

Obliczanie miesięcznej liczby stopniodni grzania

Józef Dopke

Słowa kluczowe: stopniogodziny grzania, stopniodni grzania, liczba stopniodni grzania, temperatura bazowa, temperatura graniczna, średnia temperatura powietrza, seria warszawska

Rys historyczny [1]

Koncepcję stopniodni przedstawiono po raz pierwszy w pracy Lt-Gen. Sir Richarda Strachey'a w 1878 r. [1]. Od tego roku znane są terminy „stopniogodziny”, „stopniodni” i „temperatura bazowa”. W pracy [2] Strachey opisywał wzrost upraw rolnych i definiował wzory do określenia „skumulowanej temperatury” powyżej temperatury bazowej 42°F (5,6°C), powyżej której rozpoczyna się nieprzerwana wegetacja roślin. On rozszerzył swoją koncepcję na „skumulowaną temperaturę” poniżej danej temperatury bazowej. W 1928 r. Meteorological Office [3] opublikowało wzory bazując na pracy Strachey'a w takiej postaci jakiej są stosowane dokładnie dzisiaj.

Około 1939 r. London and Counties Coke Association wydało zaadoptowanie tej teorii do obliczania zapotrzebowania energii na ogrzewanie budynków w zależności od liczby stopniodni grzania. Pierwsze zarejestrowane zastosowanie stopniodni grzania do określenia zapotrzebowania energii na ogrzewanie budynków zapoczątkowało American Gas Association, USA w latach 1920 [4]. Wykazano, że zużycie paliw w domach zmienia się proporcjonalnie do stopniodni grzania o temperaturze bazowej 65°F (18,3°C) i przyjętej temperaturze wewnętrznej 70°F (21,1°C). To dowodziło, że wewnętrzny zysk ciepła przyczyniał się do wzrostu wewnętrznej temperatury powietrza o 5°F (2,8°C). Powyższe opracowanie zostało przetłumaczone w Wielkiej Brytanii w 1934 r. przez Dufton'a [5], który sugerował, że wewnętrzne zyski ciepła w Wielkiej Brytanii były wyższe i przekonywał do rozsądnego wyboru temperatury bazowej na 60°F lub 15,5°C. Taką temperaturę bazową przyjmuje się do dnia dzisiejszego jako standardową w Wielkiej Brytanii, pomimo że standardy wznoszenia budynków jak i zachowania ich mieszkańców zmieniły się od tamtych czasów.

Podstawy do nowoczesnych zastosowań zaproponowano w latach 1940 w szeregu publikacji w „Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers”. Najważniejszą publikacją była praca McVicker'a z 1946 r. [6], w której przedstawił zagadnienie obliczania stopniodni i ich zastosowanie jako narzędzia do prognozowania i nadzorowania zużycia energii. W publikacjach z 1964 i 1966 r. Billington [7, 8] rozwinął metodę szacowania zużycia energii, którą zaakceptował CIB SE Standard. Jego podejście uwzględniało zastosowanie specyficznej temperatury bazowej dla każdego budynku i koncepcję ekwiwalentnego godzinowego obciążenia paliwem.

Stopniodni grzania

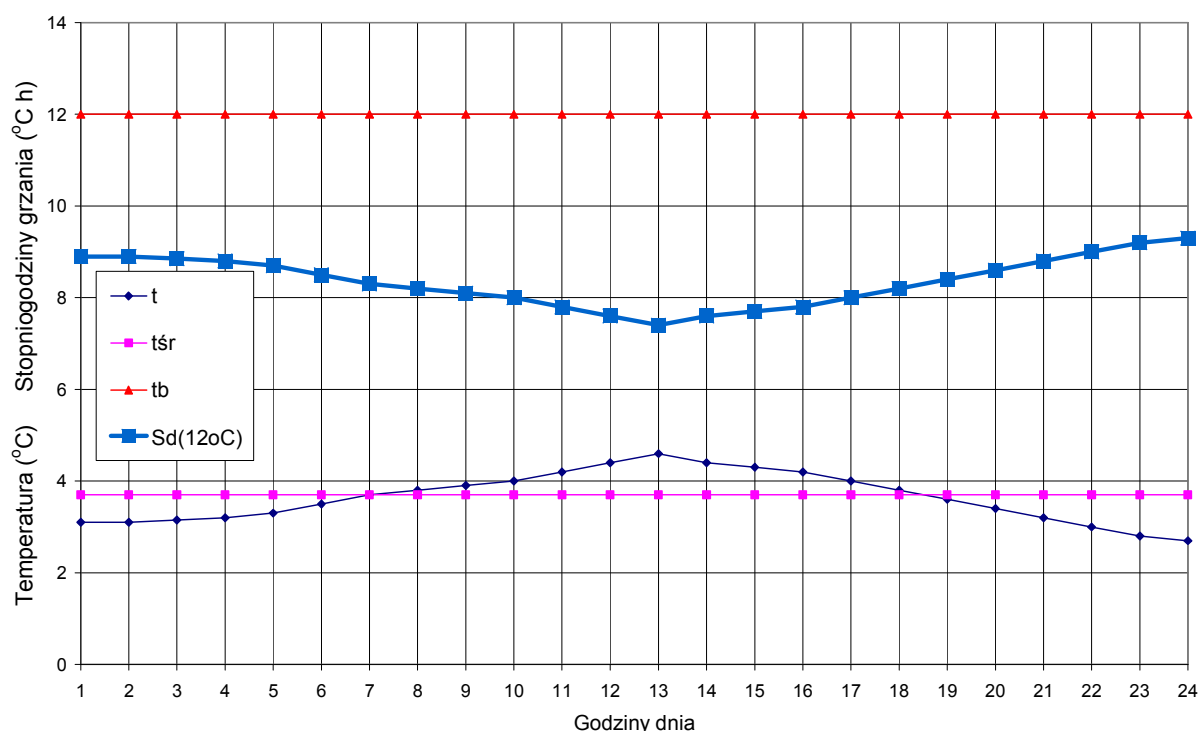
Najprościej oblicza się stopniodni grzania wtedy gdy temperatura zewnętrzna powietrza w ciągu całego dnia jest niższa niż założona temperatura bazowa t_b . W tym przypadku dzienna liczba stopniodni grzania równa jest różnicy temperatury bazowej t_b i średniej dziennej temperatury powietrza t_{sr} .

Rys. 1 przedstawia wartości temperatury zewnętrznej powietrza t_i mierzone co 1 godzinę, średnią dzienną temperaturę powietrza t_{sr} , temperaturę bazową $t_b=12^\circ\text{C}$ oraz liczbę stopniogodzin grzania $S_d(12^\circ\text{C})$ równą t_b-t_i , dla $i=1, 2, \dots, 24$. Liczbę stopniogodzin grzania t_b-t_i sumuje się gdy $t_b-t_i>0$ oraz przyjmuje $t_b-t_i=0$ gdy $t_b-t_i\leq 0$. Dla każdego dnia suma stopniogodzin grzania podzielona przez 24 h daje dzienną liczbę stopniodni grzania.

Najbardziej precyzyjną matematycznie dzienną liczbę stopniodni grzania oblicza się zatem ze wzoru:

$$Sd(t_b) = \frac{\sum_{i=1}^{24} (t_b - t_i)}{24} \quad \text{dla } t_i < t_b \quad (1)$$

W przypadku gdy $t_i < t_b$ dla wszystkich $i=1,2 \dots, 24$, to tę samą dzienną liczbę stopniodni grzania otrzymamy gdy od temperatury bazowej t_b odejmiemy średnią dzienną temperaturę powietrza. Dzienną liczbę stopniodni grzania sumuje się w wybranych okresach czasu, np. miesiąca, kwartału, sezonu grzewczego lub roku. Większa liczba stopniodni grzania odpowiada chłodniejszemu przebiegowi pogody a mniejsza liczba cieplejszemu przebiegowi pogody.



Rys. 1. Ilustracja graficzna definicji stopniodni grzania $Sd(t_b)$ jako różnicy między temperaturą bazową t_b i średnią dzienną zewnętrzną temperaturą powietrza t_{sr} .

W praktyce temperatura zewnętrzna powietrza waha się wokół temperatury bazowej w cieplejszych miesiącach sezonu grzewczego lub kiedy założona temperatura bazowa jest mała. W przypadku obliczania stopniodni grzania ze średniej dziennej temperatury często w takich dniach o $t_b - t_{sr} > 0$ ignoruje się czas kiedy temperatura powietrza jest większa od t_b .

Obecnie w dobie komputerów nic nie stoi na przeszkodzie aby temperaturę powietrza mierzyć nawet co minutę i z tych pomiarów określić precyzyjnie liczbę stopniodni grzania dla każdego dnia roku. Jednak w latach gdy takiej możliwości nie było, Meteorological Office w Wielkiej Brytanii [3] opracowało metodę obliczania stopniodni grzania z minimalnej t_{min} i maksymalnej t_{max} dziennej temperatury powietrza.

Metoda Meteorological Office [3]

Przed zastosowaniem elektronicznych pomiarów temperatury stosowano termometry z których odczytywano minimalną $t_{\min}$ i maksymalną $t_{\max}$ temperaturę dzienną. Między tymi temperaturami a temperaturą bazową zachodzą trzy przypadki:

- temperatura bazowa t_b jest większa od maksymalnej dziennej temperatury $t_{\max}$, $t_b > t_{\max}$,
- maksymalna temperatura $t_{\max}$ jest większa od temperatury bazowej t_b ale mniej niż minimalna temperatura $t_{\min}$ jest mniejsza od temperatury bazowej t_b , $(t_{\max} - t_b) < (t_b - t_{\min})$,
- maksymalna temperatura $t_{\max}$ jest większa od temperatury bazowej t_b ale więcej niż minimalna temperatura $t_{\min}$ jest mniejsza od temperatury bazowej t_b , $(t_{\max} - t_b) > (t_b - t_{\min})$,
- minimalna temperatura $t_{\min}$ jest większa niż temperatura bazowa i liczba stopniodni grzania jest równa zero.

