

## Wytyczne dla jakości wody w płytowych wymiennikach ciepła lutowanych miedzią

### 0 Podsumowanie

Danfoss District Heating przygotował poniższe wytyczne jakości wody wodociągowej oraz wody sieciowej wykorzystywanej w płytowych wymiennikach ciepła wykonanych ze stali nierdzewnej (1.4404, X2CrNiMo17-12-2 zgodnie z EN 10088-2:2005 ~ AISI 316L) lutowanych czystą miedzią.

Woda przepływająca przez te lutowane wymienniki płytowe (PHEX) znacznie różni się od siebie w zależności od zastosowania, dlatego też korozja, w niektórych przypadkach może stać się problemem. Niniejsze wytyczne oparte są o kompleksową analizę dostępnej literatury i nasze wieloletnie doświadczenia stosowania PHEX wykonanych ze stali nierdzewnej lutowanych miedzią.

Ważne jest, aby podkreślić, że niniejsza specyfikacja wody nie gwarantuje uniknięcia korozji, ale jest to narzędzie, które pomaga temu zapobiec w najbardziej krytycznych zastosowaniach wody. Parametry wody oraz ich zalecane wartości graniczne zostały przedstawione w tabeli 2 dla wody po stronie niskich parametrów (woda wodociągowa, woda pitna) oraz z tabeli 3 dla wody po stronie wysokich parametrów (woda ciepłownicza, woda centralnego ogrzewania). Limity te obowiązują wyłącznie dla PHEX wykonanych stali nierdzewnej 1.4404 lutowanych czystą miedzią.

### 1 Wstęp

Danfoss District Heating przygotował poniższe wytyczne jakości wody wodociągowej oraz wody sieciowej wykorzystywanej w płytowych wymiennikach ciepła wykonanych ze stali nierdzewnej (1.4404, X2CrNiMo17-12-2 zgodnie z EN 10088-2:2005 ~ AISI 316L) lutowanych czystą miedzią. W normalnych warunkach, woda wodociągowa (woda pitna) płynie po stronie niskich parametrów a czynnik grzewczy (np. woda sieciowa) – po stronie wysokich parametrów wymiennika ciepła.

Na powierzchniach mających kontakt z wodą mogą występować dwa problemy, osadzanie się kamienia i korozja. Gazy i sole rozpuszczone w wodzie odgrywają tu główną rolę; poza tym, konstrukcja (np. projekt, użyte materiały, proces produkcji) i warunki robocze (np. temperatura, warunki przepływu, okres bez przepływu) mają wpływ na ryzyko osadzania się kamienia i /lub korozji.

Ponadto, należy wziąć pod uwagę, że prędkość reakcji chemicznych np. prędkość korozji wzrasta wraz ze wzrostem temperatury. Zgodnie z zasadą van't Hoff'a, współczynnik wzrostu wynosi 2 do 3 dla każdych 10°C wzrostu temperatury.

Znając chemiczny skład wody i warunki robocze systemu grzewczego istnieje możliwość oceny ryzyka osadzania się kamienia i korozji. W oparciu o to możliwe jest opracowanie rekomendacji na temat sposobu unikania osadów z kamienia i/lub problemów z korozją. Taki jest cel niniejszej specyfikacji parametrów wody.

## 1.1 Osadzanie się kamienia

Surowa woda używana do produkcji wody pitnej (woda wodociągowa) zawiera wyższą lub niższą zawartość rozpuszczonych gazów i soli w zależności od właściwości geologicznych ujęcia wody. Różnice te powodują także różny skład uzyskanej w efekcie wody pitnej. Dla tworzenia się kamienia szczególnie decydująca jest twardość węglanowa (=zawartość węglanu wodoru) i twardość całkowita, t.j. suma jonów wapnia i magnezu; poza tym wpływ mają również inne jony jak np. siarczany.

Z wyżej wymienionych składników, w podwyższonej temperaturze i/lub uwolnieniu dwutlenku węgla np. przez odgazowanie, może powstać osad wapienny (kamień kotłowy, węglan wapnia,  $\text{CaCO}_3$ ). Dalszy wzrost temperatury może prowadzić osadzania się różnych soli, np. gipsowych ( $\text{CaSO}_4$ ).

