

Krzysztof Szalucki

ODPOWIETRZANIE INSTALACJI PAROWYCH

1. Wstęp

Powietrze jest ściśle związane z naszym życiem i nie możemy się bez niego obejść, ale jeżeli wnika nam do instalacji parowej, to zaczyna stwarzać szereg problemów związanych zarówno z brakiem możliwości dotrzymania warunków procesu technologicznego, jak i z poważnymi kłopotami z korozją. Idealne zabezpieczenie instalacji pary i kondensatu przed wnikaniem powietrza jest praktycznie niemożliwe, ale nie jesteśmy całkowicie bezradni. Dostępne są zarówno metody fizyczne zapewniające możliwie jak najszybsze usuwanie powietrza gazowego z instalacji, jak również chemiczne zabezpieczające instalację przed skutkami oddziaływania korozyjnego gazów (składowych powietrza) rozpuszczonych w wodzie. Trzeba pamiętać, że samo zabezpieczenie chemiczne jest niewystarczające dla bezproblemowej eksploatacji instalacji pary i kondensatu, konieczne jest równoczesne stosowanie metod fizycznych (automatyczne odpowietrzniki instalacji parowych) oraz chemicznych (preparaty korekcji fizykochemicznej). Tylko wówczas zapewniamy bezproblemową pracę oraz zabezpieczenie instalacji pary i kondensatu pod kątem obecności powietrza w parze.

2. Przyczyny obecności powietrza w instalacji parowej

Zadając pytanie: „Skąd w instalacji pary i kondensatu może pojawiać się powietrze?”, często odpowiadamy: „Przecież w instalacji tej panuje wysokie nadciśnienie i chyba nie ma możliwości, aby wnikało do niej powietrze o ciśnieniu atmosferycznym”. Otóż jest to błędne założenie. Podczas pracy instalacji pary i kondensatu dochodzi do całego szeregu różnych stanów ruchowych, które mogą być potencjalną przyczyną wnikania powietrza do tej instalacji.

2.1 Odstawienie instalacji parowej

Po odstawieniu instalacji parowej z ruchu polegającym na odcięciu dopływu pary, następuje kondensacja pary pozostającej w tej instalacji. Na skutek kondensacji pary (radykalny spadek objętości czynnika) w instalacji powstaje próżnia. W momencie powstania próżni ciśnienie atmosferyczne przewyższa ciśnienie panujące w instalacji. Wystarczy jeden otwarty zawór lub inna nieszczelność, aby do instalacji zaczęło wnikać powietrze i następowało wyrównanie ciśnień. Zabezpieczenie instalacji przed wnikaniem powietrza po odstawieniu jest praktycznie niewykonalne, a utrzymanie próżni może być również niebezpieczne i niedopuszczalne dla niektórych urządzeń technologicznych.

2.2 Wadliwa praca systemu odgazowania

Przyczyną pojawienia się gazów składowych powietrza w instalacji może być również nieprawidłowe działanie systemu odgazowania termicznego. Praca systemu odgazowania np. w temperaturze 80°C (zamiast w temperaturze nasycenia) powoduje pozostawanie gazów rozpuszczonych w wodzie zasilającej podawanej do kotła parowego. W temperaturze 80°C w każdym litrze wody będzie rozpuszczonych w przybliżeniu 5mg azotu, 3 mg tlenu i 1 mg dwutlenku węgla. Kocioł parowy jest idealnym odgazowywaczem. W dalszych rozważaniach dla uproszczenia pominięto pewną ilość tlenu wchodzącego w reakcję korozji

tlenowej, w związku z tym można przyjąć, że z każdym kilogramem pary z kotła odprowadzanych jest 9 mg gazów. Zakładając, że para ta w ilości 1000 kg/h dopływa do odbiornika ciepła pracującego 6000 godzin w roku, to można wyznaczyć łączną ilość gazów pozostających w odbiorniku na 54 kg. Średnia gęstość zdefiniowanej powyżej mieszaniny gazów w warunkach normalnych to $1,3 \text{ kg/m}^3_{\text{norm}}$, co oznacza, że w ciągu roku dostarczamy do wymiennika ok. $41,5 \text{ m}^3_{\text{norm}}$ /a gazów nie kondensujących. Jeżeli wymiennik jest zasilany parą nasyconą o ciśnieniu 10 bar(a), to objętość gazów zakumulowanych w wymienniku w warunkach rzeczywistych wyniesie $6,8 \text{ m}^3/\text{a}$. Jest to niemała ilość nie kondensujących gazów i jeżeli w przypadku długotrwałej pracy wymiennika nie zostanie ona możliwie jak najszybciej usunięta, to może być przyczyną wielu nieprawidłowości w pracy oraz korozji instalacji.

Należy również pamiętać o uwzględnieniu znacznych ilości dwutlenku węgla powstającego w kotle w wyniku procesu dekompozycji sody (termiczny rozpad węglanów i wodorowęglanów sodu). W przypadku wykorzystywania wody uzupełniającej zawierającej węglany i wodorowęglany (woda uzdatniona tylko w procesie zmiękczenia jonowymiennego), nawet przy poprawnie pracującym systemie odgazowawcza termiczna ilość dwutlenku węgla uwalnianego w kotle i niesionego z parą może być znacząca.

2.3 Wnikanie powietrza przez nieszczelności instalacji

Wszelkie nieszczelności w instalacji pary i kondensatu, takie jak kapiące dławnice zaworów, przeciekające uszczelki kołnierzy lub ciekące przyłącza gwintowe są potencjalnymi punktami wnikania powietrza atmosferycznego do instalacji pary i kondensatu. Nawet jeżeli przez większość czasu instalacja pracuje z nadciśnieniem od strony pary, to mogą zajść przypadki, w czasie których wewnątrz instalacji pojawi się próżnia. Wystarczy silne zdławienie lub chwilowe zamknięcie dopływu pary do instalacji z odbiornikami ciepła, aby na skutek kondensacji pary powstała w tej instalacji próżnia, a wówczas wszystkie ciekące miejsca automatycznie stają się punktami wnikania powietrza. Należy również zwracać uwagę na typ zastosowanych uszczelki i uszczelnień, powinny one również zapewniać szczelność przy pracy z próżnią wewnątrz instalacji. W przeciwnym przypadku może dochodzić do wnikania niechcianego powietrza.