W tej metodzie stopniodni grzania $Sd(t_b)$ dla temperatury bazowej t_b oblicza się ze wzoru:

$$Sd(t_b) = \sum_{i=1}^n [t_b - (t_{\max}(i) + t_{\min}(i)) / 2] \dots \text{dla } t_{\max}(i) < t_b$$

$$\sum_{i=1}^n [t_b - t_{\min}(i)] / 2 - [t_{\max}(i) - t_b] / 4 \dots \text{dla } t_{\min}(i) < t_b \dots (t_{\max}(i) - t_b) < (t_b - t_{\min}(i)) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n [t_b - t_{\min}(i)] / 4 \dots \text{dla } t_{\max}(i) > t_b \dots (t_{\max}(i) - t_b) > (t_b - t_{\min}(i))$$

$$0 \dots \text{dla } t_{\min}(i) \geq t_b$$

Do obliczenia stopniodni grzania dla przyjętego okresu czasu oblicza się stopniodni dla wszystkich dni ($i=1, 2, 3, \dots, n$) tego okresu i sumuje. Błędy w oszacowaniu liczby stopniodni grzania przy użyciu wzoru (2) omówiono w [4].

Metoda średniej dziennej temperatury powietrza

Tę metodę stosuje się, np. w USA [9], Kanadzie i Niemczech [10], gdzie liczbę stopniodni grzania oblicza się ze średniej dziennej temperatury powietrza zewnętrznego. Obliczenia są łatwiejsze. Metoda zakłada, że ogrzewanie jest wyłączone w dniach kiedy średnia dzienna temperatura powietrza jest większa od temperatury bazowej:

$$Sd(t_b) = \sum_{i=1}^n [t_b - t_{sr}(i)] \dots \text{dla } t_{sr}(i) \leq t_b \quad (3)$$

$$0 \dots \text{dla } t_{sr}(i) > t_b$$

Różnice między liczbą stopniodni grzania obliczoną z (3) a metodą obliczeń z temperatury mierzonej co godzinę omówiono w [1]. Są one małe.

W metodzie przyjętej przez EUROSTAT stopniodni grzania $Sd(t_b)$ dla temperatury bazowej $t_b = 18^\circ\text{C}$ i temperatury granicznej $t_{gr} = 15^\circ\text{C}$ (tabela 1) oblicza się ze wzoru

$$Sd(18^\circ\text{C}) = \sum_{i=1}^n [18^\circ\text{C} - t_{sr}(i)] \dots \text{dla } t_{sr}(i) \leq 15^\circ\text{C} \quad (4)$$

$$0 \dots \text{dla } t_{sr}(i) > 15^\circ\text{C}$$

Przyjęcie dodatkowo temperatury granicznej $t_{gr} = 15^\circ\text{C}$ lepiej opisuje zapotrzebowanie na energię na ogrzewanie. Eliminuje bowiem z liczby stopniodni wartości obliczone dla dni

pierwszych (wrzesień) i ostatnich (czerwiec) miesięcy sezonu grzewczego oraz miesięcy poza sezonem grzewczym, w których nie ogrzewa się mieszkań.

Tabela 1. Wartości liczby stopniodni grzania $S_d(18^{\circ}\text{C})$ dla temperatury bazowej $t_b=18^{\circ}\text{C}$ i temperatury granicznej $t_{gr}=15^{\circ}\text{C}$ dla Polski obliczane wg EUROSTAT (4). Dane wg GUS

Rok	$S_d(18^{\circ}\text{C})$	$S_d(18^{\circ}\text{C})$ wieloletnia
1991	3673	3605
1992	3509	3605
1993	3703	3605
1994	3448	3605
1995	3627	3605
1996	4139	3605
1997	3693	3605
1998	3556	3605
1999	3332	3605
2000	3094	3605
2001	3580	3605
2002	3347	3605
2003	3602	3605
2004	3518	3605
2005	3547	3605

Obliczenie stopniodni grzania ze wzoru Hitchin'a

Metoda pozwala obliczyć liczbę stopniodni grzania ze zredukowanej bazy danych meteorologicznych. Prace Thom'a [11] i Erbs'a [12] w USA bazujące na analizie statystycznej rozkładów temperatury powietrza pozwoliły na obliczenie miesięcznej liczby stopniodni grzania ze średniej miesięcznej temperatury, odchylenia standardowego temperatury w miesiącu i stałej miejsca położenia. Hitchin zaproponował względnie prosty wzór do obliczenia stopniodni grzania o lepszej korelacji dla klimatu Wielkiej Brytanii niż metoda Thom'a. Ze średniej miesięcznej temperatury powietrza (**Tabela 2**) można obliczyć miesięczną liczbę stopniodni grzania dla wybranej temperatury bazowej wg wzoru Hitchin'a [1]:

$$S_d(t_b) = \frac{t_b - t_{sr}}{1 - \exp[-k(t_b - t_{sr})]} * L \quad (5)$$

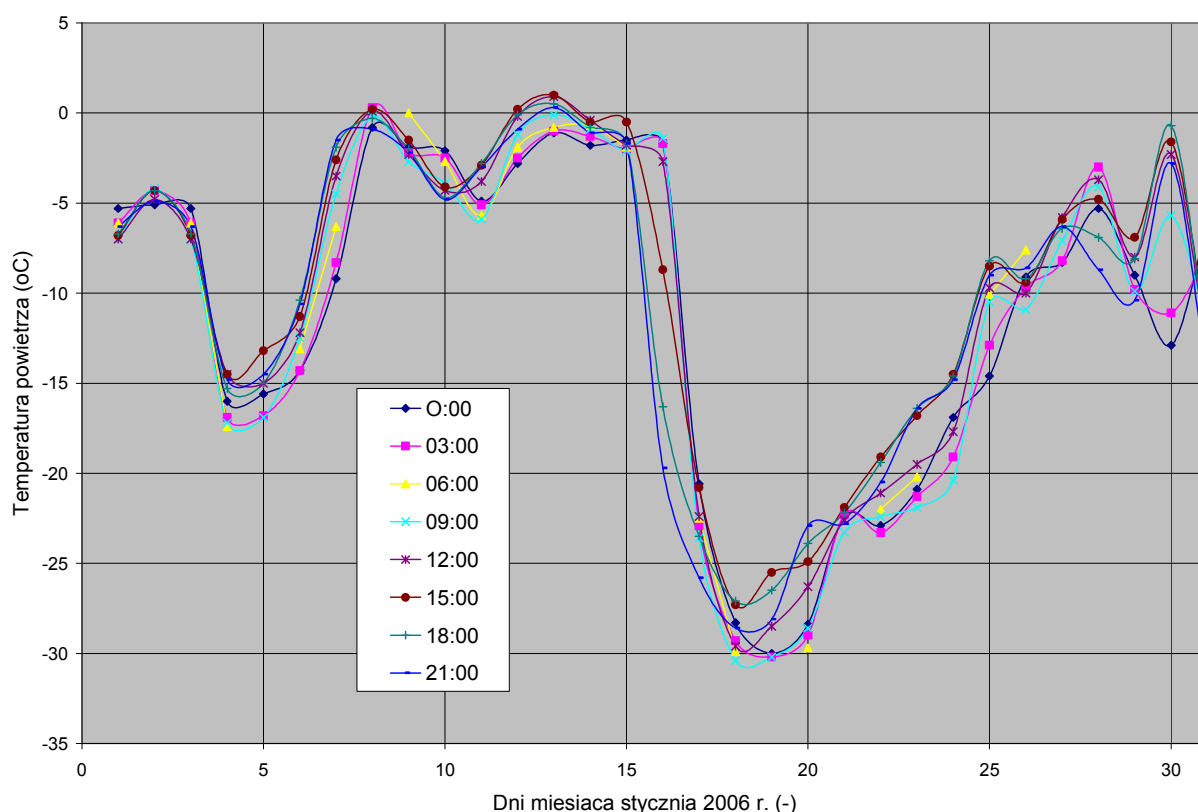
gdzie: t_b – wybrana temperatura bazowa;
 t_{sr} – średnia temperatura miesięczna;
 k – stała, przyjmowana, np. $k=0,71$ dla Wielkiej Brytanii;
 L – liczba dni w analizowanym miesiącu.

$$k = \frac{2,5}{\sigma} \quad (6)$$

gdzie: σ – odchylenie standardowe temperatury w analizowanym miesiącu.

Przykład obliczeń stopniodni grzania dla Moskwy

Przebieg dziennej temperatury powietrza mierzonej od godziny 0:00 do 21:00 co 3 godziny dla Moskwy podano na **rys. 2** dla stycznia 2006 r. Wartości estymatorów parametrów rozkładu normalnego zostały obliczone z ośmiu temperatur dziennych mierzonych od godziny 0:00 do 21:00 co 3 godziny w styczniu 2006 r. w Moskwie. Średnia temperatura powietrza w styczniu 2006 r. w Moskwie wynosiła $-10,6885^{\circ}\text{C}$ a odchylenie standardowe $8,925781^{\circ}\text{C}$ (**rys. 3**).



