

Krzysztof Szalucki

MODERNIZACJA I OPTYMALIZACJA SYSTEMÓW KONDYCJONOWANIA PARY WODNEJ WYKORZYSTYWANEJ W PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM.

1. Wstęp

W wielu zakładach przemysłowych para wodna, z różnych względów, wytwarzana jest przy znacznie wyższych parametrach ciśnieniowo-temperaturowych niż wymagane przez proces technologiczny. Ma to miejsce szczególnie tam, gdzie przewidywane było lub występuje również wykorzystanie pary dla zasilania urządzeń wykonujących pracę mechaniczną (turbiny, silniki parowe itp.). Wytwarzanie pary wodnej o parametrach ciśnieniowo-temperaturowych znacząco wyższych od wymaganych przez procesy technologiczne (niezależnie od tego z jakiej przyczyny parę taką wytwarzamy) związane jest z koniecznością ostatecznego kondycjonowania jej parametrów do określonych potrzeb technologii. W tym celu budowane są systemy kondycjonowania zapewniające żądane parametry pary na wylocie.

System kondycjonowania pary to taki system, w którym para zostanie poddana odpowiednim zabiegom mającym na celu uzyskanie pożądaných własności ciśnieniowo-temperaturowych przy wymaganym zakresie przepływów roboczych. Do procesów kondycjonowania pary zaliczamy proces redukcji i stabilizacji jej ciśnienia, proces obniżenia i stabilizacji jej temperatury oraz połączenie procesów redukcji i schładzania (do procesów kondycjonowania pary można dodatkowo zaliczyć proces osuszania pary nasyconej). Pod względem specyfiki zastosowania systemy kondycjonowania możemy podzielić na:

- stacje redukcyjno-schładzające zrzutowo-rozruchowe turbin parowych,
- stacje schładzające parę między kolejnymi stopniami przegrzewacza pary kotła,
- stacje redukcyjne, schładzające lub redukcyjno-schładzające pracujące na potrzeby technologii lub pomocnicze.

Pracujące przez wiele lat w bardzo ciężkich warunkach elementy systemów kondycjonowania pary ulegają zużyciu oraz wymagają wymiany. Starsze rozwiązania często nie spełniają obecnych wymagań w zakresie jakości regulacji i stabilizacji parametrów roboczych, poziomów dopuszczalnego hałasu pracy, szczelności odcięcia, ochrony przed nadmiernym zużyciem erozyjnym itp.

Przed przystąpieniem do modernizacji systemu kondycjonowania pary (lub budowy nowego systemu) warto przeprowadzić kompleksową analizę stanu obecnego oraz rzeczywistych wymagań technologii. Informacje zawarte w opracowaniu powinny pomóc w zrozumieniu podstawowych procesów, przedstawiają zalecane rozwiązania i zwracają uwagę na ważne aspekty techniczne, które mogą mieć duży wpływ na poprawność pracy systemu kondycjonowania pary wodnej.

2. Analiza parametrów roboczych

Decydując się na modernizację lub budowę nowej stacji kondycjonowania pary pierwszym krokiem musi być szczegółowe określenie parametrów jej pracy w różnych stanach ruchowych. W analizie wymagań koniecznie trzeba uwzględnić wszelkie możliwe stany ruchowe, ale nie należy zakładać stanów, które faktycznie nie mogą wystąpić. Nadmierne rozszerzenie parametrów roboczych może skutkować znaczącym wzrostem ceny instalacji, a w zamian uzyskujemy możliwości, które nigdy nie zostaną wykorzystane.

Przekazując dane do doboru nie należy ograniczać się do podania parametrów maksymalnych, są one ważne, ale często nie oddają charakteru pracy. Minimum jakie powinno spełniać zapytanie to warunki robocze minimalne, nominalne i maksymalne oraz oczekiwane parametry obliczeniowe. Określając wiele przewidywanych typowych punktów pracy w zapytaniu dajemy możliwość sprawdzenia w jakich obszarach charakterystyk roboczych systemu kondycjonowania znajdują się zdefiniowane przez nas punkty pracy.

W ramach przeprowadzanej analizy nie powinniśmy ograniczyć się tylko do określenia niewątpliwie najważniejszych parametrów roboczych kondycjonowanej pary i wody chłodzącej. Niemniej jednak, innymi bardzo ważnymi punktami wymagającymi również analizy i specyfikacji powinny być:

- czynniki decydujące o optymalizacji procesów kondycjonowania pary,
- szczegóły na temat miejsca zabudowy stacji (bardzo ważne przyłącza i ich materiały), ograniczenia montażowe i gabarytowe, sposób mocowania i określenie punktów stałych,
- wymagania w zakresie wyposażenia stacji kondycjonowania w armaturę pomocniczą i urządzenia aparatury kontrolno-pomiarowej,
- sposób automatyzacji stacji kondycjonowania (np. lokalna, zdalna z zakładowego DCS itp.),
- wymagania w zakresie typów siłowników zaworów regulacyjnych i czasów ich przesterowania,
- dostępne źródła zasilania,
- zabezpieczenia antykorozyjne i izolacja cieplna,
- zgodność z właściwymi normami i dyrektywami, warunki gwarancji i serwisu.

W dalszej części omówiono w pewnym zakresie jedynie podstawowe czynniki wpływające na optymalizację procesu kondycjonowania pary w modernizowanych (lub nowych) instalacjach. Często to właśnie te czynniki w znacznej mierze decydują o poprawnej pracy systemu kondycjonowania pary.

