

**Krzysztof Szalucki**

**Motto:** *Odwadniacz to nie panaceum na wszelkie problemy w systemie pary i kondensatu.*

## 1. Wstęp

Odwadniacz często jest obarczany odpowiedzialnością za wszelkie nieprawidłowości w działaniu systemu pary i kondensatu. Dzieje się tak ze względu na przecenianie możliwości odwadniacza w porządkowaniu procesów zachodzących w instalacjach pary i kondensatu, kosztem niedoceniań zasad związanych z budową i poprawną eksploatacją tych instalacji. Niewątpliwie w przypadku braku odwadniacza (lub w przypadku jego złego doboru czy wadliwej pracy) system pary i kondensatu praktycznie nie może działać poprawnie, ale na jakość pracy całej instalacji ma również wpływ szereg innych aspektów. Częste rozmowy i dyskusje pokazują, że do tematu odwadniacza w systemie parowym trzeba koniecznie powracać, aby przypominać podstawy oraz uzupełniać i pogłębiać wiedzę użytkowników w zakresie pracy systemów pary i kondensatu.

## 2. Para wodna – nośnik ciepła w systemie parowym

Para wodna – ze względu na szereg zalet – jest bardzo często wykorzystywanym nośnikiem ciepła (energii). W porównaniu do innych nośników ciepła, para wodna charakteryzuje się możliwością przenoszenia dużych ilości energii za pomocą stosunkowo niewielkiej masy. Wytwarzana jest przez odparowanie wody, stosunkowo niedrogiemu i obficie występującemu surowcowi, który jest przyjazny środowisku. Prosta regulacja ciśnienia pary wodnej nasyconej umożliwia dostosowanie jej temperatury do potrzeb procesu technologicznego. Kolejną zaletą pary jest dobra wymiana ciepła przez powierzchnie ogrzewalne (wysokie współczynniki przenoszenia ciepła) przy stałej temperaturze (w zakresie pary nasyconej) czynnika grzewczego. Zalety te umożliwiają stosowanie niewielkich kompaktowych odbiorników energii z małymi powierzchniami wymiany ciepła.

Dla pełnego wykorzystania wszystkich zalet pary wodnej, należy pamiętać o jej szczególnych cechach zarówno podczas procesu projektowania jak i eksploatacji instalacji pary i kondensatu.

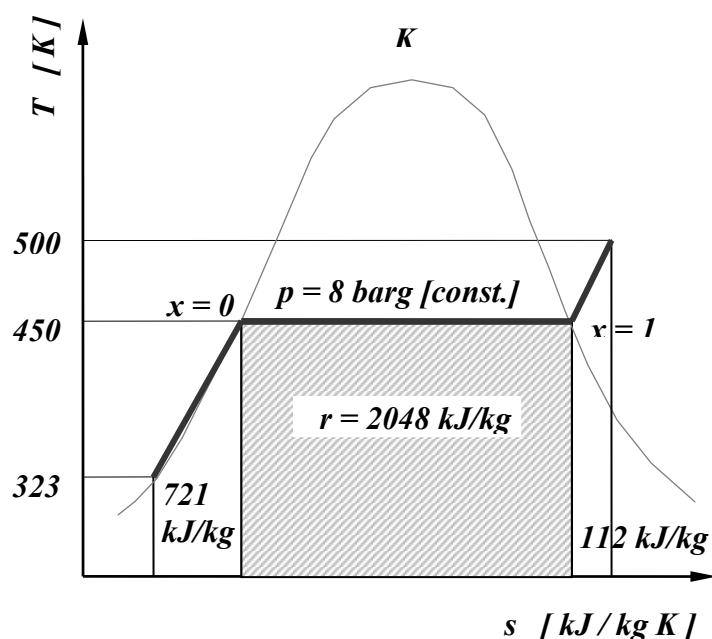
## 3. Jaki jest cel zastosowania odwadniaczy?

Wykres T-s (wykres temperatury w funkcji entropii - rysunek 1) dla wody i pary wodnej przedstawia kolejne etapy zachodzące w czasie wytwarzania pary wodnej: podgrzewanie wody, odparowywanie przy stałej temperaturze i przegrzewanie pary. Procesy te zachodzą w kotle parowym. Dla zapewnienia kolejnych etapów przemian dostarczane są odpowiednie ilości energii. Punkty charakterystyczne: punkt wody wrzącej (stopień suchości  $x = 0$ ) oraz punkt pary nasyconej suchej (stopień suchości  $x = 1$ ).

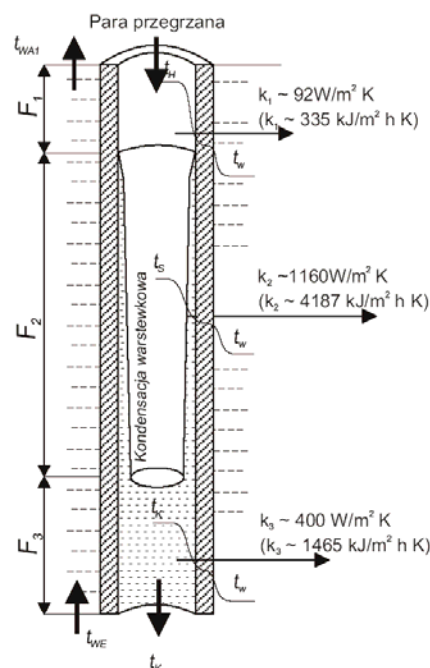
Procesem odwrotnym do odparowania wody jest proces odbioru ciepła od pary w odbiornikach ciepła (wykorzystania ciepła pary do procesów produkcyjnych lub grzewczych), takich jak np. wymienniki ciepła, destylarki, podgrzewacze powietrza, autoklawy, prasy itp. W parowych odbiornikach ciepła wykorzystujemy przede wszystkim ciepło zawarte w parze.

Patrząc na wykres możemy bez trudu określić, iż największą ilość ciepła możemy odebrać w trakcie przemiany pary nasyconej suchej w wodę wrzącą. Zakres ten charakteryzuje się również najwyższym współczynnikiem przenoszenia ciepła (rysunek 2), dzięki czemu osiągnięta jest minimalizacja powierzchni wymiany ciepła (wielkości odbiornika ciepła).

Analizując dalej wykres (rysunek 1), można zaobserwować, iż ilość ciepła, którą możemy odebrać na skutek schładzania wody wrzącej lub ochładzania pary przegrzanej do punktu pary nasyconej suchej jest znacząco mniejsza. Ponieważ współczynniki przenoszenia ciepła dla pary przegrzanej i wody są wielokrotnie niższe niż współczynnik przenoszenia ciepła dla pary nasyconej suchej (rysunek 2), konieczne są dla przeniesienia tej samej ilości ciepła znacząco większe powierzchnie wymiany ciepła w odbiornikach.



