

METODA WYZNACZANIA STRUMIENIA OBJĘTOŚCI POWIETRZA INFILTRUJĄCEGO DO BUDYNKU MIESZKALNEGO PRZY UŻYCIU STOPNIODNI DYNAMICZNYCH

BASIŃSKA Małgorzata ¹
KOCZYK Halina ²

^{1,2} Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza Instytutu Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska

THE METHOD OF MEASURE REAL NATURAL VENTILATION INTENSITY USING DEGREE-DAYS IN DYNAMIC ASSUME FOR SELECTED MULTI-FAMILY BUILDING

The analysis of own method of measure of real natural ventilation intensity using degree-days in dynamic assume for the building was made.

The analysis has been made based on the measurement results of the energy usage for heating in measurement period and variation of external climate parameters.

The methods of natural ventilation intensity estimation based on the theoretical and the real energy usage in the measuring period using degree-days in dynamic assume method were proposed.

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono własną metodę wyznaczania rzeczywistego strumienia powietrza infiltrującego do budynku poprzez analizę liczby stopniodni dynamicznych okresu ogrzewania. Analizę przeprowadzono w oparciu o wyniki pomiarów zużycia ciepła na cele ogrzewania w okresie pomiarowym w powiązaniu ze zmiennością parametrów klimatu zewnętrznego. Zaproponowana metoda polega na analizie teoretycznego oraz rzeczywistego zużycia ciepła w roku pomiarowym metodą stopniodni dynamicznych.

1. WPROWADZENIE

W analizach związanych z określeniem zużycia energii przez obiekty budowlane występują trudności wynikające z braku prostych metod szacowania ilości powietrza infiltrującego do budynku. Strumień objętości powietrza infiltrującego do budynku zależy od rozwiązania systemu wentylacyjnego, szczelności budynku, jego uwarunkowań konstrukcyjnych, wielkości i lokalizacji.

Intensywność wentylacji naturalnej charakteryzuje się silną zmiennością w czasie w wyniku zmian czynników zewnętrznych, do których można zaliczyć zmienność temperatury powietrza zewnętrznego, prędkości wiatru oraz natężenia promieniowania słonecznego oraz czynników wewnętrznych tj.: sposób użytkowania pomieszczeń, przyzwyczajenie ich mieszkańców, wewnętrzne źródła ciepła.

Znając obudowę budynku i zakładając stałe potrzeby wentylacyjne można wyznaczyć teoretyczne charakterystyki cieplne. Rzeczywiste charakterystyki eksploatacyjne wynikają z pomiarów zużycia energii w źródle ciepła w okresie pomiarowym.

W referacie zaproponowano metodę wyznaczania strumienia objętości powietrza infiltrującego do budynku poprzez porównanie charakterystyki teoretycznej i rzeczywistej budynku metodą liczby stopniodni dynamicznych.

Metoda liczby stopniodni w ujęciu dynamicznym pozwala na dokładne uwzględnienie parametrów obudowy budynku zlokalizowanego w określonym środowisku zewnętrznym oraz wpływu parametrów eksploatacyjnych.

2. ALGORYTM OBLICZEŃ

Według klasycznej definicji liczba stopniodni o zmiennej podstawie Sd_z [1, 4] zależy od wyznaczonej dla każdego miesiąca temperatury bazowej i jest sumą stopniodni miesięcznych według zależności:

$$Sd_z = \sum_{m=1}^{Lg} [t_b(m) - t_e(m)] \cdot Ld(m)$$

gdzie:

- $t_b(m)$ – temperatura bazowa, [°C];
- $t_e(m)$ – średnia wieloletnia temperatura miesiąca, [°C];
- $Ld(m)$ – liczba dni ogrzewania w miesiącu m-tym, [-];
- Lg – liczba miesięcy ogrzewania w sezonie ogrzewczym, [-].

