

**Prognozowanie zużycia gazu ziemnego przez odbiorców domowych
z liczby stopniodni grzania
Józef Dopke (jozefdopke@wp.pl)**

Stopniodni grzania

Stopniodni grzania są ilościowym wskaźnikiem określającym zapotrzebowanie na energię do ogrzewania domów mieszkalnych i budynków użyteczności publicznej. Są one obliczane z zaobserwowanych dziennych temperatur powietrza. 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°C ($65^{\circ}\text{F}=18,3^{\circ}\text{C}$ w USA). Jeżeli ogrzewanie od ludzi i urządzeń w domu wraz z energią od promieniowania słonecznego może podwyższyć temperaturę o 3°C , to wystarczy aby przy temperaturze zewnętrznej 18°C zapewnić temperaturę 21°C w mieszkaniu bez ogrzewania. Dla każdego dnia wyznacza się minimalną $t_{\min}(i)$ i maksymalną $t_{\max}(i)$ temperaturę dzienną powietrza zewnętrznego. Średnia temperatura dzienna $t_{sr}(i)$ 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 lub od temperatury granicznej (15°C wg EUROSTAT).

Jest kilka metod obliczania stopniodni grzania. W metodzie północnoamerykańskiej (USA i Kanada) stopniodni grzania $Sd(t_b)$ dla temperatury bazowej $t_b = 65^{\circ}\text{F}$ oblicza się ze wzoru

$$Sd(65^{\circ}\text{F}) = \sum_{i=1}^n [65^{\circ}\text{F} - t_{sr}(i)] \dots\dots\dots \text{dla } t_{sr}(i) \leq 65^{\circ}\text{F} \quad (1)$$

$$0 \dots\dots\dots \text{dla } t_{sr}(i) > 65^{\circ}\text{F}$$

W metodzie przyjętej w Europie stopniodni grzania $Sd(t_b)$ dla temperatury bazowej t_b oblicza się ze wzoru

$$Sd(t_b) = \sum_{i=1}^n [t_b - t_{sr}(i)] \dots\dots\dots \text{dla } t_{sr}(i) \leq t_b \quad (2)$$

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

W Europie kontynentalnej jako temperaturę bazową przyjmuje się 18°C a w Wielkiej Brytanii również $15,5^{\circ}\text{C}$. Dzień ze średnią temperaturą dzienną 10°C będzie miał 8°C dni grzania dla temperatury bazowej $t_b = 18^{\circ}\text{C}$ i $5,5^{\circ}\text{C}$ dla $t_b = 15,5^{\circ}\text{C}$. Przeliczenia stopni Fahrenheita na stopnie Celsjusza wykonuje się ze wzoru $t_c = 5(t_f - 32)/9$. Stopniodni Celsjusza Sd_c nie są identyczne ze stopniodniami Fahrenheita Sd_f stosowanymi w USA. Dziewięć jednostek stopni Fahrenheita równa się pięciu jednostkom stopni Celsjusza i dlatego $Sd_c = (5/9)Sd_f$ dla tej samej temperatury bazowej.

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

$$Sd(18^{\circ}\text{C}) = \sum_{i=1}^n [18^{\circ}\text{C} - t_{sr}(i)] \dots\dots\dots \text{dla } t_{sr}(i) \leq 15^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

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

Przyjęcie dodatkowo temperatury granicznej 15°C lepiej opisuje zapotrzebowanie na energię na ogrzewanie. Eliminuje bowiem z liczby stopniodni obliczone wartości dla dni poza sezonem grzewczym (czerwiec-wrzesień).

W niektórych krajach stopniodni grzania $Sd(t_b)$ dla temperatury bazowej t_b oblicza się ze wzoru

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

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

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

$$0 \dots \dots \dots \text{dla } t_{min}(i) > t_b$$
(4)

Do obliczenia stopniodni grzania dla przyjętego okresu czasu oblicza się stopniodni dla wszystkich dni tego okresu i sumuje. Jako okresy czasu przyjmuje się tygodnie, miesiące, kwartały roku i lata.

W Wielkiej Brytanii podaje się liczbę stopniodni grzania wg metody EUROSTAT-u (3), wg (2) dla $t_b=15,5^\circ\text{C}$ oraz wg (4).

W [1] podano dla temperatury bazowej 18,3°C (65°F=18,3°C) zależność:

- między liczbą stopniodni grzania dla całego roku a średnią roczną temperaturą

$$Sd(t_b=18,3^\circ\text{C}) \approx 361(18,3 - t_{sr}) \quad \text{dla } t_{sr} \text{ mniejszej od } 12^\circ\text{C}$$
(5)

- między liczbą stopniodni grzania dla zimy (grudzień, styczeń, luty) a średnią temperaturą dla zimy t_z

$$Sd(t_b=18,3^\circ\text{C}) \approx 90,1(18,3 - t_z)$$
(6)

- oraz między liczbą stopniodni grzania w styczniu a średnią temperaturą stycznia t_{stycz}

$$Sd(t_b=18,3^\circ\text{C}) \approx 31(18,3 - t_{stycz})$$
(7)

Dla Warszawy średnia wieloletnia roczna temperatura powietrza dla lat 1779-2006 wynosiła 7,7°C co odpowiada wg (5) 3827°Cdni. W tym okresie największa średnia temperatura roczna wynosiła 9,8°C a najmniejsza 4,7°C. Odpowiada to liczbie stopniodni grzania 3069°Cdni i 4910°Cdni (rys. 1). Maksymalna liczba stopniodni grzania w tym okresie jest o 60% większa od minimalnej liczby stopniodni grzania dla Warszawy.

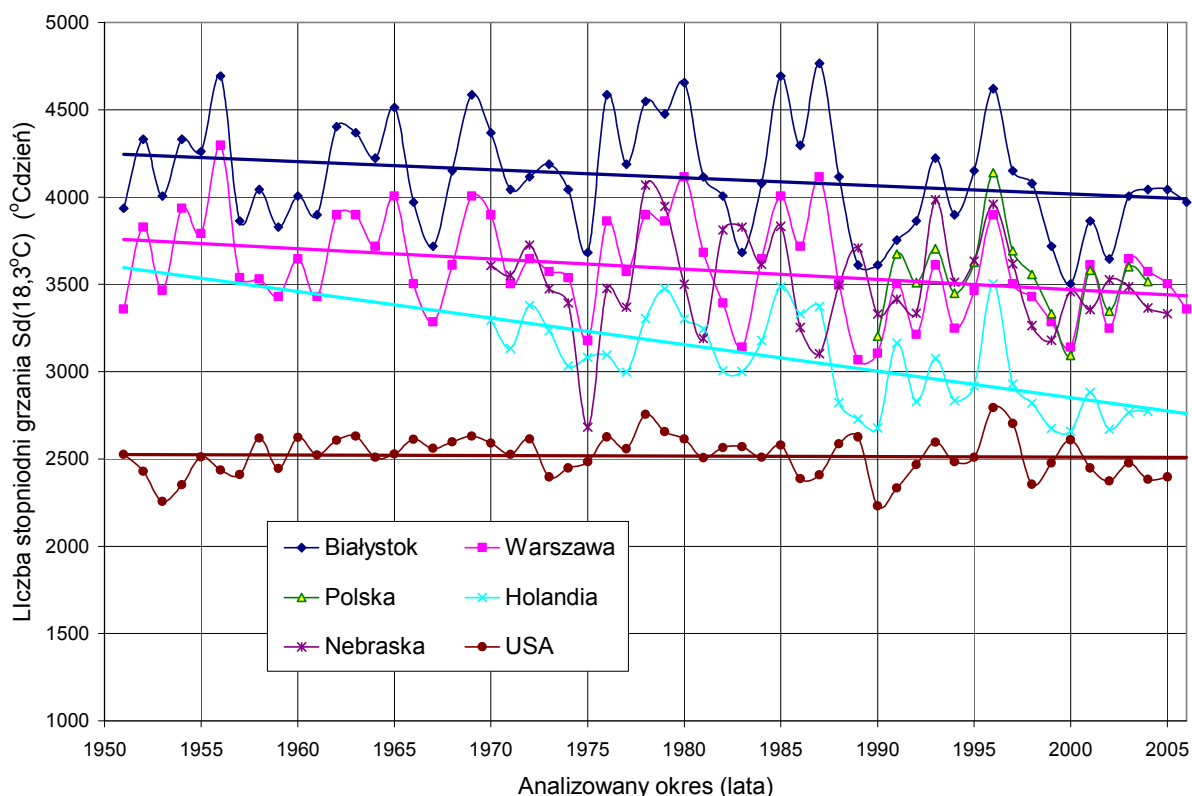
Średnia wieloletnia temperatura stycznia dla lat 1779-2006 wynosiła -3,6°C (679°Cdni), największa 3,5°C (459°Cdni) i najmniejsza -13,5 °C (986°Cdni). Maksymalna liczba stopniodni grzania dla stycznia w latach 1779-2006 jest ponad dwukrotnie większa od minimalnej.

Dla Warszawy dla lat 1951-2006 wartość średnia liczby stopniodni grzania $Sd(18,3^\circ\text{C})$ wynosiła 3597°Cdni a odchylenie standardowe 283,4°Cdni. Dla Białegostoku dla lat 1951-2006 wartość średnia liczby stopniodni grzania $Sd(18,3^\circ\text{C})$ wynosiła 4117°Cdni a odchylenie standardowe 313,3°Cdni. Dla większości miast Polski trzysigmowe odchylenie od wartości średniej wynosi około 23% wartości średniej $Sd(18,3^\circ\text{C})$. Maksymalna roczna liczba stopniodni grzania jest prawie dwukrotnie większa od minimalnej.

W latach 1961-1990 średnia liczba stopniodni grzania dla najcieplejszych miejscowości (Legnica, Słubice) w Polsce wynosiła 3502°Cdni a dla najzimniejszej miejscowości Zakopanego 4765°Cdni. Średnie zużycie gazu na ogrzewanie mieszkania o tej samej wielkości i izolacji termicznej w Zakopanem będzie o 36% większe niż w Legnicy czy Słubicach. Średnia roczna temperatura powietrza dla Polski w latach 1951-1996 wynosiła 7,7°C co odpowiada 3827°Cdni.

Stopniodni oblicza się dla miast (rys. 1), regionów, stanów, średnią krajową, średnią dla USA i Unii Europejskiej. World Resource Institute wykonał obliczenia stopniodni grzania dla temperatury bazowej 18°C dla 171 krajów. Obliczenie to zostało wykonane dla wszystkich możliwych lokalizacji stacji meteorologicznych a wyniki ważone były zaludnieniem analizowanego obszaru. Stosując ważenie według zaludnienia zapewnia się, że duże skupiska ludności będą bardziej reprezentowane w tym wskaźniku niż obszary o małym zaludnieniu. Takie krajowe ważne stopniodni odzwierciedlają zapotrzebowanie na energię na grzanie średniego obywatela danego kraju. Średnia wieloletnia liczba stopniodni grzania ważona zaludnieniem dla Polski wynosi 3719°Cdni. W USA oblicza się stopniodni grzania ważone zaludnieniem gospodarstw korzystających z takich paliw na ogrzewanie jak energia elektryczna, gaz ziemny i olej opałowy. Do porównania wieloletniego zapotrzebowania na energię do grzania definiuje się średnie wieloletnie stopniodni grzania ważone zaludnieniem.

Zapotrzebowanie na paliwo do ogrzewania mieszkań może istotnie się różnić w różnych miesiącach, latach i miejscowościach. Dlatego im trudniej magazynować dany rodzaj paliwa tym dokładniej należy prognozować jego zużycie. Liczba stopniodni grzania jest szeroko stosowana w USA i Kanadzie do prognozowania zużycia energii na cele grzewcze.



Rys. 1. Liczba stopniodni grzania $S_d(18,3^{\circ}C)$ dla Warszawy, Białegostoku, Polski, Holandii, Nebraski i USA w latach 1951-2006. Dla Warszawy i Białegostoku oszacowanie wg wzoru (5) ze średniej rocznej temperatury powietrza wg pogol.chilan.com

Zależność zużycia energii od stopniodni grzania

Zużycie gazu ziemnego (energii) na ogrzewanie pomieszczeń, grzanie wody i przygotowanie posiłków można przedstawić w postaci modelu:

$$E = a + b Sd(t_b) + e \quad (8)$$

gdzie: E - zużycie gazu ziemnego (energii),

a, b - współczynniki,

Sd(t_b) - liczba stopniodni grzania zależna od t_b ,

t_b - bazowa temperatura,

e – błąd metody.