**Rysunek 1. Wykres T-s dla pary wodnej (przemiana izobaryczna  $p = \text{const.}$ )**



**Rysunek 2. Wymiana ciepła**  
F1 – para przegrzana,  
F2 – para nasycona, F3 - woda

Po analizie procesu odbierania i wymiany ciepła od pary należy stwierdzić, iż najbardziej interesujący jest obszar tzw. kondensacji pary nasyconej suchej w odbiorniku ciepła, gdyż przy najmniejszych gabarytach odbiornika możemy odebrać największe ilości ciepła.

Tu pojawia się pytanie: „W jaki sposób można odprowadzić z odbiornika ciepła każdą kroplę tworzącego się kondensatu, a jednocześnie zapobiec wypływowi (stracie) pary z tego odbiornika?”. Urządzeniem, którego zadaniem jest realizowanie tych funkcji jest właśnie **ODWADNIACZ**.

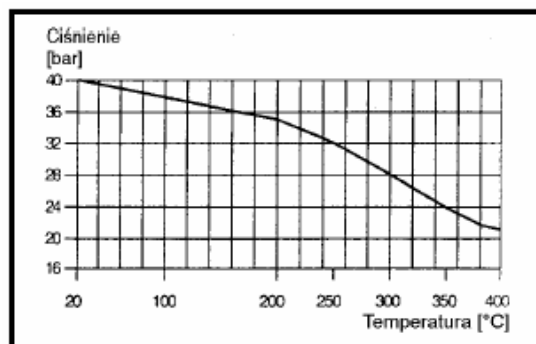
#### 4. Dobór odwadniacza pod względem wytrzymałościowym

Dobierając odwadniacz musimy określić graniczne (lub tzw. obliczeniowe) parametry ciśnieniowe i temperaturowe systemu, w którym dobierany odwadniacz będzie pracował. Dla zapewnienia dotrzymania wymaganych parametrów ciśnieniowych i temperaturowych określa się takie wyznaczniki wytrzymałościowe jak ciśnienie nominalne PN i materiał korpusu odwadniacza.

Pod żadnym pozorem nie można mylić ciśnienia nominalnego z maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniem roboczym czynnika, gdyż wartości obu tych ciśnień pokrywają się jedynie w niewielkim zakresie temperaturowym.

Ciśnienie nominalne PN określa współzależność maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia i maksymalnej dopuszczalnej temperatury dla materiału, z którego został wykonany korpus odwadniacza. Współzależność tę przedstawia się najczęściej w sposób wykresny lub tabelaryczny (rysunek 3) w karcie katalogowej każdego odwadniacza.

Współzależność ciśnienia i temperatury			
Maks. ciśnienie robocze [barg]	32	22	21
Temperatura związana [°C]	250	385	400
Maks. ciśnienie różnicowe (ciśnienie wlotowe minus ciśnienie wylotowe)	22 barg		



### Rysunek 3. Współzależność ciśnienia i temperatury przedstawiona tabelarycznie i wykreślnie na przykładzie odwadniacza BK45 o ciśnieniu nominalnym PN40 dla materiału korpusu: stal C22.8 (1.0460)

Dla sprawdzenia czy odwadniacz jest dobierany poprawnie pod względem wytrzymałości, na wykresie współzależności ciśnienia i temperatury (można również taki wykres przygotować w oparciu o dane tabelaryczne), należy wyznaczyć punkt przecięcia wartości maksymalnego ciśnienia i maksymalnej temperatury występujących w rozpatrywanej instalacji. Jeżeli krzywa współzależności ciśnienia i temperatury, charakterystyczna dla danego odwadniacza, przebiega powyżej wyznaczonego punktu, to można stwierdzić, że odwadniacz został dobrany poprawnie pod kątem jego własności wytrzymałościowych.

Powyższa procedura doboru odwadniacza pod względem własności wytrzymałościowych jest procedurą konieczną, ale nie zawsze wystarczającą. Pewne względy techniczne (np. zakaz stosowania na instalacji armatury z żeliwa szarego, aspekty związane z odpornością korozyjną, możliwość powstawania uderzeń wodnych, itp.), mogą narzucać dodatkowe uwarunkowania w zakresie doboru wytrzymałościowego odwadniaczy.

## 5. Dobór odwadniacza według cech ruchowych

Kwestia doboru odwadniacza według cech ruchowych nie jest tak jednoznaczna, jak w przypadku doboru wytrzymałościowego.

Ogólne rozważania doboru odwadniacza według cech ruchowych można ograniczyć do analizy: **własności regulacyjnych odwadniacza, jego ceny i okresu użytkowania**. Uproszczenie to można przyjąć pod warunkiem, że analizowany odwadniacz spełnia następujące kryteria:

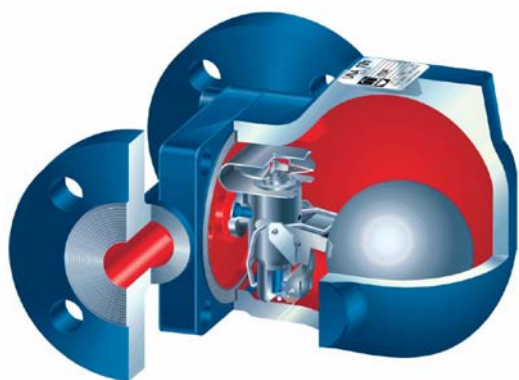
- pracuje samoczynnie,
- zasada pracy odwadniacza jest oparta na jego paroszczelności (praca bez strat pary),
- zarówno podczas rozruchu jak i podczas pracy odwadniacz ma zapewnić automatyczne odpowietrzenie odwadnianej instalacji,
- jeżeli odwadniacz jest zainstalowany na instalacjach narażonych na zamarzanie, jego budowa i sposób zainstalowania musi zapewnić samoczynne odwodnienie instalacji i odwadniacza,
- standardowe (znormalizowane) konstrukcje przyłączy i gabaryt zabudowy umożliwiające zamienność typów odwadniaczy bez wprowadzania zmian w instalacji,
- odporność na korozję i zanieczyszczenia niesione z kondensatem,
- możliwość zastosowania jednego typu odwadniacza dla wielu różnych odbiorników, co upraszcza kontrolę i obsługę w zakładzie.

## 5.1 Własności regulacyjne odwadniaczy

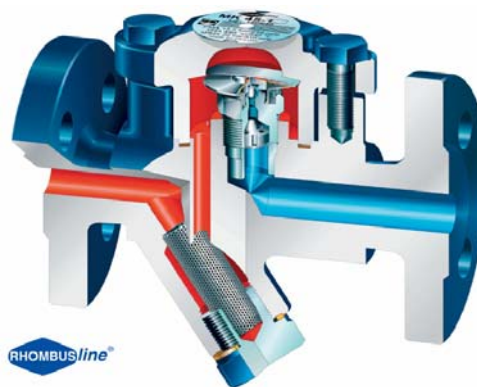
Jeżeli odwadniacz spełnia powyższe kryteria można przejść do analizy jego **własności regulacyjnych**. Pod tym pojęciem należy rozumieć zdolność odwadniacza do dostosowania się do określonego przebiegu procesu wymiany ciepła między parą a czynnikiem grzanym, w taki sposób, aby nie powodować żadnych niekorzystnych oddziaływań na proces technologiczny (np. częściowego zalania powierzchni ogrzewalnej na skutek spiętrzenia kondensatu w wymienniku). Ze względów praktycznych omówione zostaną poniżej tylko własności regulacyjne odwadniaczy najczęściej spotykanych na rynku.