Inne związki chemiczne, które są w stanie zablokować podzespoły to żelazo zawierające osady jak "rdza" tj. tlenki żelaza i tlenki wodoru, lub magnetyt. Mogą one nawarstwiać się w samym PHEX, ale mogą zostać również naniesione z innych części całego systemu, gdzie powstały w wyniku procesu korozyjnego.

## 1.2 Korozja

Korozję mogą powodować różne mechanizmy dając w efekcie różne rodzaje korozji. Niektóre z nich zachodzą w PHEX w trakcie eksploatacji. Większość z mechanizmów korozji powodowane są w wyniku reakcji chemicznej, podczas gdy skład chemiczny wody ma różny wpływ na różne materiały.

Oprócz czynników wymienionych wyżej (materiał, warunki robocze...) zawartość tlenu odgrywa zasadniczą rolę w procesie korozji metali. Oprócz tego, wartość pH (stężenie kwasowe), pojemność kwasowa (zdolność buforowania) zawartość soli są istotnymi parametrami powstawania korozji. Dlatego też wiedza na ich temat jest najistotniejsza z punktu widzenia oceny możliwego ryzyka korozji.

Szczegółowe wyjaśnienie różnych rodzajów korozji wychodziłoby poza zakres tego opracowania, jednakże najbardziej typowe rodzaje korozji zostały przedstawione w tabeli 1 poniżej:

**Tabela 1 Typowe rodzaje korozji w płytowych nierdzewnych wymiennikach ciepła lutowanych miedzią<sup>[12]</sup>**

Typ korozji	Opis
Korozja ogólna	Pojawienie się korozji ogólnej w PHEX jest bardziej typowe dla miedzi niż dla stali nierdzewnej. Jeśli na lutowanej miedzi pojawia się korozja, powoduje to utratę mechanicznej wytrzymałości i ewentualne wycieki w wymienniku ciepła.
Korozja szczelinowa	Zazwyczaj wymiennik ciepła nie posiada szczelin, jednak mogą one powstać na skutek osadów z kamienia kotłowego oraz innych rodzajów osadów, jak również na skutek niedokładnych złączy lutowanych.
Korozja galwaniczna	Metaliczny kontakt między miedzią a stalą nierdzewną w otoczeniu wody o wysokim przewodnictwie elektrycznym może spowodować atak korozji w bardziej elektroujemnych metalach, w tym przypadku miedzi.
Korozja naprężeniowa	Pękanie spowodowane korozją naprężeniową (SCC) może pojawić się na stali nierdzewnej, jeśli pojawiają się naprężenia rozciągające lub wysoka ilość chlorków. Zwiększenie temperatury powoduje równoczesne zwiększenie ryzyka wystąpienia korozji naprężeniowej, która pojawia się często w temperaturach powyżej 60°C. <sup>[14]</sup>
Korozja międzykrystaliczna	Na stali nierdzewnej może pojawić się korozja międzykrystaliczna, w przypadku tworzenia się węgla chromu na granicy ziarna podczas nieprawidłowej obróbki cieplnej. Obszary z obniżoną zawartością chromu będą bardziej wrażliwe na korozję.
Kruchość stopionego metalu	Jeśli proces lutowania ma miejsce w zbyt wysokiej temperaturze, wówczas miedź będzie dyfundować w stal nierdzewną i zmniejszy tym samym wytrzymałość płyt ze stali nierdzewnej.

## 2 Parametry wody

### 2.1 Strona niskich parametrów – woda wodociągowa

Parametry zwykłej wody wodociągowej, która determinuje powstawanie korozji w wymienniku ciepła PHEX to: temperatura, pH, twardość węglanowa (alkaliczność), całkowita twardość wody, jak również stężenie chlorków, siarczanów i azotanów; przewodnictwo jest często stosowane jako parametr sumaryczny dla całkowitej zawartości jonów (soli).

