

Opracowanie metody oraz wyznaczenie wskaźników pogodowych do szacowania zużycia gazu na potrzeby usługi dystrybucyjnej wśród odbiorców, u których nie wykonuje się dobowych pomiarów ilości zużycia gazu

Development of a method and determination of weather indicators for estimating gas consumption for the purposes of the distribution service for non-daily metered gas customers

Zbigniew Gacek, Jacek Jaworski

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono sposób rozliczania odbiorców, którzy nie mają dobowej rejestracji zużycia paliwa gazowego. Zaprezentowano charakterystykę metody doszacowywania i prognozowania zużycia gazu stosowanej w polskim gazownictwie do października 2021 roku. Opisano zasady doszacowywania i prognozowania zużycia gazu metodą temperaturową. Przedstawiono autorską metodykę rozszacowania zużycia gazu metodą „cieplną” oraz sposób oszacowania dobowych historycznych zużyć gazu przez odbiorców z danych odczytowych gazomierzy. Opracowano zasady wyznaczania wskaźników pogodowych WSK w polskim systemie gazowniczym. Na podstawie danych zużycia gazu otrzymanych od operatora systemu dystrybucyjnego – Polskiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o. przedstawiono realizację wyznaczania wskaźników progowych WSK. W opracowanej na potrzeby realizacji pracy aplikacji wspomagającej „WSK” wer. 0.21 przeprowadzono obliczenia dobowego zużycia gazu przez odbiorców w funkcji temperatury dla każdej strefy temperaturowej. Na podstawie obliczonych zużyć dobowych paliwa gazowego dokonano analizy regresji dla dwóch modeli statystycznych: modelu liniowego $Y = a + bX$ oraz modelu pierwiastek kwadratowy- $Y = (a + bX)^2$. Analizę korelacji przeprowadzono dla grup taryfowych oraz podzielonych na dwie części (podgrupy a i b) grup taryfowych. Wskaźniki pogodowe zostały wyznaczone na podstawie wyników analizy regresji. Analiza uzyskanych wartości współczynników korelacji r i R^2 wskazuje, że uzyskano większe wartości tych współczynników w podgrupach niż w przypadku grup taryfowych. W sensie statystycznym oznacza to, że otrzymano lepsze dopasowanie modelu w przypadku podgrup, stąd też można przypuszczać, że stosowanie współczynników WSK w podgrupach będzie dokładniejszym sposobem wyznaczania zużycia gazu. Opracowana metodyka badawcza oraz obliczeniowa pozwoliła na wypracowanie koncepcji zasad wyznaczania wskaźników WSK. W pracy wskazano, że oprócz wpływu warunków klimatycznych na wielkość zużycia gazu istotny jest również charakter poboru gazu, tj. czynniki gospodarcze oraz możliwości wytwarzania energii w alternatywny sposób, determinujące wielkość konsumpcji gazu. Przeprowadzona analiza regresji liniowej wykazała statystycznie istotną korelację pomiędzy wartością dziennego zużycia gazu, a średnią dzienną temperaturą otoczenia. Przyjęta w pracy metodyka pozwoliła na wyznaczenie niezależnych dwóch modeli WSK. Pierwszy z nich określa jedną wartość wskaźnika WSK dla grupy taryfowej, a drugi dwa wskaźniki WSK dla podgrup taryfowych. Mając na względzie większe wartości współczynników korelacji, ten ostatni model jest rekomendowany do stosowania w praktyce. Wyznaczone wskaźniki WSK zostały wdrożone do stosowania w polskim systemie gazowym do szacowania oraz prognozowania zużycia gazu w punktach wyjścia typu WS – tzw. metodą temperaturową, wykorzystywaną w PSG do końca października 2021 roku.

Słowa kluczowe: szacowanie objętości paliwa gazowego, prognozowanie zużycia gazu, wskaźniki pogodowe WSK, rozliczanie odbiorców typu WS.

ABSTRACT: The article presents the method of billing for non-daily metered customers. Characteristics of the method of estimation and thresholding of gas consumption used in the Polish gas industry up to October 2021 are presented. The principles of additional estimation and forecasting of gas consumption using the temperature method are described. The paper presents the proprietary methodology of gas consumption estimation using the “thermal” method and the method of estimating historical daily gas consumption by consumers based on gas meters readout data. Principles for determining WSK weather indicators in the Polish gas system have been developed. Based

Autor do korespondencji: Z. Gacek, e-mail: zbigniew.gacek@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 12.11.2021 r. Zatwierdzono do druku: 06.12.2021 r.

on gas consumption data obtained from the Polish Natural Gas Operator Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o., the implementation of determining the threshold WSK indicators was done. In the supporting application 'WSK' ver. 0.21, calculations of the daily gas consumption of consumers as a function of temperature for each temperature zone were carried out. Based on the calculated daily gas consumption, a regression analysis for two statistical models: the linear model $Y = a + bX$ and the square root-Y model: $Y = (a + bX)^2$ was performed. The correlation analyses were carried out for main tariff groups and for tariff groups divided into two parts (subgroups a and b). The weather indicators were determined based on the results of the regression analysis. The analysis of the obtained values of the correlation coefficients r and R^2 shows that higher values of these coefficients were obtained in the subgroups than in the case of tariff groups. In statistical terms, this means that a better fit of the model was obtained for the subgroups. Hence, it can be assumed that the use of WSK coefficients in subgroups will provide a more accurate method of determining gas consumption. The developed research and computational methodology allowed for the development of the concept of principles for determining WSK indicators. The paper shows that apart from the influence of climatic conditions on the volume of gas consumption, the nature of gas consumption, i.e. economic factors and the possibility of producing energy in an alternative way, determining the volume of gas consumption, is also important. The linear regression analysis showed a statistically significant correlation between the value of daily gas consumption and the average daily ambient temperature. The methodology adopted in the work allowed for the determination of two independent WSK models. The first one, specifying one value of the WSK index for a tariff group, and the second one with two WSK indexes for sub-tariff groups. Taking into account the higher values of the correlation coefficients, the latter model is recommended for use in practice. The determined WSK indicators have been implemented for use in the Polish gas system for estimating and forecasting gas consumption for non-daily metered gas customers.

Key words: gas fuel volume estimation, gas consumption forecasting, WSK weather indicators, settlement of WS type customers.