### 5.1.1 Odwadniacz pływakowy z pływakiem kulowym zamkniętym

Najlepszymi własnościami regulacyjnymi charakteryzują się odwadniacze pływakowe z zamkniętym pływakiem kulowym (typoszereg UNA – rysunek 4), ponieważ sterowanie odbywa się bezpośrednio i natychmiastowo, zależnie od ilości napływającego kondensatu (regulacja ciągła). Dzięki temu, w różnych fazach ruchowych występujących podczas pracy odwadniacza, nie następuje jakiegokolwiek spiętrzenia kondensatu. Główną dziedziną zastosowań odwadniaczy pływakowych z pływakiem kulowym zamkniętym są odbiorniki z regulacją dławieniową po stronie pary, ponieważ tego typu odwadniacze mogą poradzić sobie z odprowadzaniem bardzo silnie zróżnicowanych ilości kondensatu przy silnie wahających się wartościach ciśnienia i nie powodują spiętrzenia kondensatu w tych warunkach pracy.



**Rysunek 4. Odwadniacz pływakowy z zamkniętym kulowym pływakiem typ UNA 1**



**Rysunek 5. Odwadniacz termostacyjny z regulatorem membranowym typ MK 45**

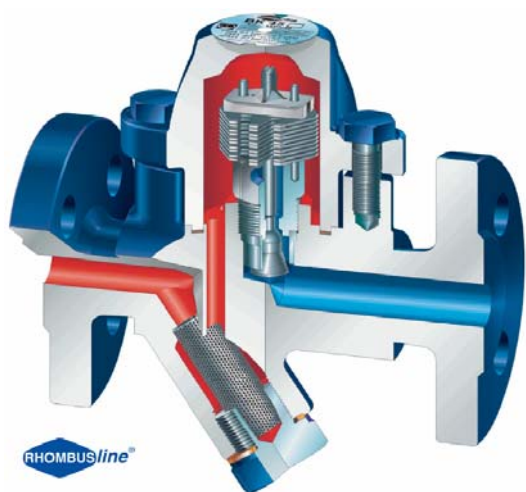
### 5.1.2 Odwadniacz termostacyjny z regulatorem membranowym

Własności regulacyjne odwadniaczy termostacyjnych, w których elementem regulacyjnym jest membranowy termostat alkoholowy (typoszereg MK – rysunek 5), są jedynie nieco gorsze niż odwadniaczy pływakowych. Regulator tego odwadniacza zapewnia odprowadzanie kondensatu o temperaturze 5-10°C poniżej krzywej nasycenia, zapewniając tym samym praktycznie odprowadzanie kondensatu bez spiętrzenia go w odbiorniku ciepła. W związku z tym odwadniacze tego typu mogą być stosowane w większości procesów grzewczych za wyjątkiem tych, w których następują duże wahania ilościowe i ciśnieniowe kondensatu w krótkich odstępach czasu.

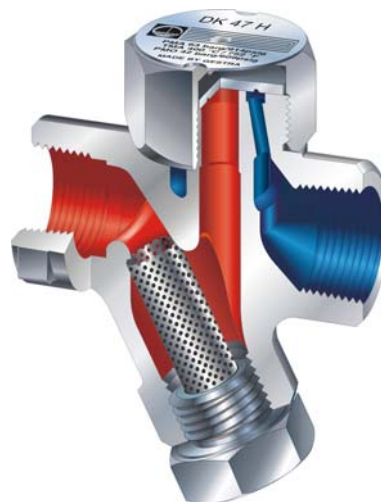
### 5.1.3 Odwadniacz termostacyjny (termostacyjno-termodynamiczny) z regulatorem bimetalowym

Regulator bimetalowy odwadniacza termostacyjnego, ze względu na znaczną pojemność cieplną, charakteryzuje się większą niż odwadniacz z termostatem alkoholowym bezwładnością w pracy, co powoduje powstanie pewnej zwłoki w dostosowaniu się do nowych warunków roboczych.

Jednakże dzięki wykorzystaniu dodatkowego efektu wysoko-skokowego grzybka oraz zagadnień termodynamiki przepływu przez dyszę stopniową ukształtowaną przez grzybek i siedzisko, odwadniacze tego typu (typoszereg BK – rysunek 6) charakteryzują się znacznie lepszymi parametrami pracy niż zwykłe odwadniacze bimetalowe. Odwadniacze te bardzo dobrze spełniają stawiane im wymagania w przypadku procesów, w których parametry robocze ulegają rzadkim i powolnym zmianom np. odwadnianie ogrzewania towarzyszącego, odwadnianie rurociągów parowych (również z parą przegrzaną), nieregulowane wymienniki ciepła średniej wielkości itp.



**Rysunek 6. Odwadniacz termostatyczny z regulatorem bimetalowym typ BK45**



**Rysunek 7. Odwadniacz termodynamiczny typ DK**

#### **5.1.4 Odwadniacz termodynamiczny**

Właściwości regulacyjne odwadniacza termodynamicznego (typoszereg DK – rysunek 7) zbliżone są do właściwości odwadniacza termostatycznego z regulatorem membranowym. Jednakże należy pamiętać, iż w wielu zastosowaniach ruchowych odwadniacz ten wymaga, tzw. pary sterującej, co oznacza straty pary w trakcie procesu regulacji - jest to jedną z jego wad. Doświadczenia eksploatacyjne pokazują, że strata ta rośnie w sposób znaczący z biegiem czasu eksploatacji.

#### **5.1.5 Odwadniacz z pływakiem dzwonowym**

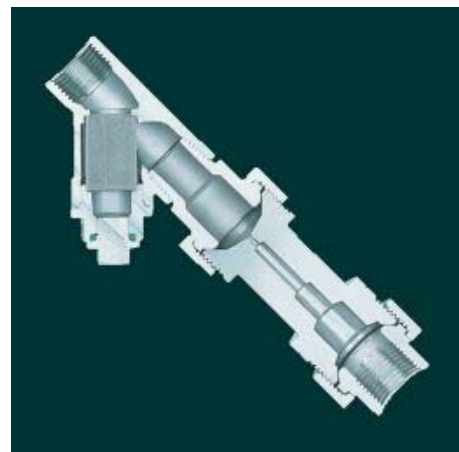
Mimo, że odwadniacze dzwonowe (rysunek 8) należą do grupy odwadniaczy pływakowych, to jakością regulacji (między innymi ze względu na cykliczność pracy) nie dorównują odwadniaczom pływakowym z pływakiem kulowym zamkniętym. Ze względu na charakter pracy i właściwości regulacyjne można odwadniacze te porównać z odwadniaczami termostatycznymi z membraną regulacyjną lub termodynamicznymi. Jednakże w stosunku do odwadniaczy termostatycznych charakteryzuje je znacznie większy szereg ograniczeń ruchowych i eksploatacyjnych oraz fakt konieczności pracy z tzw. parą sterującą. Jednostkowa strata pary świeżej (związana z zapewnieniem właściwości odpowietrzających odwadniacza) w procesie regulacji nie jest duża, ale pomnożona przez lata eksploatacji stanowi znaczącą stratę ekonomiczną.

