

Odgazowywanie układów grzewczych i chłodniczych

Teoria i praktyka



Drodzy klienci,

Kto nie zna tak zwanych „problemów z powietrzem” – zimne grzejniki, zakłócenia cyrkulacji, hałasy związane z przepływem, osadzanie się zanieczyszczeń, korozja... – i żadnego pomysłu na ich rozwiązanie.

Dlatego też od 1995 we współpracy naukowej z Politechniką w Dreźnie - Instytutem Techniki Energetycznej zajmujemy się tematem „Odgazowywania systemów hydraulicznych”.

Już w roku 1997 miało miejsce opublikowanie pierwszego raportu „Gaz w instalacjach c.o., Część 1” /1/, w którym w głównych zarysach opisany został od strony teoretycznej problem „Powietrza w instalacjach c.o.”.



W opracowaniu „Systemy odgazowywania układów grzewczych i chłodniczych” zostały zebrane praktyczne doświadczenia z prawie 300 pomiarów zawartości powietrza. Pomiarzy zostały przeprowadzone przez Politechnikę w Dreźnie w przeróżnych układach grzewczych, chłodniczych i ciepłowniczych.

**Wynik:
w ponad 50% przebadanych
instalacji występują
problemy
z powietrzem.**

Chcielibyśmy wyjaśnić Państwu przyczyny tego zjawiska i wskazać możliwości rozwiązania problemu na dwóch konkretnych przykładach.

Nasza publikacja opiera się m.in. na raporcie końcowym z badań Biura Korporacji Badawczej (AiF) „Powietrze w małych i średnich sieciach c.o.” /2/. Prosimy o wyrozumiałość, jeśli jakiś fragment wyda się Państwu potraktowany zbyt naukowo lub zbyt obszernie. Wybranie z całego mnóstwa informacji tych najważniejszych nie było bowiem łatwym zadaniem.

Chętnie udzielimy Państwu dodatkowych wyjaśnień i informacji. Państwa praktyczne doświadczenia i opinie, dotyczące tego tematu również nas zainteresują.

Dział marketingu Reflex

1. Gaz to nie to samo, co powietrze – o złożoności problemu	4 - 5
2. Jak gaz dostaje się do zamkniętych instalacji	
■ gazy rozpuszczają się w wodzie napełniającej i uzupełniającej	6
■ w procesie napełniania całkowitego lub częściowego dokonywanego po naprawie powietrze zostaje zamknięte	6
■ powietrze może dyfundować przez elementy instalacji	6 - 7
■ gazy mogą powstawać poprzez reakcje chemiczne i na skutek korozji	7 - 8
■ w wyniku nieprawidłowej stabilizacji ciśnienia powietrze może wnikać do instalacji	8 - 10
■ problem gazów w instalacji zaostrzył się wraz z rozwojem techniki instalacyjnej	11
3. Możliwości techniczne odgazowywania fizycznego	12
■ odgazowywanie w przypadku ciśnienia instalacji	12 - 13
■ odgazowywanie w przypadku ciśnienia atmosferycznego	13
■ odgazowywanie w próżni	14
■ porównanie różnych układów odgazowywania	15
■ efekty odgazowywania na papierze – błędna interpretacja Prawa Henry' ego	15 - 16
4. Rozwiązanie problemu na dwóch przykładach	17
5. Układy stabilizacji ciśnienia i odgazowywania marki Reflex	18
6. Przegląd rozdziałów	19

Bibliografia:

- /1/ Gazy w instalacjach c.o. Część 1, lipiec 1997
- /2/ Politechnika w Dreźnie, Instytut Techniki Energetycznej: „Gazy w małych i średnich instalacjach c.o.”, Raport Końcowy do tematu badawczego AiF nr 11103 B, listopad 1998
- /3/ Związek Inżynierów Niemieckich (VDI) 2035 Ark. 2, „Unikanie szkód w instalacjach c.o., korozja po stronie wodnej”, Beuth Verlag GmbH, wrzesień 1998
- /4/ DIN 4726: rurociągi z tworzywa sztucznego do instalacji ogrzewania podłogowego, Ogólne wymogi
- /5/ Ruehling, Preusser: Gazy w układach c.o., niepublikowany raport badawczy, Politechnika w Dreźnie, Instytut Techniki Energetycznej, katedra: Gospodarka Energetyczna, 25.07.1996
- /6/ DIN 4807 część 2: Naczynia zbiorcze, otwarte i zamknięte naczynia zbiorcze w instalacjach techniki ciepłej. Wykonanie, wymogi i kontrola., maj 1999
- /7/ Seminarium AGFW „Technologia wodna w ciepłownictwie”, wrzesień 1998, Rostock/Warnemuende
Dr Kruse: Korozja i ochrona antykorozyjna
- /8/ Seminarium AGFW „Technologia wodna w ciepłownictwie”, wrzesień 1998, Rostock/Warnemuende
Hopp: Sieci ciepłownicze z wodą o różnej jakości

1. Gaz to nie to samo, co powietrze – o złożoności problemu

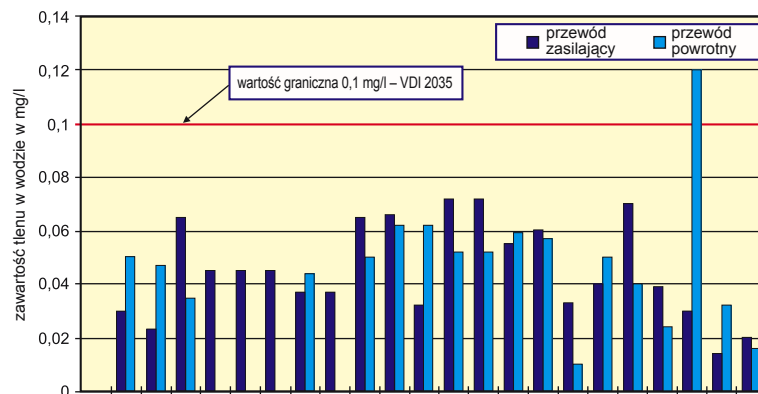
Dyskusja nad tym problemem jest w praktyce często mocno uproszczona i skrócona. Mówi się w uproszczeniu o problemach z „powietrzem” i nierzadko zupełnie niedopuszczalnie zrównuje powietrze z tlenem. W ten sposób problemy z powietrzem są sprowadzane do rangi „problemów z tlenem”, a każdy „problem z powietrzem” podnoszony do problemu korozji. Niestety, nie jest to takie proste!

Problem z gazem przybiera w zasadzie dwie formy:

Niektóre gazy, w postaci swobodnej lub rozpuszczonej, mogą powodować korozję różnych materiałów.

Najbardziej znanym przedstawicielem tychże jest tlen, który w dużym stopniu jest odpowiedzialny za korozję na stopach żelaza. Ilustracja 1 pokazuje wartości pomiarowe w instalacjach z dużą zawartością stali. Fakt, że prawie wszystkie wartości (również dotyczące instalacji otwartych!) leżą poniżej wartości krytycznej - sformułowanej zgodnie z regułą Związku Inżynierów Niemieckich (VDI) 2035 Ark. 2 /3/ - w wysokości 0,1 mg/l (mniej niż 1% naturalnej koncentracji w wodzie pitnej) pokazuje, że tlen jest bardzo aktywny chemicznie. Prawie całkowicie jest on zużywany w układzie przez korozję. Najważniejszym zadaniem zatem jest uniemożliwienie dostępu tlenu do instalacji i w konsekwencji budowanie wyłącznie instalacji bez bezpośredniego dostępu powietrza atmosferycznego.

- ▶ należy budować wyłącznie instalacje zamknięte



Ilustracja 1: Pomiar zawartości tlenu w wodzie cyrkulacyjnej w różnych układach instalacyjnych

- ▶ wartości pomiarowe tlenu - najczęściej poniżej 0,1 mg/l, naturalna zawartość w wodzie pitnej = 11 mg/l

4

Gazy mogą gromadzić się ponad granicę rozpuszczalności i następnie uwalniać się w formie swobodnych pęcherzy.