Zużycie energii na grzanie pomieszczeń w małych przedziałach czasu zależy liniowo od liczby stopniodni grzania. Współczynnik b określa wielkość zużycia gazu ziemnego (energii) na jeden stopniodzień grzania. Zużycie gazu ziemnego (energii) na cele nie związane z ogrzewaniem pomieszczeń (głównie grzaniem wody użytkowej i gotowaniem) określa współczynnik a. Jeżeli we wzorze (8) są stosowane dane miesięczne (lub roczne), to współczynniki a i b będą dotyczyły miesięcznego (lub rocznego) zużycia gazu. Błąd metody e może być spowodowany, np. posiadaniem przez gospodarstwa domowe obok kotła gazowego kominka opalanego drewnem lub posiadaniem kotła opalanego gazem lub olejem opałowym zależnie od cen tych paliw (w stanach północno-wschodnich USA).

W tabeli 1 podano liczbę stopniodni grzania ważoną zaludnieniem dla stanów USA o klimacie najbardziej zbliżonym do Polski o liczbie Sd(18,3°C)=3719°Cdni. Poniżej zostaną przedstawione wyniki analizy korelacji zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych względem liczby stopniodni grzania dla wybranych stanów. Szczególna uwaga będzie skierowana na stany o liczbie zgazyfikowanych gospodarstw domowych większej niż 2,5 mln. W Polsce jest około 7 mln gospodarstw domowych korzystających z gazu ziemnego (6,6 mln odbiorców gazu, część gospodarstw jest opomiarowana wspólnym gazomierzem), które są obsługiwane przez 6 spółek gazownictwa. Liczba odbiorców gazu ziemnego obsługiwanych przez polskich Operatorów Systemu Dystrybucyjnego wynosi: 1,5 mln dla Mazowieckiego OSD, 1,3 mln dla Karpackiego OSD i 0,74 dla Dolnośląskiego OSD.

Tabela 1. Średnia wieloletnia (1971-2000) ważona zaludnieniem liczba stopniodni grzania Sd(18,3°C) dla wybranych stanów USA oraz liczba zgazyfikowanych gospodarstw w 2004 r.

Stan	Sd(18,3°C)		Liczba gospodarstw domowych odbierających gaz ziemny
	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	
---	°Cdni	°Cdni	sztuk
New Jersey	4191,3	189,4	2 582 714
Iowa	3921,1	275,6	839 415
Michigan	3861,1	240,0	3 161 370
Utah	3673,9	258,9	701 255
Nebraska	3625,0	267,2	479 391
Massachusetts	3560,6	191,1	1 306 142
Illinois	3530,6	251,7	3 754 132
Nowy Jork	3397,8	201,1	4 199 302
Ohio	3317,2	236,7	3 250 068
Pensylwania	3285,0	197,8	2 591 458
Waszyngton	3062,2	192,2	926 510

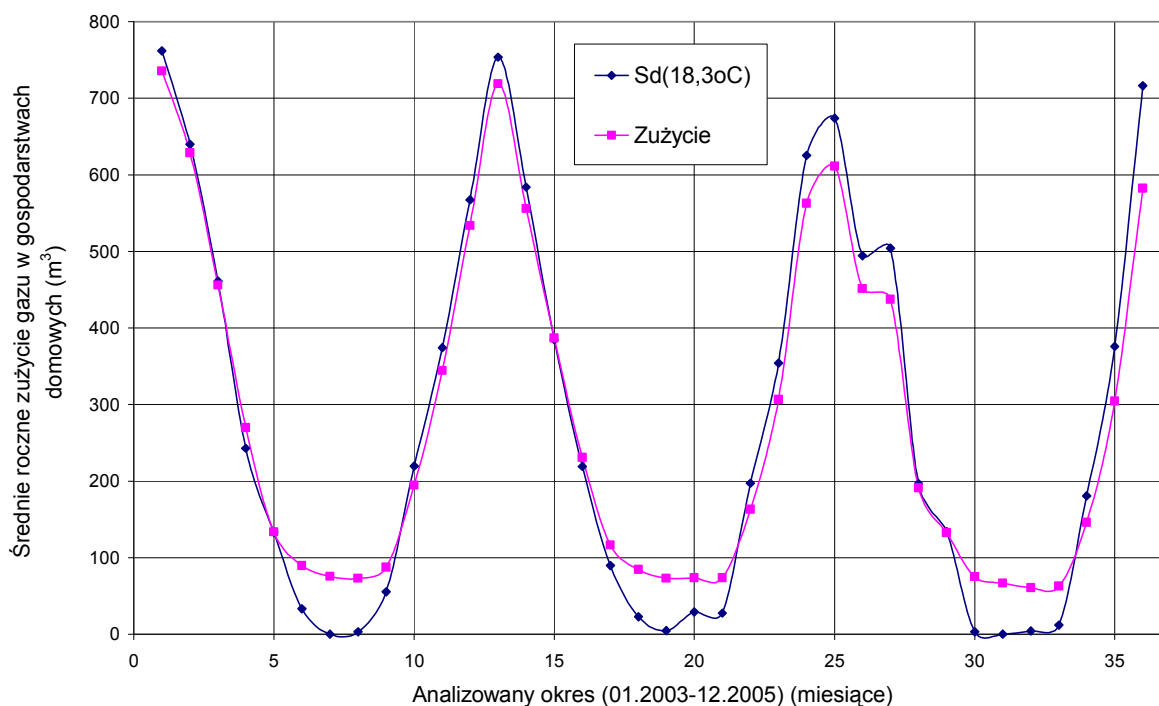
Wśród stanów USA o klimacie najbardziej zbliżonym do terytorium Polski, średnie miesięczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych jest najmocniej skorelowane z liczbą stopniodni grzania dla stanu Illinois a najsłabiej dla Pensylwanii (**rys. 2, tabela 2**).

W okresie od stycznia 2003 r. do grudnia 2005 r. miesięczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Illinois jest skorelowane liniowo z liczbą stopniodni grzania (**rys. 3**) ze współczynnikiem korelacji $r=0,991$. Oszacowane wartości współczynników wynoszą $a=45,71056 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$ i $b= 0,8378068 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$ a równanie (8) ma postać:

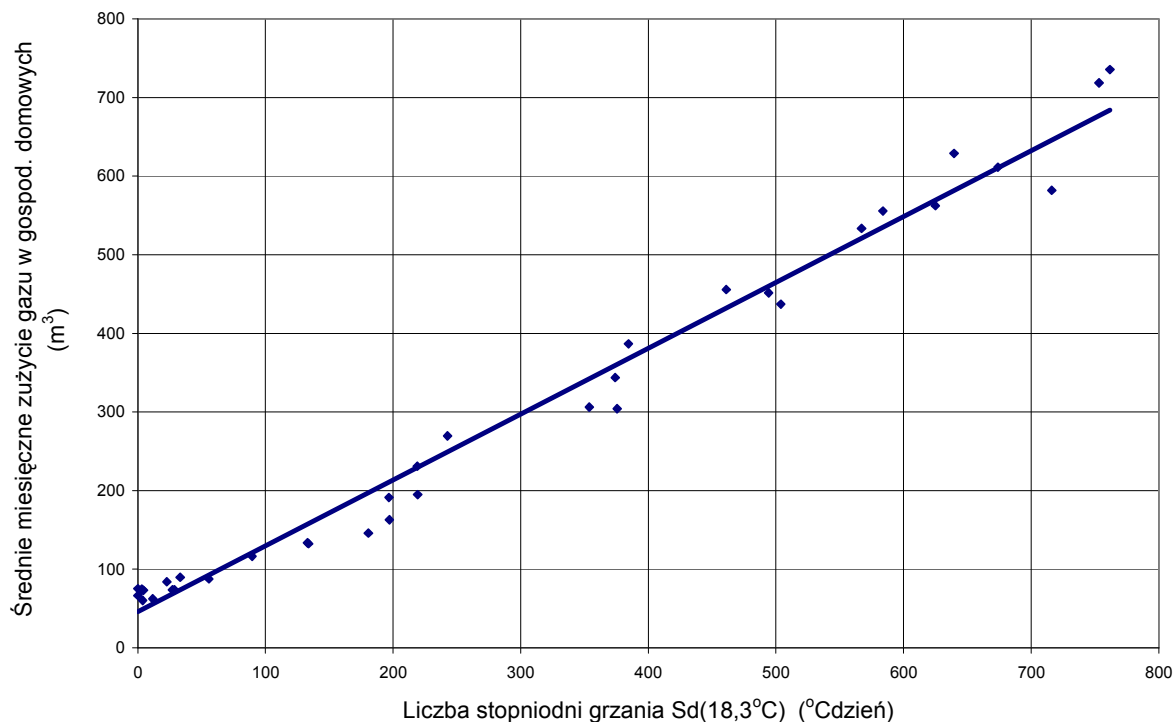
$$E[Sd(18,3^{\circ}\text{C})]=45,71056 \text{ m}^3/\text{miesiąc} + 0,8378068 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc}) Sd(18,3^{\circ}\text{C}) + e$$

gdzie: $Sd(18,3^{\circ}\text{C})$ – miesięczna liczba stopniodni grzania dla $t_b=18,3^{\circ}\text{C}$.

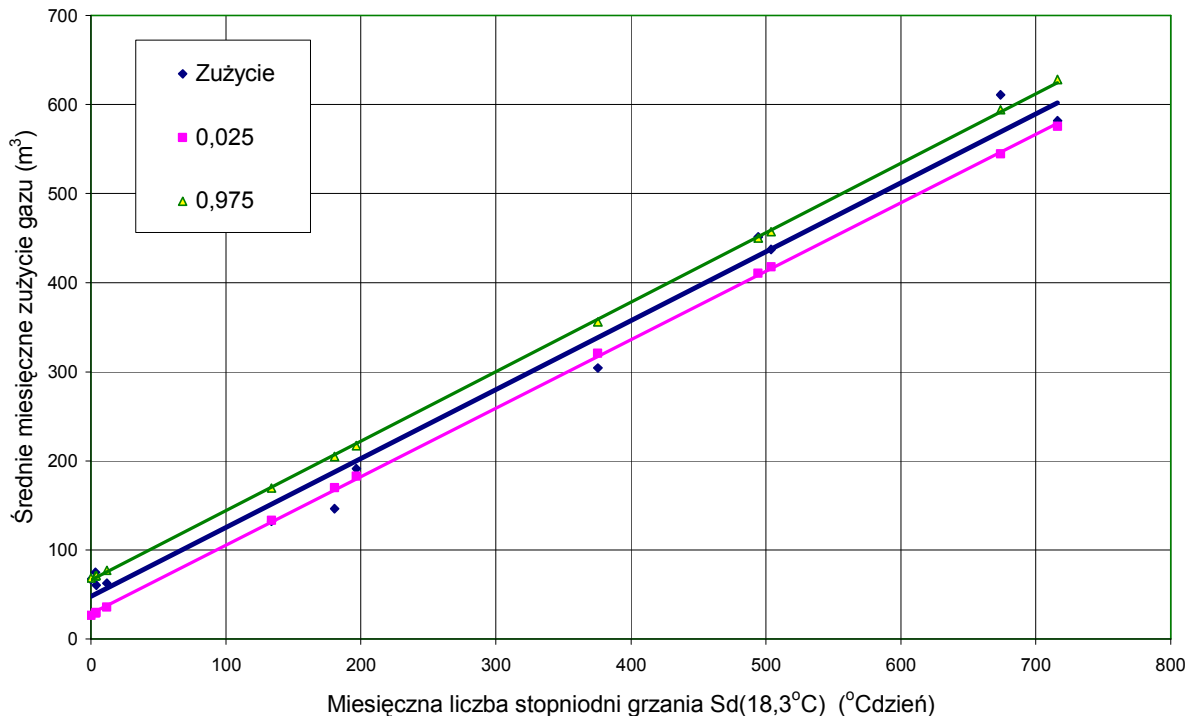
Dla miesiąca o liczbie stopniodni grzania $600^{\circ}\text{Cdzień/miesiąc}$ oszacowane średnie miesięczne zużycie gazu w gospodarstwach domowych stanu Illinois wyniesie $E(600^{\circ}\text{Cdzień/miesiąc})=548,4 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$. Z wartości współczynnika a można obliczyć, że średnie stałe roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Illinois wynosi $548,5 \text{ m}^3/\text{rok}$, co odpowiada stałemu zużyciu gazu $205 \text{ m}^3/\text{osobę}$ przy liczbie $2,61-2,74$ osób w gospodarstwie domowym. W 2004 r. średnie roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Illinois wynosiło $3344 \text{ m}^3/\text{rok}$ ($1,0166 \text{ m}^3/\text{°Cdzień rok}$) z tego $527,8 \text{ m}^3/\text{rok}$ stałe zużycie i $2816,1 \text{ m}^3/\text{rok}$ zmienne zużycie zależne od stopniodni grzania. Liczba stopniodni grzania w 2004 r. wynosiła $3289^{\circ}\text{Cdzień}$. Współczynnik b wynosił $0,7743 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień rok})$ w 2003 r., $0,8562 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień rok})$ w 2004 r., i $0,8812 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień})$ rok w 2005 r. Zmienne zużycie gazu na jeden stopniodzień grzania zmienia się (**tabela 3**) wskutek termomodernizacji budynków i budowania nowych o lepszej izolacji termicznej oraz zmianie powierzchni ogrzewanej mieszkań. To jest przyczyną zastrzegania liniowej zależności zużycia gazu na ogrzewanie pomieszczeń tylko dla małych przedziałów czasu we wzorze (8).



