

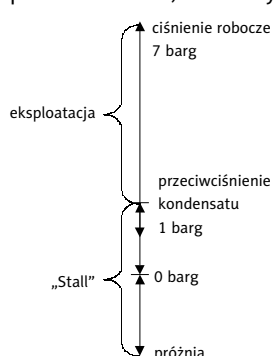
Efekt „stall” – przyczyny i skutki występowania oraz metody zapobiegania

Każdy, kto kiedykolwiek miał styczność z parą wodną i urządzeniami wymiennikowymi słyszał o zjawisku „stall”. Większość osób odpowiedzialnych za systemy parowe doświadczyła go na swojej instalacji parowej. Dlaczego więc jest tak wiele niejasności odnośnie efektu „stall”? Jakie są przyczyny powstawania tego zjawiska? Jak szkody może ono wyrządzić? Jak można mu zapobiegać?

PRZYZYNY WYSTĘPOWANIA

Zjawisko to najprościej zdefiniować jako stan, w którym odbiornik ciepła z powodu niewystarczającego ciśnienia w instalacji, nie jest w stanie odprowadzić skroplin, w efekcie czego urządzenie jest zalane. „Stall” występuje głównie w urządzeniach wymiennikowych, w których ciśnienie pary jest regulowane w celu uzyskania odpowiednich parametrów medium wyjściowego (np. temperatury). Ryzyko wystąpienia tego efektu zależy od parametrów pary, a w szczególności od ciśnienia. To właśnie ciśnienie decyduje o tym, czy takie urządzenia jak choćby węzownice, wymienniki ciepła, itp. pracują w warunkach eksploatacyjnych czy tzw. „stall”.

Eksploatacja – poruszając się w górnej części zakresu ciśnienia, ciśnienie robocze jest większe od przeciwcisnienia, które występuje za odwadniaczem.



W związku z powyższym, istnieje pozytywna różnica ciśnień, która pozwala na odprowadzenie skroplin z urządzenia do linii powrotu kondensatu.

„Stall” – w dolnym zakresie ciśnienia, ciśnienie robocze jest mniejsze lub równe ciśnieniu, które występuje

je za odwadniaczem. W związku z tym, różnica ciśnień nie występuje lub jest negatywna. W efekcie następuje brak odprowadzania kondensatu do linii powrotnej, co skutkuje zalewaniem się urządzenia.

Dla przykładu przyjmijmy parametry jak poniżej:

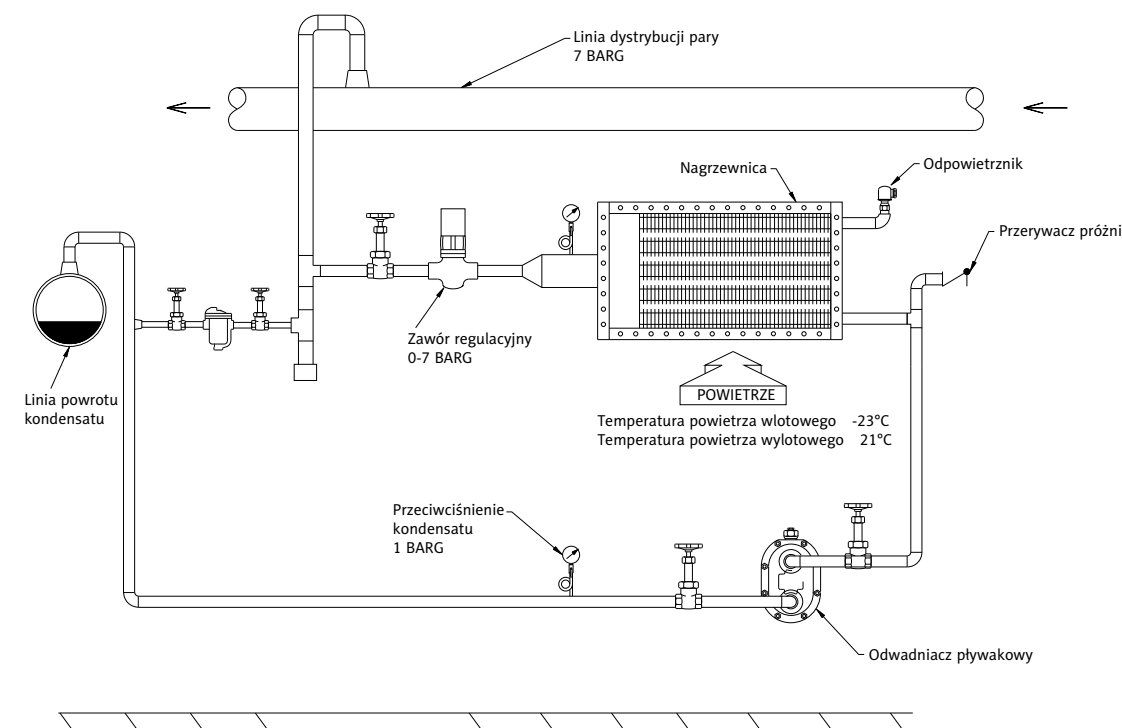
- ciśnienie maksymalne: 7 barg
- przeciwcisnienie kondensatu: 1 barg
- temperatura wlotowa powietrza: -23 °C
- temperatura wylotowa powietrza: 21 °C
- maks. ilość kondensatu: 1360 kg/h

