

## Wyznaczanie temperatury bazowej budynku Józef Dopke

**Słowa kluczowe:** temperatura powietrza, średnia dobową temperatura, średnia miesięczna temperatura, stopniodni grzania, liczba stopniodni grzania, temperatura bazowa, sezon grzewczy, zużycie energii, ogrzewanie, termomodernizacja



### Streszczenie

Przedstawiono dwie metody wyznaczania temperatury bazowej budynku z historycznego zużycia energii na jego ogrzewanie oraz liczby stopniodni grzania.

### Wstęp

Najważniejszym zastosowaniem stopniodni grzania jest analiza historycznego zużycia energii na ogrzewanie istniejących budynków i prognozowanie na podstawie uzyskanych danych i liczby stopniodni grzania obliczonej z przebiegu temperatury powietrza atmosferycznego zużycia energii w następnych latach. Drugim bardzo ważnym zastosowaniem stopniodni grzania jest porównanie skutków termomodernizacji w realnie funkcjonujących budynkach, nie teoretyczną metodą obliczeniową, ale na podstawie realnie zużytej energii na ogrzewanie przed i po termomodernizacji. W wyniku termomodernizacji budynek zmienia temperaturę bazową, to jest temperaturę poniżej której rozpoczyna się ogrzewanie w celu utrzymania stałej temperatury wewnętrznej powietrza w budynku. Aby określić spadek zużycia energii na ogrzewanie w wyniku termomodernizacji należy wyznaczyć temperaturę bazową przed i po termomodernizacji.

### Zależność zużycia gazu ziemnego od liczby stopniodni grzania

Zasadnicze zastosowania gazu ziemnego lub innych paliw to ogrzewanie pomieszczeń, grzanie wody, przygotowanie posiłków, suszenie odzieży i bielizny. Zużycie energii można przedstawić w postaci modelu [1]:

$$E = b \cdot S_d(t_b) + a + e \quad (1)$$

gdzie: E - zużycie energii,

a, b - współczynniki,

$S_d(t_b)$  - funkcja liczby stopniodni w zależności od  $t_b$ ,

$t_b$  - bazowa temperatura zewnętrzna, powyżej której praca systemu grzewczego nie jest wymagana,

e – błąd metody.

Przedstawiona zależność dotyczy wszystkich paliw stosowanych w domach mieszkalnych i budynkach użyteczności publicznej. Wielkość a określa stałe zużycie energii

na grzanie wody, przygotowanie posiłków, suszenie odzieży i bielizny. Ta składowa we wzorze **(1)** nie występuje gdy rozpatruje się jedynie ogrzewanie budynku. Wielkość  $b \cdot S_d(t_b)$  jest zmiennym zużyciem energii na ogrzewanie budynków zależnym od przebiegu pogody.

W celu obliczenia strat ciepła w budynku bierze się pod uwagę takie czynniki jak:

- współczynnik przenikalności ciepła wszystkich części budynku, które są przyczyną strat ciepła (ściany, okna, drzwi itd.),
- zewnętrzną powierzchnię tych części budynku;
- różnice między wewnętrzną i zewnętrzną temperaturą powietrza budynku,
- straty wentylacji.

Ciepło grzania wymagane do utrzymania stałej temperatury wewnętrznej określa wzór:

$$q = uA(t_w - t_z) + I \quad \text{dla } t_w > t_z \quad (2)$$

gdzie:  $q$  - ciepło wymagane do utrzymania stałej temperatury wewnętrznej,  
 $u$  - całkowity współczynnik przenikania ciepła przez elementy budynku,  
 $A$  - powierzchnia elementów budynku,  
 $t_w$  - temperatura wewnętrzna powietrza,  
 $t_z$  - temperatura zewnętrzna powietrza,  
 $I$  - wewnętrzne zyski energii od ludzi, urządzeń i promieniowania słonecznego.

Bazowa temperatura  $t_b$  jest temperaturą zewnętrzną, powyżej której praca systemu grzewczego nie jest wymagana. Wstawiając warunki  $t_b = t_z$  i  $q = 0$  do **(2)** i rozwiązując względem  $t_b$  otrzymujemy

$$t_b = t_w - I/uA \quad (3)$$

Równanie **(3)** dostarcza definicji bazowej temperatury  $t_b$  jako temperatury wewnętrznej powietrza pomniejszonej o poziom wewnętrznych zysków.

Jako średnią temperaturę powietrza w mieszkaniu przyjmuje się  $20^\circ\text{C}$ , ale w wielu krajach wynosi ona nawet  $21,5^\circ\text{C}$ . W Wielkiej Brytanii zalecana temperatura wewnętrzna wynosi  $20\text{--}21^\circ\text{C}$  a stwierdzona poprzez badania  $18,9^\circ\text{C}$ . Odbiorcy gazu oszczędzali na kosztach ogrzewania mieszkań.

Ten sam budynek dla temperatury wewnętrznej powietrza  $t_w$  równej  $23^\circ\text{C}$  może mieć temperaturę bazową  $t_b = 18^\circ\text{C}$ , dla  $t_w = 20^\circ\text{C}$  – może mieć  $t_b = 15^\circ\text{C}$  lub dla  $t_w = 18^\circ\text{C}$  – może mieć  $t_b = 13^\circ\text{C}$ . Dla budynków szpitali zakłada się temperaturę bazową  $t_b$  od  $18^\circ\text{C}$  do  $19^\circ\text{C}$ , ponieważ utrzymuje się w nich wyższą temperaturę powietrza wewnętrznego niż w budynkach mieszkalnych.

W rzeczywistości każdy użytkownik mieszkania ogrzewanego indywidualnym systemem grzewczym sam podejmuje decyzje o momencie rozpoczęcia ogrzewania domu i o utrzymywanej temperaturze wewnętrznej powietrza. Według EIA, Residential Energy Consumption Survey 2003 rzeczywista temperatura bazowa, od której gospodarstwa domowe rozpoczynają ogrzewanie mieszkań, wahała się w latach 1997-2002, np. od  $12,7$  do  $15,8^\circ\text{C}$  w zależności od stanu USA. Te stany o klimacie zbliżonym do Polski mają temperaturę bazową od  $14^\circ\text{C}$  do  $15^\circ\text{C}$  (Michigan  $15,05^\circ\text{C}$ , Illinois  $14,94^\circ\text{C}$ , Ohio  $14,94^\circ\text{C}$ , Wisconsin  $14,06^\circ\text{C}$ , Nebraska  $12,94^\circ\text{C}$ ). Zależy ona w dużym stopniu od jakości izolacji termicznej budynku, przyzwyczajień ludzi i klimatu. Ostatnio przyjmowane temperatury bazowe wynoszą od  $10^\circ\text{C}$  do  $15^\circ\text{C}$ . Dla dobrze izolowa-

nych domów temperatura bazowa może być niższa, np. 12°C, ponieważ wewnętrzne źródła grzania przyczyniają się w większym stopniu do dziennego ogrzewania.

### Liczba stopniodni grzania $S_d(t_b)$

Stopniodni grzania są ilościowym wskaźnikiem określającym zapotrzebowanie na energię do ogrzewania domów mieszkalnych i budynków użyteczności publicznej. Stosuje się je do wszystkich paliw, ogrzewania elektrycznego oraz ogrzewania centralnego z kotłowni osiedlowej. Stopniodni grzania bazują na analizach gazowych systemów grzewczych domów mieszkalnych. Rezultaty tych analiz wskazały, że istnieje liniowa zależność między zużyciem gazu ziemnego na ogrzewanie i różnicą między temperaturą zewnętrzną, od której rozpoczyna się ogrzewanie i średnią temperaturą dzienną powietrza zewnętrznego. Temperatura powietrza wewnątrz budynku była średnio o 2°C do 3°C wyższa niż powietrza zewnętrznego. Jeżeli w Wielkiej Brytanii średnia temperatura powietrza w mieszkaniach wynosiła 18°C, to przyjmowano jako temperaturę bazową 15,6°C (60°F). W USA przyjmowano średnią temperaturę powietrza w mieszkaniach 20°C i wtedy przyjmowano jako temperaturę bazową 18,3°C (65°F). Obecnie w mieszkaniach znajduje się więcej wewnętrznych źródeł ciepła, jak również poprawia się izolacja zewnętrznych ścian budynków, dachów i fundamentów co powoduje, że temperatura bazowa maleje.