Rys. 2. Temperatura powietrza mierzonego co 3 godziny w Moskwie w styczniu 2006 r. (www.meteo.infospace.ru/wcarch/html). Wartość średnia temperatury $-10,6885^{\circ}\text{C}$, odchylenie standardowe $8,925781^{\circ}\text{C}$

W **tabeli 2** podano obliczenie liczby stopniodni grzania dla temperatur bazowych 12°C , 14°C , 16°C i 18°C z wzoru definicyjnego (3). Obliczona z definicji liczba stopniodni grzania wynosiła $Sd(18^{\circ}\text{C})=892,6^{\circ}\text{Cdni}$ dla temperatury bazowej 18°C . Obliczona liczba stopniodni grzania ze wzoru Hitchin'a (5, 6) wynosiła dla temperatury bazowej 18°C :

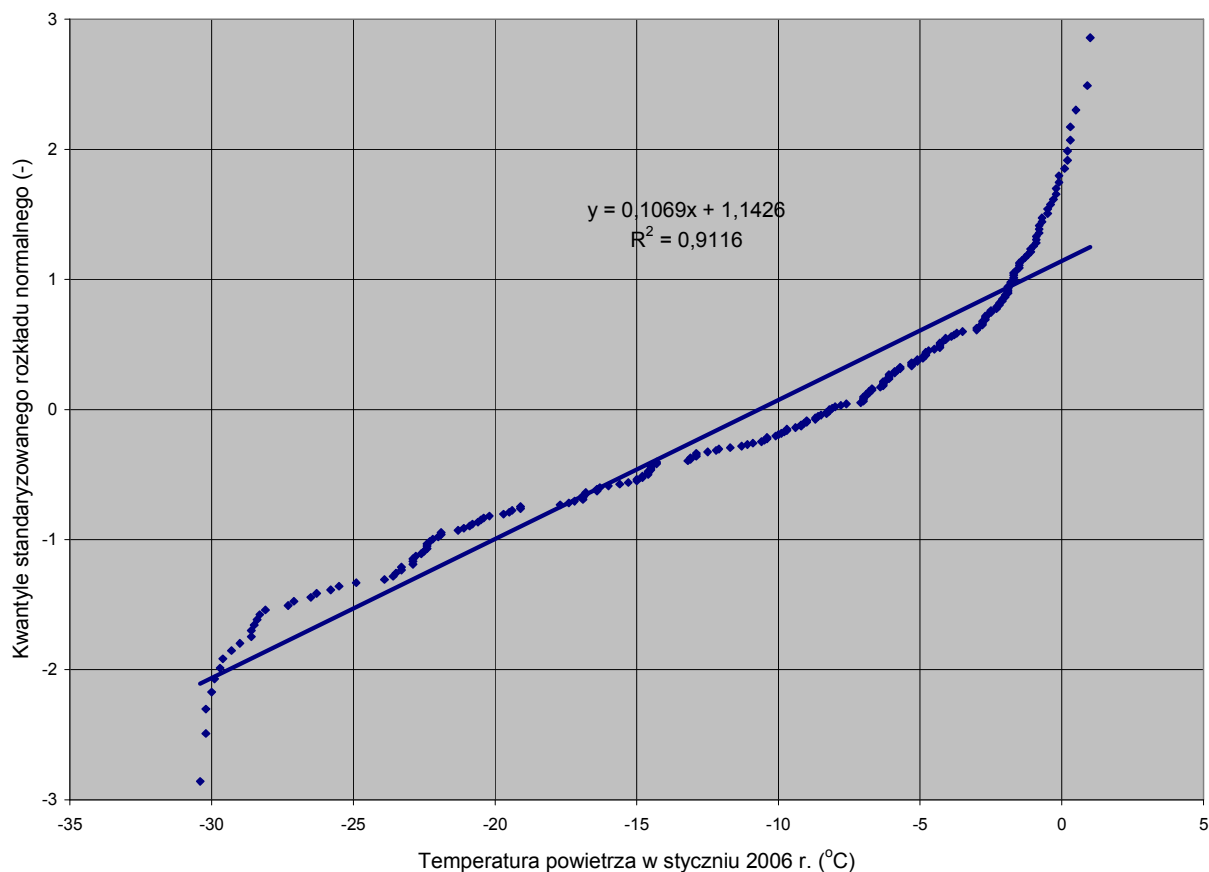
$$k = \frac{2,5}{\sigma} = \frac{2,5}{8,925781} = 0,280087535$$

$$Sd(t_b = 18^{\circ}\text{C}) = \frac{18 - (-10,6885)}{1 - \exp[-0,280087535 * (18 - (-10,6885))]} * 31 = 889,6^{\circ}\text{Cdni}$$

Obliczona ze wzoru Hitchin'a (5, 6) liczba stopniodni grzania wynosiła dla temperatury bazowej 16°C :

$$Sd(t_b = 16^\circ C) = \frac{16 - (-10,6885)}{1 - \exp[-0,280087535 * (16 - (-10,6885))]} * 31 = 827,8^\circ Cdni$$

a obliczona z definicji liczba stopniodni grzania wynosiła $Sd(16^\circ C) = 830,6^\circ Cdni$.



Rys. 3. Dystrybucja rozkładu normalnego temperatury powietrza mierzonego co 3 godziny w Moskwie w styczniu 2006 r. Wartość średnia temperatury $-10,6885^\circ C$, odchylenie standardowe $8,925781^\circ C$

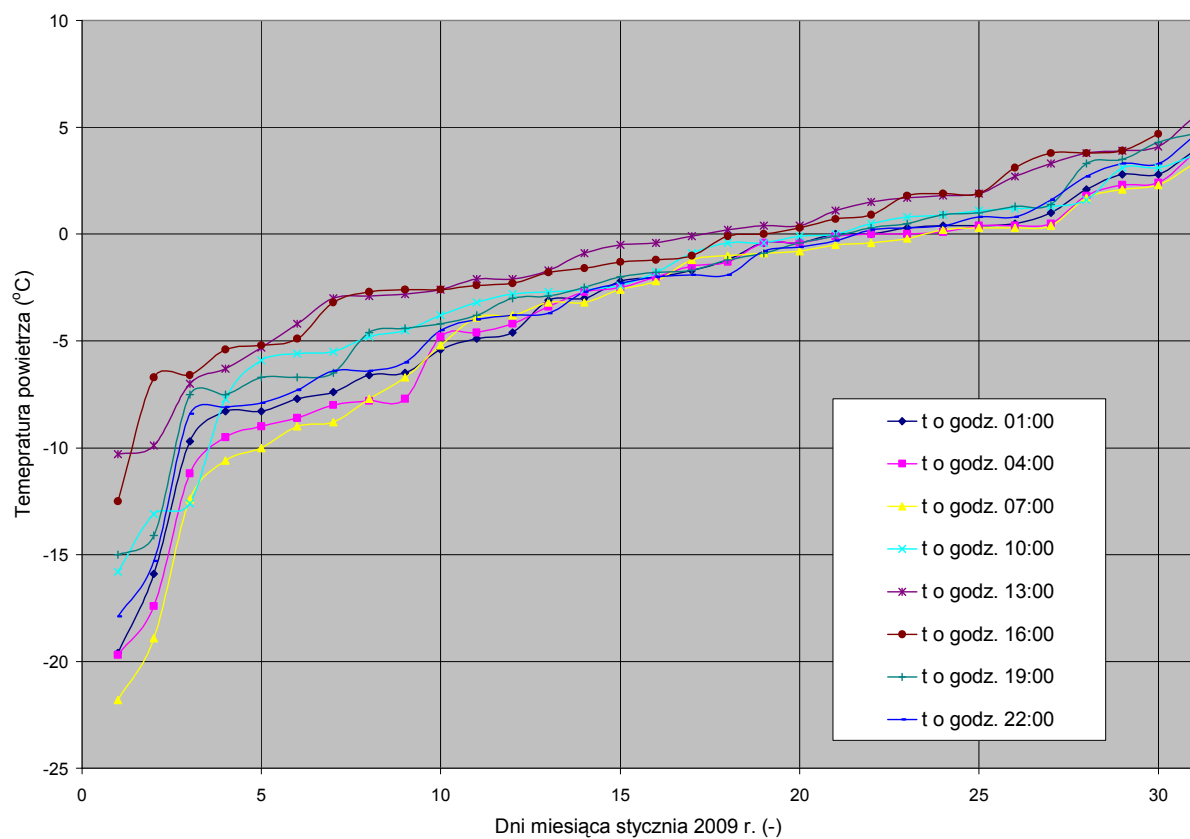
Dla temperatury bazowej $14^\circ C$ obliczona ze wzoru Hitchin'a liczba stopniodni grzania $Sd(14^\circ C)$ wynosiła $766,1^\circ Cdni$ a z wzoru definicyjnego $768,6^\circ Cdni$. Analogicznie obliczona ze wzoru Hitchin'a $Sd(12^\circ C)$ wynosi $704,6^\circ Cdni$ a z wzoru definicyjnego $706,6^\circ Cdni$. Różnice są nieistotnie małe i można wzór Hitchin'a stosować do wyznaczenia liczby stopniodni grzania ze średniej temperatury miesięcznej, pod warunkiem poprawnego wyznaczenia stałej k dla wszystkich miesięcy sezonu grzewczego dla analizowanej miejscowości.

Tabela 2. Średnia dzienna temperatura powietrza obliczona z 8-miu pomiarów dziennych poczynając od godziny 0:00 do 21:00 co 3 godziny (www.meteo.infospace.ru/wcarch/html) oraz stopniodni grzania $S_d(t_b)$ dla temperatury bazowej $t_b=18^{\circ}\text{C}$, 16°C , 14°C i 12°C dla Moskwy w styczniu 2006 r.

