

Krzysztof Szalucki

UDERZENIA WODNE W INSTALACJACH PARY I KONDENSATU.

1. Wstęp

Kiedy po wejściu na kotłownię parową lub do innego pomieszczenia z urządzeniami zasilanymi parą, nagle dociera do nas przerażający huk oraz drżenie części instalacji pary i kondensatu, zastanawiamy się: czy nic nam nie grozi, czy jesteśmy bezpieczni? Później przyzwyczajamy się do ciągłych hałasów przypominających walenie młotem lub trzasków podobnych do serii karabinu maszynowego, którym towarzyszą gwałtowne drgania instalacji. Tym samym popełniamy duży błąd. Ten hałas i drżenie instalacji, to bardzo czytelna informacja, że w naszym systemie pary i kondensatu mamy do czynienia z szeregiem nieprawidłowości związanych z poprawnością jego zaprojektowania, budowy oraz eksploatacji i konserwacji. Tolerowanie takiego stanu może doprowadzić do bardzo poważnych awarii, często związanych z zagrożeniem zdrowia i życia personelu obsługującego instalację.

Nie ignorujmy tych sygnałów dźwiękowych! Instalacja będzie mogła bronić się samodzielnie do czasu! W artykule tym postaram się wyjaśnić, co jest najczęstszą przyczyną występowania opisanych powyżej niebezpiecznych efektów oraz w jaki sposób można ich unikać.

2. Uderzenie wodne – definicja

Gwałtowne zatrzymanie lub gwałtowne wprowadzenie w ruch wody w instalacji powoduje powstanie nieustalonego wzrostu ciśnienia (szok ciśnieniowy) w tej instalacji, co często prowadzi do uszkodzenia rurociągów, ich wyposażenia i armatury. Ponieważ temu efektowi nieustalonego wzrostu ciśnienia w instalacji towarzyszy głośnie „bum” przypominające uderzenie młotem, zjawisko to umownie określa się jako „uderzenie wodne”.

Uderzenie wodne (szok ciśnieniowy) przemieszcza się w systemie z prędkością dźwięku charakterystyczną dla układu woda-rurociąg. Dla systemu wody w rurze stalowej można przyjąć prędkość dźwięku jak dla wody, która wynosi ok. 1370 m/s. Tak duża szybkość przemieszczania się szoku ciśnieniowego w systemie jest przyczyną wprowadzenia rurociągów w drgania oraz dynamicznego przeniesienia obciążeń na elementy składowe rurociągów (zawory, elementy pomiarowe, podpory rurociągów itp.).

Przyrost ciśnienia spowodowany gwałtownym zatrzymaniem (lub wprowadzeniem w ruch) wody można opisać wzorem:

$$\Delta P = \rho \cdot c \cdot \Delta U$$

gdzie ρ - jest gęstością wody, c - to prędkość dźwięku w wodzie, ΔU - jest zmianą prędkości słupa wody. Podstawiając typowe wielkości: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $c = 1370 \text{ m/s}$, $\Delta U = 2,9 \text{ m/s}$ możemy określić przyrost ciśnienia w wysokości 40 bar ($3.970.000 \text{ Pa} \approx 4,0 \text{ MPa} = 40 \text{ bar}$). Uzyskany wynik uświadamia wielkość szoku ciśnieniowego i wyjaśnia niebezpieczeństwo jego oddziaływania na system. Dodatkowo dla instalacji rozgałęzionych o ślepo zakończonych rozgałęzieniach (np. odciętych na końcach zaworami), fala szoku ciśnieniowego odbija się od zaślepionego końca powodując dodatkowy nawet dwukrotny przyrost jego wielkości (dla powyższego przykładu możliwe jest osiągnięcie np. 80 bar przyrostu ciśnienia).

Możemy rozróżnić trzy podstawowe typy uderzeń wodnych:

- Hydrauliczne uderzenia wodne
- Uderzenie wodne wynikające z współprzepływu wody w rurociągu parowym
- Termiczne uderzenia wodne

(może się zdarzyć, że różne typy uderzeń wodnych wystąpią w systemie równocześnie).

W niektórych opracowaniach literatury można spotkać uwagę, że uderzenia wodne wynikające z współprzepływu wody w rurociągu parowym, nie są określane jako rzeczywiste uderzenie wodne. Faktycznie sposób i miejsce powstania tego zjawiska różnią się od typowego uderzenia wodnego, które zachodzi w środowisku płynu nieściśliwego. Jednakże gwałtowność i skutki wystąpienia towarzyszące pojawieniu się uderzenia wynikającego z współprzepływu wody w rurociągu parowym, bardzo często przypominają typowe warunki dla uderzenia wodnego, z tego względu zjawisko to zostało również uwzględnione w tym opracowaniu.

3. Hydrauliczne uderzenie wodne

Jeżeli uderzenie wodne powstaje na skutek bardzo szybkiego zamknięcia zaworu, załączenia czy wyłączenia pompy w instalacji z ciekłym czynnikiem jednofazowym, to mamy do czynienia z tzw. hydraulicznym uderzeniem wodnym.

Miejsca powstawania i występowania hydraulicznych uderzeń wodnych jest stosunkowo proste do określenia. Sposoby przeciwdziałania i zapobiegania powstawaniu hydraulicznych uderzeń wodnych są stosunkowo proste i polegają głównie na zmniejszeniu gwałtowności zatrzymania lub wprawienia w ruch cieczy w rurociągu, a jeżeli jest to niemożliwe do zrealizowania, stosowane są tłumiki hydraulicznych uderzeń wodnych, które absorbują i obcinają piki szoku ciśnieniowego. W przypadku, gdy decydujemy się na zastosowanie tłumika hydraulicznych uderzeń wodnych konieczne jest umieszczenie go bardzo blisko miejsca powstawania uderzenia wodnego, w przeciwnym przypadku efekt jego działania nie będzie zadowalający.

3.1 Zawory szybkodziałające odmulające

W procesie odmulania kotłów parowych najczęściej wykorzystujemy szybkodziałające zawory odmulające np. GESTRA MPA46. Szybki proces otwarcia, duża przepustowość przy pełnym otwarciu (trwa ono ok. 3-4 sekund) oraz bardzo silne i gwałtowne (zapewniające szczelność) zamknięcie zaworu, te cechy pracy zaworu gwarantują nam poprawne przeprowadzenie procesu usunięcia szlamów, które nagromadziły się na dnie kotła. Jednakże proces gwałtownego zamknięcia powoduje powstanie hydraulicznego uderzenia wodnego, które może prowadzić do utraty szczelności na uszczelkach zaworu odmulającego lub poprzedzającego zawór odmulający zaworu odcinającego. Uderzenie wodne powstające podczas gwałtownego zamknięcia zaworu odmulającego będzie tym groźniejsze im odległość kocioł – zawór odmulający będzie większa. Dzieje się tak ponieważ kocioł parowy (z przestrzenią parową i pęcherzami pary w objętości wodnej) jest naturalnym tłumikiem uderzenia wodnego powstającego w zaworze odmulającym. Zwiększając dystans od tego naturalnego tłumika, narażamy się na zmniejszenie jego efektu tłumienia, co z kolei jest przyczyną częstego uszkodzania uszczelnień, a nawet korpusów zaworów. Prowadzone doświadczenia pokazały, że zawór odmulający zainstalowany 10m od kotła pracującego przy ciśnieniu 10bar może być narażony na uderzenia wodne o chwilowym piku ciśnienia sięgającym 60 bar (czyli przekraczającym ciśnienie nominalne zainstalowanego zaworu). Pamiętajmy, szybkodziałający zwór odmulający należy instalować tak blisko kotła, jak to tylko możliwe!