3. Optymalizacja procesu redukcji ciśnienia

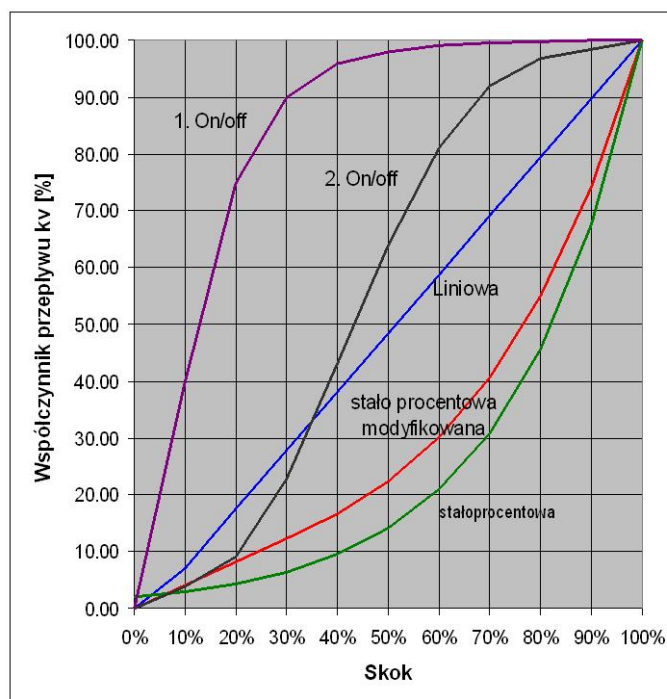
3.1. Charakterystyki przepływu

Charakterystyka przepływu zaworu regulacyjnego jest określana jako zmiana natężenia przepływu czynnika przez zawór w funkcji zmiennego położenia grzyba zaworu, przy założeniu zmian położenia grzyba zaworu od 0% (zawór zamknięty) do 100% (zawór w pełni otwarty) skoku grzyba zaworu.

Teoretyczna charakterystyka przepływu, nazywana również charakterystyką konstrukcyjną, odpowiada takiej charakterystyce, dla której spadek ciśnienia w zaworze jest stały i niezależny od zmian natężenia przepływu.

Rzeczywista charakterystyka przepływu, nazywana również charakterystyką zainstalowaną, odpowiada charakterystyce przepływu obserwowanej w praktycznych zastosowaniach, gdzie spadek ciśnienia w zaworze zmienia się ze zmianami natężenia przepływu i innymi zmianami w rzeczywistym systemie regulacji.

Wybór właściwej charakterystyki jest jednym z najważniejszych etapów projektowania układu regulacji. Wymagany jest odpowiedni dobór charakterystyki dla danego systemu z uwzględnieniem analizy dynamicznej obiektu regulacji.



Rysunek 1. Graficzna interpretację charakterystyk przepływu zaworów regulacyjnych

Charakterystyki przepływu zaworów regulacyjnych - prezentacja graficzna na rysunku 1 :

Charakterystyka szybko-otwierająca (1. On-off) - maksymalna zmiana w natężeniu przepływu przy małych przestawieniach grzyba zaworu (z pozycji zamknięty) z odpowiednio liniową zależnością. Dodatkowy wzrost w przestawieniu grzyba zaworu powoduje ostrą redukcję zmian w natężeniu przepływu, a kiedy grzyb jest w pozycji prawie całkowicie otwartej zmiany w natężeniu przepływu są bliskie zeru. W przypadku zaworów regulacyjnych charakterystyka szybko-otwierająca jest przede wszystkim wykorzystywana w zaworach pracujących dwupołożeniowo (zamknięty - otwarty).

Charakterystyka szybko-otwierająca z częścią dławiącą (2. On-off) - różni się od typowej charakterystyki szybko-otwierającej tym, że w początkowym etapie przesterowania grzyba z pozycji zamkniętej następuje powolny przyrost przepływu, a dopiero po osiągnięciu zaplanowanej wartości skoku uzyskiwana jest maksymalna zmiana w natężeniu przepływu przy dalszych małych przestawieniach grzyba zaworu. Charakterystyka ta opracowana została i wdrożona dla zabezpieczenia instalacji przed uderzeniowymi rozruchowymi przyrostami przepływu czynnika przy pracy zaworu zamknij-otwórz.

Liniowa charakterystyka przepływu (Liniowa) - zmiany natężenia przepływu są wprost proporcjonalne do zmian przestawienia grzyba zaworu przy stałym spadku ciśnienia. Grzyb zaworu z charakterystyką liniową jest głównie zalecany dla regulacji przy stałym ciśnieniu różnicowym.

Stają-procentowa charakterystyka przepływu (Stają-procentowa) - stałe przyrosty przestawienia grzyba zaworu wytwarzają stało-procentowe zmiany w istniejącym natężeniu przepływu. Zawory z stało-procentową charakterystyką przepływu są głównie wykorzystywane w przypadkach regulacji ciśnienia przy zmiennych parametrach ciśnienia różnicowego.

Rzeczywista charakterystyka przepływu odbiega od charakterystyki teoretycznej w przypadku, gdy w systemie regulacji następują zmiany ciśnienia różnicowego. Należy zwrócić uwagę, że zawór o teoretycznej charakterystyce liniowej, po zainstalowaniu w systemie regulacyjnym o dużej zmienności ciśnienia różnicowego, będzie posiadał charakterystykę rzeczywistą (zainstalowaną) zbliżoną do szybko-otwierającej, a zawór o teoretycznej charakterystyce stało-procentowej będzie posiadał charakterystykę zbliżoną do liniowej.

Modyfikowana stało-procentowa charakterystyka przepływu (Modyfikowana stało-procentowa) – jest to charakterystyka stało-procentowa zmodyfikowana w oparciu o badania na rzeczywistych obiektach regulacji w taki sposób, aby w czasie pracy przy zmiennym ciśnieniu różnicowym na obiekcie, charakterystyka zainstalowana zbliżyła się możliwie jak najbliżej w całym zakresie regulacji do charakterystyki liniowej.

Wybór właściwej charakterystyki przepływu zaworów regulacyjnych jest jednym z podstawowych warunków uzyskania stabilnych parametrów regulacyjnych systemu kondycjonowania pary.