Wprowadzenie

Określenie ilości zużytego paliwa gazowego przez odbiorcę końcowego gazu nieposiadającego systemów rejestracji i transmisji jest bardzo istotnym zagadnieniem dla operatora systemu dystrybucyjnego. Rejestracja stanów gazomierzy, zwana potocznie odczytami gazomierzy, dla odbiorców zużywających gaz w ilości do 110 kWh/h odbywa się dosyć rzadko, w zależności od grupy taryfowej odbiorcy może to być 1, 2, 6 lub 9 razy w roku (grupa taryfowa określa wartość rocznego zużycia gazu przez odbiorcę). Natomiast rozliczanie usługi dystrybucyjnej następuje w umownych okresach, których początek i koniec nie pokrywa się z odczytami stanów gazomierzy (Gacek i Jaworski, 2018). Dlatego aby wyznaczyć ilość dystrybuowanego paliwa gazowego na koniec okresu rozliczenia usługi dystrybucyjnej, operator musi oszacować zużycie gazu przez odbiorców końcowych w okresach rozliczeniowych pomiędzy odczytami gazomierzy. Dodatkowo operator systemu dystrybucyjnego rozlicza ze sprzedawcami ilości wprowadzonego gazu w cyklach dobowych, w celu bilansowania systemu, oraz prognozuje zapotrzebowanie na paliwo gazowe w cyklach dobowych – w celu ustalenia odpowiednich kontraktów na zakup gazu.

Metoda temperaturowa

Doszacowywanie i prognozowanie ilości gazu realizowane przez największego w Polsce operatora systemu dystrybucyjnego (OSD) – Polską Spółkę Gazownictwa Sp. z o.o. (PSG) do października 2021 roku oparte było głównie na metodzie

temperaturowej z wykorzystaniem historycznych danych zużycia paliwa gazowego. Od 2018 roku stosowana jest również druga metoda, oparta na standardowych profilach obciążenia (SLP) (Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o., 2018). Metoda SLP polega na sigmoidalnym powiązaniu średniej dziennej temperatury ze zużyciem gazu. Metoda ta również wykorzystuje historyczne dane zużycia, wprowadza także pewną bezwładność temperatury otoczenia, uwzględniając średnią ważoną temperaturę z trzech poprzedzających dni.

Metoda temperaturowa jest opisana w punkcie 21.6 Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (IRiESD) (Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o., 2019), natomiast metoda SLP – w punkcie 21.9 IRiESD. Rozwiązanie pierwsze, tzn. metoda temperaturowa, było stosowane od wielu lat w polskim systemie gazowniczym. Metoda temperaturowa zakłada powiązanie zużycia paliwa gazowego ze zmianą temperatury zewnętrznej. Bieżąca szacowana objętość paliwa gazowego dla punktu wyjścia typu WS lub suma szacowanych objętości paliwa gazowego dla punktów wyjścia typu WS dla danej grupy taryfowej określana jest na podstawie średniodobowego zużycia paliwa gazowego oraz temperatury zgodnie ze wzorem (1) (INiG, 2012; Gacek i Jaworski, 2018). Przez punkty wyjścia typu WS należy rozumieć odbiorców rozliczanych wyłącznie z ilości dostarczonego paliwa gazowego. Są to odbiorcy, dla których nie wykonuje się dobowych pomiarów ilości zużycia gazu.

$$V_{db} = D \cdot \dot{SDZ} + WSK \cdot \Delta LDG \text{ [m}^3\text{]} \quad (1)$$

gdzie:

V_{db} – szacowana ilość paliwa gazowego dla punktu wyjścia typu WS [m³],

D – liczba dni (dób) doszacowania, tj. okres od ostatniego odczytu do dnia doszacowania,

$\dot{S}D\dot{Z}$ – średniodobowe zużycie historyczne (w analogicznym okresie poprzedniego roku). W przypadku gdy nie jest ono znane (np. nowy odbiorca), przyjmuje się średnią wartość dla grupy [m^3],

WSK – współczynnik temperaturowy określający zmianę średniodobowego zużycia w wyniku zmiany temperatury o jeden stopień Celsjusza, wyznaczony na podstawie przeprowadzonej analizy wpływu temperatur na zużycie w okresie minimum jednego roku, dla którego dokonano odczytów stanu układów pomiarowych [$m^3/^\circ C$],

ΔLDG – zmiana gazowego zapotrzebowania grzewczego w okresie objętym szacowaniem w stosunku do analogicznego okresu w roku poprzednim, gdzie gazowe zapotrzebowanie grzewcze wyrażane w stopniodniach grzania określane jest jako różnica między temperaturą bazową ($15^\circ C$) a temperaturą zanotowaną w każdym dniu okresu objętego szacowaniem, przy czym gazowe zapotrzebowanie grzewcze obliczane jest dla temperatur niższych od temperatury bazowej (dla temperatur wyższych od temperatury bazowej gazowe zapotrzebowanie grzewcze wynosi 0) [$^\circ C$].

Pierwsza część powyższego wzoru: $D \cdot \dot{S}D\dot{Z}$ to ilość paliwa gazowego pobranego przez odbiorcę w analogicznym okresie poprzedniego roku, natomiast $WSK \cdot \Delta LDG$ to zmiana ilości pobranego paliwa gazowego spowodowana zmianą temperatury w okresie poprzednim (bazowym) i okresie, w którym przeprowadza się doszacowywanie.

$$\dot{S}D\dot{Z} = V / n \quad (2)$$

gdzie:

$\dot{S}D\dot{Z}$ – zużycie dobowe gazu [m^3],

V – zużyta objętość gazu [m^3],

n – liczba dni pomiędzy odczytami licznika gazowego.

Zmiana liczby stopniodni grzania:

$$\Delta LDG = LDG_d - LDG_b \quad [^\circ C] \quad (3)$$

gdzie:

LDG_d – liczba stopniodni grzania w okresie doszacowywania,

LDG_b – liczba stopniodni grzania w okresie bazowym.

Liczba stopniodni grzania w danym okresie to suma różnic:

$$LDG = \sum_G (TB - \dot{S}TP) \quad [^\circ C] \quad (4)$$

gdzie:

\sum_G – suma dla wszystkich dni grzewczych,

TB – temperatura bazowa [$^\circ C$],

$\dot{S}TP$ – średnia dobowo temperatura powietrza [$^\circ C$].

Do wyliczenia szacowanej ilości paliwa gazowego dla każdego punktu wyjścia typu WS w równaniu (1) niezbędny jest współczynnik temperaturowy WSK określający

zmianę średniodobowego zużycia wraz ze zmianą temperatury. Współczynnik ten będzie różny dla odbiorców o odmiennym charakterze zużycia gazu (np. mniejsze powiązanie zużycia gazu z temperaturą w przypadku odbiorcy z taryfą W-1 niż w przypadku odbiorcy z taryfą W-3). Największa korelacja zużycia z temperaturą będzie dla odbiorców wykorzystujących gaz do ogrzewania pomieszczeń. Jest to korelacja ujemna, tzn. wraz ze spadkiem temperatury będzie rosło zużycie paliwa gazowego, a wraz ze wzrostem temperatury zużycie paliwa gazowego będzie się zmniejszało aż do osiągnięcia temperatury zwanej bazową, powyżej której zużycie gazu pozostaje na stałym poziomie (zużycie gazu do przygotowania posiłków oraz ciepłej wody użytkowej).