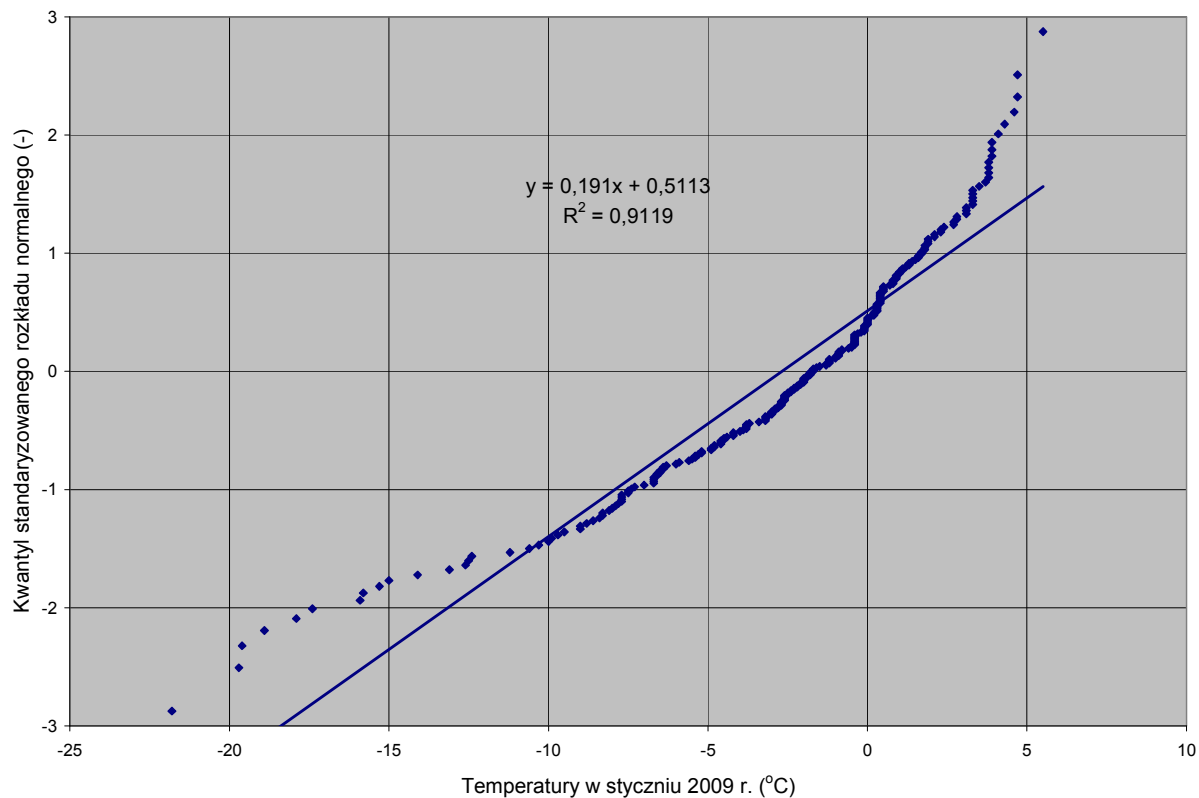
Data	Temperatura średnia	Stopniodni grzania $S_d(t_b)$			
---	t_{sr}	$t_b=18^{\circ}\text{C}$	$t_b=16^{\circ}\text{C}$	$t_b=14^{\circ}\text{C}$	$t_b=12^{\circ}\text{C}$
---	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{Cdzień}$	$^{\circ}\text{Cdzień}$	$^{\circ}\text{Cdzień}$	$^{\circ}\text{Cdzień}$
01.01.2006	-6,4	24,4	22,4	20,4	18,4
02.01.2006	-4,6	22,6	20,6	18,6	16,6
03.01.2006	-9,4	27,4	25,4	23,4	21,4
04.01.2006	-15,8	33,8	31,8	29,8	27,8
05.01.2006	-15,3	33,3	31,3	29,3	27,3
06.01.2006	-12,3	30,3	28,3	26,3	24,3
07.01.2006	-4,7	22,7	20,7	18,7	16,7
08.01.2006	-0,2	18,2	16,2	14,2	12,2
09.01.2006	-2,1	20,1	18,1	16,1	14,1
10.01.2006	-3,6	21,6	19,6	17,6	15,6
11.01.2006	-4,3	22,3	20,3	18,3	16,3
12.01.2006	-1,2	19,2	17,2	15,2	13,2
13.01.2006	0	18,0	16,0	14,0	12,0
14.01.2006	-0,9	18,9	16,9	14,9	12,9
15.01.2006	-1,6	19,6	17,6	15,6	13,6
16.01.2006	-7,5	25,5	23,5	21,5	19,5
17.01.2006	-22,8	40,8	38,8	36,8	34,8
18.01.2006	-28,8	46,8	44,8	42,8	40,8
19.01.2006	-28,4	46,4	44,4	42,4	40,4
20.01.2006	-26,7	44,7	42,7	40,7	38,7
21.01.2006	-22,5	40,5	38,5	36,5	34,5
22.01.2006	-21,2	39,2	37,2	35,2	33,2
23.01.2006	-19,4	37,4	35,4	33,4	31,4
24.01.2006	-17,3	35,3	33,3	31,3	29,3
25.01.2006	-10,5	28,5	26,5	24,5	22,5
26.01.2006	-9,6	27,6	25,6	23,6	21,6
27.01.2006	-6,9	24,9	22,9	20,9	18,9
28.01.2006	-5,2	23,2	21,2	19,2	17,2
29.01.2006	-8,9	26,9	24,9	22,9	20,9
30.01.2006	-5,3	23,3	21,3	19,3	17,3
31.01.2006	-11,2	29,2	27,2	25,2	23,2
Suma	--	892,6	830,6	768,6	706,6

Przykład obliczeń stopniodni grzania dla Warszawy-Okęcie

Przebieg dziennej temperatury powietrza mierzonej od godziny 1:00 do 22:00 co 3 godziny dla Warszawy-Okęcie (107 m npm, $52^{\circ}10'N$, $20^{\circ}58'E$) podano na rys. 4 dla stycznia 2009 r. Wartości estymatorów parametrów rozkładu normalnego zostały obliczone z ośmiu temperatur dziennych dla stycznia 2009 r. i wynosiły: wartość średnia temperatury powietrza - $2,6765^{\circ}\text{C}$ a odchylenie standardowe $4,99564^{\circ}\text{C}$ (rys. 5).



Rys. 4. Temperatury powietrza w styczniu 2009 r. w Warszawie-Okęcie mierzone co 3 godziny (meteo.infospace.ru/wcarch/html) oraz średnie temperatury dzienne t_{sr} . Średnia miesięczna temperatura w styczniu 2009 r. wynosiła $-2,6765^{\circ}\text{C}$ a odchylenie standardowe $4,99564^{\circ}\text{C}$.



Rys. 5. Dystrybuanta rozkładu normalnego temperatury powietrza mierzonej od 1:00 do

22:00 co 3 godziny w Warszawie-Okęciu w styczniu 2009 r. Wartość średnia temperatury - 2,6765°C, odchylenie standardowe 4,99564°C

Średnie temperatury dzienne (wg meteo.infospace.ru/wcarch/html), liczbę stopniodni grzania $S_d(t_b)$ dla temperatur bazowych od 12°C do 18°C oraz $S_d(18^\circ\text{C})$ i $t_{gr}=15^\circ\text{C}$ obliczone zgodnie z normami Unii Europejskiej dla Warszawy-Okęcia w styczniu 2009 r. podano w tabeli 3 i 4. Wartości $S_d(18^\circ\text{C})$ liczone wg wzoru (3) oraz wg wzoru (4) wymagań Unii Europejskiej są takie same i równe 642,159°Cdni, ponieważ w styczniu 2009 r. żadna dzienna średnia temperatura powietrza nie była wyższa od 15°C.

Tabela 3. Średnie temperatury dzienne (wg meteo.infospace.ru/wcarch/html), liczba stopniodni grzania $S_d(t_b)$ dla temperatur bazowych od 12°C do 18°C oraz $S_d(18^\circ\text{C})$ i $t_{gr}=15^\circ\text{C}$ obliczana zgodnie z normami Unii Europejskiej dla Warszawy w styczniu 2009 r.