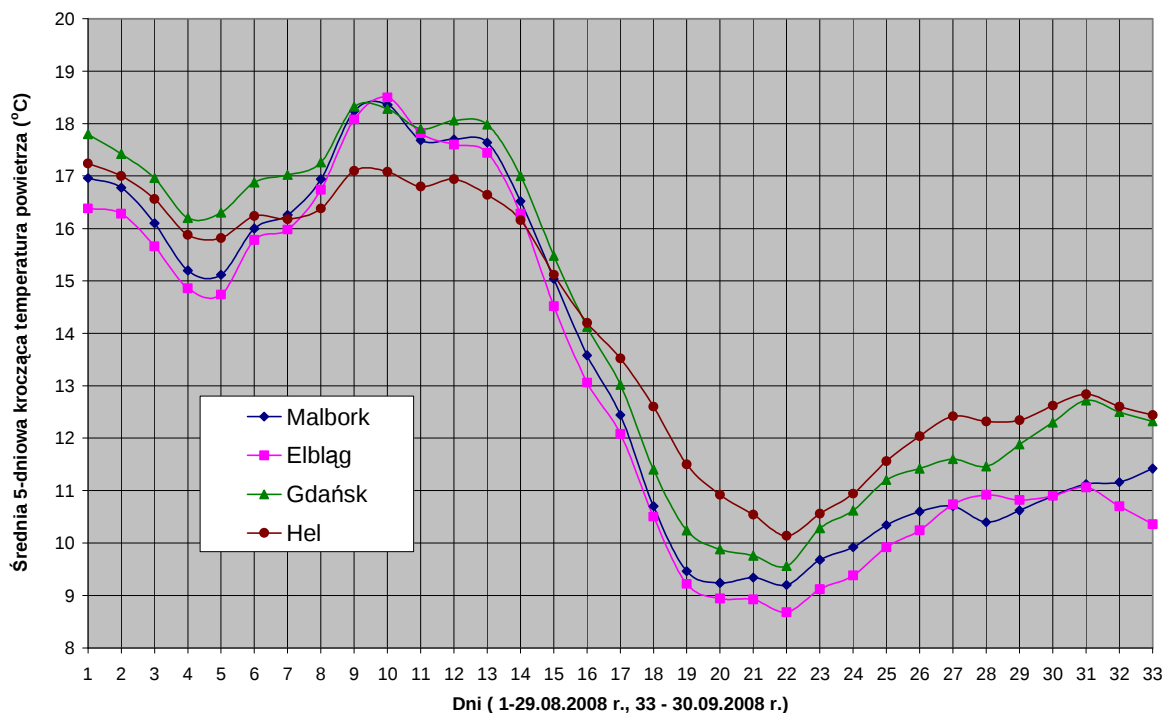
Ze średnich dziennych temperatur powietrza  $t_{sr}(i)$  oblicza się liczbę stopniodni grzania **[2]** dla analizowanych okresów z definicji:

$$S_d(t_b) = \sum_{i=1}^n [t_b - t_{sr}(i)] \dots \dots \dots \text{dla } t_{sr}(i) \leq t_b \quad (4)$$

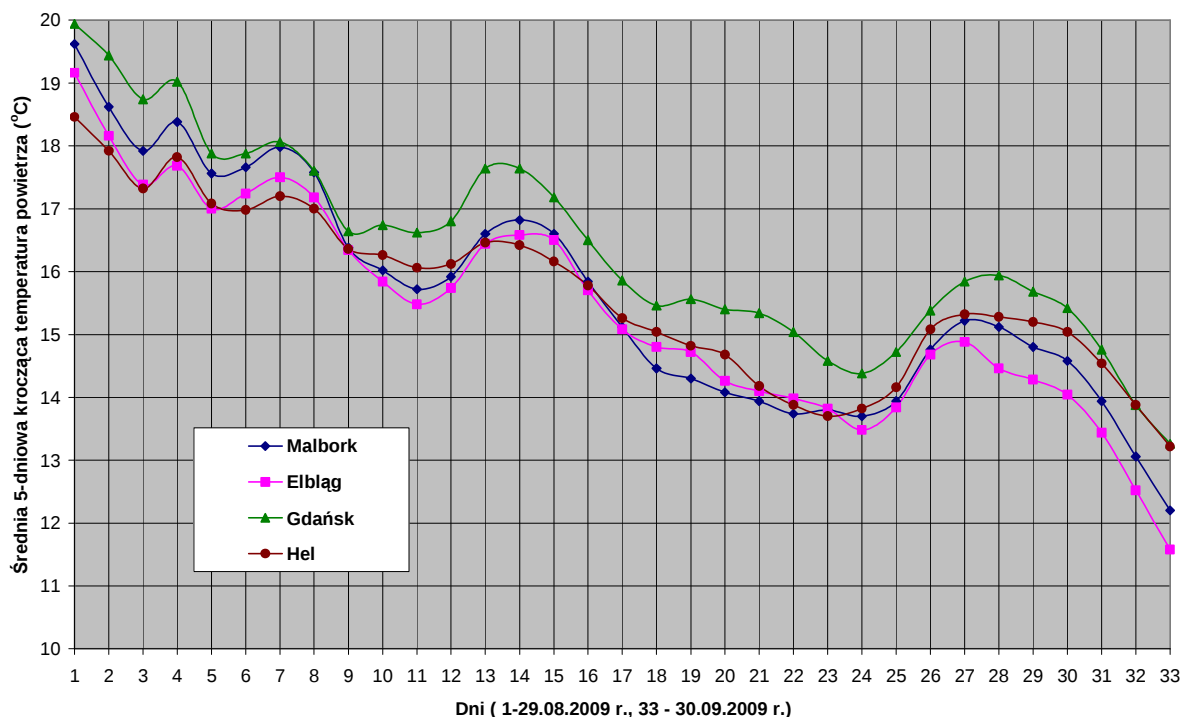
$$0 \dots \dots \dots \text{dla } t_{sr}(i) > t_b$$

Uśrednioną temperaturę bazową  $t_b$  dla obszaru dostaw gazu ziemnego można wyznaczyć z zależności między zużyciem gazu przez odbiorców komunalnych a temperaturą zewnętrzną powietrza. Dla obszaru obsługiwanego Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S. A. **[3]** wynosiła ona 18,5°C w 1987 r. i 15,2°C w 1998 r.

Na obszarze RFN przed zjednoczeniem, średnia temperatura bazowa budynków ogrzewanych gazem wynosiła 16°C **[4]**. W Polsce duże osiedla domów wielopiętrowych ocieplonych styropianem o grubości 100 mm i ogrzewanych osiedlowymi ciepłowniami rozpoczynają ogrzewanie przy kilkudniowej średniej kroczącej średniej dobowej temperaturze powietrza zewnętrznego  $t_b=15^\circ\text{C}$ . Na **rys. 1 i 2** przedstawiono przebieg pięciodniowej średniej kroczącej temperatury powietrza dla początkowych dni sezonów grzewczych 2008/2009 r. i 2009/2010 r. W Malborku sezon grzewczy 2008/2009 r. według pięciodniowej średniej kroczącej temperatury powietrza zewnętrznego powinien się rozpocząć dla budynków o temperaturze bazowej  $t_b=15^\circ\text{C}$  13 września 2008 r. a w Elblągu 14 września 2009 r. Podobnie w sezonie grzewczym 2009/2010 r. pierwszym dniem grzewczym w Malborku powinien być 15 września 2009 r. a w Gdańsku 20 września 2009 r. Najbliższym miastem Tczewie w obu latach rozpoczęto ogrzewanie 15 września.