Temperaturę bazową t_b można wyznaczyć z charakterystyki teoretycznej dla każdego miesiąca zgodnie z zależnością:

$$t_b^m = t_i - \frac{\eta_m(Q_i + Q_s)}{C}$$

gdzie:

- C – jednostkowe straty ciepła obejmujące charakterystykę obudowy pomieszczenia C_U oraz potrzeby wentylacyjne budynku C_V , [W/K];
- Q_i – średnie miesięczne zyski wewnętrzne (od ludzi, urządzeń przygotowania cwu, gotowania, urządzeń elektrycznych i oświetlenia sztucznego), [W];
- Q_s – średnie miesięczne zyski od Słońca, [W];
- GLR – stosunek zysków do strat, [-];
- η_m – współczynnik wykorzystania zysków ciepła [-] według poniższej zależności:

$$\eta_m = 1 - e^{-GLR}$$

Charakterystyka rzeczywista oparta jest na analizie zmienności miesięcznych wartości zużycia ciepła na cele ogrzewcze budynku. Algorytm obliczeń zakłada równość obliczeniowego zapotrzebowania na moc cieplną dla każdego miesiąca Q_{obl}^m z obliczeniowym zapotrzebowaniem na ciepło \dot{Q} ujmującym straty ciepła przez przenikanie i wentylację. Wynikiem porównania jest rzeczywista liczba stopniodni w ujęciu dynamicznym.

$$Sd_z^{rz} = \frac{Q_{com} \cdot (t_i^e - t_e)}{\dot{Q} \cdot 24 \cdot 3600} \cdot 10^6$$

gdzie:

Q_{com} – rzeczywiste zużycie ciepła na potrzeby ogrzewania i wentylacji budynku w danym miesiącu [5], [GJ];

\dot{Q} – obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło, [kW];

t_i^e – eksploatacyjna temperatura wewnętrzna, [°C];

t_e – obliczeniowa temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -18^\circ\text{C}$.

Rozpatrując zmienność stopniodni dynamicznych w funkcji ilości powietrza infiltrującego do budynku otrzymujemy krzywą rosnącą ze zwiększeniem krotności wymian dla charakterystyki teoretycznej oraz malejącą dla charakterystyki rzeczywistej. Punkt przecięcia krzywych podaje dla poszczególnych miesięcy średnią wartość strumienia objętości powietrza infiltrującego do budynku oraz wynikową liczbę stopniodni dynamicznych obrazującą zachowanie budynku w zmiennych warunkach klimatu zewnętrznego w powiązaniu z przyzwyczajeniami mieszkańców.

3. DANE WYJŚCIOWE

W celu przeprowadzenia analiz zmierzających do ustalenia rzeczywistej średnio-miesięcznej ilości powietrza infiltrującego do budynku przedstawiono analizy dla budynku wielorodzinnego znajdującego się w zmiennych warunkach klimatu zewnętrznego roku kalendarzowego 2003.

3.1. Opis obiektu

Analizie poddano typowy budynek wielorodzinny pięciokondygnacyjny całkowicie podpiwniczony mieszczący się na os. Stefana Batorego w Poznaniu. Współczynnik kształtu budynku wynosi $0,67 \text{ m}^{-1}$. Obiekt wzniesiono w systemie wielkopłytowym SL 87 w roku 1998.

W obliczeniach wewnętrznych zysków ciepła uwzględniono dane dotyczące liczby osób mieszkających w analizowanym obiekcie, które przedstawiono w tabeli (Tab.1.).



Fot. 1. Widok S – W strony budynku [6].

Pic. 1. View of South – West side of building [6].

Do określenia obliczeniowego zapotrzebowania na ciepło przyjęto wewnętrzne temperatury pomieszczeń ogrzewanych zgodnie z [3]. Dla pomieszczeń nieogrzewanych obliczono temperaturę wewnętrzną z bilansu cieplnego. W obliczeniach liczby stopniodni

dynamicznych przyjęto średnią ważoną po kubaturze temperaturę pomieszczeń ogrzewanych równą 20,5°C.

TABELA 1. Liczba osób w budynku.

TABLE 1. Number of persons in the building.