Data	t_{sr}	Liczba stopniodni grzania $S_d(t_b)$							
		$t_b=12^\circ\text{C}$	$t_b=13^\circ\text{C}$	$t_b=14^\circ\text{C}$	$t_b=15^\circ\text{C}$	$t_b=16^\circ\text{C}$	$t_b=17^\circ\text{C}$	$t_b=18^\circ\text{C}$	$t_b=18^\circ\text{C}$ $t_{gr}=15^\circ\text{C}$
---	°C	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień
01.01.2009	-4,875	16,875	17,875	18,875	19,875	20,875	21,875	22,875	22,875
02.01.2009	-4,4875	16,4875	17,4875	18,4875	19,4875	20,4875	21,4875	22,4875	22,4875
03.01.2009	-5,4375	17,4375	18,4375	19,4375	20,4375	21,4375	22,4375	23,4375	23,4375
04.01.2009	-4,2625	16,2625	17,2625	18,2625	19,2625	20,2625	21,2625	22,2625	22,2625
05.01.2009	-12,1714	24,1714	25,1714	26,1714	27,1714	28,1714	29,1714	30,1714	30,1714
06.01.2009	-16,1125	28,1125	29,1125	30,1125	31,1125	32,1125	33,1125	34,1125	34,1125
07.01.2009	-11,9375	23,9375	24,9375	25,9375	26,9375	27,9375	28,9375	29,9375	29,9375
08.01.2009	-7,35	19,35	20,35	21,35	22,35	23,35	24,35	25,35	25,35
09.01.2009	-3,0625	15,0625	16,0625	17,0625	18,0625	19,0625	20,0625	21,0625	21,0625
10.01.2009	-0,55	12,55	13,55	14,55	15,55	16,55	17,55	18,55	18,55
11.01.2009	-1,525	13,525	14,525	15,525	16,525	17,525	18,525	19,525	19,525
12.01.2009	-5,4125	17,4125	18,4125	19,4125	20,4125	21,4125	22,4125	23,4125	23,4125
13.10.2009	-5,9125	17,9125	18,9125	19,9125	20,9125	21,9125	22,9125	23,9125	23,9125
14.01.2009	-5,0875	17,0875	18,0875	19,0875	20,0875	21,0875	22,0875	23,0875	23,0875
15.01.2009	-1,925	13,925	14,925	15,925	16,925	17,925	18,925	19,925	19,925
16.01.2009	-1,6375	13,6375	14,6375	15,6375	16,6375	17,6375	18,6375	19,6375	19,6375
17.01.2009	-3,3375	15,3375	16,3375	17,3375	18,3375	19,3375	20,3375	21,3375	21,3375
18.01.2009	-4,675	16,675	17,675	18,675	19,675	20,675	21,675	22,675	22,675
19.01.2009	-0,525	12,525	13,525	14,525	15,525	16,525	17,525	18,525	18,525
20.01.2009	1,2375	10,7625	11,7625	12,7625	13,7625	14,7625	15,7625	16,7625	16,7625
21.01.2009	3,5625	8,4375	9,4375	10,4375	11,4375	12,4375	13,4375	14,4375	14,4375
22.01.2009	1,6625	10,3375	11,3375	12,3375	13,3375	14,3375	15,3375	16,3375	16,3375
23.01.2009	2,025	9,975	10,975	11,975	12,975	13,975	14,975	15,975	15,975
24.01.2009	3,6125	8,3875	9,3875	10,3875	11,3875	12,3875	13,3875	14,3875	14,3875
25.01.2009	2,4	9,6	10,6	11,6	12,6	13,6	14,6	15,6	15,6
26.01.2009	0,825	11,175	12,175	13,175	14,175	15,175	16,175	17,175	17,175
27.01.2009	1,0125	10,9875	11,9875	12,9875	13,9875	14,9875	15,9875	16,9875	16,9875
28.01.2009	-0,125	12,125	13,125	14,125	15,125	16,125	17,125	18,125	18,125
29.01.2009	0,8	11,2	12,2	13,2	14,2	15,2	16,2	17,2	17,2
30.01.2009	0,075	11,925	12,925	13,925	14,925	15,925	16,925	17,925	17,925
31.01.2009	-0,9625	12,9625	13,9625	14,9625	15,9625	16,9625	17,9625	18,9625	18,9625
Suma	--	456,159	487,159	518,159	549,159	580,159	611,159	642,159	642,159

Tabela 4. Średnie temperatury miesięczne, miesięczna liczba stopniodni grzania $S_d(t_b)$ obliczona z definicji dla temperatur bazowych od 12°C do 18°C oraz $S_d(18^\circ\text{C})$ i $t_{gr}=15^\circ\text{C}$ obliczana zgodnie z normami Unii Europejskiej dla Warszawy dla pierwszych pięciu miesięcy sezonu grzewczego 2008/2009 r.

Data	t_{sr}	Stopniodni grzania $S_d(t_b)$							
		$t_b=12^\circ\text{C}$	$t_b=13^\circ\text{C}$	$t_b=14^\circ\text{C}$	$t_b=15^\circ\text{C}$	$t_b=16^\circ\text{C}$	$t_b=17^\circ\text{C}$	$t_b=18^\circ\text{C}$	$t_b=18^\circ\text{C}$ $t_{gr}=15^\circ\text{C}$
---	°C	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień	°Cdzień
09.2008 r.	12,75105	43,025	61,7	80,7	100,05	120,65	144,65	169,3	160,05
10.2008 r.	10,05142	66,3	93,5982	123,598	153,598	184,123	215,123	246,123	243,598
11.2008 r.	5,223849	203,1	233,1	263,1	293,1	323,1	353,1	383,1	383,1
12.2008 r.	1,278543	332,245	363,245	394,245	425,245	456,245	487,245	518,245	518,245
01.2009 r.	-2,67652	456,159	487,159	518,159	549,159	580,159	611,159	642,159	642,159

W tabelach 5-11 podano obliczone przy pomocy wzoru Hitchin'a (5) liczby stopniodni grzania dla temperatur bazowych od 12°C do 18°C dla ustalonych wartości stałej k i porównano z wartościami poprawnymi obliczonymi z wzoru definicyjnego (3). Największe różnice występują dla najmniejszych wartości $S_d(t_b)$ a więc najcieplejszych miesięcy sezonu grzewczego.

Tabela 5. Średnia miesięczna temperatura od września 2008 r. do stycznia 2009 r. dla Warszawy-Okęcia, odchylenie standardowe s , współczynnik k , liczba stopniodni grzania $S_d(12^\circ\text{C})$ obliczona dla różnych wartości współczynnika k oraz wartość poprawna $S_d(12^\circ\text{C})$ obliczona z definicji ze średniej dziennej temperatury powietrza mierzonej od godz. 1:00 do 22:00 co 3 godziny

Wielkość	Wartość wielkości				
	09.2008 r.	10.2008 r.	11.2008 r.	12.2008 r.	01.2009 r.
Średnia temperatura t_{sr} °C	12,75105	10,05142	5,223849	1,278543	-2,67652
Odchylenie stand. s °C	5,148842	3,50073	4,12351	3,232769	4,995642
$k=2,5/s$ --	0,485546	0,711414	0,606280	0,773331	0,500436
$S_d(12^\circ\text{C}), k=0,49$ °Cdni	50,6	98,2	210,9	332,4	455,0
$S_d(12^\circ\text{C}), k=0,50$ °Cdni	49,4	97,0	210,4	333,9	455,3
$S_d(12^\circ\text{C}), k=0,60$ °Cdni	39,6	87,6	206,8	332,9	455,0
$S_d(12^\circ\text{C}), k=0,71$ °Cdni	32,0	80,6	205,0	332,5	455,0
$S_d(12^\circ\text{C}), k=0,77$ °Cdni	28,8	77,7	204,4	332,5	455,0
$S_d(12^\circ\text{C})$ poprawna °Cdni	43,0	66,3	203,1	332,2	456,2

Tabela 6. Średnia miesięczna temperatura t_{sr} od września 2008 r. do stycznia 2009 r. dla Warszawy-Okęcia, odchylenie standardowe s , współczynnik k , liczba stopniodni grzania $Sd(13^{\circ}C)$ obliczona dla różnych wartości współczynnika k oraz wartość poprawna $Sd(13^{\circ}C)$ obliczona z definicji ze średniej dziennej temperatury powietrza mierzonej od godz. 1:00 do 22:00 co 3 godziny

Wielkość	Wartość wielkości				
	09.2008 r.	10.2008 r.	11.2008 r.	12.2008 r.	01.2009 r.
Średnia temperatura t_{sr} °C	12,75105	10,05142	5,223849	1,278543	-2,67652
Odchylenie stand. s °C	5,148842	3,50073	4,12351	3,232769	4,995642
$k=2,5/s$ --	0,485546	0,711414	0,606280	0,773331	0,500436
$Sd(13^{\circ}C)$, $k=0,49$ °Cdni	65,0	119,6	238,6	363,4	486,0
$Sd(13^{\circ}C)$, $k=0,50$ °Cdni	63,8	118,5	238,2	364,4	486,2
$Sd(13^{\circ}C)$, $k=0,60$ °Cdni	53,8	110,2	235,5	363,7	486,0
$Sd(13^{\circ}C)$, $k=0,71$ °Cdni	46,1	104,3	234,2	363,5	486,0
$Sd(13^{\circ}C)$, $k=0,77$ °Cdni	42,8	101,9	233,9	363,4	486,0
$Sd(13^{\circ}C)$ poprawna °Cdni	61,7	93,6	233,1	363,2	487,2

Tabela 7. Średnia miesięczna temperatura t_{sr} od września 2008 r. do stycznia 2009 r. dla Warszawy-Okęcia odchylenie standardowe s , współczynnik k , $Sd(14^{\circ}C)$ obliczona dla różnych wartości współczynnika k oraz wartość poprawna $Sd(14^{\circ}C)$ obliczona z definicji ze średniej dziennej temperatury powietrza mierzonej od godz. 1:00 do 22:00 co 3 godziny

Wielkość	Wartość wielkości				
	09.2008 r.	10.2008 r.	11.2008 r.	12.2008 r.	01.2009 r.
Średnia temperatura t_{sr} °C	12,75105	10,05142	5,223849	1,278543	-2,67652
Odchylenie stand. s °C	5,148842	3,50073	4,12351	3,232769	4,995642
$k=2,5/s$ --	0,485546	0,711414	0,606280	0,773331	0,500436
$Sd(14^{\circ}C)$, $k=0,49$ °Cdni	81,9	143,1	266,9	394,4	517,0
$Sd(14^{\circ}C)$, $k=0,50$ °Cdni	80,7	142,1	266,6	395,0	517,1
$Sd(14^{\circ}C)$, $k=0,60$ °Cdni	71,1	135,0	264,7	394,6	517,0
$Sd(14^{\circ}C)$, $k=0,71$ °Cdni	63,7	130,3	263,8	394,4	517,0
$Sd(14^{\circ}C)$, $k=0,77$ °Cdni	60,7	128,6	263,6	394,4	517,0
$Sd(14^{\circ}C)$ poprawna °Cdni	80,7	123,6	263,1	394,2	518,2

Tabela 8. Średnia miesięczna temperatura t_{sr} od września 2008 r. do stycznia 2009 r. dla Warszawy-Okęcia, odchylenie standardowe s , współczynnik k , $Sd(15^{\circ}C)$ obliczone dla różnych wartości współczynnika k oraz wartość poprawna $Sd(15^{\circ}C)$ obliczona z definicji ze średniej dziennej temperatury powietrza mierzonej od godz. 1:00 do 22:00 co 3 godziny