Najbardziej znanym przedstawicielem jest azot, główny składnik powietrza. Azot jest gazem obojętnym i nie jest zużywany w reakcjach chemicznych,

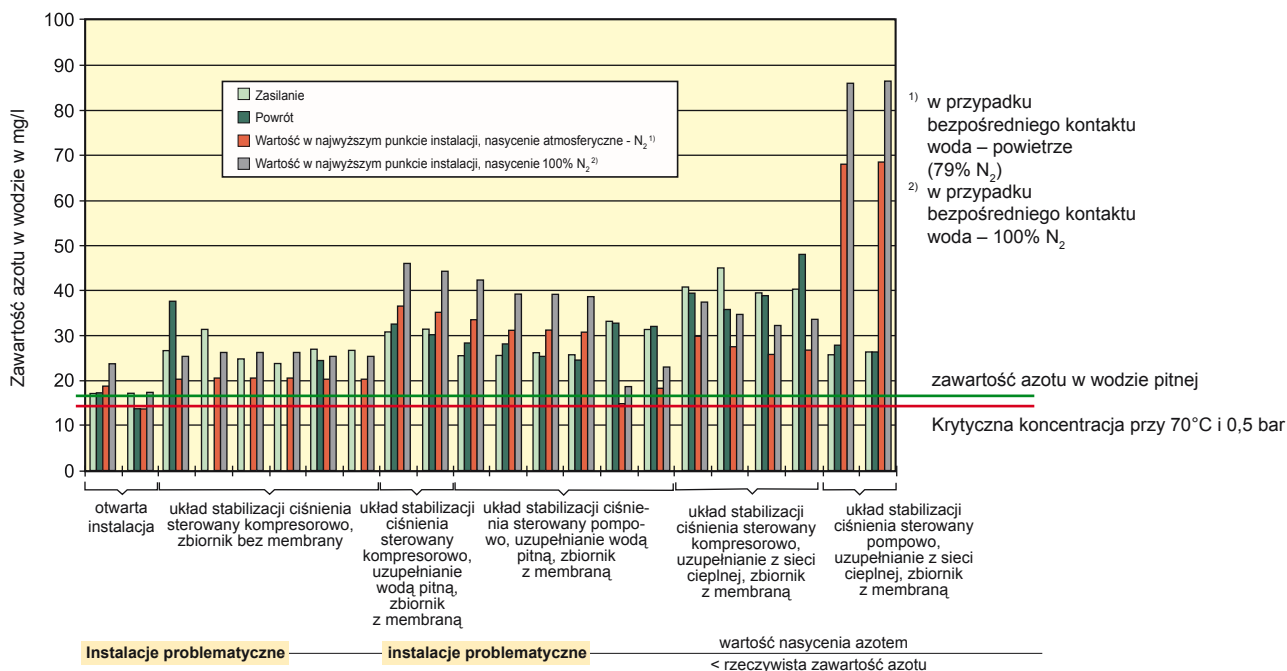
- ▶ azot stanowi główną przyczynę zakłóceń cyrkulacji i erozji



Ilustracja 2: przesycona azotem woda grzewcza po pobraniu próbki

tak jak powietrze. Dlatego może gromadzić się w wodzie instalacyjnej (Ilustracja 3). Zmierzone wartości wynosiły do 50mg/l, co stanowi 280% naturalnej koncentracji w wodzie pitnej (18mg/l). W tej koncentracji azot nie może się już całkowicie rozpuścić w wodzie i występuje w postaci swobodnych pęcherzyków (Ilustracja 2). Pęcherze zbierają się w miejscach stosunkowo spokojnych i prowadzą do zakłóceń oraz przerw w cyrkulacji. Swobodne pęcherze w przepływie mogą wzmacniać erozję i niszczyć warstwy ochronne hamujące korozję, jak również przyspieszać zużycie pomp i zaworów.

Rozpuszczalność gazów w wodzie opisuje Prawo Henry'ego (Ilustracja 4).



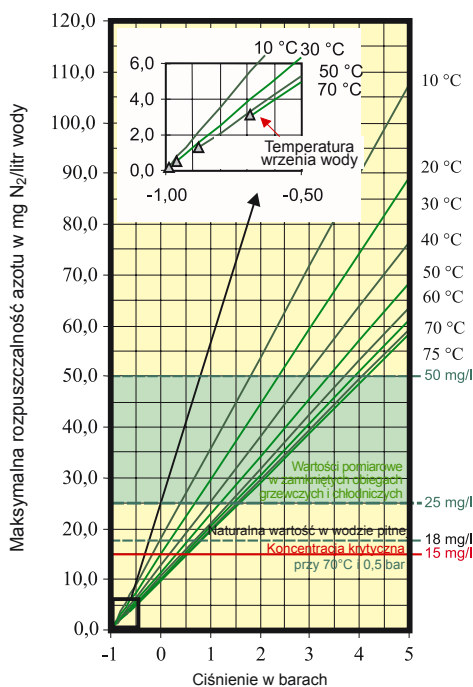
Instalacje problematyczne — instalacje problematyczne — wartość nasylenia azotem < rzeczywista zawartość azotu

Ilustracja 3: Pomiary zawartości azotu w wodzie cyrkulacyjnej przy zastosowaniu różnych układów stabilizacji ciśnienia z teoretycznymi wartościami nasylenia N₂ w najwyższym punkcie instalacji (HP) przy rzeczywiście występujących wartościach ciśnienia i temperatury.

Rozpuszczalność gazów spada wraz ze wzrostem temperatury i spadkiem ciśnienia. To tłumaczy np. dlaczego zakłócenia cyrkulacji występują przede wszystkim w grzejnikach na wyższych piętrach. Jeśli za podstawę do stabilizacji ciśnienia weźmie się, w stosunku do najwyższego punktu instalacji, minimalne nadciśnienie 0,5 bar, to przy temperaturze na zasileniu 70°C rozpuszczalność wynosi 15 mg/l azotu. Na ilustracji 3 widać wyraźnie, że we wszystkich przebadanych instalacjach rzeczywista wartość nasylenia (czerwony słupek) wynosi znacznie ponad 15 mg/l. Można zatem przyjąć że koncentracja azotu ≤ 15 mg/l w zasadzie nie jest problematyczna. Taka wartość koncentracji osiągana jest już przy pomocy atmosferycznych urządzeń odgazowujących – zob. str. 15.

Obok azotu stwierdzono również w niektórych instalacjach obecność wodoru i metanu w formie swobodnych pęcherzy. Również dla tych gazów istnieją diagramy Henry'ego.

Ilustracja 4: maksymalna rozpuszczalność azotu z suchego powietrza według Prawa Henry'ego



► rozpuszczalność gazów w cieczach opisuje Prawo Henry'ego

Podsumowanie rozdziału 1

Tlen jest gazem wysoce reaktywnym i jest główną przyczyną korozji w układzie. Występuje (prawie) wyłącznie w postaci rozpuszczonej. Koncentracja tlenu > 0,1 mg/l wskazuje na wzmożone ryzyko występowania uszkodzeń korozyjnych /3/.

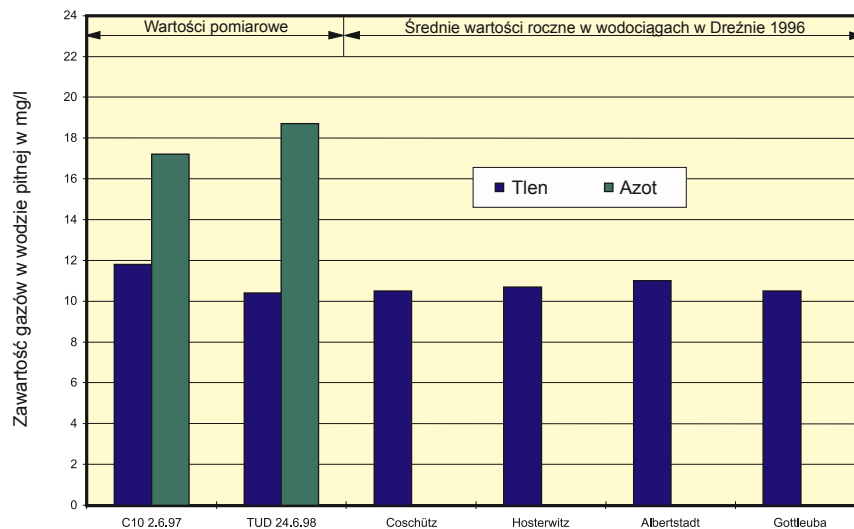
Azot jako gaz obojętny jest najczęściej odpowiedzialny za tworzenie się przepływów dwufazowych gaz/woda. Azot stale gromadzi się w układzie i prowadzi np. do znanych zakłóceń w przepływie. Zawartość azotu ≤ 15 mg/l nie stanowi co do zasady problemu i jest osiągalna już przy użyciu odgazowywania atmosferycznego.

2. Jak gaz dostaje się do zamkniętych instalacji

Gazy rozpuszczają się w wodzie napełniającej i uzupełniającej

Często do procesów napełniania i uzupełniania używa się wody pitnej. Ta z reguły jest „nasycona powietrzem”. Według Prawa Henry’ego zawartość tlenu w wodzie wynosi teoretycznie ok. 11 mg/l, a azotu ok. 18 mg/l. Ponadto, rozpuszczają się niewielkie ilości dwutlenku węgla. Ilustracja 5 pokazuje zgodność tej tezy z wartościami pomiarowymi z Drezna. Oczywiście, będą występowały lokalne odchylenia. Najzupełniej zrozumiałe jest, że najważniejszą kwestią jest tu szczelność instalacji, ponieważ z każdym litrem wody uzupełnianej dostaje się do układu również 29 mg „powietrza” (azotu i tlenu).