Kategoria mieszkań	Liczba mieszkań	Liczba mieszkańców na mieszkanie	Liczba mieszkańców
M1	26	1	26
M2	29	2	58
M3	20	4	80
M3	1	3	3
M4	4	4	16
			183

3.2. Dane klimatyczne

TABELA 2. Średnie miesięczne temperatury roku 2003 wg danych rzeczywistych z PEC-u oraz liczba stopniodni statycznych.

TABLE 2. Average monthly temperatures for 2003 year according to PEC's data and degree-days in static assume.

	I	II	III	IV	V		IX	X	XI	XII
il. dni	31	28	31	22	3		6	29	30	31
temp.	-2,1	-3,5	2,6	6,2	10,6		10,6	5,0	5,4	1,7
Sd	700	672	554	316	30		59	451	452	583

TABELA 3. Sumy miesięczne całkowitego promieniowania słonecznego na jednostkę powierzchni w kolejnych miesiącach sezonu grzewczego, [Wh/m²].

TABLE 3. Monthly sums of total solar radiation on unit surface in the succeeding month of heating season, [Wh/m²].

	S	S-W	W	N-W	N	N-E	E	S-E
I	26 040	21 576	14 136	11 160	11 160	11 160	14 136	21 576
II	47 040	41 664	29 568	20 832	19 488	20 160	26 880	37 632
III	69 936	62 496	49 848	37 200	34 224	37 944	50 592	63 984
IV	77 760	74 160	64 080	50 400	42 480	52 560	69 120	78 480
V	8 640	8 640	8 064	6 624	5 688	7 632	9 648	9 792
IX	14 688	12 960	10 368	7 632	6 768	7 920	11 088	13 824
X	60 264	46 872	31 248	21 576	20 088	23 064	37 200	53 568
XI	31 680	23 760	13 680	10 080	10 080	10 080	16 560	27 360
XII	23 064	17 112	8 928	6 696	6 696	6 696	10 416	19 344

Obliczenia wykonano dla danych klimatycznych roku 2003 przyjmując miesięczne temperatury powietrza zewnętrznego ze stacji klimatycznej na Ławicy [2] (Tab.2.) uzupełnione o sumy miesięczne natężenia promieniowania słonecznego na przegrody różnie zorientowane w stosunku do stron świata według [9] (Tab.3.). Jako dzień grzewczy przyjęto taki, dla którego średnio-dobowa temperatura nie przekraczała 12°C. Ponadto w tabeli (Tab.2.) przedstawiono liczbę stopniodni statycznych S_d , do których wyznaczenia konieczna jest jedynie znajomość temperatury powietrza zewnętrznego.

Dla danych roku 2003 przeliczono dane normatywnych sum miesięcznych promieniowania słonecznego dla miesiąca maja i września proporcjonalnie do liczby dni tworzących w tych miesiącach sezon ogrzewczy.

3.3. Odczyty podliczników

W analizowanym budynku w węźle ciepła zamontowany jest licznik ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania, na podstawie wskazań którego możliwe było określenie miesięcznych wartości zużycia ciepła przez budynek. W tabeli (Tab.4.) przedstawiono udostępnione przez Poznańską Spółdzielnię Mieszkaniową na Piątkowie dane z odczytów podlicznika centralnego ogrzewania wraz z datą ich dokonania [2].

TABELA 4. Odczyty podliczników c.o.

TABLE 4. Heat meter for central heating readings.

Data odczytu	Stan licznika	Zużycie energii cieplnej na c.o.
	[GJ]	[GJ]
01.01.2003	620,0	296,8
20.01.2003	795,0	175,0
20.02.2003	1044,1	249,1
24.03.2003	1250,4	206,3
23.04.2003	1367,0	116,6
22.05.2003	1376,9	9,9
24.10.2003	1479,9	103,0
21.11.2003	1637,1	157,2
01.01.2004	1879,5	242,4

3.4. Założenia obliczeniowe

Obliczenia przeprowadzono dla dziesięciu wariantów ilości powietrza wentylacyjnego dopływającego do budynku zgodnie z tabelą (Tab.5.). Wariant 2 został określony z uwzględnieniem klasy osłonięcia i szczelności budynku [10], wariant 10 z ilości powietrza wywiewanego kanałami wentylacji grawitacyjnej zgodnie z normą [8] odpowiednio:

- dla mieszkania bez oddzielnego ustępu 120 m³/h,
- dla mieszkania z oddzielnym ustępem 150 m³/h

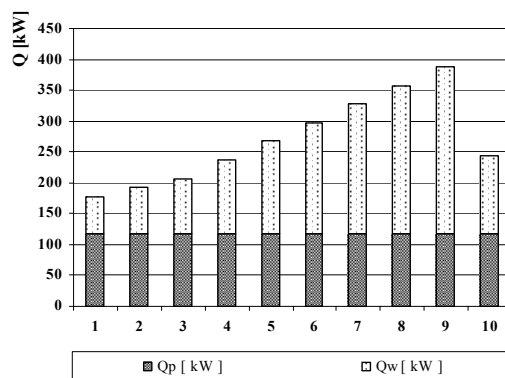
TABELA 5. Intensywność wentylacji grawitacyjnej w budynku.

TABLE 5. Natural ventilation intensity in the building.

Wariant	Krotność wymian [wym/h]	Strumień powietrza wentylacyjnego dostarczanego do budynku [m ³ /h]	Wariant	Krotność wymian [wym/h]	Strumień powietrza wentylacyjnego dostarczanego do budynku [m ³ /h]
1.	0,4	4674	6.	1,2	14021
2.	0,5	5842	7.	1,4	16358
3.	0,6	7010	8.	1,6	18694
4.	0,8	9347	9.	1,8	21031
5.	1,0	11684	10.	0,85	9885

4. CHARAKTERYSTYKA TEORETYCZNA

Obliczenia charakterystyki teoretycznej polegały na określeniu obliczeniowego zapotrzebowania na ciepło [7] z podziałem na składową strat ciepła przenikania i strat ciepła wentylacji dla rozważanych 10-ciu wariantów. W obliczeniach nie uwzględniono dodatków do strat przenikania, jak również wewnętrznych zysków ciepła. Na rysunku (Rys.1.) przedstawiono graficznie wartości obliczeniowego zapotrzebowania na moc cieplną dla budynku wyznaczone na podstawie obliczeń teoretycznych dla przyjętych wariantów wentylacji [6]. Dla analizowanego budynku wykorzystując algorytm obliczeń sezonowego zapotrzebowania na ciepło [9] dla każdego miesiąca sezonu ogrzewczego, w określonych warunkach klimatycznych oraz dla 10-ciu wariantów wentylacji ustalono współczynnik zysków do strat GLR oraz współczynnik wykorzystania zysków ciepła η . Znając teoretyczną charakterystykę cieplną budynku dla analizowanych wariantów określono średnio-miesięczną wartość temperatury bazowej oraz miesięczne stopniodni dynamiczne.



Rys.1. Udział poszczególnych składników w obliczeniowym zapotrzebowaniu na ciepło

Fig.1. Shares of individual elements in accounting heat need.

W tabeli (Tab.6.) przedstawiono przykładowo wartości temperatury bazowej t_b i liczby stopniodni Sd_z^t dla danych klimatycznych roku 2003 dla 5-go wariantu wentylacji.

TABELA 6. Temperatura bazowa i stopniodni dynamiczne charakterystyki teoretycznej dla danych roku 2003 oraz dla 5-go wariantu wentylacji.

TABLE 6. Base temperature and theoretical characteristic degree-days in dynamic assume for 2003 year data and for the 5. type of ventilation.

	I	II	III	IV	V		IX	X	XI	XII
t_b	14,7	14,9	14,6	15,4	19,6		19,2	15,3	15,4	15,0
Sd_z^t	519	515	370	222	26		50	299	299	411

5. CHARAKTERYSTYKA RZECZYWISTA

Obliczenia rzeczywistej liczby stopniodni dynamicznych wykonano przy założeniu równości zapotrzebowania na moc cieplną według zużycia i obliczeń teoretycznych dla dziesięciu wariantów uwzględniających zmienną wentylację. Założono, że różnica pomiędzy obliczeniowym, a wynikającym z obliczeń zużycia ciepła zapotrzebowaniem na moc cieplną wynika z wykorzystania przez budynek zysków słonecznych oraz wewnętrznych.