Wielkość	Wartość wielkości				
	09.2008 r.	10.2008 r.	11.2008 r.	12.2008 r.	01.2009 r.
Średnia temperatura t_{sr} °C	12,75105	10,05142	5,223849	1,278543	-2,67652
Odchylenie stand. s °C	5,148842	3,50073	4,12351	3,232769	4,995642
$k=2,5/s$ --	0,485546	0,711414	0,606280	0,773331	0,500436
$Sd(15^{\circ}C)$, $k=0,49$ °Cdni	101,0	168,3	295,7	425,4	548,0
$Sd(15^{\circ}C)$, $k=0,50$ °Cdni	99,9	167,5	295,5	425,8	548,1
$Sd(15^{\circ}C)$, $k=0,60$ °Cdni	91,1	161,7	294,1	425,5	548,0
$Sd(15^{\circ}C)$, $k=0,71$ °Cdni	84,6	158,1	293,6	425,4	548,0
$Sd(15^{\circ}C)$, $k=0,77$ °Cdni	82,0	156,9	293,4	425,4	548,0
$Sd(15^{\circ}C)$ poprawna °Cdni	100,1	153,6	293,1	425,2	549,2

Tabela 9. Średnia miesięczna temperatura t_{sr} od września 2008 r. do stycznia 2009 r. dla Warszawy-Okęcia, odchylenie standardowe s , współczynnik k , liczba stopniodni grzania $Sd(16^{\circ}C)$ obliczona dla różnych wartości współczynnika k oraz wartość poprawna $Sd(16^{\circ}C)$ obliczona z definicji ze średniej dziennej temperatury powietrza mierzonej od godz. 1:00 do 22:00 co 3 godziny

Wielkość	Wartość wielkości				
	09.2008 r.	10.2008 r.	11.2008 r.	12.2008 r.	01.2009 r.
Średnia temperatura t_{sr} °C	12,75105	10,05142	5,223849	1,278543	-2,67652
Odchylenie stand. s °C	5,148842	3,50073	4,12351	3,232769	4,995642
$k=2,5/s$ --	0,485546	0,711414	0,606280	0,773331	0,500436
$Sd(16^{\circ}C)$, $k=0,49$ °Cdni	122,4	195,0	324,9	456,4	579,0
$Sd(16^{\circ}C)$, $k=0,50$ °Cdni	121,4	194,3	324,8	456,7	579,0
$Sd(16^{\circ}C)$, $k=0,60$ °Cdni	113,6	189,8	323,8	456,4	579,0
$Sd(16^{\circ}C)$, $k=0,71$ °Cdni	108,2	187,1	323,4	456,4	579,0
$Sd(16^{\circ}C)$, $k=0,77$ °Cdni	106,2	186,3	323,4	456,4	579,0
$Sd(16^{\circ}C)$ poprawna °Cdni	120,1	184,1	323,1	456,2	580,2

Tabela 10. Średnia miesięczna temperatura t_{sr} od września 2008 r. do stycznia 2009 r. dla Warszawy-Okęcia, odchylenie standardowe s , współczynnik k , $Sd(17^{\circ}C)$ obliczona dla wartości współczynnika k oraz wartość poprawna $Sd(17^{\circ}C)$ obliczona z definicji ze średniej dziennej temperatury powietrza mierzonej od godz. 1:00 do 22:00 co 3 godziny

Wielkość	Wartość wielkości				
	09.2008 r.	10.2008 r.	11.2008 r.	12.2008 r.	01.2009 r.
Średnia temperatura t_{sr} °C	12,75105	10,05142	5,223849	1,278543	-2,67652
Odchylenie stand. s °C	5,148842	3,50073	4,12351	3,232769	4,995642
$k=2,5/s$ --	0,485546	0,711414	0,606280	0,773331	0,500436
$Sd(17^{\circ}C)$, $k=0,49$ °Cdni	145,6	222,8	354,4	487,4	610,0
$Sd(17^{\circ}C)$, $k=0,50$ °Cdni	144,8	222,3	354,3	487,6	610,0
$Sd(17^{\circ}C)$, $k=0,60$ °Cdni	138,3	218,8	353,6	487,4	610,0
$Sd(17^{\circ}C)$, $k=0,71$ °Cdni	134,0	217,0	353,4	487,4	610,0
$Sd(17^{\circ}C)$, $k=0,77$ °Cdni	132,5	216,4	353,3	487,4	610,0
$Sd(17^{\circ}C)$ poprawna °Cdni	144,7	215,1	353,1	487,2	611,2

Tabela 11. Średnia miesięczna temperatura t_{sr} od września 2008 r. do stycznia 2009 r. dla Warszawy-Okęcia, odchylenie standardowe, współczynnik k , $Sd(18^{\circ}C)$ obliczona dla wartości współczynnika k oraz wartość poprawna $Sd(18^{\circ}C)$ obliczona z definicji ze średniej dziennej temperatury powietrza mierzonej od godz. 1:00 do 22:00 co 3 godziny

Wielkość	Wartość wielkości				
	09.2008 r.	10.2008 r.	11.2008 r.	12.2008 r.	01.2009 r.
Średnia temperatura t_{sr} °C	12,75105	10,05142	5,223849	1,278543	-2,67652
Odchylenie stand. s °C	5,148842	3,50073	4,12351	3,232769	4,995642
$k=2,5/s$ --	0,485546	0,711414	0,606280	0,773331	0,500436
$Sd(18^{\circ}C)$, $k=0,49$ °Cdni	170,5	251,5	384,0	518,4	641,0
$Sd(18^{\circ}C)$, $k=0,50$ °Cdni	169,8	215,1	383,9	518,5	641,0
$Sd(18^{\circ}C)$, $k=0,60$ °Cdni	164,5	248,5	383,5	518,4	641,0
$Sd(18^{\circ}C)$, $k=0,71$ °Cdni	161,4	247,3	383,3	518,4	641,0
$Sd(18^{\circ}C)$, $k=0,77$ °Cdni	160,3	246,9	383,3	518,4	641,0
$Sd(18^{\circ}C)$ poprawna °Cdni	169,3	246,1	383,1	518,2	642,2

Na rys. 6 przedstawiono zależność miesięcznej liczby stopniodni grzania $Sd(t_b)$ dla Warszawy-Okęcie od temperatury bazowej. Dla miesięcy od października do stycznia ta zależność jest liniowa a dla pierwszego miesiąca sezonu grzewczego – września – wykładnicza. W tych miesiącach sezonu grzewczego, w których średnia temperatura dobowa jest zawsze niższa od temperatury bazowej z liniowej zależności $Sd(t_b)$ od t_b wynika zależność:

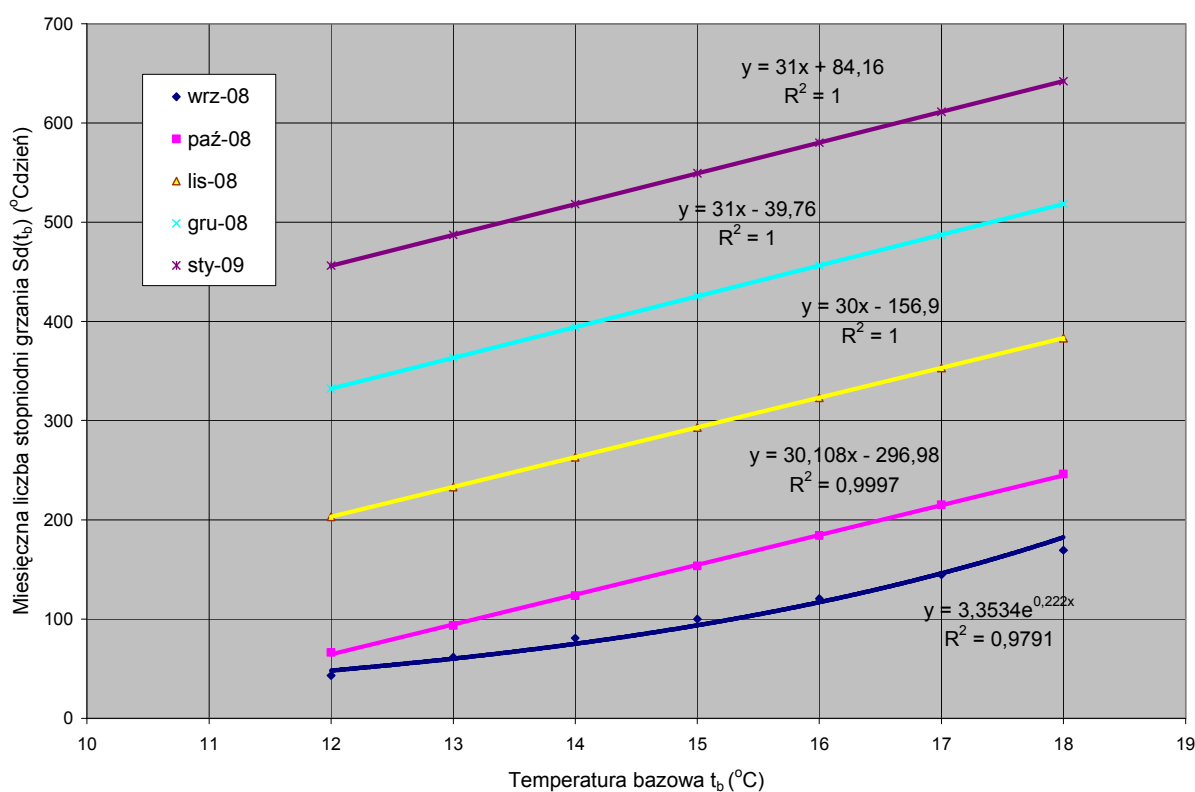
$$Sd(t_b') = Sd(t_b'') + L \cdot (t_b' - t_b'') \quad (7)$$

gdzie: t_b' , t_b'' – temperatury bazowe;

L – liczba dni w analizowanym miesiącu.