Dane źródłowe

Pierwszym krokiem do wytypowania reprezentatywnych odbiorców, dla których występuje właściwa relacja zróżnicowana pod względem charakteru zużycia gazu, zabudowy, wielkości zużycia gazu, warunków klimatycznych itp., była analiza struktury odbiorców w poszczególnych spółkach gazownictwa (INiG, 2012). Ponieważ w czasie realizacji pracy spółki gazownictwa wchodzące dzisiaj jako oddziały w skład Polskiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o. były odrębnymi przedsiębiorstwami, w dalszym ciągu publikacji będzie mowa o Górnośląskiej Spółce Gazownictwa (GSG) i Karpackiej Spółce Gazownictwa (KSG). Spółki te były zleceńodawcami zrealizowanej pracy.

Dane temperatury otoczenia

W zakresie temperatury otoczenia posłużono się danymi prognozowanymi pozyskanymi z Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Uniwersytetu Warszawskiego. Dane wejściowe zawierały średnie prognozowane wartości temperatury w danej godzinie i punkcie o podanej szerokości i długości geograficznej (INiG, 2012).

Dane zużycia paliwa gazowego

Dane zużycia gazu uzyskano z Górnośląskiej Spółki Gazownictwa i Karpackiej Spółki Gazownictwa. Dane zawierały m.in. numer identyfikacyjny punktu poboru gazu, miejscowość, datę odczytu, stan gazomierza oraz taryfę, do której należy odbiorca. Dane otrzymane z Górnośląskiej Spółki Gazownictwa dotyczyły miejscowości: Katowice, Nysa oraz Ustroń i Wisła i zawierały tylko odczyty rzeczywiste w zakresie lat od 2008 do 2012. Dane otrzymane z Karpackiej Spółki Gazownictwa dotyczyły miejscowości: Kraków, Tenczynek, Kielce, Pilzno oraz Zakopane i zawierały zarówno dane rzeczywiste (odczyty gazomierzy), jak i szacunkowe prognozy w zakresie lat od 2008 do 2012 (INiG, 2012).

Dane źródłowe w postaci plików CSV zostały przetransponowane do spójnego formatu pozwalającego na import do aplikacji przetwarzającej pozyskane dane (zwanej dalej WSK). Przed importem usunięto rekordy zawierające odczyty nierzezywiste (szacunkowe) oraz błędne zapisy (nieprawdopodobne dane lub niezawierające stanów gazomierzy). Opracowana aplikacja WSK umożliwiała obróbkę, przetwarzanie, przeliczenia związane z rozszacowaniem dobowym zużycia gazu, wyszukiwanie żądanych danych oraz eksportowanie danych do programu statystycznego.

Wstępna analiza statystyczna

Wszystkie obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem programu komputerowego Statgraphics Plus 5.1.

W celu sprawdzenia, czy wartości średnich zużyć rocznych w obrębie poszczególnych grup badawczych różnią się od siebie, wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji.

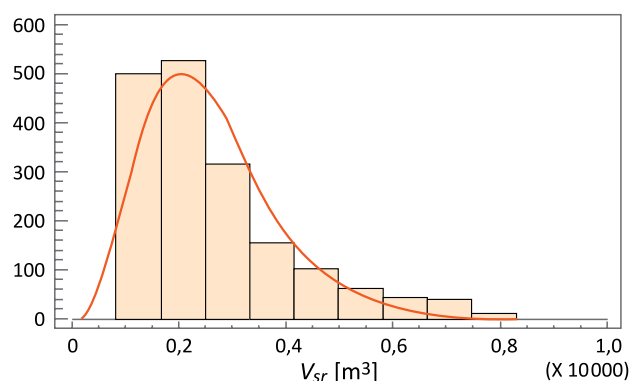
Testowano hipotezę H_0 – w każdej z grup obliczeniowych (próbka KSG: Tenczynek, Zakopane, Kielce, Pilzno, Kraków; próbka GSG: Katowice, Nysa i Wisła) wartości średnie zużyć rocznych ($V_{sr1} \dots V_{srn}$) dla odbiorców z grupy taryfowej W-2 (a następnie W-3 i W-4) są równe – wobec hipotezy alternatywnej: H_1 – wartości średnie zużyć rocznych w każdej z grup obliczeniowych z grupy taryfowej W-2 (a następnie W-3 i W-4) są różne.

Do testowania wyżej przedstawionej hipotezy zastosowano statystykę Fishera–Snedecora. W analizie wariancji zakłada się, że zmienna w każdej grupie obliczeniowej ma rozkład normalny z jednakową wariancją. W celu zweryfikowania hipotezy o równości wariancji w poszczególnych grupach obliczeniowych zastosowano test Bartletta.

Drugą hipotezą metodologiczną było założenie pochodzenia danych ze zmiennych o rozkładach normalnych (w poszczególnych grupach). Zgodnie z twierdzeniami granicznymi Lindeberga–Lévy’ego i Lapunowa rozkład normalny jest rozkładem asymptotycznym dla średnich z niezależnych pomiarów. Z drugiej strony jednoczynnikowa analiza wariancji to test „odporny” na naruszenie powyższego założenia i nawet poważne jego naruszenie nie ma charakteru krytycznego. Na rysunku 1 przedstawiono histogram wartości średnich zużyć rocznych V_{sr} odbiorców z taryfy W-3 z wytypowanych miejscowości będących w zasięgu działania Karpackiej Spółki Gazownictwa.

Jak wykazała większość przeprowadzonych analiz, w sensie statystycznym zróżnicowanie jest raczej funkcją charakteru poboru gazu, tj. uwarunkowań gospodarczych i ekonomicznych, a nie parametrów związanych z warunkami klimatycznymi. Oczywiście te uwarunkowania klimatyczne będą wzięte pod

uwagę przy szacowaniu zużycia gazu, poprzez uwzględnienie w obliczeniach współczynnika stopniodni grzania. Tym samym potencjalny odbiorca z terenu V strefy klimatycznej (np. z Zakopanego) zużyje więcej gazu niż podobny odbiorca np. z III strefy klimatycznej (np. z Krakowa) ogrzewający budynek o takiej samej charakterystyce termicznej i kubaturowej, a także posiadający podobne urządzenia grzewcze ze względu na to, że w Zakopanem wystąpi więcej dni z temperaturą bazową poniżej 15°C, tj. dni, w których wystąpi współczynnik stopniodni grzania.