Rys. 2. Średnie miesięczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych oraz liczba stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ}\text{C})$ dla Illinois, USA [3] w okresie od 01.2003 r. do 12.2005 r.



Rys. 3. Prosta regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych [3] względem miesięcznej liczby stopniodni grzania $S_d(18,3^{\circ}\text{C})$ dla stanu Illinois, USA w okresie od 01.2003 r. do 12.2005 r. , współczynnik korelacji $r=0,991$, $a=45,71056 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, $b=0,8378068 \text{ m}^3/({}^{\circ}\text{Cdzień miesiąc})$.



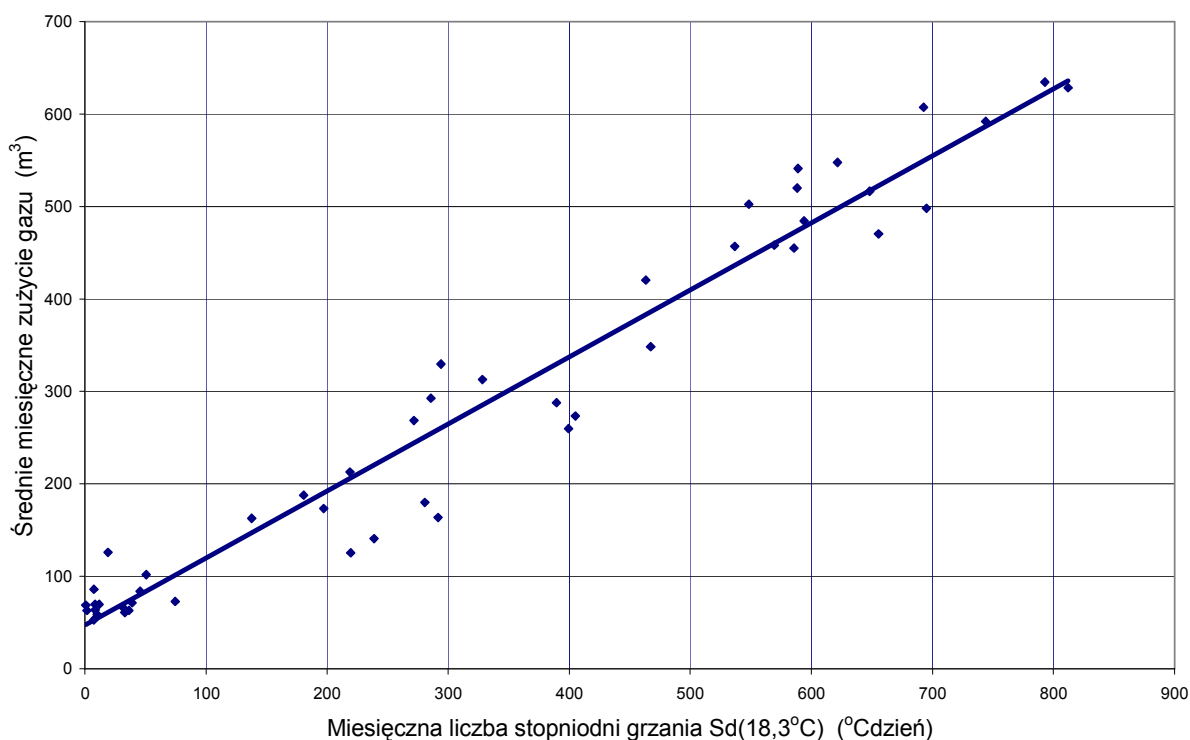
Rys. 4 . Prosta regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych [3] względem miesięcznej liczby stopniodni grzania $S_d(18,3^{\circ}\text{C})$ dla stanu Illinois, USA w okresie od 01.2005 r. do 12.2005 r. oraz granice przedziałów ufności 0,025 i 0,975. Współczynnik korelacji $r=0,9946$, $a=45,4303 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, $b=0,8811541 \text{ m}^3/({}^{\circ}\text{Cdzień miesiąc})$.

W okresie od stycznia 2005 r. do grudnia 2005 r. oszacowane wartości parametrów prostej regresji miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Illinois względem liczby stopniodni grzania (rys. 4) wynoszą $a=45,4303 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$ i $b=0,8811541 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$ a współczynnik korelacji $r=0,9946$. Stałe miesięczne zużycie gazu wynosi $47,5\pm 21,1 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$ dla poziomu ufności 0,95. Jeżeli w styczniu 2006 r. miesięczna liczba stopniodni grzania wyniosła $504,4\text{°Cdni}$, to można prognozować średnie miesięczne zużycie gazu w gospodarstwach domowych w styczniu w wysokości $438\pm 20 \text{ m}^3$.

W okresie od stycznia 2002 r. do grudnia 2005 r. miesięczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Michigan jest skorelowane liniowo z liczbą stopniodni grzania (rys. 5) ze współczynnikiem korelacji $r=0,977$. Oszacowane wartości współczynników wynoszą $a=47,23317 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$ i $b=0,7250259 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$ a równanie (8) ma postać:

$$E[Sd(18,3\text{°C})]=47,23317 \text{ m}^3/\text{miesiąc} + 0,7250259 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc}) Sd(18,3\text{°C}) + e$$

gdzie: $Sd(18,3\text{°C})$ – miesięczna liczba stopniodni grzania dla $t_b=18,3\text{°C}$.



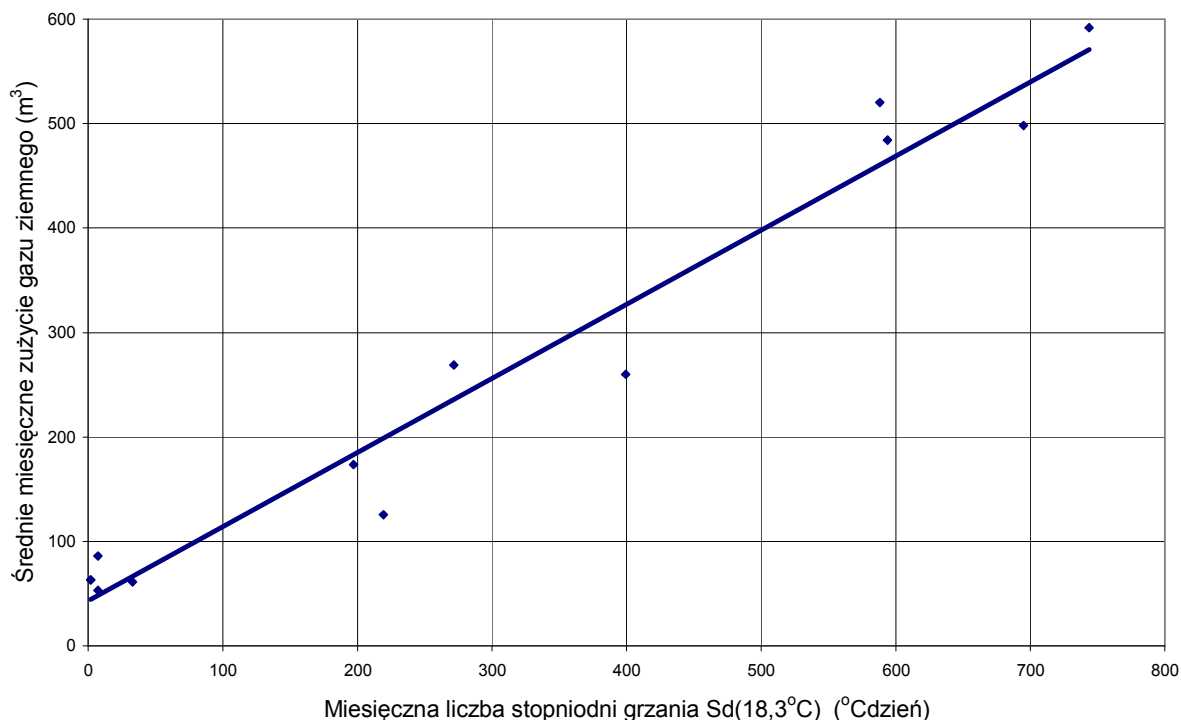
Rys. 5. Prosta regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych względem liczby stopniodni grzania $Sd(18,3\text{°C})$ dla stanu Michigan [3] w okresie od 01.2002 r. do 12.2005 r., współczynnik korelacji $r=0,977$, $a=47,23317 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, $b=0,7250259 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$.

Dla miesiąca o liczbie stopniodni grzania $600\text{°Cdzień/miesiąc}$ oszacowane średnie miesięczne zużycie gazu w gospodarstwach domowych stanu Michigan wyniesie $E(600\text{°Cdzień/miesiąc})=482,2\pm 14,8 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$ z poziomem ufności 0,95. Z wartości współczynnika a można obliczyć, że średnie stałe roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Michigan wynosi $577 \text{ m}^3/\text{rok}$, co odpowiada stałemu zużyciu gazu $225 \text{ m}^3/\text{osobę}$ przy liczbie 2,52 osób w gospodarstwie domowym. W 2004 r. średnie roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Michigan wynosiło $3242 \text{ m}^3/\text{rok}$ ($0,8641 \text{ m}^3/\text{°Cdzień rok}$) z tego $577 \text{ m}^3/\text{rok}$ stałe zużycie i $2665 \text{ m}^3/\text{rok}$ zmienne zużycie za-

leżne od stopniodni grzania. Liczba stopniodni grzania w 2004 r. wynosiła 3752^oCdzień. Współczynnik b wynosił 0,7103 m³/(^oCdzień rok) w 2004 r.

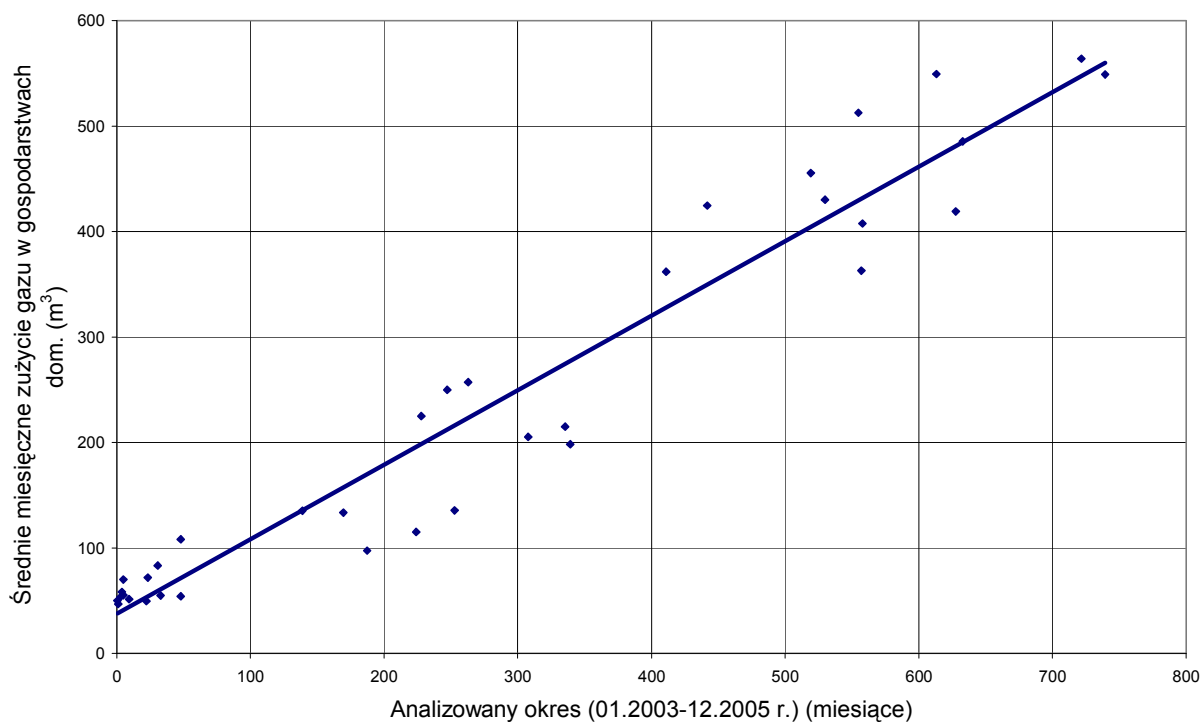
Na rys 6 przedstawiono prostą regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Michigan względem liczby stopniodni grzania Sd(18,3^oC) w krótkim przedziale czasu od stycznia 2005 r. do grudnia 2005 r. o współczynniku korelacji r=0,9796, a=43,27965 m³/miesiąc, b=0,7094047 m³/(^oCdzień miesiąc).

