The Calculation of Heating Degree Days based on Eurostat Method
Obliczanie liczby stopniodni grzania według metody Eurostat

Józef Dopke

Słowa kluczowe: stopniodni grzania, liczba stopniodni grzania, temperatura bazowa, temperatura graniczna, średnia dobowa temperatura, średnia miesięczna temperatura, średnia roczna temperatura, liczba dni grzewczych, zużycie gazu ziemnego

Streszczenie: Omówiono obliczenia stopniodni grzania według metody Eurostat-u i północno-amerykańskiej. Przedstawiono zastosowanie ich do analizy efektywności zużycia gazu ziemnego na ogrzewanie budynku wolnostojącego o powierzchni ogrzewanej 156 m^3. Średnie roczne zmienne zużycie gazu ziemnego E w wieloleciu 1980-2004 na ogrzewanie analizowanego budynku wynosi od 3734 m^3 w Finlandii, 3476 m^3 w Szwecji, 2311 m^3 w Polsce, 2288 m^3 w Austrii, 1862 m^3 w Holandii, 1599 m^3 we Francji, 1336 m^3 we Włoszech do 1190 m^3 w Hiszpanii, 835 m^3 w Portugalii, 504 m^3 na Cyprze i tylko 362 m^3 na Malcie. Roczne zużycie gazu ziemnego na ogrzewanie na Cyprze czy Malcie odpowiada zużyciu miesięcznemu w styczniu i kwietniu w Polsce tego budynku.

Zużycie gazu ziemnego na ogrzewanie na 1 m^2 powierzchni budynku nie jest obiektywnym wskaźnikiem. Ten wskaźnik zmienia się dla tego samego budynku od 23,9 m^3/rok w Finlandii, 14,8 m^3/rok w Polsce, 14,7 m^3/rok w Austrii do 7,6 m^3/rok w Hiszpanii, 5,4 m^3/rok w Portugalii, 3,2 m^3/rok na Cyprze i 2,3 m^3/rok na Malcie wskutek różnic klimatycznych krajów Unii Europejskiej.

Stopniodni grzania

Stopniodni grzania są obliczane z zaobserwowanych dziennych temperatur powierza. Metoda wymaga przyjęcia temperatury bazowej, która jest średnią temperaturą wewnątrz budynku pomniejszoną o zyski energii od wewnętrznych źródeł. Bardzo często jako temperaturę bazową t_b wybiera się 18^{o}C (65^{o}F=18,3^{o}C w USA). Jeżeli ogrzewanie od ludzi i urządzeń w domu wraz z energią od promieniowania słonecznego może podwyższyć temperaturę o 3^{o}C, to wystarczy aby przy temperaturze zewnętrznej 18^{o}C zapewnić temperaturę 21^{o}C w mieszkaniu bez ogrzewania. Jeżeli temperatura zewnętrzna powietrza jest niższa niż 18^{o}C, to wtedy ogrzewanie jest niezbędne do zapewnienia temperatury wewnętrznej 21^{o}C. Dla każdego dnia wyznacza się minimalną $t_{min}(i)$ i maksymalną $t_{max}(i)$ temperaturę dzienną powietrza zewnętrznego. Średnia temperatura dzienna $t_{śr}(i)$ jest średnią arytmetyczną z minimalnej $t_{min}(i)$ i maksymalnej $t_{max}(i)$ temperatury dziennej. Za dni grzewcze przyjmuje się dni, w których średnia dzienna temperatura zewnętrzna jest niższa niż t_b. Dla temperatury bazowej 18^{o}C i średniej dziennej temperaturze $t_{śr}(i)$=10^{o}C dzienna liczba stopniodni grzania wynosi (t_b- $t_{śr}(i)$)·1 dzień =(18 ^{o}C-10^{o}C)·1 dzień=8^{o}Cdni.

Metoda średniej dziennej temperatury powietrza

Tę metodę północno-amerykańską stosuje się, np. w USA**,** Kanadzie, Holandii i Niemczech, 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:

$$Sd(t_b)= \begin{cases} \sum_{i=1}^{n}[t_b - t_{śr}(i)]\text{.....}dla..t_{śr}(i) \le t_b \\ 0\text{.....}dla..t_{śr}(i) > t_b \end{cases} \qquad (1)$$

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

W USA jako temperaturę bazową przyjmuje się 18,3^{o}C (65^{o}F), w Kanadzie 18^{o}C. W Europie kontynentalnej najczęściej jako temperaturę bazową przyjmuje się 18^{o}C (**rys. 1**) w Hiszpanii, Holandii. W Wielkiej Brytanii przyjmuje się jako temperaturę bazową 18,5^{o}C, 15,5^{o}C i 10^{o}C a w Irlandii 18,5^{o}C, 18^{o}C, 17^{o}C, 15,5^{o}C i 15^{o}C (www.met.ie/climate/degree-day.asp), w Danii i Szwecji 17^{o}C, w Grecji 14^{o}C i Portugalii od 12^{o}C, 14^{o}C, 15^{o}C, 16^{o}C i 18^{o}C.

W metodzie przyjętej przez Eurostat stopniodni grzania Sd(t_b) dla temperatury bazowej t_b =18^{o}C i temperatury granicznej t_{gr}=15^{o}C oblicza się ze wzoru:

$$Sd(t_b;\ t_{gr})=\begin{cases}\sum_{i=1}^{n}[t_b - t_{śr}(i)] & .....dla..t_{śr}(i) \le t_{gr}\\ 0 & .....dla..t_{śr}(i) > t_{gr}\end{cases} \qquad (2)$$

gdzie: średnia dzienna temperatura powietrza równa się $t_{śr}=(t_{min}+t_{max})/2$.

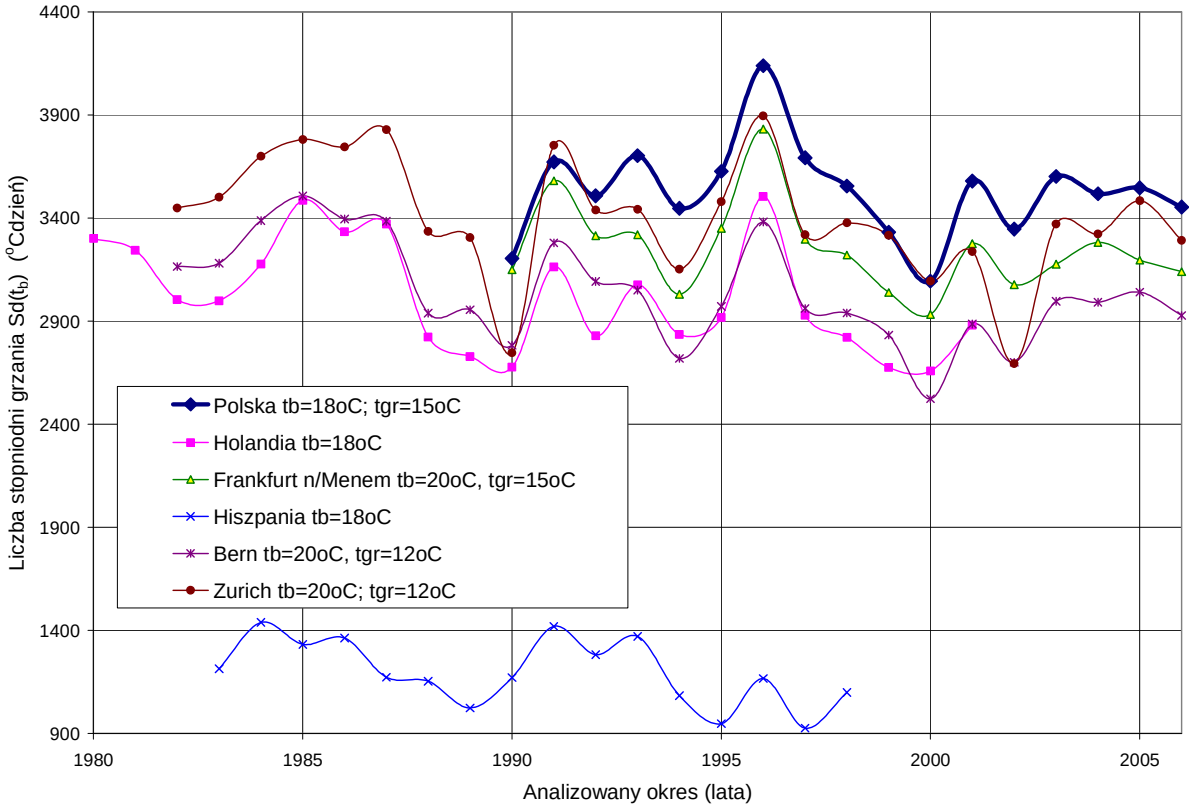
Względna liczba stopniodni grzania d_t jest zdefiniowana w Eurostat jako iloraz bieżącej rocznej liczby stopniodni grzania Sd(t_b; t_{gr}) i średniej wieloletniej liczby stopniodni grzania Sd(t_b; t_{gr})$_N$:

$$d_t = \frac{Sd(t_b;t_{gr})}{Sd(t_b;t_{gr})_N} \qquad (3)$$

Przyjęcie dodatkowo temperatury granicznej t_{gr} 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 1-3**). W Niemczech oblicza się stopniodni grzania dla t_b=20^{o}C i t_{gr}=15^{o}C a w Szwajcarii dla t_b=20^{o}C i t_{gr}=12^{o}C (**rys. 1**).