3.2 Zawory elektromagnetyczne

Zawory elektromagnetyczne ze względu na charakter pracy (szybkie otwarcie i zamknięcie przepływu) bardzo często są przyczyną powstawania uderzeń wodnych na rurociągach z cieczami. Dla ograniczenia wielkości uderzeń wodnych powstających podczas pracy tych zaworów należy zwracać szczególną uwagę na prędkości przepływu w rurociągu. Bardzo trudno będzie uniknąć uderzeń wodnych na zaworach elektromagnetycznych, jeżeli np. prędkość wody w rurociągu będzie przekraczała 1,5 m/s. Jedną z możliwości zmniejszenia prędkości przepływu jest zastosowanie zaworów elektromagnetycznych o średnicy przyłączeniowej znacznie większej od średnicy przelotu gniazda lub wprowadzenie innych urządzeń dławiących, które spowodują obniżenie prędkości przepływu.

3.3 Zawory kulowe

Zawory kulowe, podobnie jak zawory elektromagnetyczne, można zamknąć i otworzyć bardzo szybko. Szybkie zamknięcie podczas przepływu czynnika nieściśliwego ze znaczną prędkością spowoduje powstanie uderzenia wodnego. W przypadku zaworów kulowych sterowanych ręcznie należy zwrócić szczególną uwagę na szybkość zamykania, jeżeli spowolnimy proces zamykania, to uderzenia wodne nie będą obserwowane. W przypadku sterowania pneumatycznego możemy również spowolnić proces zamknięcia lub zastosować zabiegi zmniejszające prędkość przepływu, podobne do zalecanych dla zaworów elektromagnetycznych.

3.4 Uruchomienie lub zatrzymanie pompy

W przypadku systemu pompowego uderzenia wodne mogą pojawiać się zarówno podczas uruchomienia, jak i podczas zatrzymania pompy. Przy zatrzymaniu pompy obserwujemy zjawisko podobne do tego, które powstaje również za szybko zamkniętym zaworem odcinającym. Woda za pompą nie zatrzymuje się natychmiast, a odpływając zza wirnika powoduje miejscowe powstanie podciśnienia (może dojść do miejscowego odparowania czynnika pompowanego), które następnie jest siłą napędową dla cofnięcia się kolumny wody. Cofająca się woda zostaje gwałtownie zatrzymana przez zawór zwrotny za pompą, to zatrzymanie generuje powstanie szoku ciśnieniowego. Podobnie przy uruchomieniu pompy woda w rurociągu przed pompą nie zaczyna płynąć natychmiast. Na ssaniu pompy powstaje miejscowe podciśnienie (może dojść do miejscowego odparowania czynnika pompowanego), które jest siłą napędową dla przepływu wody w kierunku pompy. Kiedy czoła kolumny wody zderzają się powstaje uderzenie wodne.

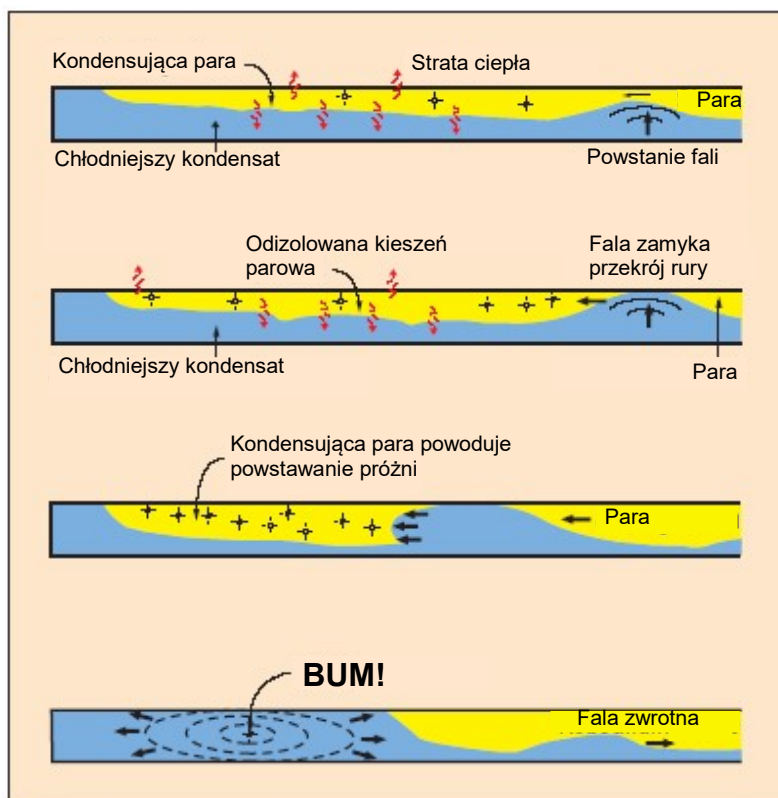
Dla zapobiegania powstawaniu uderzeń wodnych przy rozruchu i zatrzymaniu pompy należy stosować zalecane prędkości czynnika odpowiednie dla strony ssącej (do 0,5 m/s) i tłoczącej (do 1,5 m/s – wyższe dla zastosowań w energetyce). Właściwa wysokość napływu na pompę jest również bardzo ważnym parametrem zabezpieczającym przed powstawaniem uderzeń wodnych. Uderzenia wodne podczas rozruchu i zatrzymania pompy mają bardzo niekorzystny wpływ na żywotność pompy. Jedną z metod ich unikania jest również takie dostosowanie parametrów pracy pompy, aby rozruch i zatrzymanie występowały jak najrzadziej. W przypadkach ostatecznych zalecane jest zainstalowanie tłumika uderzeń wodnych.

3.5 Zawory zwrotne

Zawory zwrotne zabezpieczając system przed przepływem zwrotnym bardzo często powodują powstawanie uderzeń wodnych. Proces zamknięcia zaworu zwrotnego przebiega bardzo gwałtownie. Dla ograniczenia wielkości szoku ciśnieniowego ważne jest odpowiednie wymiarowanie zaworu zwrotnego. W zaworze zwrotnym na typowe uderzenie wodne nakłada się dodatkowo uderzenie kłapy o siedzisko. W przypadku większych średnic zaworów zwrotnych stosuje się różne systemy tłumiące, które spowalniają proces zamknięcia.

