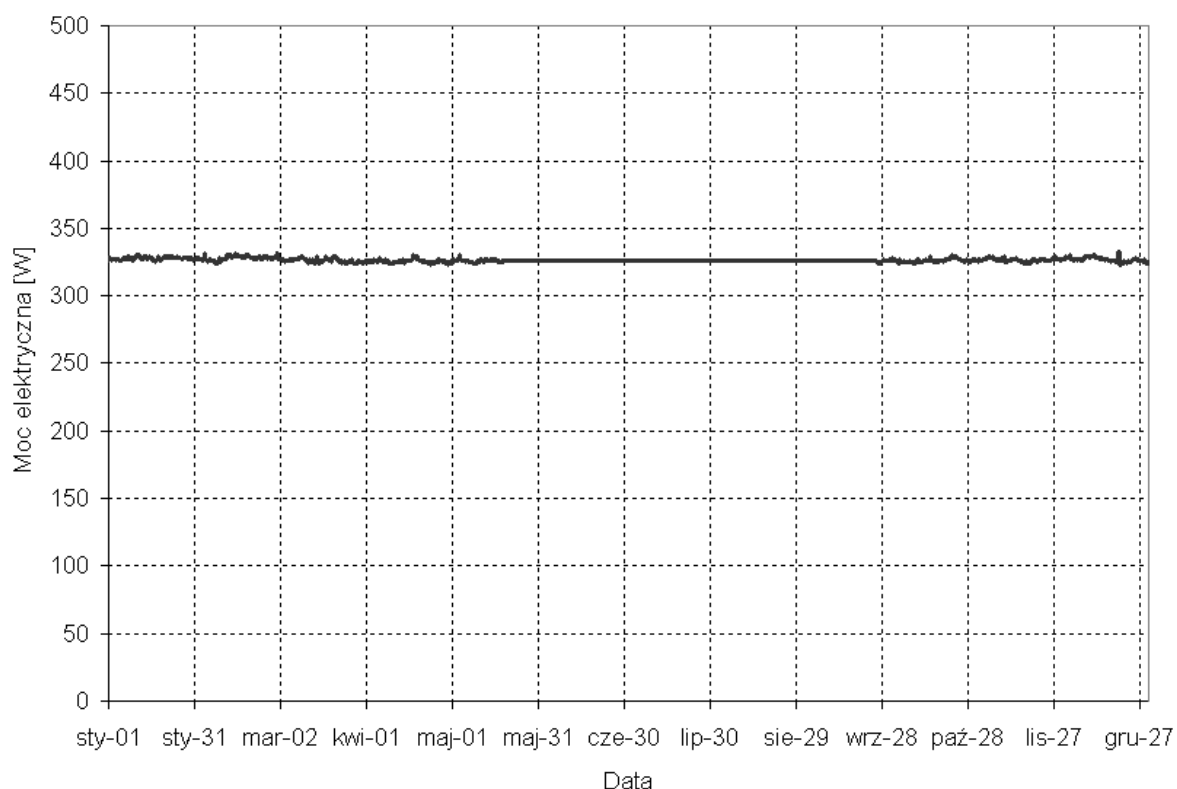


Rys. 69. Zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych godzin w roku.



Rys. 70. Zapotrzebowania na ciepło w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego.





Rys. 71. Zużycie energii do napędu wentylatorów.