Rys. 1. Histogram dla V_{sr} [m³] z wytypowanych miejscowości będących w zasięgu działania KSG, taryfa W-3

Fig. 1. Histogram for V_{sr} [m³] from selected localities covered by KSG, W-3 tariff

Mając jednak na względzie rozrzut zużycia gazu w poszczególnych grupach taryfowych, uważa się, że dokładniejszym modelem jest model bazujący na dwóch współczynnikach WSK w obrębie danej grupy taryfowej. Wybór modelu pozostał w gestii poszczególnych operatorów, przy czym INiG rekomendował dwa współczynniki WSK, z granicą podziału w grupie taryfowej przebiegającą wg kryteriów przedstawionych w tabeli 1.

Opracowanie zasad wyznaczania wskaźników WSK

Algorytm rozszacowania zużycia gazu

Ponieważ w trakcie realizacji pracy spółki gazownictwa nie posiadały historycznych danych dobowych zużycia, oprócz niewielkiego fragmentu w Karpackiej Spółce Gazownictwa, do obliczenia dobowego zużycia gazu dla każdego odbiorcy posłużono się opracowanym algorytmem. Do rozszacowania zużycia paliwa gazowego w okresach dobowych zastosowano następującą metodę:

- metodę „proporcjonalną” – dla temperatury otoczenia wyższej lub równej 15°C (288,15 K);
- metodę „cieplną” – dla temperatury otoczenia niższej niż 15°C.

Tabela 1. Kryteria podziału odbiorców (taryfa i roczne zużycie gazu)**Table 1.** Customers breakdown criteria (tariff and annual gas consumption)

Taryfa	Podtaryfa	Roczne zużycie gazu z [m ³]
W-2	W-2.1	$300 < z \leq 700$
	W-2.2	$700 < z \leq 1200$
W-3	W-3.1	$1200 < z \leq 3300$
	W-3.2	$3300 < z \leq 8000$
W-4	W-4.1	$8000 < z \leq 18000$
	W-4.2	$18000 < z$

Metoda „proporcjonalna” jest najprostszym sposobem, zgodnie z którym należy podzielić zużycie gazu na liczbę dni, w których zużytkowano tę ilość gazu:

$$V_d = V / n \text{ [m}^3\text{]} \quad (5)$$

gdzie:

V_d – zużycie dobowe gazu [m³],

V – zużyta objętość gazu [m³],

n – liczba dni pomiędzy odczytami licznika gazowego.

Metoda ta określa średnie dzienne zużycie gazu dla zakresu temperatury otoczenia wyższej lub równej 15°C, kiedy gaz jest zużywany tylko do przygotowania posiłków i ciepłej wody (nie jest zużywany na cele grzewcze).

W metodzie „cieplej” wykorzystuje się zależność pomiędzy temperaturą otoczenia a poborem gazu na cele grzewcze (IGNiG, 1999). Spadek temperatury otoczenia zawsze powoduje wzrost strat ciepła Q w przegrodach budowlanych, a tym samym wzrost zużycia gazu na utrzymanie temperatury wewnątrz pomieszczeń na stałym poziomie, co można zapisać ogólnym, uproszczonym wzorem:

$$Q = K(t_w - t_o) \text{ [W]} \quad (6)$$

gdzie:

t_w – temperatura panująca wewnątrz pomieszczeń [K],

t_o – temperatura panująca na zewnątrz, tzw. temperatura otoczenia [K],

K – stała uwzględniająca powierzchnię przenikania ciepła F [m²] oraz współczynnik przenikania ciepła k [W/m²K].

Dobowe procentowe straty ciepła Q_{di} wynoszą:

$$Q_{di} = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \cdot 100\% \text{ [%]} \quad (7)$$

gdzie:

Q_i – strata ciepła w i -tej dobie,

n – liczba dni pomiędzy odczytami licznika gazowego.

Metoda ta określa średnie dzienne zużycie gazu dla zakresu temperatury otoczenia niższej niż przyjęta 15°C, kiedy gaz jest zużywany zarówno do przygotowania posiłków i ciepłej wody,

jak też cele grzewcze. Poprawność proponowanej metodyki została sprawdzona w obliczeniach przeprowadzonych na podstawie danych uzyskanych w pomiarach wykonanych przez INiG u indywidualnych odbiorców gazu (Wagner-Staszewska et al., 2007a).

Obliczeniowe zużycie gazu dla n dni:

$$V_{1-2} = \sum_{i=1}^n V_{di} \text{ [m}^3\text{]} \quad (8)$$

gdzie:

V_{di} – zużycie dobowe gazu w i -tym dniu [m³],

n – liczba dni w analizowanym interwale czasu.

W zakresie temperatury otoczenia posłużono się danymi prognozowanymi pozyskanymi z Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Uniwersytetu Warszawskiego. Dane wejściowe zawierały średnie prognozowane wartości temperatury w danej godzinie i punkcie o podanej szerokości i długości geograficznej. Dane uzyskane z ICM dotyczyły okresu od 23.11.2008 r. do 3.02.2012 r. W większości przypadków był to satysfakcjonujący przedział czasowy. W odniesieniu do części odbiorców brakujące dane temperaturowe uzupełniono średnimi wartościami wieloletnimi będącymi w dyspozycji INiG. Starano się, aby te temperatury wybierać z obszarów najbardziej zbliżonych do analizowanych miejscowości, co w przypadku takich miast jak Katowice, Kraków, Tenczynek, Zakopane i Kielce nie stwarzało żadnego problemu. Na podstawie ww. danych dla punktów, które przyporządkowano do obszaru danej miejscowości, obliczono średnią dobową temperaturę otoczenia (dla każdego dnia z 3-letniego okresu) t_o .

Roczne obliczeniowe zużycie gazu wyliczono z równania:

$$V = \sum_{i=1}^n V_{di} \text{ [m}^3\text{]} \quad (9)$$

gdzie:

n – liczba dni w danym roku.

Produktem finalnym opracowanej aplikacji jest obliczenie (wyznaczenie) zużycia dla każdego z odbiorców z analizowanych obszarów odpowiednio za rok 2009, 2010 i 2011. Tak obliczone zużycie gazu posłużyło następnie do wyznaczenia wartości średniej arytmetycznej zużycia. Dopiero ta wartość, jako najbardziej reprezentatywna, posłużyła do dalszych obliczeń i została określona jako wartość zużycia rocznego. Wartość ta w pierwszej kolejności posłużyła do zweryfikowania poprawności przypisania poszczególnych odbiorców do grup taryfowych. W przypadku części odbiorców dokonano przekwalifikowania do właściwych grup taryfowych.

Zasady wyznaczania wskaźników pogodowych

Z uwagi na dosyć szerokie granice zużycia gazu przyporządkowujące odbiorców do danej grupy taryfowej (W-2,

W-3 i W-4) – w celu otrzymania bardziej jednorodnych grup odbiorców o podobnym charakterze zużycia wprowadzono dodatkowe zakresy podziału na taryfy (rozdzielające każdą taryfę na dwie części). Podziału tego dokonano na podstawie kryteriów określonych w tabeli 1.