4. Termiczne uderzenie wodne

Na powstanie termicznego uderzenia wodnego mają wpływ procesy termiczne związane z przemianami fazowymi. Ten rodzaj uderzenia wodnego powstaje w przypadku przepływu pęcherzy parowych przez chłodniejszy kondensat lub też, gdy mieszanina parowo-wodna powstająca z rozprężanego kondensatu, łączy się z kondensatem o niższej temperaturze. Na skutek gwałtownego odbioru ciepła przez kondensat pęcherze parowe gwałtownie maleją (para ulega kondensacji), co powoduje powstanie próżni i natychmiastowy napływ kondensatu w kierunku próżni, aż do zderzenia się czoł kondensatu (implozja). Na rysunku 1 zaprezentowano sposób w jaki powstaje termiczne uderzenie wodne.



Rysunek 1. Mechanizm powstawania termicznego uderzenia wodnego.

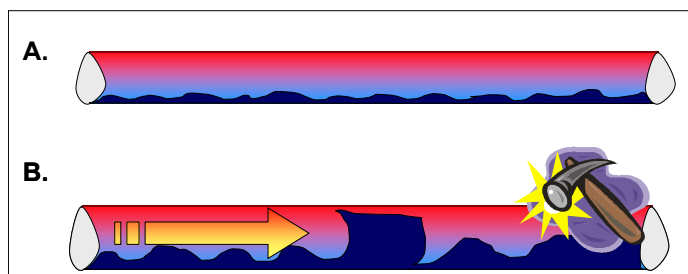
Intensywność termicznego uderzenia wodnego zależy od wielkości powierzchni kontaktu między parą i wodą, prędkości przepływu wody i pary oraz różnicy temperatur pomiędzy parą i wodą.

4.1 Uderzenia wodne w rurociągach przesyłowych pary

Uderzenia wodne - czy też może lepszym określeniem będzie: uderzenia rozpędzonych korków wodnych - w rurociągach parowych najczęściej są spowodowane ich niewłaściwym odwadnianiem. Woda w rurociągach przepływa ze znacznie mniejszymi prędkościami niż para. Para przepływająca z dużą prędkością nad wodą gromadzącą się w dolnej części rurociągu powoduje falowanie powierzchni wody - rysunek 2A. Jeżeli kondensat nie jest odprowadzany z rurociągu parowego, jego ilość systematycznie wzrasta i w pewnym momencie dochodzi do powstania fali, która zamknie prześwit rurociągu parowego - rysunek 2B. Wówczas tworzy się „korek” wodny.

Korek ten początkowo porusza się dużo wolniej niż para, ale z jednej strony jest napędzany parą, a z drugiej jego strony para „ucieka” tworząc przed korkiem próżnię. Próżnia ta powoduje wzrost różnicy ciśnień przed i za korkiem, co staje się znaczącą siłą napędową

korka wodnego. Zaczyna on się poruszać z bardzo dużymi prędkościami, aż do napotkania oporu miejscowego najczęściej związanego z gwałtowną zmianą kierunku przepływu np. zawór odcinający, kolano rurociągu itp., gdzie następuje uderzenie i rozładowanie energii kinetycznej, często prowadzące do poważnej awarii.



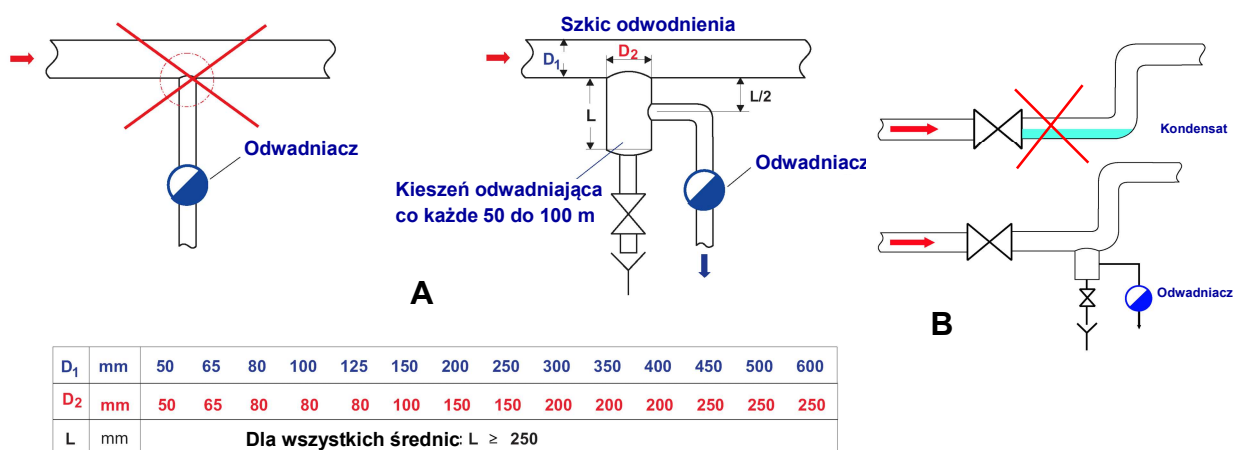
Rysunek 2. Uderzenia wodne w rurociągach parowych.

W nieprawidłowo odwadnianych rurociągach parowych, przy dużych ilościach nagromadzonego kondensatu, dochodzić może również do typowych termicznych uderzeń wodnych.

4.1.1 Podczas rozruchu rurociągu przesyłowego pary

Jeżeli instalacja parowa nie ma poprawnie wykonanego systemu odwadniającego, to po jej odstawieniu w rurociągach pary pozostaną duże ilości kondensatu. W takim systemie podczas rozruchu będzie dochodziło do kontaktu gorącej pary z zimnym kondensatem (bardzo duża różnica temperatur), a tym samym do bardzo intensywnych termicznych uderzeń wodnych. Co więcej, również korki wodne będą pchane przez napływającą parę niszcząc elementy wyposażenia rurociągu. Ogólne zalecenie, co do zastosowania systemu odwodnień na rurociągach przesyłowych pary to:

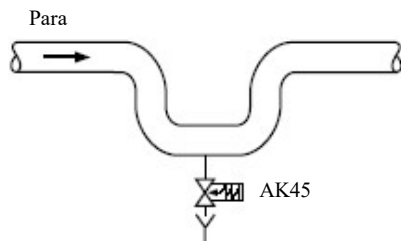
- poprawnie wykonane (rysunek 3a) odwodnienie, co 50-100 m odcinka prostego rurociągu,
- odwodnienie bezpośrednio przed podniesieniem rurociągu parowego (rysunek 3b),
- odwodnienie rozruchowe kieszeni na rurociągach pary (rysunek 4).