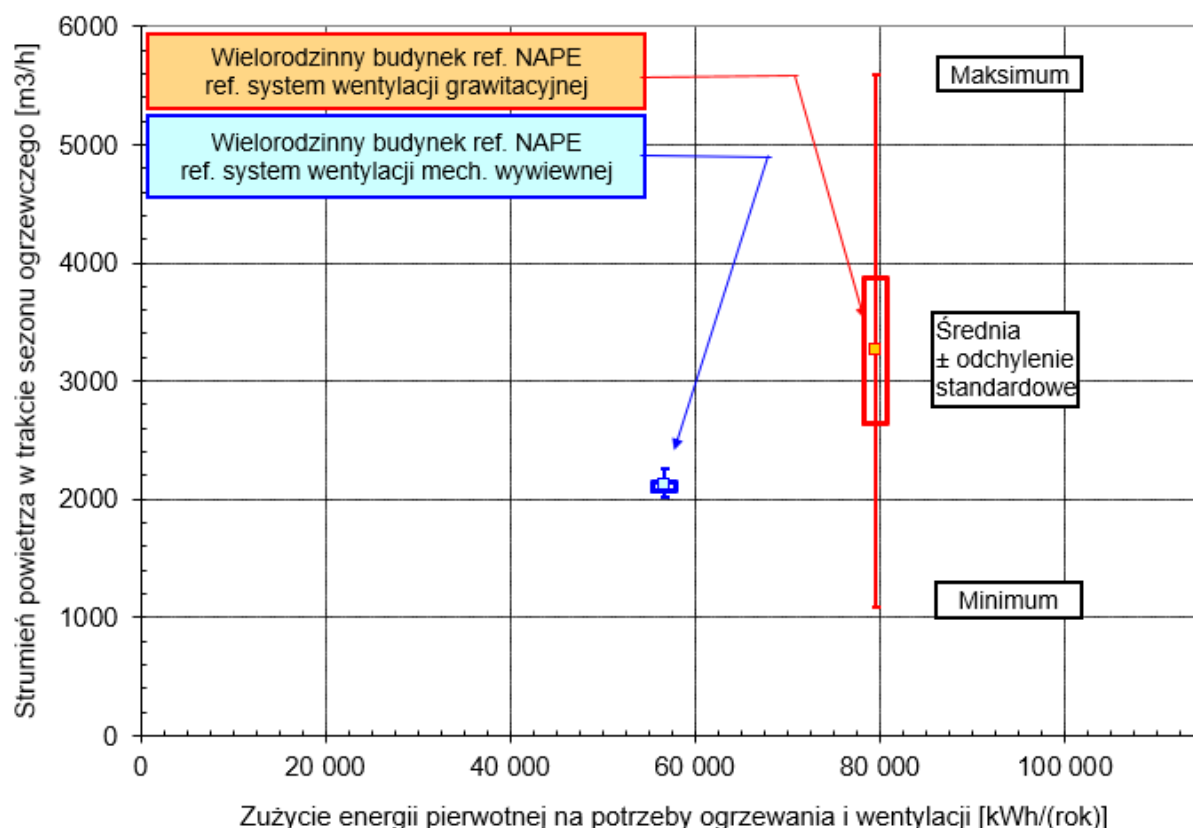
Po uwzględnieniu sprawności systemu ogrzewania wynoszącego 0,9 otrzymuje się zużycie energii cieplnej wynoszące 60 183 kWh/rok.

Zużycie energii elektrycznej przez wentylatory w ciągu całego roku wynosi 2 862 kWh.