3.2. Systemy zabezpieczające przed nadmiernym hałasem

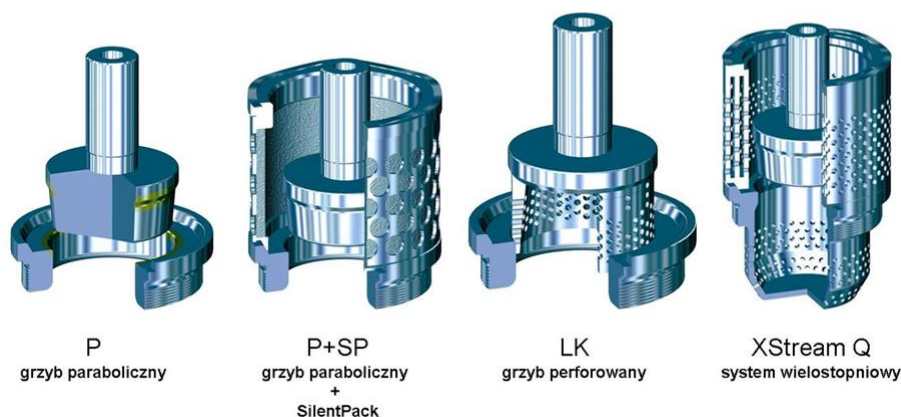
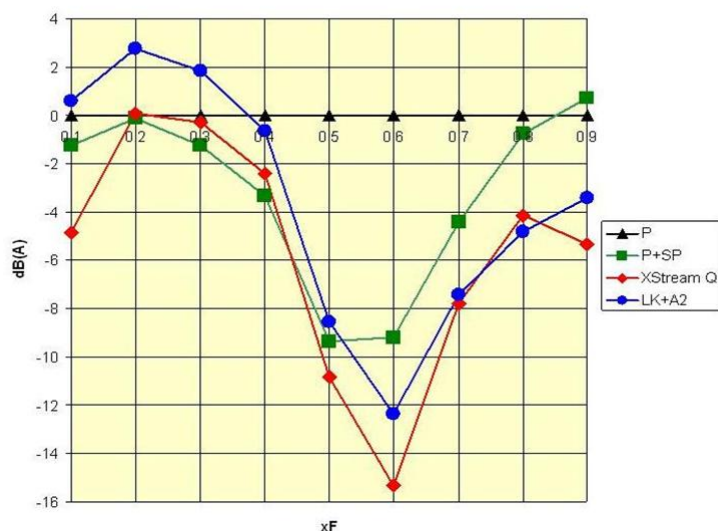
Hałas powstający podczas pracy zaworów regulacyjnych jest spowodowany tworzeniem się turbulencji, szczególnie z powodu fal uderzeniowych w parze przy nadkrytycznym spadku ciśnienia lub na skutek kawitacji w cieczach.

W przypadku pary emisja hałasu wzrasta ze wzrostem ciśnienia różnicowego ze względu na turbulencje, a w warunkach nadkrytycznego spadku ciśnienia z powodu fal uderzeniowych. Początkowy przyrost hałasu związany ze wzrostem ciśnienia różnicowego jest silny, a następnie stopniowy. Nie występują bardzo gwałtowne przyrosty poziomu hałasu jak to ma miejsce w przypadku wejścia cieczy w obszar kawitacji.

Dopuszczalne poziomy hałasu akustycznego określone są w dyrektywach (2003/10/EC) lub innych normach (BGV B3). W czasie doboru zaworów regulacyjnych konieczne jest przeprowadzenie obliczeń sprawdzających poziom hałasu akustycznego uzyskiwany w typowych punktach roboczych zaworu regulacyjnego. Obliczenia te przeprowadzane są zgodnie z IEC60534 część 8 (ewentualnie zgodnie z innymi regulacjami).

Poziom hałasu pracy zaworu regulacyjnego może zostać obniżony przez zastosowanie odpowiednich systemów wyciszających wewnątrz zaworu lub też dodatkowych systemów zainstalowanych za zaworem. Możliwe jest również stosowanie obu rozwiązań równocześnie w przypadku konieczności korygowania bardzo wysokich poziomów hałasu. Zasada obniżania poziomu hałasu pracy zaworu regulacyjnego polega głównie na wymuszeniu, aby większą część energii kinetycznej przepływu przekształcić w ciepło, a nie w dźwięk. Tak się dzieje w przypadku rozdrobnienia strumienia przepływu, zwielokrotnienia zmian kierunków przepływu, zwielokrotnienia rozprężania i sprężania strumienia, stopniowania redukcji ciśnienia oraz kombinacji tych funkcji. Istnieje bardzo dużo różnych rozwiązań systemów redukcji poziomu hałasu zaworów regulacyjnych.

Na rysunku 2 pokazano różne rozwiązania konstrukcji wewnętrznych układów regulacyjnych zapewniających obniżenie poziomu hałasu zaworu regulacyjnego oraz wykres pokazujący wpływ tych rozwiązań na poziom hałasu akustycznego w funkcji ciśnienia różnicowego odniesionego do ciśnienia przed zaworem. Jak można zaobserwować nie w całym przedziale ciśnień różnicowych uzyskiwany jest taki sam wpływ konstrukcji na obniżenie poziomu hałasu. W tym miejscu widać dlaczego tak ważne jest dobre precyzowanie parametrów roboczych w procesie doboru zaworu regulacyjnego.

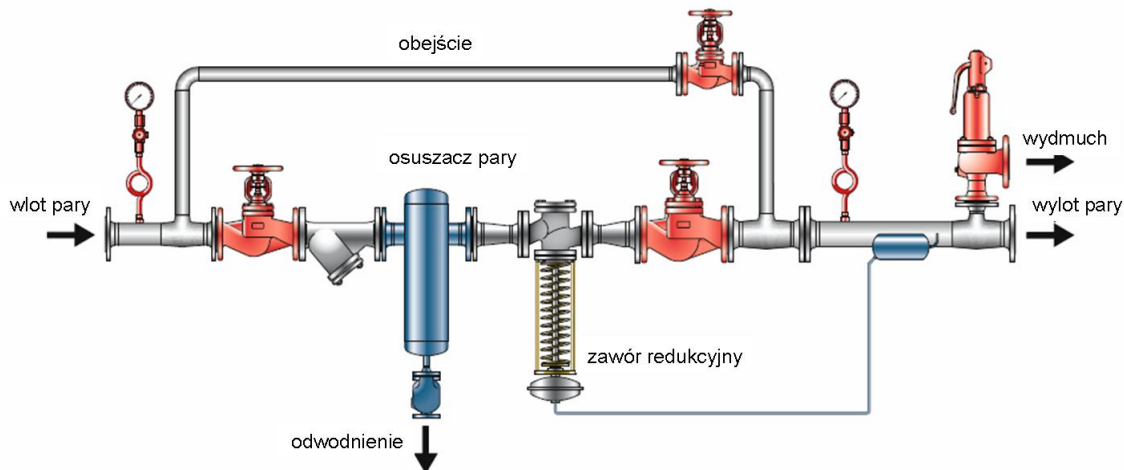


Rysunek 2. Przykłady konstrukcji wewnętrznych systemów ograniczających poziom hałasu pracy zaworu oraz wykres wartości korekcyjnej na poziom hałasu dla tych konstrukcji w funkcji ciśnienia różnicowego odniesionego do ciśnienia przed zaworem