- ▶ w wodzie pitnej rozpuszczonych jest ok. 11 mg/l tlenu i 18 mg/l azotu.



Ilustracja 5: Ilość gazów w wodzie pitnej

W procesie napełniania całkowitego lub częściowego dokonywanego po naprawie powietrze zostaje zamknięte.

- ▶ dokonując uruchomienia lub napraw należy dokonać dokładnego odpowietrzenia!
- ▶ W czasie montażu należy uważać na nachylenie przewodów rurowych do odpowietrzenia!

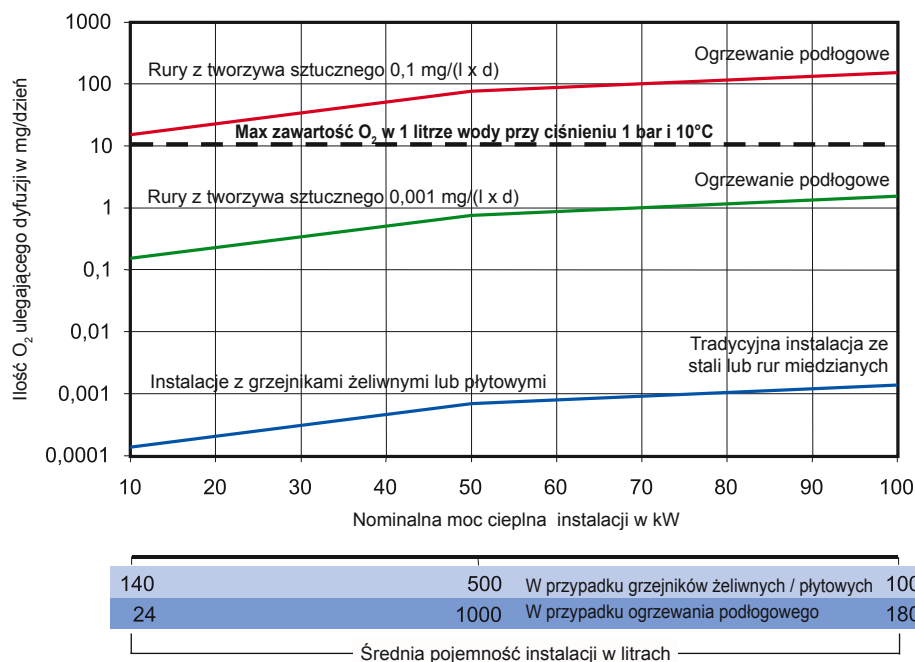
Jeśli części instalacji nie są dobrze odpowietrzone, pozostające powietrze przy podwyższonym ciśnieniu w instalacji może rozpuścić się w wodzie obiegowej. Próby wykazały, że ilość gazu po zakończeniu procesu napełniania uległa niemal podwojeniu! Obserwacje pokazują, że zakłócenia pracy spowodowane występowaniem gazów występowały w nasileniu po naprawach, szczególnie wtedy, gdy uzupełnianie następowało wolną od gazów wodą z sieci ciepłowniczej! Nie ma w tym wypadku znaczenia odległość miejsca naprawy od miejsca powstawania swobodnych gazów (najczęściej najwyższe punkty instalacji), bo rozpuszczone gazy są transportowane wraz z wodą obiegową. Ta okoliczność utrudnia niekiedy badanie przyczyn pojawienia się gazów.

Powietrze może dyfundować przez części konstrukcyjne instalacji

- ▶ w „nowoczesnych” instalacjach domowych więcej gazów ulega dyfuzji

Różnicę koncentracji między gazem w powietrzu (ok. 78% N₂, 21% O₂) i w wodzie stanowi siła napędowa procesu dyfuzji w instalacji. Ponieważ koncentracja tlenu w wodzie grzewczej w czasie pracy wynosi prawie zero (Ilustracja 1), wzrasta potencjał dyfuzji pomiędzy atmosferą, a wodą w instalacji. Podczas gdy przepuszczalność substancji metalicznych, jak stali i miedzi można technicznie pominąć, to w przypadku materiałów niemetalicznych, takich jak tworzywa sztuczne, guma, czy materiały uszczelniające może być ona naprawdę istotna. I tak np. w normie DIN 4726 /4/ górna granica dla bariery przeciwdyfuzyjnej została ustalona w wysokości 0,1 mg O₂ na litr wody w instalacji i dzień.

Ilustracja 6 przedstawia oszacowaną ilość O_2 ulegającą dyfuzji w różnych instalacjach grzewczych. W przypadku ogrzewania podłogowego z tworzywa sztucznego ilość dyfundującego azotu jest wyższa o potęgę 3 do 5 stopnia liczby 10 niż w przypadku klasycznej instalacji z rur miedzianych lub stalowych. Właśnie przy ogrzewaniu podłogowym w instalacjach mieszanych z rurami stalowymi może to prowadzić do uszkodzeń korozyjnych.



Ilustracja 6: Oszacowanie ilości gazów ulegających dyfuzji w zależności od mocy termicznej instalacji.

Gazy mogą powstawać w wyniku reakcji chemicznej i na skutek korozji.

Powstawanie gazów jest zależne od szeregu czynników dodatkowych takich, jak połączenia materiałów, jakość wody, dodatki chemiczne, substancje zawarte w wodzie, ciśnienie, czy temperatura. Przy próbach pola obok wspomnianego azotu (z powietrza) w niektórych instalacjach stwierdzono również obecność wodoru i metanu. Nie wszystkie mechanizmy powstawania gazów na skutek reakcji chemicznych zostały wyjaśnione, niektóre opierają się tylko na przypuszczeniach. Również tu istnieje potrzeba podjęcia odpowiednich działań.

Wodór H_2 może tworzyć się w instalacjach stalowych i może gromadzić się aż do przesylenia. Przy dozowaniu siarczku sodowego Na_2SO_3 może w wyniku tego powstawać siarkowodór H_2S /7/. Również przez tzw. bakterie redukujące siarczan może powstawać siarkowodór /8/. Powstały H_2S w instalacjach z materiałów miedzianych (np. wiązka rur wymiennika ciepła, lutowane miedzią płytowe wymienniki ciepła) przez reakcję z tlenkiem miedzi Cu_2O może przemienić się w siarczan miedzi Cu_2S . W przeciwieństwie do Cu_2O , Cu_2S nie tworzy ochronnej warstwy powierzchniowej. Ślady korozji i uszkodzenia spowodowane korozją pojawiają się jako konsekwencja często dopiero po wielu latach eksploatacji.

Podejrzewa się również powstawanie wodoru w wyniku procesów biologicznych przy rozkładzie tłuszczów, które stosuje się w produkcji określonych systemów rurowych. Wskazana jest uwaga w dozowaniu siarczku sodowego w instalacjach z materiałów miedzianych.

► wskazana jest uwaga w dozowaniu siarczku sodowego w instalacjach z materiałów miedzianych



- ▶ uwaga na instalacje wykonane z użyciem aluminium

korozja + swobodne pęcherze H_2

Decydujące znaczenie może mieć zastosowanie aluminium (np. grzejnika aluminiowego). Już przy produkcji powinna być zapewniona wystarczająca warstwa ochronna, ponieważ naturalne warstwy ochronne są stabilne tylko do wartości pH 8,5, a układy zawierające żelazo powinny być eksploatowane przy wartościach $>8,5$. W instalacji z aluminiowymi grzejnikami zawierającej 3,2 mg/l wodoru stwierdzono wyraźne oznaki korozji. Taka ilość prowadzi już przy temperaturze $30^\circ C$ i ciśnieniu 1 bar do powstawania swobodnych pęcherzy wodorowych.

Powstawanie metanu CH_4 w postaci gazowej przypisuje się z zasady składnikom tworzącym bakterie i gazy pofermentacyjne.

W wyniku nieprawidłowej stabilizacji ciśnienia i konserwacji powietrze może wnikać do instalacji.

Nieodmiennie najczęstszą przyczyną problemów z gazami w instalacji przede wszystkim w małych instalacjach z przeponowymi naczyniami wzbiórczymi jest niewystarczająca stabilizacja ciśnienia. Dlatego należałoby przypomnieć najważniejsze zasady właściwie funkcjonującej stabilizacji ciśnienia.

Stabilizacja ciśnienia musi dawać gwarancję, że w żadnym miejscu w instalacji, czy to w trybie wyłączenia (wyłączone pompy cyrkulacyjne), czy w trybie pracy (cyrkulacja), nie występuje podciśnienie, kawitacja lub nie powstaje para wodna i nie wydzielają się gazy. W szczególności kontrolować należy najwyższe punkty instalacji, pompy i zawory regulujące.