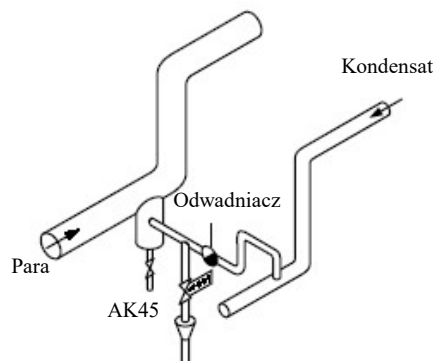
Rysunek 3. Odwodnienia rurociągów przesyłowych pary

Należy pamiętać, że jeżeli rurociągi parowe odwadniane są do zbiorczego systemu kondensatu, to cały system pary i kondensatu musi on być tak skonstruowany, aby woda nie pozostawała w instalacji parowej po jej zatrzymaniu, gdy ciśnienie w rurociągu pary spada do zera.

W przypadku rozległych instalacji pary i kondensatu najkorzystniej jest zastosować zawory odwadniająco-rozruchowe np. GESTRA AK45 pracujące na wydmuch (rysunek 5) przy ciśnieniu w rurociągu pary poniżej ok. 0,8 bar, jeżeli ciśnienie jest wyższe od tej wartości zawory zamykają się, a funkcję odwodnienia przejawia odwadniacz.



Rysunek 4. Odwodnienie rozruchowe kieszeni parowej

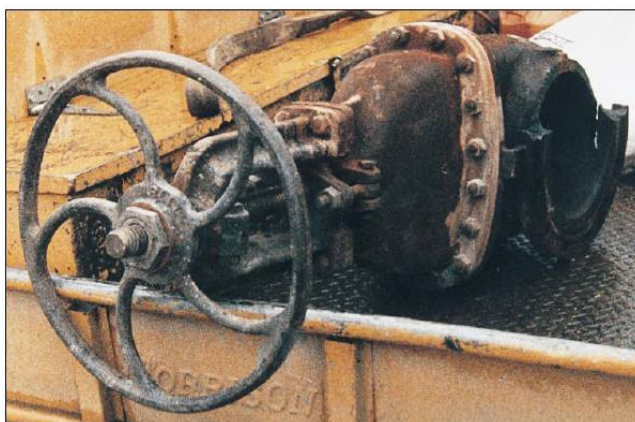


Rysunek 5. Sposób wykorzystania zaworu odwadniająco-rozruchowego AK45

4.1.2 Podczas pracy rurociągu przesyłowego pary

Natychmiastowe i dokładne usunięcie kondensatu, powstającego na skutek strat do otoczenia, podczas pracy rurociągu przesyłowego, to podstawowy warunek dla uniknięcia uderzeń wodnych.

Przy projektowaniu i budowie rurociągu przesyłowego należy bezwzględnie przestrzegać ogólnych zaleceń przedstawionych na rysunku 3. Z punktu widzenia ruchu instalacji niezwykle ważne jest nie tylko wykonanie odwodnienia, ale również wykonanie poprawnego odwodnienia. Jeżeli dla odwodnienia rurociągu wykorzystamy rurkę DN20, to możemy być pewni, że woda płynąca w dolnej części rurociągu przepłynie nad tą rurką praktycznie do niej nie wpadając. Wodę płynącą w dolnej części rurociągu trzeba wyłapać, aby tego dokonać stosujemy konstrukcje T-owe, o średnicy „kieszeni” zbliżonej do średnicy rurociągu przesyłowego. Tak wykonane odwodnienie stanowi pułapkę dla wody. Należy zwrócić szczególną uwagę na staranność wykonania, ponieważ wszelkie niedokładności montażowe wewnątrz rurociągu będą utrudniać wyłapywanie wody płynącej po dnie rurociągu parowego. Skutki uderzeń wodnych w rurociągach parowych pokazano na rysunku 6.



Rysunek 6. Żeliwne zasuwy rozerwane na skutek uderzeń wodnych w rurociągach parowych.

4.1.3 Zawory kulowe na instalacjach parowych

Często obserwuję zastosowanie zaworów kulowych na rurociągach parowych, wiąże się to z coraz wyższymi dopuszczalnymi temperaturami pracy dla zaworów kulowych i ich korzystniejszą ceną w stosunku do zaworów odcinających grzybkowych. Stosując te zawory należy koniecznie zdawać sobie sprawę z pewnych ograniczeń. Zazwyczaj za zamkniętym zaworem odcinającym rurociągu parowego zbiera się kondensat. Gwałtowne wprowadzenie w ruch takiego korka wodnego jest niebezpieczne dla systemu parowego. Zawory kulowe już przy niewielkim kącie otwarcia charakteryzują się własnościami przepływowymi zbliżonymi do maksymalnych, ponadto niedoświadczony użytkownik może gwałtownie otworzyć całkowicie zawór kulowy jednym ruchem prowadząc do nadmiernych szoków i naprężeń termicznych w instalacji – te cechy są bardzo niebezpieczne i niepożądane.

Inną niekorzystną cechą charakteryzującą zawór kulowy stosowany na instalacji parowej jest zdolność zapiekania się kuli i siedziska. Jeżeli zawór kulowy dłuższy czas przebywa w jednym położeniu, to na skutek zapiekania się trudno go zamknąć lub otworzyć. W takich momentach użytkownicy często zakładają na dźwignię zaworu rurę dla zwiększenia ramienia. W momencie, gdy niespodziewanie moment obrotowy (zwiększony dzięki przedłużonej dźwigni) przekroczy wartość związaną z zapiekaniem się, doprowadzamy często do nagłego, niekontrolowanego i niebezpiecznego otwarcia zaworu kulowego. Instalacja parowa powinna być uruchamiana bardzo powoli nie tylko ze względu na uderzenia wodne, ale również ze względu na szybkość jej wygrzewania i związane z tym powstawanie niebezpiecznych naprężeń materiału konstrukcyjnego rurociągu i jego osprzętu.

