

Jadwiga Holewa-Rataj, Magdalena Szłek  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

## Wpływ poprawności wyznaczenia współczynnika ściśliwości na poprawność obliczeń ciepła spalania gazu dla gazów o składzie innym niż przewidziany normą PN-EN ISO 6976:2008

W pracy przedstawiono założenia normy PN-EN ISO 6976:2008, dotyczącej obliczania parametrów fizykochemicznych na podstawie składu gazu. Dokonano przeglądu składu różnych paliw gazowych pod kątem założeń normy oraz oceniono wpływ prowadzenia obliczeń ciepła spalania poza zakresem stosowania normy na poprawność otrzymywanych wyników. Dla wybranych gazów palnych, których skład nie spełnia założeń normy PN-EN ISO 6976:2008, wykonano obliczenia współczynnika ściśliwości oraz ciepła spalania. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że istnieje możliwość stosowania algorytmu obliczeniowego przedstawionego w normie bez negatywnego wpływu na poprawność uzyskiwanych wyników, o ile gaz w swoim składzie nie zawiera znacznych ilości węglowodorów ciężkich.

Słowa kluczowe: ciepło spalania, współczynnik ściśliwości, paliwa gazowe.

The influence of the accuracy of determining the compression factor on the correctness of the calculations of heat of combustion, for gases with a different composition than that provided by the PN-EN ISO 6976:2008

The paper presents the assumptions of the PN-EN ISO 6976:2008 concerning the calculation of physicochemical parameters. Composition of the various gaseous fuels for the standard assumptions was reviewed and the impact of carrying out the calculations of heat of combustion outside the scope of the standards on the trueness of the results obtained was assessed. For selected combustible gases the composition of which does not meet the PN-EN ISO 6976:2008, compressibility factor and the heat of combustion was calculated. On the basis of calculations, it was found that it is possible to use the calculation algorithm shown in the standard, without compromising the correctness of the results, if the gas in its composition does not contain substantial amounts of heavy hydrocarbons.

Key words: heat of combustion, compressibility factor, gaseous fuels.

### Wstęp

Prowadzone obecnie działania związane zarówno z ochroną środowiska naturalnego, jak i dywersyfikacją źródeł energii powodują, że coraz częściej w gospodarce stosowane są paliwa gazowe, traktowane do tej pory jako produkty uboczne procesów technologicznych czy podjętych działań. W związku z tym wzrasta wykorzystanie w gospodarce biogazu, gazu z odmetanowania kopalń czy gazów procesowych.

Zachodzące zmiany są istotne dla polskiej gospodarki i wpływają pozytywnie na poprawę bezpieczeństwa energetycznego kraju poprzez zastąpienie gazu ziemnego innymi paliwami gazowymi. Należy jednak pamiętać, że paliwa te w znacznym stopniu różnią się od gazu ziemnego zarówno składem, jak i charakteryzującymi je parametrami energetycznymi. Mimo istotnych różnic w składzie gazów procesowych czy biogazu

w stosunku do składu gazu ziemnego – do obliczania parametrów energetycznych tych paliw stosuje się z reguły metodę opisaną w normie PN-EN ISO 6976:2008 *Gaz ziemny. Obliczanie wartości kalorycznych, gęstości, gęstości względnej i liczby Wobbego na podstawie składu* [1]. Opisana metoda przeznaczona jest do wyznaczania parametrów fizykochemicznych gazu ziemnego i na szeroką skalę wykorzystuje się ją

właśnie w tym zakresie [2, 3]. Nasuwa się więc pytanie, czy pozostałe paliwa gazowe spełniają założenia zawarte w niniejszej normie i czy może być ona stosowana do obliczania parametrów fizykochemicznych paliw gazowych innych niż gaz ziemny. Czy wyliczenia parametrów fizykochemicznych prowadzone dla gazów o składzie innym, niż założony w normie, są prawidłowe i jaką charakteryzują się poprawnością?