Najczęstsze błędy:

- ▶ **niewłaściwe pierwsze uruchomienie, brak konserwacji**

W szczególności w przypadku przeponowych naczyń wzbiórczych ciśnienie wstępne gazu p_0 i ciśnienie napełniania p_F nie są dopasowane do konkretnych instalacji. W rzadkich przypadkach jest przeprowadzana roczna konserwacja wraz z kontrolą ciśnienia wstępnego wymagana przez normę DIN 4807 cz.2 /6/. Często nawet brakuje niezbędnych do tego celu zaworów odcinających.

Nasze badania wykazały, że:

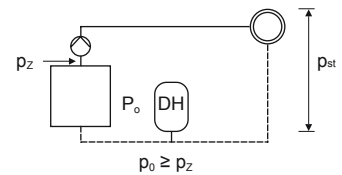
Ciśnienie wstępne p_0 często jest zbyt wysokie, a ciśnienie napełniania p_F (zasób wody) jest często zbyt niskie.

Te doświadczenia uwzględniamy już w obliczeniach w naszym programie doboru przy wymiarowaniu przeponowych naczyń wzbiórczych, w którym brane pod uwagę minimalne ciśnienie napełniania p_F jest 0,3 bar powyżej ciśnienia wstępnego.

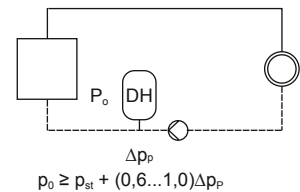


► zbyt niskie ciśnienie instalacji

- W przypadku instalacji grzewczych z małym ciśnieniem statycznym p (niskie budynki, węzły ciepłownicze umieszczone na ostatniej kondygnacji) ciśnienie wstępne p_0 musi być dopasowane do części składowych hydraulicznie mocno obciążonych (pompy, zawory regulacyjne) w celu uniknięcia zasysania i kawitacji.
uwaga: minimalne ciśnienie dopływu p_z dla pomp cyrkulacyjnych wg danych producenta

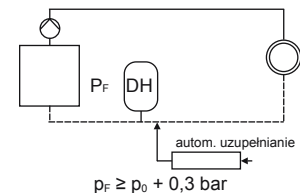


- przy stabilizacji ciśnienia końcowego, w przeciwieństwie do stabilizacji ciśnienia wstępnego (stabilizacji ciśnienia ssania), przy ustalaniu ciśnienia wstępnego p_0 musi zostać uwzględniona część ciśnienia pompy (w zależności od instalacji: 60-100%). W przeciwnym razie istnieje niebezpieczeństwo powstawania podciśnienia, głównie w najwyższych punktach instalacji.



► niewystarczające uzupełnianie wody

Żaden układ stabilizacji ciśnienia nie może pracować bez wody (zasób wody w instalacjach grzewczych $\geq 0,5\%$ pojemności instalacji). Jeśli naturalne straty wody nie będą odpowiednio uzupełniane spowoduje to powstanie podciśnienia i problemy. Przy eksploatacji bez regularnego nadzoru niezbędne jest automatyczne, kontrolowane uzupełnianie wody (zob. rozdział 5). W przypadku naczyń przeponowych ciśnienie napełniania p_F powinno być o 0,3 bar wyższe niż ciśnienie wstępne gazu.



Wraz z pojawieniem się rozporządzenia VDI 2035 Ark. 2 /3/ rozpoczęła się na nowo dyskusja o absorpcji gazów, a w szczególności tlenu, przez instalacje stabilizujące ciśnienie.

Ilustracje 1 i 2 pokazują zawartość tlenu, względnie azotu, zmierzoną w wodzie cyrkulacyjnej w instalacjach wyposażonych w różne układy stabilizacji ciśnienia. Po pierwsze, wyraźnie widać, że zawartość gazu w wodzie cyrkulacyjnej zależy mniej od rodzaju stabilizacji ciśnienia, a bardziej od innych czynników. Przede wszystkim, nie wolno źle zinterpretować zawartości tego gazu! Jak już wspomniane zostało w części 1, tlen jest zużywany bardzo szybko przez korozję. Ponadto, ma miejsce silne rozrzedzenie w wyniku mieszania wody cyrkulacyjnej i rozszerzalnościowej. W wyniku tego tlen, tak dalece jak to możliwe, nie poddaje się rejestracji pomiarowej w wodzie cyrkulacyjnej. Jednak przedrzewiałe rury wzbiornicze widoczne przy zastosowaniu otwartych naczyń wzbiorniczych są świadectwem jego istnienia. Pomiaru tlenu w otwartych naczyniach wzbiorniczych dały wartości od 4 do 6 mg/l /5/.

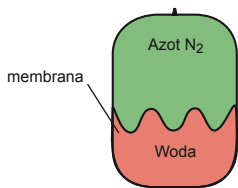
Dlatego rzeczą bezsporną jest fakt, że należy zrezygnować ze stosowania naczyń wzbiorniczych z bezpośrednim dostępem powietrza atmosferycznego, ponieważ przyspieszają proces korozji.

Jako aktualnie stosowane rozwiązanie techniczne stosuje się naczynia wzbiornicze z membraną, która oddziela przestrzeń gazową i wodną. Nie zmienia przy tym nic faktu, że otwarte naczynia wzbiornicze z zewnętrznym źródłem ciśnienia (sterowane pompowo) są oferowane na rynku również jako urządzenia do odgazowywania (zob. Przegląd, str. 10). Mogą one, podobnie jak wcześniej instalacje otwarte z umieszczonym wysoko naczyniem wzbiorniczym, redukować w układzie koncentrację azotu. W ten sposób można oczywiście uniknąć zakłóceń cyrkulacji. Ale przez otwarte naczynia wzbiornicze przenika 4-6 mg/l tlenu /5/! Dlatego należy z nich zrezygnować, jako z przeżytku przynoszącego szkody. Z przykrością trzeba stwierdzić, że na razie nie istnieje unormowana procedura do określania przepuszczalności gazów w membranie w naczyniach wzbiorniczych w warunkach użytkowych, dlatego też nie można stawiać popartych ilościowo tez o przepuszczalności gazów.

► zamknięte naczynia wzbiorcze są aktualnie stosowanym rozwiązaniem technicznym

Należałoby w skrócie przybliżyć najczęściej stosowane typy naczyń wzbiorczych.

Zamknięte ciśnieniowe naczynia wzbiorcze z poduszką powietrzną (statyczna stabilizacja ciśnienia)

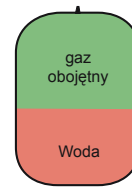


Z membraną (MAG)

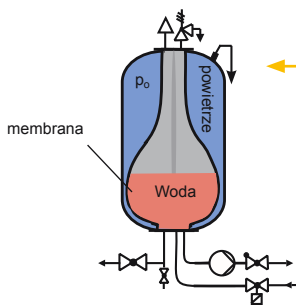
Najczęściej stosowane naczynie wzbiorcze. Membrana między przestrzenią wodną i powietrzną minimalizuje przenikanie gazów. Najpewniejsze rozwiązanie wśród naczyń zamkniętych.

Bez membrany

Wcześniej częste rozwiązanie, obecnie prawie wyłącznie w dużych instalacjach. Jako gazu używana jest „para” lub azot. Wada: azot ulega w wodzie dyfuzji, powodując w ten sposób problemy z gazem i musi być regularnie uzupełniany.



Zamknięte przeponowe naczynia wzbiorcze z zewnętrznym źródłem ciśnienia (dynamiczna stabilizacja ciśnienia) oddzielenie przestrzeni powietrznej i wodnej membraną

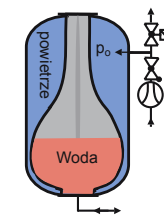


Sterowany pompowo, zbiornik bezciśnieniowy

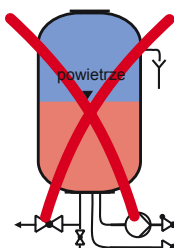
Z powodu małego cząstkowego spadku ciśnienia pomiędzy przestrzenią gazową i wodną w zasadzie nie ma miejsca dyfuzja gazu przez membranę. Bezciśnieniowy zbiornik nadaje się również do odgazowywania.

Sterowany kompresorowo, zbiornik pozostający pod ciśnieniem

Z powodu wysokiego cząstkowego ciśnienia w przestrzeni gazowej Reflex stosuje specjalne, wyjątkowo szczelne membrany dyfuzyjnie membrany butylowe. Mają one znacznie mniejszą przepuszczalność gazów niż najczęściej stosowane membrany EPDM.