4.2 Uderzenia wodne w rurociągach kondensatu

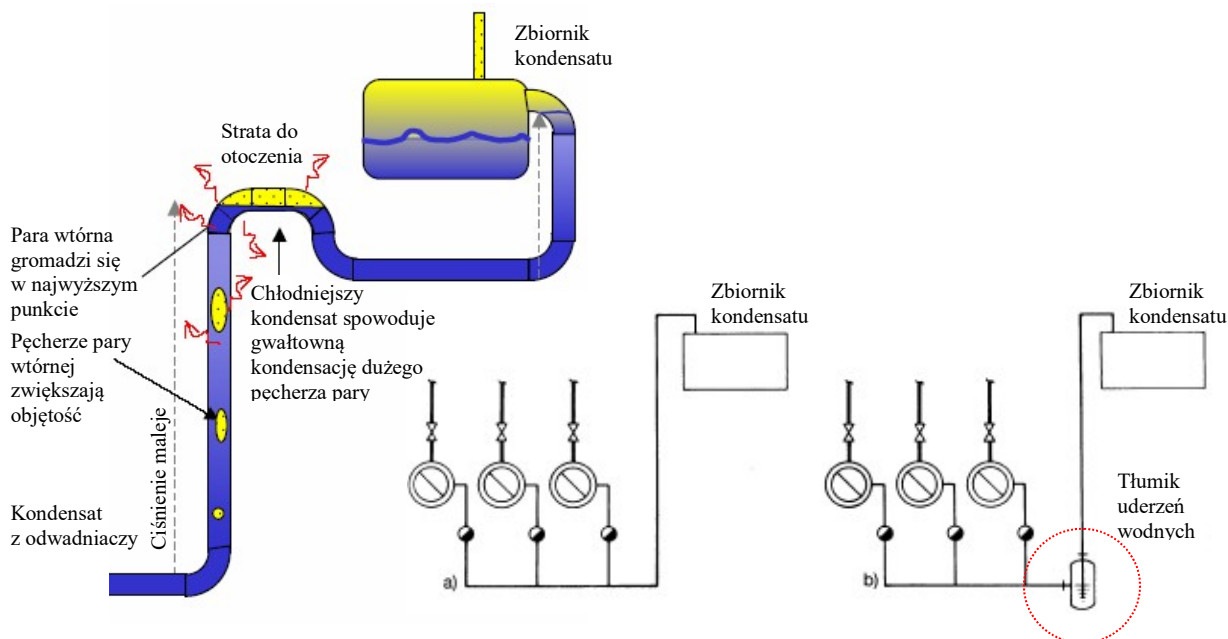
Termicznego uderzenia wodnego w instalacji kondensatu nie można dokładnie określić, ale wiele aspektów związanych z możliwością jego powstawania trzeba przewidzieć już na etapie projektowania i budowy instalacji kondensatu. Najlepszym rozwiązaniem jest takie zaprojektowanie i wykonanie instalacji, żeby nie było możliwości powstania uderzenia wodnego. Jeżeli jest to jednak niemożliwe, trzeba przewidzieć zastosowanie odpowiednich urządzeń tłumiących.

Podstawowe przyczyny pojawiania się uderzenia wodnego w instalacji kondensatu związane są z mieszaniem się kondensatów z różnych źródeł tj. gorącego kondensatu zawierającego parę z rozprężania z kondensatem chłodniejszym. Bardzo często z termiczne uderzenia wodne występują podczas podnoszenia kondensatu.

4.2.1 Podnoszenie kondensatu (tłumiki uderzeń wodnych)

Unikanie występowania termicznych uderzeń wodnych podczas podnoszenia kondensatu jest zadaniem trudnym, szczególnie gdy przed miejscem podniesienia łączymy kilka odpływów rurociągów kondensatu w jeden rurociąg zbiorczy.

W pionowym odcinku rurociągu pęcherze pary wtórnej występującej w kondensacie, na skutek oddziaływania siły wyporu rozpoczynają ruch ku górze dużo szybszy niż tego oczekujemy i wynika to z prędkości przepływu kondensatu. Dodatkowo ciśnienie statyczne wewnątrz rurociągu kondensatu maleje ku górze (coraz mniejszy słup wody), w związku z tym objętość pęcherzy pary rośnie. Szybszy przepływ pęcherzy w stosunku do kondensatu powoduje, że przepływające pęcherze napotykają na swojej drodze zimniejsze obszary kondensatu lub też para z rozprężania gromadząc się w najwyższym punkcie rurociągu styka się z dużo chłodniejszym kondensatem, w obu przypadkach dochodzi do implozji i termicznego uderzenia wodnego. Takie uderzenie wodne rozprzestrzenia się z wielką szybkością w obszarze cieczy powodując zniszczenia w instalacji.



Rysunek 8. Uderzenia wodne podczas podnoszenia kondensatu

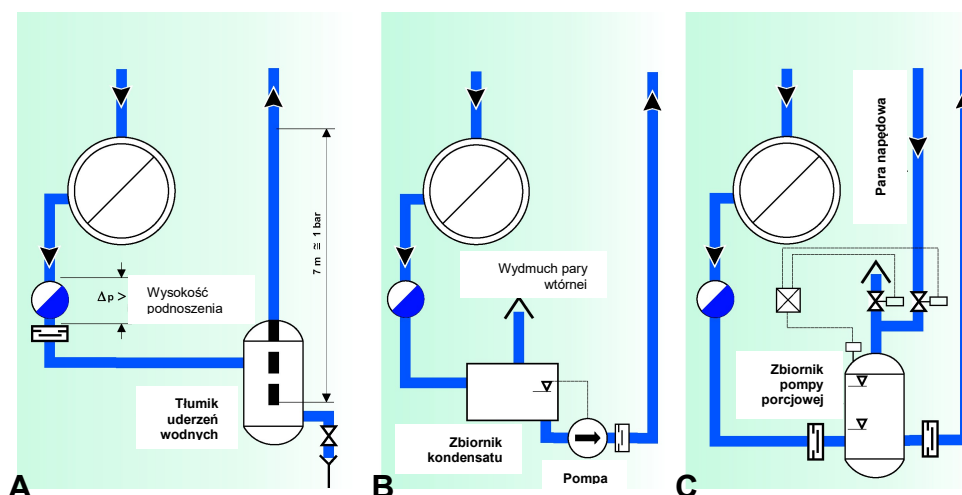
Jeżeli dochodzi do zniszczenia pływaka odwadniacza pływakowego – rysunek 9 – to oznacza, że pik przenieszonego szoku ciśnieniowego na pewno przekroczył 60 bar.



Rysunek 9. Uszkodzenie pływaka kulowego odwadniacza pływakowego na skutek uderzenia wodnego.

W przypadku powstawania niebezpiecznych termicznych uderzeń wodnych przy podnoszeniu kondensatu zalecane jest zastosowanie rozwiązań, które nie wyeliminują powstawania uderzeń wodnych, ale w sposób zadowalający ograniczą wielkość piku szoku ciśnieniowego. Takimi urządzeniami są tłumiki uderzeń wodnych np. GESTRA ED zastosowane w punkcie rozpoczęcia podnoszenia kondensatu – rysunek 10a. Poduszka parowa powstająca wewnątrz tłumika ma za zadanie wytłumienie i obcięcie pików ciśnieniowych.

Innym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie zbiornika kondensatu (rysunek 10b) lub pompy porcjowej (rysunek 10c) w taki sposób, aby kondensat z odbiorników spływał do nich możliwie grawitacyjnie. Przy takim rozwiązaniu para wtórna zazwyczaj jest wydmuchiwana do otoczenia, a jedynie faza ciekła (kondensat) jest przepompowywana do następnego zbiornika.



Rysunek 10. Zapobieganie możliwości powstawania uderzeń wodnych przy podnoszeniu kondensatu.