W PGNiG S. A. w latach 1987 1998 średnia zewnętrzna temperatura dzienna, przy której odbiorcy gazu rozpoczynali ogrzewanie mieszkania w Polsce wynosiła 18,5^{o}C w 1987 r. i 15,2^{o}C w 1998 r. **[2]**.

W rzeczywistości każdy użytkownik mieszkania ogrzewanego indywidualnym systemem grzewczym sam podejmuje decyzje o momencie rozpoczęcia ogrzewania domu i o utrzymywanej temperaturze wewnętrznej powietrza. Rzeczywista temperatura bazowa, od której gospodarstwa domowe rozpoczynają ogrzewanie mieszkań, waha się w USA od 12,7 do 15,8^{o}C w zależności od stanu. Zależy ona w dużym stopniu od jakości izolacji termicznej budynku, przyzwyczajeń ludzi i klimatu. Dla dobrze izolowanych domów temperatura bazowa może być niższa, np. 12^{o}C, ponieważ wewnętrzne źródła grzania przyczyniają się w większym stopniu do dziennego ogrzewania. Ostatnio przyjmowane temperatury bazowe dla nowych budynków wynoszą od 10^{o}C do 15^{o}C.



Rys. 1. Roczna liczba stopniodni grzania dla Polski Sd(18°C; 15°C) dla t_b=18°C i t_{gr}=15°C, Holandii i Hiszpanii Sd(18°C) dla t_b=18°C, Frankfurtu n. Menem dla t_b=20°C i t_{gr}=15°C oraz Zurichu i Berna dla t_b=20°C i t_{gr}=12°C

Tabela 1. Wartości liczby stopniodni grzania Sd(18°C; 15°C) dla temperatury bazowej t_b=18°C i temperatury granicznej t_{gr}=15°C dla Polski obliczanej wg Eurostat *przez Joint Research Centre oraz średnia wieloletnia Sd(18°C; 15°C) dla lat 1980-2004.*

Rok	Sd(18°C; 15°C)	Średnia wieloletnia 1980-2004 Sd(18°C; 15°C)	Względna liczba stopniodni grzania d_t
---	°Cdni	°Cdni	---
1991	3673	3605	1,01886
1992	3509	3605	0,97337
1993	3703	3605	1,02718
1994	3448	3605	0,95645
1995	3627	3605	1,00610
1996	4139	3605	1,14730
1997	3693	3605	1,02441
1998	3556	3605	0,98641
1999	3332	3605	0,92427
2000	3094	3605	0,85825
2001	3580	3605	0,99307
2002	3347	3605	0,92843
2003	3602	3605	0,99917
2004	3518	3605	0,97587
2005	3547	--	--
2006	3454	--	--
2007	3222	--	--
2008	3164	--	--

Tabela 2. Bieżące roczne liczby stopniodni grzania Sd(t_b=18^{o}C; t_{gr}=15^{o}C) oraz średnie wieloletnie stopniodni grzania dla lat 1980-2004. Źródło: Eurostat. Environment and Energy 5/2006, 13/2006, 55/20099.

Kraj	Liczba stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C) w ^{o}Cdni								
---	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008	1980-2004
Finlandia	5215	5741	5706	5658	5536	5294	5312	5336	5826
Szwecja	4932	5394	5180	5227	5268	5098	5068	5076	5423
Estonia	3906	4345	4271	4421	4306	4319	4041	3873	4420
Łotwa	3739	4157	4052	4245	4213	4184	3889	3725	4243
Litwa	3571	3935	3829	4076	4047	4014	3724	3524	4071
Polska	3094	3580	3347	3602	3518	3547	3222	3164	3605
Austria	3183	3507	3248	3474	3561	3650	3171	3252	3569
Czechy	3096	3553	3262	3455	3472	3564	3175	3204	3559
Dania	3080	3424	3130	3287	3274	3233	2988	3017	3479
Słowacja	3006	3393	3200	3458	3387	3519	3076	3023	3440
Wielka Brytania	3247	3369	3141	3084	3075	3125	2818	3043	3354
Niemcy	2797	3124	2974	3135	3186	3137	2798	2971	3244
Luksemburg	2793	3046	2843	2953	3172	3041	2738	2993	3216
Rumunia	--	--	--	--	--	--	2750	2776	--
Słowenia	2567	2856	2668	3039	3049	3188	2678	2782	3044
Węgry	2482	2814	2648	3078	2872	3030	2552	2541	2917
Irlandia	2823	2834	2739	2665	2730	2633	2552	2827	2916
Holandia	2492	2726	2602	2766	2774	2658	2424	2694	2905
Belgia	2534	2736	2552	2711	2798	2669	2437	2707	2882
Francja	2242	2385	2187	2361	2480	2457	2212	2397	2494
Bułgaria	--	--	--	--	--	--	2357	2430	--
Włochy	1959	1833	1820	1971	2010	2051	1715	1776	2085
Hiszpania	1814	1750	1629	1770	1915	1937	1789	1829	1856
Grecja	1565	1542	1519	1732	1567	1625	1489	1434	1698
Portugalia	1291	1264	1162	1261	1368	1360	1258	1299	1302
Cypr	800	586	658	728	763	644	694	640	787
Malta	462	378	425	583	500	662	332	307	564
EU-27	--	--	--	--	--	--	2943	3008	--
UE-25	3128	3340	3159	3247	3239	3174	--	--	3386
UE-15	--	--	--	3195	3201	--	--	--	3358

Tabela 3. Wartości miesięcznej liczby stopniodni grzania Sd(18°C; 15°C) dla temperatury bazowej t_b=18°C i temperatury granicznej t_{gr}=15°C obliczanej wg Eurostat *przez Joint Research Centre.*

