

Dariusz Osika, Andrzej Żurek

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Wpływ gęstości medium na ciśnienie wyjściowe reduktora średniego ciśnienia

W artykule przedstawiono sposób przeliczania strumienia objętości gazów oraz korelację między gęstością medium a charakterystykami przepływu reduktora średniego ciśnienia.

Słowa kluczowe: reduktor, gęstość, strumień objętości.

Influence of gas density on the output pressure of a medium pressure reducing regulator

The article demonstrates how to convert a stream of gas volume and the correlation between gas density and the characteristics of the flow of a medium pressure reducing regulator.

Key words: regulator, density, volume flow.

Wprowadzenie

Reduktor średniego ciśnienia jest jednym z głównych elementów punktu gazowego usytuowanego pomiędzy siecią średniego ciśnienia a instalacją gazową [2].

Punkt gazowy znajduje się na przyłączy i służy do redukcji ciśnienia i do pomiaru ilości gazu ziemnego o strumieniu objętości do 60 m³/h włącznie i o maksymalnym ciśnieniu roboczym na wejściu do 0,5 MPa włącznie [5].

Zadaniem reduktora jest regulacja ciśnienia wyjściowego na stałym poziomie oraz uzyskanie zadeklarowanego przez producenta znamionowego strumienia objętości w zakresie ciśnień wejściowych od 10 kPa do 0,5 MPa. Obecnie ciśnienie wyjściowe według wymagań powinno wynosić: 1,3^{+0,15} kPa lub 2,0^{+0,2} kPa, zależnie od wykonania fabrycznego reduktora.

Regulacja ciśnienia w zależności od budowy reduktora może być jedno- lub dwustopniowa:

- Regulacja jedno-stopniowa działa tak, że przez przejście gazu z komory średniego ciśnienia do komory niskiego ciśnienia redukuje bezpośrednio ciśnienie z sieci na ciśnienie wyjściowe.
- Regulacja dwustopniowa posiada dwa stopnie rozprężania gazu: pierwszy stopień rozprężania następuje w komorze średniego ciśnienia przez przejście gazu z komory wyższego ciśnienia. Zachodzi to samoczynnie dzięki

odpowiedniemu ustawieniu śruby nastawnej. Drugi stopień rozprężania gazu odbywa się w komorze niskiego ciśnienia.

Reduktory dwustopniowe są częściej stosowane, ponieważ stabilniej niż reduktory jedno-stopniowe utrzymują ciśnienie wyjściowe przy zmiennym poborze gazu.

Reduktory średniego ciśnienia posiadają we wspólnym korpusie wbudowane, oprócz właściwych regulatorów ciśnienia, także urządzenia zabezpieczające, chroniące gazową instalację domową przed przekroczeniem granicznych ciśnień roboczych [4]. Dla zapewnienia bezpieczeństwa każdy reduktor powinien być wyposażony w:

- zabezpieczenia przed wzrostem ciśnienia wylotowego,
- zabezpieczenia przed spadkiem ciśnienia wylotowego,
- wydmuchowy zawór upustowy,
- filtr przeciwpyłowy.

Zabezpieczenie przed wzrostem oraz spadkiem ciśnienia wylotowego jest realizowane poprzez zawór szybkozamykający. Wzrost ciśnienia gazu w instalacji może powstać wskutek awarii reduktora. Zawór ten pracuje w pozycji otwartej na zasadzie mechanizmu zapadkowego i ma na celu natychmiastowe zamknięcie przepływu gazu w przypadku nadmiernego wzrostu lub spadku ciśnienia gazu za reduktorem.

Ciśnienie zamknięcia zaworu szybkozamykającego przy wzroście ciśnienia wyjściowego powinno być wyższe od ciśnienia zadziałania wydmuchowego zaworu upustowego.

Powtórne uruchomienie może nastąpić tylko przy ingerencji człowieka.

Zabezpieczenie przed spadkiem ciśnienia wyjściowego/wejściowego może być również realizowane poprzez zawór odcinający. Spadek ciśnienia wyjściowego może nastąpić na skutek nieszczelności instalacji, awarii reduktora, ale także po uruchomieniu odbiorników o dużym poborze gazu. Jest to spowodowane dużą bezwładnością reduktora – odbiornik zaczyna pobierać gaz z instalacji, a reduktor nie zdążył się otworzyć. Zawór działa również przy zaniku ciśnienia wejściowego – przy spadku ciśnienia w sieci następuje spadek ciśnienia w instalacji, co powoduje zadziałanie zaworu odcinającego.