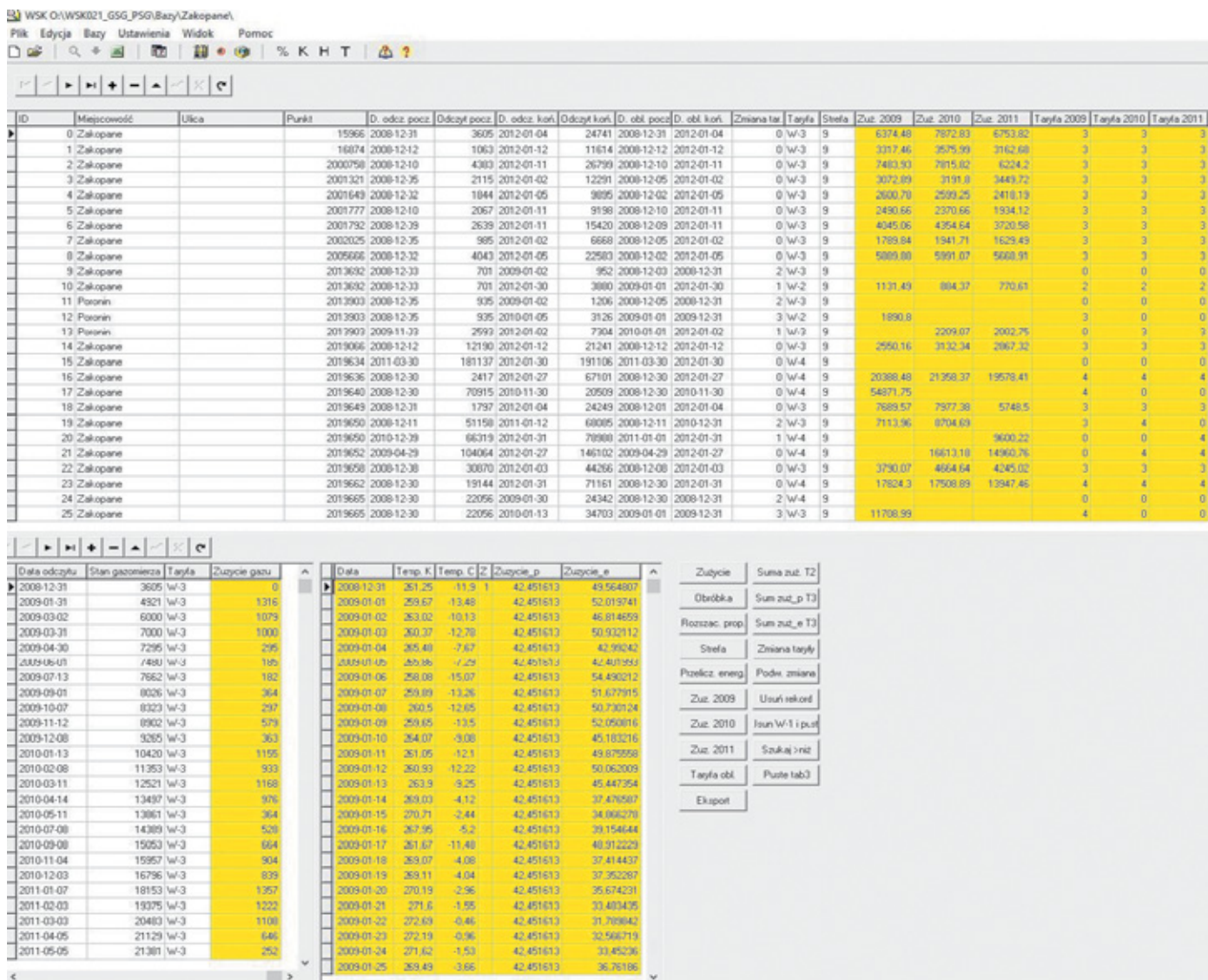
Na każdym etapie obliczeń programem WSK stosowano analizę poprawności wprowadzonych danych oraz wykonywanych obliczeń. Walidację przeprowadzono również dla wyeksportowanych danych.

Wyznaczenie wskaźników pogodowych WSK

Opracowanie programu komputerowego

Na potrzeby pracy opracowano program komputerowy do akwizycji, zarządzania i obróbki danych. Widok okna głównego programu przedstawiono na rysunku 2.

Aplikacja umożliwia utworzenie relacyjnej bazy danych i zaimportowanie danych zużycia paliwa gazowego w postaci danych punktów odbioru gazu, zawierających dane przynależności do strefy temperaturowej i taryfy, do której należą, oraz odczytów gazomierzy. Program importował również dane temperatury średniej dobowej dla stref temperaturowych. Aplikacja umożliwiała obliczanie zużycia gazu pomiędzy odczytami gazomierzy i zużycia dobowego gazu zgodnie z algorytmem rozszacowania zużycia gazu. Po rozszacowaniu zużycia gazu na wartości dobowe następowało obliczenie rocznych zużyć gazu dla każdego odbiorcy oraz ponowna kwalifikacja odbiorców do grup taryfowych na podstawie ich rocznego zużycia paliwa gazowego. Aplikacja została również wyposażona w moduły wyszukiwania, eksportu danych do arkusza MS Excel oraz weryfikacji poprawności obliczeń. Opracowany program został zwalidowany za pomocą obliczeń wykonywanych ręcznie w arkuszu kalkulacyjnym, a także sprawdzeń krzyżowych



Rys. 2. Okno główne programu WSK

Fig. 2. WSK application main window

tablic obliczanych w samej aplikacji. Po zakończeniu obliczeń i sprawdzeniu ich poprawności następował eksport danych do programu statystycznego (Statgraphics Plus 5.1 oraz Statistica 9), gdzie następowała analiza regresji danych zużycia gazu dla poszczególnych grup taryfowych.