### Założenia normy PN-EN ISO 6976:2008

Norma PN-EN ISO 6976:2008 *Gaz ziemny. Obliczanie wartości kalorycznych, gęstości, gęstości względnej i liczby Wobbego na podstawie składu* zawiera algorytmy obliczeniowe pozwalające na wyznaczenie parametrów fizykochemicznych gazu, takich jak: wartość opałowa, ciepło spalania, dolna i górna liczba Wobbego oraz gęstość i gęstość względem powietrza [8]. Obliczenia te prowadzone są na podstawie znanego składu gazu. W przypadku wyznaczania ciepła spalania gazu, które ma być odniesione do jednostki objętości gazu, norma podaje ograniczenia dotyczące zawartości składników innych niż metan. Ograniczenia te są następujące [8]:

- ułamek molowy azotu nie może przekraczać 0,3, czyli stężenie azotu w gazie nie może być wyższe od 30% mol/mol,
- ułamek molowy tlenu węgla(IV) oraz etanu nie może przekraczać 0,15, czyli stężenie tych związków w gazie nie może być wyższe od 15% mol/mol,
- ułamek molowy żadnego z pozostałych składników nie może przekraczać 0,05, czyli stężenie żadnego z pozostałych składników nie może być wyższe od 5% mol/mol (ograniczenie to nie dotyczy metanu).

Zachowanie tych ograniczeń pozwala na otrzymanie wyników obliczeń ciepła spalania gazu odniesionego do jednostki objętości, których poprawność nie będzie przekraczała 0,1%

(np. poprawność obliczeń dla gazu E o ciepłe spalania równym 40 MJ/m<sup>3</sup> nie powinna przekroczyć 0,04 MJ/m<sup>3</sup>). Nie jest to mało, zważywszy, że w rozliczeniach energetycznych wynik końcowy zgodnie z przywołaną normą podawany jest z dokładnością do 0,01 MJ/m<sup>3</sup>. Należy jednak pamiętać, że poprawność ta może być gorsza w przypadku paliw gazowych, które nie spełniają przedstawionych powyżej wymagań. Zgodnie z normą PN-EN ISO 6976:2008 opisane ograniczenia wynikają ze sposobu, w jaki zostały otrzymane dane niezbędne do wyznaczenia współczynnika ściśliwości, który stosowany jest do obliczeń parametrów energetycznych gazu odniesionych do jednostki objętości zgodnie ze wzorem (1) [8]:

$$\tilde{H} [t_1, V(t_2, p_2)] = \frac{\tilde{H}^0 [t_1, V(t_2, p_2)]}{Z_{mix}(t_2, p_2)} \quad (1)$$

gdzie:

$\tilde{H}[t_1, V(t_2, p_2)]$  – jest ciepłem spalania odniesionym do jednostki objętości gazu rzeczywistego,

$\tilde{H}^0 [t_1, V(t_2, p_2)]$  – jest ciepłem spalania odniesionym do jednostki objętości gazu doskonałego,

$Z_{mix}(t_2, p_2)$  – jest współczynnikiem ściśliwości w warunkach odniesienia dla objętości gazu.

### Przegląd składu paliw gazowych pod kątem założeń zawartych w normie PN-EN ISO 6976:2008

Polska gospodarka wykorzystuje obecnie szereg paliw gazowych. Najbardziej popularnym jest nadal bez wątpienia gaz ziemny, jednak coraz częściej stosowane są też inne paliwa gazowe:

- paliwa ze źródeł odnawialnych, takie jak: biogaz czy gaz składowiskowy,
- paliwa powstające w różnego typu procesach technologicznych, a wśród nich: gaz konwertorowy, wielkopieczowy, koksowniczy czy rafineryjny oraz
- metan uzyskiwany w wyniku odmetanowania pokładów węgla.