Z tego względu, że miedź ma generalnie niższą odporność na korozję niż stal nierdzewna 1.4404 w wodzie wodociągowej, te parametry wody są głównie determinowane przez korozję miedzi. Generalnie, korozja stali nierdzewnej występuje tylko w wodzie wodociągowej o dużym stężeniu chlorków i wysokiej temperaturze.

Poniżej przedstawiono opis najważniejszych parametrów wody oraz ich specyfikacji:

- **Temperatura:** Generalnie, zwiększenie temperatury powoduje zwiększenie stopnia korozji większości metali. Dla miedzi w podgrzewanej wodzie, prawdopodobieństwo korozji wżerowej jest większe przy temperaturach powyżej 60°C. Również ryzyko wystąpienia korozji naprężeniowej powodującej pęknięcie stali nierdzewnej wzrasta w temperaturach powyżej 60°C podobnie jak korozja wżerowa oraz korozja szczelinowa w stali nierdzewnej uzależniona jest od temperatury (patrz część dotycząca chlorków). [1, 2, 14]
- **pH:** Korozja ogólna miedzi, w głównej mierze zależy od poziomu pH i ryzyko wystąpienia korozji jest najmniejsze gdy pH utrzymywane jest pomiędzy poziomem 7,5 a 9,0 [1, 10, 12] Jednak należy pamiętać, że pH w okolicy 7 w normalnej wodzie wodociągowej jest poziomem prawidłowym, należy jednak unikać wody z pH poniżej 7. Woda w systemach centralnego ogrzewania często będzie zasadowa z pH > 10. [4, 5, 6, 8]
- **Zasadowość:** Jeśli poziom wodorowęglanów ( $\text{HCO}_3^-$ ) w wodzie jest niski – np. poniżej 60mg/l, produkty korozji miedzi zostaną rozpuszczone i uwolnione w systemie. Zaleca się również, nie zwiększać stężenia  $\text{HCO}_3^-$  powyżej 300 mg/l. [1, 10, 12]
- **Przewodnictwo:** Wysokie przewodnictwo w wodzie wodociągowej oznacza, że w wodzie tej znajduje się wysokie stężenie substancji jonowych. Generalnie, zwiększenie przewodnictwa w wodzie wodociągowej spowoduje zwiększenie stopnia korozji większości metali. Maksymalna przewodność 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  jest ogólnie przyjętą odpowiednią wartością graniczną. [13]
- **Twardość:** Miedź jest podatna na korozję w bardzo miękkiej wodzie; stosunek  $[\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}] / [\text{HCO}_3^-]$  (liczony w ilościach molowych) musi być z tego powodu być większy od 0,5. [9, 12]
- **Chlorki:** Obecność chlorków w wodzie pitnej zwiększa ryzyko pojawienia się korozji miejscowej w stali nierdzewnej. Wartość graniczna zależy od temperatury według tabeli 2 i 3. [14, 15]
- **Siarczany:** Wysokie stężenie siarczanów zwiększa ryzyko korozji wżerowej w miedzi. Zalecane maksymalne stężenie siarczanów wynosi 100 mg/l; ale możliwość wystąpienia korozji możliwe jest przy niższych wartościach stężenia, jeśli stosunek  $[\text{HCO}_3^-] / [\text{SO}_4^{2-}]$  (liczone w ilościach molowych) jest niższy niż < 1. [1, 10]
- **Azotany:** Jony azotanów mają podobny wpływ na korozję, co siarczany i zaleca się maksymalne zalecane stężenie azotanów na poziomie 100 mg/l. [10, 13]
- **Chlor:** W wielu instalacjach wody wodociągowej, dodatkowo z powodów bakteriologicznych dodawany jest chlor. Chlor jest wysoce utleniający i obniża odporność na korozję stali nierdzewnej. Badania dostawcy stali nierdzewnej Outokumpu Oyj wykazały, że stężenia aktywnego wolnego chloru poniżej poziomu 0,5 mg/l pozwala uniknąć korozji stali nierdzewnej 1.4404. [15]

Poniższa tabela przedstawia zestawienie zalecanych specyfikacji dla wymienników ciepła ze stali nierdzewnej lutowanych miedzią dla wody po stronie niskich parametrów tj. po stronie wody pitnej.