Kraj	Rok	Miesięczna liczba stopniodni grzania Sd(18°C; 15°C) (°Cdzień)											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Finlandia	2004	869	788	676	484	323	190	21	122	237	470	661	695
	2005	714	734	823	481	341	135	28	82	252	414	496	794
	2007	817	928	558	477	318	150	46	87	296	402	632	600
	2008	714	662	717	489	350	173	84	170	323	421	595	636
Szwecja	2004	839	691	622	431	304	198	104	110	240	445	633	652
	2005	667	676	721	448	349	179	54	121	237	399	521	723
	2007	754	748	538	429	316	138	88	115	291	411	608	632
	2008	648	587	664	462	320	160	79	162	287	423	596	688
Łotwa	2004	778	618	540	347	236	115	23	26	126	334	531	538
	2005	588	674	713	359	209	86	3	17	118	318	452	645
	2007	559	746	411	376	181	31	8	31	171	331	514	530
	2008	586	481	512	315	224	76	0	23	200	286	458	564
Litwa	2004	780	596	517	328	225	102	29	16	124	298	506	527
	2005	571	656	678	326	191	78	8	24	105	305	452	620
	2007	532	700	391	350	164	21	15	33	147	320	513	538
	2008	581	469	483	291	199	42	0	17	185	278	447	553
Węgry	2004	623	469	392	180	92	5	3	0	65	159	361	522
	2005	558	574	440	190	78	25	0	3	31	187	412	533
	2007	406	362	292	156	39	0	0	0	88	222	415	572
	2008	515	400	341	181	48	0	1	0	112	154	326	462
Polska	2004	708	516	450	284	183	54	23	6	115	237	428	514
	2005	535	584	549	281	159	69	4	24	74	252	444	572
	2007	453	506	359	268	119	13	15	23	132	302	481	551
	2008	515	430	435	281	145	26	4	13	156	251	387	522
Czechy	2004	657	488	457	259	186	54	31	8	113	236	418	565
	2005	549	586	507	259	152	66	21	36	86	245	466	590
	2007	455	411	382	222	120	15	21	21	163	308	484	574
	2008	504	436	438	290	132	29	14	15	161	273	388	523
Słowacja	2004	692	525	444	238	153	16	18	7	105	217	407	564
	2005	607	604	517	245	119	53	4	15	65	241	456	594
	2007	472	420	347	228	83	4	5	4	145	284	469	615
	2008	537	457	417	247	105	8	7	4	145	225	368	504
Niemcy	2004	561	453	415	245	184	60	29	11	89	219	401	519
	2005	487	518	429	249	157	68	16	30	69	188	400	525
	2007	404	380	346	177	109	19	23	22	123	276	420	500
	2008	437	397	405	293	100	35	12	9	142	251	375	516
Włochy	2004	402	330	300	166	67	40	40	27	22	76	224	315
	2005	420	395	294	180	21	7	2	3	9	80	241	400
	2007	313	268	245	79	21	4	2	3	23	108	264	385
	2008	346	320	264	159	20	5	1	1	39	49	214	358
Hiszpania	2004	312	303	281	196	99	3	7	0	9	84	273	347
	2005	405	371	245	153	40	0	0	0	10	63	274	376
	2007	344	239	258	150	68	11	1	2	14	91	261	350
	2008	306	248	241	146	82	19	2	0	21	102	296	366
Portugalia	2004	233	217	205	130	62	0	4	0	0	57	187	273
	2005	309	284	159	95	27	0	0	0	0	24	199	263
	2007	274	187	186	108	41	3	0	0	2	26	159	272
	2008	224	167	183	101	62	2	1	0	1	53	227	279
Cypr	2004	214	191	111	19	0	0	0	0	0	60	168	168
	2005	185	189	115	28	0	0	0	0	0	24	103	103
	2007	208	160	122	34	0	0	0	0	0	0	29	141
	2008	244	199	54	11	0	0	0	0	0	0	7	126
Malta	2004	157	129	109	18	0	0	0	0	0	0	19	68
	2005	199	195	112	58	0	0	0	0	0	0	15	83
	2007	64	88	78	14	0	0	0	0	0	3	11	73
	2008	56	114	47	11	0	0	0	0	0	0	0	80

Obliczanie liczby stopniodni grzanie wg Eurostat

Jeżeli dane są dzienne średnie temperatury powietrza, liczbę stopniodni grzania Sd(18^{o}C ; 15^{o}C) wg wymagań Eurostat oblicza się z definicji **(2)**. W większości wypadków takie dane meteorologiczne nie są jednak dostępne nieodpłatnie. Najczęściej dostępne są średnie miesięczne temperatury powietrza. Można z nich obliczyć z wzoru Hitchin'a **[1, 3-5]** liczbę stopniodni grzania Sd(15^{o}C) **(rys. 2 i 3)** wg **(1)** a następnie wartość Sd(18^{o}C ; 15^{o}C).

Dla dziennej liczby stopniodni grzania zachodzi zależność:

$$Sd(t_b; t_{gr})= (t_b - t_{gr})\cdot 1\text{dzień}+Sd(t_b=t_{gr}) \quad (4)$$

Stąd dla miesięcznej liczby stopniodni grzania mamy:

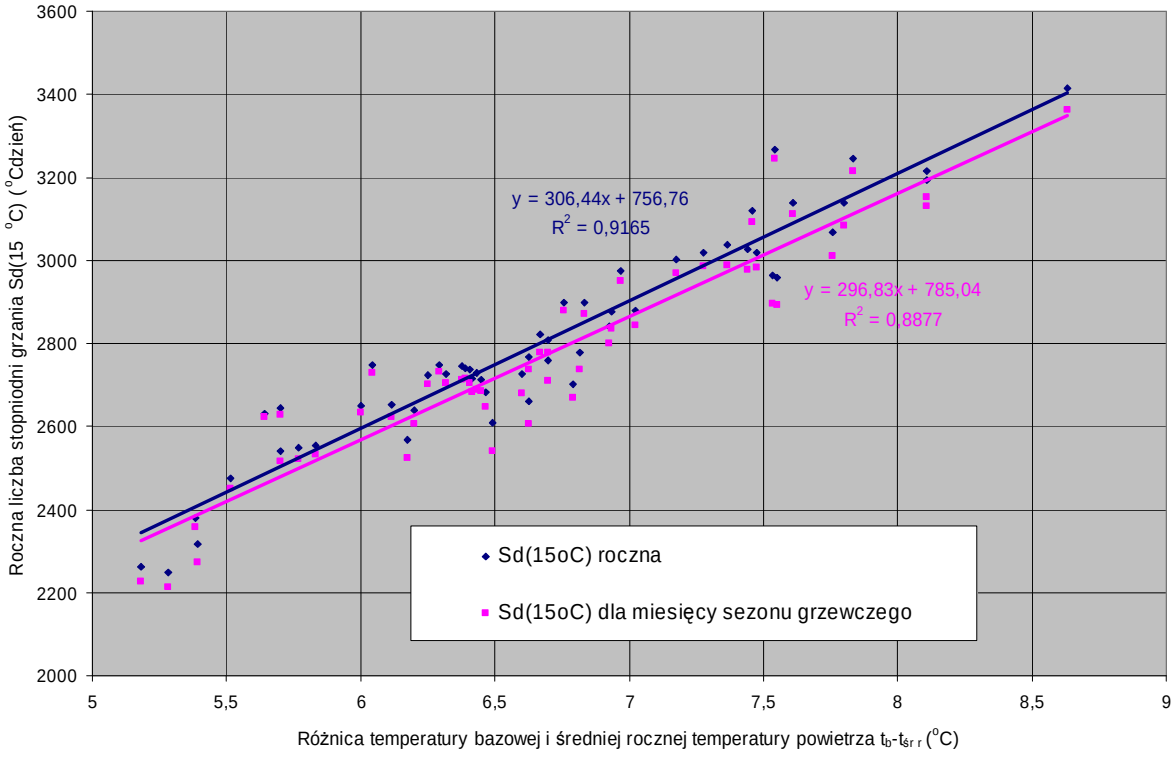
$$Sd(t_b; t_{gr})=L_m \cdot(t_b - t_{gr}) +Sd(t_b=t_{gr}) \quad (5)$$

gdzie: L_m – liczba dni grzewczych w miesiącu.

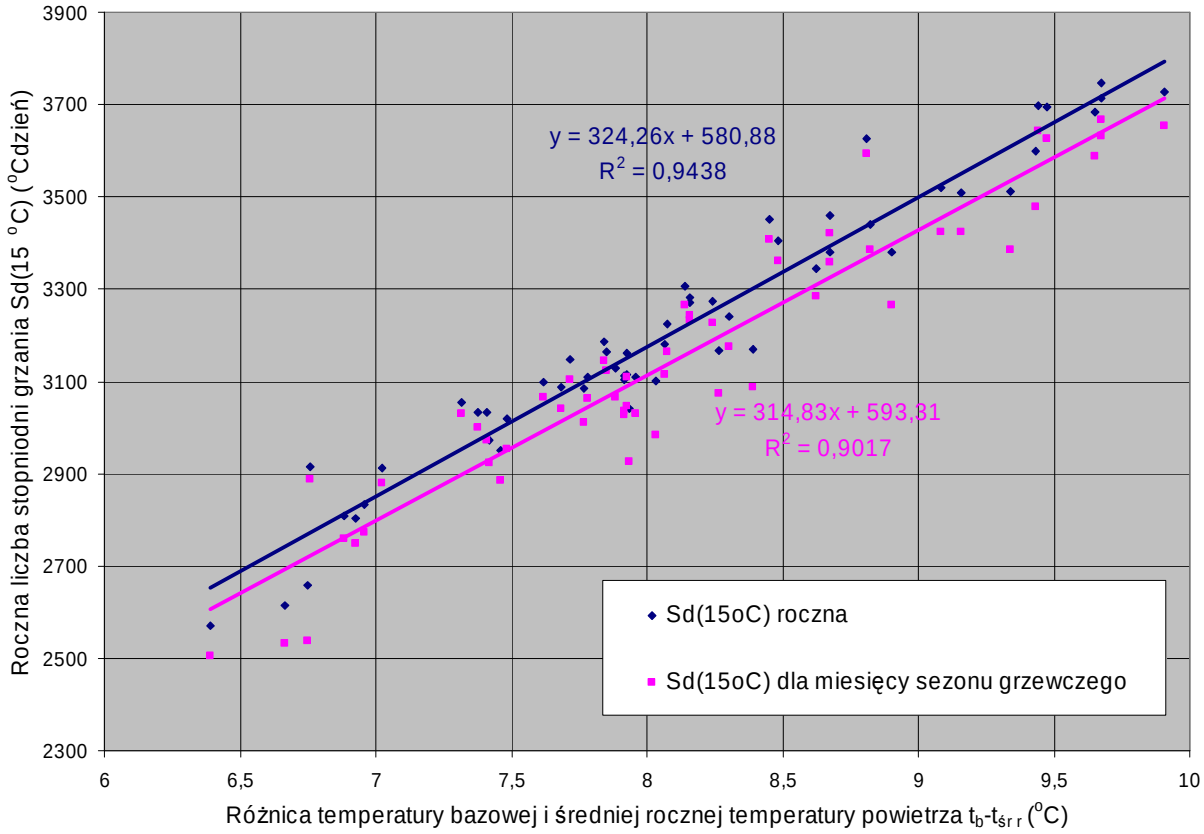
Roczną liczbę stopniodni grzania $Sd(t_b; t_{gr})$ o temperaturze bazowej t_b i granicznej t_{gr} można zatem obliczyć z liczby stopniodni grzania $Sd(t_b=t_{gr})$ o temperaturze bazowej t_b równej temperaturze granicznej t_{gr} i liczby dni grzewczych w roku L_r:

$$Sd(t_b; t_{gr})=L_r \cdot(t_b - t_{gr}) +Sd(t_b=t_{gr}) \quad (6)$$

gdzie: L_r – liczba dni grzewczych w roku.



Rys. 2. Zależność liczby stopniodni grzania Sd(15^{o}C) dla Warszawy od różnicy temperatury bazowej t_b=15^{o}C i średniej rocznej temperatury powietrza $t_{śr\,r}$ dla lat 1951-2006



Rys. 3. Zależność liczby stopniodni grzania Sd(15°C) dla Białegostoku od różnicy temperatury bazowej t_b=15°C i średniej rocznej temperatury powietrza $t_{śr\ r}$ dla lat 1951-2006

Liczba dni grzewczych dla maja i września w Polsce zależy od przebiegu pogody i zmienia się. Stąd liczba dni grzewczych w roku nie jest taka sama dla różnych lat. Dla lat o znanej liczbie dni grzewczych obliczenie w ten sposób liczby stopniodni grzania Sd(18°C ; 15°C) nie jest obarczone dużym błędem.

Przykład obliczenia liczby stopniodni grzanie metodą Eurostat-u

W **tabeli 4** podano średnie dobowe (średnia temperatura dobowa jest średnią arytmetyczną z minimalnej i maksymalnej temperatury dziennej), średnie miesięczne temperatury powietrza $t_{śr}$, odchylenia standardowe s średnich dobowych temperatur w analizowanych miesiącach w 2009 r. na internetowej stacji meteorologicznej PKN ORLEN w porcie jachtowym w Pucku,. Średnia roczna temperatura powietrza w 2009 r. wynosiła $t_{śr\ r}$=8,25°C. Średnie dobowe temperatury wyróżnione czcionką niebieską są wyższe od temperatury granicznej t_{gr}=15°C.

Tabela 4. Średnie dobowe i średnie miesięczne temperatury powietrza $t_{śr}$, odchylenia standardowe s w 2009 r. na internetowej stacji meteorologicznej PKN ORLEN w porcie jachtowym w Pucku. Średnie dobowe temperatury wyróżnione czcionką niebieską są równe lub wyższe od temperatury granicznej $t_{gr}=15^oC$. Średnia roczna temperatura $t_{śr\ r}=8{,}25^oC$.

Dzień	Średnia dobowa temperatura powietrza (^{o}C)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	-0,5	-1,6	-0,8	4	10	14,2	19	17	19,6	9,6	4,9	6
2	-1,5	-2,5	-1,4	4,2	7,5	13,5	17,6	19,5	16,4	7,3	3,1	4,4
3	-0,8	-2,5	3	7,5	11,4	8,8	19,5	19,7	18	9	1,1	2,2
4	-6,6	-1	2,5	6	10	9,6	20,1	18	17,3	13,5	1,1	3,7
5	-7,6	1,6	3,5	8	9,3	9	17,1	18,7	14,5	9,8	4	4,4
6	-5,5	2,2	2,6	7,5	9,8	8,3	17,8	18,6	15,5	11	5,8	3,3
7	-1,7	1,3	2,3	5	11	10,8	19,2	18	16	14	4,1	5
8	-3,3	2,4	2,4	9	13,5	14	15,2	18,9	17	9,5	4,5	3,5
9	1,8	1	2,6	9	12,5	11,3	15,3	19	18,5	7,5	5,3	3,7
10	2,8	-0,6	2,5	7,2	9,3	17,6	16,5	19,5	16,2	7,2	6,8	3,7
11	2,4	1	1,6	5,7	8,6	13,8	15	18	14,5	7,3	6	2,2
12	3,3	1,3	0,5	6,5	7,7	12,5	15,5	17,5	14,3	8,5	4,5	2,1
13	1,5	1,4	0,5	7,8	7,7	11,3	17	16,5	14,6	6,7	4,5	1,6
14	2,7	0,8	4,1	10	7,9	14,7	18,5	15,8	14,3	7	6,8	0,8
15	2	0	3	6,5	6,6	15	18,8	16,8	16,3	3,6	6,2	-1,9
16	0,5	-0,7	2,3	7,8	8,6	12,4	19,8	21,8	14	4	6,3	-2,3
17	-2	-0,9	3,8	6,8	9	12,5	18,4	18,5	13,9	3,5	9,2	-5,6
18	-3,5	-0,5	2,5	6	13,5	14,5	21	16,5	13	5,9	9,5	-9,75
19	0,5	-2	2	2,5	11,2	13,7	16	14,5	13	6,5	10	-14
20	1,4	-3,4	1,5	6	15	14,2	17,5	15	16,5	4,5	10	-13,9
21	0,5	-4	3,5	4,8	12,6	13,5	17	19	13,5	7,1	8,5	-12,5
22	1,8	-0,9	3,1	6,4	12	14,7	18,5	16,6	14,7	7	7,5	-5
23	1,3	1,3	3,2	6,5	11,9	15,4	22,3	15,5	15,5	8	8,7	1,3
24	3,1	1,7	0,6	6	13	15,1	18,5	15	18,4	7,6	8,5	0
25	2,3	2,1	-1,3	8,5	8,5	16,2	17	17,5	13,3	7,9	9,5	2,8
26	1,6	3,6	-1	14,3	17,5	15,8	15,5	17,5	14	9,9	8,7	2,9
27	-0,3	1,8	4,5	16,5	14	14,3	17	16,5	15	9,5	6,9	2,1
28	1,6	0,5	6,5	17,4	11	15,7	18,5	21	12,2	6,8	6	0,75
29	1	--	4,5	13,5	10,2	17,5	17,5	15	10	7,5	6,7	0,25
30	1,3	--	3	11,3	14	19,7	20,5	15	9,5	6,8	5,7	-2,3
31	-1,8	--	7	--	13,5	--	16	17	--	5,5	--	-1,5
$t_{śr}$	**-0,055**	**0,121**	**2,406**	**7,94**	**10,913**	**13,653**	**17,842**	**17,529**	**14,983**	**7,726**	**6,347**	**-0,389**
s	**2,826**	**1,891**	**1,987**	**3,527**	**2,583**	**2,672**	**1,821**	**1,827**	**2,299**	**2,439**	**2,405**	**5,516**
Max	5,7	0,6	8,6	14,3	20,5	22,3	23,5	22,9	19,6	12,1	10,1	7
Min	-17,9	-9,4	-3,9	-1	8,9	13	15,6	13,5	11,2	0,4	-0,8	-3,7

W **tabeli 5** podano średnie miesięczne temperatury powietrza $t_{śr}$ w 2009 r. na internetowej stacji meteorologicznej PKN ORLEN w porcie jachtowym w Pucku, obliczone wartości parametru k=2,5/s we wzorze Hitchin'a **(1, 2-5)** oraz obliczone miesięczne liczby stopniodni grzania Sd(t_b) przy pomocy wzoru Hitchin'a dla obliczonej stałej k. Roczna liczba stopniodni grzania obliczona wzorem Hitchin'a wynosi Sd(15^{o}C)=2668^{o}Cdni dla temperatury bazowej 15^{o}C i Sd(18^{o}C)=3587^{o}Cdni dla temperatury bazowej 18^{o}C.