Biorąc pod uwagę powyższe parametry oraz szkic instalacji z Rysunku 2, można zauważyć, że w przypadku obniżenia ciśnienia przez zawór regulacyjny do 1 barg (lub poniżej), układ zacznie pracować w trybie „stall”. Zjawisko to często obserwuje się podczas pracy pod niskim obciążeniem, przy którym nagrzewnica pracuje wykorzystując jedynie ułamek swojej wydajności oraz przy ciśnieniu niższym niż maksymalne ciśnienie projektowe.

SKUTKI ZJAWISKA „STALL”

W przypadku wystąpienia efektu „stall”, kondensat zaczyna zalegać w urządzeniu, co powoduje szereg problemów. Część z nich jest niewielka lecz część może powodować krytyczne awarie systemu. Wśród problemów jakie generuje efekt „stall” należy wymienić między innymi niewystarczające odprowadzanie kondensatu, uderzenia hydrauliczne (szok termiczny), zamarzanie węzownic, korozja nasilająca

◀◀
Rysunek 1
Schemat trybów eksploatacji i „stall”



◀
Rysunek 2
Przykładowy schemat instalacji parowej

się przy występowaniu przechłodzonego kondensatu i w efekcie tworzeniem się kwasu węglowego, niezadawalająca kontrola temperatury procesu, skrócenie żywotności urządzeń, niestabilność pracy zaworu regulacyjnego (praca cykliczna), czy też obniżenie wydajności wymiany ciepła.

CZYNNIKI PRZYCZYNIAJĄCE SIĘ DO WYSTĘPOWANIA ZJAWISKA „STALL”

Efekt „stall” może występować z wielu powodów, które zawsze sprowadzają się do faktu, że ciśnienie w urządzeniu jest zbyt niskie by usunąć kondensat. Powodów zbyt niskiego ciśnienia jest przynajmniej kilka:

- przewymiarowane urządzenie (nadmierna powierzchnia wymiany ciepła),
- zastosowanie zbyt dużych współczynników bezpieczeństwa,
- zbyt wysokie przeciwcisnienie w linii kondensatu (podnoszenie kondensatu, ciśnieniowy powrót kondensatu),
- zastosowanie zaworu regulacyjnego,
- praca pod niższym ciśnieniem ze względu na mniejsze zapotrzebowanie,
- próżnia.

Wiele urządzeń wymiennikowych jest podatnych na „stall”, ponieważ często są one projektowane z uwzględnieniem nadmiernych współczynników bezpieczeństwa. W celu dostarczania solidnych i odpornych na uszkodzenia jednostek, które mogą pracować w ekstremalnych warunkach, producenci oraz inżynierowie często bowiem przewymiarowują urządzenia. To niestety jednocześnie podnosi ryzyko wcześniejszego występowania efektu „stall”.