Wszystkie te paliwa gazowe wykorzystywane są głównie w celach energetycznych. W związku z tym dla oceny jakości tych paliw oprócz oznaczenia składu gazu wyliczane

są również parametry energetyczne. Dlatego też istotne jest, aby ocenić zmienność składu poszczególnych gazów

Tablica 1. Zakres zmienności składu biogazu i gazu z odmetanowania kopalń na podstawie badań INiG – PIB

Składnik	Biogaz [% mol/mol]		Gaz z odmetanowania [% mol/mol]	
	min.	maks.	min.	maks.
Metan	50,73	82,58	37,29	57,44
CO <sub>2</sub>	15,14	45,85	1,75	4,22
Azot	0,14	14,72	33,65	49,44
Tlen	0,04	1,41	5,54	10,20
Etan	n.o.	n.o.	0,01	0,07

n.o. – nie oznaczono

palnych oraz przeanalizować, czy spełnia on założenia zawarte w normie PN-EN ISO 6976:2008. W tym celu na podstawie wieloletnich badań prowadzonych przez INiG – PIB oceniono zakres zmienności poszczególnych paliw gazowych.

Tablica 2. Zakres zmienności składu gazu koksowniczego i rafineryjnego na podstawie badań INiG – PIB

Składnik	Gaz koksowniczy [% mol/mol]		Gaz rafineryjny [% mol/mol]	
	min.	maks.	min.	maks.
Wodór	34,17	60,34	0,01	0,09
Azot	4,79	27,85	2,51	5,60
Tlen	0,16	7,78	0,22	0,44
CO	0,50	9,94	0,01	0,64
CO <sub>2</sub>	0,80	4,50	0,03	0,10
Metan	18,43	28,19	0,16	1,08
Etan	0,34	0,75	<0,01	3,42
Eten	1,42	2,66	n.o.	n.o.
Propan	<0,01	0,30	8,80	20,89
Propen	0,07	0,77	n.o.	n.o.
Butany	<0,01	<0,01	50,63	62,19
Buteny	0,01	0,05	0,28	0,43
C <sub>3+</sub>	<0,01	<0,01	14,38	30,40

n.o. – nie oznaczono

Uzyskane zakresy stężeń poszczególnych składników zebrano w tablicach 1–3. Zbyt wysokie zawartości poszczególnych składników gazów palnych, niemieszczące się w założeniach normy, zostały zaznaczone na czerwono.

Analiza zmienności takich paliw gazowych jak: biogaz, gaz z odmetanowania kopalń, gaz wielkopiecowy, konwertorowy, koksowniczy czy rafineryjny wykazała, że w przypadku każdego z tych paliw założenia normy PN-EN ISO 6976:2008 nie są spełnione dla minimum jednego ze składników. Przeprowadzona analiza składu paliw gazowych innych niż gaz ziemny pokazała, że odstępstwa od normy są istotne i bardzo częste.

Tablica 3. Zakres zmienności składu gazu wielkopiecowego i konwertorowego na podstawie badań INiG – PIB

Składnik	Gaz wielkopiecowy [% mol/mol]		Gaz konwertorowy [% mol/mol]	
	min.	maks.	min.	maks.
Azot	48,04	59,64	19,53	39,63
CO <sub>2</sub>	11,17	21,11	7,51	16,91
CO	20,20	32,38	42,38	66,37
Tlen	0,71	7,81	0,53	4,83
Wodór	0,26	4,77	<0,1	1,65
Metan	<0,01	1,02	<0,1	1,08

### Ocena wpływu prowadzenia obliczeń ciepła spalania poza zakresem stosowania normy na poprawność otrzymywanych wyników

Ze względu na to, że ograniczenia w zakresie składu gazów palnych, dla których prowadzone są obliczenia ciepła spalania odniesionego do jednostki objętości, związane są ze sposobem obliczania współczynnika ściśliwości, analizie poddano różne algorytmy obliczeniowe służące do wyznaczania tego parametru na podstawie składu gazu.