Otwarte naczynia wzbiorcze z zewnętrznym źródłem ciśnienia Bezpośrednie połączenie przestrzeni powietrznej i gazowej

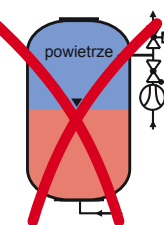


Sterowany pompowo, bezciśnieniowy zbiornik, bezpośredni kontakt woda/powietrze

Paradoksalnie są oferowane jako zbiorniki z funkcją „odgazowywania”, w rzeczywistości jednak napełniają tlenem

Sterowany kompresorowo

Można je znaleźć czasami jeszcze w starych instalacjach, zbiornik ciśnieniowy jest bardziej zagrożony korozją z powodu regularnego napływu tlenu



Problem gazów w instalacji zaostrzył się wraz z rozwojem techniki instalacyjnej.

Podczas gdy wcześniej instalacje grzewcze były budowane z przewodami z rur stalowych, z górnym rozdziałem, z centralnym odpowietrzaniem, przy „umiarkowanej” ilości pomp i armatury, to dziś sytuacja wygląda zupełnie inaczej.

- ▶ dolne i poziome systemy rozdziału powodują istnienie wielu rozproszonych, czasem trudno dostępnych miejsc odpowietrzania
- ▶ poziome ogrzewanie powierzchniowe i powierzchnie chłodzące, jak również rozszerzone poziome systemy rozdzielcze trudno jest odpowietrzyć za pomocą metod tradycyjnych
- ▶ zastosowanie elementów konstrukcyjnych, jak tworzywo sztuczne i guma, jak również zwiększona ilość powierzchni uszczelniających w instalacji umożliwia przenikanie większej ilości „powietrza” do instalacji – str. 6/7
- ▶ instalacje mieszane z różnych materiałów metalicznych powodują w pewnych warunkach tworzenie się gazów – str. 7,8

Obecnie problematyka ta przedstawia się następująco: z jednej strony zawartość gazów w nowych instalacjach jest wyższa, z drugiej strony jednak tradycyjne „systemy odpowietrzania” w wielu rozproszonych miejscach do odpowietrzania są najczęściej przeciążone i nie rozwiązują problemów.

Podsumowanie rozdziału 2

Stabilizacja ciśnienia gra centralną rolę w problematyce gazowej. Układ musi być zamknięty, aby przede wszystkim nie dopuścić do pobierania tlenu, a także musi gwarantować uniknięcie podciśnienia i kawitacji. Wiele przepływowych naczyń wzbiornych, przede wszystkim w małych instalacjach, jest nieprawidłowo nastawionych po stronie gazowej i wodnej, ponadto nie są one konserwowane zgodnie z normą DIN 4807 cz.2 /6/. W dalszym ciągu istnieje potrzeba informowania i podejmowania działań w tym zakresie.

Wnikanie i powstawanie gazów również w przypadku zamkniętych instalacji jest prawie niemożliwe do uniknięcia (napelnianie, uzupełnianie, dyfuzja, reakcje chemiczne).

Gazy muszą być odprowadzane z układów zamkniętych za pomocą odpowiednich urządzeń, najlepiej centralnie, aby zapobiec zakłóceniom cyrkulacji, erozji i korozji. Odgazowanie musi być jak jednokierunkowa uliczka: gaz na zewnątrz, ale powietrze nigdy do środka!

3. Możliwości techniczne odgazowywania fizycznego

Jak różnorodne są możliwości odgazowywania, tak różnorodne są również jego wyniki.

Wymagającą największego nakładu, ale też z pewnością najbardziej skuteczną metodą jest odgazowywanie termiczne z użyciem pary, jak jest to stosowane np. w elektrowniach. Jednakże tutaj ograniczymy się tylko do praktykowanych technicznie metod fizycznych, które możliwe są również w temperaturze $< 100^{\circ}\text{C}$ i w technice budowlanej.

Niestety nie ma unormowanej procedury do oceny układów odgazowywania. Otwiera to drzwi do zalewu nas chwytliwymi reklamowo, ale nieokreślonymi, a tym samym fałszywymi, twierdzeniami.

Można przeczytać o separatorach powietrza, które usuwają całe powietrze z instalacji. Czy pod pojęciem powietrza rozumie się tlen i azot? Czy „całe powietrze” oznacza również rozpuszczone powietrze?

Albo, w ulotce reklamowej jednego z niemieckich producentów urządzeń do stabilizacji ciśnienia z otwartym naczyniem wzbiórczym można przeczytać m.in.:

Cytat: „Nowi konkurenci wskazują na to, że ... tlen z otwartego naczynia wzbiórczego dostaje się do wody w instalacji. Jest to tylko częściowo prawdą, i jest bez znaczenia, ponieważ woda nie będąca pod ciśnieniem może przyjąć tylko niewiele tlenu.”

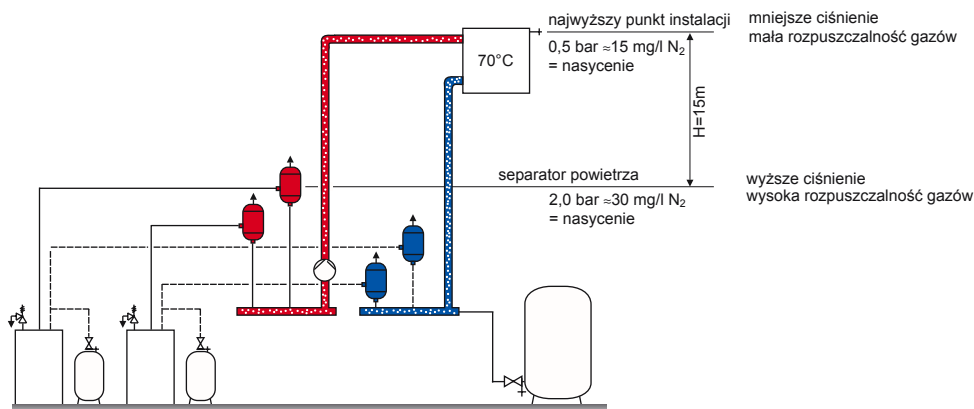
Ostatnie zdanie zawiera trzy błędne stwierdzenia:

1. jest to prawdą, że tlen dostaje się do instalacji
2. ma to znaczenie, ponieważ
3. woda nie będąca pod ciśnieniem może przyjąć bardzo dużo tlenu - przy 10°C ok. 11 mg/l , przy 70°C nadal więcej niż 5 mg/l . Jest to ilość 50-krotnie większa niż zalecenie $0,1\text{ mg/l}$ wg reguły Związku Inżynierów Niemieckich VDI 2035!

Z tego względu niektóre przyjęte praktykowane w technice budowlanej i instalacyjnej procesy fizyczne powinny zostać opisane pod kątem ich skuteczności. Wpływają na nie 3 czynniki:

- temperatura medium
- ciśnienie medium
- zasada działania

Odgazowywanie w przypadku instalacji pod ciśnieniem



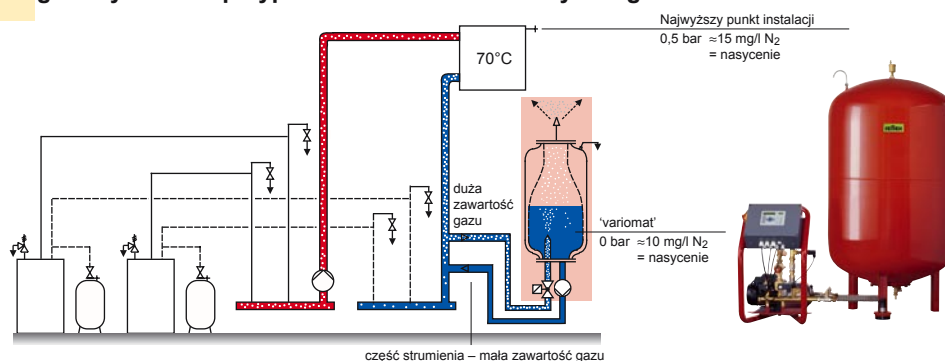
Ilustracja 7: schemat zasady działania układu grzewczego z tradycyjnymi separatorami powietrza i przeponowym naczyniem wzbiórczym

W wielu obiegach grzewczych i chłodniczych do odgazowywania stosowane są po prostu tak zwane mechaniczne separatory powietrza. Mogą one likwidować tylko gazy swobodne, ale już nie rozpuszczone. Mają różne zasady działania. Cechą wspólną wszystkich jest to, że są one pod ciśnieniem instalacji (wysoka rozpuszczalność gazów), a na ich skuteczność w znacznym stopniu wpływa miejsce zamontowania (najwyższy, najniższy punkt instalacji, zasilanie, powrót, odległość od kotła i pompy).

Tylko przy umieszczeniu bezpośrednio w najwyższych punktach instalacji można w sposób pewny uniknąć „problemów z powietrzem”. Ponieważ obecnie instalacje projektowane są z reguły z dolnym rozdziałem, montaż następuje w miejscach niewygodnych, leżących głęboko. Efektywność jest wówczas mocno ograniczona, jeśli w ogóle nie wątpliwa. I tak np. na ilustracji 7 zawartość azotu mogłaby zostać obniżona tylko do ok. 30 mg/l, a 15 mg/l byłoby konieczne, aby w sposób pewny uniknąć wydzielania się gazu w najwyższym punkcie instalacji. Mechaniczne separatory powietrza nie mogą wpływać na zawartość gazów rozpuszczonych, jak również na przebieg procesów korozji.