3.3. Problemy z nadmiernym zużyciem zaworu redukcyjnego

Podczas procesu redukcji ciśnienia pary wewnątrz zaworu dochodzi do bardzo dużych prędkości przepływu, są one nieporównywalnie większe od zalecanych prędkości przepływu w rurociągach i mogą zbliżać się do prędkości rozchodzenia się dźwięku w parze. Przy tak dużych prędkościach szczególnie istotne jest zapewnienie przepływu jednofazowego pary suchej. Jest to bardzo ważne w przypadku redukcji ciśnienia pary nasyconej, ale również w pewnym zakresie dla pary przegrzanej. Krople wody napędzone do ogromnych prędkości wewnątrz zaworu będą miały bardzo silne oddziaływanie erozyjne na części wewnętrzne i korpus zaworu. Problem ten może powodować szybkie i nadmierne erozyjne zniszczenie zaworu. W stacji redukcyjno-schładzającej mimo, że po redukcji będziemy wtryskiwać wodę do pary, to przed zaworem redukcyjnym musimy się ewentualnej wody z pary pozbyć dla uzyskania jak najlepszej żywotności zaworu.

W tym celu konieczne jest instalowanie przed zaworem redukcyjnym dobrego systemu odwodnień, a najlepiej odśrodkowego osuszacza pary – rysunek 3.



Rysunek 3. Stacja redukcyjna wyposażona w układ osuszacza pary z odwodnieniem dla zabezpieczenia zaworu regulacyjnego przed oddziaływaniem erozyjnym.

Poprawnie wykonane odwodnienie przed zaworem regulacyjnym jest również ważne w przypadku redukcji ciśnienia pary przegrzanej. Odwodnienie ma za zadanie usuwać kondensującą wodę w czasie bardzo małych przepływów pary lub w przypadku zamknięcia zaworu regulacyjnego. Odwodnienie zapewnia również utrzymywanie zaworu w stanie gorącym w momencie, gdy jest on zamknięty.

3.4. Odległość czujnika ciśnienia od zaworu redukcyjnego

Miejsce zainstalowania czujnika ciśnienia, w oparciu o którego pomiary prowadzimy regulację sterowania zaworu redukcyjnego, względem zaworu ma również znaczenie. Odległość miejsca poboru impulsu ciśnienia (zainstalowania czujnika-przetwornika ciśnienia) względem wylotu z zaworu regulacyjnego według zaleceń wynosi 1m lub 10x średnica zaworu regulacyjnego prostego odcinka rurociągu – przyjmuje się większą wartość. Zbyt bliskie usytuowanie punktu pomiarowego może skutkować niestabilnością pomiaru związaną z dynamiką wypływu pary z zaworu. Zaleca się również nie pobierać impulsów bezpośrednio za innymi elementami armatury lub kolanami rurociągów, zmiany prędkości przepływu i lokalne układy dyszowe mogą również powodować znaczące przekłamanie pomiaru.

4. Optymalizacja procesu schładzania wtryskiem pary przegrzanej

4.1. Wybór typu schładzacza pary przegrzanej

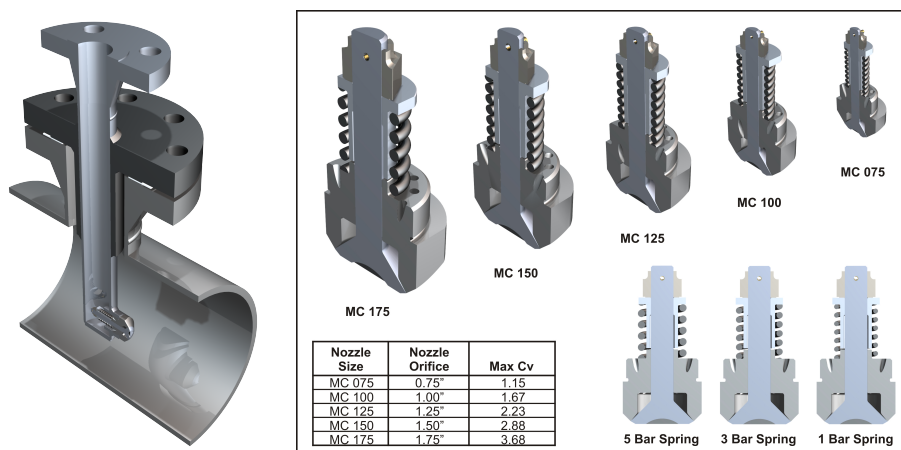
Istnieje bardzo duża różnorodność typów schładzaczy pary przegrzanej. Para przegrzana może być schładzana przeponowo (np. specjalne rurowe schładzacze zainstalowane w pojemności wodnej walczaka kotła lub inne konstrukcje specjalne), ale najczęściej jej schładzanie realizowane jest przez bezpośredni kontakt z wodą. Najwięcej rozwiązań opiera się na wtrysku rozpylonego strumienia wody do przestrzeni z parą, są jednak również rozwiązania, gdzie parę wprowadza się do objętości wodnej.

Najprostszy system schładzania, to układ schładzacza wtryskowego z dyszą o stałym przekroju powierzchni wtrysku – rysunek 4. Układ ten jest prosty w konstrukcji, stosunkowo niedrogi i stosowany w aplikacjach, gdzie nie występuje duże zróżnicowanie parametrów. Charakteryzuje się niestety niedużym zakresem regulacyjności, który znacząco zależy od wielkości dyspozycyjnego ciśnienia różnicowego wody chłodzącej w stosunku do schładzanej pary.

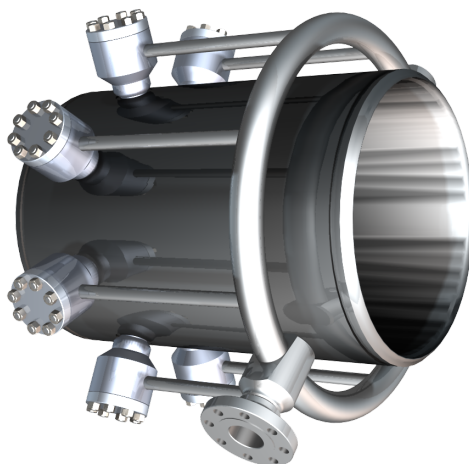


Rysunek 4. Schładzacz wtryskowy z dyszą o stałym przekroju powierzchni wtrysku

Podobną konstrukcję lancy wtryskowej może mieć również schładzacz wtryskowy z dyszą o zmiennym przekroju powierzchni wtrysku pokazany na rysunku 5. Podobieństwo jest pozorne, dzięki zmiennej geometrii wtrysku zakres regulacyjności tego schładzacza jest znacząco lepszy. Zmienną geometrię uzyskuje się poprzez zastosowanie ruchomej części czynnej dyszy, która dzięki obciążeniu za pomocą sprężyny zmienia się zależnie od wymaganego strumienia wtryskiwanej wody. Wpływa to bardzo dobrze na jakość rozpylenia wody w schładzanej parze nawet przy dużej rozpiętości przepływów pary. Ten system schładzacza sprawdza się dobrze zarówno przy średnich jak i dużych ciśnieniach różnicowych wody chłodzącej i schładzanej pary.



