

Wymagania Urzędu Dozoru Technicznego dla urządzeń ciśnieniowych w instalacjach ziębnych

Zabezpieczenie przed wzrostem ciśnienia urządzeń ciśnieniowych w instalacjach ziębnych wg norm PN-EN 378:2 i PN-EN 13136

Część 3



Tomasz Klinkosz

Dział Oceny Zgodności
UDT Oddział w Gdańsku

Niniejsza publikacja to trzeci z kolei materiał poświęcony problematyce bezpieczeństwa instalacji ziębnych (chłodniczych) i wymagań technicznych z tym związanych, w którym zostanie omówiona problematyka związana z zabezpieczeniem tego typu instalacji przed wzrostem ciśnienia oraz ze sposobem doboru zaworów bezpieczeństwa.

Instalacja ziębna jest zespołem urządzeń ciśnieniowych w rozumieniu dyrektywy 2014/68/UE i jak każde urządzenie ciśnieniowe musi być zabezpieczona przed przekroczeniem parametrów granicznych, a przede wszystkim przed przekroczeniem ciśnienia. W tym celu instalację należy wyposażyć w odpowiednie urządzenia zabezpieczające, co wynika bezpośrednio z treści ww. dyrektywy. W punkcie 2.10 wymagań zasadniczych zawartych w załączniku nr 1 do dyrektywy 2014/68/UE przeczytamy, że w przypadku gdy w racjonalnie przewidywalnych warunkach mogłoby nastąpić przekroczenie dopuszczalnych wartości granicznych, urządzenia ciśnieniowe muszą zostać wyposażone w odpowiednie urządzenia zabezpieczające.

SZCZEGÓLWY WYMAGANIA TECHNICZNE, KTÓRYCH SPEŁNIENIE POZWALA NA DOMNIEMANIE SPEŁNIENIA ZASADNICZYCH WYMAGAŃ POWYŻSZEJ DYREKTYWY, ZNAJDZIEMY W NORMIE ZHARMONIZOWANEJ PN-EN 378-2 INSTALACJE ZIĘBNICZE I POMPY CIEPŁA. WYMAGANIA DOTYCZĄCE BEZPIECZEŃSTWA I OCHRONY ŚRODOWISKA, CZĘŚĆ 2: PROJEKTOWANIE, WYKONYWANIE, SPRAWDZANIE, ZNAKOWANIE I DOKUMENTOWANIE. W ROZDZIALE 6 TEJ NORMY ZAWARTO WYMAGANIE DLA ZESPOŁÓW, W TYM DLA URZĄDZEŃ ZABEZPIECZAJĄCYCH PRZED WZROSTEM CIŚNIENIA.

W celu ustalenia, w jakie urządzenia zabezpieczające należy wyposażyć instalację ziębniczą, trzeba przeprowadzić analizę zagrożeń i ocenę ryzyka, która powinna stanowić podstawę do określenia rodzajów urządzeń zabezpieczających, ich rozmieszczenia, liczby i parametrów.

W rozdziale 6.2.6 ww. normy, zatytułowanym „Zastosowanie przyrządów zabezpieczających”, zawarto podstawowe wymagania dla urządzeń zabezpieczających. Spełnienie tych wymogów jest konieczne jeżeli przyjęto tę normę jako dokument odniesienia do wytwarzania instalacji ziębniczej.

Stosowane czynniki ziębnicze są gazami skroplonymi i ich ciśnienie nasycenia w temperaturze otoczenia jest wyższe od atmosferycznego, a jego wartość w stałej objętości jest proporcjonalna do temperatury. Z tego powodu konieczne jest uwzględnienie wpływu zewnętrznego strumienia ciepła w ustaleniu wymaganej przepustowości zaworów bezpieczeństwa. Drugim ważnym elementem determinującym zastosowane zawory bezpieczeństwa, w celu ograniczenia wzrostu ciśnienia, jest scenariusz pożaru zewnętrznego. Obowiązek uwzględnienia tego scenariusza wynika bezpośrednio z punktu 2.12 załącznika nr 1 do dyrektywy 2014/68/UE, z którego wynika, że w miarę potrzeb urządzenia ciśnieniowe muszą być tak zaprojektowane oraz, gdzie sytuacja tego wymaga, wyposażone w odpowiedni osprzęt lub posiadać możliwość jego zainstalowania, aby spełniały wymogi ograniczenia uszkodzeń w przypadku zewnętrznego ognia. Powyższe wymaganie dyrektywy zostało uwzględnione również w normie PN-EN 378:2, gdzie w punkcie 6.2.2.3, jako jedno z rozwiązań służących do ograniczenia uszkodzeń wynikających z pożaru, jest zastosowanie odpowiednich urządzeń ograniczających ciśnienie, co w tym przypadku można rozumieć jako zawory bezpieczeństwa, których przepustowość określono zgodnie z normą PN-EN 13136.

