

# Zastosowanie odgazowania próżniowego dla instalacji grzewczych i chłodniczych oraz jego wpływ na efektywność energetyczną

The use of vacuum degassing for heating and cooling installations and its impact on energy efficiency

BARTOSZ RADOMSKI, TOMASZ MRÓZ

DOI 10.36119/15.2024.9.3

Odgazowanie jest krytyczną czynnością konserwacyjną instalacji wody ogrzewczej i chłodzącej. Skutecznie usuwając rozpuszczone gazy i uwięzione powietrze, odgazowanie zapewnia optymalną wydajność wymiany ciepła, zmniejsza korozję i hałas, zapobiega powstawaniu śluz powietrznych i kawitacji oraz wydłuża żywotność elementów systemu. Stosowanie metod, takich jak: odpowietrzanie ręczne lub automatyczne, odgazowywanie próżniowe, odgazowywanie termiczne czy separatory odśrodkowe mogą znacznie poprawić wydajność i niezawodność systemów ogrzewczych. Zastosowanie układu odgazowania próżniowego oraz separatora zanieczyszczeń podnosi efektywność energetyczną i pozwala na obniżenie zużycia energii. Sam układ odgazowania próżniowego pozwala zwiększyć efektywność energetyczną instalacji ogrzewczych, odpowiednio dla instalacji grzejnikowej do **4,7%**, a dla instalacji ogrzewania podłogowego do **5,1%**, natomiast dla instalacji chłodniczych do **4,2%**. Układ odgazowania próżniowego wraz z separatorem zanieczyszczeń pozwala zwiększyć efektywność energetyczną instalacji ogrzewczych, odpowiednio dla instalacji grzejnikowej do **6,5%**, a dla instalacji ogrzewania podłogowego do **10,6%**, natomiast dla instalacji chłodniczych do **10,3%**. Zastosowanie odgazowania próżniowego przyczynia się do realizacji celów zrównoważonego rozwoju, zmniejsza zużycie energii, a tym samym zmniejsza emisję CO<sub>2</sub> do środowiska, ponadto pozwala znacząco obniżyć koszty eksploatacji przy niskich kosztach inwestycyjnych i łatwości aplikacji rozwiązania.

Słowa kluczowe: odgazowanie próżniowe, analiza energetyczna, efektywność energetyczna

Degassing is a critical maintenance procedure for heating and cooling water systems. By effectively removing dissolved gases and entrapped air, degassing ensures optimum heat transfer efficiency, reduces corrosion and noise, prevents airlocks and cavitation, and extends the life of system components. The use of methods such as manual venting, automatic venting, vacuum venting, thermal venting, and centrifugal separators can significantly improve the efficiency and reliability of heating systems. The use of a vacuum venting system and a dirt separator increases energy efficiency which implicates reduced energy consumption. The vacuum venting system alone can increase the energy efficiency of heating systems, up to **4.7%** for radiator systems, up to **5.1%** for underfloor heating systems, and up to **4.2%** for refrigeration systems. The vacuum venting system together with a vacuum dirt separator can increase the energy efficiency of heating systems, up to **6.5%** for radiator systems, up to **10.6%** for underfloor heating systems, and up to **10.3%** for refrigeration systems. The use of vacuum degassing contributes to the achievement of sustainable development goals, reduces energy consumption and thus reduces CO<sub>2</sub> emissions into the environment, and also allows for a significant reduction in operating costs with low investment costs and ease of application of the solution.

Keywords: vacuum degassing, energy analysis, energetic efficiency

## Wstęp

W systemach ciepłowniczych i systemach chłodniczych zawartość gazów ma znaczący wpływ na funkcjonowanie instalacji i proces wymiany ciepła. Jeżeli gazy pojawiają się w postaci rozpuszczonej we wszystkich punktach obiegu, stwarzają problemy tylko wtedy, gdy wchodzą w reakcje chemiczne lub elektrochemiczne z materiałami systemu ogrzewczego/chłodniczego, w wyniku czego powstają produkty reakcji, które pogarszają działanie systemu. [1-12] Dotyczy to tlenu w po-

staci gazowej i produktów reakcji wtórnych, takich jak wodór H<sub>2</sub> i metan CH<sub>4</sub>. Jeżeli w instalacjach zamkniętych znajdują się miejsca, w których granica rozpuszczalności przynajmniej jednego składnika gazowego zostanie częściowo przekroczona, wówczas tworzą się wolne gazy i w konsekwencji pojawiają się szумы, zwiększona erozja, a nawet problemy z cyrkulacją czynnika roboczego. Tlen zawarty w czynniku roboczym jest bardzo aktywny chemicznie co skutkuje pojawieniem się intensywnej korozji elementów instalacji. Najważniejszym zadaniem zatem

jest uniemożliwienie dostępu tlenu do instalacji i w konsekwencji budowanie wyłączanie instalacji bez bezpośredniego dostępu powietrza atmosferycznego. Aby zapobiec uszkodzeniom korozyjnym, zawartość tlenu w wodzie nie powinna przekraczać 0,1 mg/l, a w przypadku pracy z solą nawet 0,02 mg/l. Kolejnym gazem mogącym pojawiać się w instalacjach jest azot, główny składnik powietrza atmosferycznego. Azot jest gazem obojętnym i nie jest zużywany w reakcjach chemicznych. Dlatego może gromadzić się w wodzie instalacyjnej. Azot w wysokiej koncentracji nie

dr inż. Bartosz Radomski <https://orcid.org/0000-0003-3615-7555> – Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, Poznań, email: bartosz.radomski@up.poznan.pl

prof. dr hab. inż. Tomasz Mróz <https://orcid.org/0000-0003-2129-9198> – Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,

może całkowicie rozpuścić się w wodzie i występuje w postaci swobodnych pęcherzyków, które mogą zakłócać lub doprowadzać do przerwy w przepływie wody instalacyjnej. Swobodne pęcherze w przepływie mogą wzmacniać erozję i niszczyć warstwę ochronną hamującą korozję, jak również przyspieszać zużycie pomp i zaworów. Rozpuszczalność gazów w wodzie opisuje Prawo Henry'ego [10-14]. Zgodnie z nim rozpuszczalność gazów spada wraz ze wzrostem temperatury i spadkiem ciśnienia. Stąd zakłócenia cyrkulacji występują przede wszystkim w grzejnikach na wyższych kondygnacjach. Jeśli za podstawę do stabilizacji ciśnienia weźmie się, w stosunku do najwyższego punktu instalacji, minimalne nadciśnienie 0,5 bara, to przy temperaturze zasilania instalacji 70°C rozpuszczalność wynosi 15 mg/l azotu. Można zatem przyjąć, że koncentracja azotu  $\leq 15$  mg/l gwarantuje brak zakłóceń w pracy instalacji, a taki poziom koncentracji osiągnąć jest już przy zastosowaniu atmosferycznych urządzeń odgazowujących.

Główne składniki powietrza, takie jak tlen  $O_2$ , azot  $N_2$  i dwutlenek węgla  $CO_2$  nie są jedynymi możliwymi gazami zakłócającymi pracę instalacji. Reakcje chemiczne zachodzące w wodzie sieciowej mogą również prowadzić do powstania wodoru  $H_2$ , siarkowodoru  $H_2S$  czy metanu  $CH_4$ . Wodór  $H_2$  może tworzyć się w instalacjach stalowych i może gromadzić się aż do przekroczenia koncentracji nasycenia. Powstawanie metanu  $CH_4$  w postaci gazowej przypisuje się z zasady składnikom tworzącym bakterie i gazy pofermentacyjne. Na rys. 1 przedstawiono wartości granicznych zawartości rozpuszczonych gazów w czynniku roboczym. Wartości graniczne dla tlenu w żadnym wypadku nie mogą przekraczać 0,1 mg/l.