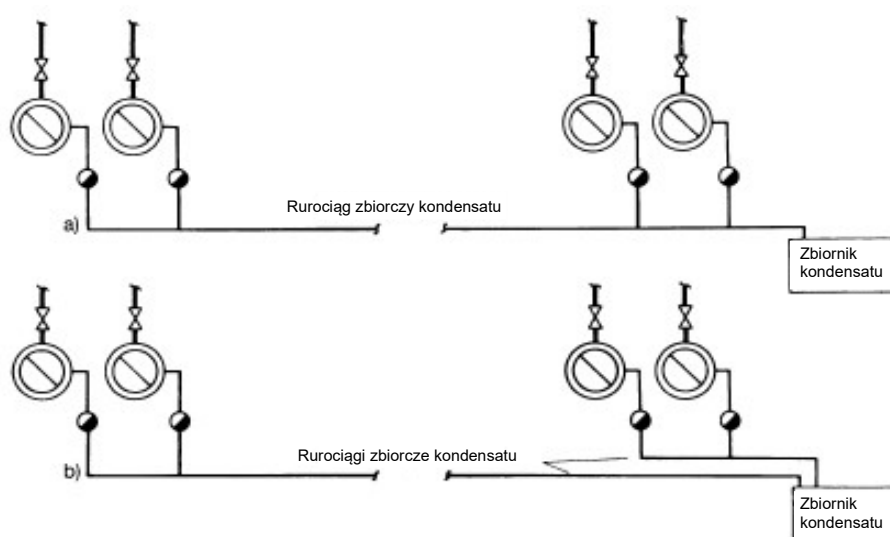
4.2.2 Mieszanie kondensatów

Mieszanie kondensatów:

- o różnych parametrach roboczych (temperatura, ciśnienie, stan),
- powstających z par o znacznie różniącym się ciśnieniu,
- spływających z odbiorników znajdujących się w znacznej odległości względem siebie (rysunek 11a),

będzie zazwyczaj przyczyną powstawania niebezpiecznych termicznych uderzeń wodnych.

Jeżeli mieszaninę pary wtórnej z rozprężania kondensatu wysokociśnieniowego i kondensatu w stanie nasycenia zmieszamy ze stosunkowo chłodniejszym kondensatem z innego źródła, to praktycznie zawsze będzie dochodziło do uderzeń wodnych w instalacji (gwałtowna kondensacja dużych pęcherzy pary wtórnej).



Rysunek 11. Mieszanie kondensatu z odległych odbiorników.

Dla uniknięcia powstawania tego zjawiska najkorzystniejsze jest prowadzenie oddzielnych rurociągów zbiorczych dla kondensatów z różnych, często bardzo odległych (rysunek 11b) odbiorników. Do jednego rurociągu zbiorczego kondensatu doprowadzamy kondensat powstający z pary o zbliżonym ciśnieniu i z podobnie obciążanych odbiorników.

Do rurociągu zbiorczego kondensat zawsze w prowadzamy od góry.

4.2.3 Przebieg pary do instalacji kondensatu

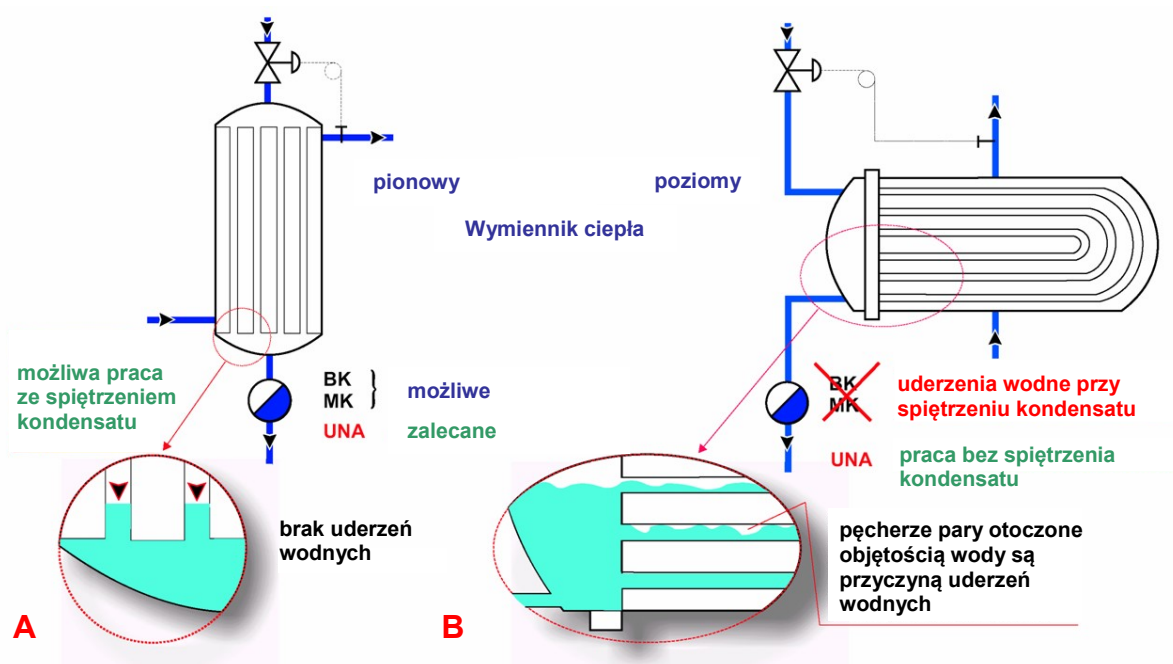
W przypadku przebiegu pary do instalacji kondensatu istnieje również spore niebezpieczeństwo, że wystąpią silne uderzenia wodne na skutek gwałtownej kondensacji pary w instalacji chłodniejszego kondensatu. Niebezpieczeństwo to jest jednym (nie jedynym) z powodów, dla których należy szczególnie dbać o jakość i poprawność (paroszczelność) pracy odwadniaczy.

4.3 Uderzenia wodne w wymiennikach i odbiornikach ciepła

W wymiennikach ciepła uderzenia wodne występują przede wszystkim podczas rozruchu (zbyt intensywnie prowadzony proces uruchomienia wymiennika), ale także w czasie pracy, jeżeli system odprowadzania kondensatu nie został zaprojektowany we właściwy sposób.

4.2.1 Porównanie wymiennika pionowego i poziomego

W pionowych wymiennikach ciepła kondensat spływa ku dołowi po ściankach rur i gromadzi się w dolnej części wymiennika. Ewentualne spiętrzenie kondensatu w dolnej części wymiennika nie prowadzi do zamykania pęcherzy parowych w objętości spiętrzonego kondensatu, tym samym nie dochodzi do powstawania termicznych uderzeń wodnych. Pionowe wymienniki ciepła mogą bezpiecznie pracować ze spiętrzeniem kondensatu (rysunek 12a) lub nawet w niektórych przypadkach z systemem regulacji po stronie kondensatu, w którym regulacja odbywa się poprzez zmianę stopnia zalania powierzchni grzewalnych wymiennika.