Rysunek 1. Miejsca przecieków w instalacji pary i kondensatu to potencjalne punkty wnikania powietrza

Konieczna jest natychmiastowa reakcja na wszelkie objawy przecieków pojawiających się na instalacji pary i kondensatu – rysunek 1, zapewni to zarówno oszczędną gospodarkę nośnikiem energii, zabezpieczy obsługę przed poparzeniami, ale również zapobiegnie wnikaniu powietrza do instalacji.

2.4 Łamanie próżni

Wiele urządzeń zasilanych parą trzeba zabezpieczyć przed pracą w warunkach próżni powstającej na skutek kondensacji pary przy ograniczonym dopływie lub przy odcięciu jej dopływu. Dotyczy to nie tylko zbiorników, płaszczy grzewczych, ale również płytowych wymienników ciepła, a także niektórych wymienników JAD X zasilanych parą. W takiej sytuacji istnieje konieczność zabezpieczenia urządzenia przed powstaniem próżni. Zabezpieczenia te realizuje przez zainstalowanie łamaczy próżni, które z wymaganą wydajnością i we właściwym miejscu dopuszczają do instalacji powietrze, tak aby nie zostały przekroczone dopuszczalne warunki próżni. Najczęściej łamaczem próżni jest odpowiednio dobrany i zainstalowany zawór zwrotny o bardzo niskim ciśnieniu otwarcia – rysunek 2.



Rysunek 2. Zawór zwrotny jako łamacz próżni na zbiorniku instalacji pary i kondensatu.

Wprowadzenie powietrza do instalacji pary i kondensatu jest w opisanym powyżej przypadku koniecznością, ale konieczne jest również zapewnienie natychmiastowego odprowadzenia tego powietrza z instalacji, gdy tylko pojawi się w niej minimalne nadciśnienie pary.

3 Skutki obecności powietrza w instalacji parowej

Pojawienie się powietrza w instalacji pary i kondensatu jest przyczyną wielu niekorzystnych zjawisk związanych zarówno z pogorszeniem wymiany ciepła, jak i intensywną korozją tej instalacji.

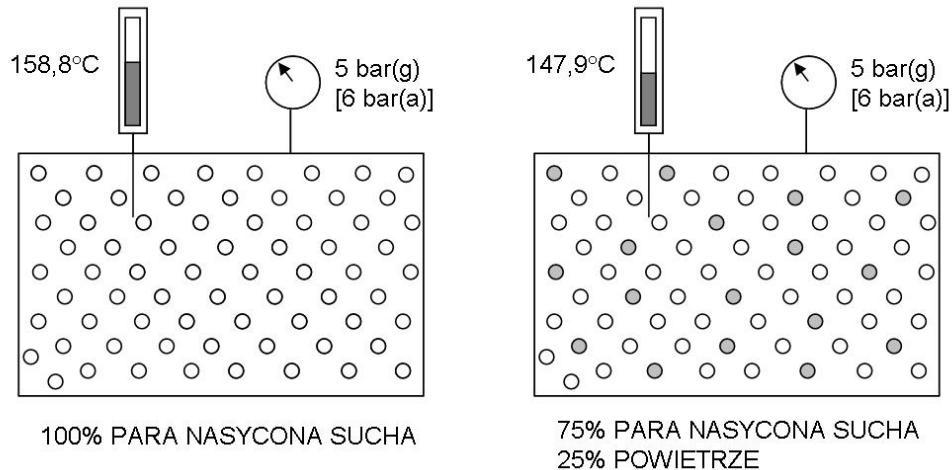
3.1 Obniżenie temperatury nasycenia mieszaniny parowo-powietrznej

Dla zrozumienia zjawiska obniżenia temperatury nasycenia mieszaniny parowo-powietrznej przy określonym ciśnieniu, konieczne jest przypomnienie prawa ciśnień cząstkowych Daltona: całkowite ciśnienie mieszaniny wielu gazów i par zajmujących pewną określoną objętość, będzie równe sumie ciśnień cząstkowych, które każdy składnik mieszaniny będzie wywierał pozostając indywidualnie w objętości zajmowanej przez mieszaninę – zgodnie ze wzorem 1.

$$p_{\text{całkowite}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n \quad [1]$$

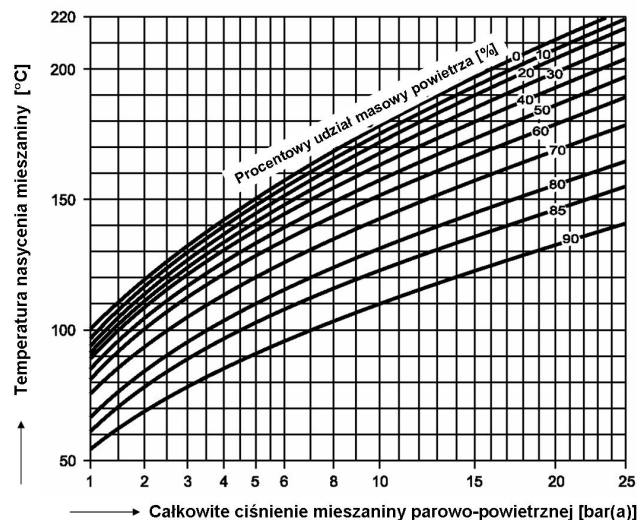
Jeżeli posłużymy się przykładem i zastosujemy prawo Daltona dla mieszaniny parowo-powietrznej, to w instalacji o ciśnieniu 6 bar(a), która zawiera 75% pary i 25% powietrza możemy wyznaczyć następujące ciśnienia cząstkowe składników tej mieszaniny:

- ciśnienie cząstkowe pary wodnej $0,75 \cdot 6 \text{ bar(a)} = 4,5 \text{ bar(a)}$
- ciśnienie cząstkowe powietrza $0,25 \cdot 6 \text{ bar(a)} = 1,5 \text{ bar(a)}$.



Rysunek 3. Obniżenie temperatury nasycenia mieszaniny parowo-wodnej

Manometr mierzący nadciśnienie w tej instalacji pokaże 5 bar(g), czyli 6 bar(a) dla warunków absolutnych – rysunek 3. Zakładając, że mamy do czynienia z parą oczekujemy temperatury nasycenia w wysokości 158,8°C. Jednakże z niewiadomych dla nas względów nie jesteśmy w stanie osiągnąć wymaganej temperatury procesu. Okazuje się bowiem, że temperatura nasycenia dla naszej mieszaniny parowo-powietrznej jest ponad 10 K niższa i odpowiada ciśnieniu cząstkowemu pary w tej mieszaninie, czyli 147,9°C (dla 4,5 bar(a)).