Pojawianie się gazów w zamkniętych instalacjach wodnych związane jest z trzema procesami. Pierwszym źródłem pojawienia się gazów jest powstawanie podciśnienia i zasysanie gazów z otoczenia. Główną przyczyną powstawania podciśnienia w instalacjach zamkniętych jest jej złe zaprojektowanie, wykonanie lub błąd występujący na etapie eksploatacji i konserwacji. Problemami są w szczególności: nieprawidłowa integracja, nieprawidłowe wymiarowanie i nieodpowiednia konserwacja systemów ciśnieniowych. Zalecenia dotyczące projektowania instalacji utrzymania ciśnienia w układach zamkniętych są takie, że w najwyższym punkcie układu zamkniętego powinno występować nadciśnienie co najmniej od 0,3 bara do 0,5 bara.

Drugim źródłem jest dyfuzja gazów przez elementy przepuszczalne (dyfuzyjne) do czynnika roboczego. Różnica koncentracji między gazem w powietrzu (ok. 78%  $N_2$ , 21%  $O_2$ ) i w wodzie stanowi siłę napędową procesu dyfuzji. Ze względu na fakt, iż koncentracja tlenu w wodzie ogrzewczej w czasie pracy wynosi prawie zero, wzrasta potencjał dyfuzji pomiędzy powietrzem zewnętrznym a wodą w instalacji. Istnieją obszary, w których gazy mają bezpośredni kontakt z wodą sieciową (np. otwarte zbiorniki instalacji pompowo-ciśnieniowych, nieszczelności). Przepuszczalność gazów dla stali i miedzi jest pomijalna, natomiast w przypadku materiałów niemetalicznych, takich jak tworzywa sztuczne, guma, czy materiały uszczelniające może być ona bardzo istotna (rury z tworzyw sztucznych, elementy uszczelniające, membrany w naczyniach zbiorczych).

Trzecim źródłem gazu w instalacjach i sieciach jest czynnik roboczy używany

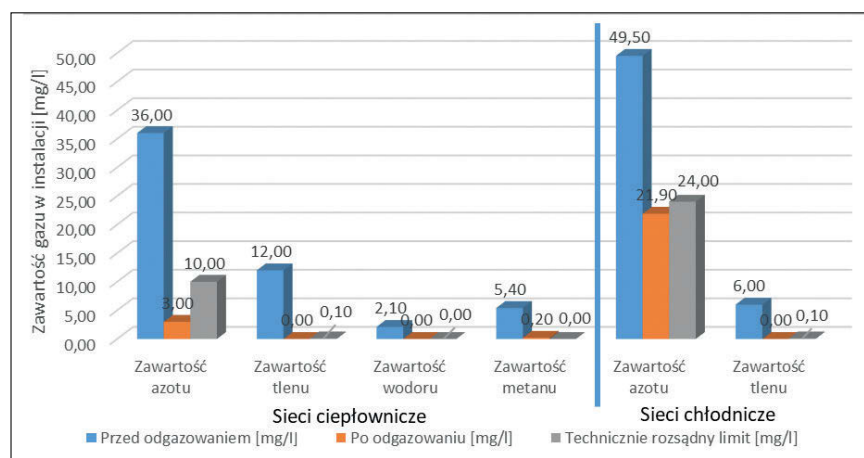
do napełniania i uzupełniania. Stąd też w przypadku uzupełniania instalacji wodą do picia zawierającą dużą zawartość tlenu stwarza się ryzyko korozji w systemach ciepłowniczych/chłodniczych.

Istotnym elementem równoważenia hydraulicznego i podstawowego funkcjonowania instalacji ogrzewczej i chłodniczej jest trwałe usunięcie powietrza i gazów z instalacji. W przeciwnym razie funkcjonowanie i działanie instalacji wodnych może zostać znacząco zakłócone lub nawet całkowicie ograniczone, w konsekwencji prowadząc do wystąpienia poważnych awarii. Zjawiska te można spotkać w większości istniejących systemów ogrzewczych i chłodniczych i można je całkowicie wyeliminować za pomocą znanych od wielu lat technik odgazowania oraz odpowietrzenia instalacji.

Większość dotychczasowych prac naukowych w tematyce odgazowania skupia się na instalacjach wielokoskalowych, jak elektrownie, elektrociepłownie i przemysł [17-22]. Przedstawiono w nich efekty z zastosowania odgazowania i jego wpływ na instalację, zużycie energii i poprawę efektywności energetycznej. Nie ma jednak zbyt wielu pozycji literaturowych skupiających się na zastosowaniu odgazowania w klasycznych instalacjach ogrzewczych i chłodniczych w budynkach kubaturowych. Należy zwrócić uwagę, że budynki te odpowiadają za ok. 40% globalnego zużycia energii, stąd konieczność szukania rozwiązań poprawiających ich efektywność energetyczną jest bardzo istotna [23-27]. Niniejsza praca powstała w celu podsumowania aktualnego stanu wiedzy, przedstawienia korzyści zastosowania odgazowania w instalacjach ogrzewczych i chłodniczych oraz oceny jego wpływu na efektywność energetyczną. W pracy w szczególności skupiono się na stosunkowo rzadko stosowanej technologii odgazowania próżniowego wspomaganego mechanicznym separatorem zanieczyszczeń i osadów.

## Odgazowanie instalacji grzewczej i chłodniczej

Odgazowanie instalacji wody ogrzewczej lub chłodniczej to proces usuwania rozpuszczonych gazów, takich jak m.in. tlen i azot, a także swobodnych pęcherzy powietrza z wody wykorzystywanej w instalacjach ogrzewczych i chłodniczych. Proces ten ma kluczowe znaczenie dla utrzymania wydajności, niezawodności i trwałości systemu ogrzewczego. Gazy muszą być odprowadzane z układów zamkniętych za pomocą odpowiednich



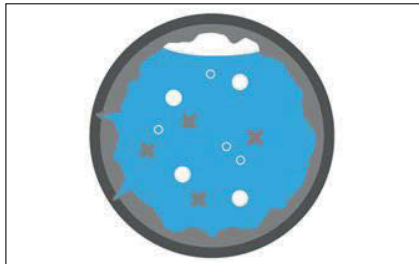
Rysunek 1.

Wartości graniczne zawartości gazów w instalacjach grzewczych i chłodniczych [na podstawie 33 i 35]

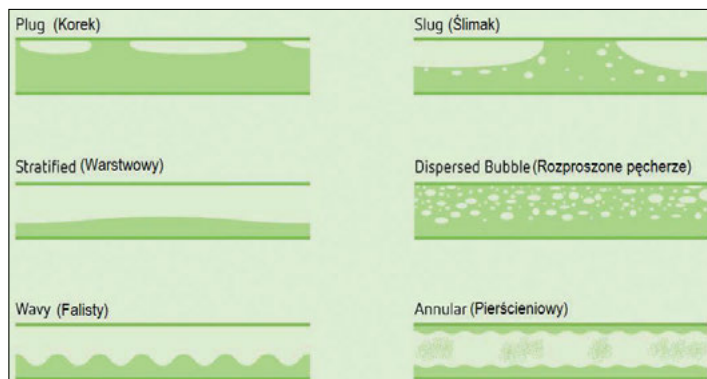
Figure 1. Limit values for the content of individual gases in heating and cooling installations [based on 33 and 35]

urządzeń, najlepiej centralnie, aby zapobiec zakłóceniom cyrkulacji, erozji i korozji. Jak opisano wcześniej rozpuszczalność gazów w wodzie jest zależna od ciśnienia i temperatury, w związku z tym woda zimna (instalacje chłodnicze) w naturalnym stanie zawiera znacznie większą ilość gazów rozpuszczonych niż woda gorąca (instalacje ogrzewcze) [1-12].