Rysunek 12. Uderzenia wodne w regulowanych wymiennikach ciepła

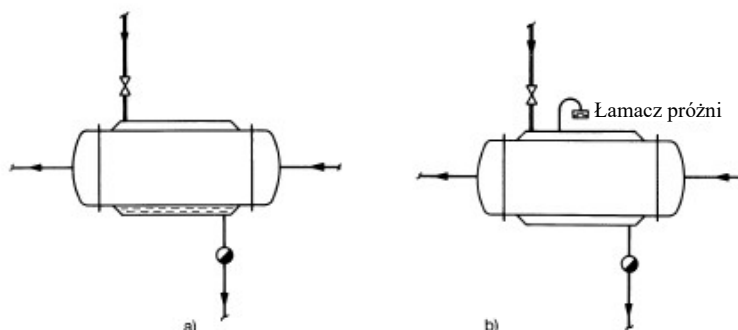
W wymiennikach poziomych spiętrzenie kondensatu w procesie regulacji prowadzi do powstania termicznych uderzeń wodnych na skutek gwałtownej kondensacji pęcherzy parowych w chłodniejszej kondensacie (rysunek 12b). W przypadku wymienników ciepła o budowie poziomej należy zapewnić natychmiastowe i bez spiętrzeniowe odprowadzenie tworzącego się kondensatu. Niepożądane spiętrzenie kondensatu w wymienniku ciepła może być spowodowane przez:

- źle dobrany typ odwadniacza (zalecany odwadniacz pływakowy z pływakiem kulowym zamkniętym),
- zbyt mały lub uszkodzony odwadniacz,
- zbyt małe ciśnienie różnicowe w stosunku do wymaganego przez odwadniacz np. na skutek podnoszenia kondensatu za odwadniaczem lub zbyt duże ciśnienie w rurociągu zbiorczym kondensatu,
- spadek ciśnienia w powierzchni grzejnej zbyt duży przy niskich parametrach pracy
- wymagany duży zakres regulacji obciążeń wymiennika,
- nadmierne przewymiarowanie wymiennika.

Uderzenia wodne występujące w wymienniku ciepła bardzo szybko prowadzą do wyrwania rur z dna sitowego lub innych uszkodzeń wymienników ciepła.

4.2.2 Zwrotny napływ kondensatu

Jeżeli zatrzymujemy pracę odbiornika ciepła zasilanego parą, to na skutek kondensacji pary powstaje wewnątrz próżnia. W ten sposób pojawia się ryzyko zwrotnego napływu kondensatu do wymiennika ciepła lub kondensat całkowicie z wymiennika nie wypływa (rysunek 13a). Kiedy para zostanie ponownie doprowadzona do wymiennika będzie przepływała przez zimną wodę i ulegała gwałtownej kondensacji generując uderzenia wodne. Należy tu oczywiście również zwrócić uwagę na niebezpieczeństwo deformacji odbiornika na skutek powstania próżni!

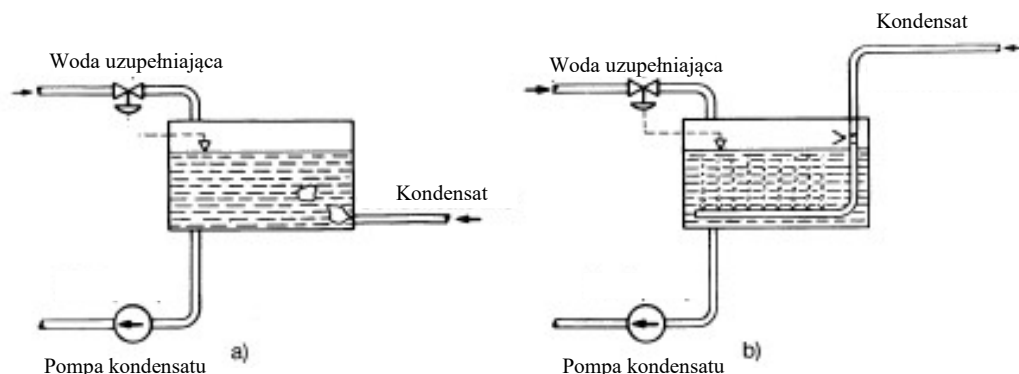


Rysunek 13. Gromadzenie kondensatu w wymienniku na skutek powstania próżni.

Zainstalowanie zaworów zwrotnych np. GESTRA RK, jako łamaczy próżni (rysunek 13b), zapobiega jej powstawaniu. Kondensat nie cofa się do wymiennika, a powstający w wymienniku kondensat odprowadzany jest przez odwadniacz. Niebezpieczeństwo powstania uderzenia wodnego nie zachodzi.

4.4 Uderzenia wodne w zbiornikach kondensatu

Zazwyczaj za odwadniaczami odprowadzającymi kondensat w systemie parowym pojawia się mieszanina kondensatu i pary wtórnej z rozprężania wysokociśnieniowego kondensatu. W celu zapobiegania utracie tej pary przez wydmuch jej do otoczenia, mieszaninę parowo-wodną wprowadza się do zbiornika kondensatu poniżej lustra wody (rysunek 14) tak aby para podgrzewała wodę w zbiorniku oddając ciepło skraplania.



Rysunek 14. Wprowadzenie mieszaniny parowo-wodnej do zbiornika kondensatu.

Jeżeli do zbiornika wprowadzamy duże pęcherze pary (rysunek 14a), to pęcherze te gwałtownie implodują, na skutek otoczenia ich przez stosunkowo chłodniejszą wodę. W ten sposób w zbiorniku kondensatu obserwuje się występowanie uderzeń wodnych, które rozpoznawalne są jako głośne i nieprzyjemne dudnienie dochodzące ze zbiornika.

Żeby zapobiec powstawaniu tego zjawiska mieszaninę parowo-wodną do zbiornika kondensatu wprowadza się przez umieszczoną w pobliżu jego dna rurę, w której wykonana została duża ilość niewielkich otworów (dysz) – rysunek 14b. Dzięki temu para wtórna wprowadzana jest do zbiornika w postaci małych pęcherzyków rozprawdzanych po całej objętości zbiornika. Rozdrobnienie pęcherzy pary wtórnej zapewnia pracę bez uderzeń wodnych. Zalecane jest również wprowadzenie kondensatu rurą od góry zbiornika w dół do rury otworowanej i wykonanie w niej niewielkiego otworu powyżej maksymalnego poziomu wody w zbiorniku. Otwór ten zabezpiecza instalację przed cofaniem się (wyciąganiem ze zbiornika) kondensatu po odstawieniu odbiorników ciepła.