Rysunek 4. Temperatura nasycenia mieszaniny parowo-powietrznej w funkcji ciśnienia i procentowej zawartości powietrza w mieszaninie

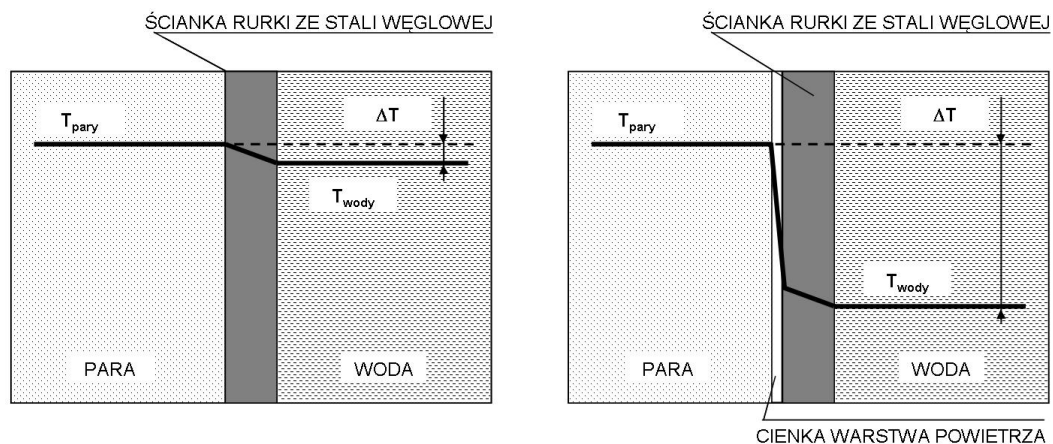
Zależność temperatury nasycenia mieszaniny parowo-powietrznej od jej ciśnienia i procentowego masowego udziału powietrza w mieszaninie przedstawiono wykreślnie na rysunku 4. Wyraźnie widoczny jest spadek temperatury nasycenia wraz ze wzrostem udziału powietrza w mieszaninie przy stałym ciśnieniu, Na skutek spadku temperatury nasycenia

mieszaniny przy wzrastającym udziale powietrza, obniża się gradient temperatury w procesie wymiany ciepła, co przy dodatkowym izolacyjnym oddziaływaniu powietrza w procesie wymiany ciepła, często jest przyczyną poważnych problemów z zapewnieniem parametrów procesu technologicznego. Efekt obniżonej temperatury nasycenia mieszaniny parowo-powietrznej jest wykorzystywany w procesie automatycznego termicznego odpowietrzania instalacji.

3.2 Pogorszenie wymiany ciepła

W technice powietrze stosowane jest często jako element izolacji cieplnej. Dzieje się tak ze względu na niską przewodność cieplną powietrza, która wynosi $0,025 \text{ W/(mK)}$. Najlepszym sposobem, by jakiś materiał stał się dobrym izolatorem, jest napowietrzenie go. Dąży się do tego, aby w produkowanym materiale izolacyjnym zamknąć jak największą ilość powietrza, w taki sposób, żeby powietrze to nie mogło się poruszać. Dobre materiały izolacyjne to materiały o dużej porowatości (zawartości powietrza w objętości materiału) i zamkniętych porach.

Jednakże tego co jest doskonałe w materiałach izolacyjnych musimy unikać w miejscach, gdzie chcemy z dużą efektywnością prowadzić proces wymiany ciepła. Dla porównania przewodność cieplna rur stalowych wymiennika ciepła wynosi ok. 58 W/(mK) . Jeżeli na powierzchniach wymiany ciepła powstanie od strony pary warstwa izolacyjna powietrza o grubości tylko 1mm, to efekt wymiany ciepła możemy porównać do wymiany ciepła od pary do czynnika ogrzewanego przez ściankę wykonaną ze stali o grubości ok. 2,3 m ! Na rysunku 5 pokazano, jak duży spadek temperatury produktu jest powodowany obecnością powietrza w pobliżu powierzchni wymiany ciepła.



Rysunek 5. Wpływ izolacyjnej warstwy powietrza na proces przenikania ciepła

Powietrze wewnątrz odbiornika lub wymiennika ciepła na szczęście nie będzie tworzyło równomiernej warstwy jak pokazano na rysunku 5. Jest to jedynie graficzne przedstawienie tego jakie negatywne skutki w wymianie ciepła niesie za sobą obecność powietrza. Stężenia powietrza będą największe tam, gdzie dochodzi do najbardziej intensywnej kondensacji pary (tam gdzie wykrapla się najwięcej kondensatu). Ma to miejsce przede wszystkim blisko powierzchni ogrzewalnych, a szczególnie przed poziomem gromadzenia się lub odprowadzania kondensatu. Jeżeli nie zostanie zapewnione systematyczne odprowadzanie nadmiernych ilości powietrza, jego stężenie w tym obszarze wzrasta wraz z czasem trwania eksploatacji odbiornika ciepła, co wywiera negatywny wpływ na wymianę ciepła, ale również jest przyczyną intensywnych procesów korozyjnych powierzchni ogrzewalnych w rejonie wysokich stężeń powietrza.

3.3 Korozyjne oddziaływanie tlenu i dwutlenku węgla zawartego w mieszaninie parowo powietrznej

Powietrze znajdujące się w instalacji pary i kondensatu osiąga najwyższe stężenia w obszarach o największej intensywności kondensacji pary, a szczególnie nad poziomem gromadzenia się kondensatu. W myśl prawa Henry'ego – wzór 2 - jeżeli nad wodą (kondensatem) pojawia się gaz lub mieszanina gazów o pewnych ciśnieniach cząstkowych, to w wodzie (kondensacie) gazy te będą rozpuszczone proporcjonalnie do ich ciśnień cząstkowych.

$$c_a \stackrel{def}{=} k_H \cdot p_g \quad [2]$$

gdzie

c_a – koncentracja rozpuszczonego gazu

k_H – stała Henry'ego

p_g – ciśnienie cząstkowe gazu nad roztworem

Pojawienie się i utrzymywanie znacznego stężenia gazów składowych powietrza przed linią kondensatu w odbiorniku oznacza natychmiastowy proces ich rozpuszczania w kondensacie. Proces rozpuszczania zachodzi tym intensywniej im niższa (w stosunku do nasycenia) jest temperatura kondensatu. Najbardziej niebezpieczne gazy (składowe powietrza) rozpuszczone w kondensacie to tlen i dwutlenek węgla. Należy pamiętać, że stała Henry'ego jest różna dla różnych gazów i rozpuszczalników. W przypadku powietrza i wody należy pamiętać, że rozpuszczalność azotu jest około dwa razy mniejsza niż tlenu, co oznacza, że mimo że ciśnienie cząstkowe azotu w powietrzu jest około 4 razy większe, to azotu rozpuszczonego w wodzie w stosunku do tlenu będzie już tylko dwukrotnie więcej. Natomiast rozpuszczalność dwutlenku węgla w wodzie jest prawie 30 krotnie większa niż tlenu, co oznacza, że nawet przy stosunkowo niewielkim ciśnieniu cząstkowym dwutlenku węgla w powietrzu, jego zawartość w postaci rozpuszczonej w wodzie jest znacząca.