Rysunek 5. Schładzacz wtryskowy z dyszą o zmiennym przekroju powierzchni wtrysku



Rysunek 6. Wielopunktowy, obwodowy wtrysk wody chłodzącej za pomocą dysz o stałym lub zmiennym przekroju powierzchni wtrysku

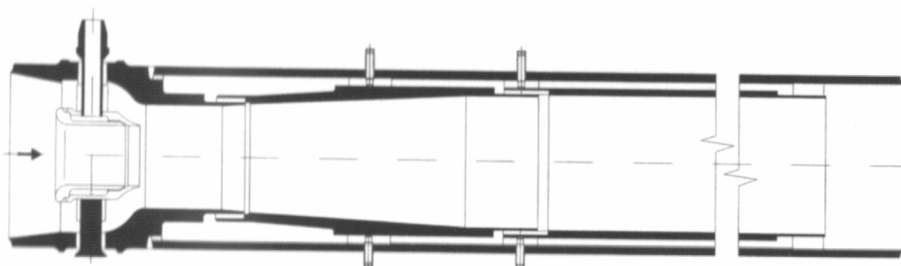
W przypadku bardzo dużych przepływów pary przeznaczonej do schłodzenia, stosuje się zwielowany wyżej opisany układ dyszy o zmiennym przekroju powierzchni wtrysku. Na elemencie rurowym mocuje się kilka dysz wtryskowych obwodowo i zasila się je za pomocą obwodowego kolektora – rysunek 6. Układ taki posiada wszelkie wyżej opisane zalety schładzacza z pojedynczą dyszą i jest często stosowany w przypadku bardzo dużych przepływów pary.

Często stosowanym i sprawdzonym rozwiązaniem schładzacza o dobrej regulacyjności jest schładzacz wtryskowy z systemem dysz o zmiennym przekroju powierzchni wtrysku zintegrowany z zaworem regulacji dopływu wody chłodzącej – rysunek 7. Opisując w uproszczeniu: schładzacz ten zbudowany jest z wielu małych dysz wtryskowych, które za pomocą wewnątrz przesuwającego się grzyba zaworu są przesłaniające lub odsłaniające, dzięki czemu zmienia się ilość aktywnych dysz wtryskowych zależnie od chwilowego obciążenia. Podobnie jak inne układy z dyszami wtryskowymi schładzacz ten pracuje bardzo dobrze zarówno przy średnich jak i dużych ciśnieniach różnicowych wody chłodzącej i pary.



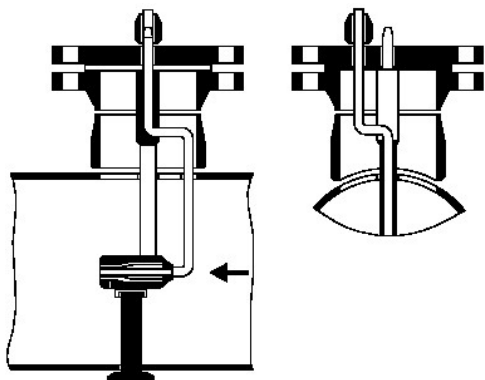
Rysunek 7. Schładzacz wtryskowy z systemem dysz o zmiennym przekroju powierzchni wtrysku zintegrowany z zaworem regulacji dopływu wody chłodzącej

W przypadku układów, w których nie ma do dyspozycji wystarczającego dla poprawnej pracy ciśnienia różnicowego między ciśnieniem wody wtryskowej i schładzanej pary, można zastosować schładzacz z dyszą Venturi'ego. Zastosowanie dyszy Venturi'ego powoduje bardzo duży przyrost prędkości pary w obszarze dyszy (przy stosunkowo niewielkim spadku ciśnienia na dyszy), wtrysnięcie wody chłodzącej w obszarze największej prędkości przepływu zapewnia bardzo dobre jej rozpylenie w komorze schładzacza bez konieczności dużej nadwyżki ciśnienia wody wtryskowej.



Rysunek 8. Schładzacz z dyszą Venturi'ego

W układzie wtrysku z atomizacją parową wtryskiwana woda jest rozpylana przy wykorzystaniu energii kinetycznej pary atomizującej rozprężającej się w dyszy – rysunek 9. Układ ten ma bardzo duży zakres regulacyjności. Ciśnienie wody wtryskowej musi jedynie nieznacznie przekraczać ciśnienie schładzanej pary, natomiast ciśnienie pary atomizującej musi zapewnić przepływ naddźwiękowy w dyszy atomizującej.

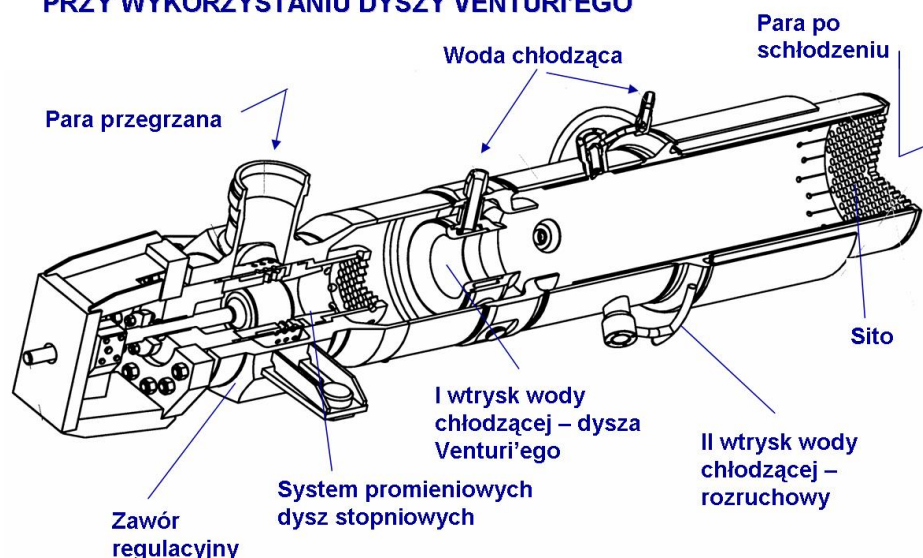


Rysunek 9. Schładzacz wtryskowy z atomizacją parową

W przypadku dużych układów redukcyjno-schładzających budowane są zintegrowane systemy kondycjonowania – rysunek 10 - łączące zawór redukcyjny o specjalnej konstrukcji z odpowiednio zaprojektowanym systemem schładzacza.