ROZWIĄZANIA NIE IDEALNE

Problemy z odprowadzaniem kondensatu, w przypadku występowania efektu „stall” są powszechnie znane. Przez lata praktyki powstał szereg tzw. „rozwiązań”, które ograniczają „stall”. Pierwszym z nich jest zastosowanie **przerwywacza próżni**, który nie dopuszcza do utrzymania w instalacji ciśnienia niższego niż atmosferyczne. Niestety zastosowanie przerwywacza próżni pomocne jest jedynie, gdy kondensat spływa grawitacyjnie, przepływając się do ciśnienia atmosferycznego. W przypadku wystąpienia przeciwcisnienia, odwadniacz i tak nie będzie w stanie odprowadzić kondensatu. Dodatkowo, przerwywacz próżni powoduje „zasysanie” niepożądanego powietrza do instalacji generując straty pary wtórnej. Często także, z uwagi na niepoprawne miejsce montażu za urządzeniem wymiennikowym, przerwywacz próżni od czasu do czasu nie pracuje poprawnie, np. gdy ciśnienie hydrostatyczne pionowej kolumny kondensatu utrzymuje przerwywacz próżni w zamkniętej pozycji, podczas gdy w urządzeniu można zaobserwować małe podciśnienie.

Drugim sposób na minimalizację efektu „stall” związany jest z zastosowaniem **dodatkowego odwadniacza**, montowanego powyżej odwadniacza głównego. Ma to na celu, w przypadku gdy układ napotyka na efekt „stall”, odprowadzenie skroplin do spustu, w którym występuje ciśnienie atmosferyczne. Niestety dodatkowy odwadniacz to znaczna strata energii (gorący kondensat, para wtórna), poprzez zrzucenie skroplin do kanału. Problemy z od-

wodnieniem mogą się zaczynać nawet od 90% (lub więcej) projektowanego obciążenia, co skutkuje stratą 90% (lub więcej) kondensatu, który zostaje odprowadzony w kanał.

Trzecim wyjściem z sytuacji jest zastosowanie **systemu utrzymującego pozytywną różnicę ciśnień**, czyli zastosowanie powietrza lub innego gazu w celu utrzymania ustalonego ciśnienia w instalacji. Zabieg ten ma za zadanie zapewnienie dodatniej różnicy ciśnień na odwadniaczu, w celu poprawnego odprowadzania skroplin. Niestety taki system doprowadza znaczącą ilość niepożądanego powietrza (lub innego gazu) do urządzenia, co może powodować szereg problemów:

- powietrze działa jako izolator, zmniejszając w ten sposób zdolność wymiany ciepła przez urządzenie,
- dodatkowe obciążenie dla odpowietrzników,
- dużo częstsze otwieranie się odpowietrzników powoduje znaczącą stratę energii (mieszaniny pary i powietrza).

Jak widzimy, trzy przedstawione wyżej rozwiązania nie są pozbawione wad, przez co generują wiele niepożądanych skutków. Użytkownicy nie są jednak skazani na wybór zła koniecznego.

ROZWIĄZANIE REKOMENDOWANE

Aby zminimalizować ryzyko wystąpienia efektu „stall” polecamy zastosowanie **pompy kondensatu lub odwadniacza pompującego w „systemie zamkniętym”**, w celu odwadniania układów ze zmiennym ciśnieniem pary. Takie rozwiązanie pozwala na ciągłe odprowadzanie kondensatu – nawet w przypadku wystąpienia podciśnienia w instalacji, eliminuje zasadność używania przerwywacza próżni i nie powoduje strat pary wtórnej do atmosfery. Zastosowanie pompy kondensatu lub odwadniacza pompującego może przynieść także szereg innych korzyści:

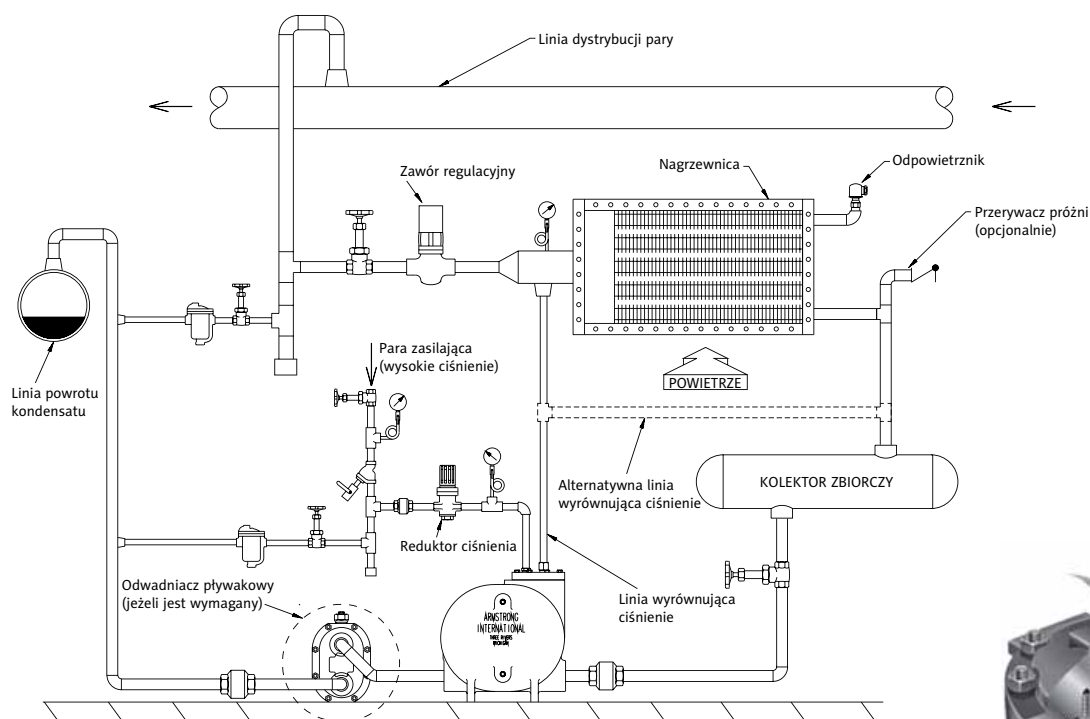
- brak potrzeby budowania kosztownych linii odpowietrzających,
- dobór pompy pod konkretne obciążenie „stall” pozwala na zastosowanie mniejszych oraz tańszych pomp,
- eliminacja uszczelnień na wirniku obrotowym, brak kawitacji czy wymagań NPSH,
- pomijalne koszty eksploatacji,
- wydłużona żywotność układu,
- zredukowanie występowania korozji,
- wiarygodna kontrola temperatury w urządzeniu,
- zredukowane koszty konserwacji.

KONCEPCJA

Zastosowanie pompy kondensatu lub odwadniacza pompującego w „systemie zamkniętym” sprowadza się do spełnienia jednego podstawowego warunku – ujednolicenia ciśnienia w urządzeniu wymiennikowym oraz w odwadniaczu pompującym, umożliwiając w ten sposób grawitacyjne spływanie kondensatu do pompy.

Wyrównanie ciśnienia można uzyskać poprzez:

- połączenie linii odpowietrzenia (linii wyrównującej ciśnienie) pompy kondensatu z linią dolotową pary do urządzenia lub do kolektora zbiorczego kondensatu przed pompą,
- zamontowanie odwadniacza za pompą kondensatu lub wyeliminowanie odwadniacza, w przypadku gdy ciśnienie zasilające jest niższe od przeciwcisnienia kondensatu.



Rysunek 3
Poprawny montaż
pompy kondensatu
w „systemie
zamkniętym”

Podłączenie linii odpowietrzenia pompy kondensatu z linią zasilającą urządzenie jest zalecane w przypadku gdy spadek ciśnienia w urządzeniu wymiennikowym wynosi 1/2 lub mniej.

W przypadku gdy spadek ciśnienia jest większy, linia wyrównująca ciśnienie powinna być wpięta do kolektora zbiorczego kondensatu przed pompą. Połączenie powinno być wykonane w górnej części kolektora lub do rurociągu przed kolektorem, aby uniknąć zalewania pompy kondensatem tą linią (uwaga: rurociągi wylotowe powinny być powiększone o jedną dymensję w celu uniknięcia korków wodnych).

Dla obu powyższych przypadków, rurociąg linii wyrównującej ciśnienie (vent line) powinien być powiększony także o jedną dymensję, gdy długość rury przekracza 1,8 m.