Gaz w instalacji ogrzewczej i chłodniczej może znajdować się w trzech formach (rys. 2), odpowiednio w formie pęcherzy gazu, gazu rozpuszczonego w wodzie



**Rysunek 2.** Formy występowania gazów w rurociągu (pęcherz gazu, gaz rozpuszczony, gaz w formie mikropęcherzy) [34]  
**Figure 2.** Forms of gas occurrence in the pipeline (gas bubble, dissolved gas, gas in the form of microbubbles) [34]



**Rysunek 3.** Zachowanie powietrza w poziomych fragmentach instalacji [33, 42]  
**Figure 3.** Air behavior in horizontal parts of the installation [33, 42]

oraz gazu w formie mikropęcherzy. Na rys 3 przedstawiono możliwości gromadzenia się powietrza w poziomych fragmentach instalacji.

Na rys. 4 przedstawiono nieuszkodzony i uszkodzony przewód instalacji ogrzewczej po kilku latach użytkowania.



**Rysunek 4.** Wpływ osadzania się zanieczyszczeń w rurach poziomych – rurociąg czysty i zabrudzony [na podstawie 33, 39]  
**Figure 4.** Effects of dirt deposits in horizontal pipes – clean and dirty pipeline [on based 33, 39]

W uszkodzonym przewodzie instalacyjnym widoczne są znaczne osady wapienne i zanieczyszczenia oraz korozja powodująca wżery, co w znaczny sposób ogranicza przepływ medium i pogarsza proces wymiany ciepła, a także powoduje wzrost oporów hydraulicznych w instalacji. Może to prowadzić do kolejnych negatywnych konsekwencji, w tym do zwiększenia zużycia energii elektrycznej na dystrybucję medium i/lub brak możliwości dostarczenia medium do najdalej położonych punktów instalacji.

Stąd zastosowanie właściwych systemów odgazowania instalacji wodnych gwarantuje osiągnięcie takich efektów, jak [28-48]:

1) Zwiększona efektywność wymiany ciepła:

Rozpuszczone gazy i pęcherzyki powietrza mogą działać jak warstwy izolacyjne zmniejszając efektywność wymiany ciepła. Usunięcie tych gazów gwarantuje, że czynnik ogrzewczy lub chłodniczy (woda lub mieszanina glikolu z wodą) będzie mógł efektywnie przekazywać ciepło ze źródła ciepła/chłodu do odbiornika ciepła/chłodu.

2) Zapobieganie korozji:

Tlen w wodzie może prowadzić do utleniania elementów metalowych, powodując korozję. Korozja przyczynia się do powstawania większej ilości osadów i zanieczyszczeń w układzie, co negatywnie wpływa na pracę całej instalacji. Korozja

nie tylko osłabia integralność strukturalną systemu, ale także prowadzi do tworzenia się rdzy i zanieczyszczeń na elementach wewnętrznych instalacji, które mogą zanieczyszczać rurociągi, armaturę, wymienniki ciepła a w konsekwencji ograniczać lub blokować przepływ czynnika.

3) Eliminacja pęcherzyków powietrznych:

Powietrze może gromadzić się w niektórych częściach systemu, tworząc pęcherzyki i śluz powietrzne utrudniające przepływ wody. Może to skutkować nierównomiernym ogrzewaniem/chłodzeniem i zmniejszeniem ogólnej wydajności systemu ogrzewczego/chłodniczego.

4) Redukcja hałasu:

Pęcherzyki powietrza przemieszczające się przez system mogą powodować hałas, który ma wpływ na odczucie komfortu użytkowników budynków.

5) Zapobieganie kawitacji:

Pęcherzyki powietrza w czynniku roboczym instalacji ogrzewczej/chłodniczej mogą powodować wystąpienie zjawiska kawitacji w pompach, prowadzące do uszkodzenia wirnika pompy i w konsekwencji do zmniejszenia jej wydajności i trwałości.

## Metody odgazowania instalacji ogrzewczej i chłodniczej

W praktyce występuje kilka metod umożliwiających odgazowanie instalacji ogrzewczej i chłodniczej, są to [1-3, 10, 17-22, 29-48]:

1) Ręczne odpowietrzanie:

Ręczne odpowietrzniki instaluje się w najwyższych punktach instalacji. Elementy te można otworzyć, aby uwolnić uwięzione powietrze. Metoda ta jest skuteczna, wymaga jednak regularnej obsługi i monitorowania.

2) Odpowietrzanie automatyczne:

Odpowietrzniki automatyczne montowane w najwyższych punktach instalacji w sposób ciągły usuwają powietrze z systemu bez konieczności ręcznej interwencji. Metoda ta wymaga okresowego przeglądu elementów odpowietrzających w zakresie ich szczelności.

3) Odgazowanie termiczne:

Odgazowywacze termiczne podgrzewają wodę do temperatury bliskiej wrzenia, powodując uwolnienie rozpuszczonych gazów. Następnie gazy te są usuwane z układu. Metoda ta jest powszechnie stosowana w dużych instalacjach przemysłowych i w elektrociepłowniach. Odgazowanie termiczne to proces polegający na rozpylaniu wody w atmosferze pary wodnej. Odgazowanie termiczne zachodzi

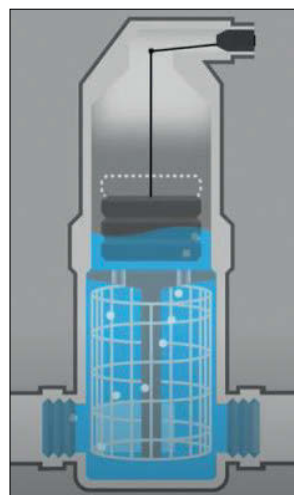
w temperaturach nieco powyżej 100°C i przy ciśnieniu roboczym wynoszącym od 0,2 do 0,3 bara. W ten sposób można uzyskać w wodzie zawartość tlenu poniżej 0,02 mg O<sub>2</sub>/l oraz zawartość dwutlenku węgla poniżej 1 mg CO<sub>2</sub>/l. Wadą najczęściej stosowanej metody odgazowania termicznego w energetyce wielkoskalowej, jest wykorzystywanie pary upustowej z turbiny, czego efektem są straty w wytwarzaniu energii elektrycznej.

#### 4) Odgazowanie chemiczne:

Odgazowanie chemiczne uzyskuje się za pomocą dodania do wody związków chemicznych. Związki te rozpuszczając się w wodzie mają zdolność do wiązania cząsteczek tlenu rozpuszczonego w wodzie. Czas reakcji zależy od użytych związków chemicznych oraz temperatury wody (im wyższa temperatura wody, tym krótszy czas reakcji). Ze względu na wysokie koszty odgazowanie chemiczne jest stosowane tylko wtedy, gdy konieczne jest osiągnięcie resztkowej zawartości tlenu < 10 µg/l.

#### 5) Odgazowanie mechaniczne:

W odgazowaniu mechanicznym wykorzystane są separatory powietrza. Mogą one usuwać wyłącznie gazy swobodne. Na rynku dostępnych jest kilka rozwiązań technicznych o różnej zasadzie działania. Przykładem układu odgazowania mechanicznego jest urządzenie produkcji Reflex typu Exvoid (rys. 5), które



**Rysunek 5.**  
Zasada działania mechanicznych separatorów powietrza [33]  
**Figure 5.**  
Principle of operation of mechanical air separators [33]

przeznaczone jest do usuwania nawet bardzo małych cząsteczek gazu. Usuwa cyrkulujące swobodne pęcherze gazów i powietrza przy pracy w automatycznym trybie ciągłym.