POŁĄCZONY SYSTEM REDUKCYJNO SCHŁADZAJĄCY PARY PRZEGRZANEJ

- REDUKCJA CIŚNIENIA ZAWOREM WYPOSAŻONYM W SYSTEM RADIALNYCH DYSZ STOPNIOWYCH
- SCHŁADZANIE WTRYSKIEM WODY CHŁODZĄCEJ PRZY WYKORZYSTANIU DYSZY VENTURI'EGO



Rysunek 10. Schładzacz zespolony z zaworem redukcyjnym

Układy schładzaczy wtryskowych zapewniają poziom schłodzenia pary do temperatury nasycenia plus ok. 10K, przyczyna zostanie opisana w dalszej części artykułu. Jeżeli ze względu na wymagania technologii trzeba zapewnić parę nasyconą, to zamiast systemu wtryskowego należy zastosować schładzanie pary przegrzanej kąpielą wodną – rysunek 11.

W schładzaczu tym para przegrzana w postaci drobnych pęcherzyków przepływa przez objętość wodną. Oddając ciepło przegrzania powoduje odparowywanie części wody zgromadzonej w zbiorniku. W systemach schładzania kąpielą wodną nie regulujemy temperatury, na wylocie z instalacji uzyskujemy parę nasyconą przy ciśnieniu roboczym.



Rysunek 11. Schładzacz kąpielą wodną

4.2. Określenie wartości zadanej temperatury pary po schładzaniu wtryskiem

Wartość zadana temperatury pary po schłodzeniu nie powinna być bardzo bliska temperatury nasycenia pary przy jej ciśnieniu roboczym. Należy pamiętać, że osiągnięcie parametrów nasycenia pary jednoznacznie związane jest z przepływem dwufazowym (mieszanka pary i wody). Przy temperaturze bliskiej nasycenia, część wtrysniętej wody nie ulegnie odparowaniu, a jej kropelki przylgną do czujnika temperatury. Przepływająca para o nieco wyższej temperaturze nie będzie miała dostępu do czujnika temperatury, wobec tego regulator spowoduje zmniejszenie ilości dodawanej wody chłodzącej, to zmniejszy ilość wody w mieszaninie i nastąpi odsłonięcie czujnika na parę już mniej schłodzoną. Takie powtarzalne zjawisko doprowadzi do braku możliwości uzyskania stabilnego parametry pary.

W celu uniknięcia powyższych problemów zalecane jest utrzymywanie temperatury zadanej za schładzaczem o 10K wyższej od temperatury nasycenia przy ciśnieniu roboczym. Obniżenie wartości nastawy poniżej zalecanej powinno być związane z uwarunkowaniem ilości wtryskiwanej wody od przepływu pary, co stwarza konieczność wprowadzenia w układzie regulacji właściwego algorytmu dla obliczeń wymaganej ilości wody wtryskowej. Wartość zadana temperatury pary po schłodzeniu nie może być równa temperaturze nasycenia przy ciśnieniu roboczym. Przy takiej nastawie czujnik temperatury nie będzie w stanie określić czy w rurze przepływa para czy woda wrząca.

Ważne jest również zapewnienie odprowadzenia wody, która nie uległa odparowaniu, przez odpowiednio skonstruowane odwodnienie. Pozostawienie wody w instalacji może spowodować niepożądane jej rozpylenie, erozję lub uderzenia wodne w instalacji.

4.3. Ciśnienie i temperatura wody wtryskowej

Ze względu na proces atomizacji rozpylanej wody chłodzącej różnica ciśnień pomiędzy ciśnieniem wody wtryskowej, a ciśnieniem schładzanej pary ma bardzo ważne znaczenie. Można ogólnie stwierdzić, że im wyższe ciśnienie wody chłodzącej w stosunku do schładzanej pary tym lepsza atomizacja kropeł wody, a co za tym idzie lepsza jakość pracy schładzacza dzięki rozpyleniu wody w postaci mniejszych kropeł. Wysokie ciśnienie różnicowe jest również ważne z punktu widzenia zakresu regulacyjności schładzacza, czyli zapewnia lepszą pracę schładzacza przy małych przepływach pary.

Najkorzystniejsze efekty atomizacji i regulacyjności schładzaczy uzyskuje się, gdy ciśnienie wody wtryskowej jest o 10 do 70 bar wyższe od ciśnienia schładzanej pary. Należy tu jednak zwrócić uwagę, że stosując wysokie ciśnienia różnicowe zawór regulacji wtrysku może zacząć pracować w obszarze kawitacji, w takim przypadku konieczne jest właściwe jego zabezpieczenie dla takich warunków pracy.

Z punktu widzenia szybkości odparowania wtrysniętej wody chłodzącej jej temperatura ma niezwykle istotne znaczenie. Woda o wyższej temperaturze jest bliższa temperaturze nasycenia czyli dla odparowania wymaga odebrania mniejszej ilości ciepła od otaczającej pary, co oznacza krótszy czas odparowywania. Tak więc ze wzrostem temperatury wody wtryskowej trzeba wtryskiwać większe ilości wody, ale uzyskiwany jest mniejszy czas wymagany dla odparowania wtrysniętej wody. Dodatkowo gorąca woda ulega dużo korzystniejszej atomizacji niż zimna. Dzięki obniżonemu napięciu powierzchniowemu gorąca woda przybiera podczas rozpylania formę mniejszych kropeł, co również sprzyja jakości schładzania pary. Optymalnie woda chłodząca powinna mieć temperaturę wyższą niż 80°C, teoretycznie im wyższa temperatura tym lepsza atomizacja i szybsze odparowanie. Należy jednak zwracać uwagę na możliwość odparowywania gorącej wody. Jeżeli częściowe odparowanie następuje za dyszą wtryskową można to uznać za pożądane, jeżeli odparowanie w zaworze lub bezpośrednio przed dyszą może być przyczyną szybkiego uszkodzenia obu elementów.