Strefa	IdStrefa	Data	Temperatura
001	9	2008-11-01	273,75
002	9	2008-11-02	273,75
003	9	2008-11-03	273,75
004	9	2008-11-04	273,75
005	9	2008-11-05	273,75
006	9	2008-11-06	273,75
007	9	2008-11-07	273,75
008	9	2008-11-08	273,75
009	9	2008-11-09	273,75
	9	2008-11-10	273,75
	9	2008-11-11	273,75
	9	2008-11-12	273,75
	9	2008-11-13	273,75
	9	2008-11-14	273,75
	9	2008-11-15	273,75
	9	2008-11-16	273,75
	9	2008-11-17	273,75
	9	2008-11-18	273,75
	9	2008-11-19	273,75
	9	2008-11-20	273,75
	9	2008-11-21	273,75
	9	2008-11-22	273,75
	9	2008-11-23	267,33
	9	2008-11-24	269,46
	9	2008-11-25	269,98
	9	2008-11-26	268,28
	9	2008-11-27	271,25
	9	2008-11-28	268,13
	9	2008-11-29	270,72
	9	2008-11-30	274,73

1 - Katowice
2 - Kielce
3 - Kraków rynek
4 - Kraków Tenczynek
5 - Nysa
6 - Pilzno
7 - Ustroń
8 - Wisła
9 - Zakopane i Poronin

Rys. 3. Okno danych temperaturowych w poszczególnych strefach klimatycznych

Fig. 3. Window of temperature data in climatic zones

Obliczone dane zużycia dziennego gazu oraz odpowiadające im temperatury otoczenia dla danego obszaru, dotyczące odbiorców z danej taryfy, były eksportowane z programu w postaci plików tekstowych rozdzielanych tabulatorami w celu ich dalszej analizy za pomocą narzędzi statystycznych.

Plik eksportowy zawierał następujące dane:

- 1) identyfikator punktu odbioru gazu;
- 2) miejscowość;
- 3) taryfę oryginalną (grupę taryfową określoną przez spółki gazownictwa);
- 4) taryfę obliczeniową (właściwą grupę taryfową ze względu na roczne zużycie gazu);

- 5) strefę (link do bazy temperatur otoczenia);
- 6) datę;
- 7) temperaturę;
- 8) zużycie dobowe.

Analiza regresji liniowej dla grup taryfowych

Celem analizy było szukanie zależności pomiędzy dziennym zużyciem gazu a średnią dzienną temperaturą otoczenia $V_d = f(t_{od})$.

Analizie poddano dane dotyczące zużycia gazu dla każdej z taryf z osobna w obrębie poszczególnych spółek. Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem programów komputerowych Statgraphics Plus 5.1 oraz Statistica 9.

Przyjęto następujące modele zależności:

- model liniowy: $Y = a + bX$;
- model „pierwiastek kwadratowy-Y”: $Y = (a + bX)^2$ (w skrócie dalej nazywany SR-Y);

gdzie:

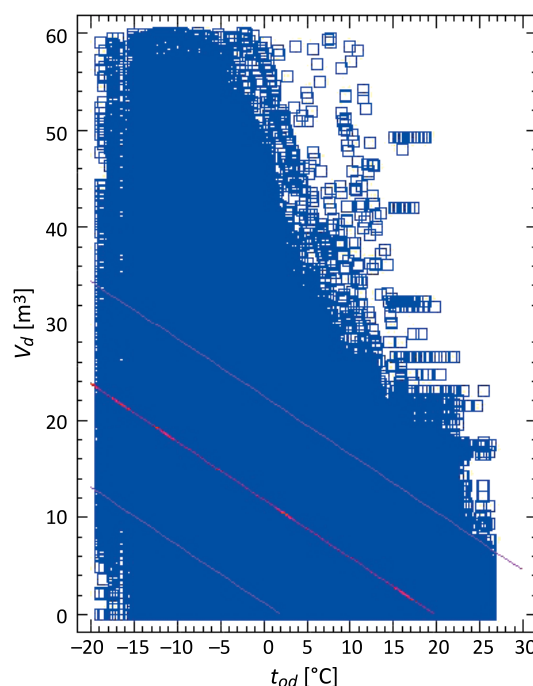
Y – wartość dziennego zużycia gazu V_d dla określonej taryfy [m^3],

X – średnią dzienną temperaturą otoczenia t_{od} [$^{\circ}C$],

a, b – stałe równania.

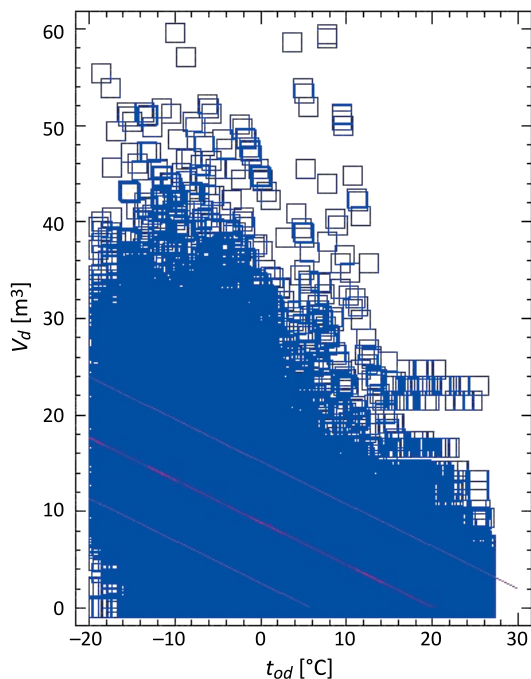
Testowano hipotezę: $H_0: a = 0, b = 0$ wobec hipotezy alternatywnej $H_1: a \neq 0, b \neq 0$.

Przykładowe wyniki analizy regresji zużycia dobowego gazu V_d względem średniej dobowej temperatury otoczenia t_{od} dla modelu liniowego przedstawiono graficznie na rysunkach 4–6.



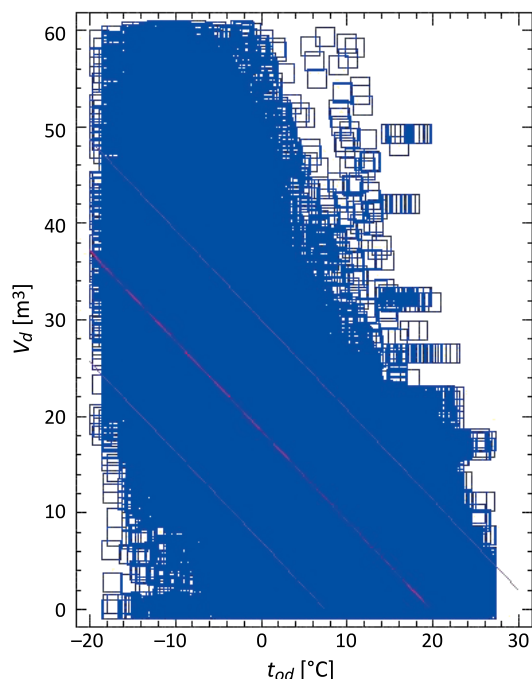
Rys. 4. Regresja liniowa $V_d = f(t_{od})$ (taryfa W-3 KSG)

Fig. 4. Linear regression $V_d = f(t_{od})$ (tariff W-3 KSG)



Rys. 5. Regresji liniowa $V_d = f(t_{od})$ (taryfa W-3 KSG, podgrupa W-3a)

Fig. 5. Linear regression $V_d = f(t_{od})$ (tariff W-3 KSG, sub-tariff W-3a)



Rys. 6. Regresja liniowa $V_d = f(t_{od})$ (taryfa W-3 KSG, podgrupa W-3b)

Fig. 6. Linear regression $V_d = f(t_{od})$ (tariff W-3 KSG, sub-tariff W-3b)

Wyniki analizy regresji dla grup taryfowych

Wskaźniki pogodowe zostały wyznaczone na podstawie wyników analizy regresji. W przypadku pierwszego modelu, tj. modelu liniowego ($Y = a + b \cdot X$), współczynnik WSK, tj. współczynnik opisujący zmianę dobowego zużycia gazu dV_d [m³] przypadającą na zmianę o 1°C średniej dobowej temperatury otoczenia dt_{od} , równy jest wartości wyznaczonego współczynnika kierunkowego (b).