Dla miesiąca o liczbie stopniodni grzania 600^oCdzień/miesiąc oszacowane średnie miesięczne zużycie gazu w gospodarstwach domowych stanu Michigan wyniesie E(600^oCdzień/miesiąc)=468,9±33,8 m³/miesiąc z poziomem ufności 0,95.



Rys. 6. Prosta regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych [3] względem liczby stopniodni grzania Sd(18,3^oC) dla stanu Michigan w okresie od 01.2005 r. do 12.2005 r., współczynnik korelacji r=0,9796, a=43,27965 m³/miesiąc, b=0,7094047 m³/(^oCdzień miesiąc).

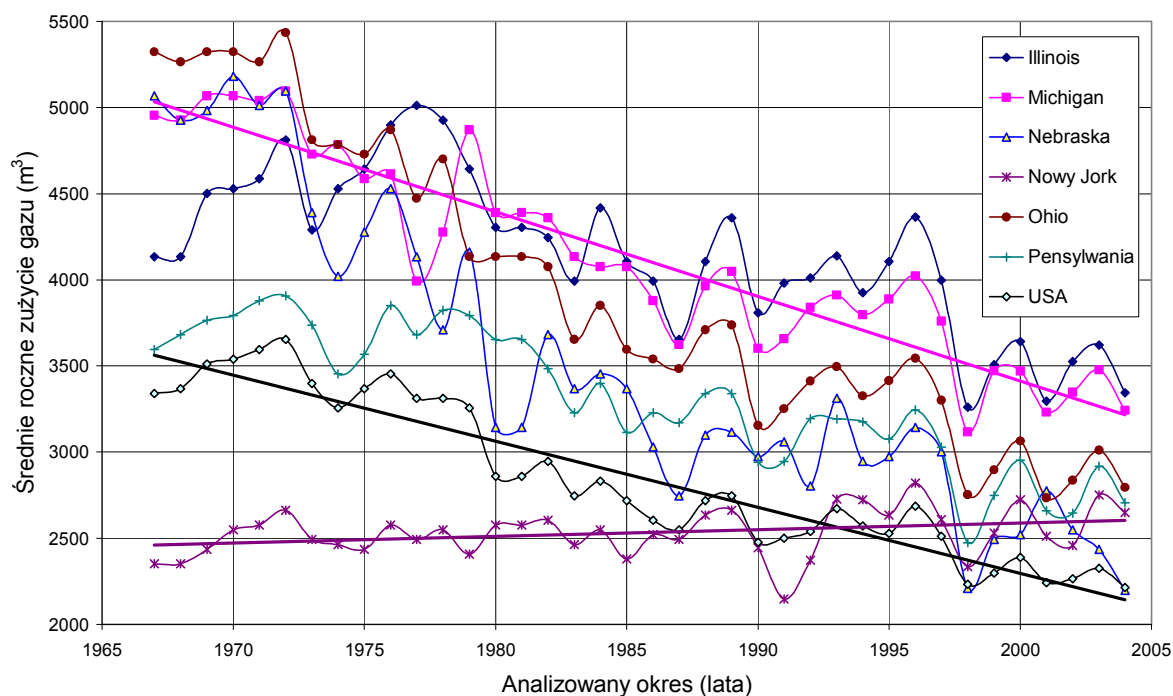
W przedziale od stycznia 2003 r. do grudnia 2005 r., miesięczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Pensylwania jest skorelowane liniowo z liczbą stopniodni grzania (rys. 7) ze współczynnikiem korelacji r=0,977 (tabela 3). Wartości współczynników wynoszą: a=47,23317 m³/miesiąc i b= 0,7250259 m³/(^oCdzień miesiąc).



Rys. 7. Prosta regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych [3] względem miesięcznej liczby stopniodni grzania $S_d(18,3^{\circ}\text{C})$ dla stanu Pensylwania, USA w okresie od 01.2003 r. do 12.2005 r., współczynnik korelacji $r=0,8844$, $a=61,44528 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, $b=0,6518805 \text{ m}^3/(\text{Cdzień miesiąc})$.

Tabela 2. Wyniki analizy korelacji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych względem miesięcznej liczby stopniodni grzania $S_d(18,3^{\circ}\text{C})$ ważonej zaludnieniem. r – współczynnik korelacji, a , b wg (8)

Stan	Okres analizy	r	a	b
--	lata	--	$\text{m}^3/\text{miesiąc}$	$\text{m}^3/(\text{Cdzień miesiąc})$
Illinois	01.2003-12.2005	0,991	45,71056	0,8378068
Illinois	01.2003-12.2003	0,9927	47,48369	0,774273
Illinois	01.2004-12.2004	0,994	43,99262	0,8562367
Illinois	01.2005-12.2005	0,9946	45,4303	0,8811541
Pensylwania	01.2003-12.2005	0,8844	61,44528	0,6518805
Michigan	01.2002-12.2005	0,9773	47,23317	0,7250259
Michigan	01.2005-12.2005	0,9796	43,27965	0,7094047
Nowy Jork	01.1999-12.2004	0,9568	60,87451	0,589088
Nebraska	01.2002-12.2002	0,9235	37,9021	0,593102
Nebraska	01.2003-12.2003	0,9528	31,9056	0,589217
Nebraska	01.2004-12.2004	0,9348	28,61281	0,550861
Nebraska	01.2005-12.2005	0,9317	34,73433	0,517304
USA	01.1998-12.2004	0,963	48,15712	0,7060103
USA	01.2001-12.2001	0,9831	41,20422	0,7479793
USA	01.2002-12.2002	0,9793	49,01827	0,7064308
USA	01.2003-12.2003	0,9827	40,9803	0,7398824
USA	01.2004-12.2004	0,979	41,99317	0,7174548

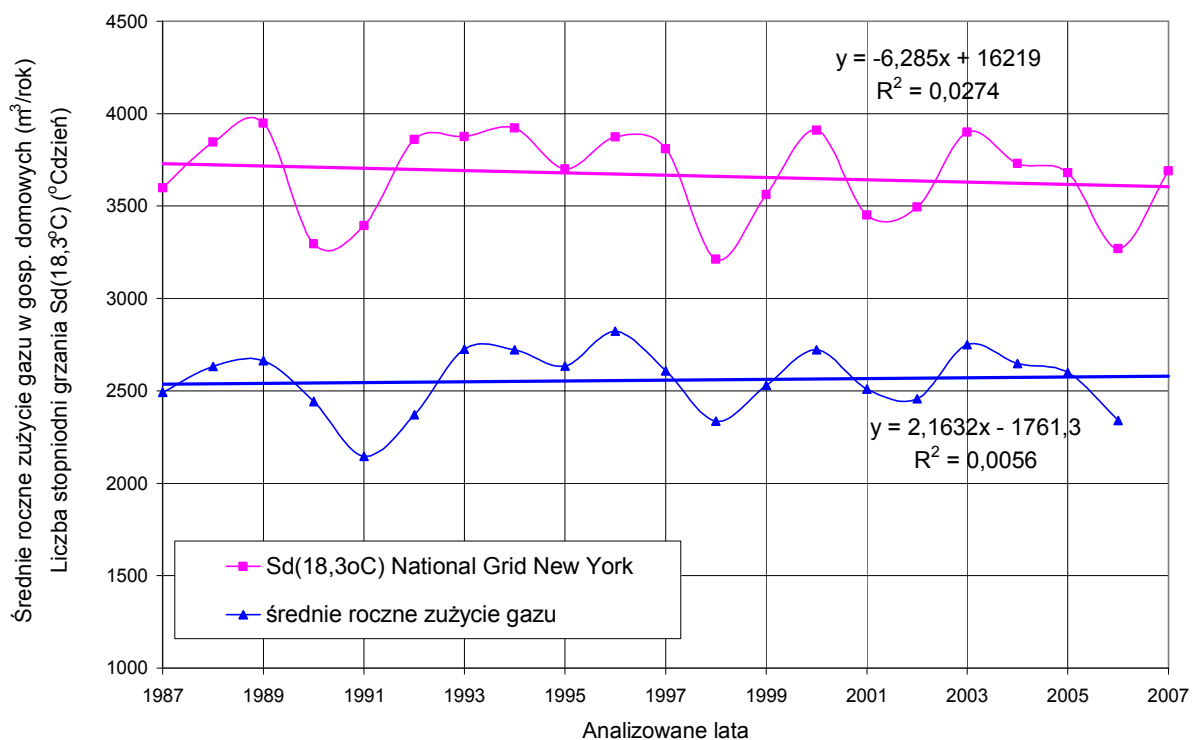


Rys. 8. Średnie roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych wybranych stanów i w USA w latach od 1967 do 2004.

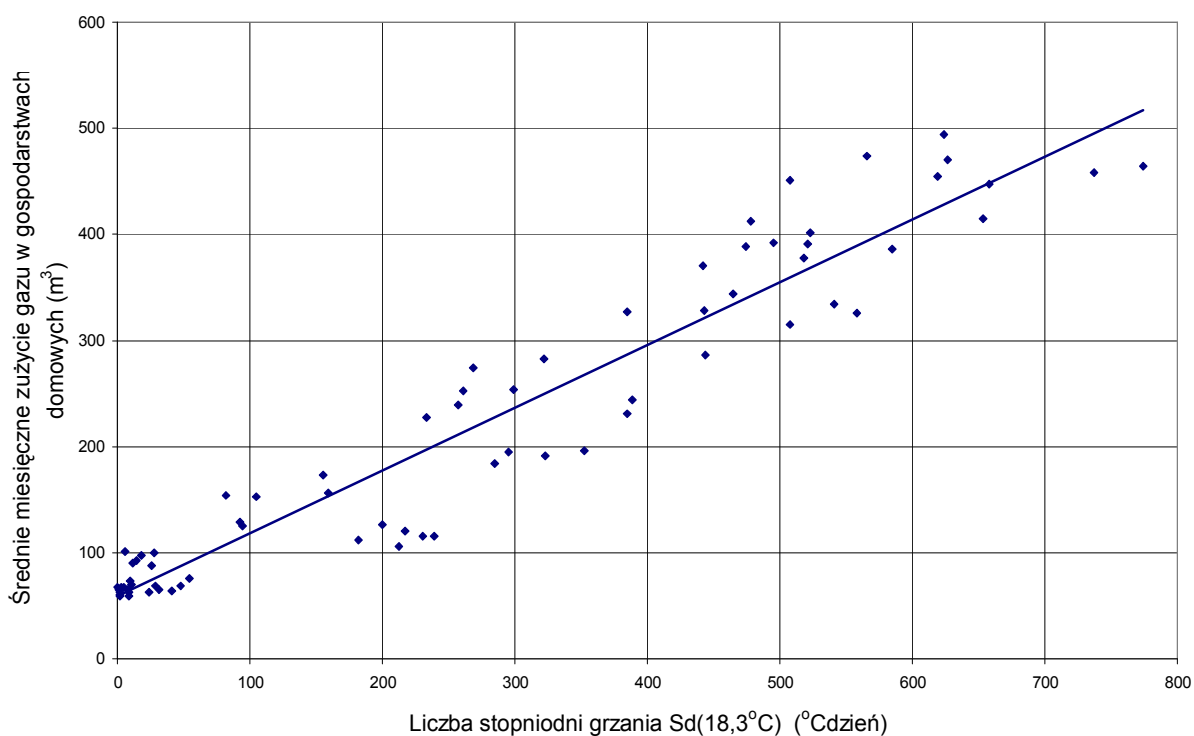
Stan Nowy Jork oraz New Jersey są jednymi z nielicznych stanów, w których średnie roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych nie maleje (rys. 8). W latach 1987-2006 średnie roczne zużycie gazu w gospodarstwach domowych obsługiwanych przez National Grid New York wahało się tak jak zmieniała się liczba stopniodni grzania. Skorygowane średnie zużycie gazu do średniej wieloletniej liczby stopniodni grzania było prawie stałe (rys. 9) pomimo spadku liczby stopniodni grzania dla terenu obsługiwania przez tego dystrybutora gazu ziemnego. Spadek średniego zużycia gazu ziemnego w wielu stanach, spowodowany między innymi wzrostem jego cen, wspierany był stanowymi programami ekonomicznej stymulacji oszczędności energii.

Na rys. 10 przedstawiono prostą regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Nowy Jork względem miesięcznej liczby stopniodni grzania w okresie od stycznia 1999 r. do grudnia 2004 r. Współczynniki prostej regresji mają wartości: $a=60,87451 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$ i $b= 0,589088 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$ a współczynnik korelacji wynosi $r=0,957$.