- ▶ mechaniczne separatory powietrza działają tylko w najwyższych punktach instalacji

Odgazowywanie w przypadku ciśnienia atmosferycznego



Ilustracja 8: Schemat zasady działania układu grzewczego z jednostką wielofunkcyjną 'variomat' do stabilizacji ciśnienia, odgazowywania i uzupełniania, z trybem pracy ciągłej i przerywanej i zamkniętym bezciśnieniowym zbiornikiem przeponowym

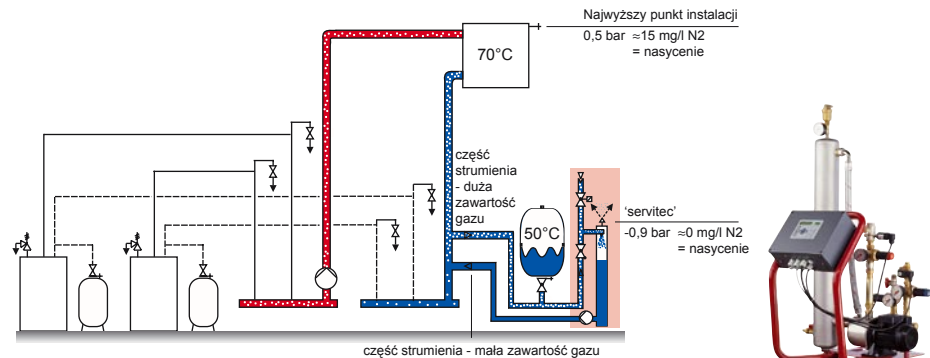
Układy stabilizacji ciśnienia sterowane pompowo gromadzą rozszerzającą się wodę w zbiorniku wzbiórczym bezciśnieniowym. Może on jednocześnie być używany jako centralne urządzenie odgazowujące. Część strumienia wody zawartej w instalacji jest doprowadzona do bezciśnieniowego naczynia wzbiórczego. Przez obniżenie ciśnienia do ciśnienia atmosferycznego może zostać obniżona np. koncentracja azotu w całym układzie teoretycznie do wartości ok. 10 mg/l (Diagram Henry'ego: 0 bar, 50°C). Jest to wartość niższa niż koncentracja krytyczna w najwyższym punkcie instalacji, tak więc nie mogą się już uwalniać żadne swobodne pęcherze – ilustracja 4. Urządzenia do odgazowywania atmosferycznego spełniają wymogi klasycznego centralnego „urządzenia odgazowującego” w dosłownym tego słowa znaczeniu. Dzięki przepływowi wody pozbawionej pęcherzy gazu zmniejszone jest ryzyko erozji i niezakłócone jest tworzenie się warstw ochronnych. Nie ma potrzeby pracochłonnego dodatkowego odpowietrzania w wielu rozproszonych miejscach do odpowietrzania.

Oczywiście, naczynie wzbiórcze musi być wykonane jako zbiornik zamknięty – akapit 2, strona 10

Urządzenia odgazowujące atmosferycznie mogą wpływać na zawartość gazów rozpuszczonych tylko w ograniczony sposób (odpowiednio rozpuszczalność przy ciśnieniu atmosferycznym według Prawa Henry'ego). W ten sposób zawartość tlenu w wodzie uzupełniającej przy zasilaniu w 40°C zbiornika wzbiórczego bezciśnieniowego może zostać zmniejszona z 11 mg/l do ok. 7 mg/l.

- ▶ zbiorniki odgazowujące i wzbiórcze muszą być zamknięte na dostęp powietrza atmosferycznego
- ▶ atmosferyczne urządzenia odgazowujące dobrze spełniają funkcję centralnego odgazowywania

Odgazowywanie w próżni



Ilustracja 9: Schemat zasady działania układu grzewczego z dynamiczną jednostką odgazowującą 'servitec' do odgazowywania wody w instalacji i wody uzupełniającej

Urządzenia odgazowujące próżniowo odgazowują część strumienia wody w instalacji w próżni. Rozpuszczalność gazów w próżni jest faktycznie zerowa. Pomimo tego odgazowywanie w spokojnej i statycznej próżni przebiega powoli (ilustracja 10). Dopiero jego przyspieszenie np. poprzez rozpylanie wody w próżni (ilustracja 11) gwarantuje wysoką wydajność odgazowywania.

14

- ▶ wydajność odgazowywania w spokojnej próżni jest zbyt mała



ilustracja 10: statyczne odgazowywanie próżni w „spokojnej próżni”



ilustracja 11: dynamiczne odgazowywanie na stanowisku testowym 'servitec'

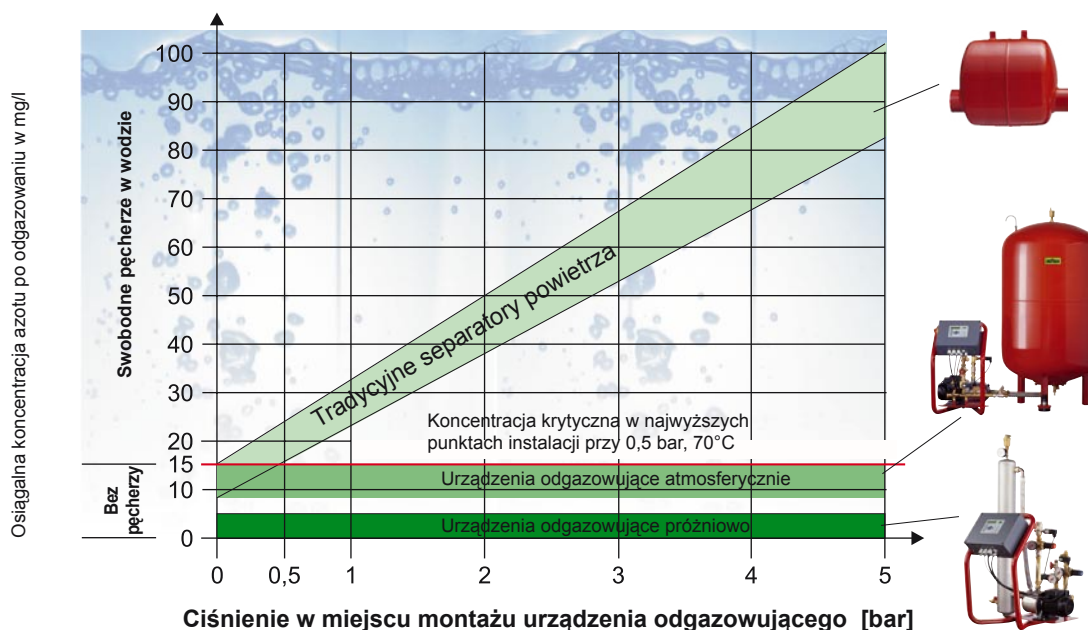
- ▶ urządzenia odgazowujące próżniowo mogą eliminować gazy reaktywne i obojętne.

Dynamiczne urządzenia odgazowujące pracują wyjątkowo skutecznie, ponieważ zmniejszają zarówno powstawanie swobodnych pęcherzy gazowych, jak również znacznie redukują zawartość gazów rozpuszczonych i to całkowicie niezależnie od stosunków ciśnień w instalacji. Gazy reaktywne (np. H_2 , O_2) zostają w ten sposób usunięte, a korozja zminimalizowana. Znaczną przewagę odgazowywania próżniowego nad procesem chemicznym jest bezwzględne usuwanie wszystkich gazów, włącznie z obojętnymi, które nie poddają się tworzeniu związków chemicznych. Pomiar wykazały, że np. zawartość azotu w wodzie cyrkulacyjnej z urządzeniem odgazowującym 'servitec' może zostać obniżona do ok. 3 mg/l. Odpowiada to dokładnie wartościom, uzyskanym przez odgazowywanie termiczne. Odgazowywanie części strumienia w przypadku klasycznych układów z rur stalowych ma tylko ograniczony wpływ na zawartość tlenu. W przypadku zbyt małego przepływu częściowego tlenu z powodu zdolności do szybkiego reagowania częściowo nie poddaje się centralnej eliminacji. Problem każdego odgazowywania części przepływu!

Bardzo skuteczną metodą jest jednak odgazowywanie wody uzupełniającej i napełniającej, których zawartość tlenu może być zredukowana o około 80%.

Porównanie różnych układów odgazowywania

Aby zobrazować skuteczność różnorodnych układów odgazowujących należy przedstawić minimalną, osiągalną fizycznie i technicznie zawartość azotu w wodzie w instalacji w zależności od stosunków ciśnień w miejscu montażu – ilustracja 12. Dlatego azot służy jako „gaz pomiarowy”, ponieważ jako gaz obojętny nie jest zużywany w reakcjach pobocznych, dzięki czemu wynik pomiarów nie jest przekłamany.