Wraz ze wzrostem założonego strumienia powietrza infiltrującego wzrasta stopień wykorzystania zysków ciepła, czyli maleje liczba stopniodni dynamicznych.

W tabeli (Tab.7.) przedstawiono przykładowo wartości temperatury bazowej t_b i liczby stopniodni Sd_z^{rz} dla danych klimatycznych roku 2003 dla 5-go wariantu wentylacji.

TABELA 7. Temperatura bazowa i stopniodni dynamiczne charakterystyki rzeczywistej dla danych roku 2003 oraz dla 5-go wariantu wentylacji.

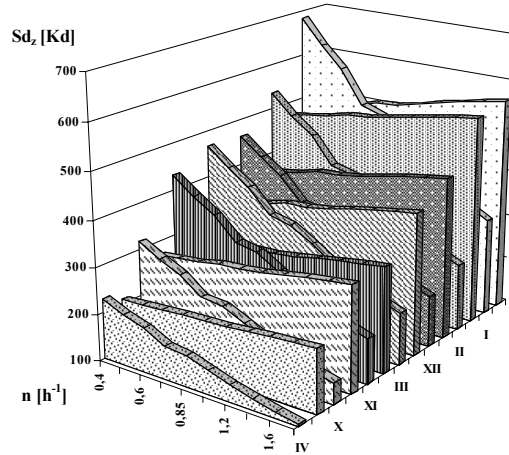
TABLE 7. Base temperature and real characteristic degree-days in dynamic assume for 2003 years data and for the 5. type of ventilation.

	I	II	III	IV	V		IX	X	XI	XII
t_b	12,5	9,1	12,6	13,3	16,5		15,4	12,3	14,9	11,5
Sd_z^{rz}	453	354	308	151	20		26	211	285	305

6. INTENSYWNOŚĆ WENTYLACJI NATURALNEJ

Znając krzywe zmienności liczby stopniodni w ujęciu dynamicznym w funkcji strumienia objętości powietrza infiltrującego dla charakterystyki teoretycznej i rzeczywistej znaleziono punkt przecięcia wykresów odzwierciedlający wspólną wartość liczby stopniodni i ilości powietrza wentylacyjnego dla obu charakterystyk.

Charakterystykę rzeczywistą opisano logarytmiczną linią trendu z średnią wartością współczynnika korelacji Pearsona na poziomie $R^2=0,9997$, charakterystykę teoretyczną najlepiej opisywał wielomian drugiego stopnia $R^2=1,0$.



Rys.2. Porównanie charakterystyki teoretycznej i rzeczywistej.
Fig.2. Comparison of theoretical and real characteristic.

Z przecięcia krzywych otrzymano konkretną liczbę stopniodni dynamicznych i wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego, która odpowiada rzeczywistym, nieznanym warunkom infiltracji powietrza do budynku (Rys.2.). Wyniki obliczeń dla poszczególnych miesięcy okresu ogrzewczego liczby stopniodni dynamicznych i intensywności wymiany powietrza w budynku przedstawiono w tabeli (Tab.8.).

TABELA 8. Porównanie charakterystyki teoretycznej i rzeczywistej w poszczególnych miesiącach okresu ogrzewczego.

TABLE 8. Comparison of theoretical and real characteristic in the month of heating season.

	I	II	III	IV	V		IX	X	XI	XII
Sd_z	506	483	356	211	26		50	280	296	387
n	0,82	0,52	0,76	0,49	0,55		0,20	0,60	0,94	0,62
\dot{V}	9 546	6 099	8 903	5 725	6 426		2 348	6 531	10 994	7 256

Przedstawiony algorytm wykorzystano do określenia przeciętnej intensywności wentylacji naturalnej w rzeczywistych warunkach klimatu zewnętrznego. Strumień objętości powietrza infiltrującego został oszacowany na podstawie analiz miesięcznych na poziomie $0,668 \text{ h}^{-1}$, co daje $7805 \text{ m}^3/\text{h}$ dla analizowanego budynku; otrzymano wynikową liczbę stopniodni dynamicznych na poziomie 2595 Kd .