**Rys. 1. Pięciodniowa średnia krocząca średniej dobowej temperatury powietrza [5] w okresie od 29.08.2008 r. do 30.09.2008 r. dla wybranych pomorskich miast**



**Rys. 2. Pięciodniowa średnia krocząca średniej dobowej temperatury powietrza [5] w okresie od 29.08.2009 r. do 30.09.2009 r. dla wybranych pomorskich miast**

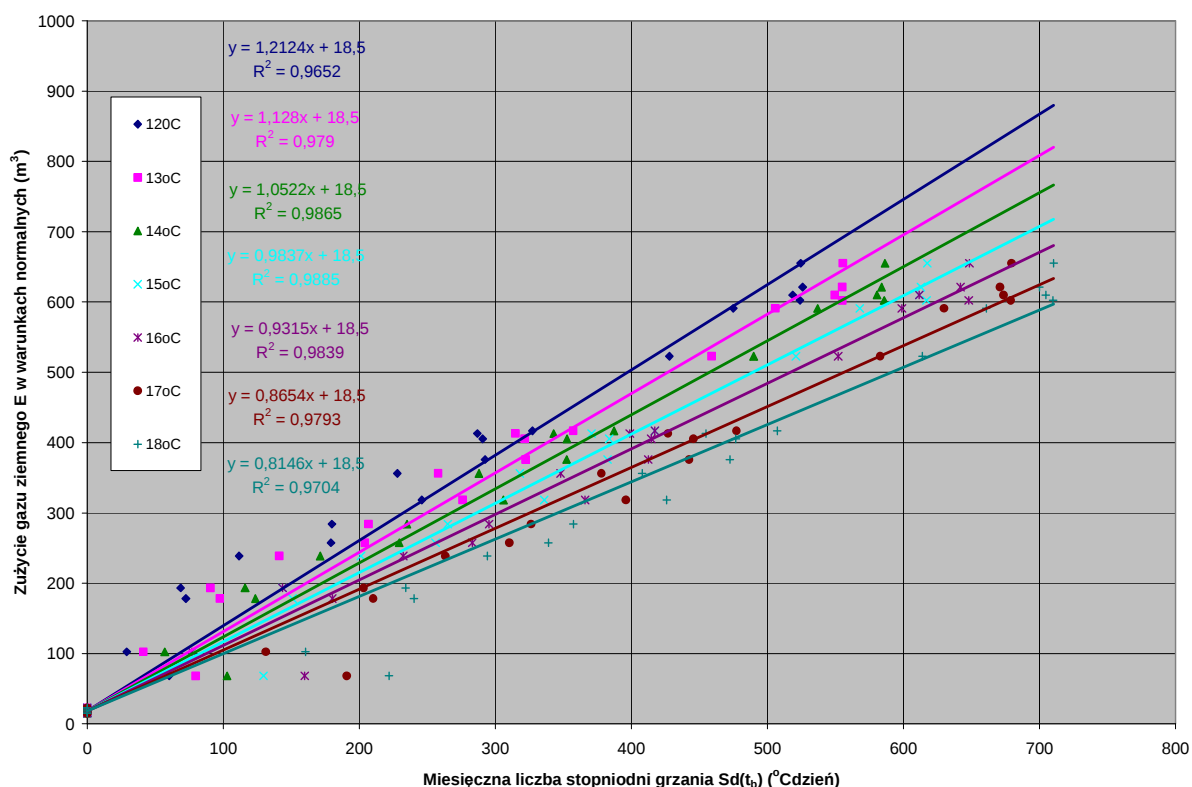
**Metoda 1. Wyznaczanie temperatury bazowej z prostej regresji zużycia gazu ziemnego E na ogrzewanie budynku względem liczby stopniogrzania  $S_d(t_b)$**

W powyższej analizie posłużono się wynikami badań wpływu warunków otoczenia gazomierza miechowego na rozliczeniową objętość gazu przeprowadzonymi przez IGNiG Kraków [6, 7], ponieważ całkowite miesięczne zużycie gazu było bardzo dokładnie mierzone gazomierzami o znanej charakterystyce metrologicznej i przeliczone na warunki normalne 101325 Pa, 273,15K (20°C) [8, 9].

Dla okresu od 01.07.1995 r. do 01.04.1997 r. oraz dla października i listopada 1997 r. wyznaczono miesięczną liczbę stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  [10] dla temperatury bazowej od 12°C do 18°C co 1°C z definicji. Następnie wyznaczono proste regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego E względem miesięcznej liczby stopniodni grzania (**rys. 3**). Dla prostej regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego względem liczby stopniodni grzania o temperaturze bazowej  $t_b=15^\circ\text{C}$  współczynnik korelacji  $r=0,9942$  ma największą wartość (**tabela 1**):

$$E = 0,9837[\text{m}^3/(\text{°C} \cdot \text{dzień miesiąc})] \cdot S_d(15^\circ\text{C}) + 18,5 \text{ m}^3/\text{miesiąc} \quad (5)$$

Oszacowane wartości parametrów wynoszą  $a=18,5 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$  i  $b=0,9837 \text{ m}^3/(\text{°C} \cdot \text{dzień miesiąc})$ . Stałe miesięczne zużycie gazu wynosi  $18,5 \text{ m}^3$  a roczne  $222 \text{ m}^3$ .



**Rys. 3. Proste regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego E (w warunkach normalnych 101325 Pa, 273,15K) względem miesięcznej liczby stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  dla temperatury bazowej od 12°C do 18°C dla budynku w Gdańsku**

**Tabela 1. Parametry a i b wg (1) prostej regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego względem miesięcznej liczby stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  dla temperatur bazowych  $t_b$  od 12°C do 18°C dla budynku w Gdańsku. R - współczynnik korelacji,**

| $t_b$ | b                                            | a                    | R      |
|-------|----------------------------------------------|----------------------|--------|
| °C    | $m^3/(^{\circ}C \cdot \text{dzień miesiąc})$ | $m^3/\text{miesiąc}$ | --     |
| 12    | 1,2124                                       | 18,5                 | 0,9824 |
| 13    | 1,1280                                       | 18,5                 | 0,9894 |
| 14    | 1,0522                                       | 18,5                 | 0,9932 |
| 15    | 0,9837                                       | 18,5                 | 0,9942 |
| 16    | 0,9315                                       | 18,5                 | 0,9918 |
| 17    | 0,8654                                       | 18,5                 | 0,9896 |
| 18    | 0,8146                                       | 18,5                 | 0,9851 |

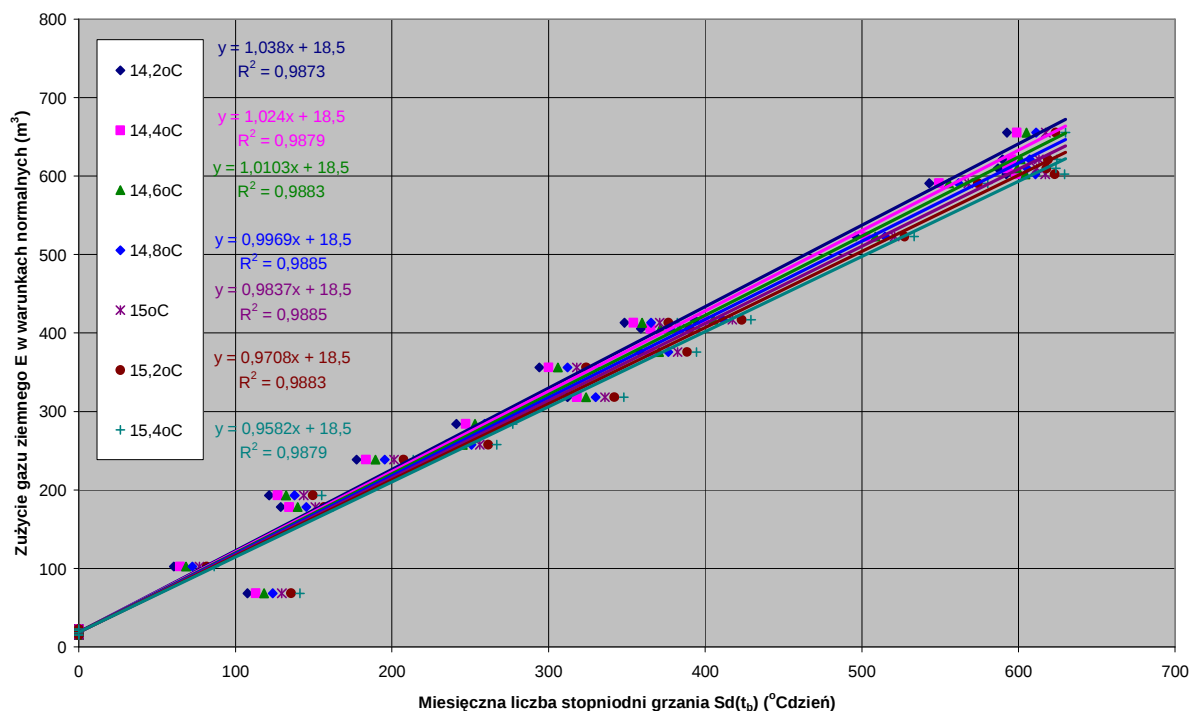
Dla okresu od 01.07.1995 r. do 01.04.1997 r. oraz dla października i listopada 1997 r. ponownie wyznaczono liczbę stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  dla temperatury bazowej od 14,2°C do 15,4°C co 0,2°C. Następnie wyznaczono proste regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego E względem miesięcznej liczby stopniodni grzania (**rys. 4**). Dla prostych regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego względem liczby stopniodni grzania o temperaturze bazowej  $t_b=14,8^{\circ}C$  i  $15^{\circ}C$  współczynnik korelacji  $r=0,99423$  ma największą wartość (**tabela 2**):