Otwieranie zaworu powinno być manualne, zabezpieczone przed przypadkowym zadziałaniem, przy czym dopuszcza się automatyczne otwieranie zaworu odcinającego z zastrzeżeniem, że otwarcie to uwarunkowane jest przywróceniem

wartości ciśnienia wyjściowego (w instalacji za reduktorem) strumieniem objętości gazu nie większym niż 30 dm³/h [7].

Wydmuchowy zawór upustowy jest wbudowany w korpus i ma za zadanie odprowadzić nadmiar ciśnienia gazu, jeżeli w instalacji wystąpiło niewielkie zwiększenie się ciśnienia. Może ono być spowodowane wzrostem temperatury lub nagłym zanikiem poboru gazu w instalacji gazowej. W momencie wzrostu ciśnienia gazu na wylocie ponad ciśnienie nastawy sprężyna ulega ściśnięciu, a zawór upustowy otwiera się, powodując upuszczenie gazu do atmosfery w ilościach nie większych niż 2% wartości strumienia nominalnego reduktora. Po obniżeniu ciśnienia do wymaganego poziomu zawór samoczynnie się zamyka.

Na wlocie reduktora znajduje się filtr przeciwpływu, który zabezpiecza przed zanieczyszczeniami z sieci.

Dla potwierdzenia prawidłowego działania regulatora ciśnienia oraz urządzeń zapewniających bezpieczeństwo obecnych w reduktorze średniego ciśnienia producent wystawia deklarację zgodności wyrobu.

Wymagania dotyczące reduktorów średniego ciśnienia – ciśnienie wyjściowe

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. z 2004 Nr 198, poz. 2041 ze zm.) [6] reduktory średniego ciśnienia podlegają ocenie zgodności w systemie 3, czyli deklarowanie zgodności wyrobu przez producenta dokonuje się poprzez:

- wstępne badania typu prowadzone przez akredytowane laboratorium,
- zakładową kontrolę produkcji (ZKP) [3].

Badanie typu jest wykonywane na podstawie zaleceń aprobacyjnych [7], które należy wykonać w następujących przypadkach:

- przy pierwszym zastosowaniu zaleceń aprobacyjnych [7] przed wprowadzeniem wyrobu na rynek,
- przy rozpoczynaniu produkcji nowych lub projektowo zmodyfikowanych wyrobów,

- przy wdrażaniu nowej produkcji, jeśli może ona wpłynąć na określone właściwości wyrobu.

Aby reduktor mógł przejść pozytywnie badania typu, musi spełnić wymagania konstrukcyjne i funkcjonalne. Jednym z badań funkcjonalnych jest sprawdzenie ciśnienia wyjściowego. Polega ono na wyznaczeniu charakterystyki przepływowej. Charakterystyka pokazuje zależność ciśnienia wyjściowego od strumienia objętości powietrza przy stałej wartości ciśnienia wejściowego. Wyznacza się ją przy co najmniej trzech wartościach ciśnienia wejściowego. Wartość ciśnienia wyjściowego powinna się mieścić w granicach:

- 1,3^{+0,15} kPa dla wykonania 1,3 kPa,
- 2,0^{+0,2} kPa dla wykonania 2 kPa.

Badania te ze względu na bezpieczeństwo przeprowadza się, stosując jako medium powietrze. Po badaniu należy przeliczyć strumień objętości gazu ziemnego ze strumienia objętości powietrza, uwzględniając różnicę gęstości tych gazów.

Sposób przeliczania objętości gazów

Do przeliczania strumienia objętości wykorzystano wzór [1]

$$Q_x = Q_v \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_x}} \quad (1)$$

gdzie:

Q_x – strumień objętości gazu przeliczanego,

Q_v – strumień objętości gazu mierzonego,

ρ_v – gęstość gazu mierzonego,

ρ_x – gęstość gazu przeliczanego.

W pracy statutowej [1] przedstawiono sposób wyprowadzenia wzoru (1) dla gazomierzy miechowych. Przyjęto, że przepływ medium innego niż powietrze powinien powodować spadek ciśnienia w gazomierzu na takim samym poziomie. Spadek ciśnienia (opór) w gazomierzach miechowych

jest powodowany przez opory hydrauliczne i mechaniczne układu kinetycznego gazomierza. Opór (P) gazomierza został przedstawiony w ogólnej postaci:

$$P = \rho \cdot V^2 \cdot F \quad (2)$$

gdzie:

ρ – gęstość płynu,

V – prędkość płynu,

F – pole powierzchni czołowej ciała stawiającego opór.