Na skutek obecności powietrza w parze instalacje pary i kondensatu narażone są korozję tlenową i związaną z obecnością dwutlenku węgla.

Wżerowa korozja tlenowa ma charakter lokalny. Raz zaatakowane miejsce podlega stałemu intensywnemu jej oddziaływaniu tak długo, jak długo w kondensacie jest rozpuszczony tlen. Na rysunku 6 pokazano efekt miejscowego oddziaływania korozji tlenowej w rurociągu kondensatu.



Rysunek 6. Wżery korozji tlenowej na ściankach rurociągu kondensatu

Dwutlenek węgla rozpuszczony w wodzie wchodzi w reakcję z wodą tworząc kwas węglowy, który jest agresywny w stosunku do żelaza zawartego w stopach stali węglowej. W przypadku obecności kwasu węglowego w kondensacie obserwowane są znaczne ubytki grubości ścianek rur instalacji – rysunek 7. Ubytki te obserwowane są przede wszystkim w dolnych częściach rurociągów pary i kondensatu, oraz w miejscach dużych turbulencji przepływu - np. za odwadniaczami (rozprężanie) i na kolanach (zmiana kierunku przepływu) - w instalacji kondensatu. Korozja związana z obecnością dwutlenku węgla jest przyczyną wzrostu intensywności korozji tlenowej, ze względu na rozpuszczanie przez kwas węglowy ochronnych warstw wewnątrz instalacji kondensatu.



Rysunek 7. Korozja stalowej rury instalacji kondensatu spowodowana obecnością CO_2 w kondensacie

4 Metody odpowietrzania instalacji parowej

Z punktu widzenia sposobu pracy urządzenia odpowietrzającego można określić dwie metody odpowietrzania instalacji parowej: ręczną i automatyczną.

W metodzie ręcznej w pewnych wytypowanych miejscach instalacji pary i kondensatu instaluje się ręczne zawory odpowietrzające. Obsługa jest odpowiedzialna za takie ich otwieranie i zamykanie (ewentualnie przemykanie), aby nie dochodziło do koncentracji powietrza w instalacji oraz do niepotrzebnych strat pary. Oczywiście typowym momentem otwarcia wszystkich odpowietrzeń ręcznych, jest rozruch systemu pary i kondensatu. W przypadku stosowania ręcznie obsługiwanymi odpowietrzeń bardzo trudno jest określić moment usunięcia całego powietrza z systemu. Może dochodzić wówczas do niedostatecznego odpowietrzenia lub nadmiernego wydmuchu nośnika energii.

Typowymi objawami instalacji pary i kondensatu świadczącymi o obecności w niej powietrza są:

- stopniowe ograniczenie wydajności cieplnej parowych urządzeń grzewczych,
- utrudnienia w osiągnięciu założonych temperatur czynnika grzanego,
- pojawiające się pęcherzyki powietrza w kondensacie,
- korozja w instalacji pary i kondensatu.

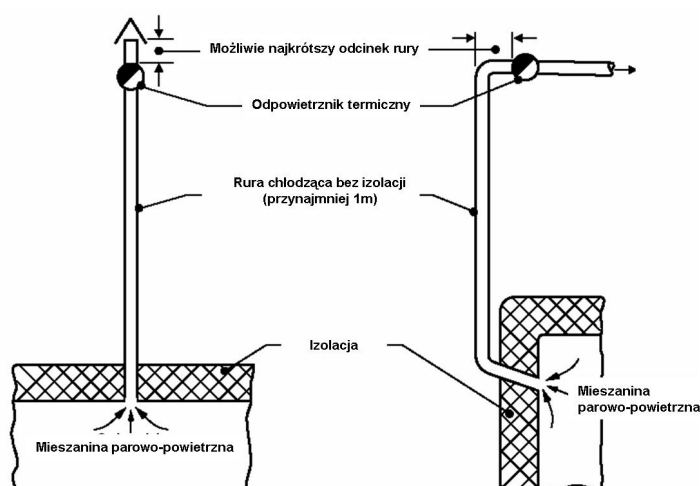
Nie dość dbała obsługa ręcznych urządzeń odpowietrzających może prowadzić do problemów ruchowych i uszkodzeń instalacji na skutek korozji. Dla lepszego zabezpieczenia sugerowane jest zastosowanie w wytypowanych miejscach odpowietrników automatycznych, pracujących w oparciu o utrzymywanie współzależności ciśnienia i temperatury pary.

W procesie automatycznego termicznego odpowietrzania pary wykorzystywane jest zjawisko (opisane w rozdziale 3.1) obniżenia temperatury nasycenia mieszaniny parowo-powietrznej przy ciśnieniu roboczym w stosunku do temperatury nasycenia pary. Odpowietrzniki termiczne usuwają powietrze i mieszaninę parowo-powietrzną, aż do osiągnięcia poziomu temperatury mieszaniny kilka lub kilkanaście stopni poniżej temperatury nasycenia pary przy ciśnieniu roboczym. Najczęściej jako odpowietrzniki termiczne stosowane są odwadniacze termostatyczne z regulatorem membranowym (termostat alkoholowy) lub w niektórych zastosowaniach odwadniacze termostatyczne z regulatorem bimetalowym (np. odpowietrzanie pary przegrzanej). Odwadniacze te działają dokładnie w myśl wyżej opisanej zasady pracy wymaganej dla automatycznego termicznego odpowietrznika pary.