#### 6) Odgazowanie membranowe:

Procesem mniej popularnym w technice ciepłowniczej i chłodniczej jest odgazowanie membranowe. W tym celu wykorzystuje się mikroporowatą membranę z rurkowatych włókien do usuwania gazów z wody. Włókna są splatane w siatkę

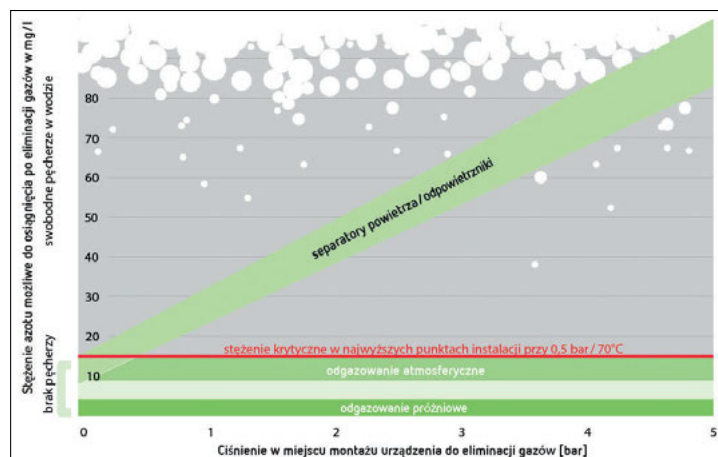
i owijane wokół środkowej rury wewnątrz obudowy. Membrana jest hydrofobowa co umożliwia na bezpośredni kontakt gazu i wody. Zwiększenie ciśnienia strumienia wody w stosunku do strumienia gazu tworzy siłę napędową dla rozpuszczonego w wodzie gazu do przejścia przez pory membrany. Gaz jest następnie odprowadzany przez pompę próżniową i/lub gaz usuwający. Składnik gazu płuczącego można usunąć tylko w ograniczonym stopniu. Na przykład, gdy po stronie gazu płuczącego stosuje się azot, korzystnie usuwa się tlen oraz ewentualnie wodór i metan, a w ograniczonym stopniu azot. W przypadku stosowania tlenu po stronie gazu płuczącego, usuwanie tlenu jest ograniczone. Odgazowanie membranowe umożliwia usunięcie rozpuszczonego dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) z wody w trybie czystego powietrza do wartości <2 mg/l lub w połączeniu z pompą próżniową do wartości <1 mg/l.

#### 7) Odgazowanie próżniowe:

Odgazowywacze próżniowe obniżają ciśnienie wody, powodując wydostawanie się rozpuszczonych w niej gazów. Gazy te są następnie usuwane z układu odgazowania. Rozpuszczalność gazów w próżni jest praktycznie zerowa. Pomimo tego odgazowywanie w spokojnej i statycznej próżni przebiega powoli i dopiero jego przyspieszenie np. poprzez rozpylanie wody w próżni zapewnia wysoką wydajność odgazowywania. Metoda ta jest wysoce skuteczna w usuwaniu rozpuszczonych gazów oraz swobodnych pęcherzyków powietrza.

Na rys. 6 przedstawiono porównanie różnych urządzeń służących do odgazowania i ich skuteczność w zakresie osiągalnej koncentracji azotu po odgazowaniu w mg/l, przy temperaturze czynnika roboczego wynoszącego 50°C. Na wykresie zaznaczono obszar bez pęcherzy i z występującymi swobodnymi pęcherzami w wodzie.

**Rysunek 6.**  
Porównanie różnych układów odgazowania przy temperaturze czynnika roboczego wynoszącego 50°C [33, 34]  
**Figure 6.**  
Comparison of different degassing systems at a working fluid temperature of 50°C [33, 34]

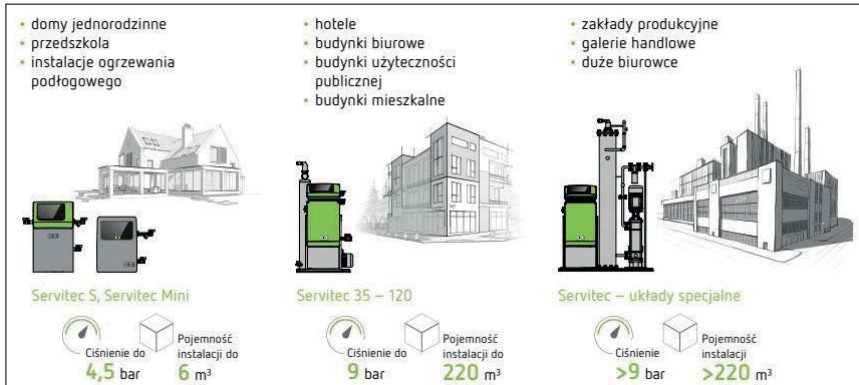


Analiza rysunku 6 pozwala stwierdzić, iż najbardziej skuteczne są urządzenia odgazowujące próżniowe, stąd w dalszej części pracy skupiono się na opisie i ocenie skuteczności tej technologii.

## Odgazowanie próżniowe w instalacjach ogrzewczych i chłodniczych

### Opis odgazowania próżniowego

Metoda odgazowywania próżniowego jest wysoce skuteczna w usuwaniu rozpuszczonych gazów oraz swobodnych pęcherzyków powietrza, pozwala wyeliminować z instalacji praktycznie całkowicie (do 90%) gazy występujące zarówno w formie swobodnych pęcherzy, jak i gazy rozpuszczone w wodzie, nawet w bardzo skomplikowanych i rozbudowanych układach z dużą ilością rozgałęzień i niewielkimi powierzchniami ogrzewczymi. Dynamiczne urządzenia odgazowujące pracują wyjątkowo skutecznie, ponieważ zmniejszają powstawanie swobodnych pęcherzy gazowych oraz znacznie redukują zawartość gazów rozpuszczonych i to całkowicie niezależnie od stosunków ciśnień w instalacji. Gazy reaktywne (np. H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) zostają w ten sposób usunięte, a potencjalna korozja instalacji zminimalizowana. Znaczną przewagę odgazowywania próżniowego nad procesem chemicznym jest bezwzględne usuwanie wszystkich gazów, włącznie z obojętnymi, które nie poddają się tworzeniu związków chemicznych. Na podstawie dokumentów [31-48] wykazano, że zawartość azotu w wodzie cyrkulacyjnej z urządzeniem odgazowującym w sposób dynamiczny 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 tlen



**Rysunek 7.**  
**Nowoczesne urządzenia odgazowujące dla różnych wielkości instalacji [52]**  
**Figure 7. Modern degassing devices for various sizes of installations [52]**

z powodu zdolności do szybkiego reagowania nie poddaje się centralnej eliminacji. W rezultacie zastosowania układów odgazowania próżniowego uzyskuje się: optymalną hydrauliczną pracę układu, czynnik ogrzewczy pozbawiony gazów, efektywne przepływy ciepła i zwiększoną żywotność układu ogrzewczego lub chłodniczego. Metoda ta charakteryzuje się również wysoką skutecznością przy odgazowywaniu wody uzupełniającej, w których zawartość tlenu może być zredukowana o około 80%. Nowoczesne urządzenia odgazowujące (rys. 7) posiadają również możliwość automatycznego uzupełniania ubytków powstających w instalacji, które przed wprowadzeniem są odgazowywane, co jest ich dodatkową zaletą.