$$E=0,9969[m^3/(^{\circ}C \cdot \text{dzień miesiąc})] \cdot S_d(14,8^{\circ}C) + 18,5 \text{ m}^3/\text{miesiąc} \quad (6)$$

$$E=0,9837[m^3/(^{\circ}C \cdot \text{dzień miesiąc})] \cdot S_d(15^{\circ}C) + 18,5 \text{ m}^3/\text{miesiąc} \quad (7)$$

**Tabela 2. Parametry a i b wg (1) prostej regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego względem miesięcznej liczby stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  dla temperatur bazowych  $t_b$  od 14,2°C do 15,4°C dla budynku w Gdańsku. R - współczynnik korelacji,**

| $t_b$ | b                                            | a                    | R       |
|-------|----------------------------------------------|----------------------|---------|
| °C    | $m^3/(^{\circ}C \cdot \text{dzień miesiąc})$ | $m^3/\text{miesiąc}$ | --      |
| 14,2  | 1,038                                        | 18,5                 | 0,99363 |
| 14,4  | 1,024                                        | 18,5                 | 0,99393 |
| 14,6  | 1,0103                                       | 18,5                 | 0,99413 |
| 14,8  | 0,9969                                       | 18,5                 | 0,99423 |
| 14,9  | 0,9903                                       | 18,5                 | 0,99423 |
| 15,0  | 0,9837                                       | 18,5                 | 0,99423 |
| 15,2  | 0,9708                                       | 18,5                 | 0,99413 |
| 15,4  | 0,9582                                       | 18,5                 | 0,99393 |

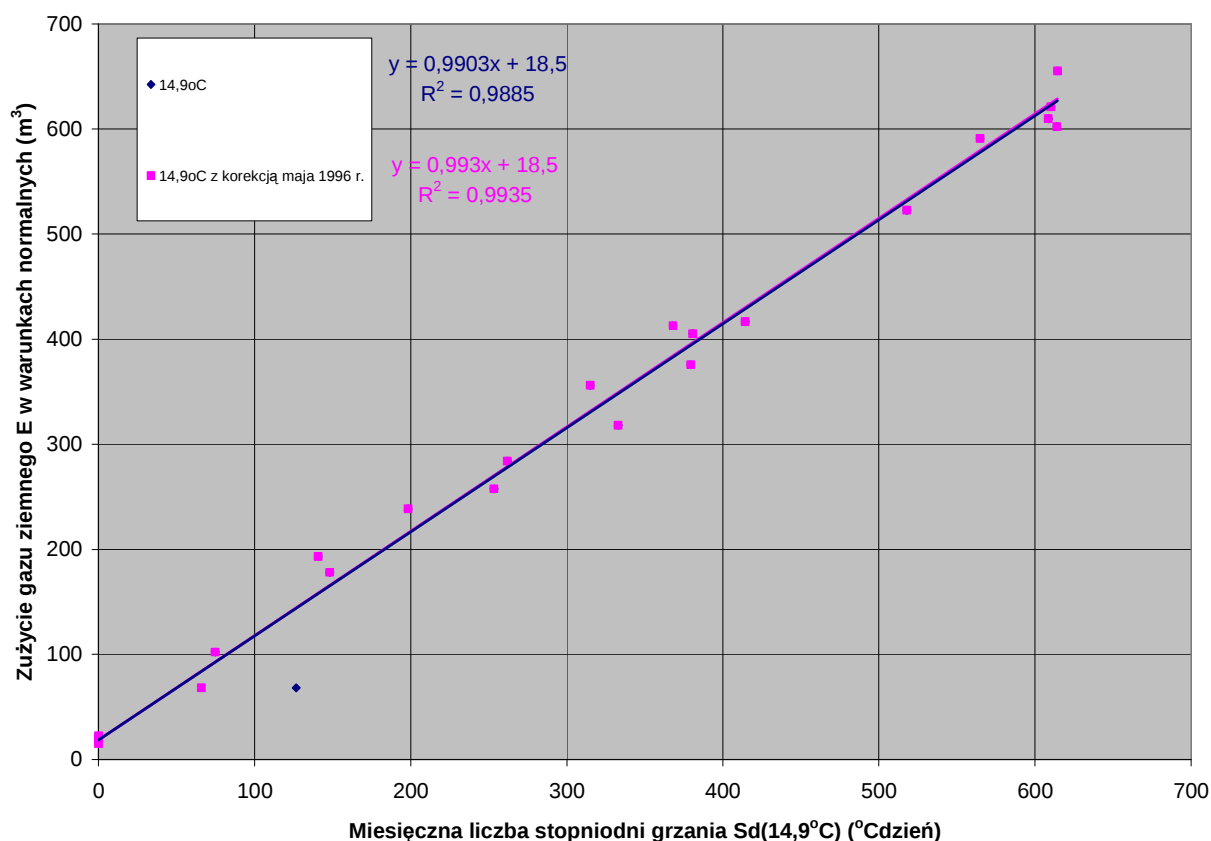


**Rys. 4 Proste regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego E (w warunkach normalnych 101325 Pa, 273,15K) względem miesięcznej liczby stopniodni grzania  $Sd(t_b)$  dla temperatury bazowej od 14,2°C do 15,4°C dla budynku w Gdańsku**

Dodatkowo wyznaczono prostą regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego względem liczby stopniodni grzania dla temperatury bazowej  $t_b = 14,9^\circ\text{C}$  pośredniej między 14,8°C i 15°C (**tabela 2, rys. 5**):

$$E = 0,9903[\text{m}^3/(\text{°C} \cdot \text{dzień miesiąc})] \cdot Sd(14,9^\circ\text{C}) + 18,5 \text{ m}^3/\text{miesiąc} \quad (8)$$

Współczynnik korelacji wynosi  $r = 0,99423$  i jest taki sam jak dla temperatury bazowej 14,8°C i 15°C. Zgodnie z kryterium maksymalnego współczynnika korelacji jako temperaturę bazową można przyjąć zarówno 14,8°C, 14,9°C jak i 15°C.



**Rys. 5 Proste regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego E (w warunkach normalnych 101325 Pa, 273,15K) względem miesięcznej liczby stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  dla temperatury bazowej 14,9°C bez korekcji i z korekcją miesięcznej liczby  $S_d(14,9^\circ\text{C})$  maja 1996 r. dla budynku w Gdańsku**

## **Metoda 2. Wyznaczanie temperatury bazowej z krzywej regresji drugiego stopnia zużycia gazu ziemnego E na ogrzewanie budynku względem liczby stopniodni grzania $S_d(t_b)$**

W powyższej analizie posłużono się tymi samymi wynikami badań wpływu warunków otoczenia gazomierza miechowego na rozliczeniową objętość gazu przeprowadzonymi przez IGNiG Kraków [6, 7] omówionymi w metodzie 1.