#### **5.1.6 Odwadniacz z dyszą o stałym przekroju (dysza odwadniająca)**

Odwadniacze te budowane są w formie prostych otworów dyszowych w przegrodzie lub bardziej skomplikowanych układów komór dyszowych o stałym przekroju (rysunek 9). Muszą one być zaprojektowane dla bardzo dokładnie określonego zakresu wydajności i ciśnień różnicowych, jakiegokolwiek odstępstwa ruchowe od zakresu projektowego powodują utratę przez odwadniacz dyszowy właściwości regulacyjnych. Dodatkowo wymagają stałych i stabilnych warunków roboczych. Nie spełniają podstawowego kryterium stawianego odwadniaczom – paroszczelnego zamknięcia.



**Rysunek 8. Odwadniacz dzwonowy**



**Rysunek 9. Odwadniacz [GEM] z dyszą o stałym przekroju**

### **5.1.7 Inne odwadniacze specjalnego przeznaczenia**

Odwadniacze specjalnego przeznaczenia to odwadniacze specjalnie projektowane dla jednego lub wielu specyficznych przypadków zastosowań. Mogą to być na przykład odwadniacze przeznaczone dla: zapewnienia spiętrzenia kondensatu w odbiorniku w celu wykorzystania ciepła zawartego w kondensacie, odwadniania wysokoprężnej części korpusu turbiny parowej, odprowadzania ekstremalnie dużych ilości kondensatu, ręcznej regulacji odwodnienia zależnej od wymagań użytkownika lub innych specjalnych potrzeb. Zazwyczaj własności regulacyjne takich odwadniaczy dostosowane są (w oparciu o badania konstrukcyjne i doświadczenia eksploatacyjne z systemami, w których pracują) do potrzeb konkretnego zastosowania.

## **5.2 Cena i okres użytkowania odwadniaczy**

Dobierając odwadniacz pod kątem cech ruchowych należy również rozpatrzyć: koszty zakupu, okres użytkowania oraz nakłady na konserwację i naprawy.

### **5.2.1 Cena**

Cena odwadniacza jest elementem bardzo ważnym w procesie doboru odwadniacza. Konieczne jest znalezienie właściwej równowagi między ceną, a innymi koniecznymi cechami odwadniacza. Cena jest oczywiście czymś bardzo indywidualnym dla każdego z producentów odwadniaczy. Można się spodziewać, iż modele odwadniaczy standardowych dla danego producenta będą bardziej atrakcyjne cenowo niż wykonania specjalne.

Zazwyczaj koszty zakupu odwadniacza pływakowego z pływakiem kulowym są wyższe niż odwadniaczy termostatycznych, to z reguły ogranicza ich zastosowanie do procesów wymagających najwyższych własności regulacyjnych, takich jak np. regulowane procesy grzewcze, odprowadzanie dużych ilości kondensatu przy małych różnicach ciśnień itp.

Wbrew pozorom najprostszy konstrukcyjnie odwadniacz z dyszą o stałym przekroju nie jest najtańszym odwadniaczem (często jego cena jest porównywalna z ceną odwadniaczy pływakowych).

Do najtańszych odwadniaczy zalicza się odwadniacze termodynamiczne oraz jednorazowe (nienaprawialne) warianty odwadniaczy termostatycznych i dzwonowych.

### 5.2.2 Okres użytkowania

Okres użytkowania odwadniacza zależy jest od typu odwadniacza, jego zastosowania oraz warunków pracy.

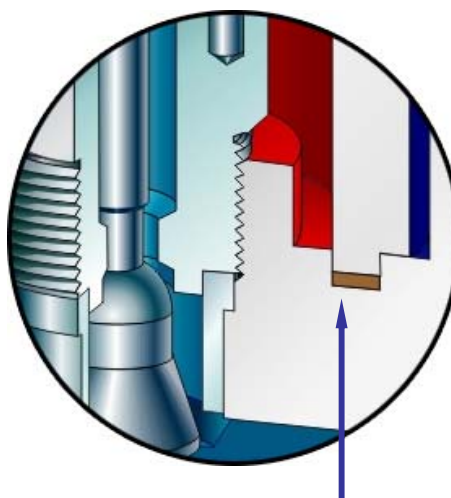
W przypadku niewielkich przepływów kondensatu podstawowym parametrem określającym okres użytkowania odwadniacza jest jego paroszczelność. Ilość pary świeżej tracona na odwadniaczu rośnie stopniowo na przestrzeni lat jego użytkowania (np. na skutek odkładania się zanieczyszczeń na powierzchniach uszczelniających odwadniacza). Doświadczalnie wyznaczono wielkość progową takiej straty na ok. 2 kg/h (przebicia pary świeżej). Stratę przebicia pary powyżej tej wielkości uznaje się za niedopuszczalną, rachunek ekonomiczny dowodzi, że odwadniacz pracujący z taką stratą przebicia pary należy wymienić na nowy (lub przeprowadzić wymianę regulatora), a koszty związane z taką operacją zwrócą się (oszczędności związane z ciepłem traconym w parze) w ciągu mniej niż 1 roku. Typ zastosowanego odwadniacza ma istotne znaczenie dla czasu uzyskania straty przekraczającej wartość progową. Dodatkowo strata związana z tzw. parą sterującą, charakterystyczna dla odwadniaczy termodynamicznych i dzwonowych, ma znaczący wpływ na łączną kalkulację strat związanych z przebiciem pary świeżej i ostateczny okres użytkowania odwadniacza.

Dla dużych i bardzo dużych przepływów kondensatu na ocenę poprawności pracy samego odwadniacza ma przede wszystkim wpływ jego zdolność do odprowadzania odpowiednich ilości kondensatu. Przy dużych przepływach kondensatu para pojawia się przed dyszą odwadniacza bardzo rzadko (głównie w stanach nieustalonych pracy odbiornika ciepła) i ewentualne niewielkie przebicie pary nie ma w ogólnym bilansie istotnego wpływu na rachunek ekonomiczny pracującego systemu. Tu okres użytkowania związany jest głównie z czasem poprawnej pracy regulatora, a mniej z ewentualnym nieznacznym zanieczyszczeniem jego powierzchni uszczelniających.

O ile w przypadku dużych przepływów kondensatu uznamy, że odwadniacz należy wymienić wówczas, gdy nie jesteśmy w stanie zagwarantować wymaganych parametrów procesu cieplnego, to w przypadku małych przepływów kondensatu (i dużej ilości odwadniaczy) konieczne jest regularne sprawdzanie ich paroszczelności. Paroszczelność takiego odwadniacza można sprawdzić np. za pomocą urządzenia do ultradźwiękowej kontroli pracy odwadniaczy (rysunek 10). Regularne badanie oraz konserwacja i wymiana zużytych odwadniaczy, zagwarantuje ekonomiczne i sprawne prowadzenie ruchu instalacji pary i kondensatu.