4.4. Parametry jakościowe wody wtryskowej

Woda chłodząca dla schładzaczy wtryskowych pracujących jako schładzacze między stopniami przegrzewaczy pary kotłów lub schładzaczy rozruchowo-zrzutowych musi spełniać wymagania normy EN-PN12952-część 12. Wymagania te nakładają konieczność bardzo wysokich standardów przygotowania wody chłodzącej.

Schładzacze pracujące na potrzeby technologii często wykorzystują wodę o dużo gorszych parametrach, co może wiązać się z całym szeregiem problemów. Zależnie od miejsca instalacji schładzacza najczęściej stosuje się wodę zasilającą dla kotła parowego (w przypadku instalacji stacji schładzającej na kotłowni) lub kondensat (w przypadku instalacji stacji schładzającej w pewnej odległości od kotłowni). Szczególnie w przypadku zastosowania wody zasilającej o znacznej zawartości soli należy pamiętać, że w procesie schładzania pary woda chłodząca odparuje, a w parze w postaci stałej pozostaną wszystkie związki w niej nierozpuszczalne, może to prowadzić do bardzo niepożądanych zjawisk związanych z tworzeniem osadu, blokowaniem przepływu lub innym niekorzystnym oddziaływaniem na instalację pary i kondensatu. Wtryskując chłodzącą wodę zasilającą wprowadzamy również do pary związki, które wykorzystujemy w procesie kondycjonowania fizyko-chemicznego wody i które normalnie pozostają w wodzie w kotle. Szczególnie w przypadku bezpośredniego kontaktu tak schłodzonej pary z produktem np. spożywczym, można doprowadzić do bardzo poważnych problemów związanych z jakością wyrobu końcowego.

Producenci schładzaczy żądając spełnienia określonych wymagań jakościowych wody biorą pod uwagę wpływ jakości wody na poprawną i długotrwałą pracę układu schładzacza, natomiast wpływ wtryskiwanej wody chłodzącej na instalację lub produkt końcowy użytkownik musi brać pod uwagę w ramach swojej analizy systemu parowego.

Każdy schładzacz wtryskowy musi być zabezpieczony za pomocą filtra-osadnika zanieczyszczeń o dużej dokładności filtracji, zapewniającego wychwycenie drobnych zanieczyszczeń przepływających wraz z wodą. Nawet najlepszej jakości woda może nieść ze sobą drobne zanieczyszczenia zbierane w instalacji (elementy korozji, osady, zanieczyszczenia poremontowe itp.). Dysze wtryskowe zazwyczaj charakteryzują się bardzo małymi powierzchniami kanałów przepływowych i już stosunkowo niewielkie zanieczyszczenia mogą powodować przytkanie i ograniczenie pola przekroju

przepływowego, a tym samym ograniczyć wydajność wtrysku lub też pogorszyć jakość rozpylenia wody.

4.5. Prędkości przepływu pary w komorze schładzacza

Jednym z podstawowych aspektów związanych z procesem schładzania wtryskiem jest zagwarantowanie minimalnej prędkości przepływu pary w komorze schładzacza. Dla zapewnienia właściwego odparowywania wtrysnięte krople wody muszą na tyle długo pozostawać zawieszona w strumieniu pary, aż dojdzie do ich całkowitego odparowania. Woda, która nie odparowała i spadła na dno rurociągu nie ulegnie najczęściej odparowaniu w ramach komory schładzacza, a przepływając dalej, może w dalszej części rurociągu nastąpić jej wtórne rozpylenie np. w zaworze, co spowoduje niepożądaną zmianę parametrów pary.

Minimalna prędkość przepływu pary zależna jest od typu systemu wtryskowego oraz turbulencji przepływu. Standardowe konstrukcje schładzaczy wtryskowych zazwyczaj wymagają zastosowania prędkości przepływu pary na poziomie 10m/s i większych. Są jednak rozwiązania specjalne dopuszczające mniejsze prędkości minimalne 3-5m/s, gdzie schładzacz niejako wymusza i wspomaga ciągłe mieszanie.

Optymalnym jest montowanie systemu wtrysku chłodzącego bezpośrednio na wylocie z zaworu redukcyjnego lub maksymalnie 3-5 średnic za zaworem, gdzie występuje największa turbulencja przepływu nawet przy stosunkowo niewielkich przepływach pary, to znacząco wpływa na szybkość odparowania kropeł wtrysniętej wody.

Nadmiernie duża prędkość przepływu wbrew pozorom może również być problemem. Duże prędkości przepływu dzięki silnej turbulencji przepływu zapewniają dużo lepsze mieszanie się wody w parze. Jednakże możemy mieć do czynienia również z problemem z nadmiernymi prędkościami przepływu pary. Wzrost prędkości przepływu czynnika dwufazowego poruszającego się w rurze, przy w przybliżeniu podobnych czasach odparowania kropeł, oznacza znaczące wydłużenie odcinka wymaganego dla całkowitego odparowania. Większość schładzaczy pracuje z maksymalnymi prędkościami przepływu pary na poziomie nie przekraczającym 60 m/s, przekroczenie prędkości 75 m/s ze względu na indukowaną silną turbulencję może dodatkowo wprowadzić znaczące problemy z wibracją układu.

4.6. Wymagania w zakresie odcinka prostego za punktem wtrysku

Za miejscem wtrysku wody chłodzącej konieczne jest wykonanie prostego odcinka rurociągu, w którym przebiegać będzie proces mieszania kropeł wody z parą i proces termicznego odparowywania wtrysniętej wody. Ten odcinek prosty rurociągu, pozbawiony zaworów i innych przegród, ma niezwykle istotne znaczenie dla poprawności procesu schładzania pary. Wykonanie zbyt krótkiego odcinka prostego, spowoduje, że krople, które nie uległy odparowaniu na pierwszym kolanie rurociągu zostaną w znaczącej większości usunięte ze strumienia pary. Ta woda, która nie uległa odparowaniu będzie obniżać efekt chłodzenia pary. Wzrost temperatury schładzanej pary spowoduje wzrost strumienia wody chłodzącej doprowadzanej do systemu, co w konsekwencji doprowadzi do braku stabilizacji procesu schładzania. Należy też pamiętać, że pierwsze kolano rurociągu parowego, w przypadku znacznych ilości przepływających w parze kropeł wody, będzie silnie narażone na oddziaływanie erozyjne.