Na rys. 8 przedstawiono schemat zasady działania instalacji ogrzewczej z dynamiczną jednostką odgazowującą typu Servitec produkcji firmy Reflex do odgazowywania wody w instalacji i wody uzupełniającej. Zaletą wspomnianego urządzenia jest fakt, że służy ono do odgazowania wody w instalacji oraz wody uzupełniającej, co ma szczególną zaletę dla istniejących instalacji, które mogą być nieszczelne.

Zalety odgazowania próżniowego:

- 1) Zapobiega korozji i odkładaniu się zanieczyszczeń w instalacji co zwiększa jej trwałość.

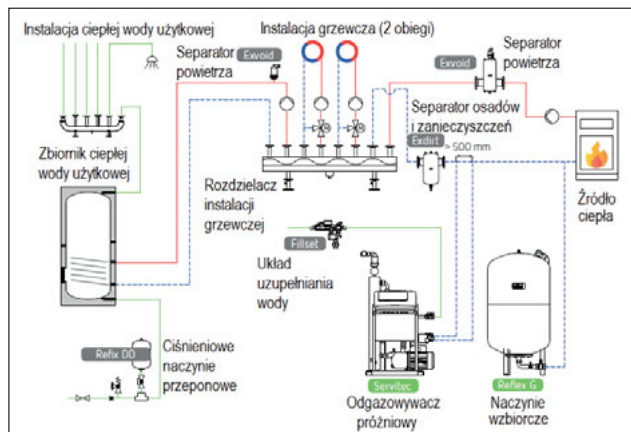
- 2) Umożliwia usuwanie powietrza z instalacji co znacząco zwiększa efektywność energetyczną systemu ogrzewczego lub chłodniczego.
- 3) Pozwala uniknąć powstawania pęcherzyków gazu w instalacji, co zmniejsza ryzyko niewłaściwego funkcjonowania systemu oraz uszkodzenia pompy obiegowej lub innych elementów.

Wady odgazowania próżniowego:

- 1) Dodatkowy koszt inwestycyjny.

**Przeprowadzone badania skuteczności redukcji gazów w instalacjach ogrzewczych i chłodniczych**

Na potrzeby niniejszego artykułu wykorzystano materiały techniczne i marketingowe, dane pomiarowe oraz raporty z badań udostępnione przez firmę Reflex Polska sp. z o.o. [33-50]. Jednostki uczestniczące w badaniu to TU Dresden w Niemczech – Institut für Energietechnik – odpowiedzialna za przeprowadzenie badań w latach 1999-2001 [36, 37, 44], Instytut Ifes GmbH – Institute für angewandte Energiesimulation und Facility Management – odpowiedzialny za przygotowanie koncepcji przeprowadzenia badania w zakresie zastosowania układów do odgazowania firmy Reflex do zwiększenia efektywności in-



**Rysunek 8.**  
**Schemat hydrauliczny układu grzewczego z dynamiczną jednostką odgazowującą do odgazowywania wody w instalacji i wody uzupełniającej [51]**  
**Figure 8. The hydraulic diagram of a heating system with a dynamic degassing unit for degassing the water in the system and the make-up water [51]**



**Rysunek 9.**  
**Stanowisko badawcze – testowana sieć grzewcza / chłodnicza [36]**  
**Figure 9. Test stand – tested heating/cooling network [36]**

stalacji grzewczych za pomocą symulacji przepływu [39] oraz TÜV Nord – TÜV NORD Systems GmbH & Co.KG – odpowiedzialny za ewaluację wyników symulacji w zakresie efektywności energetycznej układów do odgazowania firmy Reflex [39]. W badaniach [36] wszystkie badane urządzenia i komponenty testowane były w warunkach laboratoryjnych i zostały włączone do obwodu wtórnego stanowiska badawczego o pojemności ok. 2,0m<sup>3</sup>, z możliwością zmniejszenia do 0,3m<sup>3</sup> – co przedstawia rys. 9. W przygotowanym układzie można było osiągnąć temperaturę do 150°C oraz ciśnienie do 12 barów. Pomiarzy były realizowane z częstotliwością co 5 sekund. Przeprowadzono również badania z wodą uzupełniająca układ. Przebadano różne urządzenia i układy służące do odgazowania instalacji i porównano ich skuteczność.

Urządzenia odgazowujące w sposób próżniowy przedstawione na rys. 10 prze-



**Rysunek 10.**  
**Stanowisko badawcze – system odgazowania próżniowego – Servitec prod. Reflex [36]**  
**Figure 10. Test stand – vacuum degassing system – Servitec manufactured by Reflex [36]**

znaczone są do systemów ogrzewczych i chłodniczych. Przeprowadzone badania pozwalały po 24 godzinach uzyskać zawartość tlenu w instalacji w przedziale od 0,002 mg/l do 0,006 mg/l, co jest wartością praktycznie zbliżoną do zera. Natomiast zmniejszenie stężenia azotu było jeszcze bardziej spektakularne i wynosiło przykładowo od wartości 32,6 mg/l do 1,8 mg/l oraz od wartości 18,3 mg/l do 1,6 mg/l – oba rezultaty uzyskano w czasie 24h. Przeprowadzono wiele pomiarów i badań na stanowisku laboratoryjnym potwierdzających wysoką skuteczność urządzenia. Następnie badania przeprowadzono w rzeczywistych obiektach. Pierwszy przykład to instalacja ogrzewcza oraz instalacja chłodnicza w budynku użyteczności publicznej. Próbkę pobrano bezpośrednio po uruchomieniu oraz po 18 miesiącach ciągłej pracy. Dla przebadanej instalacji ogrzewczej zawartość azotu spadła z 29,4 mg/l do 9,1 mg/l, zawartość tlenu spadła z 16,0 mg/l do 3,0 mg/l, natomiast zawartość metanu z 5,7 mg/l do 0,0 mg/l. Podobne wyniki uzyskano dla instalacji chłodniczej, gdzie zawartość azotu spadła z 49,5 mg/l do 14,5 mg/l. Drugim przykładem jest kolejny budynek użyteczności publicznej z siecią ogrzewczą o pojemności ok. 60,0 m<sup>3</sup> i temperaturami projektowymi  $T_z/T_p = 70/50^\circ\text{C}$ . Badania trwające 3 miesiące wykazały, iż zawartość azotu obniżyła się z 35,2 mg/l do 2,0 mg/l, natomiast zawartość tlenu z 0,1 mg/l do 0,02 mg/l. Trzecim obiektem badań była sieć ogrzewcza o pojemności 10,0 m<sup>3</sup>. Po 10 miesiącach stałej pracy urządzenia do odgazowania próżniowego zawartość azotu spadła z 4,4 mg/l do 2,3 mg/l. Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano wniosek, iż ok. 80% wszystkich istniejących instalacji cechowało się ponad normatywną zawartością gazów w instalacji co powodowało problemy eksploatacyjne. Dotyczyło to zwłaszcza małych i średnich układów ogrzewczych i chłodniczych. Zastosowanie układu odgazowania próżniowego pozwoliło w każdym z przypadków osiągnąć zawartości gazów niższe niż graniczne, co pozwoliło wyeliminować większość problemów eksploatacyjnych. W tym segmencie wielkości instalacji nie ma skuteczniejszej metody na pozbycie się gazów z instalacji, w tym podczas jej uzupełniania.