**Rysunek 10. VKP 40 urządzenie do ultradźwiękowej kontroli pracy odwadniaczy**



**Rysunek 11. Uszczelka wielokrotnego użytku w GESTRA RhombusLine**

### 5.2.3 Nakłady na konserwację i naprawy

Poszukując najbardziej ekonomicznego rozwiązania konieczna jest również analiza odwadniaczy pod kątem nakładów związanych z konserwacją lub naprawami. Decydując się na najtańsze rozwiązania (np. odwadniacz termodynamiczny lub warianty odwadniaczy jednorazowych) zakładamy, że odwadniacz w przypadku awarii będzie wymieniany (brak możliwości naprawy). Docelowo rozwiązanie takie może okazać się kosztowne.

Pozostałe typy odwadniaczy zapewniają możliwość dokonywania konserwacji lub napraw. Coraz częściej producenci przykładają dużą wagę do prostoty i niskiego kosztu procesów konserwacji i napraw. Takim rozwiązaniem konstrukcyjnym jest GESTRA RhombusLine, w którym ujednoczone zostały części dla różnych typów odwadniaczy, uproszczono czynności związane z konserwacją i naprawami, między innymi przez zastosowanie 2 (zamiast 4) śrub mocujących pokrywę z korpusem, oraz dzięki zastosowaniu uszczelki pokrywa-korpus do wielokrotnego użycia (rysunek 11).

Istotne jest zwrócenie uwagi na: możliwość wymiany regulatora odwadniacza bez demontażu korpusu odwadniacza z rurociągu (skrócenie i uproszczenie czasu naprawy) oraz na koszt regulatora jako części zamiennej. Warto zaznaczyć, iż wymienny regulator to również możliwość zmiany parametrów regulacyjnych odwadniacza (wymiana na regulator charakteryzujący się innymi warunkami technicznymi) ze względu na konieczność dostosowania do specyfiki procesu.

## 6. Dobór odwadniacza pod względem przepustowości

Jeżeli określone zostały własności wytrzymałościowe oraz został wybrany najkorzystniejszy ze względu na cechy ruchowe typ odwadniacza, to następnym krokiem w procesie doboru odwadniaczy jest dobór pod względem wymaganej przepustowości.

Dobór odwadniacza pod względem przepustowości najczęściej związany jest z określeniem zakresu wydajności regulatora odwadniacza oraz przyjęciem średnicy nominalnej odwadniacza. Warunki przepływowe (przepustowość) odwadniacza zależą od możliwości wydajności dyszy o zmiennym lub stałym przekroju stanowiącej element regulatora odwadniacza. Często takie same regulatory stosowane są dla kilku różnych średnic nominalnych odwadniacza (rysunek 12) w takim przypadku przepustowość odwadniacza jest taka sama dla odwadniaczy o różnych średnicach nominalnych, w których zastosowano takie same regulatory. Podobnie, w odwadniaczach o tej samej średnicy nominalnej można zainstalować regulatory o różnych parametrach wydajnościowych, co prowadzi do zróżnicowania pod względem maksymalnych przepustowości (rysunek 13).

### 6.1 Określenie wymaganej przepustowości (wydajności)

Wymagania w zakresie natężenia przepływu kondensatu przez odwadniacz są zazwyczaj określone przez producenta odbiornika ciepła, za którym odwadniacz ma być zainstalowany. Jeżeli brak takiej informacji, to (przy założeniu zasilania odbiornika parą nasyconą) możemy oszacować wymagany przepływ w warunkach roboczych opierając się na poniższych wzorach.

#### 6.1.1 Jeżeli znana jest moc cieplna odbiornika

$$m = b \cdot Q \cdot 3600 / r \quad [\text{wzór 1}] \quad \text{gdzie:}$$

m	[kg/h]	masowe natężenie przepływu kondensatu
Q	[kW]	moc cieplna odbiornika ciepła (np. z tabliczki znamionowej)
b	[-]	1,1 – 1,2 współczynnik, który ma za zadanie skompensować straty ciepła
r	[kJ/kg]	ciepło parowania pary grzewczej przy ciśnieniu roboczym (z tablic parowych)



### 6.1.2 Jeżeli znane jest natężenie przepływu i przyrost temperatury czynnika ogrzewanego

$$m = b \cdot M \cdot c \cdot \Delta t / r \quad [\text{wzór 2}] \quad \text{gdzie:}$$

- m [kg/h] masowe natężenie przepływu kondensatu  
M [kg/h] masowe natężenie przepływu czynnika ogrzewanego  
 $\Delta t$  [K] różnica temperatur czynnika ogrzewanego (wylot  $t_2$  minus wlot  $t_1$ )  
c [kJ/kg·K] ciepło właściwe czynnika ogrzewanego (np. woda 4,19) z tablic  
b [-] 1,1 – 1,2 współczynnik, który ma za zadanie skompensować straty ciepła  
r [kJ/kg] ciepło parowania pary grzewczej przy ciśnieniu roboczym (z tablic parowych)

### 6.1.3 Jeżeli znana jest powierzchnia wymiany ciepła oraz temperatury czynnika ogrzewanego

$$m = b \cdot A \cdot k \cdot \{t_s - (t_1 + t_2)/2\} \cdot 3600 / (r \cdot 1000) \quad [\text{wzór 3}] \quad \text{gdzie:}$$

- m [kg/h] masowe natężenie przepływu kondensatu  
A [m<sup>2</sup>] powierzchnia wymiany ciepła  
 $t_1$  [°C] temperatura początkowa czynnika ogrzewanego  
 $t_2$  [°C] temperatura końcowa czynnika ogrzewanego  
 $t_s$  [°C] temperatura nasycenia pary  
b [-] 1,1 – 1,2 współczynnik, który ma za zadanie skompensować straty ciepła  
r [kJ/kg] ciepło parowania pary grzewczej przy ciśnieniu roboczym (z tablic parowych)  
k [W/m<sup>2</sup>·K] współczynnik przenoszenia ciepła, np.:

zaizolowane rurociągi parowe	0,6 do 2,4
rurociągi parowe bez izolacji	8 do 12
grzejniki z cyrkulacją naturalną	5 do 12
grzejniki z cyrkulacją wymuszoną	12 do 46
Płaszczowe kotły warzelne z mieszałem	460 do 1500
j.w. ale z cieczą wrzącą	700 do 1750
kotły warzelne z węzownicą grzejną i mieszałem	700 do 2400
j.w. ale z cieczą wrzącą	1200 do 3500
rurowe wymienniki ciepła	300 do 1200
wyparki	580 do 1700
j.w. ale z silną cyrkulacją wymuszoną	900 do 3000

## 6.2 Ciśnienie różnicowe

W procesie doboru odwadniacza pod względem wydajności korzystamy z przygotowanych dla każdego odwadniacza charakterystyk jego wydajności w funkcji ciśnienia różnicowego. Ciśnienie różnicowe na odwadniaczu definiujemy jako: ciśnienie przed odwadniaczem pomniejszone o ciśnienie za odwadniaczem.