Tabela 5. Średnie miesięczne temperatury powietrza $t_{śr}$ w 2009 r. na internetowej stacji meteorologicznej PKN ORLEN w porcie jachtowym w Pucku, wartości parametru k we wzorze Hitchin'a oraz obliczone miesięczne liczby stopniodni grzania Sd(t_b) przy pomocy wzoru Hitchin'a w (^{o}Cdzień)

Nazwa wielkości	Wartość wielkości												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
$t_{śr}$ (^{o}C)	-0,055	0,121	2,406	7,94	10,913	13,653	17,842	17,529	14,983	7,726	6,347	-0,389	8,25
k=2,5/s	0,885	1,322	1,258	0,709	0,968	0,936	1,373	1,369	1,087	1,025	1,039	0,453	---
Dni	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Sd(12^{o}C)	373,7	332,6	297,4	129,1	51,8	13,4	0,1	0,1	3,6	134,2	170,1	385,5	1892
Sd(13^{o}C)	404,7	360,6	328,4	156,1	74,6	23,3	0,2	0,3	7,8	164,2	199,8	416,0	2136
Sd(14^{o}C)	435,7	388,6	359,4	184,3	100,8	37,5	0,6	0,9	15,4	194,8	229,7	446,7	2395
Sd(15^{o}C)	466,7	416,6	390,4	213,2	129,2	56,4	1,8	2,5	27,8	225,6	259,6	477,5	2668
Sd(16^{o}C)	497,7	444,6	421,4	242,6	158,9	79,2	4,9	6,7	45,6	256,6	289,6	508,4	2956
Sd(17^{o}C)	528,7	472,6	452,4	272,2	189,2	105,0	12,0	15,4	68,1	287,5	319,6	539,3	3262
Sd(18^{o}C)	559,7	500,6	483,4	302,0	219,9	132,7	25,1	30,7	94,0	318,5	349,6	570,2	3587
Sd(18,3^{o}C)	569,0	509,0	492,7	311,0	229,2	141,2	30,4	36,7	102,3	327,8	358,6	579,5	3687

Miesięczne liczby stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C) obliczone wzorem **(5)** różnią się od wartości poprawnych obliczonych z definicji dla miesięcy od maja do września **(tabela 6)**. Obliczona z poprawnych miesięcznych liczb stopniodni grzania, roczna liczba stopniodni grzania jako ich suma wynosi Sd(15^{o}C)=2654^{o}Cdni a obliczona następnie z wzoru **(5)** liczba stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C)=3500^{o}Cdni. Poprawna liczba stopniodni grzania wynosi Sd(18^{o}C; 15^{o}C)=3513^{o}Cdni a błąd wyznaczenia wynosi -0,37%.

*Tabela 6. **Poprawna wartość miesięcznej liczby stopniodni grzania Sd(15^{o}C) obliczona z definicji (1)**, miesięczna liczba dni grzewczych L_m, **miesięczna liczba stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C) obliczona wg (5), poprawna wartość liczby stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C) obliczona z definicji (2)**. Dane dla 2009 r. na internetowej stacji meteorologicznej PKN ORLEN w porcie jachtowym w Pucku.*

Nazwa wielkości		Wartość wielkości												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Sd(15^{o}C)	(^{o}Cdzień)	**466,7**	**416,6**	**390,4**	**211,8**	**129,2**	**53,4**	**0**	**0,5**	**22,8**	**225,5**	**259,6**	**477,1**	**2654**
L_m	(dzień)	31	28	31	30	30	22	0	1	17	31	30	31	283
t_b-t_{gr}	(^{o}C)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
(t_b-t_{gr})*L_m	(^{o}Cdzień)	93	84	93	90	90	66	0	3	51	93	90	93	849
Sd(18^{o}C; 15^{o}C)	(^{o}Cdzień)	**559,7**	**500,6**	**483,4**	**301,8**	**219,2**	**119,4**	**0**	**3,5**	**73,8**	**318,5**	**349,6**	**570,1**	**3500**
Sd(18^{o}C; 15^{o}C)	(^{o}Cdzień)	**559,7**	**500,6**	**483,4**	**301,8**	**222,2**	**119,8**	**0**	**3,5**	**83,7**	**318,5**	**349,6**	**570,1**	**3513**

Poprawna roczna liczba stopniodni grzania obliczona z definicji wynosi Sd(15^{o}C)=2654^{o}Cdni i różni się od obliczonej wzorem Hitchin'a Sd(15^{o}C)=2668^{o}Cdni o 0,53%. W rzeczywistości przy liczeniu liczby stopniodni grzania wzorem Hitchin'a ze średnich miesięcznych temperatur, wartości stałej k są nieznane i przyjmuje się je z analizy danych historycznych. W tym przypadku błąd obliczeń liczby stopniodni grzania Sd(15^{o}C) jest większy, ale dotyczy głównie miesięcy ciepłych takich jak maj, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień, które nie mają dużego wpływu na szacowanie zużycia paliw na ogrzewanie.

W celu określenia wartości stałej k jaką należy przyjmować dla Pucka (strefa I klimatu morskiego) przeprowadzono analizę dokładności oszacowania liczby stopniodni grzania. W tym celu obliczono błąd względny procentowy zdefiniowany wzorem:

$$e = \frac{Sd(t_b)_{obl} - Sd(t_b)_p}{Sd(t_b)_p} \cdot 100\% \qquad (7)$$

gdzie: $Sd(t_b)_{obl}$ – liczba stopniodni grzania obliczona z wzoru Hitchin'a;
$Sd(t_b)_p$ – poprawna liczba stopniodni grzania obliczona z wzoru definicyjnego.

Wartości błędu względnego procentowego oszacowania miesięcznej i rocznej liczby stopniodni grzania wzorem Hitchin'a dla temperatury bazowej t_b=15^{o}C dla portu jachtowego w Pucku w 2008 r. podano w **tabeli 7**. Jeżeli pominąć miesiące, w których nie ogrzewa się mieszkań w Polsce (czerwiec, lipiec, sierpień), to błąd oszacowania miesięcznej liczby stopniodni grzania Sd(15^{o}C) waha się od -7,38% do 4,92% w maju i wrześniu dla stałej k od 0,77 do 0,95. Dla pozostałych miesięcy sezonu grzewczego błąd oszacowania waha się od 0% do 3,18% (w październiku) dla wartości stałej k od 0,77 do 1,3.

Błąd oszacowania rocznej liczby stopniodni grzania Sd(15^{o}C) waha się od -0,41% do 2,25% dla stałej k od 0,77 do 1,3.

Tabela 7. Błąd względny procentowy oszacowania miesięcznej i rocznej liczby stopniodni grzania wzorem Hitchin'a dla temperatury bazowej t_b=15^{o}C dla portu jachtowego w Pucku w 2008 r.

k	Błąd względny oszacowania w %												
---	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
0,77	**0,01**	**0,03**	**0,02**	**0,18**	4,92	57,47	249,4	4341	3,95	**3,18**	**0,08**	**0,01**	2,25
0,85	**0,00**	**0,01**	**0,01**	**0,09**	3,53	42,38	184,4	3429,	-1,73	**2,19**	**0,04**	**0,00**	1,55
0,9	**0,00**	**0,01**	**0,00**	**0,06**	2,88	34,31	150,9	2967	-4,73	**1,74**	**0,02**	**0,00**	1,19
0,95	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,04**	2,35	27,10	121,9	2572	-7,38	**1,38**	**0,02**	**0,00**	0,89
1	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,03**	1,92	20,60	96,64	2231	-9,73	**1,10**	**0,01**	**0,00**	0,62
1,15	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,01**	1,05	4,50	38,18	1461	-15,4	**0,56**	**0,00**	**0,00**	0,01
1,3	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	0,57	-7,88	-1,84	954,9	-19,6	**0,28**	**0,00**	**0,00**	-0,41

Prognozowane zużycie gazu ziemnego w budynku 156 m^2 w różnych krajach Unii Europejskiej