4.1 Sposób montażu automatycznego termicznego odpowietrznika pary

Montaż automatycznego odpowietrznika systemów parowych zarówno co do sposobu montażu, jak i wyboru miejsca zainstalowania, powinien być wykonany tak, aby zapewnić mu optymalne warunki pracy. Wybór miejsca zainstalowania opisany zostanie w następujących rozdziałach. Po wybraniu miejsca zainstalowania odpowietrznika termicznego wykonujemy jego przyłącze, powinno ono być zawsze wznoszące, najlepiej jeżeli zastosowane zostanie przyłącze pionowe. Dzięki temu powstający w przyłączy kondensat może być odprowadzany bez problemu, co zabezpiecza przed powstawaniem kieszeni wodnych przed odpowietrznikiem. Przyłącze odpowietrznika termicznego powinno być wykonane z nieizolowanej rury o długości przynajmniej 1m (rura separująca) – rysunek 8. Na skutek częściowej kondensacji pary w tym odcinku rury i stałego dopływu mieszaniny parowo-powietrznej, ciśnienie cząstkowe pary będzie malało, ze względu na coraz większą zawartość powietrza w mieszaninie. Efektem obniżenia ciśnienia cząstkowego pary będzie spadek temperatury mieszaniny, co doprowadzi do otwarcia termicznego automatycznego odpowietrznika pary i wydmuchu mieszaniny o dużej zawartości powietrza.

UWAGA: w procesie usuwania powietrza z pary nie są wykorzystywane różnice gęstości gazów i siły wyporu!!! Gazy i pary nawet przy znacząco różniącej się gęstości mieszają się ze sobą na skutek dużej częstotliwości drgań ich cząstek. Na marginesie: zależnie od warunków roboczych mieszaniny, powietrze może mieć większą gęstość niż para ☺.

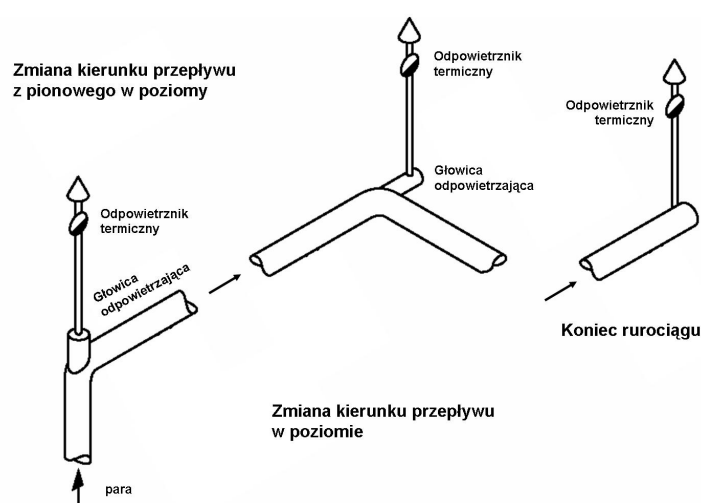


Rysunek 8. Sposób montażu termicznego odpowietrznika instalacji parowych

Rurociąg za odpowietrznikiem termicznym powinien być możliwie najkrótszy, aby zapobiegać tworzeniu się słupa skondensowanej wody nad odpowietrznikiem, którego powstanie prowadzi do zmniejszenia ciśnienia różnicowego na odpowietrzniku, a w konsekwencji do ograniczenia ilości odprowadzanego powietrza. Dotyczy to szczególnie układów parowych pracujących przy niskich ciśnieniach.

4.2 Wybór punktów odpowietrzania rurociągów pary

Największe ilości powietrza z rurociągów pary należy odprowadzić podczas ich rozruchu. W czasie rozruchu para włączana do rurociągów będzie na powietrze działała niczym tłok, starając się je przesunąć do najbardziej odległych punktów. Z punktu widzenia odpowietrzenia rozruchowego, teoretycznie wystarczające byłoby umieszczenie odpowietrzników termicznych na końcu każdej odgałęzionej nitki rurociągu. Jednakże dla przyspieszenia procesu odpowietrzania, szczególnie przy bardzo rozległych lub często uruchamianych sieciach, zaleca się wykonanie odpowietrzników pośrednich.



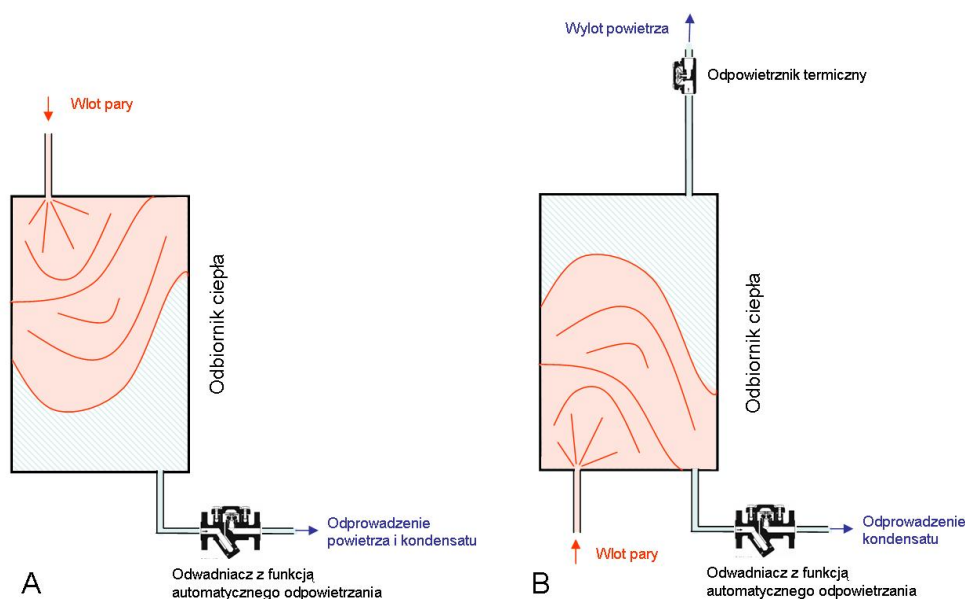
Rysunek 9. Typowe punkty odpowietrzania rurociągów pary

Najkorzystniejsze jest wykonanie tych odpowietrzeń w miejscach zmiany przebiegu rurociągu – rysunek 9 – z pionowego w poziomy lub w poziomie. Zaleca się wykonanie dodatkowych głowic odpowietrzających tak, aby ułatwić odprowadzanie powietrza poza głównym strumieniem przepływu pary. Wykonane zgodnie z zaleceniami układy odpowietrzające mają również szansę (w ograniczonym zakresie) na gromadzenie i odprowadzanie gazów podczas pracy instalacji.

4.3 Wybór miejsc odpowietrzania odbiorników ciepła zasilanych parą

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, podczas rozruchu para działa na powietrze niczym tłok, w związku z tym punkt odpowietrzenia rozruchowego odbiornika ciepła powinien być położony w takim miejscu, aby powietrze było jak najszybciej usuwane z pojemności odbiornika.