Miesięczna sprzedaż gazu ziemnego dla odbiorców domowych w stanie Nowy Jork w styczniu 2002 r. o miesięcznej liczbie 517°C dni grzania wynosiła 1,607 mld m^3 gazu. Sprzedaż gazu w styczniu 2003 r. o liczbie 737°C dni grzania wynosiła 1,931 mld m^3 . Różnica zużycia gazu wynosiła 0,324 mld m^3 przy różnicy miesięcznej liczby stopniodni grzania 219°C dni.



Rys. 9. Proste regresji średniego rocznego zużycia gazu ziemnego gospodarstwach domowych obsługiwanych przez dystrybutora gazu National Grid New York oraz liczba stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ}C)$ dla obszaru obsługiwania w latach 1987-2007

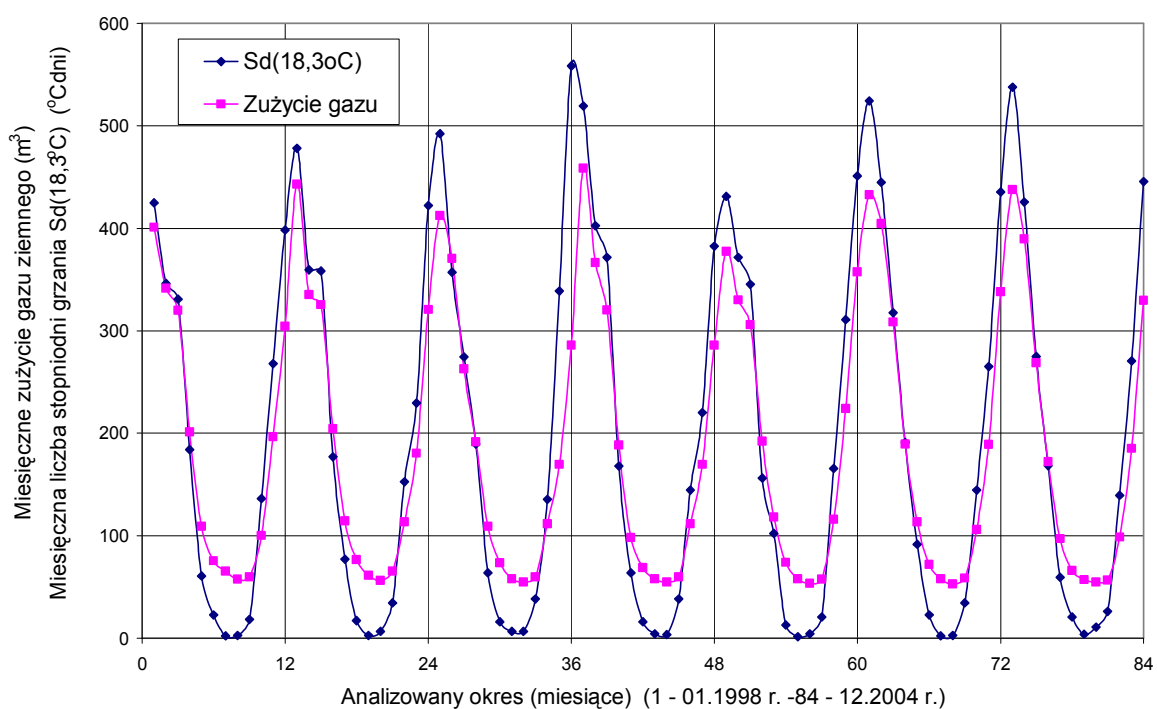


Rys. 10. Prosta regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych [3] względem miesięcznej liczby stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ}C)$ dla stanu Nowy Jork, USA w okresie od 01.1999 r. do 12.2004 r., współczynnik korelacji $r=0,957$, $a=60,87451 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, $b=0,589088 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$.

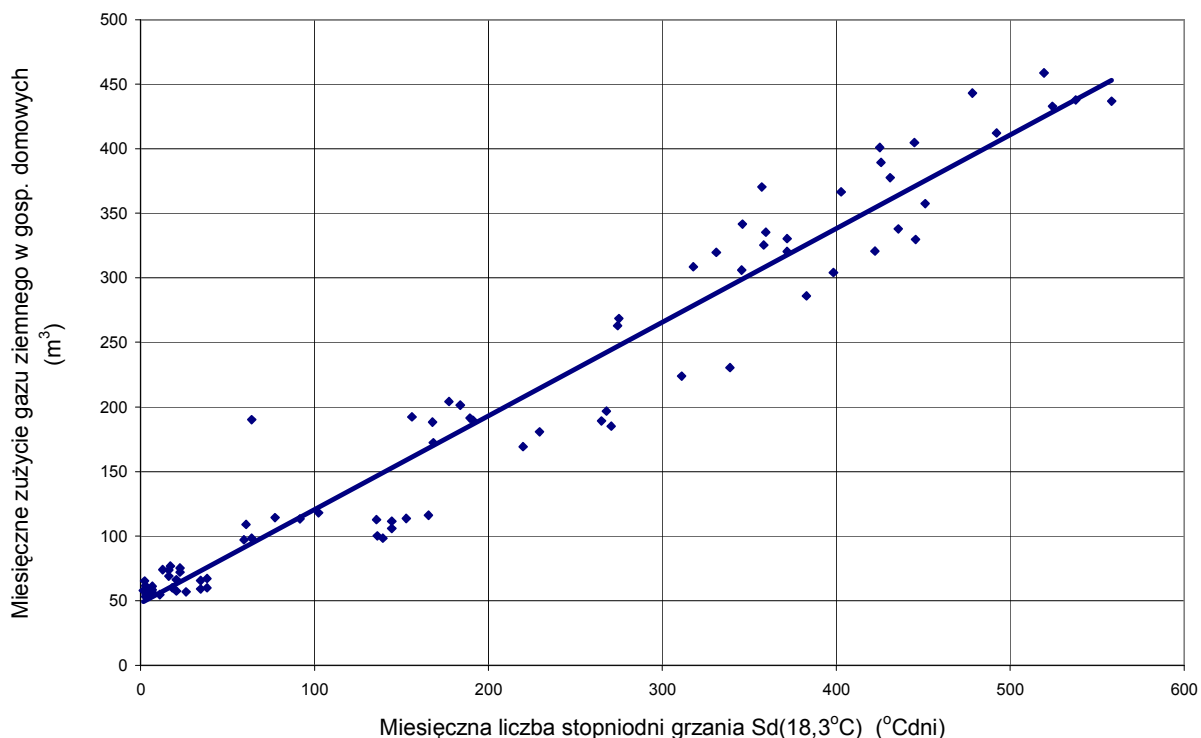
Również dla dużego terytorium USA w przedziale czasu od stycznia 1995 r. do grudnia 2005 r. miesięczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych jest mocno skorelowane liniowo z liczbą stopniodni grzania (rys. 11, 12). Oszacowane wartości współczynników wynoszą: $a=46,16039 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, $b=0,7298641 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$ i współczynnik korelacji $r=0,978$. Dla miesiąca o liczbie stopniodni grzania 300°Cdzień oszacowane średnie miesięczne zużycie gazu w gospodarstwach domowych USA wyniesie $265,1 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, a dla 600°Cdzień – $484,1 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$.

Na rys 13 przedstawiono prostą regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych USA względem liczby stopniodni grzania $S_d(18,3\text{°C})$ w krótkim przedziale czasu w okresie od stycznia 2004 r. do grudnia 2004 r. o współczynniku korelacji $r=0,979$, $a=41,99317 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, $b=0,7174548 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$.

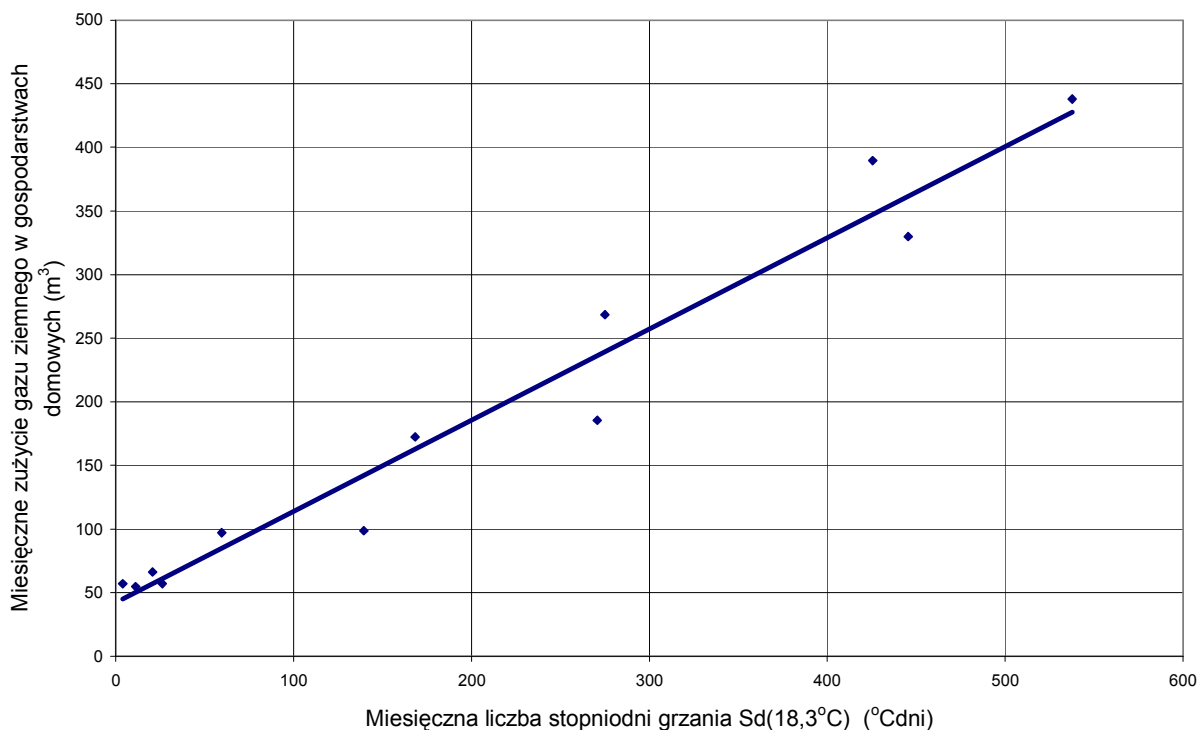
Dla całego terytorium USA (rys. 14) trend spadku średniego rocznego zużycia gazu ziemnego w okresie od 1987 r. do 2006 r. wynosi $31 \text{ m}^3/\text{rok}$, z tego $2,41 \text{ m}^3/\text{rok}$ to spadek spowodowany ociepleniem klimatu. Średnie roczne zużycie gazu skorygowane klimatycznie maleje w tempie: całkowite $28,6 \text{ m}^3/\text{rok}$ w tym zmienne $16,61 \text{ m}^3/\text{rok}$ a stałe niezależne od stopniodni grzania o $11,99 \text{ m}^3/\text{rok}$.



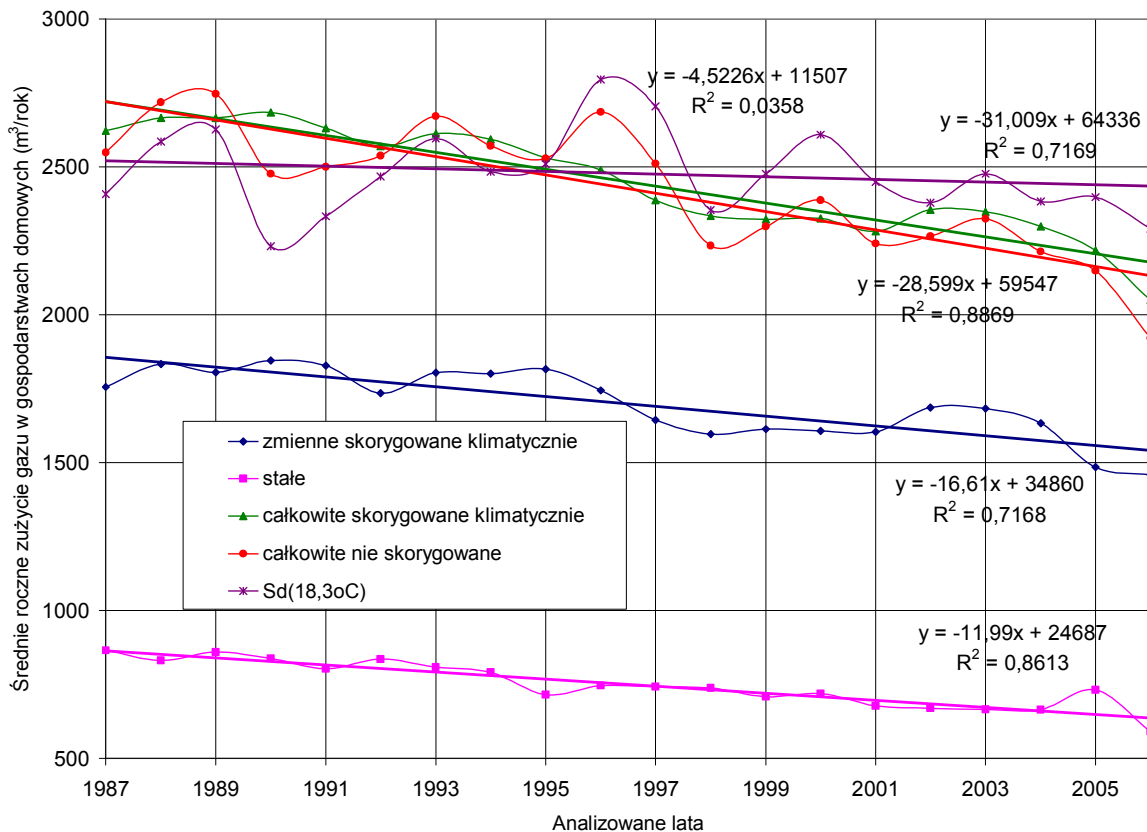
Rys. 11. Średnie miesięczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych [3] oraz liczba stopniodni grzania $S_d(18,3\text{°C})$ dla USA w okresie od 01.1998 r. (1) do 12.2004 r. (84).