OKREŚLENIE OBCIĄŻENIA, PRZY KTÓRYM WYSTĘPUJE EFEKT „STALL”

W celu określenia obciążenia generującego powstanie efektu „stall” należy wyliczyć obciążenie krytyczne Q_{cr} :

$$Q_{cr} = (t_b - \Delta t) / (t_s - \Delta t) \times Q_s$$

gdzie:

Q_{cr} = obciążenie krytyczne

t_b = temperatura pary nasyconej odpowiadającej ciśnieniu kondensatu

t_s = temperatura pary nasyconej na zasilaniu

$\Delta t = (t_1 + t_2) / 2$

t_1 = temperatura wejściowa produktu

t_2 = temperatura wyjściowa produktu

Q_s = maksymalny przepływ pary [kg/h], lub moc wymiennika ciepła [kW]

tj. dla wcześniej wymienionego przykładu:

$$Q_{cr} = (120^\circ\text{C} - (-1^\circ\text{C})) / (170^\circ\text{C} - (-1^\circ\text{C})) \times 1360 \text{ kg/h} = 121^\circ\text{C} / 171^\circ\text{C} \times 1360 \text{ kg/h} = 962 \text{ kg/h}$$

Objaśnienie:

- gdy zawór regulacyjny otworzy się na tyle, że przepływ pary będzie wyższy niż 926 kg/h, to różnica ciśnień będzie pozytywna. Odwadniacz powinien być

dobrany na wydajność 926 kg/h @, przy różnicy ciśnień 0,1 bar,

- gdy zawór regulacyjny spowoduje przepływ pary mniejszy niż 926 kg/h, na dołocie do urządzenia wymiennikowego, to różnica ciśnień będzie negatywna. Pompa kondensatu powinna być dobrana na wydajność 926 kg/h, przy założeniu, że para zasilająca ma do 7 barg, a przeciwcisnienie to 1 barg,
- w przypadku gdy wymiennik jest przewymiarowany o 50%, oznacza to, że jest w stanie odebrać ciepło z 2040 kg/h pary. Zjawisko „stall” pojawi się przy ok. 106% maksymalnego obciążenia, czyli w całym zakresie pracy. Jako, że różnica ciśnień zawsze będzie negatywna, to nie ma potrzeby stosowania odwadniacza za pompą kondensatu.

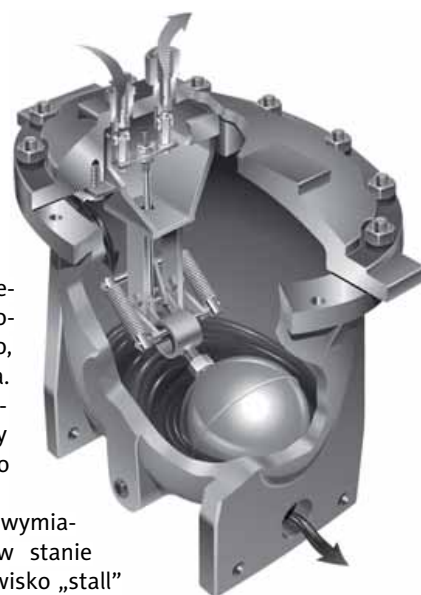
KONKLUZJE

W przeważającej większości zakładów użytkujących parę wodną do produkcji możemy znaleźć aplikacje, które napotykają problemy z odprowadzaniem kondensatu. Stosowanie rozwiązań opartych o przerwywacze próżni, dodatkowe odwadniacze czy system utrzymujący pozytywną różnicę ciśnień, są często obarczone istotnymi wadami. Zastosowanie pompy kondensatu lub odwadniacza pompującego w „systemie zamkniętym” jest więc najkorzystniejszym rozwiązaniem. Korzyści wynikające z zastosowania tych układów to m.in. ograniczona konserwacja, poprawa wydajności, wydłużenie żywotności urządzeń oraz oszczędności kosztów w zakresie instalacji oraz eksploatacji.

Igor Zotów

Absolwent Politechniki Gdańskiej, na Wydziale Mechanicznym. Od 2011 roku zajmuje się armaturą przemysłową, głównie w układach pary i kondensatu. W Introlu pracuje od 2013 roku na stanowisku zastępcy kierownika działu armatury.

Tel: 601 55 33 01



▲ Odwadniacz
pompujący