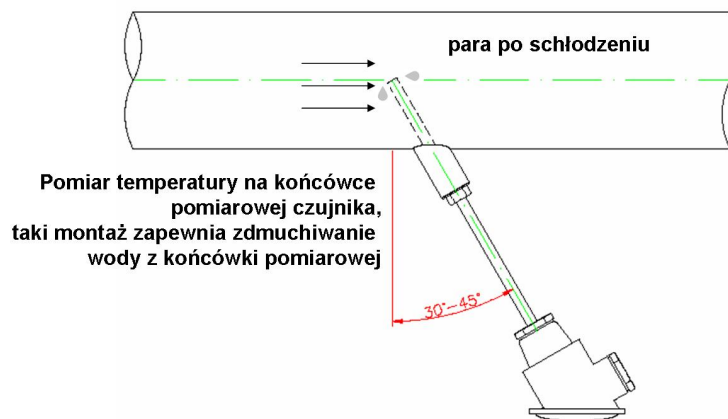
Badania modelowe wykazują, że konieczne jest zapewnienie odparowania w poziomym odcinku rurociągu na poziomie przekraczającym 80% wtrysniętej wody. Wówczas na skutek wzrostu turbulencji przepływu na pierwszym kolanie dochodzi do wzmożenia szybkości odparowywania pozostałych w rurociągu kropeł wody.

Długość wymaganego odcinka prostego bez żadnych przeszkód wewnętrznych za punktem wtrysku zależy od typu schładzacza, prędkości przepływu, ilości wtryskiwanej wody oraz wielu innych aspektów termodynamicznych. Zazwyczaj długość ta zawiera się w granicach od 3 m do 5 m, rzadko do 8m. Odcinek ten musi być zawsze określony przez dostawcę schładzacza, a dotrzymanie tego parametru konstrukcyjnego ma wpływ zarówno na jakość pracy schładzacza jak i na żywotność materiałów konstrukcyjnych rurociągów.

4.7. Odległość czujnika temperatury

Określenie odległości montażu czujnika temperatury od punktu wtrysku wody chłodzącej ma istotne znaczenie. Czujnik musi zostać zainstalowany tam, gdzie nastąpiło już całkowite odparowanie wtrysniętej wody. Krople wody pozostające w parze w miejscu montażu czujnika temperatury będą powodowały fałszowanie pomiaru temperatury (pomiar temperatury kropeł wody pozostających na końcówce pomiarowej czujnika).

Bardzo istotny jest montaż tego czujnika – rysunek 12 – zabezpieczający przed naturalnym pozostawaniem kropeł wody na końcówce pomiarowej.



Rysunek 12. Zalecany sposób montażu czujnika temperatury za schładzaczem pary

Doświadczenia pokazują, że odległość czujnika temperatury od punktu wtrysku to (oczywiście zależnie od wielu czynników) od 12m do 20m, a w skrajnych przypadkach nawet do 30m. Zaleca się montaż czujnika temperatury przynajmniej za jednym lub więcej kolanami rurociągu.

4.8. Rura osłonowa komory wtrysku

Wykonanie rury osłonowej wewnątrz komory wtrysku schładzacza związane jest z zabezpieczeniem części wytrzymałościowej przed negatywnym oddziaływaniem uderzeniowym kropeł wody oraz przed szokiem termicznym powstającym podczas wtrysku znacząco chłodniejszej wody do objętości schładzacza. Opisane zjawiska występują przede wszystkim w przypadku wysokich nadwyżek wtryskiwanej wody w stosunku do rzeczywistych potrzeb związanych ze schładzaniem lub niedostatecznej jakości rozpylenia. W takiej sytuacji dochodzi do intensywnego kontaktu wody chłodzącej z gorącą ścianką komory, co w przypadku niektórych materiałów konstrukcyjnych może prowadzić do przyspieszonego starzenia materiału na skutek pracy z permanentnym szokiem termicznym. Rury osłonowe o stosunkowo małej grubości ścianki (nie przenoszą obciążeń ciśnieniowych), są wykonane zazwyczaj z materiałów o większej odporności erozyjnej i na starzenie cieplne, niż materiał konstrukcyjny komory schładzacza odpowiedzialny za wytrzymałość ciśnieniową. Rury osłonowe stosuje się, aby zapewnić konstrukcji przenoszącej obciążenia wytrzymałościowe pracę ze stabilnymi parametrami ciśnieniowo-temperaturowymi.

W wielu rozwiązaniach schładzaczy wtryskowych wykonanie rury osłonowej może nie być konieczne, szczególnie przy dobrym doborze materiałów i zapewnieniu właściwych parametrów wtrysku. Niemniej jednak należy pamiętać, że w przypadku ich wykonania konieczne jest uwzględnienie w obliczeniach przepływowych przestrzeni, którą zajmują, a także uwzględnienie regularnej kontroli stanu ich zużycia, ponieważ ich uszkodzenia w czasie pracy mogą być przyczyną bardzo poważnych awarii w dalszej części instalacji.

5. Podsumowanie

Tematyka kondycjonowania pary wodnej jest tak szerokim zagadnieniem, że konieczne było ograniczenie omówienia zagadnień tylko wybranych informacji. W artykule starałem się przybliżyć te spośród istotnych aspektów i działań, które powinny zostać poruszone i przeanalizowane w ramach tematu modernizacja i optymalizacja systemów kondycjonowania pary wodnej wykorzystywanej w procesach technologicznych w zakładzie przemysłowym.

6. Literatura

1. Arnold Muschet - Valve Handbook: Information and recommendations for selection and sizing of control valves; Flowserve Schmidt Armaturen 2002
2. Arnold Muschet, Otto Ziegert – Flow control in the process industry – Flowserve 2006
3. Guy Borden – Control valve. Practical guides for measurement and control – ISA 1998
4. Poradnik Gestra – Guide – Flowserve Gestra 2006
5. Katalogi firmy Flowserve Gestra – Control Valves, Desuperheaters, Special Equipment and Vessels – Flowserve Gestra 2008,2010
6. Katalogi firmy G-team – Desuperheaters – G-team 2008

Krzysztof Szalucki

tel. 667994413

e-mail: krzysztof@szalucki.pl

www.szalucki.pl