Rys. 12. Prosta regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych [3] względem miesięcznej liczby stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ}C)$ dla USA w okresie od 01.1995 r. do 12.2005 r. współczynnik korelacji $r=0,978$, $a=46,16039 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, $b=0,7298641 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$.



Rys. 13. Prosta regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych [3] względem miesięcznej liczby stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ}C)$ w USA w okresie od 01.2004 r. do 12.2004 r., współczynnik korelacji $r=0,979$, $a=41,99317 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$, $b=0,7174548 \text{ m}^3/(\text{°Cdzień miesiąc})$.



Rys. 14. Średnie roczne stałe, zmienne skorygowane klimatycznie, całkowite oraz całkowite skorygowane klimatycznie zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych USA [3] oraz liczba ważonych zaludnieniem stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ}C)$ w latach 1987- 2006

Prognozowanie miesięcznej sprzedaży gazu

Na rys. 15 przedstawiono miesięczną sprzedaż gazu ziemnego dla gospodarstw domowych oraz miesięczną liczbę stopniodni grzania dla okresu od stycznia 2002 r. do czerwca 2006 r. w stanie Michigan. Obie wielkości są mocno skorelowane. Ze wzrostem liczby stopniodni grzania wzrastała sprzedaż gazu ziemnego dla odbiorców domowych na ogrzewanie mieszkań. Im miesiąc był chłodniejszy tym większa liczba stopniodni grzania i tym większy popyt na gaz ziemny. W analizowanym okresie najzimniejszy był styczeń 2004 r. (tabela 3) z liczbą 812,2 $^{\circ}C$ dni grzania a najcieplejszym styczniem był styczeń w 2006 r. z liczbą 546,7 $^{\circ}C$ dni grzania a różnica między nimi wynosiła 265,5 $^{\circ}C$ dni grzania.

Jako przykład krótkoterminowego prognozowania zużycia gazu ziemnego dla dużego terytorium stanu Michigan omówione będą dane z lat od 01.2002 r. do 12.2005 r. podawane przez [3] w dniu 26.12.2006 r. Na rys. 16 przedstawiono prostą regresji miesięcznej sprzedaży gazu ziemnego dla gospodarstw domowych w stanie Michigan względem miesięcznej liczby stopniodni grzania dla okresu od stycznia 2002 r. do grudnia 2005 r. Obie wielkości wykazują silną korelację ze współczynnikiem korelacji $r=0,977$. Współczynniki prostej regresji wynoszą $a=147,6139$ mln m^3 /miesiąc i $b=2,289915$ mln m^3 / $(^{\circ}C$ dzień miesiąc). Stałe miesięczne zużycie gazu ziemnego można oszacować na 147,6139 mln m^3 .

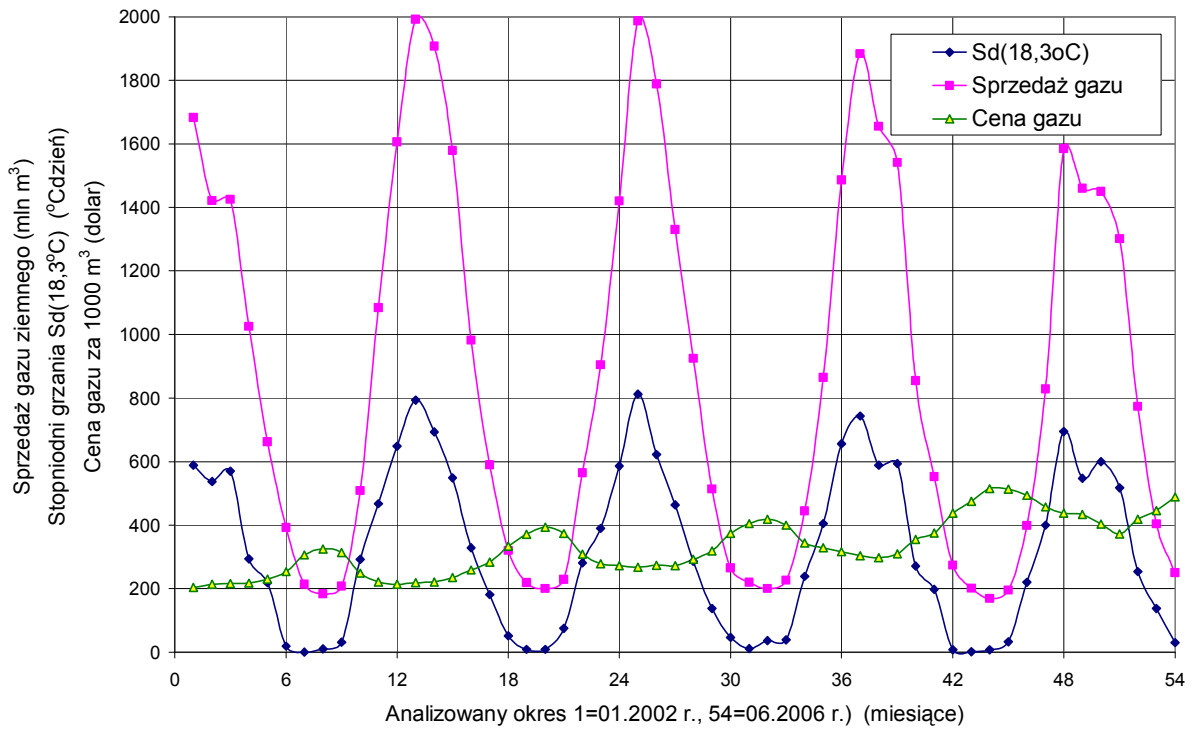
Z prostej regresji można prognozować dla stycznia 2006 r. sprzedaż gazu ziemnego w wysokości $E(546,7^{\circ}C$ dni)=1,3995 mld m^3 . W rzeczywistości w styczniu 2006 r. sprzedano 1,46 mld m^3 (tabela 3). Błąd prognozy wynosił -4,14%. Dla lutego 2006 r. można prognozować zużycie gazu ziemnego w wysokości $E(599,4^{\circ}C$ dni)=1,52 mld m^3 a rzeczywista sprzedaż

w lutym 2006 r. wynosiła 1,45 mld m³. Błąd prognozy wynosił 4,83%. Dla marca 2006 r. można prognozować zużycie gazu ziemnego w wysokości $E(517,2^{\circ}\text{Cdni})=1,332$ mld m³ a rzeczywiście sprzedana objętość gazu w marcu 2006 r. wynosiła 1,302 mld m³. Błąd prognozy dla marca 2006 r. wynosił 2,3%.

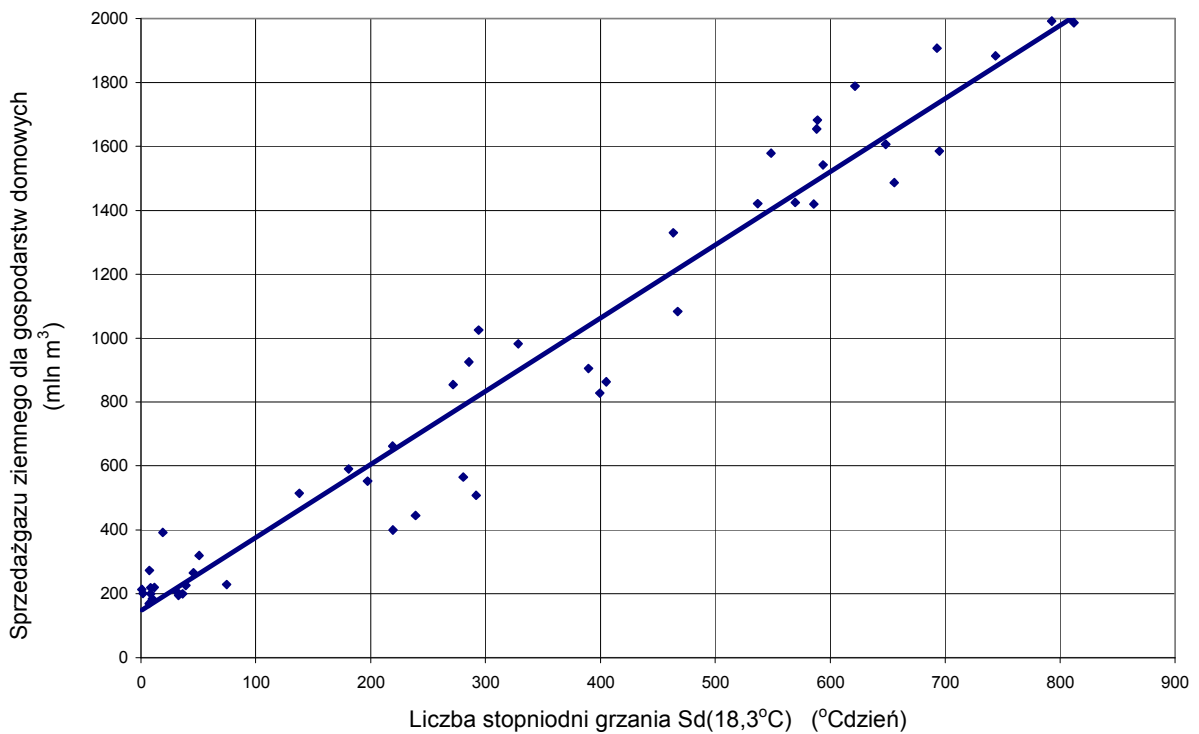
Tabela 3. Miesięczna sprzedaż gazu ziemnego dla gospodarstw domowych [3], średnie miesięczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych, cena brutto gazu ziemnego w stanie Michigan oraz miesięczna liczba stopniodni grzania $S_d(18,3^{\circ}\text{C})$.

Miesiąc	Sprzedaż gazu dla gospodarstw domowych	Średnie miesięczne zużycie gazu w gospodarstwach domowych	$S_d(18,3^{\circ}\text{C})$	Cena brutto gazu
---	mld m ³	m ³	^o Cdzień	Dolar/m ³
01.2004	1,987	628,4	812,2	0,267
02.2004	1,789	547,9	621,7	0,274
03.2004	1,330	420,6	463,3	0,272
04.2004	0,925	292,7	285,6	0,292
05.2004	0,514	162,7	137,8	0,318
06.2004	0,265	83,7	45,6	0,374
07.2004	0,220	69,6	11,7	0,405
08.2004	0,200	63,2	36,1	0,418
09.2004	0,226	71,4	38,9	0,400
10.2004	0,445	140,8	238,9	0,344
11.2004	0,864	273,2	405,0	0,328
12.2004	1,487	470,4	655,6	0,316
01.2005	1,884	591,9	743,9	0,303
02.2005	1,655	520,1	588,3	0,297
03.2006	1,542	484,3	593,9	0,310
04.2005	0,855	268,7	271,7	0,355
05.2005	0,552	173,5	197,2	0,375
06.2005	0,273	85,9	7,2	0,437
07.2005	0,201	63,1	1,7	0,475
08.2005	0,169	53,0	7,2	0,515
09.2005	0,195	61,2	32,8	0,513
10.2005	0,399	125,4	219,4	0,494
11.2005	0,828	260,0	399,4	0,457
12.2005	1,585	498,0	695,0	0,437
01.2006	1,460	458,9	546,7	0,433
02.2006	1,450	455,5	599,4	0,404
03.2006	1,302	409,2	517,2	0,372
04.2006	0,773	242,9	253,9	0,419
05.2006	0,404	127,0	137,2	0,446
06.2006	0,250	78,5	30,6	0,488

W analizowanym okresie dla najzimniejszego stycznia 2004 r. prognozowana sprzedaż wynosiłaby $E(812,2^{\circ}\text{Cdni})=2,00748$ mld m³ a dla najcieplejszego stycznia 2006 r. – $E(546,7^{\circ}\text{Cdni})=1,3995$ mld m³ a różnica w prognozowanej sprzedaży miesięcznej wynosiłaby 0,608 mld m³. Rzeczywista sprzedaż miesięczna różniła się o 0,527 mld m³.