Ilustracja 12: Porównanie różnych układów odgazowywania przy temperaturze medium 50°C

Porównanie na ilustracji 12 pokazuje wyraźnie, że tylko odgazowywanie atmosferyczne i próżniowe spełnia wymogi centralnego urządzenia „odpowietrzającego” i odgazowującego.

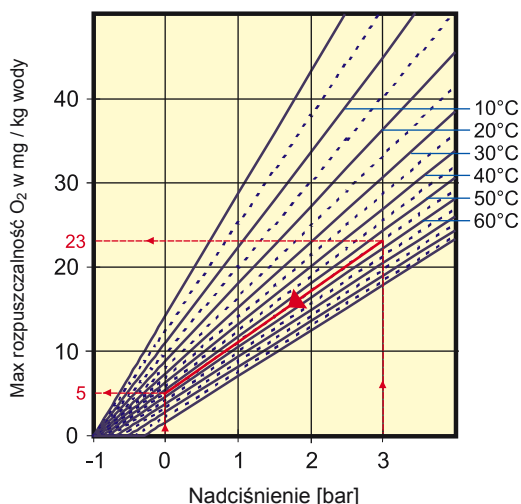
Skuteczność mechanicznych separatorów powietrza spada drastycznie wraz ze wzrostem ciśnienia. W szczególności przy montażu w niskich miejscach instalacji nie można w sposób niezawodny zapobiec wydzielaniu się gazu w wysokich punktach instalacji.

Jeśli nie tylko chce się „odpowietrzać”, ale także aktywnie zwalczać korozję, to zawartość gazu musi zostać sprowadzona do okolic zera. Jest to możliwe jedynie dzięki odgazowywaniu termicznemu lub dynamicznemu odgazowywaniu próżniowemu.

Efekty odgazowywania na papierze – błędna interpretacja Prawa Henry’ ego

W tym miejscu raz jeszcze należałoby wskazać na często spotykaną w praktyce błędną interpretację Prawa Henry’ego. Wykazywano „na papierze” efektywność odgazowywania, która w praktyce nie istniała.

- ▶ skuteczność tradycyjnych separatorów powietrza w niskich punktach instalacji jest minimalna



Ilustracja 13: rozpuszczalność tlenu z powietrza atmosferycznego

Wnioski wyciągane na podstawie Diagramu Henry'ego – ilustracja 13

W instalacji grzewczej przy temperaturze na zasilaniu 55°C i ciśnieniu 3 bary rozpuszczają się 23 mg/l tlenu. Przy obniżeniu ciśnienia do 0 bar w urządzeniu odgazowującym, w wodzie grzewczej może rozpuścić się tylko 5 mg/l tlenu. W wyniku tego w urządzeniu odgazowującym wydziela się $23 \text{ mg/l} - 5 \text{ mg/l} = 18 \text{ mg/l}$ tlenu.

Ta argumentacja jest błędna! Dlaczego?

1. Diagram Henry'ego nie opisuje rzeczywistej zawartości tlenu w wodzie, ale „to, co mogłoby się maksymalnie rozpuścić, gdyby tlen z powietrza wystarczająco długo był w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią wody”. Ten kontakt nie istnieje ani w zamkniętych, ani w otwartych układach instalacyjnych.
2. Tlen jest gazem reaktywnym. Oznacza to, że w przypadku korozji lub reakcji z innymi gazami stosunkowo szybko jest on zużywany. Jak pokazuje ilustracja 1, zawartość tlenu w prawie wszystkich zbadanych instalacjach wynosiła poniżej 0,1 mg/l, w tym także w instalacjach bez urządzeń odgazowujących.
3. Zmniejszenie zawartości tlenu do 5 mg/l w wodzie cyrkulacyjnej byłoby rezultatem niezadowolającym, ponieważ zgodnie z regułą Związku Inżynierów Niemieckich VDI 2035 ark. 2 należy dążyć do wartości $< 0,1 \text{ mg/l}$.

Przykład ten pokazuje, jak ważne jest sformułowanie jednolitych – również dla urządzeń odgazowujących - zasad oceniania. Obecny stan jest wysoce niezadowolający, jednak stale głoszone są nie oparte na podstawach teoretycznych i nie dowiedzione praktycznie twierdzenia na temat odgazowywania instalacji. Obecny stan wiedzy nie idzie w parze ze wzrastającym znaczeniem tego tematu i w efekcie może wprowadzać pewien chaos.

Podsumowanie rozdziału 3

Mechaniczne urządzenia odgazowujące mogą pracować efektywnie wyłącznie po zainstalowaniu w najwyższych punktach instalacji.

Urządzenia odgazowujące atmosferycznie mogą zapobiegać powstawaniu swobodnych pęcherzy gazu w wodzie cyrkulacyjnej. Najbardziej nadają się one jako urządzenia centralnie odgazowujące, ale nie do celowej eliminacji tlenu. Za pomocą przepływu dwufazowego można w dużym stopniu unikać erozji.

Urządzenia odgazowujące próżniowo mogą łącznie zawartość gazu sprowadzić prawie do zera. Zwalczają zarówno korozję (gazy reaktywne), jak i erozję (gazy obojętne). Wysoki stopień eliminacji gazów osiąga się dzięki dynamicznym próżniowym urządzeniom odgazowującym.

Prawo Henry'ego nie opisuje rzeczywistej zawartości gazu, lecz maksymalną możliwą zawartość gazu rozpuszczonego w wodzie.

Rozwiązanie problemu na dwóch przykładach

Badania dotyczące problematyki gazu objęły instalacje grzewcze w domach, ogrzewanie murawy na boiskach do piłki nożnej, jak również instalacje w dużych sieciach ciepłowniczych. Zostały zbadane również obiegi wody chłodniczej z mieszaną wodą i glikolu.

Dla użytkowników najwyraźniejsze są problemy wywołane przez nasycenie spowodowane przez gaz, najczęściej azot. Zimne, napełnione gazem kaloryfery na górnych piętrach i hałasy są znane dostatecznie dobrze. Analizy zawartości gazu i badania wodno-chemiczne pokazują jednak, że w niektórych instalacjach podwyższona zawartość gazu (np. H_2 , CH_4) koresponduje najwyraźniej także z korozją. Powstające w wyniku tego szkody ujawniają się najczęściej po latach.

Dwa praktyczne przykłady powinny rozjaśnić tę tematykę i pokazać możliwości rozwiązania tego problemu.

Sieć grzewcza - elektrownia w Halle

Do sieci ciepłowniczej elektrowni Halle o pojemności wody ok. 100 m^3 i mocy ok. 14 MW zostało podłączonych bezpośrednio kilka bloków mieszkalnych, w tym również 14-piętrowe wieżowce. W wyniku oddzielenia instalacji budynków od sieci ciepłowniczej poprzez zamontowanie wymienników ciepła nastąpiły problemy – ciągle występujące w wieżowcach „powietrze”, częste pracochłonne, miejscowe odpowietrzanie grzejników na górnych piętrach. Montaż automatycznych odpowietrzaczy na wybranych grzejnikach nie przyniósł znaczącej poprawy.

Była to sytuacja wyjściowa do testowania pierwszych automatów odgazowujących próżniowo 'servitec'. Po ich uruchomieniu można było obniżyć zawartość azotu już po 40 godzinach z 45 mg/l do 5 mg/l. Rozwiązano problemy z „powietrzem”, a mieszkańcy byli zadowoleni. Dzięki silnie niedosyconej eksploatacji ($\leq 5\text{ mg/l}$) wydzielanie się gazu w najbardziej narażonych punktach instalacji (najwyższe punkty, pompy, zawory regulacyjne) zostało wykluczone, a ryzyko korozji zminimalizowane.

Centrum Konrada Zuse w Berlinie

W Centrum Konrada Zuse w Berlinie dochodziło zarówno w przypadku ogrzewania budynków ($7,3\text{ m}^3$), jak również w przypadku obiegu wody chłodniczej (30 m^3) do zakłóceń cyrkulacji przejawiających się m.in. nieprawidłowym funkcjonowaniem grzejników.

Obie instalacje wykazywały zbyt dużą zawartość azotu. W instalacji grzewczej stwierdzono ponadto zwiększoną zawartość metanu, która prawdopodobnie została spowodowana zastosowaniem katalizatora ujemnego. Po zastosowaniu standardowego automatu odgazowującego próżniowo 'servitec' zarówno układ grzewczy, jak i chłodniczy funkcjonowały bez zarzutu. W wodzie grzewczej nie stwierdzono już więcej obecności metanu.

- ▶ w ponad 90% przebadanych instalacji, w których występowały problemy, problemy z cyrkulacją powodował azot.