W pracy [37] przedstawiono wyniki badań dotyczących występowania gazów w instalacjach ogrzewczych w budynkach mieszkalnych, w instalacji podgrzewania murawy na boiskach do piłki

nożnej oraz w dużych sieciach ciepłowniczych. Badaniom poddano również obiegi wody chłodniczej z mieszaną wodą i glikolu. Dla wysokich budynków mieszkalnych głównym problemem spowodowanym obecnością gazów w instalacji było niedostarczenie wystarczającego strumienia ciepła do grzejników, co powodowało niedogrzanie pomieszczeń oraz zauważalny hałas w instalacji. Montaż automatycznych odpowietrzników na wybranych grzejnikach na najwyższych kondygnacjach nie przyniósł znaczącej poprawy sytuacji. Zdecydowano zamontować odgazowywacz próżniowy typu Servitec produkcji Reflex, który po uruchomieniu już po 40 godzinach obniżył zawartość azotu z 45 mg/l do 5 mg/l. Dzięki zejściu z zawartością azotu < 5,0 mg/l wydzielenie się gazu w najbardziej narażonych punktach instalacji (m.in. najwyższy punkt instalacji, pompy obiegowe, zawory regulacyjne) zostało wyeliminowane, a ryzyko korozji zminimalizowane. Kolejnym przedstawionym przypadkiem było centrum handlowe z instalacją ogrzewczą i chłodniczą, w których doszło do zakłóceń przepływów i cyrkulacji przejawiających się m.in. nieprawidłowym funkcjonowaniem odbiorników ciepła i chłodu. Obie instalacje cechowały się zbyt wysoką zawartością azotu. Po zastosowaniu odgazowywacza próżniowego układy zaczęły funkcjonować w sposób poprawny.

#### **Wpływ zastosowania odgazowania próżniowego na efektywność energetyczną w instalacjach ogrzewczych i chłodniczych**

W badaniach [39] za pomocą symulacji numerycznych stworzono profil obciążeń ogrzewczych, który przedstawia godzinowe wartości obciążenia ogrzewczego dla konkretnego budynku dla pełnego roku. Z wykorzystaniem narzędzi komputerowych i przeprowadzonej symulacji CFD w programie Solidworks FlowSimulation wyznaczono wpływ zawartości azotu oraz zanieczyszczeń na wymianę ciepła. Symulację przeprowadzono dla różnych systemów ogrzewczych i chłodniczych i wykonano ją modelując kilka różnych wymienników ciepła (ogrzewanie podłogowe, chłodzenie podłogowe, grzejniki konwekcyjne, płytowe wymienniki ciepła), przy uwzględnieniu różnych zawartości osadów i zanieczyszczeń. Celem symulacji było określenie wpływu różnych stężeń gazów i zanieczyszczeń na efektywność wymiany ciepła. Dla każdego wariantu symulacji obliczono współczynnik efektyw-

ności energetycznej, a więc obniżenie zużycia energii. Przeprowadzone symulacje potwierdziły oczekiwane zmniejszenie wymiany ciepła wraz ze wzrostem zawartości azotu i/lub zawartości innych zanieczyszczeń. Główne przyczyny obniżenia efektywności energetycznej układu autorzy badań przypisali:

- 1) Wyższym stratom ciepła przy wytwarzaniu i dystrybucji ciepła,
- 2) Wyższemu zużyciu ciepła na skutek przegrzewania pomieszczeń,
- 3) Wyższemu zużyciu energii ze względu na większy przepływ czynnika roboczego przez pompy obiegowe.

Przeprowadzone symulacje wykazały efekty w postaci obniżenia zużycia energii w zakresie od 3,8% do 6,2% podczas odgazowywania instalacji za pomocą odgazowywacza próżniowego typu Servitec produkcji Reflex. Największego wzrostu efektywności energetycznej można się spodziewać, gdy zawartość azotu jest poniżej granicy rozpuszczalności zgodnie z prawem Henry'ego. Do tego wykonano symulację z uwzględnieniem zwiększenia zawartości zanieczyszczeń, które powodują obniżenie skuteczności wymiany ciepła oraz zwiększenie strat ciśnienia w instalacji. Autorzy wykazali wzrost zużycia energii do 7,8% przy szybkości osadzania zanieczyszczeń wynoszącej 3,5mm, co odpowiada 12 letniemu okresowi użytkowania istniejącego budynku oraz 35 letniemu okresowi użytkowania w przypadku nowych budynków. Wpływ zanieczyszczeń fizycznych wzrasta ze względu na roczny wzrost osadów z założonego  $d_j=0,1$  mm/rok dla nowych systemów oraz  $d_j=0,3$  mm/rok dla istniejących systemów. Wyniki symulacji waldowano i porównano dla systemów ogrzewczych i chłodzących w zakresie mocy od 30 kW do 500 kW.

Na podstawie przeprowadzonych symulacji i obliczeń autorzy sformułowali następujące wnioski:

- 1) Zastosowanie wyłącznie układu odgazowania próżniowego pozwala na uzyskanie oszczędności w przypadku systemów ogrzewczych dla instalacji grzejnikowych o wysokich temperaturach zasilania i wysokim potencjale korozyjnym do 4,2%, dla instalacji grzejnikowych o wysokich temperaturach zasilania i małym potencjale korozyjnym do 4,7%, dla instalacji ogrzewania podłogowego o niskich temperaturach zasilania i wysokim potencjale korozyjnym do 3,9% oraz dla instalacji ogrzewania podłogowego o niskich temperaturach zasilania i niskim potencjale korozyjnym do 5,1%.

W przypadku systemów chłodniczych dla instalacji chłodzenia przy niskich temperaturach zasilania i wysokim potencjale korozyjnym do 3,2%, a dla instalacji chłodzenia przy niskich temperaturach zasilania i niskim potencjale korozyjnym do 4,2%.

- 2) Jeszcze większe oszczędności można uzyskać w przypadku zastosowania układu odgazowania próżniowego oraz separatora zanieczyszczeń w jednym systemie. Pozwala to na uzyskanie oszczędności w przypadku systemów grzewczych dla instalacji grzejnikowych o wysokich temperaturach zasilania i wysokim potencjale korozyjnym do 6,5%, dla instalacji grzejnikowych o wysokich temperaturach zasilania i małym potencjale korozyjnym do 5,8%, dla instalacji ogrzewania podłogowego o niskich temperaturach zasilania i wysokim potencjale korozyjnym do 10,6% oraz dla instalacji ogrzewania podłogowego o niskich temperaturach zasilania i niskim potencjale korozyjnym do 7,4%. W przypadku systemów chłodniczych dla instalacji chłodzenia przy niskich temperaturach zasilania i wysokim potencjale korozyjnym do 10,3%, a dla instalacji chłodzenia przy niskich temperaturach zasilania i niskim potencjale korozyjnym do 7,4%.

- 3) Oprócz zdecydowanych korzyści energetycznych uzyskuje się również korzyści wynikające z konserwacji instalacji i braku konieczności czyszczenia wymienników ciepła.

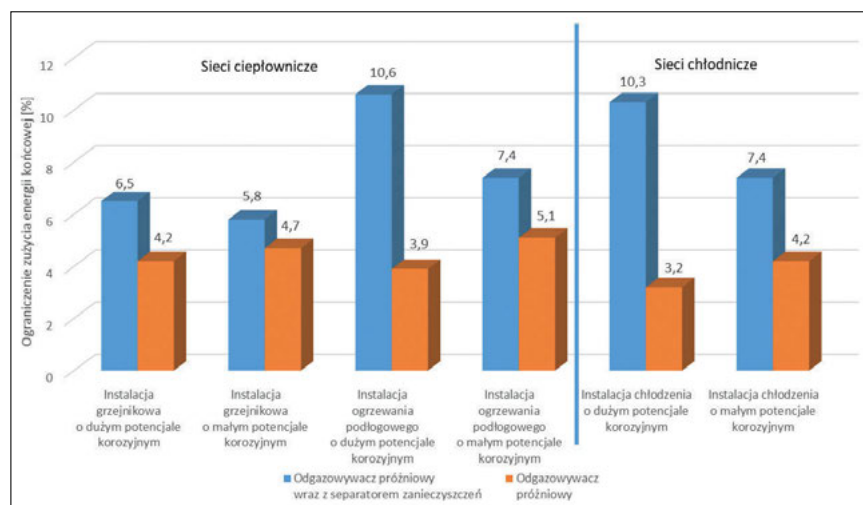
Zastosowanie układu odgazowania próżniowego oraz separatora zanieczyszczeń wpływa na efektywność energetyczną i pozwala na obniżenie zużycia energii. W tabeli 1 i na rys. 11 przedstawiono możliwe do uzyskania oszczędności z podziałem na system grzewczy/chłodniczy oraz typ instalacji.