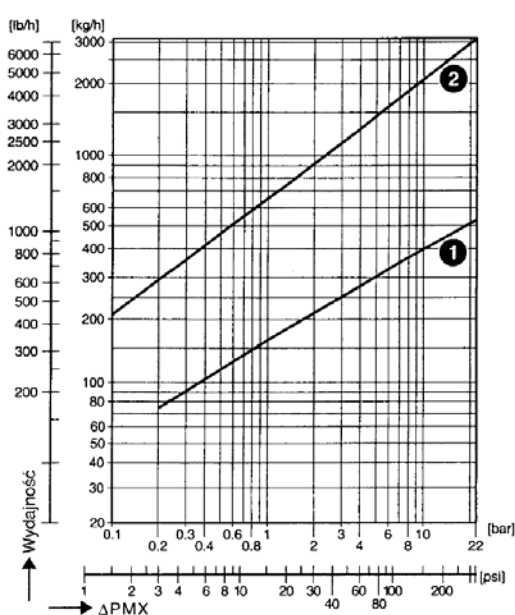
Ciśnienie panujące przed odwadniaczem można określić jako ciśnienie pary na wlocie pomniejszone o opory przepływu przez odbiornik ciepła (w wielu przypadkach opory przepływu przez odbiornik ciepła, ze względu na ich znikomą wartość, można pominąć). Dla odbiorników ciepła regulowanych przez dławienie dopływu pary należy uwzględnić spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym.

Wielkość ciśnienia za odwadniaczem zależy od rozwiązania konstrukcyjnego instalacji kondensatu i można je wyznaczyć przez sumowanie przyrostów ciśnień według poniższego wykazu wersji instalacji:

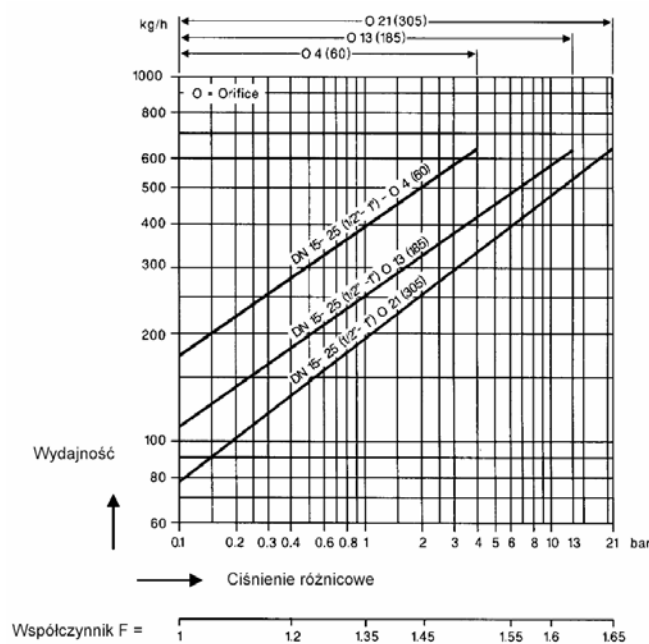
- bliskie 0 barg – odprowadzanie kondensatu do otwartego zbiornika kondensatu, gdy niezbyt długi rurociąg za odwadniaczem prowadzony jest z naturalnym spadkiem,
- przyrost ciśnienia w wysokości 1bar na każde 7m podniesienia kondensatu – rurociąg pionowy przepływ kondensatu z dołu do góry,
- przyrost ciśnienia równy wielkości ciśnienia w rozprężaczu kondensatu – jeżeli kondensat jest odprowadzany do rozprężacza lub innego zbiornika ciśnieniowego,
- przyrost ciśnienia równy wielkości oporów przepływu – dla długich lub niewłaściwie wymiarowanych odcinków rurociągu kondensatu.

### 6.3 Dobór pod względem przepustowości regulatora odwadniacza

Następnym krokiem jest sprawdzenie czy wydajność (przepustowość) regulatora zastosowanego w wybranym przez nas odwadniaczu jest wystarczająca pod względem ruchowym. W tym celu wykorzystujemy wykres wydajności odwadniacza w funkcji ciśnienia różnicowego dla warunków roboczych - kondensat wrzący (krzywa 1 rysunek 12 i krzywe rysunek 13). Wykres taki zawarty jest w karcie katalogowej każdego odwadniacza. Często na wykresie znajduje się również charakterystyka rozruchowa, czyli wydajności dla zimnego kondensatu (krzywa 2 rysunek 12) lub mnożnik, który umożliwia oszacowanie wielkości przepływu zimnego kondensatu (współczynnik F rysunek 13).



**Rysunek 12. Charakterystyki wydajności odwadniacza BK45 DN15-20-25**



**Rysunek 13. Charakterystyki wydajności odwadniacza UNA14/16 DN15-20-25**

Korzystając z wykresu wydajności odwadniacza (rysunki 12 i 13) na osi ciśnienia różnicowego zaznaczamy wielkość wyznaczonego ciśnienia różnicowego, a na osi wydajności nanosimy wymaganą przepustowość odwadniacza. Przez otrzymane punkty prowadzimy proste prostopadłe do osi. Punkt przecięcia tych prostych określa nasz punkt pracy. Jeżeli punkt pracy znajduje się poniżej krzywej wydajności odwadniacza dla gorącego kondensatu, to możemy być pewni, że tak dobrany odwadniacz spełnia wymagania pod względem przepustowości. Jeżeli natomiast punkt ten leży powyżej krzywej wydajności, to przepustowość dobrego odwadniacza jest niewystarczająca i należy zastosować inny odwadniacz wybranego typu, ale o wyższej przepustowości.

Cechą charakterystyczną regulatorów odwadniaczy jest również maksymalne ciśnienie różnicowe  $\Delta p_{maks}$ , przy którym odwadniacze mogą pracować. Przekroczenie tego parametru spowoduje awarię lub zablokowanie regulatora odwadniacza.

W przypadku odwadniaczy pływakowych, przy jednej średnicy nominalnej odwadniacza istnieje możliwość zastosowania kilku gniazd o różnych średnicach dysz (różne wydajności), dlatego też konieczne jest dodatkowe określenie tej wielkości i związanego z nią maksymalnego ciśnienia różnicowego (np. krzywa DN 15-25 O13 charakteryzuje wydajność typową dla dyszy o  $\Delta p_{maks.} = 13\text{bar}$  – rysunek 13).