4.5 Uderzenia wodne w zbiornikach wody zasilającej z pełnym odgazowaniem termicznym

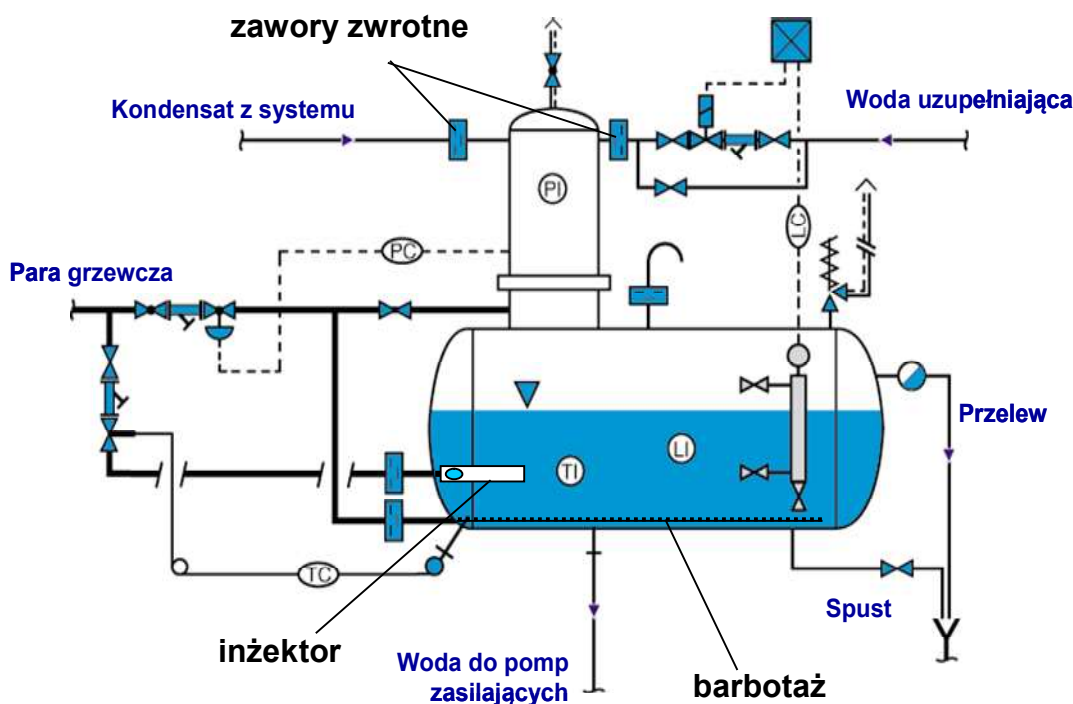
Na kotłowni parowej jednym z miejsc, gdzie często obserwowane są uderzenia wodne jest zbiornik wody zasilającej z pełnym odgazowaniem termicznym.

4.5.1 Podczas rozruchu systemu barbotażowego

Podczas rozruchu zbiornika wody zasilającej (kiedy woda zasilająca jest zimna) wprowadzamy parę grzewczą na system barbotażowy (rysunek 15 - rura otworowania na dnie zbiornika). Kiedy woda ma temperaturę poniżej 70°C w zbiorniku, na skutek gwałtownej kondensacji wprowadzanej pary grzewczej, dochodzi do bardzo nieprzyjemnych i głośnych uderzeń wodnych. Jest to cecha charakterystyczna układu z parowym podgrzewem barbotażowym. Jeżeli w tym systemie woda zostanie podgrzana do temperatury powyżej 70°C uderzenia wodne zanikają. Ponieważ uderzenia te występują przy podgrzewie ze stanu zimnego, a większość zbiorników wody zasilającej nawet przy nocnym odstawieniu nie stygnie poniżej 70°C, naprawdę problematyczne staje się jedynie uruchamianie zbiorników odstawianych na weekend lub kilkudniowe okresy w regularnych odstępach. W zbiornikach często uruchamianych ze stanu zimnego stosuje się zabieg polegający na zastosowaniu systemu podgrzewu wstępnego. Jest to ręcznie lub automatycznie sterowany układ podgrzewu za pomocą inżektora parowego (rysunek 15 - inżektor), który przy niskich temperaturach wody grzanej jest znacznie bardziej cichy od systemu barbotażowego. Po wygrzaniu wody w zbiorniku powyżej 70°C układ ten zostaje wyłączony, a jego funkcję przejmuje układ barbotażowy. W ten sposób można uniknąć powstawania uderzeń wodnych podczas rozruchu zbiornika wody zasilającej ze stanu zimnego.

4.5.2 Na skutek niedogrzaną wody w kolumnie odgazowywacza

Kiedy podczas pracy odgazowywacza ze zbiornika wody zasilającej słychać intensywne dudnienie, a często cały zbiornik wpada w niebezpieczne drgania, to oznacza powstanie intensywnych uderzeń wodnych. Może się tak zdarzyć, jeżeli na kolumnę odgazowania termicznego podajemy znacznie więcej chłodnej wody niż zakładał projekt. Nadmierna podaż wody najczęściej spowodowana jest mniejszymi niż zakładano oporami przepływu po stronie doprowadzającej wodę do odgazowywacza. W takim przypadku pompa zaczyna tłoczyć znacznie większe ilości wody (często dwu lub trzy krotnie większe) niż zakładano przy projektowaniu systemu. Duże ilości wody nie są w stanie podgrzać się do temperatury nasycenia podczas przepływania przez kolumnę odgazowywacza i stosunkowo chłodna woda wpada do przestrzeni wodnej zbiornika wody zasilającego, która w znacznym stopniu wypełniona jest pęcherzami pary. Gwałtowna kondensacja pęcherzy parowych na dużych obszarach pojemności wodnej zbiornika powoduje powstawanie intensywnych uderzeń wodnych. Dla uniknięcia powstania tego zjawiska należy kontrolować ilość wody podawanej przez pompę na kolumnę odgazowywacza, poprzez odpowiednie dławienie po stronie tłoczenia pompy, aż do osiągnięcia wymaganych oporów przepływu, którym odpowiada żądany przepływ.



Rysunek 15. Zbiornik wody zasilającej z pełnym odgazowaniem termicznym + osprzęt.

4.5.3 W rurociągu doprowadzającym wodę do kolumny odgazowywacza

Bardzo ważne jest wyposażenie rurociągów doprowadzających wodę uzupełniającą i kondensat do kolumny odgazowywacza w zawory zwrotne (rysunek 15) zainstalowane bezpośrednio przed kolumną. Jeżeli tych zaworów nie ma, to po zatrzymaniu pompy kondensatu lub zamknięciu zaworu wody uzupełniającej woda z rurociągów poziomych zacznie powoli wpływać do kolumny, a jej miejsce zacznie wypełniać para z kolumny odgazowywacza, która w kontakcie z zimną wodą będzie powodowała powstawanie powoli zanikających uderzeń wodnych (uderzenia te powrócą po następnym cyklu napełniania).

5. Podsumowanie

Uderzenia wodne w instalacjach pary i kondensatu obserwowane są bardzo często na wielu obiektach. Użytkownicy zazwyczaj przyzwyczajają się do nich i powoli zapominają jakimi konsekwencjami grożą uszkodzenia instalacji z gorącą parą i kondensatem. W powyżej zawartych informacjach starałem się pokazać, że z uderzeniami wodnymi można i trzeba walczyć. Nie biorą się one znikąd. Dokładna analiza problemu i podjęcie właściwych środków zaradczych prowadzi do eliminacji zagrożeń związanych z występowaniem uderzeń wodnych.

Większość z poruszonych powyżej problemów z uderzeniami wodnymi, to nie informacje książkowe, ale wynik moich poszukiwań rozwiązań zapobiegania uderzeniom wodnym na wielu instalacjach, gdzie wykorzystywana jest para i kondensat. Osoby zainteresowane pomocą w walce z tym zjawiskiem zachęcam do kontaktu.

Krzysztof Szalucki

tel. 667994413

e-mail: krzysztof@szalucki.pl

www.szalucki.pl