Zgodnie z normą PN-EN ISO 6976:2008 współczynnik ściśliwości wyznaczany jest według równania (2):

$$Z_{mix}(t_2, p_2) = 1 - \left[ \sum_{j=1}^N x_j \cdot \sqrt{b_j} \right]^2 \quad (2)$$

gdzie:  $\sqrt{b_j}$  to czynnik sumacyjny składnika  $j$ ,  
 $x_j$  – ułamek molowy składnika  $j$ .

Podczas stosowania wzoru (2) obowiązują te same ograniczenia dotyczące zakresu składu gazu, jak opisane w części artykułu dotyczącej założeń normy PN-EN ISO 6976:2008.

Na podstawie nieco innego wzoru wyznaczany jest współczynnik ściśliwości według równania (3), przedstawionego w normach GPA 2172-96 oraz ASTM D 3588-98 [5, 6]:

$$Z_{mix} = 1 - P_b \left[ \sum_{j=1}^N x_j \cdot \sqrt{b_j} \right]^2 \quad (3)$$

gdzie:

$P_b$  – ciśnienie odniesienia podane w psi.

O wiele bardziej złożone podejście do wyznaczania współczynnika ściśliwości zostało opisane w normie PN-EN ISO 12213-2:2010 *Gaz ziemny Obliczanie współczynnika ściśliwości. Część 2: Obliczenia z zastosowaniem składu molowego*. Wymieniona norma opiera swoje obliczenia na rozszerzonym równaniu typu wirialnego AGA8-92DC [7]. Metoda ta, podobnie jak metody obliczeniowe zawarte w normie PN-EN ISO 6976:2008, przeznaczona jest do prowadzenia obliczeń dla gazów o składzie zbliżonym do gazu ziemnego, stąd też zawiera szereg ograniczeń co do składu gazu. Jeśli obliczenia prowadzone są dla gazu o jakości gazociągowej wtedy niepewność wyznaczenia współczynnika ściśliwości nie przekracza 0,1%. Jednak wtedy ograniczenia w zakresie zawartości poszczególnych składników w gazie bywają ostrzejsze niż w normie PN-EN ISO 6976:2008.

Norma PN-EN ISO 12213-2:2010 pozwala na rozszerzenie zakresu stosowalności, jednak wtedy współczynnik ściśliwości obarczony jest większą niepewnością. Wiele metod służących do wyznaczania współczynnika ściśliwości opiera się na wykorzystaniu w obliczeniach pseudoredukowanego ciśnienia i temperatury – między innymi American Petroleum Institute podczas obliczania współczynnika ściśliwości posługuje się zredukowanymi temperaturami i ciśnieniem zgodnie z równaniem (4):

$$z = 1 + p_{pr} \cdot T_{pr}^{-1} \left[ (0,1445 + 0,073\omega) - (0,330 - 0,46\omega)T_{pr}^{-1} - (0,1385 + 0,50\omega)T_{pr}^{-2} - (0,0121 + 0,097\omega)T_{pr}^{-3} - 0,0073\omega \cdot T_{pr}^{-8} \right] \quad (4)$$

gdzie:

$\omega$  – współczynnik centryczności,

$P_{pr}$ ,  $T_{pr}$  – to odpowiednio ciśnienie i temperatura zredukowane.

Wzór rekomendowany przez API może być wykorzystywany do obliczania współczynnika ściśliwości gazów węglowodorowych i niepolarnych [2].