Z równania (2) wynika, że w przypadku wzrostu gęstości płynu, przy stałej prędkości płynu i powierzchni oporu, następuje zwiększenie się spadku ciśnienia (oporu) w gazomierzu. W warunkach geometrycznego podobieństwa przepływów, na podstawie zasady zachowania pędu, zachodzi:

$$P_1 = P_2 \quad (3)$$

gdzie:

$$P_1 = \rho_1 \cdot V_1^2 \cdot F_1 \text{ oraz } P_2 = \rho_2 \cdot V_2^2 \cdot F_2 \quad (4)$$

po podstawieniu (4) do (3) uzyskujemy:

$$\rho_1 \cdot V_1^2 \cdot F_1 = \rho_2 \cdot V_2^2 \cdot F_2 \quad (5)$$

przy czym:

$$V_1 = \frac{Q_1}{F_1} \text{ oraz } V_2 = \frac{Q_2}{F_2} \quad (6)$$

Przyjmując, że $F_1 = F_2$, oraz podstawiając (6) do (5), otrzymamy:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

Przyjmując, że Q_1 i ρ_1 są to odpowiednio strumień objętości gazu mierzonego Q_v , oraz gęstość gazu mierzonego ρ_v , Q_2 i ρ_2 oznaczają odpowiednio strumień objętości gazu przeliczanego Q_x oraz gęstość gazu przeliczanego ρ_x , otrzymamy

wzór (1). Stosunek $\sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_x}}$ można potraktować jako współczynnik do przeliczania strumienia objętości.

Poniżej podano przykład przeliczenia strumienia objętości powietrza ze strumienia objętości:

• azotu:

$$Q_x = 1,8 \sqrt{\frac{1,25}{1,29}} = 1,77 \text{ m}^3/\text{h}$$

• argonu:

$$Q_x = 1,3 \sqrt{\frac{1,78}{1,29}} = 1,53 \text{ m}^3/\text{h}$$

• dwutlenku węgla:

$$Q_x = 1,3 \sqrt{\frac{1,96}{1,29}} = 1,60 \text{ m}^3/\text{h}$$

Wyniki badań

W tablicach od 1 do 4 przedstawiono wyniki badań strumienia objętości dla trzech różnych reduktorów A, B, C dla powietrza oraz innych gazów.

Tablica 1. Wyniki badań strumienia objętości dla powietrza

Ciśnienie wlotowe [MPa]	Dysza 4 mm	Dysza 6 mm	Dysza 8 mm	Dysza 9 mm	Reduktor
	przepływ [m ³ /h]	przepływ [m ³ /h]	przepływ [m ³ /h]	przepływ [m ³ /h]	
0,1	1,6	4,6	7,4	10,7	A
0,1	1,6	4,6	7,4	10,5	B
0,1	1,6	4,6	7,4	reduktor wyłączył się	C

Tablica 2. Wyniki badań strumienia objętości dla argonu

Ciśnienie wlotowe [MPa]	Dysza 4 mm		Dysza 6 mm		Dysza 8 mm		Dysza 9 mm		Reduktor
	przepływ [m ³ /h]		przepływ [m ³ /h]		przepływ [m ³ /h]		przepływ [m ³ /h]		
	zmierzony	przeliczony	zmierzony	przeliczony	zmierzony	przeliczony	zmierzony	przeliczony	
0,1	1,3	1,53	3,9	4,58	6,5	7,64	9,2	10,81	A
0,1	1,3	1,53	3,8	4,46	6,2	7,28	8,5	10,57	B
0,1	1,3	1,53	3,8	4,46	6,2	7,28	reduktor wyłączył się	reduktor wyłączył się	C