W zależności od rodzaju instalacji ziębniczej, rodzaju czynnika ziębniczego oraz przyjętych parametrów granicznych instalacja ziębnicza powinna być wyposażona w osprzęt zabezpieczający określony na podstawie przeprowadzonej analizy zagrożeń oraz rozdziałów 6.2.5 i 6.2.6 normy PN-EN 378:2.

Jako osprzęt zabezpieczający należy rozumieć osprzęt służący do zabezpieczenia przed przekroczeniem parametrów granicznych. Są to:

A. Przyrządy upustowe, rozładowujące ciśnienie:

- zawory bezpieczeństwa rozładowujące czynnik ziębniczy do atmosfery,
- zawory bezpieczeństwa nadmiarowe rozładowujące czynnik ziębniczy do niskociśnieniowej części instalacji ziębniczej,
- płytki bezpieczeństwa,
- korki topliwe.

B. Inne rozwiązania realizujące funkcje bezpieczeństwa, tj. automatyka zabezpieczająca.

W dalszej części zwracam uwagę na najistotniejsze kwestie przy doborze zaworów bezpieczeństwa i zaworów bezpieczeństwa nadmiarowych w instalacjach ziębniczych.

1. Źródła wzrostu ciśnienia

Obliczenia doboru zaworów bezpieczeństwa powinny uwzględniać wszystkie możliwe do przewidzenia przyczyny nadmiernego wzrostu ciśnienia oraz przyczyny wynikające z punktów 6.2, 6.3 i 6.4 normy PN-EN 13136, tj.:

- zewnętrzne źródła ciepła, w tym pożar,
- wewnętrzne źródła ciepła,
- nadmierne ciśnienie powodowane przez sprężarki.

Jak wynika z powyższego, wymagania obliczenia przepustowości zaworów bezpieczeństwa powinny obejmować co najmniej powyższe przypadki, w tym pożar zewnętrzny oraz inne zidentyfikowane w analizie zagrożeń źródła przekroczenia ciśnienia, np. uszkodzenie zaworu regulacyjnego, wskutek czego może nastąpić dopływ czynnika o wyższym ciśnieniu.

Na tej podstawie należy obliczyć minimalną wymaganą przepustowość Q_{md} , która stanowi podstawę do dalszych obliczeń.

2. Przepustowość zaworu bezpieczeństwa

W celu określenia przepustowości zaworu bezpieczeństwa dla przepływu podkrytycznego i krytycznego należy skorzystać z zależności (15) w normie:

$$Q_m = 0,2883 \times C \times A \times K_{dr} \times K_b \times \sqrt{\frac{P_o}{v_o}} \quad [\text{kg/h}]$$

gdzie:

A – najmniejsza powierzchnia przepływu w zaworze bezpieczeństwa [mm²],

C – funkcja wykładnika izentropy,

K_{dr} – obniżona wartość współczynnika przepływu ($K_{dr} = K_d \times 0,9$),

K_b – teoretyczny współczynnik poprawkowy dla przepływu podkrytycznego,

P_o – rzeczywiste ciśnienie zrzutowe $p_o = 1,1 \times p_{set} + p_{atm}$,

v_o – objętość właściwa pary lub cieczy [m³/kg].