Tabela 1 i rys. 11 mogą stanowić cenne źródło informacji dotyczącej korzyści energetycznych z zastosowania urządzeń do automatycznego odgazowania instalacji układów zamkniętych (grzewczych i chłodniczych), w tym przede wszystkim odgazowania próżniowego, jak również współpracy urządzenia do odgazowania próżniowego z separatorem zanieczyszczeń. Przedstawione wartości liczbowe mogą służyć projektantom instalacji sanitarnych oraz audytorom energetycznym w celu określenia oszczędności energii i kosztów eksploatacyjnych wynikających z zastosowania wyżej wymienionych urządzeń dla konkretnego przypadku instalacji grzewczej/chłodniczej, a tym

**Tabela 1. Oszczędność energii końcowej w wyniku zastosowania układu odgazowania próżniowego wraz z separatorem zanieczyszczeń oraz bez niego**

**Table 1. Final energy savings due to the use of a vacuum degassing system with and without a contaminant separator**

Rodzaj systemu	Typ instalacji	Ograniczenie zużycia energii końcowej	
		Odgazowywacz próżniowy wraz z separatorem zanieczyszczeń	Odgazowywacz próżniowy
[-]	[-]	[%]	[%]
System grzewczy	Instalacja grzejnikowa o dużym potencjale korozyjnym	6,5	4,2
	Instalacja grzejnikowa o małym potencjale korozyjnym	5,8	4,7
	Instalacja ogrzewania podłogowego o dużym potencjale korozyjnym	10,6	3,9
	Instalacja ogrzewania podłogowego o małym potencjale korozyjnym	7,4	5,1
System chłodniczy	Instalacja chłodzenia o dużym potencjale korozyjnym	10,3	3,2
	Instalacja chłodzenia o małym potencjale korozyjnym	7,4	4,2



**Rysunek 11. Oszczędność energii końcowej w wyniku zastosowania układu odgazowania próżniowego wraz z separatorem zanieczyszczeń oraz bez niego**  
**Figure 11. Final energy savings due to the use of a vacuum degassing system with and without a contaminant separator**

samym do możliwości obliczenia zmniejszenia zapotrzebowania na energię końcową, pierwiotną i/lub ograniczenia emisji szkodliwych substancji do otoczenia, w tym CO<sub>2</sub>, a także prostego czasu zwrotu inwestycji.

### Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono znaczenie i korzyści wynikające z zastosowania układu odgazowania próżniowego w systemach grzewczych i chłodniczych. Proces odgazowania jest kluczowy dla usuwania rozpuszczonych gazów i powietrza z czynnika roboczego wykorzystywanego w tych systemach, co przekłada się na poprawę wydajności, niezawodności oraz trwałości instalacji. Znaczenie odgazowania polega na zwiększeniu wydajności wymiany ciepła, zapobieganiu korozji instalacji, eliminacji pęcherzyków powietrznych powodujących

zakłócenia przepływu i nierównomierne przekazywanie ciepła, redukcji hałasu i zapobiegania kawitacji.

Zastosowanie układu odgazowania próżniowego oraz separatora zanieczyszczeń wpływa na efektywność energetyczną i pozwala na obniżenie zużycia energii. Sam układ odgazowania próżniowego pozwala zwiększyć efektywność energetyczną instalacji grzewczych, odpowiednio dla instalacji grzejnikowej do 4,7%, a dla instalacji ogrzewania podłogowego do 5,1%, natomiast dla instalacji chłodniczych do 4,2%. Układ odgazowania próżniowego wraz z separatorem zanieczyszczeń pozwala zwiększyć efektywność energetyczną instalacji grzewczych, odpowiednio dla instalacji grzejnikowej do 6,5%, a dla instalacji ogrzewania podłogowego do 10,6%, natomiast dla instalacji chłodniczych do 10,3%.