W przypadku, gdy odbiornik ciepła o określonym kształcie i pojemności zasilimy parą od góry - jak na rysunku 10 A - to para będzie pchała powietrze w stronę zainstalowanego na dole odwadniacza. Stosując tu odwadniacz z funkcją automatycznego odpowietrzenia – np. odwadniacz termostatyczny lub pływakowy z zabudowanym wewnętrznym systemem odpowietrzenia - powinniśmy bez problemu usuwać powietrze rozruchowe z pojemności odbiornika.



Rysunek 10. Wybór miejsca odpowietrzania odbiorników ciepła zasilanych parą

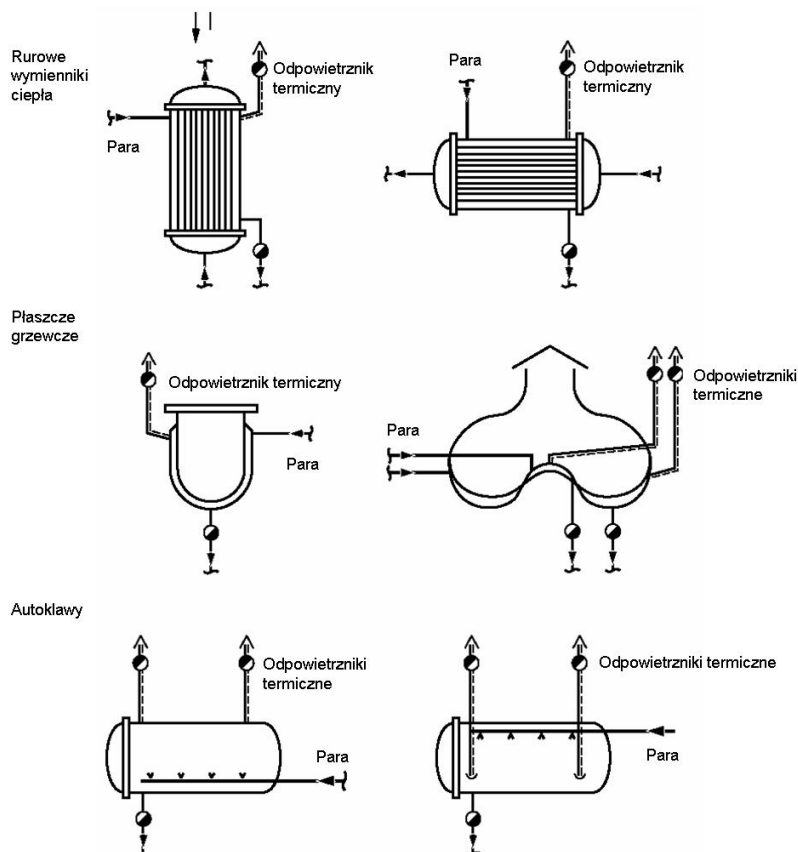
Taki system automatycznego odpowietrzania nie zawsze będzie pracował zgodnie z naszymi oczekiwaniami podczas ruchu odbiornika pary. Dopływający do odwadniacza kondensat – szczególnie jeżeli nastąpi jego spiętrzenie przed odwadniaczem – może blokować odprowadzanie gromadzącego się przed nim powietrza. W takim przypadku przede wszystkim dla odbiorników o dużej pojemności zalecane jest wykonanie dodatkowego układu odpowietrzającego – rysunek 14.

Jeżeli natomiast opisywany wyżej odbiornik zasilimy parą od dołu – rysunek 10 B – to para podczas rozruchu pcha powietrze do góry i w tym miejscu konieczne jest umieszczenie odpowietznika termicznego. Odpowietrzenie takiego wymiennika tylko za pomocą odwadniacza z funkcją automatycznego odpowietrzenia zainstalowanego pod odbiornikiem będzie niemożliwe. Poprawnie wykonany układ odpowietrzający będzie również odprowadzał niekondensujące gazy wprowadzane z parą podczas pracy odbiornika.

4.4 Odpowietrzanie wymienników ciepła, płaszczy grzewczych i autoklawów

W przypadku odpowietrzania rurowych (para w rurkach) lub płytowych wymienników ciepła nieregulowanych lub regulowanych od strony pary, zazwyczaj wystarczające jest zastosowanie odwadniaczy wyposażonych w automatyczny układ odpowietrzający. Takie rozwiązanie zapewni właściwe odpowietrzenie rozruchowe. Niemniej jednak jeżeli wymiennik ma tendencję do przechadzania kondensatu lub jeżeli dla zabezpieczenia wymiennika przed pracą w warunkach próżni zastosowano łamacz próżni, to konieczne może być zastosowanie dodatkowego odpowietznika termicznego przestrzeni parowej. Najkorzystniej jest zabudować odpowietznik na głowicy wymiennika, jeżeli producent nie przewidział takiej możliwości, to trzeba zastosować odpowietznik jak najbliżej miejsc wlotu pary do wymiennika – rysunek 14. W przypadku stosowania wymienników rurowych (para w płaszczu) lub płytowo-płaszczowych, konieczne jest stosowanie zarówno na wylocie kondensatu z wymiennika odwadniaczy zapewniających automatyczne odpowietrzenie, jak i automatycznych odpowietrzników pary podłączonych w górnej części płaszcza wymiennika – rysunek 11. W przeciwnym razie można spodziewać się kłopotów związanych z zapowietrzeniem przestrzeni grzewczej.

Podobnie w przypadku płaszczy grzewczych, które ze względu na niską wytrzymałość przy pracy w warunkach próżni często są wyposażane w łamacze próżni, a także ze względu na kształt przestrzeni grzewczej są trudne do odpowietrzenia tylko za pomocą odwadniaczy z układem odpowietrzającym. Każdy płaszcz grzewczy oprócz odwodnienia powinien być wyposażony w układ odpowietrzający – rysunek 11 - zabudowany w jego górnej części po przeciwnej stronie w stosunku do wlotu pary, tak aby zapewnić optymalne odpowietrzenie rozruchowe.