W kolejnym kroku należy wyznaczyć Q_{md}' , skorygowaną przepustowość, służącą do obliczania spadków ciśnienia w przewodach dopływowych i odpływowych z zaworu bezpieczeństwa. W tym celu konieczne jest porównanie rzeczywistej przepustowości dobranej zaworu bezpieczeństwa z minimalną wymaganą przepustowością i ustalenie na podstawie poniższych zależności wartości $Q_{md}' = Q_{md}$ lub $Q_{md}' = Q_m / 1,25$.

$$Q_{md} < Q_m < 1,25 \times Q_{md} \Rightarrow Q_{md}' = Q_{md}$$

$$Q_m \geq 1,25 \times Q_{md} \Rightarrow Q_{md}' = Q_m / 1,25$$

Następnie konieczne jest sprawdzenie, czy najmniejsza powierzchnia przepływu A w dobranym zaworze bezpieczeństwa jest wystarczająca do odprowadzenia strumienia masy czynnika określonego Q_{mf} . W tym przypadku należy wyznaczyć obliczeniową powierzchnię przepływu A_c z zależności (16) normy:

$$A_c = \frac{Q_{mf}}{0,2883 \times C \times K_{ds} \times K_b \times \sqrt{\frac{p_0}{v_0}}} = 3,469 \times \frac{Q_{mf}}{C \times K_{ds} \times K_b} \times \sqrt{\frac{v_0}{p_0}} \quad [\text{mm}^2]$$

Należy pamiętać, że w przypadku gdy zawór bezpieczeństwa upuszcza czynnik ziębiczny do przewodu odpływowego połączonego z atmosferą lub niskociśnieniową częścią instalacji, zmianie może ulec wartość współczynnika K_b , który jest funkcją ciśnienia rzutowego po i ciśnienia panującego w rurociągu odpływowym, czylił przeciwcisnienia p_0 . Wzrost przeciwcisnienia w rurociągu odpływowym z zaworu powoduje zmniejszenie wartości współczynnika K_b , a zatem zwiększenie wymaganego przekroju obliczeniowego A_c . Wynika z tego konieczność weryfikacji przepustowości zaworu bezpieczeństwa w sytuacji zmian w układzie odprowadzającym czynnik ziębiczny z zaworu bezpieczeństwa powodujących zmianę wartości współczynnika K_b .

3. Spadek ciśnienia w przewodzie dopływowym do zaworu bezpieczeństwa

Norma PN-EN 13136 określa wartość graniczną spadku ciśnienia w przewodzie dopływowym do zaworu bezpieczeństwa $\Delta p_m \leq 0,03 \times p_0$. Warunek dotyczy spadku ciśnienia we wszystkich elementach zainstalowanych w przewodzie, łącznie z zaworem przełączającym.

Biorąc pod uwagę fakt, że do obliczeń spadku ciśnienia w tym przewodzie bierzemy wyznaczony uprzednio Q_{mf} , może zaistnieć konieczność zwiększenia wymiarów elementów w przewodzie dopływowym, a szczególnie zastosowanie zaworu przełączającego z uwzględnieniem wartości K_{vs} tych zaworów.