Ilustracja 14:
Próbne urządzenie
'servitec'
w sieci elektrowni w Halle



Ilustracja 15:
Instalacja standardowa
'servitec' w Centrum
Konrada Zuse w Berlinie

Układy stabilizacji ciśnienia i odgazowywania Reflex

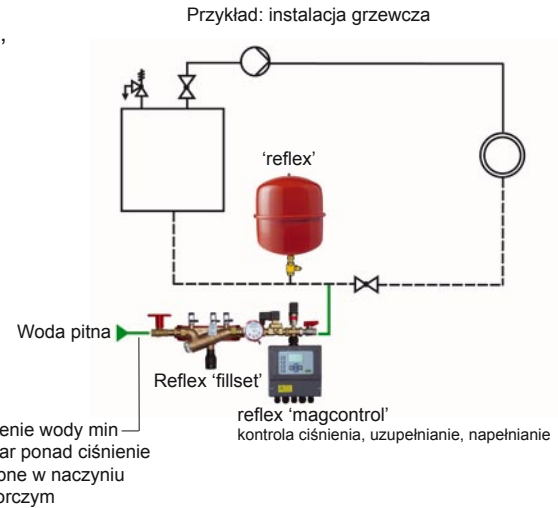
reflex 'magcontrol'

Kontrola ciśnienia w naczyniach wzbiorczych ze zintegrowanym, kontrolowanym uzupełnieniem



ciśnienie ok.

Reflex 'magcontrol' nie może wprawdzie odgazowywać, ale automatyzuje i nadzoruje funkcjonowanie przeponowych naczyń wzbiorczych – ważny warunek, aby zapobiegać bezpośredniemu napływowi powietrza .
-rozdział 2



reflex 'variomat'

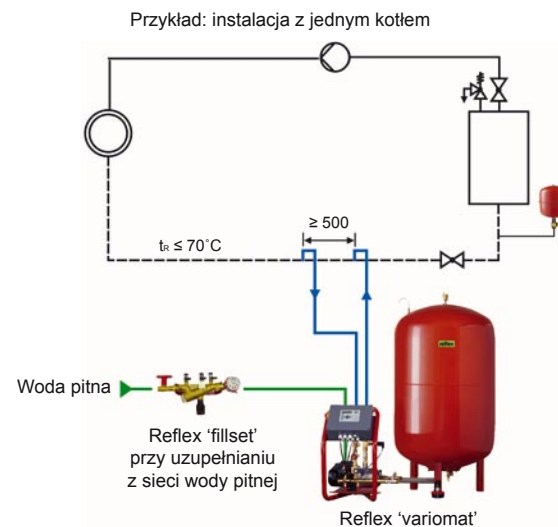
odgazowywanie atmosferyczne ze zintegrowaną stabilizacją ciśnienia i uzupełnieniem



ciśnienie ok.

brak powietrza

Połączenie stabilizacji ciśnienia sterowanej pompowo i odgazowywania atmosferycznego w jeden zamknięty układ sprawdziło się już tysiącrotnie. Oznacza to, że ciśnienie jest właściwe, a „problemy z powietrzem” należą do przeszłości. Nie ma potrzeby pracochłonnego dodatkowego odpowietrzania.
-rozdział 3



reflex 'servitec'

Dynamiczne odgazowywanie próżniowe ze zintegrowaną kontrolą ciśnienia i uzupełnieniem

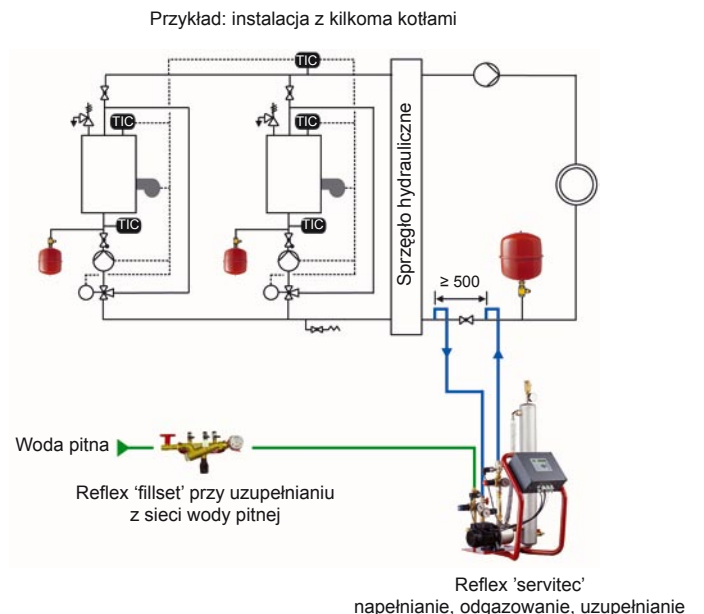


ciśnienie ok.

brak powietrza

brak korozji

Woda z instalacji i woda uzupełniająca niezależnie od tego, czy w układzie grzewczym, układzie ciepłowniczym, czy układzie chłodniczym jest odgazowywana w próżni. Zawartość gazu w wodzie cyrkulacyjnej jest redukowana praktycznie do zera. Oznacza to, koniec „problemów z powietrzem” i spadek ryzyka korozji. Dodatkowo może być kontrolowane funkcjonowanie naczyń wzbiorczych. Urządzenie 'servitec' nadaje się szczególnie także jako dodatkowy osprzęt do instalacji sprawiających problemy.
-rozdział 4



Przegląd rozdziałów

Rozdział 1. Podsumowanie.

Tlen jest gazem wysoce reaktywnym i jest główną przyczyną korozji w układzie. Występuje (prawie) wyłącznie w postaci rozpuszczonej. Koncentracja tlenu $> 0,1$ mg/l wskazuje na wzmożone ryzyko występowania uszkodzeń korozyjnych /3/.

Azot jako gaz obojętny jest najczęściej odpowiedzialny za tworzenie się przepływów dwufazowych gaz/woda. Azot stale gromadzi się w układzie i prowadzi np. do znanych zakłóceń w przepływie. Zawartość azotu ≤ 15 mg/l nie stanowi co do zasady problemu i jest osiągalna już przy użyciu odgazowywania atmosferycznego.

Rozdział 2. Podsumowanie.

Stabilizacja ciśnienia gra centralną rolę w problematyce gazowej. Układ musi być zamknięty na atmosferę, aby przede wszystkim nie dopuścić do pobierania tlenu, a także musi gwarantować uniknięcie podciśnienia i kawitacji. Wiele przeponowych nastawionych po stronie gazowej i wodnej, ponadto nie są one konserwowane zgodnie z normą DIN 4807 cz.2 /6/. W dalszym ciągu istnieje potrzeba informowania i podejmowania działań w tym zakresie.

Wnikanie i powstawanie gazów również w przypadku zamkniętych instalacji jest prawie niemożliwe do uniknięcia (napełnianie, uzupełnianie, dyfuzja, reakcje chemiczne).

Gazy muszą być odprowadzane z układów zamkniętych za pomocą odpowiednich urządzeń, najlepiej centralnie, aby zapobiec zakłóceniom cyrkulacji, erozji i korozji. Odgazowanie musi być jak jednokierunkowa uliczka: gaz na zewnątrz, ale powietrze nigdy do środka!

19

Rozdział 3. Podsumowanie.

Mechaniczne urządzenia odpowietrzające mogą pracować efektywnie wyłącznie po zainstalowaniu w najwyższych punktach instalacji.

Urządzenia odgazowujące atmosferycznie mogą zapobiegać powstawaniu swobodnych pęcherzy gazu w wodzie cyrkulacyjnej. Najbardziej nadają się jako urządzenia centralnie odgazowujące, ale nie do celowej eliminacji tlenu. Za pomocą przepływu dwufazowego można w dużym stopniu unikać erozji.

Urządzenia odgazowujące próżniowo mogą łączną zawartość gazu sprowadzić prawie do zera. Zwalczają zarówno korozję (gazy reaktywne), jak i erozję (gazy obojętne). Wysoki stopień eliminacji gazów osiąga się dzięki dynamicznym próżniowym urządzeniom odgazowującym.

Prawo Henry'ego nie opisuje rzeczywistej zawartości gazu, lecz maksymalną możliwą zawartość gazu rozpuszczonego w wodzie.

Rozdział 4/5. Podsumowanie.

Działanie układów odgazowujących 'reflex' zostało wykazane w licznych pomiarach Politechniki w Dreźnie w instalacjach grzewczych, ciepłowniczych i chłodniczych.

Dzięki funkcji centralnego odpowietrzania i odgazowywania zbędne staje się zastosowanie miejscowych mechanicznych separatorów powietrza. Pracochłonne dodatkowe odpowietrzanie w wielu rozproszonych miejscach instalacji nie jest już potrzebne.