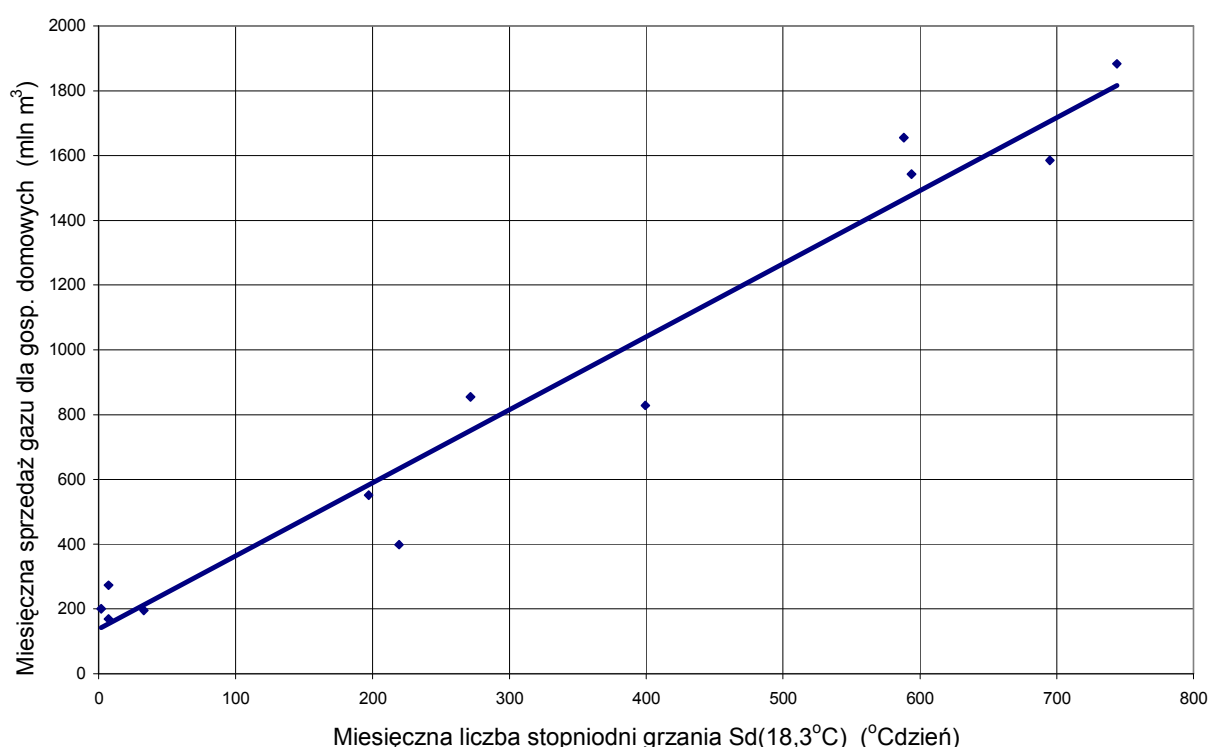
Rys. 15. Sprzedaż, cena gazu ziemnego dla gospodarstw domowych [3] oraz liczba stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ}C)$ dla stanu Michigan w okresie od 01.2002 r. do 06.2006 r.



Rys. 16. Prosta regresji miesięcznej sprzedaży gazu ziemnego dla gospodarstw domowych [3] względem liczby stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ}C)$ dla stanu Michigan w okresie od 01.2002 r. do 12.2005 r., współczynnik korelacji $r=0,977$, $a=147,6139$ mln m^3 /miesiąc, $b=2,289915$ mln m^3 /°Cdzień miesiąc).

Parametry prostej regresji miesięcznej sprzedaży gazu ziemnego dla gospodarstw domowych w stanie Michigan (rys. 17) względem miesięcznej liczby stopniodni grzania dla krótkiego okresu od stycznia 2005 r. do grudnia 2005 r. wynoszą $a=137,757$ mln m^3 /miesiąc i $b=2,257995$ mln m^3 /($^{\circ}C$ dzień miesiąc) a współczynnik korelacji $r=0,9796$.

Z tej zależności między miesięczną sprzedażą gazu ziemnego a miesięczną liczbą stopniodni grzania można prognozować dla stycznia 2006 r. zużycie gazu ziemnego w wysokości $E(546,7^{\circ}Cdn)=1,3722$ mld m^3 . W rzeczywistości sprzedano w styczniu 2006 r. 1,46 mld m^3 gazu (tabela 3) a błąd prognozy wynosił -6,01%. Dla lutego 2006 r. można prognozować zużycie gazu ziemnego w wysokości $E(599,4^{\circ}Cdn)=1,4912$ mld m^3 a rzeczywista sprzedaż gazu w lutym 2006 r. wynosiła 1,45 mld m^3 . Błąd prognozy dla lutego 2006 r. wyniósł 2,84%. W przypadku marca 2006 r. można prognozować zużycie gazu ziemnego w wysokości $E(517,2^{\circ}Cdn)=1,3056$ mld m^3 a rzeczywista sprzedaż gazu w marcu 2006 r. wynosiła 1,302 mld m^3 . Prognoza sprzedaży gazu w marcu 2006 r. obarczona była błędem 0,28%.



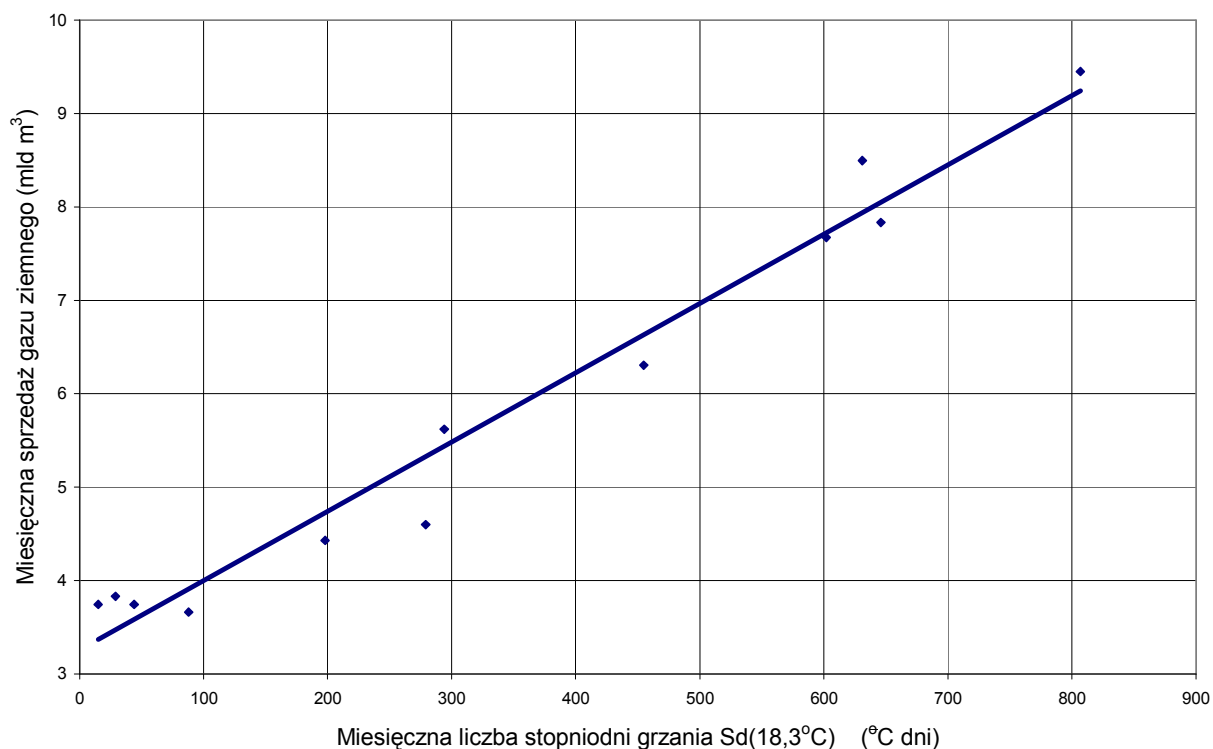
Rys. 17. Prosta regresji miesięcznej sprzedaży gazu ziemnego dla gospodarstw domowych względem liczby stopniodni grzania $S_d(18,3^{\circ}C)$ dla stanu Michigan [3] w okresie od 01.2005 r. do 12.2005 r. Współczynnik korelacji $r=0,9796$, $a=137,7576$ mln m^3 /miesiąc, $b=2,257995$ mln m^3 /($^{\circ}C$ dzień miesiąc).

Szacowanie parametrów prostej regresji miesięcznej sprzedaży gazu względem stopniodni grzania powinno być wykonywane w sposób kroczący, najlepiej z ostatnich 12 miesięcy. Parametry prostej regresji a i b ulegają zmianie wskutek termomodernizacji budynków, wzrostu powierzchni mieszkań, poprawy sprawności kotłów, podgrzewaczy wody, kuchni i malejącej liczby osób w gospodarstwach domowych [4-6].

Prognozowanie miesięcznej sprzedaży gazu z danych poprzedniego roku

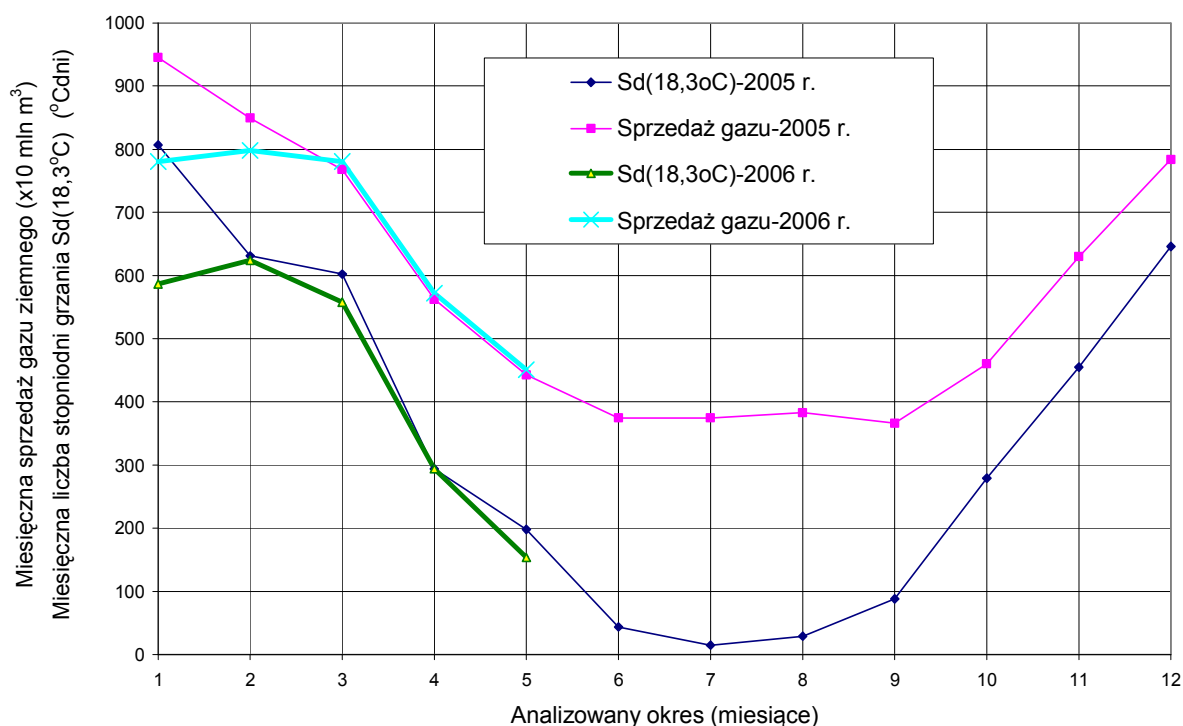
Jako przykład krótkoterminowego prognozowania sprzedaży gazu ziemnego dla dużego i zróżnicowanego klimatycznie terytorium omówione będą informacje podawane w [7] dla

Kanady. Na **rys. 18** przedstawiono prostą regresji miesięcznej sprzedaży gazu ziemnego w Kanadzie względem liczby stopniodni grzania dla okresu od stycznia 2005 r. do grudnia 2005 r. Obie wielkości wykazują mocną korelację a wartości współczynników wynoszą $a=3,25$ mld m³/miesiąc i $b=0,0075$ mld m³/(°Cdzień miesiąc). Z tej prostej regresji można prognozować sprzedaż gazu w miesiącach następnego 2006 roku. Dla stycznia 2006 r. można prognozować sprzedaż gazu ziemnego w wysokości $E(587^{\circ}\text{Cdni})=7,653$ mld m³. W rzeczywistości sprzedano w styczniu 2006 r. 7,805 mld m³ gazu a błąd oszacowania wyniósł -1,95%. Stałe miesięczne zużycie gazu można oszacować na 3,33 mld m³.