#### **6.4 Wyznaczenie średnicy nominalnej (DN) odwadniacza**

Po procesie doboru odwadniacza pod względem przepustowości uzyskujemy zazwyczaj możliwość zastosowania dwóch lub trzech różnych średnic nominalnych dobranego odwadniacza. W jaki sposób ostatecznie wybrać średnicę nominalną odwadniacza? Najkorzystniej jest dostosować średnicę nominalną odwadniacza do średnicy nominalnej rurociągu dobranego pod kątem przepływu kondensatu przed odwadniaczem [wzór 4]. Jeżeli nie mamy takiej możliwości, a odwadniacz na pewno spełnia warunek przepustowości, to należy dobrać DN odwadniacza najbliższe DN tego rurociągu.

#### **7. Sprawdzenie dobranego odwadniacza pod kątem spełnienia wymagań stawianych przez Dyrektywę 97/23/Unii Europejskiej (tzw. Dyrektywa Ciśnieniowa)**

W związku z akcesem Polski do Unii Europejskiej z dniem 1 maja 2004 zaczęły obowiązywać na terenie Rzeczypospolitej Polski przepisy Dyrektywy 97/23/Unii Europejskiej wprowadzone Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 8 maja 2003 w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych (Dz.U. Nr 99, poz. 912).

Jeżeli w żmudnej procedurze doboru odwadniacza osiągnięty został niniejszy punkt oznacza, to że odwadniacz jest już ostatecznie dobrany, a jedynie musimy sprawdzić czy spełnia on również wymagania wynikające z powyższej dyrektywy lub rozporządzenia.

W przypadku, gdy dobrany został odwadniacz o średnicy nominalnej nie większej niż DN32mm, to nie podlega on wymaganiom zawartym w powyższych przepisach.

Odwadniacze o średnicy większej niż DN32 podlegają przepisom Dyrektywy i w związku z tym muszą być znakowane znakiem CE. Możliwość użycia znaku CE przez producenta określona jest w przepisach Dyrektywy. Producent po spełnieniu tych wymagań (dla odwadniaczy >DN32 najczęściej: pełne zapewnienie jakości – moduł H) wydaje deklarację zgodności produktu z wymaganiami Dyrektywy i znakuje produkt znakiem CE.

Jeżeli zapada decyzja zakupu odwadniacza o średnicy większej niż DN32mm, to konieczne jest sprawdzenie, czy odwadniacz ten jest oznaczony symbolem CE (GESTRA spełniła wymagania związane ze znakowaniem CE odwadniaczy >DN32 już w 2001 roku). {Uwaga dodatkowa dla użytkowników: odwadniacz o średnicy DN>32mm nie podlega przepisom Dyrektywy jeżeli w instalacji  $PS [\text{bar}] \cdot DN[\text{mm}] \leq 1000$ .}

#### **8. Rurociągi kondensatu**

Na zakończenie kilka uwag na temat metodyki wymiarowania rurociągów kondensatu przed i za odwadniaczem.

Dobierając średnicę nominalną rurociągu (praktycznie z dowolnym czynnikiem płynnym) można posłużyć się wzorem:

$$DN = 18,8 \cdot \sqrt{m \cdot v / w} \quad [\text{wzór 4}] \quad \text{gdzie:}$$

DN [mm] średnica nominalna (po zaokrągleniu)  
 m [kg/h] masowe natężenie przepływu kondensatu  
 v [m<sup>3</sup>/kg] objętość właściwa w warunkach roboczych  
 w [m/s] prędkość przepływu czynnika w rurociągu

## 8.1 Rurociąg kondensatu przed odwadniaczem

Rurociąg przed odwadniaczem wymiarujemy przy założeniu przepływu czynnika ciekłego (kondensatu) w warunkach wrzenia. W związku z tym do wzoru 4 wstawiamy objętość właściwą kondensatu w stanie wrzenia v' (z tablic pary i wody) zależnie od ciśnienia roboczego - w uproszczeniu można interpolować wartości z tabeli:

p [bara]	1	2	5	10	13	20	25	40	100
v' [m <sup>3</sup> /kg]	0,00104	0,00106	0,00109	0,00113	0,00114	0,00118	0,00120	0,00125	0,00145

Zalecana prędkość przepływu kondensatu wprowadzana do wzoru 4, w przypadku rurociągu kondensatu przed odwadniaczem, powinna zawierać się w przedziale 0,3 do 0,7 m/s.

W oparciu o te dane i masowe natężenie przepływu kondensatu wyznaczamy ze wzoru 4 średnicę nominalną rurociągu przed odwadniaczem, starając się równocześnie, aby była równa średnicy nominalnej dobranej odwadniacza (punkt 6.4).

## 8.2 Rurociąg kondensatu za odwadniaczem

Dobór rurociągu kondensatu za odwadniaczem musi być rozpatrywany pod kątem powstawania pary wtórnej z rozprężania wysokociśnieniowego kondensatu wrzącego na dyszy odwadniacza. Jeżeli temperatura kondensatu, nawet przy jego pierwotnie niskim ciśnieniu, jest bliska temperaturze wrzenia, to objętość powstającej za dyszą odwadniacza pary z rozprężania wielokrotnie przewyższa objętość kondensatu w stanie ciekłym (np. podczas rozprężania kondensatu wrzącego o ciśnieniu 1,2 bara do 1,0 bara objętość wzrasta 17-krotnie, a podczas rozprężania kondensatu wrzącego o ciśnieniu 11,0bara do 1,0bara objętość wzrasta 274-krotnie).

W tym przypadku należy wymiarować rurociągi kondensatu w oparciu o wyliczenia ilości powstającej pary z rozprężania. Ilość powstającej pary z rozprężania kondensatu można wyznaczyć w oparciu o wzór 5:

$$m_{2pr} = m_1 \cdot (h_1 - h'_2) / r_2 \quad [\text{wzór 5}] \quad \text{gdzie:}$$

m<sub>2pr</sub> [kg/h] masowe natężenie przepływu pary z rozprężania za odwadniaczem  
 m<sub>1</sub> [kg/h] masowe natężenie przepływu kondensatu przed odwadniaczem  
 h<sub>1</sub> [kJ/kg] entalpia kondensatu przed odwadniaczem (z tablic parowych)  
 h'<sub>2</sub> [kJ/kg] entalpia wrzącego kondensatu za odwadniaczem (z tablic parowych)  
 r<sub>2</sub> [kJ/kg] ciepło parowania dla warunków za odwadniaczem (z tablic parowych)

Modyfikując wzór 4 dla przypadku przepływu mieszaniny pary i kondensatu, otrzymamy wzór 6, na podstawie którego możliwe jest wyznaczenie średnicy nominalnej rurociągu za odwadniaczem.

$$DN = 18,8 \cdot \sqrt{\{(m_1 - m_{2pr}) \cdot v'_2 + m_{2pr} \cdot v''_2\} / w} \quad [\text{wzór 6}] \quad \text{gdzie:}$$

- DN [mm] średnica nominalna (po zaokrągleniu)  
 m<sub>1</sub> [kg/h] masowe natężenie przepływu kondensatu przed odwadniaczem  
 m<sub>2pr</sub> [kg/h] masowe natężenie przepływu pary z rozprężania za odwadniaczem  
 v'<sub>2</sub> [m<sup>3</sup>/kg] objętość właściwa wrzącego kondensatu za odwadniaczem (z tablic parowych)  
 v''<sub>2</sub> [m<sup>3</sup>/kg] objętość właściwa pary nasyconej za odwadniaczem (z tablic parowych)  
 w [m/s] prędkość przepływu mieszaniny parowo-wodnej w rurociągu

Zalecana prędkość przepływu mieszaniny pary wtórnej i kondensatu wprowadzana do wzoru 6, w przypadku rurociągu kondensatu za odwadniaczem, powinna zawierać się w przedziale 15 do 25 m/s.