W celu oceny wpływu prowadzenia obliczeń ciepła spalania dla gazów będących poza zakresem stosowania normy PN-EN ISO 6976:2008 wykonano obliczenia ciepła spalania zgodnie z algorytmem przedstawionym w normie, jednak z wykorzystaniem współczynników ściśliwości otrzymanych różnymi metodami. Utworzono następujące metody obliczeniowe:

- **metoda A** – zgodna z normą PN-EN ISO 6976:2008,
- **metoda B** – z wykorzystaniem współczynnika ściśliwości otrzymanego zgodnie z normami GPA 2172-96 oraz ASTM D 3588-98,
- **metoda C** – z wykorzystaniem współczynnika ściśliwości otrzymanego zgodnie z normą PN-EN ISO 12213-2:2010,
- **metoda D** – z wykorzystaniem współczynnika ściśliwości otrzymanego na podstawie równania rekomendowanego przez API, metodą E.

Powyższych metod obliczeniowych użyto do obliczenia ciepła spalania gazów palnych o przykładowych składach będących poza zakresem stosowania normy PN-EN ISO 6976:2008. Składy te wskazano na podstawie ustalonych wcześniej zakresów zmienności składu gazów (patrz tablice 1–3) tak, aby w jednej parze znalazły się gazy odbiegające od założeń w sposób możliwie nieznaczny oraz znaczący. Składy gazów wybranych do obliczeń zebrano w tablicach 4–6.

Tablica 4. Wybrane składy biogazów i gazów z odmetanowania kopalń niespełniające założeń normy PN-EN ISO 6976:2008

Składnik	Biogaz		Gaz z odmetanowania kopalń	
	GAZ_A_1	GAZ_A_2	GAZ_B_1	GAZ_B_2
Metan [% mol/mol]	82,58	61,68	57,44	37,29
CO <sub>2</sub> [% mol/mol]	16,61	38,14	2,20	3,05
Azot [% mol/mol]	0,75	0,14	33,65	49,44
Tlen [% mol/mol]	0,06	0,04	6,64	10,20
Etan [% mol/mol]	n.o.	n.o.	0,07	0,02

n.o. – nie oznaczono

Tablica 5. Wybrane składy gazu koksowniczego i resztkowego niespełniające założeń normy PN-EN ISO 6976:2008

Składnik	Gaz koksowniczy		Gaz rafineryjny	
	GAZ_C_1	GAZ_C_2	GAZ_D_1	GAZ_D_2
Wodór [% mol/mol]	60,3373	35,2693	0,07	0,02
CO [% mol/mol]	0,5444	6,9085	0,01	0,64
Azot [% mol/mol]	8,5247	27,8511	2,67	5,08
Tlen [% mol/mol]	1,0887	7,7812	0,22	0,38
CO <sub>2</sub> [% mol/mol]	1,6757	1,5655	0,03	0,06
Metan [% mol/mol]	24,8409	18,4356	0,16	1,08
Etan [% mol/mol]	0,4377	0,3408	<0,01	3,42
Eten [% mol/mol]	2,3429	1,7519	n.o.	n.o.
Propan [% mol/mol]	0,0045	0,0042	8,80	20,89
Propen [% mol/mol]	0,1728	0,0711	n.o.	n.o.
i-butan [% mol/mol]	0,0007	0,0004	16,07	16,68
n-butan [% mol/mol]	0,0010	0,0006	44,06	36,94
1-buten [% mol/mol]	0,0270	0,0177	0,31	0,43
i-pentan [% mol/mol]	0,0004	0,0002	14,57	9,36
n-pentan [% mol/mol]	0,0008	0,0007	7,56	3,62
C <sub>6+</sub> [% mol/mol]	0,0005	0,0012	5,47	1,40

n.o. – nie oznaczono

Tablica 6. Wybrane składy gazu wielkopieczowego i konwertorowego niespełniające założeń normy PN-EN ISO 6976:2008

Składnik	Gaz wielkopieczowy		Gaz konwertorowy	
	GAZ_E_1	GAZ_E_2	GAZ_F_1	GAZ_F_2
Metan [% mol/mol]	<0,01	0,44	<0,01	<0,01
Wodór [% mol/mol]	1,81	3,27	0,62	0,31
Azot [% mol/mol]	57,80	53,57	25,68	31,98
Tlen [% mol/mol]	4,24	3,39	0,69	2,95
CO <sub>2</sub> [% mol/mol]	14,98	17,89	12,91	15,74
CO [% mol/mol]	21,17	24,09	60,10	49,02