Może ona służyć do praktycznego wyznaczania liczby stopniodni grzania. Dla znanej wartości liczby stopniodni grzania $Sd(12^\circ\text{C})=456^\circ\text{Cdn}$ dla temperatury bazowej 12°C można obliczyć wartość liczby stopniodni grzania $Sd(18^\circ\text{C})$ dla temperatury bazowej 18°C . Jeżeli liczba dni w analizowanym miesiącu wynosi $L=31$ dni, to

$$Sd(18^\circ\text{C}) = Sd(12^\circ\text{C}) + 31 \cdot (18^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}) = 456^\circ\text{Cdn} + 31 \cdot 6^\circ\text{C} = 642^\circ\text{Cdn}.$$



Rys. 6. Zależność miesięcznej liczby stopniodni grzania $Sd(t_b)$ dla Warszawy-Okęcie od temperatury bazowej.

Wnioski

W Wielkiej Brytanii przyjmuje się wartość stałej k we wzorze Hitchin'a od 0,66 dla Heathrow i Birmingham, 0,7 dla Manchester, 0,74 dla Glasgow, 0,78 dla Cardiff i średnio 0,71 dla całego terytorium.

Przyjęcie dla Warszawy stałej $k=0,77$ we wzorze Hitchin'a dla miesięcy październik, listopad, grudzień i styczeń pozwala na dostatecznie dokładne obliczenie liczby stopniodni grzania dla temperatur bazowych od 12°C do 18°C . Dla cieplejszego miesiąca września nale-

ży przyjmować mniejszą wartość stałej $k=0,5$. Z przebiegu pogody w ostatnich latach (**rys. 7 i 8**) wynika, że średnia temperatura stycznia 1987 r. w Warszawie wynosiła -12°C i była zbliżona do średniej temperatury w Moskwie w styczniu 2006 r. ($-10,7^{\circ}\text{C}$). W przypadku Moskwy dla wyznaczonego $k=0,28$ obliczona z wzoru Hitchin'a liczba stopniodni grzania $S_d(18^{\circ}\text{C})$ wynosi $889,6^{\circ}\text{Cdni}$, a poprawna obliczona z definicji $892,6^{\circ}\text{Cdni}$. Jeżeli jednak założy się $k=0,77$ jak dla Warszawy, to obliczona z wzoru Hitchin'a liczba stopniodni grzania $S_d(18^{\circ}\text{C})$ wynosi $889,3^{\circ}\text{Cdni}$ i nieistotnie różni się od wartości obliczonej dla $k=0,28$.

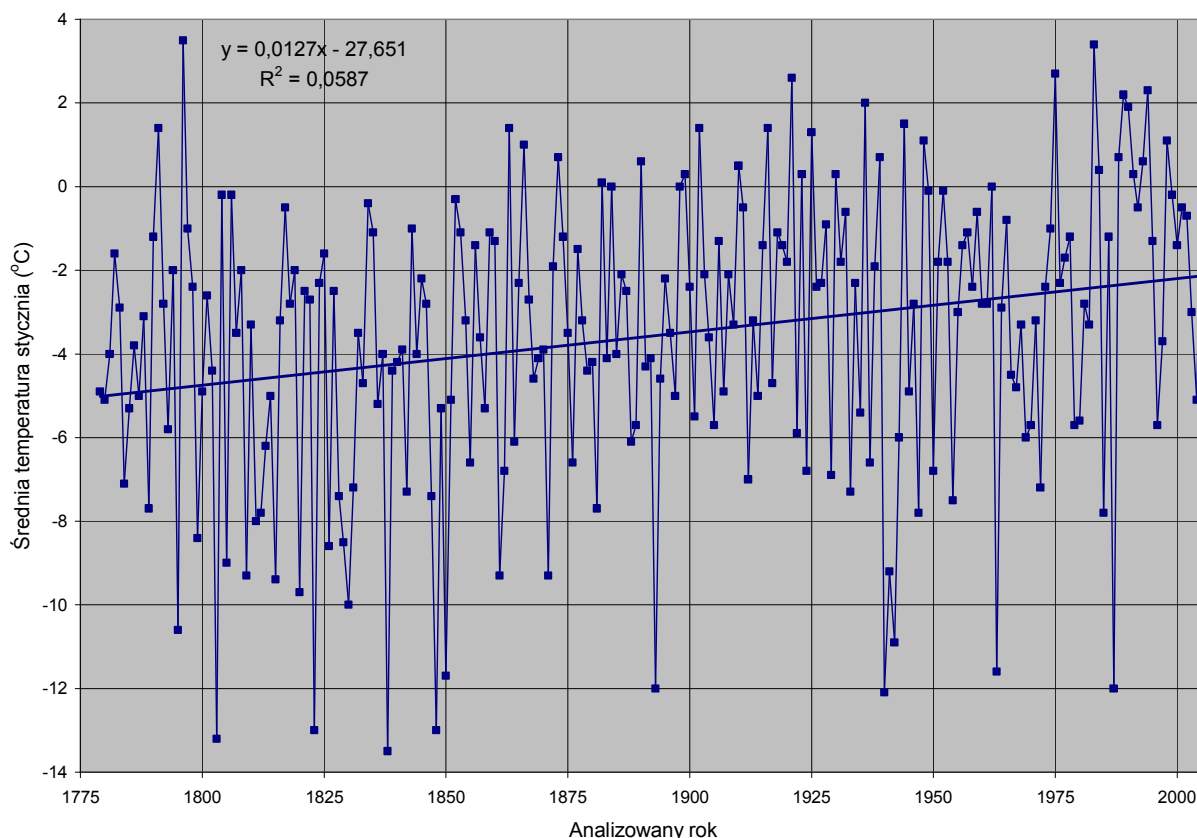


Tabela 7. Średnie temperatury stycznia dla Warszawy w latach 1779-2006 wg „serii warszawskiej 1779-2006”. Źródło: www.pogol.chilan.com/Z-12375-T-SR.htm

Stacje meteorologiczne w USA podają na stronach internetowych dzienną liczbę stopniodni grzania a U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite, Data and Information Service. National Climatic Data Center, Asheville podaje miesięczną liczbę stopniodni grzania dla wszystkich stanów ważoną liczbą zaludnienia. Podobne informacje na stronach internetowych dla wybranych miast można znaleźć dla Wielkiej Brytanii. W Polsce niestety takie dane są niedostępne.

Szersze wnioski na temat poprawności przyjęcia stałej k we wzorze Hitchin'a dla całego terytorium Polski są możliwe po analizie średnich temperatur dobowych z całego roku dla największych miast Polski. Niestety te dane nie są udostępniane przez placówki Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Liczba stopniodni grzania jest dobrym narzędziem do przewidywania popytu na dowolne paliwo przeznaczone na ogrzewanie domów mieszkalnych (**rys. 9**) i budynków komunalnych. Powinna ona być wyznaczana dla obszaru obsługiwanego przez polskich dostawców energii cieplnej i gazu ziemnego i porównywana z zużyciem energii.