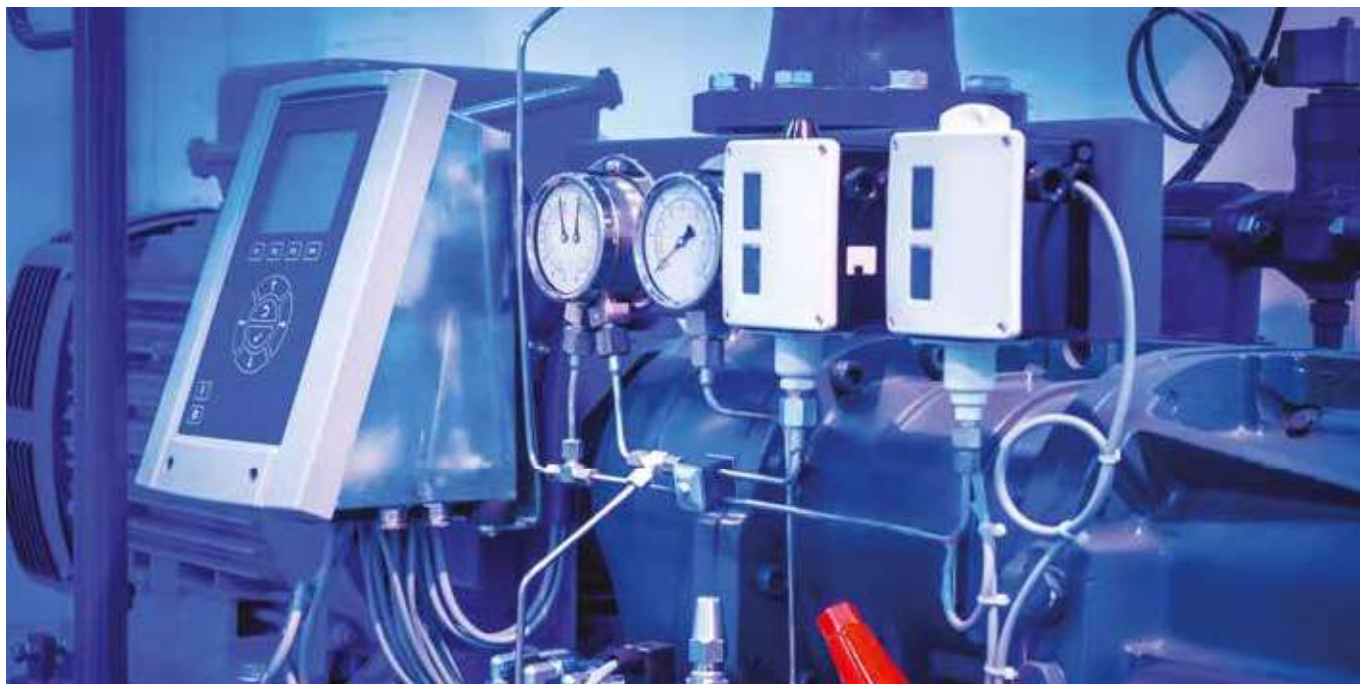
4. Spadek ciśnienia w przewodzie odpływowym z zaworu bezpieczeństwa

Sposób obliczenia spadków ciśnienia w przewodzie odpływowym zależy od tego, czy do przewodu podłączony jest jeden zawór bezpieczeństwa (jeden komplet zaworów na zaworze przełączającym), czy jest to kolektor odprowadzający, do którego czynnik odprowadzany jest z więcej niż jednego zaworu bezpieczeństwa. W pierwszym przypadku sprawa jest zdecydowanie prostsza, ponieważ obliczenia można przeprowadzić na podstawie zależności (24) normy, gdzie do obliczenia wartości przeciwcisnienia p_1 wykorzystujemy w większości dane użyte do wcześniejszych obliczeń.

Należy pamiętać, że w zależności od tego, czy rurociąg odpływowy z zaworu bezpieczeństwa połączony jest z atmosferą lub niskociśnieniową częścią instalacji ziębicznej, należy przyjąć odpowiednią wartość ciśnienia p_2 , które jest ciśnieniem panującym na końcu przewodu odpływowego. W przypadku odprowadzenia czynnika na niskociśnieniową stronę instalacji ziębicznej należy przyjąć najwyższe możliwe ciśnienie, które może wystąpić w tej przestrzeni.

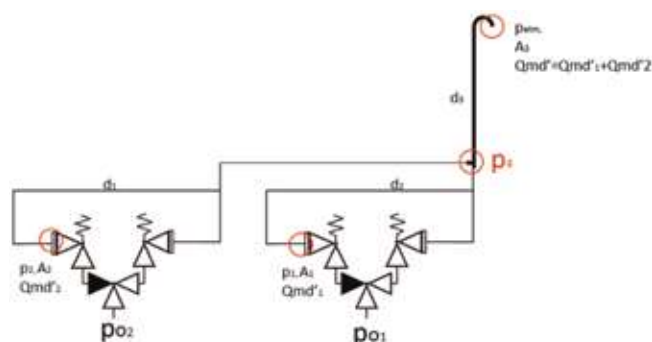
W drugim przypadku w celu obliczenia ciśnienia p_1 , jakie będzie panowało w króćcu wylotowym zaworu bezpieczeństwa w przy-





padku jego zadziałania, należy skorzystać z zależności (23) normy, z której to, uwzględniając prędkość przepływu w konkretnym przekroju przewodu odpływowego, możemy obliczyć ciśnienie p_1 .