Dla wybranych gazów oznaczonych symbolami od GAZ\_A\_1 do GAZ\_F\_2 wykonano obliczenia współczynnika ściśliwości (tablica 7a) oraz ciepła spalania odniesionego do jednostki objętości zaproponowanymi powyżej metodami (tablica 7b).

Dla gazu rafineryjnego nie prowadzono obliczeń metodą C ze względu na zdecydowaną zaniżoną wartość współczynnika ściśliwości uzyskaną na podstawie normy PN-EN ISO 12213-2:2010 ( $z = 0,0024$ ). Spowodowane to było znaczną zawartością ciężkich węglowodorów w tym gazie. Z tego też względu wyniki ciepła spalania dla gazów GAZ\_D\_1 i GAZ\_D\_2 otrzymane metodą C zostały odrzucone i nie wzięto ich pod uwagę w dalszych obliczeniach. W przypadku pozostałych gazów różnice w ciepłach spalania wyznaczonymi metodami od A do D nie przekraczają  $0,01 \text{ MJ/m}^3$ . Względne odchylenia standardowe zawierają się w przedziale od  $0,01\%$  do  $0,1\%$ , co wskazuje na to, że mimo iż żaden z analizowanych gazów nie spełniał założeń normy PN-EN ISO 6976:2008, to otrzymane wyniki mieszczą

Tablica 7a. Wartości współczynnika ściśliwości wyliczone metodami A–D (warunki odniesienia: temperatura  $t_1 = 288,15 \text{ K} = 15^\circ\text{C}$  i ciśnienie  $p_2 = 101,325 \text{ kPa}$ )

Rodzaj gazu		A	B	C	D
Biogaz	GAZ_A_1	0,9976	0,9976	0,9971	0,9976
	GAZ_A_2	0,9969	0,9968	0,9964	0,9969
Gaz z odmetanowania kopalń	GAZ_B_1	0,9988	0,9988	0,9984	0,9987
	GAZ_B_2	0,9991	0,9991	0,9987	0,9990
Gaz koksowniczy	GAZ_C_1	0,9996	0,9997	1,0000	1,0003
	GAZ_C_2	0,9995	0,9996	0,9997	0,9999
Gaz rafineryjny	GAZ_D_1	0,9630	0,9714	0,0024	0,9665
	GAZ_D_2	0,9721	0,9783	0,0023	0,9751
Gaz wielkopiecowy	GAZ_E_1	0,9993	0,9993	0,9988	0,9992
	GAZ_E_2	0,9992	0,9992	0,9987	0,9991
Gaz konwertorowy	GAZ_F_1	0,9992	0,9993	0,9986	0,9992
	GAZ_F_2	0,9992	0,9992	0,9985	0,9991

się w deklarowanej w normie poprawności, która wynosi  $0,1\%$ . Dużo bardziej zróżnicowane jest ciepło spalania otrzymane dla obydwu gazów rafineryjnych. W przypadku tych gazów różnice pomiędzy maksymalnym a minimalnym wyznaczonym ciepłem spalania mogą przekraczać nawet  $1,1 \text{ MJ/m}^3$ , a otrzymane względne odchylenia standardowe ciepła spalania są znacznie wyższe od  $0,1\%$  i mieszczą się w przedziale od  $0,26\%$  do  $0,36\%$ .