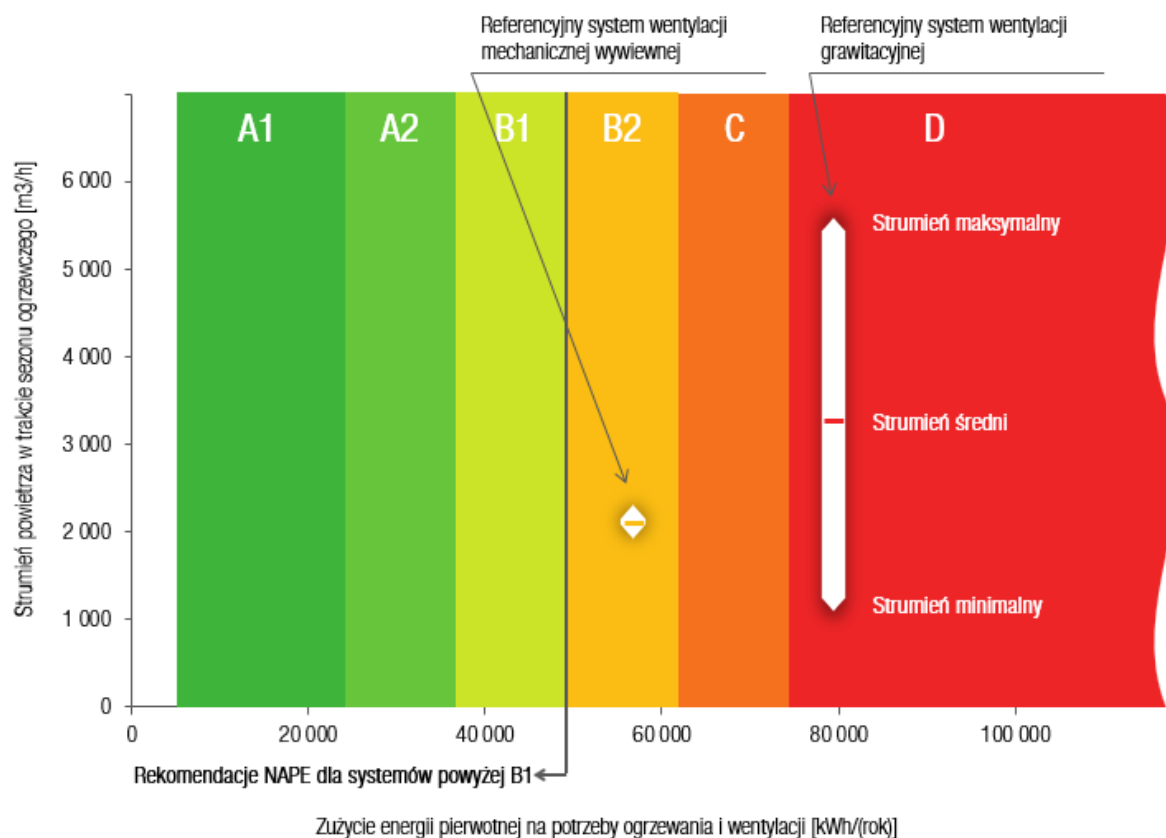
Po przeliczeniu wskaźnikiem nakładu dla energii pierwotnej 0,8 (energia cieplna) i 3,0 (energia elektryczna), [13], otrzymano zużycie energii pierwotnej wynoszące 56 732 kWh/rok, co stanowi 34,71 kWh/(m²rok)

12. Wyniki obliczeń dla referencyjnego budynku wielorodzinnego 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. 72, a na rys. 73 przedstawiono wyniki na tle podziału zużycia energii na kategorie efektywności energetycznej NAPE.



Rys. 72. Ilustracja zużycia energii pierwotnej i strumienia powietrza dla wielorodzinnego budynku referencyjnego NAPE wyposażonego w referencyjne systemy wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej wywiewnej



Rys. 73. Ilustracja kategorii efektywności energetycznej NAPE dla wielorodzinnego budynku referencyjnego NAPE wyposażonego w referencyjne systemy wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej wywiewnej.

Podsumowanie obliczeń energetycznych dla budynku referencyjnego wyposażonego w system wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej wywiewnej przedstawiono w poniższej tabeli.

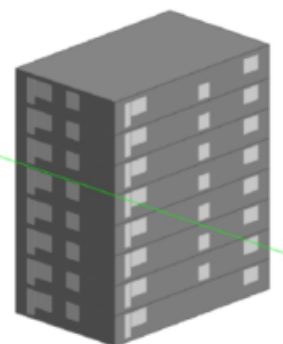
Tabela 13. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania

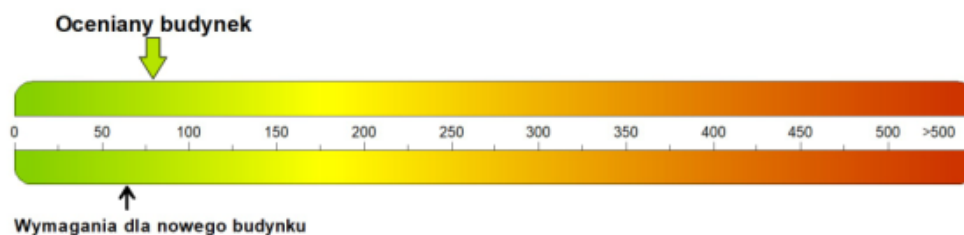
	wentylacja naturalna	wentylacja mechaniczna wywiewna
Energia użytkowa ciepła [kWh/rok]	89 514	54 164
Energia użytkowa elektryczna [kWh/rok]	0	2 862
Energia końcowa ciepła [kWh/rok]	99 460	60 183
Energia końcowa elektryczna [kWh/rok]	0	2 862
Razem energia pierwotna [kWh/rok]	79 568	56 732
Wskaźnik EP (ogrzewanie i wentylacja) [kWh/m ² /rok]	48,69	34,71