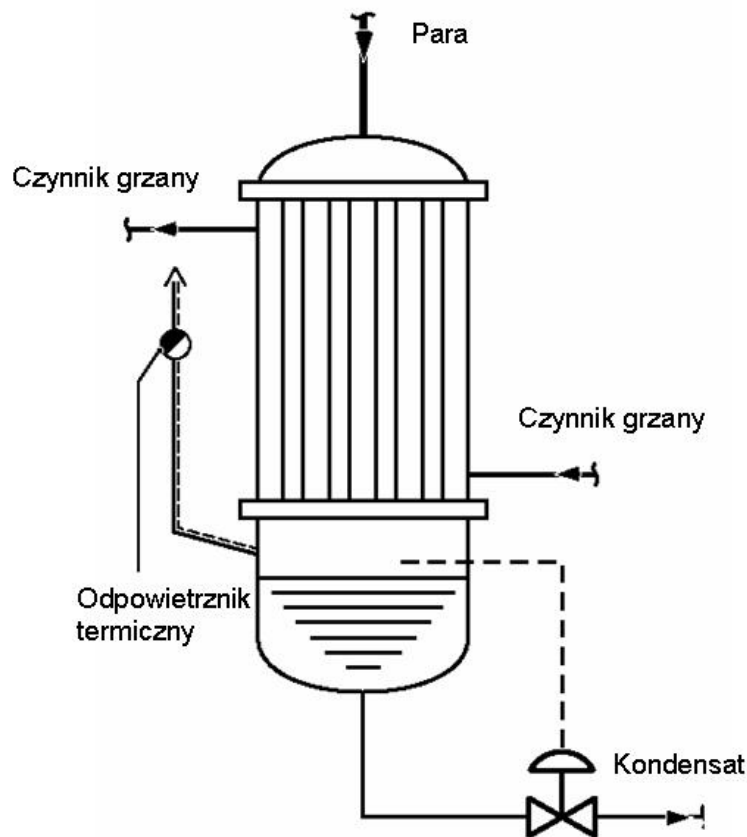
Rysunek 11. Przykłady montażu automatycznych odpowietrników termicznych

Autoklawy to dużej pojemności zbiorniki ciśnieniowe wypełniane parą po załadunku produktu. Para w autoklawie bezpośrednio grzeje produkt. Może się zdarzyć, że oprócz powietrza wprowadzonego do autoklawu podczas jego załadunku, mogą się pojawić również inne gazy powstające na skutek reakcji zachodzących w podgrzewanym produkcie. Układ odpowietrzający autoklawu musi zapewnić odprowadzenie wszelkich gazów. Ze względu na wielkość autoklawu i konieczność szybkiego odprowadzania powietrza podczas rozruchu, stosuje się zazwyczaj dwa lub więcej punktów odpowietrzeń (niezależnie od odwodnienia autoklawu) oraz odpowietrzniki o dużej wydajności. Usytuowanie punktów odpowietrzających - rysunek 11 - zależy od typu autoklawu, sposobu wprowadzenia pary i rodzaju grzanego produktu.

4.5 Odpowietrzanie pionowych wymienników ciepła z regulacją po stronie kondensatu

Zasada pracy pionowych rurowych wymienników ciepła regulowanych po stronie kondensatu oparta jest na regulacji temperatury czynnika grzanego poprzez zmiany poziomu zalania wodą powierzchni ogrzewalnych (czyli zmianę wielkości czynnej powierzchni wymiany ciepła omywanej parą), ten rodzaj regulacji wymaga utrzymania minimalnego poziomu wody wewnątrz wymiennika, tak aby nie dochodziło do przebicia pary do instalacji kondensatu. Wymóg utrzymania stałego minimalnego poziomu kondensatu, jest przyczyną braku

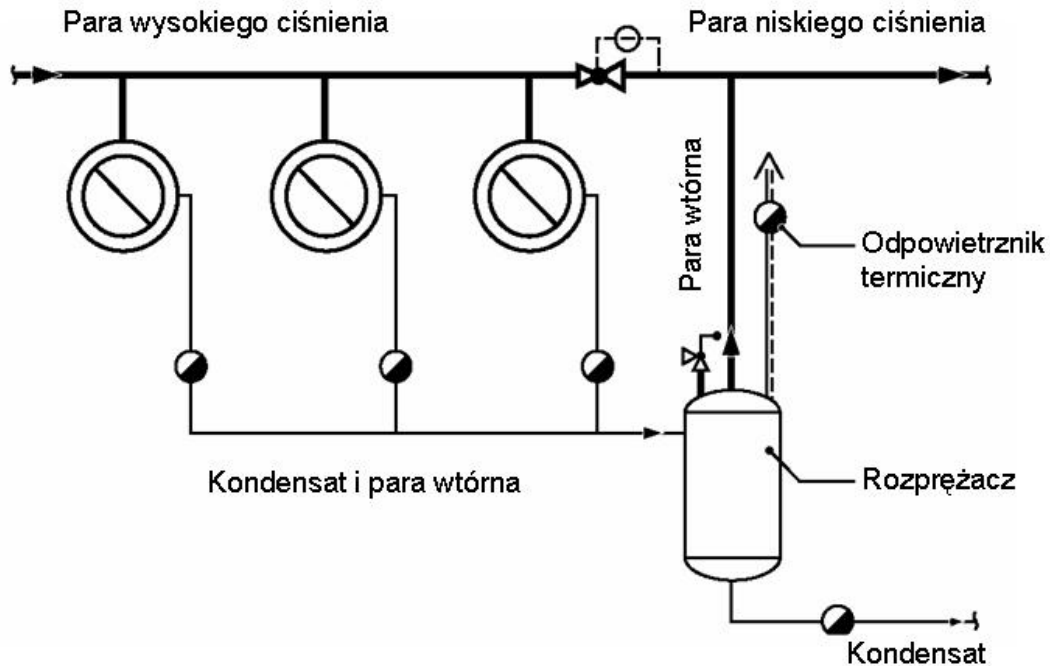
możliwości poprawnego odpowietrzenia przez układ odwadniający. Z tego względu konieczne jest zastosowanie dodatkowego odpowietrznika termicznego. Najlepiej jeżeli istnieje możliwość usuwania powietrza w miejscu jego największego stężenia w wymienniku, jak pokazano to na rysunku 12. Przy braku możliwości zastosowania takiego rozwiązania, należy przewidzieć montaż automatycznego układu odpowietrzającego jak najbliżej wlotu pary do wymiennika, oraz okresowo otwierać zawór odprowadzania kondensatu, aż do zauważenia wydmuchu pary. Układ odpowietrzający i okresowe zastosowanie opisanej procedury wydmuchu zabezpieczy wymiennik ciepła z regulacją po stronie kondensatu przed problemami związanymi z obecnością powietrza w parze.