Tablica 7b. Wartości ciepła spalania [ $\text{MJ/m}^3$ ] wyliczone metodami A–D (warunki odniesienia dla procesu spalania: temperatura  $t_1 = 288,15 \text{ K} = 15^\circ\text{C}$ , dla objętości: temperatura  $t_2 = 288,15 \text{ K} = 15^\circ\text{C}$  i ciśnienie  $p_2 = 101,325 \text{ kPa}$ )

Rodzaj gazu		A	B	C	D	Średnie ciepło spalania [ $\text{MJ/m}^3$ ]	CV [%]	$\tilde{H}_{\max} - \tilde{H}_{\min}$ [ $\text{MJ/m}^3$ ]
Biogaz	GAZ_A_1	31,21	31,21	31,22	31,21	31,21	0,02	0,01
	GAZ_A_2	23,33	23,33	23,34	23,33	23,33	0,02	0,01
Gaz z odmetanowania kopalń	GAZ_B_1	21,73	21,73	21,74	21,73	21,73	0,02	0,01
	GAZ_B_2	14,09	14,09	14,10	14,09	14,09	0,02	0,01
Gaz koksowniczy	GAZ_C_1	18,62	18,62	18,61	18,61	18,61	0,02	0,01
	GAZ_C_2	13,41	13,41	13,41	13,40	13,41	0,01	0,01
Gaz rafineryjny	GAZ_D_1	129,45	128,33	<sup>1)</sup>	128,98	128,92	0,36	1,121
	GAZ_D_2	113,14	112,42	<sup>1)</sup>	112,79	112,78	0,26	0,716
Gaz wielkopiecowy	GAZ_E_1	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	0,02	<0,01
	GAZ_E_2	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	0,02	<0,01
Gaz konwertorowy	GAZ_F_1	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27	0,03	0,01
	GAZ_F_2	5,91	5,91	5,91	5,91	5,91	0,03	<0,01

<sup>1)</sup> Nie prowadzono obliczeń ze względu na błędnie wyznaczony współczynnik ściśliwości.

## Wnioski

W Europie jednym z najpopularniejszych sposobów wyznaczania parametrów energetycznych gazów palnych jest

metoda opisana w normie PN-EN ISO 6976:2008. Przedstawiony w tej normie sposób obliczania współczynnika ściśliwości

powoduje jednak, że metoda ta ma ograniczony zakres stosowania, odnoszący się praktycznie wyłącznie do gazu ziemnego. Mimo to, wobec braku innych znormalizowanych metod służących do obliczania parametrów energetycznych pozostałych paliw gazowych, norma ta jest szeroko stosowana do obliczania parametrów energetycznych także innego typu paliw gazowych. Analizując składy typowych paliw gazowych przesyłanych sieciami gazowymi, wykorzystywanych w elektroenergetyce i ciepłownictwie, a także w innych gałęziach przemysłu, można stwierdzić, że założenia normy PN-EN ISO 6976:2008 są spełnione wyłącznie przez gaz ziemny. W przypadku wszystkich pozostałych paliw gazowych parametry energetyczne gazu odniesione do jednostki objętości wyliczane są na podstawie normy PN-EN ISO 6976:2008, mimo iż składy tych gazów nie spełniają założeń tej normy. W takich przypadkach poprawność prowadzonych obliczeń może być gorsza niż deklarowana 0,1%. W celu oszacowania, jak duży wpływ na poprawność otrzymywanych wyników ma fakt, że skład gazu nie spełnia założeń normy PN-EN ISO 6976:2008, przeanalizowano wartości ciepła spalania 12 gazów palnych, które zostały wyliczone według normy PN-EN ISO 6976:2008 z wykorzystaniem współczynników ściśliwości wyznaczonych za pomocą kilku różnych dostępnych algorytmów obliczeniowych. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że:

- w przypadku wszystkich analizowanych gazów palnych, z wyjątkiem gazu rafineryjnego, prowadzenie obliczeń poza zakresem normy PN-EN ISO 6976:2008 nie wpływa

znacząco na poprawność wyników. Świadczy o tym fakt, że dla żadnego z pozostałych 10 analizowanych gazów względne odchylenie standardowe ciepła spalania – uzyskanego różnymi metodami – nie przekroczyło 0,1%, a więc otrzymane RSD mieści się w deklarowanej przez normę poprawności obliczeń. Dla tego typu paliw gazowych poprawność związana z prowadzeniem obliczeń poza zakresem stosowania normy ww. nie przekracza 0,1%;

- w przypadku gazu resztkowego, zawierającego znaczne ilości propanu i węglowodorów cięższych od propanu, sposób wyznaczania współczynnika ściśliwości wpływa na poprawność uzyskiwanych wyników. Względne odchylenie standardowe otrzymanych wartości ciepła spalania dla gazu rafineryjnego wynosi około 0,4%. Dodatkowo zastosowanie normy PN-EN ISO 12213:2010 do wyznaczenia współczynnika ściśliwości dla tego gazu daje błędne oszacowanie. W przypadku gazu rafineryjnego obliczone na podstawie normy PN-EN ISO 6976:2008 ciepło spalania charakteryzować się będzie znacznie gorszą poprawnością, wynikającą z niespełnienia założeń normy, mieszczącą się w granicach 0,5%.

Reasumując, można stwierdzić, że w przypadku paliw gazowych, których skład różni się znacznie od składu gazu ziemnego i nie spełnia założeń normy PN-EN ISO 6976:2008, istnieje możliwość stosowania przedstawionego w niej algorytmu obliczeniowego bez negatywnego wpływu na poprawność uzyskiwanych wyników – o ile gazy te w swoim składzie nie zawierają znacznych ilości węglowodorów ciężkich.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 7, s. 481–486

Artykuł nadesłano do Redakcji 28.11.2014 r. Zatwierdzono do druku 24.03.2015 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Niepewność obliczeń parametrów energetycznych gazu poza zakresem przewidywanym normą PN-EN ISO 6976:2008* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr 11/GE/14/01, nr archiwalny DK-4100-11/14.

## Literatura

- [1] Holewa J., Szlęk M.: *Ocena jakości gazów palnych*. Nafta-Gaz 2013, nr 6, s. 450–454.
- [2] Nederlandse Gasunie N.V.: *Physical properties of natural gases*. 1988.
- [3] Schuster T., Bogucki A.: *Monitoring parametrów cieplnych gazu ziemnego w systemach dystrybucyjnych w kontekście rozliczeń energetycznych*. Nafta-Gaz 2012, nr 9, s. 623–630.
- [4] Schuster T., Bogucki A.: *Trzy lata monitoringu parametrów cieplnych gazu ziemnego w krajowym systemie dystrybucyjnym*. Nafta-Gaz 2011, nr 12, s. 909–919.

## Akty prawne i normatywne

- [5] ASTM D 3588-98 *Standard Practice for Calculating Heat Value, Compressibility Factor, and Relative Density of Gaseous Fuels*.
- [6] GPA 2172-96 *Calculation of Gross Heating Value, Relative Density and Compressibility Factor for Natural Gas Mixtures from Compositional Analysis*.
- [7] PN-EN ISO 12213-2:2010 *Gaz ziemny. Obliczanie współczynnika ściśliwości. Część 2: Obliczenia z zastosowaniem składu molowego*.
- [8] PN-EN ISO 6976:2008 *Gaz ziemny. Obliczanie wartości kalorycznych, gęstości, gęstości względnej i liczby Wobbego na podstawie składu*.

Mgr Jadwiga HOLEWA-RATAJ  
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Ochrony Środowiska.  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25A  
31-503 Kraków  
E-mail: [jadwiga.holewa@inig.pl](mailto:jadwiga.holewa@inig.pl)



Magdalena SZLĘK  
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Ochrony Środowiska.  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25A  
31-503 Kraków  
E-mail: [magdalena.szlek@inig.pl](mailto:magdalena.szlek@inig.pl)