W wyniku analizy efektywności zużycia gazu ziemnego na ogrzewanie domu wolnostojącego o powierzchni ogrzewanej 156 m^2 z kotłem dwufunkcyjnym (5,5 osoby) i dwoma kuchniami gazowymi określono stałe roczne zużycie gazu **(tabela 8)**, które wynosiło 858 m^3/rok (156 m^3/ osobę – 5,5 osób). W przypadku założenia temperatury bazowej t_b=15^{o}C zależność miesięcznego zużycia gazu ziemnego E względem miesięcznej liczby stopniodni grzania Sd(15^{o}C) dla okresu od 01.01.2006 do 31.07.2008 r. ma postać (**rys. 4**):

$$E = 71{,}5m^3 + 0{,}8175\frac{m^3}{^oC \cdot dzień} \cdot Sd(15^oC) \qquad (8)$$

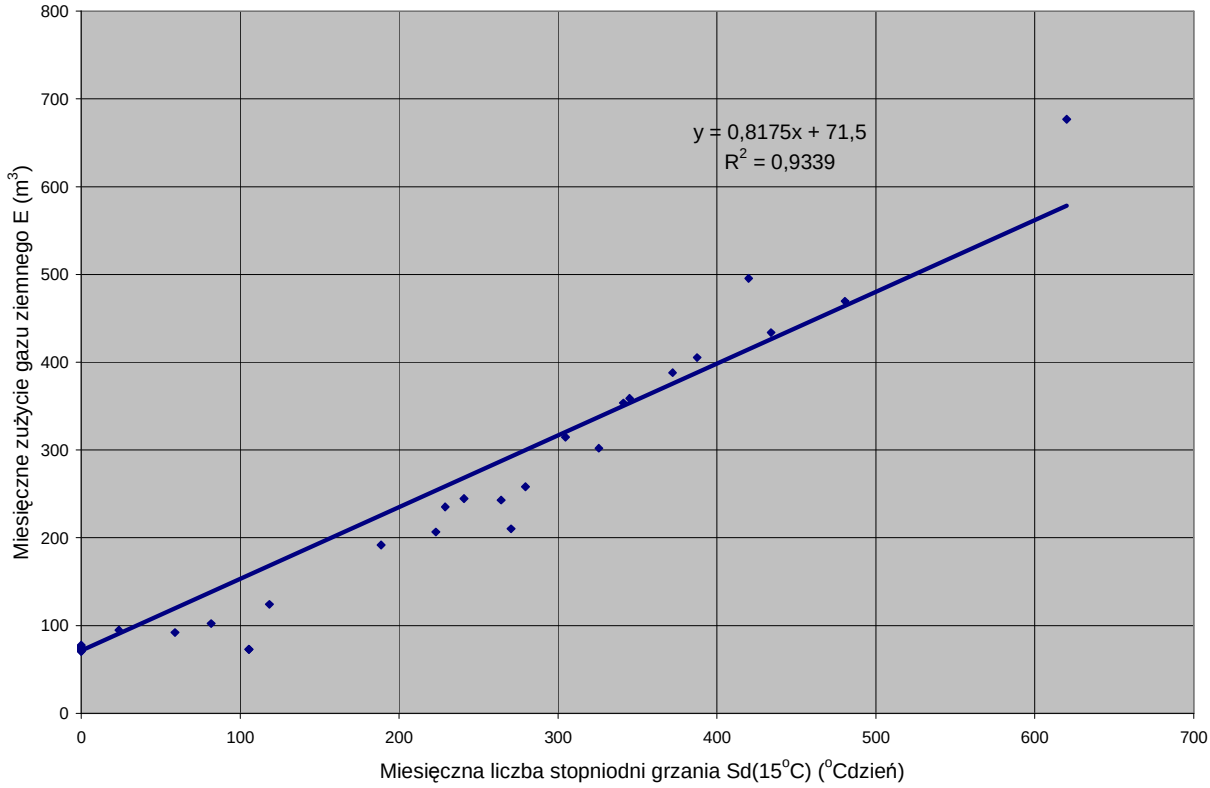
Zależność rocznego zużycia gazu ziemnego E względem rocznej liczby stopniodni grzania Sd(15^{o}C) ma postać:

$$E = 858m^3 + 0{,}8175\frac{m^3}{^oC \cdot dzień} \cdot Sd(15^oC) \qquad (9)$$

Wskaźnik efektywności zużycia gazu na ogrzewanie budynku wynosił w_g=0,00524 m^3/(^{o}Cdzień m^2) dla liczby stopniodni grzania Sd(15^{o}C).

Tabela 8. Typ domu, powierzchnia mieszkania, temperatura wewnętrzna, wyposażenie w aparaty gazowe i wskaźniki efektywności zużycia gazu ziemnego E dla liczby stopniodni grzania Sd(18,3°C) o temperaturze bazowej t_b=18,3°C. wd –wolnostojący dom, md – mieszkanie w domu wielo lokalowym, 1f – jednofunkcyjny kocioł, 2f – dwufunkcyjny kocioł, kuchnia gazowa: 4p – czteropalnikowa 5p – pięciopalnikowa, ke – kuchnia elektryczna, ppw – przepływowy podgrzewacz wody.

Wielkość	Kraków 2007 r.	Grudziądz		Tczew		Nowy Targ 2007 r.	Puck 2007 r.
		2007 r.	2007 r.	2007 r.	2007 r.		
Typ lokalu	wd	wd	md	md	wd	wd	wd
Powierzchnia mieszkania (m^2)	50	112	64,87	42,5	140	100	156
Liczba osób w gospodarstwie	bd	4	2	2	6	4	5,5
Kuchnia gazowa	ke	4p+ke	5p	5p	4p	4p	2x5p
Podgrzewacz wody	--	--	ppw	--	--	--	--
Kocioł gazowy	1f	2f	1f	2f	2f	2f	2f
Temperatura wewnętrzna (°C)	20	21	22	22	21	20	21
Zużycie stałe m^3/(osoba))	---	99	202	116	94,7	160,2	156
Wskaźnik w_g (m^3/(°Cdzień m^2))	0,0107	0,007	0,006	0,004	0,005	0,0044	0,0036
Wskaźnik w_c(m^3/(°Cdzień m^2))	--	0,008	0,008	0,006	0,006	0,0065	0,0053
Zużycie gazu na grzanie na 1 m^2 mieszkania (m^3/m^2 rok)	35,2	22,6	20,9	14,8	17,2	14,0	11,3
Zużycie gazu na grzanie na 1°Cdzień grzania (m^3/(°Cdzień)	0,5343	0,781	0,419	0,191	0,704	0,4421	0,5598



Rys. 4. Zależność miesięcznego zużycia gazu ziemnego E dla domu wolnostojącego o powierzchni ogrzewanej 156 m^2 z kotłem dwufunkcyjnym (5,5 osób) i dwoma kuchniami gazo-

wymi względem miesięcznej liczby stopniodni grzania Sd(15°C) dla temperatury bazowej 15°C dla okresu od 01.01.2006 r. do 31.07.2008 r.

W przypadku zastosowania metody Eurostat-u do obliczania liczby stopniodni grzania dla temperatury bazowej t_b=18°C i granicznej 15°C, zależność miesięcznego zużycia gazu ziemnego E względem miesięcznej liczby stopniodni grzania Sd(18°C; 15°C) dla okresu od 01.01.2006 do 31.07.2008 r. ma postać (**rys. 5**):