W odniesieniu do drugiego modelu, tj. modelu pierwiastka kwadratowego Y ($Y = (a + b \cdot X)^2$), współczynnik WSK został wyliczony w następujący sposób. Na podstawie wyznaczonego równania regresji obliczonoienne wartości zużycia V_d w zakresie występujących w bazie średnich dziennych temperatur otoczenia, tj. od -19°C do 26°C, stosując krok obliczeniowy (temperaturowy) równy 1°C. Dla tak uzyskanych

poszczególnych dziennych wartości zużycia obliczono następnie zmianę zużycia przypadającą na 1°C – w całym zakresie temperatur.

Wartości wyznaczonych współczynników dla modelu liniowego w obrębie grup taryfowych zostały przedstawione w tabelach 2 i 3, natomiast z podziałem na podgrupy – w tabelach 4 i 5.

Obliczony poziom istotności p jest mniejszy niż 0,05, z czego wynika, że istnieje statystycznie istotna korelacja pomiędzy wartością dziennego zużycia gazu a średnią dzienną temperaturą otoczenia na poziomie ufności 95%.

Podobnie jak w przypadku KSG otrzymano wartości współczynników korelacji r i R^2 (R^2 jest zwany również współczynnikiem dopasowania regresji lub współczynnikiem determinacji) większe w podgrupach niż w grupach taryfowych, co oznacza,

Tabela 2. Wyniki analizy regresji modelu liniowego dla grup taryfowych Karpackiej Spółki Gazownictwa

Table 2. Results of the regression analysis of the linear model for tariff groups of Karpacka Spółka Gazownictwa

Grupa taryfowa	Analiza wariancji						Wniosek o istnieniu korelacji
	parametr		wartość testu		współczynnik korelacji		
	wyraz wolny	wyraz kierunkowy	F	p	r [-]	R^2 [%]	
W-2	2,47478	-0,081351	299714	0,0000	-0,4758	22,63	tak
W-3	11,83280	-0,597241	150000	0,0000	-0,7078	50,09	tak
W-4	59,26840	-2,576220	$2,29 \cdot 10^8$	0,0000	-0,6627	43,92	tak

Tabela 3. Wyniki analizy regresji modelu liniowego dla grup taryfowych Górnośląskiej Spółki Gazownictwa**Table 3.** Results of the regression analysis of the linear model for tariff groups of Górnośląska Spółka Gazownictwa

Grupa taryfowa	Analiza wariancji						Wniosek o istnieniu korelacji
	parametr		wartość testu		współczynnik korelacji		
	wyraz wolny	wyraz kierunkowy	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>r</i> [-]	<i>R</i> ² [%]	
W-2	2,29667	-0,073571	864699	0,0000	-0,4671	21,82	tak
W-3	10,72350	-0,518100	26,8 · 10 ⁶	0,0000	-0,6999	48,89	tak
W-4	59,68800	-2,867420	4,9 · 10 ⁶	0,0000	-0,6451	30,11	tak

Tabela 4. Wyniki analizy regresji modelu liniowego dla grup taryfowych z podziałem na podgrupy Karpackiej Spółki Gazownictwa**Table 4.** Results of the regression analysis of the linear model for tariff groups divided into subgroups of the Karpacka Spółka Gazownictwa

Grupa taryfowa	Podgrupa	Analiza wariancji						Wniosek o istnieniu korelacji
		parametr		wartość testu		współczynnik korelacji		
		wyraz wolny	wyraz kierunkowy	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>r</i> [-]	<i>R</i> ² [%]	
W-2	W-2a	1,68155	-0,043345	176170	0,0000	-0,4727	22,34	tak
	W-2b	3,58923	-0,133187	278033	0,0000	-0,6347	40,29	tak
W-3	W-3a	8,88417	-0,438816	1716087	0,0000	-0,7792	60,71	tak
	W-3b	18,48980	-0,932507	890135	0,0000	-0,8222	67,61	tak
W-4	W-4a	48,94170	-2,123750	391751	0,0000	-0,7420	55,06	tak
	W-4b	100,02100	-4,378070	122859	0,0000	-0,7728	59,72	tak

Tabela 5. Wyniki analizy regresji modelu liniowego dla grup taryfowych z podziałem na podgrupy Górnośląskiej Spółki Gazownictwa**Table 5.** Results of the regression analysis of the linear model for tariff groups divided into subgroups of Górnośląska Spółka Gazownictwa

Grupa taryfowa	Podgrupa	Analiza wariancji						Wniosek o istnieniu korelacji
		parametr		wartość testu		współczynnik korelacji		
		wyraz wolny	wyraz kierunkowy	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>r</i> [-]	<i>R</i> ² [%]	
W-2	W-2a	1,61361	-0,041518	716756	0,0000	-0,5028	25,28	tak
	W-2b	3,77066	-0,143624	697115	0,0000	-0,6447	41,56	tak
W-3	W-3a	9,12016	-0,439805	3751556	0,0000	-0,7806	60,94	tak
	W-3b	19,80110	-0,950724	709318	0,0000	-0,7984	63,75	tak
W-4	W-4a	48,59900	-2,467620	79177	0,0000	-0,7103	50,46	tak
	W-4b	98,03170	-4,266670	26276	0,0000	-0,7330	53,73	tak

że uzyskano lepsze dopasowanie modelu. Stosowanie współczynników WSK w podgrupach przyniesie dokładniejszy sposób wyznaczania zużycia gazu.

Ponieważ w większości przypadków lepsze dopasowanie uzyskano dla modelu liniowego, a także z tego powodu, że spółki gazownictwa zaadaptowały do rozliczeń właśnie ten model szacowania i prognozowania ilości paliwa gazowego, w niniejszej publikacji pominięto prezentację wyników dla modelu pierwiastka kwadratowego Y.