Z szacowania strumienia objętości powietrza infiltrującego dla całego okresu ogrzewczego otrzymano podobne wyniki:

- krotność wymian $0,671 \text{ h}^{-1}$,
- strumień objętości powietrza infiltrującego $7840 \text{ m}^3/\text{h}$,
- stopniodni dynamiczne 2591 Kd .

7. WNIOSKI KOŃCOWE

Problem określenia intensywności wentylacji grawitacyjnej leży nie tylko po stronie zmiennych losowo parametrów klimatycznych, ale również po stronie eksploatacji pomieszczeń oraz przyzwyczajzeń mieszkańców. Wydaje się, że dobrym parametrem pozwalającym analizować zachowanie termiczne budynku w zmiennych warunkach klimatu zewnętrznego, jak również w zależności od czynników wewnętrznych oddziałujących na budynek jest liczba stopniodni w ujęciu dynamicznym. Wykonując obliczenia teoretyczne jesteśmy zmuszeni założyć większość parametrów, pośrednio i bezpośrednio wpływających na liczbę stopniodni. Natomiast charakterystyka rzeczywista opiera się na faktycznych danych dotyczących zużycia energii cieplnej. Dane te dokładnie określają parametry, które musiały zostać założone lub przyjęte w podejściu teoretycznym.

Z przecięcia krzywych charakterystyk można otrzymać wynikową liczbę stopniodni dynamicznych i wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego, która odpowiada rzeczywistym warunkom infiltracji powietrza do budynku. Zaproponowaną metodę można wykozystać dla innych budynków mieszkalnych, dla których dysponujemy danymi zużycia ciepła.

8. LITERATURA

- [1] BASIŃSKA M., Wpływ czynników zewnętrznych i wewnętrznych na zużycie energii cieplnej na potrzeby ogrzewania budynków. 2000, *Rozprawa doktorska*, Politechnika Poznańska.
- [2] Dane z PEC-u zawierające wskazania liczników ciepła analizowanym obiekcie oraz wartości temperatur zewnętrznych.
- [3] Dz. U nr 75 z dnia 12.04.2002 r. wraz ze zmianami w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [4] ISO 9164 (1989). *Thermal insulation – Calculation of space heating requirements for residential building*.
- [5] KOCZYK H., ANTONIEWICZ B. *Zużycie ciepła wielorodzinnych budynków mieszkalnych w sezonie ogrzewczym. Wymagania a praktyka*. Rynek Instalacyjny nr 6/2002.
- [6] PLENZLER J., Wpływ strumienia objętości powietrza infiltrującego na zmienność liczby stopniodni dynamicznych, *Praca magisterska pod kierunkiem dr inż. M. Basińskiej*, Politechnika Poznańska, 2004.
- [7] PN/B-03406:1994 *Obliczanie zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m³*.
- [8] PN-83/B-03430 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania*.
- [9] PN-B-02025:2001 *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego*.
- [10] PN-EN 832 *Właściwości cieplne budynków. Obliczanie zapotrzebowania na energię do ogrzewania. Budynki mieszkalne*.



dr inż. Małgorzata Basińska, adiunkt w Zakładzie Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej.

Tematyka zainteresowań: ogrzewnictwo, wymiana ciepła w budynkach ogrzewanych, bierne systemy słoneczne, modelowanie klimatu zewnętrznego.

malgorzata.basinska@put.poznan.pl



prof. dr hab. inż. Halina Koczyk, profesor w Zakładzie Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej.

Tematyka zainteresowań: ogrzewnictwo racjonalne gospodarowanie energią w budownictwie, wymiana ciepła w budynkach ogrzewanych, modelowanie klimatu zewnętrznego.

halina.koczyk@put.poznan.pl