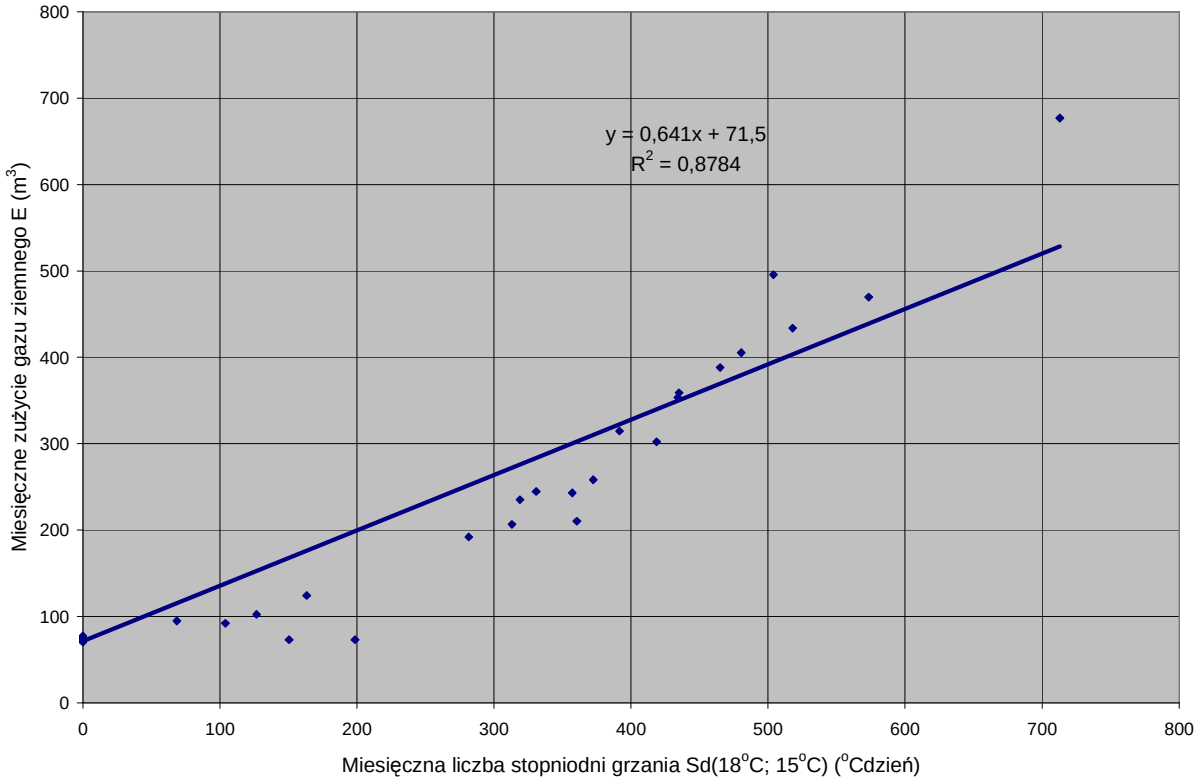
$$E = 71{,}5m^3 + 0{,}641\frac{m^3}{^oC \cdot dzień} \cdot Sd(18^oC;15^oC) \qquad (10)$$

Zależność rocznego zużycia gazu ziemnego E względem rocznej liczby stopniodni grzania Sd(18°C; 15°C) ma postać:

$$E = 858m^3 + 0{,}641\frac{m^3}{^oC \cdot dzień} \cdot Sd(18^oC;15^oC) \qquad (11)$$

Wskaźnik efektywności zużycia gazu na ogrzewanie budynku wynosił w_g=0,00411 $m^3/(^oC\text{dzień } m^2)$ dla liczby stopniodni grzania Sd(18°C;15°C).

W przypadku analizowanego budynku wolnostojącego stopniodni grzania Sd(15°C) (R^2=0,9339) lepiej opisują miesięczne zużycie gazu ziemnego niż stopniodni grzania Sd(18°C; 15°C) (R^2=0,8784) wyznaczane metodą Eurostat-u.



Rys. 5. Zależność miesięcznego zużycia gazu ziemnego E dla domu wolnostojącego o powierzchni ogrzewanej 156 m^2 z kotłem dwufunkcyjnym (5,5 osób) i dwoma kuchniami gazowymi względem miesięcznej liczby stopniodni grzania Sd(18°C; 15°C) dla temperatury bazowej 18°Ci granicznej 15°C dla okresu od 01.01.2006 r. do 31.07.2008 r.

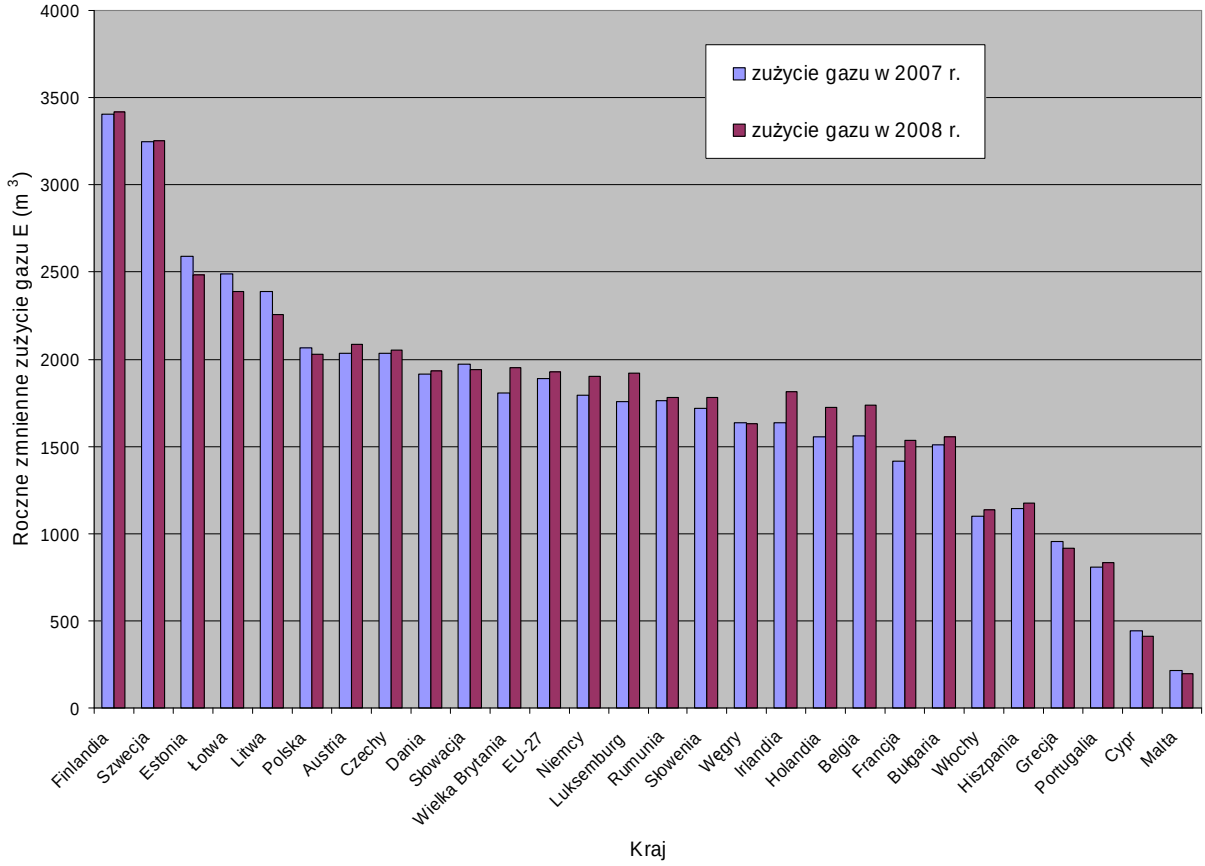
Analizowany budynek jest najbardziej efektywnym energetycznie budynkiem wolnostojącym z pośród analizowanych o wskaźniku efektywności zużycia gazu na ogrzewanie mieszkania w_g=0,0036 $m^3/(^oCdzień\ m^2)$ dla liczby stopniodni grzania Sd(18,3^{o}C). Dla przykładu średnie roczne zużycie gazu ziemnego w Austrii w 2006 r. wynosiło: 12,8 m^3 na ogrzewanie 1 m^2 mieszkania, 127 m^3 na grzanie wody (2,4 osoby w gospodarstwie domowym) i 11 m^3 na gotowanie na osobę (www.statistik.at). Średnia wieloletnia (1980-2004) liczba stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C) wynosi dla Austrii 3569^{o}Cdni a dla Polski 3605^{o}Cdni, co odpowiada wskaźnikowi około wg=0,0036 $m^3/(^oCdzień\ m^2)$.

Dalej określimy roczne zmienne zużycie gazu ziemnego E na ogrzewanie budynku wolnostojącego opisane równaniem **(11)** w różnych krajach Unii Europejskiej. Do tego użyta będzie roczna liczba stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C) podawana przez Eurostat dla 2007 r., 2008 r. i średnia wieloletnia 1980-2004 **(tabela 9, rys. 6).**

Tabela 9. Roczne zmienne zużycie gazu ziemnego na ogrzewanie budynku o powierzchni 156 m^2 i w_g= 0,0041 $m^3/(^oCdzień\ m^2)$ dla stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C) dla 2007, 2008 r. i średniej wieloletniej 1980-2004.