Dla okresu od 01.07.1995 r. do 01.04.1997 r. oraz dla października i listopada 1997 r. wyznaczono liczbę stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  dla temperatury bazowej od 12°C do 18°C co 1°C z definicji. Następnie wyznaczono krzywe regresji drugiego stopnia miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego E względem miesięcznej liczby stopniodni grzania (**rys. 6**) w postaci:

$$E = c \cdot S_d(t_b)^2 + b \cdot S_d(t_b) + a \quad (9)$$

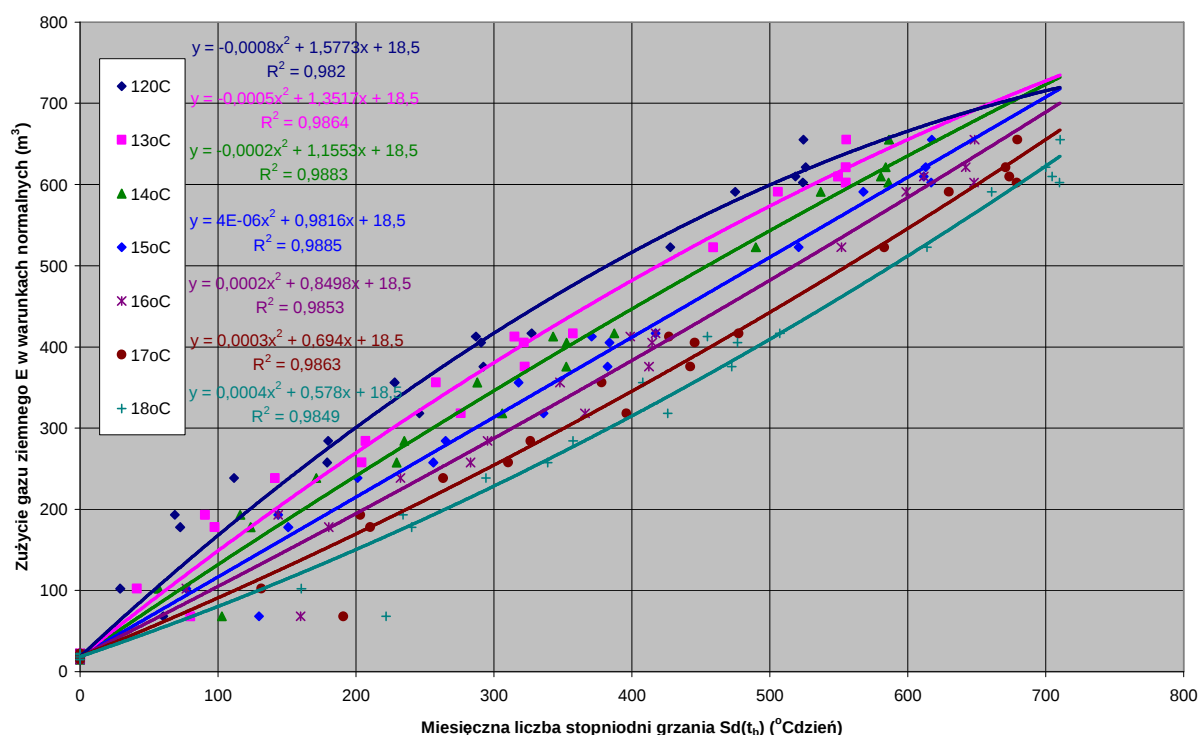
Dla krzywej regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego względem liczby stopniodni grzania o temperaturze bazowej  $t_b = 15^\circ\text{C}$  współczynnik  $c = 0,000004 \text{ m}^3 / ((^\circ\text{C} \cdot \text{dzień})^2 \text{ miesiąc})$  osiąga najmniejszą wartość (**tabela 3**):

$$E = 0,000004 [\text{m}^3 / ((^\circ\text{C} \cdot \text{dzień})^2 \text{ miesiąc})] \cdot S_d(15^\circ\text{C})^2 + 0,9816 [\text{m}^3 / (^\circ\text{C} \cdot \text{dzień miesiąc})] \cdot S_d(15^\circ\text{C}) + 18,5 \text{ m}^3 / \text{miesiąc} \quad (10)$$

Oznacza to, że dla temperatury bazowej  $t_b=15^\circ\text{C}$  równanie krzywej regresji drugiego stopnia jest najbardziej zbliżone do prostej zgodnie z teorią **(1)**. Dla analizowanego budynku w pierwszy przybliżeniu można założyć temperaturę bazową  $t_b=15^\circ\text{C}$ . Oszacowane wartości parametrów wynoszą  $c=0,000004 \text{ m}^3/((^\circ\text{C}\cdot\text{dzień})^2 \text{ miesiąc})$ ,  $b=0,9837 \text{ m}^3/((^\circ\text{C}\cdot\text{dzień miesiąc})$  i  $a=18,5 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$ . Stałe miesięczne zużycie gazu wynosi  $18,5 \text{ m}^3$  a roczne  $222 \text{ m}^3$ .

**Tabela 3. Parametry c, b i a wg (5) krzywej regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego E względem miesięcznej liczby stopniogrzania  $S_d(t_b)$  dla temperatur bazowych  $t_b$  od  $12^\circ\text{C}$  do  $18^\circ\text{C}$  dla budynku w Gdańsku. R - współczynnik korelacji,**

| $t_b$<br>$^\circ\text{C}$ | c<br>$\text{m}^3/((^\circ\text{C}\cdot\text{dzień})^2 \text{ miesiąc})$ | b<br>$\text{m}^3/((^\circ\text{C}\cdot\text{dzień miesiąc})$ | a<br>$\text{m}^3/\text{miesiąc}$ | R       |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|
| 12                        | -0,0008                                                                 | 1,5773                                                       | 18,5                             | 0,99096 |
| 13                        | -0,0005                                                                 | 1,3517                                                       | 18,5                             | 0,99318 |
| 14                        | -0,0002                                                                 | 1,1553                                                       | 18,5                             | 0,99413 |
| 15                        | 0,000004                                                                | 0,9816                                                       | 18,5                             | 0,99423 |
| 16                        | 0,0002                                                                  | 0,8498                                                       | 18,5                             | 0,99262 |
| 17                        | 0,0003                                                                  | 0,9640                                                       | 18,5                             | 0,99313 |
| 18                        | 0,0004                                                                  | 0,5780                                                       | 18,5                             | 0,99242 |

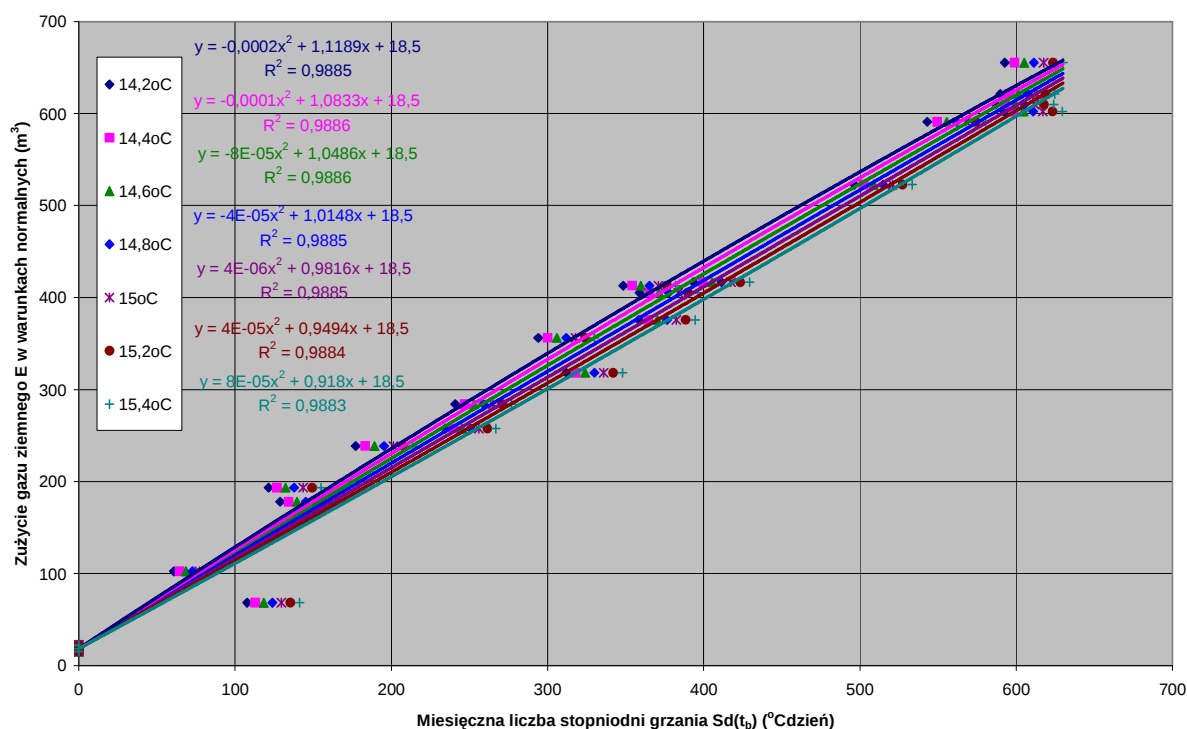


**Rys. 6. Krzywe regresji drugiego stopnia miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego E (w warunkach normalnych 101325 Pa, 273,15K) względem miesięcznej liczby stopniogrzania  $S_d(t_b)$  dla temperatury bazowej od  $12^\circ\text{C}$  do  $18^\circ\text{C}$  dla budynku w Gdańsku**