Rysunek 12. Automatyczne odpowietrzenie pionowego rurowego wymiennika ciepła regulowanego po stronie kondensatu

4.6 Odpowietrzenie rozprężaczy kondensatu

Rozprężacze kondensatu to zbiorniki ciśnieniowe, w których następuje separacja pary wtórnej (powstającej na skutek rozprężania kondensatu wysokoparametrowego) od kondensatu. Są one stosowane dla zasilania odbiorników parą niskociśnieniową powstającą na skutek rozprężania kondensatu odprowadzanego z instalacji wysokociśnieniowej. Jeżeli nastąpi okresowe wyłączenie z ruchu pojedynczego odbiornika wysokociśnieniowego, to jego ponowny rozruch, w czasie pracy pozostałych odbiorników, będzie oznaczał wprowadzenie do rozprężacza dużych ilości powietrza. Wprowadzenie tego powietrza razem z parą niskiego ciśnienia do odbiorników ciepła spowoduje powstanie w nich problemów związanych z procesami wymiany ciepła i korozją. Z tego powodu, na rozprężaczu powinien zostać wykonany układ automatycznego termicznego odpowietrznika - rysunek 13 – tak, aby z jak największą efektywnością odprowadzić powietrze z rozprężacza.



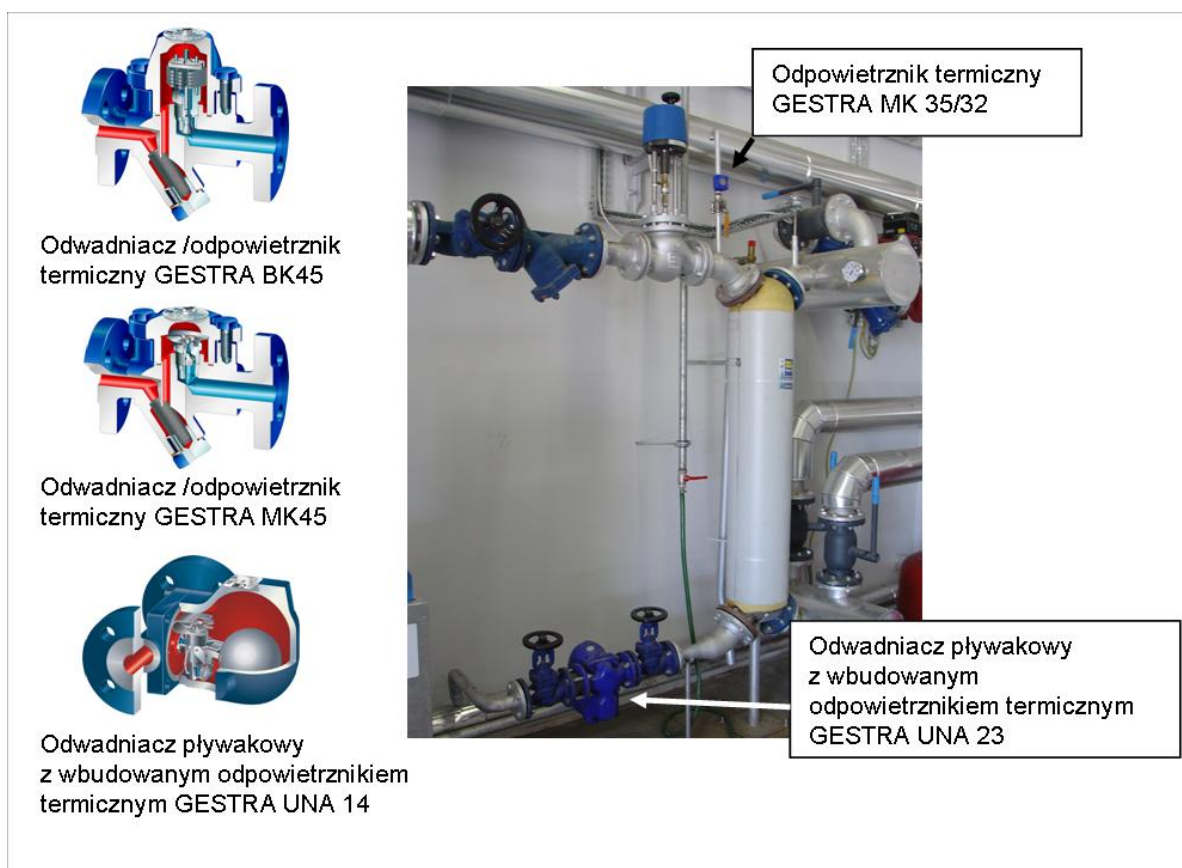
Rysunek 13. Odpowietrzanie rozprężacza kondensatu

Opisane wybrane typowe zastosowania układów odpowietrzników termicznych nie wyczerpują wszelkich możliwych i koniecznych miejsc zabudowy. Dla zapewnienia bezpiecznej i efektywnej pracy całego systemu pary i kondensatu wymagana jest indywidualna, szczegółowa analiza całego systemu w celu określenia optymalnych rozwiązań w zakresie odpowietrzania termicznego pary.

5 Automatyczne odpowietrzniki termiczne instalacji parowej

Dla systemów pary i kondensatu zabudowanych w pomieszczeniach i zasilanych parą nasyconą zaleca się stosowanie odwadniaczy termostatycznych / odpowietrzników termicznych kapsułkowych (membranowych) wyposażonych w bardzo czuły termostat alkoholowy, są one produkowane w szerokiej gamie średnic i typów przyłączy, w różnych wariantach mogą być stosowane dla odpowietrzania małych odbiorników pary, jak również autoklawów o dużej pojemności.

W przypadku sieci parowych położonych na zewnątrz budynków lub pracujących z parą przegrzaną zalecane jest zastosowanie odwadniaczy termostatycznych / odpowietrzników termicznych wyposażonych w regulator bimetalowy, są one również produkowane w szerokiej gamie średnic, typów przyłączy i ciśnień nominalnych.



Rysunek 14. Odpowietrzniki termiczne firmy GESTRA i ich zastosowanie

6 Podsumowanie

Efektywne i sprawne odpowietrzanie instalacji pary i kondensatu, najlepiej przy wykorzystaniu automatycznych termicznych odpowietrzników zainstalowanych w wybranych punktach instalacji, zapewnia bezproblemową pracę w zakresie optymalnej wymiany ciepła, jak również w znacznej mierze zabezpiecza instalację przed oddziaływaniem korozji powodowanej obecnością powietrza w parze i kondensacie.

Wiele bardziej szczegółowych opracowań w temacie systemy pary i kondensatu znajdzie czytelnik na mojej stronie internetowej: www.szalucki.pl , serdecznie zapraszam.

Krzysztof Szalucki

tel. 667994413

e-mail: krzysztof@szalucki.pl

www.szalucki.pl