Kraj	Roczne zmienne zużycie gazu ziemnego na ogrzewanie			
	2007 r.	2008 r.	Średnia 1980-2004	na 1 m^2 powierzchni dla 1980-2004
---	m^3	m^3	m^3	m^3/m^2
Finlandia	3405	3420	3734	23,9
Szwecja	3249	3254	3476	22,3
Estonia	2590	2483	2833	18,2
Łotwa	2493	2388	2720	17,4
Litwa	2387	2259	2610	16,7
Polska	2065	2028	2311	14,8
Austria	2033	2085	2288	14,7
Czechy	2035	2054	2281	14,6
Dania	1915	1934	2230	14,3
Słowacja	1972	1938	2205	14,1
Wielka Brytania	1806	1951	2150	13,8
EU-27	1886	1928	---	---
Niemcy	1794	1904	2079	13,3
Luksemburg	1755	1919	2061	13,2
Rumunia	1763	1779	---	---
Słowenia	1717	1783	1951	12,5
Węgry	1636	1629	1870	12,0
Irlandia	1636	1812	1869	12,0
Holandia	1554	1727	1862	11,9
Belgia	1562	1735	1847	11,8
Francja	1418	1536	1599	10,3
Bułgaria	1511	1558	---	---
Włochy	1099	1138	1336	8,6
Hiszpania	1147	1172	1190	7,6
Grecja	954	919	1088	7,0
Portugalia	806	833	835	5,4
Cypr	445	410	504	3,2
Malta	213	197	362	2,3

Średnie roczne zmienne zużycie gazu ziemnego E w wieloleciu 1980-2004 na ogrzewanie analizowanego budynku o powierzchni 156 m^2 wynosi od 3734 m^3 w Finlandii, 3476 m^3 w Szwecji, 2311 m^3 w Polsce, 2288 m^3 w Austrii, 1862 m^3 w Holandii, 1599 m^3 we Francji, 1336 m^3 we Włoszech do 1190 m^3 w Hiszpanii, 835 m^3 w Portugalii, 504 m^3 na Cyprze i tylko 362 m^3 na Malcie.



Rys. 6. Roczne zmienne zużycie gazu ziemnego E na ogrzewanie budynku o powierzchni 156 m^2 i w_g= 0,0041 $m^3/(^oCdzień\ m^2)$ dla stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C) dla 2007, 2008 r.

Wnioski

Obliczanie liczby stopniodni grzania według metody Eurostat-u **(2)** jest bardziej skomplikowane niż dla metody północno-amerykańskiej **(1)**. Ta druga metoda ma jeszcze tę zaletę, że istnieją wzory na obliczanie wartości stopniodni grzania Sd(t_b) ze średnich miesięcznych temperatur powietrza dla założonej temperatury bazowej, co znacznie ułatwia ich stosowanie.

Roczne zmienne zużycie gazu ziemnego E w 2008 r. na ogrzewanie tego samego analizowanego budynku o powierzchni 156 m^2 wynosiło od 3420 m^3 w Finlandii, 2028 m^3 w Polsce do 1172 m^3 w Hiszpanii, 833 m^3 w Portugalii, 410 m^3 na Cyprze i tylko 197 m^3 na Malcie. Roczne zużycie gazu ziemnego na ogrzewanie na Cyprze czy Malcie odpowiada zużyciu miesięcznemu w styczniu i kwietniu w Polsce tego budynku.

Podawane w wielu publikacjach zużycie gazu ziemnego na ogrzewanie na 1 m^2 powierzchni budynku nie jest obiektywnym wskaźnikiem **[6-11]**. Ten wskaźnik zmienia się dla tego samego budynku od 23,9 m^3/rok w Finlandii, 14,8 m^3/rok w Polsce, 14,7 m^3/rok w Austrii do 7,6 m^3/rok w Hiszpanii, 5,4 m^3/rok w Portugalii, 3,2 m^3/rok na Cyprze i 2,3 m^3/rok na Malcie wskutek różnic klimatycznych krajów Unii Europejskiej.

Wskaźnik efektywności zużycia gazu ziemnego E na ogrzewanie mieszkania w_g **[6-11]** obliczony dla średniej wieloletniej (1980-2004) liczby stopniodni grzania Sd(18^{o}C; 15^{o}C) wynosi tyle samo: (23,9 m^3/rok)/(5826^{o}Cdzień)=0,0041 m^3/(^{o}Cdzień m^2) w Finlandii, (14,8 m^3/rok)/(3605^{o}Cdzień)= 0,0041 m^3/(^{o}Cdzień m^2) w Polsce, 0,0041 m^3/(^{o}Cdzień m^2) w Austrii, 0,0041 m^3/(^{o}Cdzień m^2) w Hiszpanii, 0,0041 m^3/(^{o}Cdzień m^2) w Portugalii, 0,0041 m^3/(^{o}Cdzień m^2) na Cyprze i (2,3 m^3/rok)/(564^{o}Cdzień)=0,0041 m^3/(^{o}Cdzień m^2) na Malcie pomimo różnic klimatycznych krajów Unii Europejskiej, ponieważ jest to ten sam budynek.

Literatura

[1] Degree-days: theory and application TM41:2006. The Chartered Institution of Building Services Engineers 222 Balham High Road, London SW129BS.

[2] Błaziak M., Reszczyńska M.: Dostawy gazu ziemnego do odbiorców. Magazyn Polski Gaz i Nafta. PGNiG S.A., nr 8 1998.

[3] Dopke J.: Rozrahunok micjacznoj kilkosti graduso-dniv opalennja – Calculation of monthly number of degree-days of heating. Rinok Instaliacij, Lviv, 2009 nr 11 (149).

[4] Dopke J.: Obliczanie miesięcznej liczby stopniodni grzania. WWW.cire.pl 24.03.2009 r.

[5] Dopke J.: Obliczanie miesięcznej liczby stopniodni grzania. WWW.ogrzewnictwo.pl 26.03.2009 r.

[6] Dopke J.: Wskaźniki efektywności zużycia energii w gospodarstwach domowych. WWW.cire.pl . 16.04.2008.

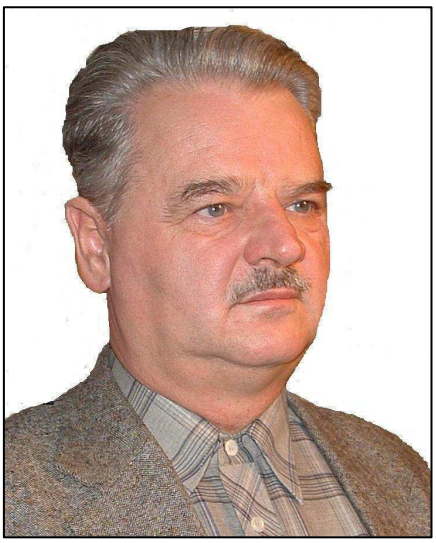
[7] Dopke J.: Wskaźniki efektywności zużycia energii w gospodarstwach domowych. WWW.systemyogrzewania.pl . 16.04.2008.

[8] Dopke J.: Wskaźniki efektywności zużycia energii w gospodarstwach domowych. WWW.ogrzewnictwo.pl . 18.04.2008.

[9] Dopke J.: Obliczanie wskaźników efektywności zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych. WWW.CIRE.pl . 11.07.2008.

[10] Dopke J.: Obliczanie wskaźników efektywności zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych. WWW.rynekgazu.pl . 11.07.2008.

[11] Dopke J.: Obliczanie wskaźników efektywności zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych. WWW.Ogrzewnictwo.pl . 14.07.2008.



Józef Dopke
jozefdopke@wp.pl

Urodził się w 1947 r. W 1971 r. ukończył wydział Budowy Maszyn na Politechnice Gdańskiej. Od 1971 do 1973 roku pracował w Instytucie Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku na stanowisku asystenta a później starszego asystenta. W tym czasie studiował zaocznie matematykę na Uniwersytecie Gdańskim.

Od 1973 do 1974 pracował w Zakładach „RADMOR" w Gdyni. Od 1974 r. do 2008 r. pracował w APATOR METRIX S. A. na stanowisku kierownika Laboratorium Zakładowego. W latach 1979-1980 ukończył roczne Studium Podyplomowe na Politechnice Warszawskiej w zakresie jakości, niezawodności i metrologii.

Opublikował 163 artykułów na temat zastosowania metod statystycznych w sterowaniu jakością, niezawodności wyrobów, statystycznego sterowania procesem produkcyjnym i gazomierzy miechowych w czasopismach polskich (132), niemieckich (3), czeskich (1), szwajcarskich (10), rosyjskich (4), angielskich (1) i ukraińskich (12).