Dla okresu od 01.07.1995 r. do 01.04.1997 r. oraz dla października i listopada 1997 r. wyznaczono liczbę stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  dla temperatury bazowej od 14,2°C do 15,4°C co 0,2°C. Wyznaczono krzywe regresji drugiego stopnia miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego  $E$  względem miesięcznej liczby stopniodni grzania (**rys. 7**). Dla krzywej regresji o temperaturze bazowej  $t_b=15^\circ\text{C}$  współczynnik  $c=0,000004 \text{ m}^3/((^\circ\text{C}\cdot\text{dzień})^2 \text{ miesiąc})$  osiąga najmniejszą wartość (**tabela 4**). Oznacza to, że dla temperatury bazowej  $t_b=15^\circ\text{C}$  równanie krzywej regresji drugiego stopnia jest najbardziej zbliżone do prostej zgodnie z teorią (**1**).

**Tabela 4. Parametry  $c$ ,  $b$  i  $a$  wg (5) krzywej regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego  $E$  względem miesięcznej liczby stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  dla temperatur bazowych  $t_b$  od 12°C do 18°C dla budynku w Gdańsku.  $R$  - współczynnik korelacji,**

| $t_b$<br>°C | $c$<br>$\text{m}^3/((^\circ\text{C}\cdot\text{dzień})^2 \text{ miesiąc})$ | $b$<br>$\text{m}^3/((^\circ\text{C}\cdot\text{dzień}) \text{ miesiąc})$ | $a$<br>$\text{m}^3/\text{miesiąc}$ | $R$<br>-- |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| 14,2        | -0,0002                                                                   | 1,1189                                                                  | 18,5                               | 0,99423   |
| 14,4        | -0,0001                                                                   | 1,0833                                                                  | 18,5                               | 0,99428   |
| 14,6        | -0,000008                                                                 | 1,0486                                                                  | 18,5                               | 0,99428   |
| 14,8        | -0,00004                                                                  | 1,0148                                                                  | 18,5                               | 0,99423   |
| 14,9        | -0,00002                                                                  | 0,9981                                                                  | 18,5                               | 0,99423   |
| 15,0        | 0,000004                                                                  | 0,9816                                                                  | 18,5                               | 0,99423   |
| 15,2        | 0,00004                                                                   | 0,9494                                                                  | 18,5                               | 0,99418   |
| 15,4        | 0,00008                                                                   | 0,9180                                                                  | 18,5                               | 0,99413   |



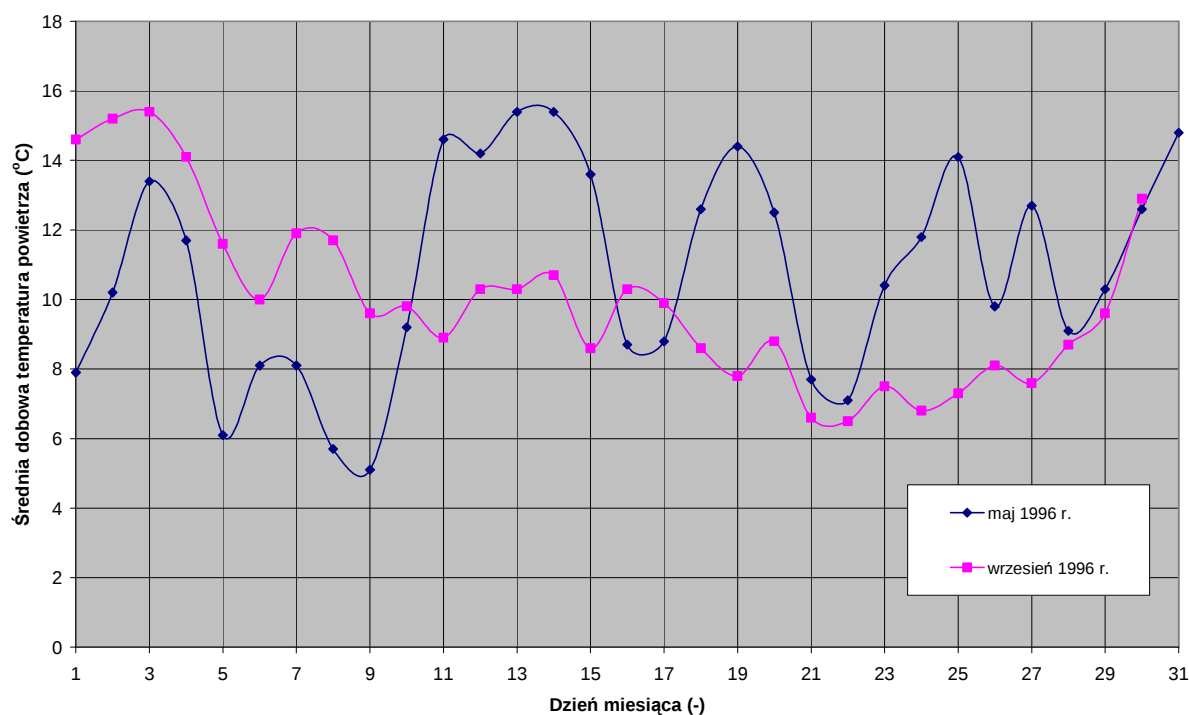
**Rys. 7. Krzywe regresji drugiego stopnia miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego  $E$  (w warunkach normalnych 101325 Pa, 273,15K) względem miesięcznej liczby stopniodni grzania  $S_d(t_b)$  dla temperatury bazowej od 14,2°C do 15,4°C dla budynku w Gdańsku**

Dodatkowo sprawdzono krzywą regresji drugiego stopnia miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego E względem miesięcznej liczby stopniogrzania (**rys. 8**) dla  $t_b=14,9^{\circ}\text{C}$ :

$$E = -0,00002[\text{m}^3/((^{\circ}\text{C}\cdot\text{dzień})^2 \text{ miesiąc})] \cdot \text{Sd}(14,9^{\circ}\text{C})^2 + 0,9981[\text{m}^3/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{dzień miesiąc})] \cdot \text{Sd}(14,9^{\circ}\text{C}) + 18,5 \text{ m}^3/\text{miesiąc} \quad (11)$$

Współczynnik  $c = -0,00002 \text{ m}^3/((^{\circ}\text{C}\cdot\text{dzień})^2 \text{ miesiąc})$  krzywej regresji (**11**) dla temperatury bazowej  $t_b=14,9^{\circ}\text{C}$  jest większy niż współczynnik  $c = 0,000004 \text{ m}^3/((^{\circ}\text{C}\cdot\text{dzień})^2 \text{ miesiąc})$  krzywej regresji (**10**) dla temperatury bazowej  $t_b=15^{\circ}\text{C}$ , który osiąga najmniejszą wartość (**tabela 4**).