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. W obliczeniach systemu wentylacji wykorzystano strumienie powietrza podane w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 27 lutego 2015 r. [13] dla wentylacji mechanicznej wywiewnej i budynków mieszkalnych wielorodzinnych oraz infiltrację jak dla budynku nowego bez pomiaru szczelności powietrznej ($n_{50} = 4,0 \text{ h}^{-1}$). Obliczenia wykonano w programie Audytror OZC 6.9 Pro. Poniżej przedstawiono stronę tytułową świadectwa.

ŚWIADECTWO CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU		
WAŻNE DO ⁸⁾	9 Kwietnia 2030	NUMER ŚWIADECTWA ¹⁾
BUDYNEK OCENIANY		
RODZAJ BUDYNKU ²⁾	Mieszkalny	
PRZEZNACZENIE BUDYNKU ³⁾	Wielorodzinny	
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_{e} [m ²] ⁷⁾	1634,00	
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA [m ²]	1634,00	
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 = 48,4 kWh/(m ² ·rok)	
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ KOŃCOWĄ ¹¹⁾	EK = 84,4 kWh/(m ² ·rok)	
WSKAŹNIK ROCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA NIEODNAWIALNĄ ENERGIĘ PIERWOTNĄ ¹¹⁾	EP = 80,3 kWh/(m ² ·rok)	EP = 65,0 kWh/(m ² ·rok)
JEDNOSTKOWA WIELKOŚĆ EMISJI CO ₂	E _{CO2} = 0,028 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)]		



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)
OGRZEWACZY	Energia cieplna z sieci ciepłowniczej.	0,089	GJ
	Energia elektryczna.	5,133	kWh
PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ	Energia cieplna z sieci ciepłowniczej.	0,194	GJ
	Energia elektryczna.	0,656	kWh
CHŁODZENIA			

SPORZĄDZAJĄCY ŚWIADECTWO

IMIĘ I NAZWISKO

PODPIS I PIECZĄTKA

NR WPISU DO WYKAZU ¹³⁾

DATA WYSTAWIENIA ŚWIADECTWA

9 Kwietnia 2020

Rys. 74. Charakterystyka energetyczna budynku referencyjnego NAPE wyposażonego w referencyjny system wentylacji mechanicznej wywiewnej.

Literatura

- [1] ASHRAE Handbook – Fundamentals 2001
- [2] Chudzicki J, Chudzicki M., Wielorodzinny budynek referencyjny NAPE zdefiniowany na potrzeby oceny efektywności energetycznej systemów przygotowania c.w.u. w wielorodzinnym budynku mieszkalnym v1.0. Warszawa, kwiecień 2020
- [3] DesignBuilder 4.7 User's Manual, DesignBuilder Software, 2019
- [4] EN 15241 Ventilation for buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings
- [5] 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
- [6] Persily A.K., A Modeling Study of Ventilation, IAQ and Energy Impacts of Residential Mechanical Ventilation, NISTIR 6162, May 1998
- [7] PN B 02025 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego
- [8] PN-EN 12207:2001 Okna i drzwi – Przepuszczalność powietrza – Klasyfikacja
- [9] 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"
- [10] 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
- [11] PN-83/B-03430/Az3:2000, Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wersja ujednolicona, Dz.U. 2019 poz. 1065
- [13] 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
- [14] Walton G.N., Dols S.W., CONTAM – User Guide and Program Documentation, NISTIR 7251, October 2005