Na rysunku 1 przedstawiono uproszczony schemat rurociągu odpływowego z zaworów bezpieczeństwa do atmosfery; okręgami oznaczono punkty, w których należy wyznaczyć ciśnienia składowe w celu wyznaczenia ciśnienia w króćcu wylotowym poszczególnych zaworów bezpieczeństwa. Należy pamiętać, że oznaczenia p_1 i p_2 w PN-EN 13136 oznaczają ciśnienia: p_1 – na wylocie z analizowanego zaworu bezpieczeństwa, p_2 – na wylocie z kolektora, natomiast indeksy na schematach często oznaczają kolejny numer zaworu i muszą korespondować z obliczeniami.



Rys. 1. Przykład rurociągu odpływowego z grupy dwóch kompletów zaworów bezpieczeństwa

Obliczenia kolektora można rozpocząć od strony jego połączenia z atmosferą, gdzie znane są wszystkie zmienne niezbędne do obliczeń, tj. ciśnienie p_2 równe w tym przypadku ciśnieniu atmosferycznemu i oznaczone na rysunku 1 jako p_{atm} ; strumień masy będący sumą przepływu z wszystkich podłączonych zaworów bezpieczeństwa do kolektora w $[kg/h]$, pole przekroju rurociągu w przekroju A_3 . Zatem z zależności (23) wyznaczamy ciśnienie oznaczone na rysunku jako p_4 . Ciśnienie p_4 wynikające z miejscowych i liniowych oporów przepływu odcinka kolektora o średnicy d_3 i strumienia masy Q_{md}' stanowić będzie ciśnienie panujące na końcu kolektora dla wyznaczenia ciśnień oznaczonych na rysunku odpowiednio p_1 i p_2 .

Najczęściej stosowane kryterium dopuszczalnego przeciwcisnienia w rurociągu odpływowym zaworów bezpieczeństwa zależnych od przeciwcisnienia wg normy PN-EN 13136 wynosi $\Delta p_{out} \leq 0,10 \times p_o$. Zatem dla omawianego przypadku można je określić dla zaworu o ciśnieniu zrzutowym p_{o1} jako:

$$\Delta p_{out\ o1} \leq 0,10 \times p_{o1}$$

gdzie:

$$p_1 = p_{atm} + \Delta(p_{atm} - p_4) + \Delta(p_4 - p_1),$$

$$\Delta p_{out\ o1} = p_{atm} - \Delta(p_{atm} - p_4) + \Delta(p_4 - p_1)$$

Odpowiednio dla zaworu o ciśnieniu zrzutowym p_{o2} jako:

$$\Delta p_{out\ o2} \leq 0,10 \times p_{o2}$$

gdzie:

$$p_2 = p_{atm} + \Delta(p_{atm} - p_4) + \Delta(p_4 - p_2),$$

$$\Delta p_{out\ o2} = p_{atm} - \Delta(p_{atm} - p_4) + \Delta(p_4 - p_2)$$

Podsumowanie

W celu przeprowadzenia obliczeń przeciwcisnienia w rurociągu odpływowym z zaworów bezpieczeństwa niezbędne jest posiadanie jego wymiarów i informacji o zastosowanym osprzęcie. W toku eksploatacji instalacji żiębniczej należy zwrócić szczególną uwagę na rozmieszczenie zaworów bezpieczeństwa oraz zmiany wprowadzane w rurociągach dopływowych i odpływowych z zaworów bezpieczeństwa, ponieważ mogą one prowadzić do wzrostu przeciwcisnień powyżej wartości dopuszczalnych.

Literatura

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/68/UE z dnia 15 maja 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstwa państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku urządzeń ciśnieniowych.
2. PN-EN 378-2:2017. Instalacje żiębnicze i pompy ciepła. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska. Część 2: Projektowanie, wykonywanie, sprawdzanie, znakowanie i dokumentowanie.
3. PN-EN 13136+A1:2019-01. Instalacje żiębnicze i pompy ciepła. Ciśnieniowe przyrządy bezpieczeństwa i przewody przyłączeniowe. Metody obliczeń.
4. PN-EN 1861:2001. Instalacje żiębnicze i pompy ciepła. Schematy ideowe i montażowe instalacji, rurociągów i przyrządów. Układy i symbole.