Rys. 18. Prosta regresji miesięcznej sprzedaży gazu ziemnego względem miesięcznej liczby stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ})$ dla Kanady [7] dla okresu od 01. 2005 r. do 12.2005 r.

W Kanadzie na dane poprzedniego 2005 roku nanosi się dane bieżącego 2006 roku i porównuje zmiany (**rys. 19**). Ciepleszy styczeń 2006 r. o około 220°Cdni w stosunku do stycznia 2005 r. spowodował spadek miesięcznej sprzedaży gazu ziemnego w Kanadzie o 1,65 mld m³. Ten miesięczny spadek sprzedaży gazu odpowiada objętości wszystkich magazynów gazu w Polsce. Stopniodni grzania oblicza się na bieżąco dla każdego dnia i podaje na stronach internetowych z jednodniowym opóźnieniem. Możliwość oszacowania tak dużej zmiany w miesięcznej sprzedaży gazu pozwala lepiej sterować wydobyciem, przesyłem i magazynowaniem gazu.



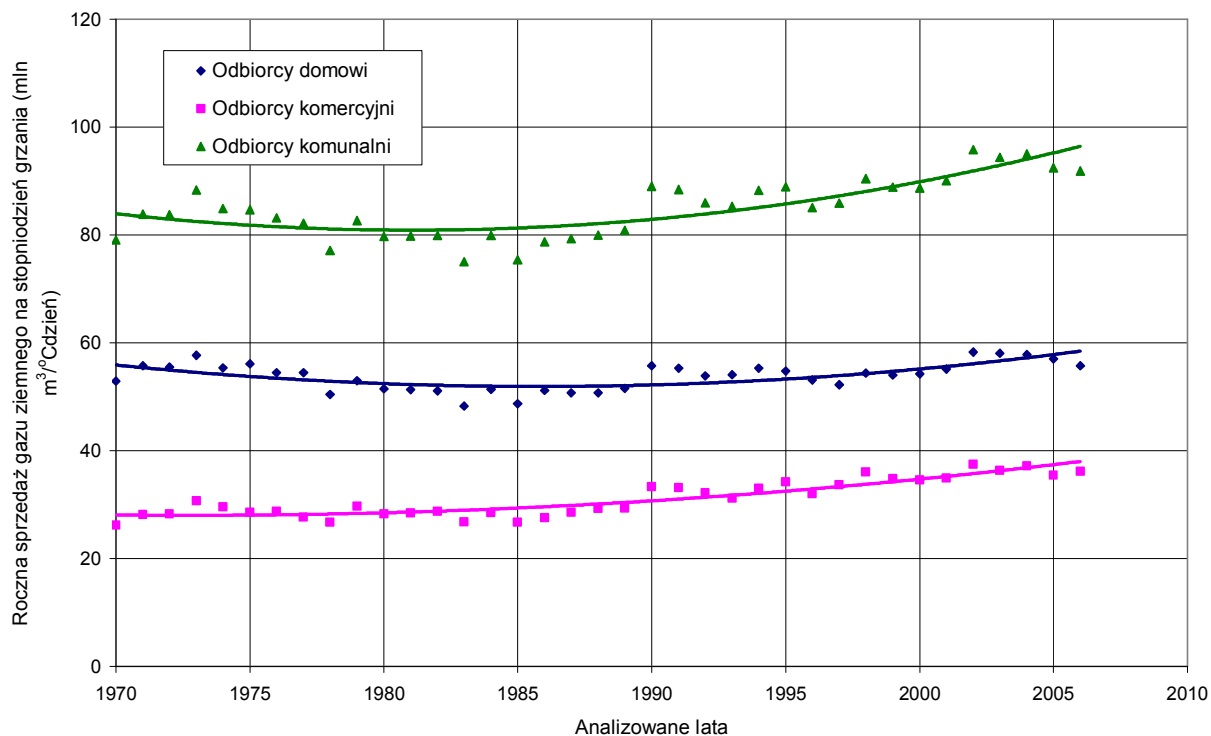
Rys. 19. Miesięczna sprzedaż gazu ziemnego oraz miesięczna liczba stopniodni grzania $Sd(18,3^{\circ})$ dla okresu od 01.2005 r. do 05. 2006 r. dla Kanady [7].

Wnioski

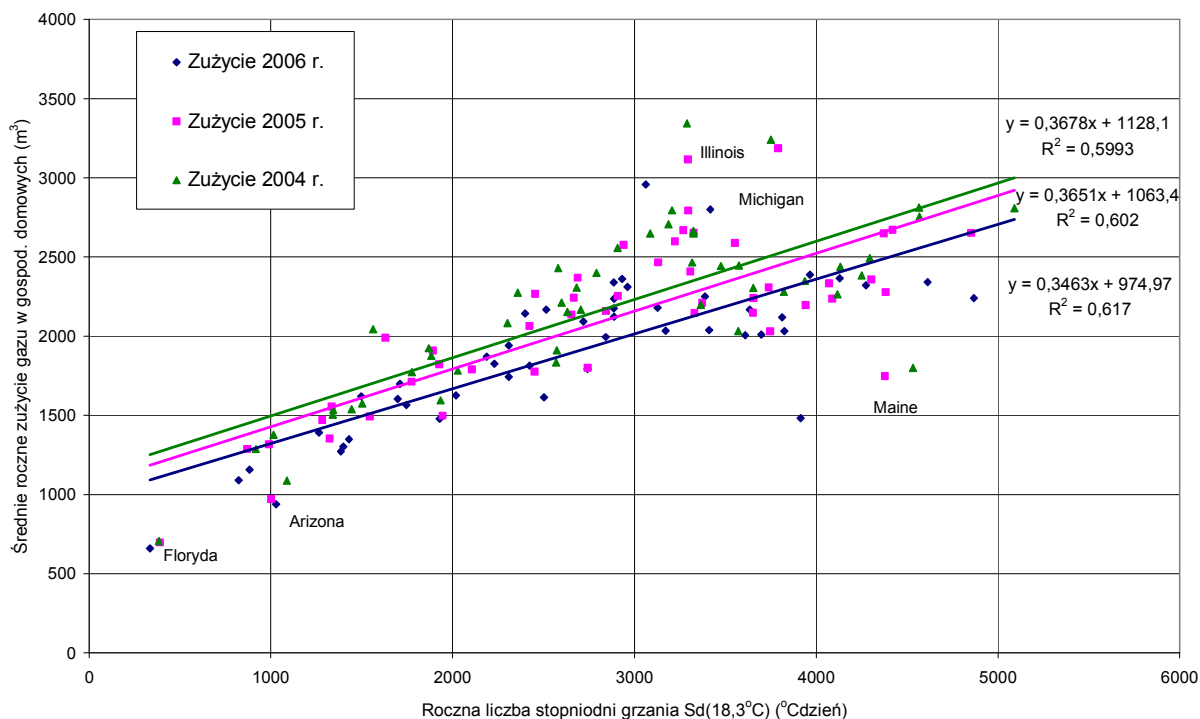
Liczba stopniodni grzania jest dobrym narzędziem do przewidywania popytu na dowolne paliwo przeznaczone na ogrzewanie domów mieszkalnych i budynków komunalnych [8]. Powinna ona być wyznaczana dla obszaru obsługiwanego przez polskich dostawców energii cieplnej i gazu ziemnego i porównywana z zużyciem energii.

W USA wyznacza się sprzedaż gazu ziemnego oraz innych paliw na jeden stopnidzień grzania dla odbiorców komunalnych (odbiorcy domowi i komercyjni) (rys. 20) 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 stopniodni grzania stwierdzonego w okresie wieloletnim. W przypadku USA można prognozować wzrost rocznej sprzedaży dla odbiorców komunalnych pomimo spadku średniego rocznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych (rys. 21).

Zużycie energii na stopnidzień 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.



Rys. 20. Roczna sprzedaż gazu ziemnego dla odbiorców domowych, komercyjnych i komunalnych [4] na stopniodzień grzania $S_d(18,3^{\circ}\text{C})$ [2] dla USA w latach 1970-2006. Źródło: Monthly Energy Review and Short Term Energy Outlook



Rys. 21. Średnie roczne zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych [4] poszczególnych stanów USA względem rocznej liczby stopniodni grzania $S_d(18,3^{\circ}\text{C})$ [2] dla lat 2004, 2005 i 2006.

Literatura

- [1] McKay G.A., Allsoppt: The role of climate in effecting energy demand/supply w Bach W., Pankrath J., Williams J.: Interactions of Energy and Climate. pp 53-72. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- [2] U. Kossowska-Cezak „Meteorologia i klimatologia. Pomiary, obserwacje, opracowania”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź 2000
- [3] U.S. Energy Information Administration. Updated on 29.11.2006.
<http://tonto.eia.doe.gov/bdnav/ng/hist/n3010us2m.htm>
- [4] Dopke J.: Trendy zmian zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych w USA. Wiadomości Naftowe i Gazownicze nr 11 (103) 2006, str. 15-19.
- [5] Dopke J.: Zależność zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych od liczby stopniodni grzania. Rynek Energii nr 5 (66) 2006, str. 75-86.
- [6] Dopke J.: Zużycie gazu ziemnego w gospodarstwach domowych i trendy jego zmian. Nowoczesne Gazownictwo 2005 (XI) nr 1.
- [7] Canadian Natural Gas. Monthly Market Update. July 2006
- [8] Matzarakis A., Balafoutis C.: Heating Degree-Days over Greece as an Index of Energy Consumption. International Journal of Climatology. 24: 1817-1828, 2004.

Mgr inż. Józef Dopke

e-mail: jozefdopke@wp.pl

Prognozowanie zużycia gazu ziemnego przez odbiorców domowych z liczby stopniodni grzania

Słowa kluczowe: gaz ziemny, stopniodni grzania

Streszczenie. Liczba stopniodni grzania stosowana jest do prognozowania zużycia energii na ogrzewanie pomieszczeń mieszkalnych podczas sezonu grzewczego. Liczbę stopniodni grzania oblicza się z maksymalnych i minimalnych temperatur dziennych powietrza i założonej temperatury bazowej powietrza równej 18,3°C (65°F).

Przedstawiono proste regresji średniego miesięcznego zużycia gazu ziemnego w gospodarstwach domowych stanu Illinois, Michigan, Nebraska, Pensylwania, Nowy Jork i USA względem miesięcznej liczby stopniodni grzania oraz proste regresji miesięcznej sprzedaży gazu ziemnego względem miesięcznej liczby stopniodni grzania dla Michigan i Kanady. Przedstawiono możliwości prognozowania miesięcznej sprzedaży gazu ziemnego poprzez porównanie stopniodni grzania i sprzedaży gazu z poprzedniego roku z liczbą stopniodni grzania bieżącego miesiąca. Przedstawiono wieloletnie prognozowanie popytu na gaz ziemny dla odbiorców komunalnych w USA ze sprzedaży gazu na stopniodzień grzania. Liczba stopniodni grzania może być dobrym narzędziem dla inżynierów do prognozowania sprzedaży gazu ziemnego na ogrzewanie domów.

Master of eng. Józef Dopke

e-mail: jozefdopke@wp.pl

The Forecasting of Natural Gas Use in Households from the Heating Degree Days

Master of eng. Józef Dopke

Key words: natural gas, heating degree days

Summary. The heating degree days (HDDs) are used to estimate the amount of energy required for residential space heating during the cool season. HDDs are calculated by using daily maximum and minimum air temperature and then compared with an determined basic air temperature equal 18,3°C (65°F).

The paper presents regression line for relationship between natural gas use in households and heating degree days weighted by population for state Michigan, Nebraska, Illinois, Pennsylvania, New York and United States. Figures illustrate the regression line for relationship between natural gas sale for Michigan and Canada. The author presents the forecasting of monthly natural gas sale in Michigan and Canada. The graphical presentation of buildings sector natural gas consumption per heating degree day for forecasting of natural gas use. Natural gas consumption per heating degree days can be a useful tool to engineers, in forecasting the residential and commercial natural gas consumption.