Na **rys. 7** widać, że miesięczna liczba stopniogrzania dla maja 1996 r. jest za duża do zużycia gazu, ponieważ była liczona dla całego maja 1996 r. Z przebiegu temperatury powietrza w tym miesiącu można sądzić, że ogrzewanie przerwano w połowie maja 1996 r. (**rys. 8**). Gdyby liczbę  $\text{Sd}(14,9^{\circ}\text{C})$  dla całego maja o  $126,7^{\circ}\text{Cdn}$



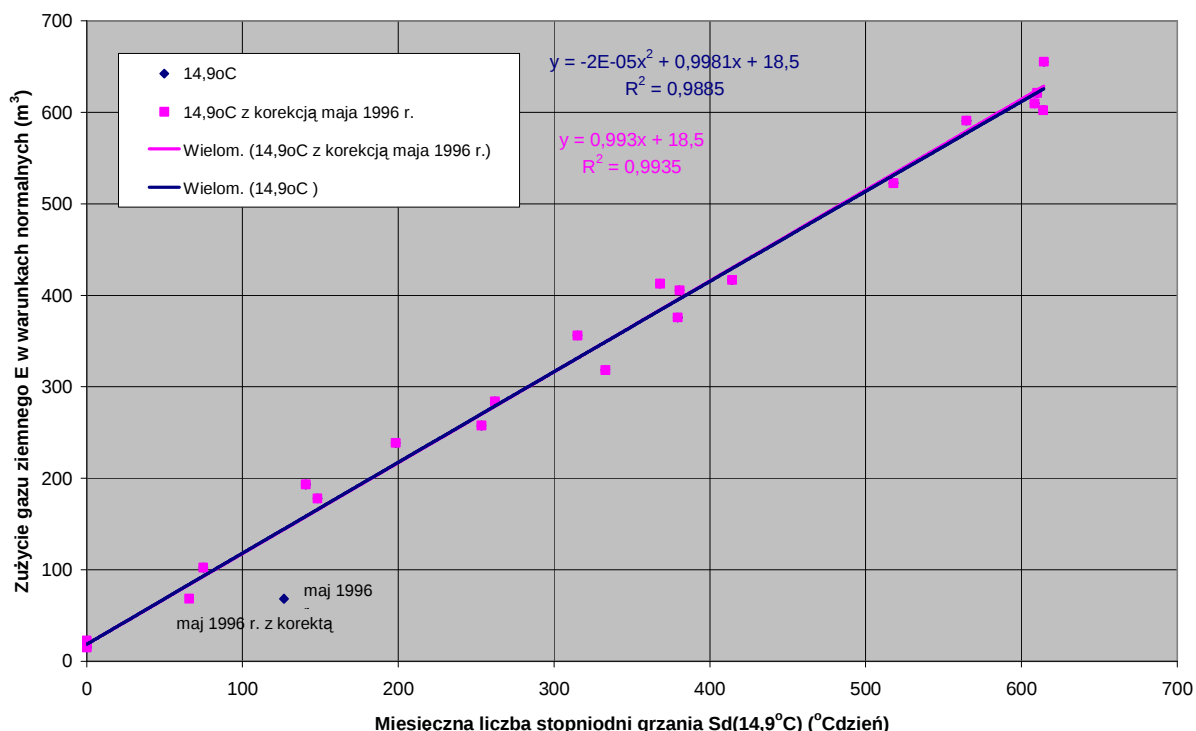
**Rys. 8. Przebieg średnich dobowych temperatur powietrza [5] w Gdańsku Rębiechowie (54o22'58"N, 018o28'01"E, 138 m npm) w maju i wrześniu 1996 r.**

zastąpić liczbą  $\text{Sd}(14,9^{\circ}\text{C})$  dla okresu od 1 maja do 15 maja 1996 r. o  $65,8^{\circ}\text{Cdn}$  otrzyma się jeszcze większą zgodność (**rys. 9**) i krzywa regresji drugiego stopnia dla np. temperatury bazowej  $14,9^{\circ}\text{C}$  redukuje się do prostej regresji:

$$E = 0,993[\text{m}^3/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{dzień miesiąc})] \cdot \text{Sd}(14,9^{\circ}\text{C}) + 18,5 \text{ m}^3/\text{miesiąc} \quad (12)$$

o współczynniku korelacji  $R=0,99674$ . Brak jednak informacji od użytkownika domu o terminie przerywania ogrzewania, ponieważ tematem badań była dokładność opomiarowania dostaw gazu gazomierzem miechowym zainstalowanym na zewnątrz budyn-

ku a nie ocena efektywności ogrzewania budynku. Ostatecznie do dalszej analizy przyjęto temperaturę bazową  $t_b=15^\circ\text{C}$ .



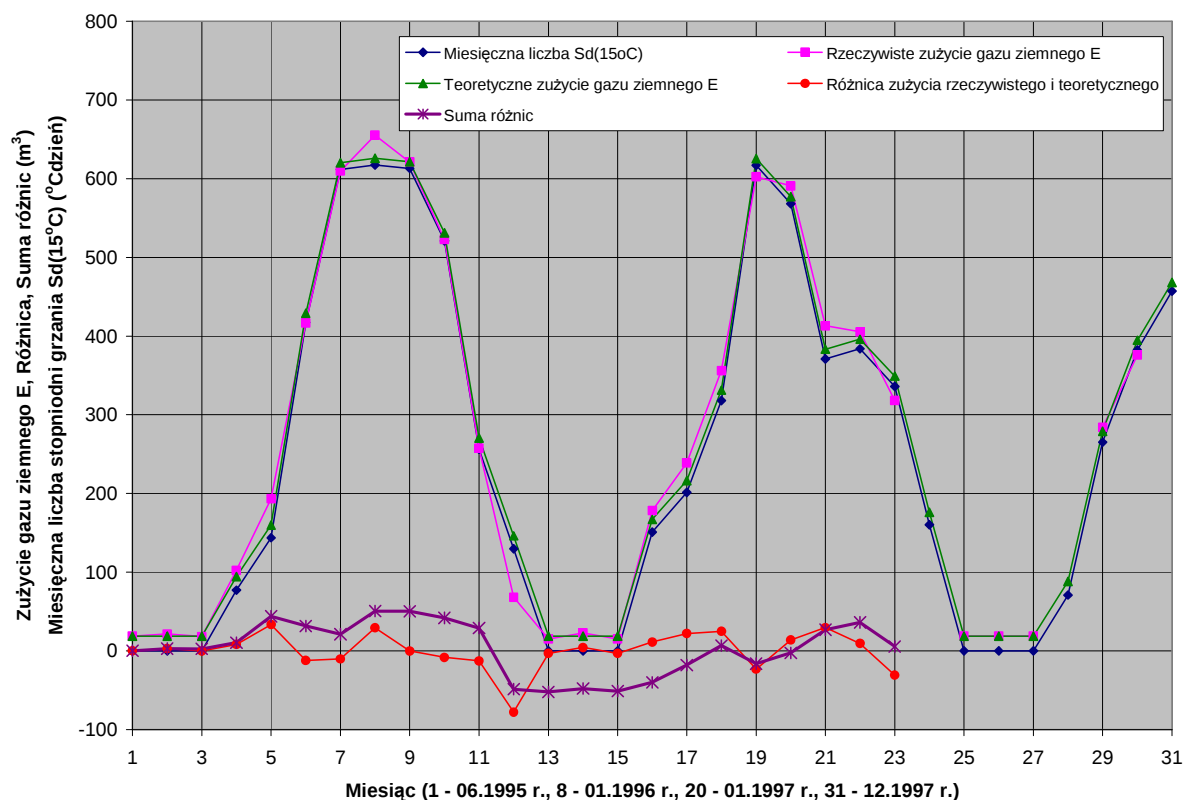
**Rys. 9. Krzywe regresji drugiego stopnia miesięcznego zużycia gazu ziemnego wysokometanowego  $E$  (w warunkach normalnych  $101325\text{ Pa}$ ,  $273,15\text{ K}$ ) względem miesięcznej liczby stopniogrzania  $S_d(t_b)$  dla temperatury bazowej  $14,9^\circ\text{C}$  bez korekcji i z korektą miesięcznej liczby  $S_d(14,9^\circ\text{C})$  maja 1996 r. dla budynku w Gdańsku**