Te dość skomplikowane i wymagające wykorzystania tablic parowych obliczenia, można uprościć stosując prostą (czyli bliższą sercu inżyniera praktyka) formułę mnożenia dwóch współczynników odczytanych z tabeli (rysunek 14).

Stan kondensatu przed rozprężaniem		Ciśnienie na końcu przewodu kondensatu (bar abs.)																					
Ciśnienie, bar abs.	Temperatura wrzenia °C	0,2	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6	7	8	9	10	12	15	18	20
		1,0	99	35,7	16,0	7,4																	
1,2	104	37,9	18,0	10,0	6,1																		
1,5	111	40,1	20,6	12,9	9,5	6,8																	
2,0	120	44,2	23,5	15,8	12,6	10,3	7,6																
2,5	127	46,8	25,5	17,7	14,5	12,3	9,2	5,3															
3,0	133	48,8	27,1	19,2	16,0	13,9	10,7	7,3	4,5														
3,5	138	50,4	28,4	20,4	17,1	15,0	11,9	8,5	6,0	3,8													
4,0	143	52,0	29,6	21,5	18,2	16,0	12,9	9,7	7,3	5,3	3,5												
4,5	147	53,3	30,5	22,3	19,0	16,9	13,7	10,5	8,1	6,3	4,7	3,0											
5	151	54,3	31,5	23,1	19,8	17,7	14,4	11,2	8,9	7,1	5,6	4,2	2,8										
6	155	55,7	32,3	23,9	20,5	18,4	15,2	11,9	9,6	7,9	6,5	5,1	4,0	2,7									
7	158	56,5	33,0	24,5	21,1	18,9	15,7	12,4	10,1	8,4	7,0	5,7	4,6	3,5	2,1								
8	170	59,9	35,5	26,7	23,1	20,9	17,6	14,2	11,9	10,2	8,9	7,7	6,7	5,8	4,8	4,0							
9	175	61,3	36,4	27,5	23,9	21,7	18,3	14,9	12,6	10,9	9,5	8,4	7,4	6,6	5,5	4,8	2,4						
10	179	62,3	37,2	28,2	24,6	22,7	18,9	15,5	13,1	11,4	10,0	8,9	7,9	7,1	6,0	5,3	3,3	2,1					
12	187	64,4	38,7	29,5	25,7	23,5	19,9	16,5	14,1	12,3	11,0	9,8	8,9	8,0	7,0	6,2	4,5	3,6	2,8				
15	197	66,9	40,5	31,0	27,2	24,8	21,5	17,7	15,2	13,4	12,0	10,8	9,9	9,1	8,0	7,2	5,6	4,8	4,2	2,9			
18	206	69,0	42,0	32,3	28,4	26,0	22,3	18,7	16,2	14,3	12,9	11,7	10,8	9,9	8,8	8,0	6,5	5,7	5,1	3,9	2,5		
20	211	70,2	42,9	33,0	29,0	26,6	22,9	19,2	16,7	14,8	13,4	12,2	11,2	10,4	9,2	8,4	7,0	6,2	5,6	4,4	3,1	1,7	
25	223	72,9	44,8	34,7	30,6	28,1	24,2	20,4	17,9	15,9	14,5	13,2	12,2	11,4	10,2	9,3	7,9	7,1	6,5	5,4	4,2	3,1	2,5
30	233	75,1	46,3	36,0	31,8	29,2	25,3	21,4	18,8	16,8	15,3	14,0	13,0	12,1	10,9	10,0	8,6	7,8	7,2	6,1	4,9	4,0	3,4
35	241	76,8	47,5	37,0	32,7	30,1	26,1	22,1	19,5	17,5	15,9	14,6	13,6	12,7	11,4	10,5	9,2	8,4	7,8	6,7	5,5	4,5	4,0
40	249	78,5	48,7	38,0	33,6	31,0	26,9	22,9	20,1	18,1	16,5	15,2	14,1	13,2	12,0	11,0	9,7	8,6	8,2	7,1	6,0	5,0	4,5
45	256	80,0	49,7	38,8	34,4	31,7	27,5	23,5	20,7	18,6	17,0	15,7	14,6	13,7	12,4	11,4	10,1	9,3	8,6	7,5	6,3	5,4	4,9
50	263	81,4	50,7	39,6	35,2	32,5	28,2	24,1	21,2	19,1	17,5	16,2	15,1	14,2	12,8	11,8	10,5	9,6	9,0	7,9	6,7	5,7	5,2

Dla określenia rzeczywistej średnicy (mm) należy podane wyżej wartości pomnożyć przez następujące współczynniki:

kg/h	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000	5000	8000	10000	15000	2000
współczynnik	1,0	1,4	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,9	4,5	5,5	7,1	8,9	10,0	12,2	14,1

**Rysunek 14. Określenie średnicy nominalnej rurociągu kondensatu za odwadniaczem [GESTRA]**

## 9. Podsumowanie

Szalenie trudno jest na kilkunastu stronach omówić zagadnienie: **ODWADNIACZ W SYSTEMIE PAROWYM**. Niektóre poruszane problemy wydają się tak oczywiste, że można się zastanawiać, po co je omawiać, ale praktyka pokazuje, że największe problemy pojawiają się bardzo często przy tych pozornie najprostszycy zagadnieniach. Często ich zrozumienie otwiera prawdziwe horyzonty możliwości.

Zachowanie przekazanej powyżej chronologii doboru odwadniacza oraz zasad wymiarowania rurociągów kondensatu, będzie zapobiegało błędom w doborze odwadniacza, a także wielu nieprawidłowościom w pracy systemu pary i kondensatu. Tematyka odwadniacza w systemie pary i kondensatu nie została wyczerpana w tym artykule i będzie kontynuowana.

Treść artykułu dowodzi, że: „Odwadniacz uniwersalny – NIE ISTNIEJE”. Nie ma odwadniacza - złotego środka, który bez analizy instalacji pary i kondensatu, jak czarodziejska różdżka, może rozwiązać wszelkie problemy w niej występujące. Nie dajmy się zwodzić producentom jednego typu odwadniacza, że to ich produkt jest panaceum na wszelkie problemy w instalacji pary i kondensatu. Warto zaufać wieloletnim doświadczeniom w zastosowaniach i eksploatacji odwadniaczy w systemach pary i kondensatu.

---

*Krzysztof Szalucki*

tel. kom: 0-602614535      *mailto: info@szalucki.pl*  
*www.szalucki.pl*