Tablica 3. Wyniki badań strumienia objętości dla azotu

Ciśnienie wlotowe [MPa]	Dysza 4 mm		Dysza 6 mm		Dysza 8 mm		Dysza 9 mm		Reduktor
	przepływ [m ³ /h]		przepływ [m ³ /h]		przepływ [m ³ /h]		przepływ [m ³ /h]		
	zmierzony	przeliczony	zmierzony	przeliczony	zmierzony	przeliczony	zmierzony	przeliczony	
0,1	2,0	2,0	4,9	4,9	7,8	7,8	10,9	10,9	A
0,1	1,6	1,6	4,6	4,6	7,8	7,8	10,9	10,9	B
0,1	1,8	1,8	4,6	4,6	7,4	7,4	reduktor wyłączył się	reduktor wyłączył się	C

Tablica 4. Wyniki badań strumienia objętości dla dwutlenku węgla

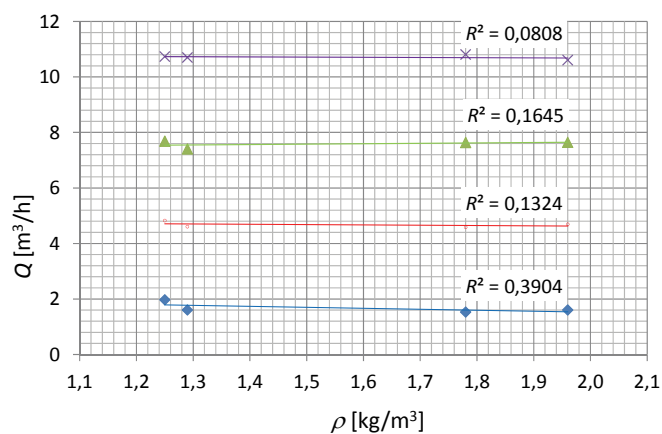
Ciśnienie wlotowe [MPa]	Dysza 4 mm		Dysza 6 mm		Dysza 8 mm		Dysza 9 mm		Reduktor
	przepływ [m ³ /h]		przepływ [m ³ /h]		przepływ [m ³ /h]		przepływ [m ³ /h]		
	zmierzony	przeliczony	zmierzony	przeliczony	zmierzony	przeliczony	zmierzony	przeliczony	
0,1	1,3	1,6	3,8	4,68	6,2	7,64	8,6	10,60	A
0,1	1,3	1,6	3,7	4,56	6,1	7,52	8,4	10,35	B
0,1	1,3	1,6	3,7	4,56	5,9	7,27	reduktor wyłączył się	reduktor wyłączył się	C

Wyznaczenie korelacji

Przedstawioną korelację wyznaczono między charakterystykami przepływu a gęstością medium. Pomiar strumienia objętości wykonano dla trzech różnych reduktorów przy ciśnieniu wejściowym 0,1 MPa. Do oceny korelacji przyjęto współczynnik liniowy korelacji Pearsona, który służy do badania liniowej zależności między danymi.

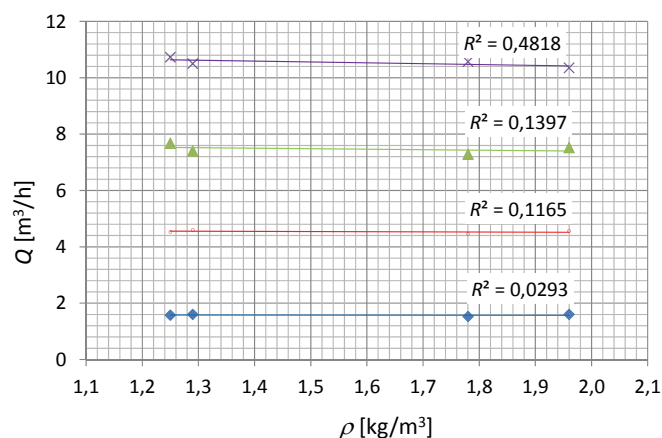
Siła korelacji według współczynnika liniowego korelacji $|r|$:

1. $< 0,2$ – brak korelacji,
2. $0,2 \div 0,4$ – słaba zależność,
3. $0,4 \div 0,7$ – umiarkowana zależność,
4. $0,7 \div 0,9$ – dość silna zależność,
5. $> 0,9$ – bardzo silna zależność.