### Analiza rzeczywistego i teoretycznego zużycia gazu

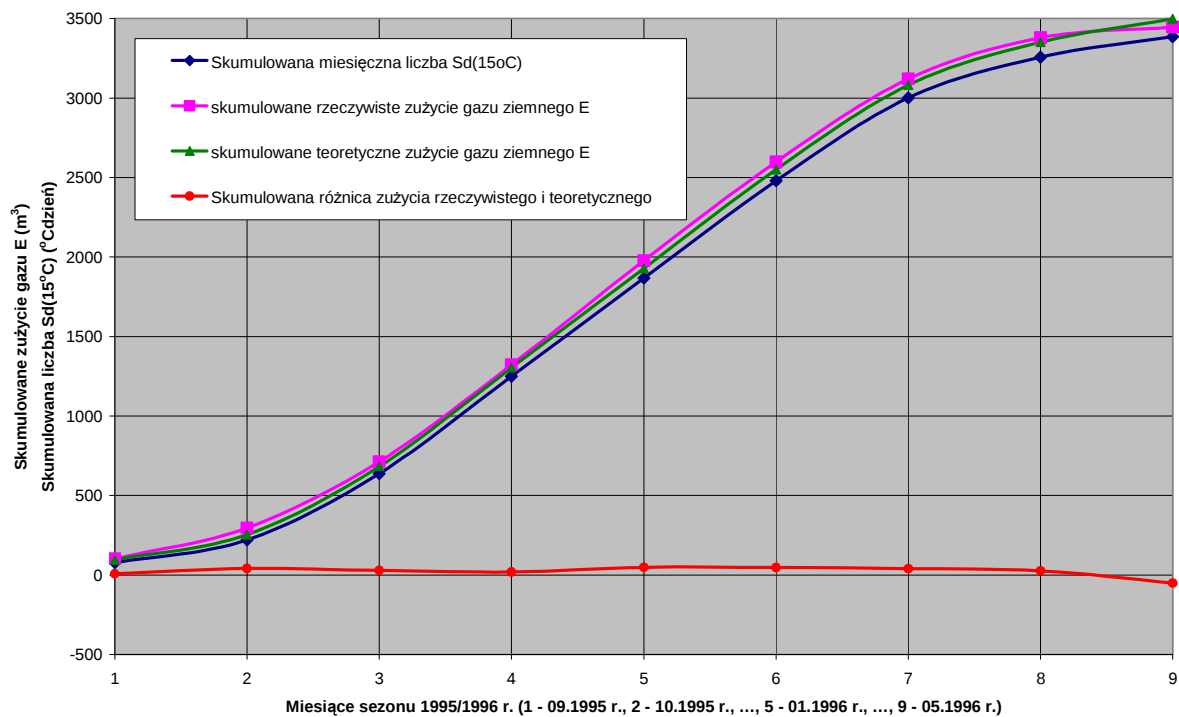
Zgodnie z pierwszą metodą kryterium maksymalnego współczynnika korelacji jako temperaturę bazową można przyjąć zarówno  $14,8^\circ\text{C}$ ,  $14,9^\circ\text{C}$  jak i  $15^\circ\text{C}$ . Zgodnie z drugą metodą najmniejszej wartości współczynnika  $c$  w równaniu (9) jako temperaturę bazową można przyjąć  $15^\circ\text{C}$ . Ostatecznie dla przyjętej temperatury bazowej  $t_b=15^\circ\text{C}$  obliczono z równania prostej regresji:

$$E = 0,9837[\text{m}^3/(\text{C} \cdot \text{dzień miesiąc})] \cdot S_d(15^\circ\text{C}) + 18,5 \text{ m}^3/\text{miesiąc} \quad (13)$$

teoretyczne miesięczne zużycie gazu ziemnego  $E$ , które porównano z rzeczywistym miesięcznym zużyciem gazu w analizowanym okresie od stycznia 1995 r. do kwietnia 1997 r. oraz dla października i listopada 1997 r. (**rys. 10**). Zsumowana różnica między rzeczywistym i teoretycznym miesięcznym zużyciem gazu w okresie od 1.07.1995 r. do 30.04.1997 r. wynosiła  $5,4\text{ m}^3$ . Zsumowana różnica między rzeczywistym i teoretycznym miesięcznym zużyciem gazu w sezonie grzewczym od 1.09.1995 r. do 31.05.1996 r. wynosiła  $50,2\text{ m}^3$  (**rys. 11**).



**Rys. 10. Rzeczywiste i teoretyczne zużycie gazu ziemnego wysokometanowego E w warunkach normalnych, ich różnica oraz skumulowana różnica w okresie od 01.06.1995 r. do 31.12.1997 r. dla budynku w Gdańsku**



**Rys. 11. Skumulowane rzeczywiste i teoretyczne zużycie gazu ziemnego wysokometanowego E w warunkach normalnych, skumulowana ich różnica oraz skumulowana liczba stopniodni grzania  $\text{Sd}(15^\circ\text{C})$  w sezonie grzewczym 01.09.1995 r. do 31.05.1996 r. dla budynku w Gdańsku**

## Wnioski

W wyniku termomodernizacji budynek zmienia temperaturę bazową. Aby poprawnie ocenić efekty termomodernizacji budynku należy znać temperaturę bazową budynku przed i po termomodernizacji. Można ją wyznaczyć dwiema omówionymi metodami.

Przy ocenie efektów wprowadzanych działań termomodernizacyjnych należy uwzględniać wpływ zmian klimatu na zużycie energii na ogrzewanie budynków. Zużycie energii przed i po termomodernizacji należy skorygować klimatycznie do średniej wieloletniej liczby stopniodni grzania lub do najcieplejszego (najzimniejszego) sezonu grzewczego, aby sprowadzić dane do wartości porównywalnych niezależnych od zmian klimatu.

W sektorach mieszkalnictwa, komercyjnym i publicznym zużycie energii finalnej z korektą klimatyczną można obliczać dokładniej po rozdzieleniu zużycia stałego i zmiennego [11]. Po korekcie klimatycznej można określić jakie zmiany zużycia energii zależą od klimatu a jakie są rzeczywistym efektem termomodernizacji budynków.

## Literatura

- [1] Brown R. H., Marx B. M., Corliss G. F.: Mathematical Models for Gas Forecasting. Departament of Electrical and Computer Engineering. Marquette University, Milwaukee
- [2] Degree-days: theory and application TM41:2006. The Chartered Institution of Building Services Engineers 222 Balham High Road, London SW129BS.
- [3] Błaziak M., Reszczyńska M.: Dostawy gazu ziemnego do odbiorców. Magazyn Polski Gaz i Nafta. PGNiG S.A., nr 8 1998.
- [4] Cerbe G.: Grundlagen der Gastechnik. Carl Hans Verlag. Muenchen, Vien, 4 Auflage 1992.
- [5] Ogimet. [WWW.ogimet.com](http://WWW.ogimet.com)
- [6] Wagner-Staszewska T., Jaworska J.: Wpływ warunków otoczenia gazomierza miechowego na rozliczeniową objętość gazu. IGNiG Kraków
- [7] Wagner-Staszewska T., Jaworski J.: Wpływ temperatury otoczenia na nierozliczone ilości gazu u indywidualnych odbiorców gazu. Nafta-Gaz, 2001, nr 11.
- [8] Dopke J.: Dokładność rozliczania dostaw gazu w realnych warunkach opomiarowania. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2006 nr 2.
- [9] Dopke J.: Dokładność rozliczania dostaw gazu gazomierzami miechowymi w realnych warunkach opomiarowania. Rynek Energii 2007 nr 1.
- [10] Dopke J.: Obliczanie miesięcznej liczby stopniodni grzania. [WWW.cire.pl](http://WWW.cire.pl) 24.03.2009 r., [WWW.ogrzewnictwo.pl](http://WWW.ogrzewnictwo.pl) 26.03.2009 r.
- [12] Dopke J.: Korekcja klimatyczna wolumenu sprzedaży gazu ziemnego dla odbiorców domowych i komercyjnych. [www.cire.pl](http://www.cire.pl) 10.12.2008.

**Józef Dopke**

**20.09.2012 r.**

[jozefdopke@wp.pl](mailto:jozefdopke@wp.pl)

All rights reserved. This work may not be translated or copied in whole or in part without the written permission of the publisher (Józef Dopke, [jozefdopke@wp.pl](mailto:jozefdopke@wp.pl)), except for brief excerpts in connection with reviews or scholarly analysis. Use in connection with any form of information storage and retrieval, electronic adaptation, computer software, or by similar or dissimilar methodology now known or hereafter developed is forbidden.