Wyznaczone wartości współczynników WSK zostały zwerfikowane z użyciem rzeczywistych danych pomiarowych

zużycia gazu przez odbiorców uzyskanych podczas realizacji projektu badawczego-grantu (Nr 5 T12A 032 25), finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2003–2007 (Wagner-Staszewska et al., 2007a, 2007b, 2008).

Obliczony współczynnik WSK na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych (taryfa W-3) był większy od wyznaczonych współczynników dla KSG i GSG, odpowiednio o 10,49% i 13,19%. Należy jednak mieć na uwadze, że wówczas badaniami objęci byli odbiorcy spełniający ostre kryteria wyboru (odbiorcy stosujący gaz ziemny do ogrzewania).

Podsumowanie

Wnioski zawarte w niniejszej publikacji oparte są na pierwszym materiale badawczym uzyskanym podczas realizacji pracy pt. *Opracowanie zasad oraz wyznaczenie wskaźników pogodowych WSK dla odbiorców z grup taryfowych W2-W4 z obszaru działalności Karpackiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o. i Górnośląskiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o.*, zrealizowanej w roku 2012 (INiG, 2012).

Opracowana metodyka badawcza oraz obliczeniowa pozwoliła na wypracowanie zasad wyznaczania wskaźnika WSK. Zdaniem autorów kwestia wpływu warunków klimatycznych na wielkość zużycia gazu jest zauważalna, ale nie jest najistotniejsza. W niniejszej pracy wskazano, że istotny jest również charakter poboru gazu, tj. czynniki gospodarcze oraz możliwości wytwarzania energii w alternatywny sposób, determinujące wielkość konsumpcji gazu. Przyjęta w pracy metodyka pozwoliła na wyznaczenie dwóch niezależnych modeli WSK. Pierwszy określa jedną wartość wskaźnika WSK dla grupy taryfowej, a drugi – dwa wskaźniki WSK dla podgrup taryfowych, przy czym mając na względzie większe wartości współczynników korelacji (wyniki analiz statystycznych), autorzy rekomendowali ten ostatni model do stosowania w praktyce.

Przeprowadzona analiza regresji liniowej wykazała statystycznie istotną korelację pomiędzy wartością dziennego zużycia gazu a średnią dzienną temperaturą otoczenia $V_d = (t_{od})$, przy czym nie uzyskano zbyt dużych wartości współczynników korelacji. Współczynnik korelacji R^2 dla grup taryfowych wynosił od 21,82% dla grupy W-2 GSG do 50,09% dla grupy W-3 PSG. Trochę wyższe współczynniki otrzymano, dzieląc grupy taryfowe – od 22,34% dla podgrupy taryfowej W-2a KSG do 67,61% dla podgrupy W-3b dla KSG. Oznacza to, że otrzymane równania regresji wyjaśniają odpowiednio od 21,82% do 50,09% zmienności zmiennej V_d w przypadku analizy opartej na grupach taryfowych oraz od 22,34% do 67,61% po podziale grup taryfowych na podgrupy. Oznacza to, że szukana zależność w pozostałym procencie zależy od innych parametrów, a nie tylko od temperatury otoczenia.

Wyznaczone wskaźniki WSK zostały wdrożone do stosowania w polskim systemie gazowym do szacowania oraz prognozowania zużycia gazu w punktach wyjścia typu WS i były wykorzystywane w latach 2013–2016. Następnie ich wartości zostały uaktualnione na podstawie wyników badań uzyskanych w kolejnych projektach badawczych.

Zdaniem autorów w celu zwiększenia dokładności wartości współczynników WSK powinny one być wyznaczone na podstawie reprezentatywnych odbiorców oraz ich rzeczywistych danych zużycia pochodzących z rejestratorów bądź systemów telemetrycznych o małych interwałach rejestracji (dane dobowe lub godzinowe).

Dokładność metody można polepszyć, stosując bardziej precyzyjne profilowanie odbiorców. Przypisywanie odbiorców do grup jednorodnych na podstawie ich przynależności do grup taryfowych powoduje uogólnienie i jest przyczyną powstawania błędów. Odbiorcy ci kwalifikowani są do danej grupy taryfowej wyłącznie na podstawie ilości zużytej energii, co nie odzwierciedla ich dynamiki związanej ze zmiennością poboru gazu w zależności od temperatury i chwilowego zapotrzebowania na to paliwo.

Artykuł powstał na podstawie pracy badawczej pt. *Opracowanie zasad oraz wyznaczenie wskaźników pogodowych WSK dla odbiorców z grup taryfowych W2-W4 z obszaru działalności Karpackiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o. i Górnośląskiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o.* – praca INiG – PIB na zlecenie Karpackiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o. i Górnośląskiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o., nr zlecenia: 697/DG/2012, nr archiwalny: DK-4100-208/2012.

Literatura

- Gacek Z., Jaworski J., 2018. Analiza techniczna metody doszacowania zużycia gazu stosowanej w polskim systemie dystrybucyjnym w przypadku odbiorców grupy WS. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12: 431–435. DOI: 10.15199/17.2018.12.2.
- IGNiG, 1999. Opracowanie metodyki określania strat gazu związanych z systemem rozliczeń. *Praca IGNiG, Archiwum INiG – PIB, Kraków*. Zlecenie wew. 424/GP.
- INiG, 2012. Opracowanie zasad oraz wyznaczenie wskaźników pogodowych WSK dla odbiorców z grup taryfowych W2-W4 z obszaru działalności Karpackiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o. i Górnośląskiej Spółki Gazownictwa Sp. z o.o. *Praca INiG, Archiwum INiG – PIB, Kraków*. Zlec. wew. 697/DG/2012.
- Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o., 2018. Zmiana metodologii szacowania usługi dystrybucyjnej WS w PSG. Lipiec.
- Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o., 2019. Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej, wersja 13. Grudzień.
- Wagner-Staszewska T., Jaworski J., Gacek Z., 2007a. Wybrane problemy rozliczania zużycia gazu przez indywidualnych odbiorców. *Prace Instytutu Nafty i Gazu*, 144: 1–98.
- Wagner-Staszewska T., Jaworski J., Gacek Z., 2007b. Wyniki badań rozliczania odbiorców gazu w różnych warunkach klimatycznych Polski. *Nafta-Gaz*, 10: 624–632.
- Wagner-Staszewska T., Jaworski J., Gacek Z., 2008. Metoda objętościowa „skorygowana” – nowy system rozliczania indywidualnych odbiorców gazu. *Nafta-Gaz*, 2: 114–120.



Dr inż. Zbigniew GACEK
Adiunkt w Zakładzie Metrologii Przepływów
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: zbigniew.gacek@inig.pl



Dr inż. Jacek JAWORSKI
Dyrektor Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego
Instytutu Badawczego
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: jacek.jaworski@inig.pl