Zastosowanie odgazowania próżniowego przyczynia się do realizacji celów

zrównoważonego rozwoju, zmniejsza zużycie energii, a tym samym zmniejsza emisję CO<sub>2</sub> do środowiska, ponadto pozwala znacząco obniżyć koszty eksploatacji przy niskich kosztach inwestycyjnych i łatwości aplikacji rozwiązania. To skuteczne urządzenie poprawiające efektywność energetyczną oraz niezawodność systemów grzewczych i chłodniczych.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] [https://watertreatmentbasics.com/how-does-deaerator-work/?utm\\_content=cmp-true](https://watertreatmentbasics.com/how-does-deaerator-work/?utm_content=cmp-true) – dostęp 12.07.2024r
- [2] <https://www.hydrogroup.biz/areas-of-use/industry-power-stations-commercial-enterprises/degassing.html> – dostęp 12.07.2024r
- [3] <https://www.veoliawatertech.com/en/solutions/technologies/whittier-filtration-separation/degasification> – dostęp 12.07.2024r
- [4] PN-85/C-04601. Woda do celów energetycznych. Wymagania i badania jakości wody dla kotłów wodnych i zamkniętych obiegów ciepłowniczych.
- [5] PN-93/C-04607. Woda w instalacjach ogrzewania. Wymagania badania dotyczące jakości wody.
- [6] PN-EN 12952-12. Kotły wodnorurowe i urządzenia pomocnicze. Część 12: Wymagania dotyczące jakości wody zasilającej i wody kotłowej
- [7] Rühling, Karin, Martin Heymann, and Felix Panitz. "Venting and degasification of solar circuits." *Energy Procedia* 30 (2012).
- [8] Jun, Y.-D. Degassing Dissolved Oxygen through Bubbling: The Contribution and Control of Vapor Bubbles. *Processes* 2023. <https://doi.org/10.3390/pr11113158>
- [9] Watanabe, K., and R. B. Dooley: Guideline on the Henry's Constant and Vapor-Liquid Distribution Constant for Gases in H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O at High Temperatures. International Association for the Properties of Water and Steam (2004).
- [10] Marjanowski J.: Uzdatnianie wody w ciepłownictwie – zmiany w zakresie technologii i urządzeń z perspektywy czterdziestu lat doświadczeń, Instal 12/2015, s.8-16
- [11] Szaflik W.: Problemy korozji w instalacjach i układach przygotowania ciepłej wody. Instal nr 4/2009.
- [12] Górecki A.: Korozja w instalacjach sanitarnych. Instal. 2/2002, s. 9-11.
- [13] Schnabel T., Vrabec J., Hasse H.: Henry's law constants of methane, nitrogen, oxygen and carbon dioxide in ethanol from 273 to 498 K. Prediction from molecular simulation, *Fluid Phase Equilibria*, Volume 233, Issue 2, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2005.04.016>.
- [14] Rettich T.R., Battino R., Wilhelm E.: Solubility of gases in liquids. 22. High-precision determination of Henry's law constants of oxygen in liquid water from T=274 K to T=328 K. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, Volume 32, Issue 9, 2000. <https://doi.org/10.1006/jcht.1999.0581>
- [15] Tromans D.: Temperature and pressure dependent solubility of oxygen in water: a thermodynamic analysis, *Hydrometallurgy*, Volume 48, Issue 3, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(98\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(98)00007-3)
- [16] Kennan R.P., Pollack G.L.: Pressure dependence of the solubility of nitrogen, argon, krypton, and xenon in water. *J. Chem. Phys.* 15 August 1990; 93 (4). <https://doi.org/10.1063/1.458911>
- [17] Pazushkina, O., & Zolin, M. (2023). Analysis and optimization of the operation of deaeration devices on heat sources. 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 5, 1-6. <https://doi.org/10.1109/REEPE57272.2023.10086777>
- [18] Sharapov, V., Pazushkina, O., & Kudryavtseva, E. (2016). Energy-effective method for low-temperature deaeration of make-up water on the heating supply system of heat power plants. *Thermal Engineering*, 63, 56-60. <https://doi.org/10.1134/S0040601515090086>
- [19] Sharapov, V., & Kudryavtseva, E. (2016). Energy Efficiency of Low-Temperature Deaeration of Makeup Water for a District Heating System. *Power Technology and Engineering*, 50, 204-207. <https://doi.org/10.1007/S10749-016-0684-9>
- [20] Mingaraeva, E., & Sharapov, V. (2018). Perspectives of application of gas deaeration of water in heat-power engineering installations of various purposes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1111. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1111/1/012036>
- [21] Pazushkina, O., & Zolin, M. (2023). Analysis and optimization of the operation of deaeration devices on heat sources. 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 5, 1-6. <https://doi.org/10.1109/REEPE57272.2023.10086777>
- [22] Petrenko, O., & Luhovskiy, O. (2023). Review of methods of degassing of working fluids. *Mechanics and Advanced Technologies*. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2023.7.3.290444>
- [23] Radomski B.: Wybór źródła ciepła i chłodu dla typowego budynku jednorodzinny o niemal zerowym zużyciu energii (nZEB). Rynek instalacyjny 07-08/2018.
- [24] Radomski B., Mróz T.: Wybór sposobu zasilania w odnawialną energię pierwotną pasywnych jednorodzinnych budynków mieszkalnych, zgodnych z Passive House Institute (PHI) – aspekt energetyczny. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, nr 50/6, 2019.
- [25] Radomski B., Mróz T.: Wybór sposobu zasilania w odnawialną energię pierwotną pasywnych jednorodzinnych budynków mieszkalnych, zgodnych z Passive House Institute (PHI) – aspekt ekonomiczny. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, nr 50/7, 2019.
- [26] Mróz T., Ratajczak K., Grządzielski W.: Perspektywy wykorzystania gazu ziemnego w budynkach mieszkalnych w aspekcie nowych przepisów prawa. *Rynek Energii*, nr 2(153), 2021.
- [27] Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018 r., Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2019.
- [28] Brennen, Christopher E. Cavitation and bubble dynamics. Cambridge university press, 2014.
- [29] Leiknes, T., & Semmens, M. (2001). Vacuum degassing using microporous hollow fiber membranes. *Separation and Purification Technology*, 22, 287-294. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(00\)00151-9](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(00)00151-9)
- [30] Chen H., Lu Z., Cheng Y., Drioli E., Wang Z., Zhang F., Cui Z.: Development and emerging application of membrane degassing technology, *Advanced Membranes*, Volume 3, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.advmem.2023.100076>
- [31] Hong, J.A.; Lee, J.S.; Jun, Y.-D. Degassing Dissolved Oxygen through Bubbles under a Vacuum Condition. In *Proceedings of the 7th Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC)*, Las Vegas, NV, USA, 15–18 May 2022.
- [32] Marjanowski J. Ratajczyk C.: Prózniove odgazowanie wody w ciepłowniach oraz sieciach ciepłowniczych, Instal 9/1999, s.14-16.
- [33] Duże potencjalne oszczędności energii i emisji CO<sub>2</sub> dzięki zastosowaniu układów do odgazowania prózniowego i separatorów. *Reflex*. 16.06.2016.
- [34] Adamczyk M.: Nowoczesna instalacja. Stabilizacja – Odgazowanie – Uzupelnianie. Seminarium szkoleniowe. Stowarzyszenie Certyfikatorów i Audytorów Energetycznych 22.05.2024.
- [35] Odgazowywanie układów grzewczych i chłodniczych. Teoria i praktyka. *Reflex*, 2002.
- [36] Rühling K., Preusser A.: Gazy w układach c.o., niepublikowany raport badawczy, Politechnika w Dreźnie, Instytut Techniki Energetycznej, katedra: Gospodarka Energetyczna, 25.07.1996
- [37] Rühling K., Uhlmann D.: Gase in kleinen und mittleren Wasserheiznetzen und Kältekreisläufen, TU Dresden Institut für Energietechnik, Dresden, 2002.
- [38] Kurzfassung – CO<sub>2</sub>-Einsparungen und Effizienzsteigerung durch Systementgasung in Kombination mit Schlamm – und Schmutzabscheidern in Heizungs – und Kaltwasseranlagen, *Reflex Winkelmann GmbH, Ahlen*, 2016.
- [39] Bewertung des Einsatzes von Reflex Entgasungssystemen zur Steigerung der Effizienz von Heizungs – und Kaltwasseranlagen mittels dynamischer Anlagen – und CFD-Strömungssimulation (AP2 & AP3 & AP4). *Ergebnisbericht – rev 4*. Institute für angewandte Energiesimulation und Facility Management. 2016.
- [40] Reflex Winkelmann GmbH, Entgasung von Heiz und Kühlsystemen, zuletzt aufgerufen am 30.11.2015 von reflex.de
- [41] Reflex Winkelmann GmbH Datenblätter heruntergeladen von reflex.de, 2015.
- [42] Ghajar A. J., Non-Boiling Heat Transfer in Gas-Liquid Flow in Pipes – a Tutorial, *ENCIT 2004 – 10th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering*, Nov. 29 – Dec. 03, 2004, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2005.
- [43] VDI 2035 Blatt 2, Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.), Vermeidung von Schäden in Warmwasserheizungsanlagen – Heizwasserseitige Korrosion, August 2009.
- [44] Zschernig J, Gase in kleinen und mittleren Wasserheiznetzen und Kältekreisläufen – Schlussbericht AiF-Forschungsthema 12086 B, TU Dresden, Institut für Energietechnik, 2002.
- [45] Schodorf W., Perfektes Wasser sichert die Verfügbarkeit und Energieeffizienz moderner Heizanlagen, *Fachbeitrag im Heizungsjournal*, 2011.
- [46] Stoffwerte von [www.pondus-verfahren.de](http://www.pondus-verfahren.de), zuletzt aufgerufen am 30.11.2015.
- [47] Abbildung zuletzt aufgerufen am 30.11.2015 auf [www.korkisch.at](http://www.korkisch.at)
- [48] Knauf Gips KG, Knauf Heizestrich-Systeme, Knauf Calciumsulfat-Fließestriche für Fußbodenheizung, 2012.
- [49] Pelia Gebäudesysteme GmbH, Technische Information PE-Xc 5-Schicht-Rohre für Flächenemperierung und Heizkörperanbindung, zuletzt aufgerufen am 29.10.2015.
- [50] VDI-Wärmeatlas, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, 10. Auflage 2016.
- [51] Tabele doboru i schematy instalacji dla automatycznych układów Reflex przeznaczonych do stabilizacji ciśnienia oraz odgazowania prózniowego. *Reflex Polska sp. z o.o. sp. k.* 2023.
- [52] Nowoczesna i bezpieczna instalacja? Serwitec to konieczność. *Reflex Polska sp. z o.o. sp. k.* 2021.