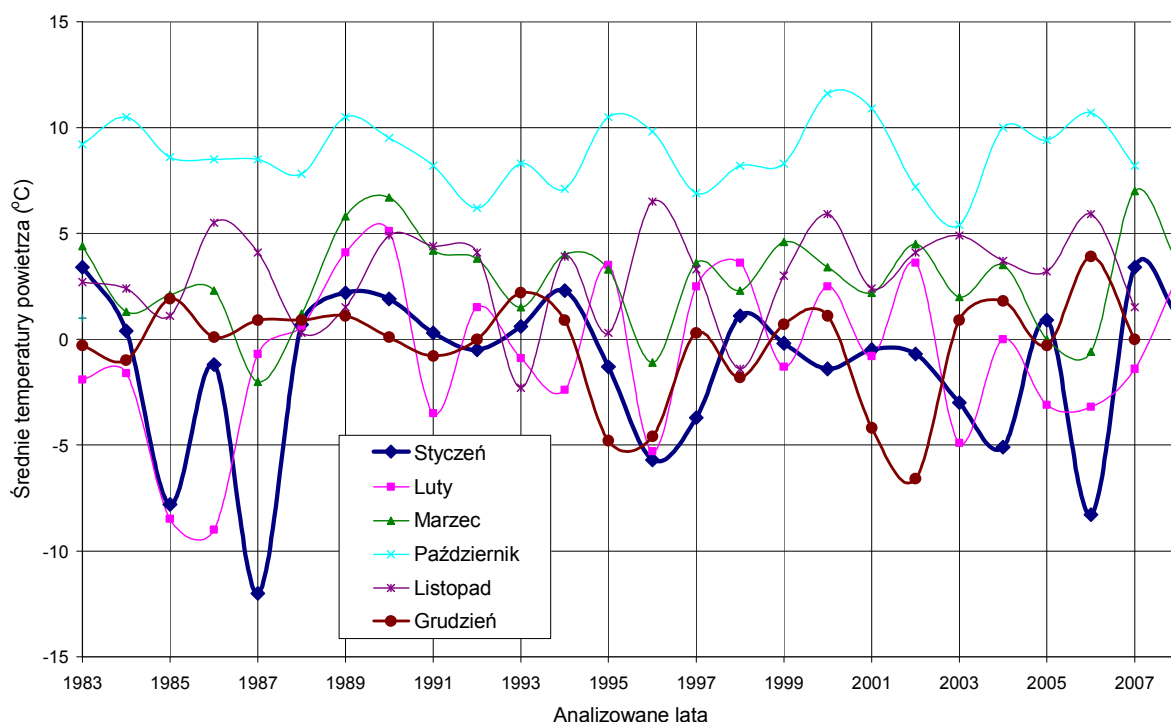
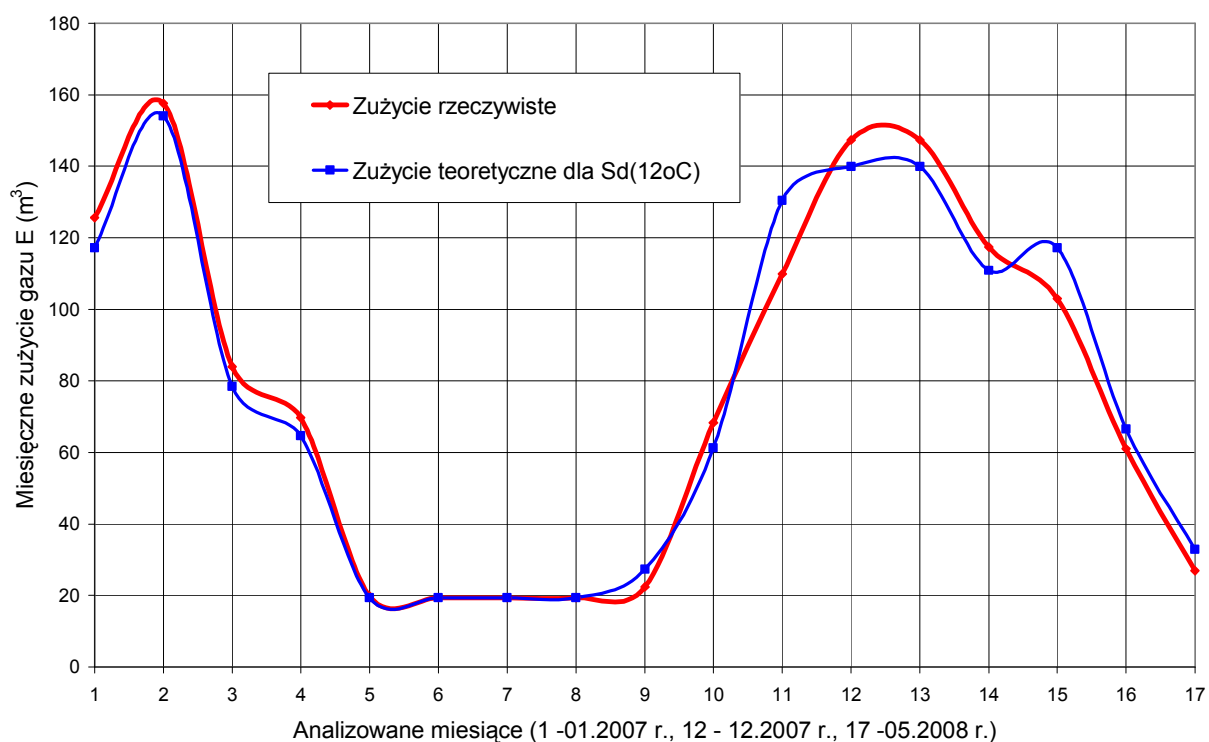


Tabela 8. Średnie temperatury miesięczne dla Warszawy wg www.pogol.chilan.com/Z-12375-T-SR.htm (seria warszawska 1779-2006) i www.imgw.pl/wl/internet/zz/pogoda/tempsred.html



Rys. 9. Rzeczywiste i teoretyczne zużycie gazu ziemnego E obliczone z miesięcznej liczby stopniogrzania $S_d(12^{\circ}\text{C})$ w okresie od stycznia 2007 r. do maja 2008 r. dla mieszkania (2 osoby) w domu wielo-mieszkaniowym zbudowanym przed II wojną światową w Tczewie o powierzchni ogrzewanej $42,5 \text{ m}^2$, z kotłem dwufunkcyjnym i kuchnią gazową pięciopalnikową

W USA wyznacza się sprzedaż gazu ziemnego oraz innych paliw na jeden stopniódzień grzania (**tabela 12**) dla odbiorców komunalnych (odbiorcy domowi i komercyjni) dla całego terytorium oraz wyznacza trendy jego zmian. Na bazie analizy tych danych prognozuje się przyszłe zużycie gazu w okresach 5-letnich z uwzględnieniem odchylenia standardowego liczby stopniódni grzania stwierdzonego w okresie wieloletnim.

Tabela 12. Sprawozdanie finansowe Piedmont Natural Gas Company, In. and Subsidiaries, Północna Karolina USA za 2004 r.

Wielkość	2004	2003	2002	2001	2000
Przychody operacyjne w tys. USD					
gospodarstwa domowe	624487	524933	358027	525650	343476
komercyjni	360355	299281	191988	299672	207087
przemysłowi	179302	112986	102127	128831	183685
wytwarzanie energii	18782	3071	2368	1316	18849
odsprzedaż	38074	1948	374	371	249
Razem	1221000	942219	654884	955840	753346
Drugie rynki sprzedaży	301886	273369	173592	145712	73505
Różne	6853	5234	3552	6304	3526
Razem	1529739	1220822	832028	1107856	830377
Sprzedana objętość gazu w mln m ³ tym:					
gospodarstwa domowe	1504,5162	1454,4965	1107,3175	1323,5993	1120,3962
komercyjni	981,1209	930,3823	71,59254	857,2192	810,5729
przemysłowi	2321,4487	1660,5200	1615,1733	1501,0046	1690,6590
wytwarzanie energii	513,7453	66,2505	47,9459	32,3234	112,8415
odsprzedaż	246,4208	17,2262	1,1337	0,8019	0,5530
Razem	5566,9753	4128,8755	3487,4957	3714,9483	3735,0225
Drugie rynki sprzedaży	1429,7217	1270,1786	1539,5493	816,9325	582,6502
Liczba odbiorców (średnia z 12 miesięcy):					
gospodarstwa domowe	771037	657965	620642	601682	577314
komercyjni	90328	75924	72323	71069	68879
przemysłowi	3194	2626	2583	2764	2696
wytwarzanie energii	13	5	3	3	3
odsprzedaż	15	4	3	3	3
Razem	864587	736524	695554	675521	648895
Średnia na odbiorcę domowego:					
zużycie gazu w m ³	1951,3	2211	1784	2197	1941
przychody w USD	809,93	797,81	576,87	873,63	594,95
przychody w USD na m ³	0,4152	0,3609	0,3233	0,3971	0,3067
stopniódni:					
aktualne °Fdzień	3331	3643	3004	3821	3097
normalne °Fdzień	3524	3529	3534	3541	3563
liczba pracowników	2120	2155	1715	1657	1603
Średnie zużycie gazu w m ³ /°Fdzień	0,585800	0,606917	0,593875	0,574980	0,626736
Średnie zużycie gazu w m ³ /°Cdzień	1,0544	1,0925	1,0690	1,0350	1,128

W **tabeli 12** podano średnie zużycie gazu ziemnego (energii) na 1 stopniodzień grzania w gospodarstwach domowych obsługiwanych przez dostawcę Piedmont Natural Gas Company, In. and Subsidiaries, Północna Karolina USA. Przeliczenie na stopniodni Celsjusza wykonał autor. Zużycie gazu (energii) na 1 stopniodzień grzania jest jeszcze jednym wskaźnikiem pozwalającym analizować trendy zmian zużycia różnych paliw spowodowane termomodernizacjami budynków, zmianą powierzchni mieszkań, poprawą sprawności kotłów, podgrzewaczy wody, kuchni i malejącą liczbą osób w gospodarstwach domowych oraz regionalnym przemieszczaniem się ludności.

Literatura

- [1] Degree-days: theory and application TM41:2006. The Chartered Institution of Building Services Engineers 222 Balham High Road, London SW129BS.
- [2] Strachey Lt-Gen. Sir Richard: Paper on the computation and quantity of heat in excess of a fixed base temperature received at any place during the course of the year to supply a standard comparison with the progress of vegetation. Quarterly Weather Report Appendix II. 1878.
- [3] Meteorological Office: The Weekly Weather Report 26th Feb, 1928. London. His Majesty's Stationery Office.
- [4] ASHVE Guide: American Society of Heating and Ventilating Engineers. New York, NY. 1933.
- [5] Dufton A. F.: Degree-days. J. Inst. Heating Ventilating Eng. 2, 83-85. 1934.
- [6] McVickers I. F. G.: The calculation and use of degree-days. J. Inst. Heating Ventilating Eng. 14, 252-299. 1946.
- [7] Billington N. S., Colthorpe K. J. and Shorter D. N.: Intermittent heating BSRIA Laboratory Report No. 26, 1964 (Bracknell: Building Services Research and Information Association)
- [8] Billington N. S.: Estimation of annual fuel consumption. J. Inst. Heating Ventilating Eng. 34, 253-256. 1966.
- [9] ASHRAE: Energy estimating and modeling methods Ch. 31 in ASHRAE Handbook: Fundamentals (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). 2001.
- [10] VDI 2067 Economic efficiency of building installations. Dusseldorf Verein Deutscher Ingenieure.
- [11] Thom H. C. S.: Normal degree-days above any base by the universal truncation coefficient. Monthly Weather Review. 1966, 94 (7) 461-466.
- [12] Erbs D. G., Klein S. A., Beckman W. A.: Estimation of degree-days and ambient temperature bin data from monthly average temperature. ASHRAE J. 1983., 25 (6) 60-65.



Józef Dopke
jozefdopke@wp.pl