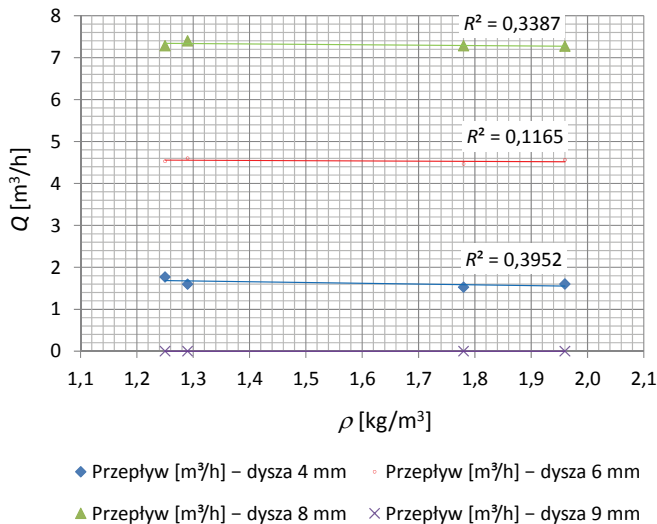
◆ Przepływ [m³/h] – dysza 4 mm ● Przepływ [m³/h] – dysza 6 mm
 ▲ Przepływ [m³/h] – dysza 8 mm × Przepływ [m³/h] – dysza 9 mm

Rys. 1. Korelacja między gęstością medium a charakterystykami przepływu reduktora A przy ciśnieniu wejściowym 0,1 MPa



◆ Przepływ [m³/h] – dysza 4 mm ● Przepływ [m³/h] – dysza 6 mm
 ▲ Przepływ [m³/h] – dysza 8 mm × Przepływ [m³/h] – dysza 9 mm

Rys. 2. Korelacja między gęstością medium a charakterystykami przepływu reduktora B przy ciśnieniu wejściowym 0,1 MPa



Rys. 3. Korelacja między gęstością medium a charakterystykami przepływu reduktora C przy ciśnieniu wejściowym 0,1 MPa

Wnioski

Analizując przedstawione wyniki korelacji, należy stwierdzić, że nie występuje zależność między gęstościami a strumieniami objętości powietrza przeliczonymi ze strumienia objętości pozostałych gazów. W przypadkach, w których istnieje zauważalna zależność o sile umiarkowanej, może

to być wynikiem wahania ciśnienia wyjściowego reduktora, powodującego zmianę przepływu. W związku z tym stwierdza się, że zastosowany wzór do przeliczania strumienia objętości powietrza ze strumienia objętości innych gazów jest prawidłowy.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2016, nr 9, s. 742–746, DOI: 10.18668/NG.2016.09.09

Artykuł nadesłano do Redakcji 19.04.2016 r. Zatwierdzono do druku 17.06.2016 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Analiza gęstości medium na ciśnienie wyjściowe reduktora średniego ciśnienia* – praca INiG – PiB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0049/GP/15, nr archiwalny: DK-4100-49/15.

Literatura

- [1] *Analiza wpływu właściwości fizycznych gazu na parametry metrologiczne gazomierzy miechowych*. Praca statutowa INiG – PiB, zlec. wew. INiG 54/GM/2004.
- [2] Rażna A.: *Wpływ nastaw urządzeń zabezpieczających (wbudowanych we wspólny korpus) na pracę domowych reduktorów średniego ciśnienia*. Nafta-Gaz 2009, nr 4, s. 322–331.
- [3] Wiśniowicz A.: *Ryzyko użytkowania reduktorów średniego ciśnienia*. Nafta-Gaz 2015, nr 8, s. 572–577.
- [4] Wiśniowicz A.: *Wpływ czynników środowiskowych i oddziaływania gazu na funkcjonowanie reduktorów średniego ciśnienia*. Nafta-Gaz 2013, nr 6, s. 463–467.

Akty prawne i normatywne

- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie (Dz. U. z 2013 r. poz. 640).
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. z 2004 Nr 198, poz. 2041 ze zm.).
- [7] Zalecenia Aprobacyjne AT Zał. Nr 122/13 wyd. I/2013 *Zalecenia dla wyrobu będącego przedmiotem aprobaty technicznej. Wymagania i badania. Reduktory o przepustowości do 60 m³/h na ciśnienie średnie*; INiG – PiB 2013.



Mgr inż. Dariusz OSIKA
 Starszy specjalista inżynierjno-techniczny
 w Zakładzie Przesyłania i Dystrybucji Gazu
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: dariusz.osika@inig.pl

Mgr inż. Andrzej ŻUREK
 Starszy specjalista inżynierjno-techniczny w Zakładzie Przesyłania i Dystrybucji Gazu
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: andrzej.zurek@inig.pl