**Tabela 2 Zalecane graniczne wskaźniki jakości wody wodociągowej po stronie niskich parametrów dla PHEX**

Parametr	Uwagi	Wartość
Wygląd		przeźroczysta
Zapach		bez zapachu
Zawartość zanieczyszczeń		wolna od osadów/cząstek
Olej i tłuszcze		< 1 mg/L
pH		między 7 a 10
Przewodnictwo el.		2500 $\mu$ S/cm
Twardość węglanowa <sup>*)</sup>		1 mmol/L < $K_{s\ 4.3}$ < 5 mmol/L <sup>**)</sup>
Twardość całkowita <sup>***)</sup>		$[Ca^{2+}, Mg^{2+}]/[HCO_3^-] > 0.5$
Chlorki		
	w temp. $\leq 20\ ^\circ C$	1000 mg/l
	w temp. $\leq 50\ ^\circ C$	400 mg/l
	w temp. $\leq 80\ ^\circ C$	200 mg/l
	w temp. $> 100\ ^\circ C$	100 mg/l
Siarczany		$[SO_4^{2-}] < 100\ mg/L$ oraz $[HCO_3^-]/[SO_4^{2-}] > 1.5$
Azotany		< 100 mg/L
Azotyny		niedozwolone
Amoniak		< 2,0 mg/L
Wolny chlor		< 0,5 mg/L
Żelazo całkowite		< 0,2 mg/L
Mangan		< 0,05 mg/L

\*) = zawartość węglanu wodoru, przejściowa twardość, zasadowość (węglanowa)

\*\*)  $K_{s\ 4.3}$  = pojemność kwasowa

\*\*\*) = suma jonów wapnia i magnezu

## 2.2 Strona wysokich parametrów – woda sieciowa

Wymagania techniczne wody sieciowej zostały podane w kilku wytycznych krajowych analizowanych do celów tej specyfikacji<sup>[4, 5, 6, 7, 8]</sup>. Wszystkie te wytyczne zajmują się aspektami ochrony wody przed korozją i osadzaniem kamienia ciepłowniczego w układach ciepłowniczych.

Wartości graniczne wskaźników podane w tabeli 3 poniżej stanowią rozsądny kompromis w celu uniknięcia korozji i osadzania się kamienia po stronie niskich parametrów wymiennika ciepła; są one w znacznym stopniu takie same jak dla wody pitnej używanej po stronie wysokich parametrów.

Najważniejsze parametry mające wpływ na odporność na korozję stali nierdzewnej w wodzie sieciowej są chlorki, temperatura i zawartość tlenu. Dopuszczalny poziom chlorków zależy od maksymalnej temperatury, na którą narażony jest PHEX.

Najważniejsze parametry, które mogą ograniczyć ryzyko wystąpienia korozji miedzi jest zapewnienie środowiska wolnego od tlenu (poniżej 0.1 mg/l), środowiska zasadowego (pH poniżej 10) i utrzymanie stężenia amoniaku i siarczynów poniżej minimalnej granicy (por. tabela 3).

W wodzie sieciowej, często używana jest woda zmiękczona lub odsolona o wartości pH około 9-9.5, a tlen jest często usuwany lub chemicznie powiązany. Specjalne warunki należy uzgodnić odnośnie niektórych substancji chemicznych, które są stosowane do uzyskania wartości pH i / lub jako wiązanie dla tlenu.

Należy unikać amoniaku dla uzyskania wartości pH, ze względu na ryzyko korozji miedzi (i mosiądzu). Zamiast tego, powinno użyć się wodorotlenku sodu (NaOH) lub trójchlorek potasu ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) aby zwiększyć poziom pH wody.

Siarczyn sodu ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) był szeroko stosowany, jako wiązanie dla tlenu, ale należy go unikać w systemach z miedzią i stalą nierdzewną. Podczas procesu wiązania się tlenu, siarczyn zamienia się w siarczan. Siarczan może być pożywką dla wielu bakterii, które redukują siarczany do siarczynów i tworzą środowisko korozyjne dla miedzi i stali nierdzewnej. Zamiast tego, można wykorzystać organiczne wiązanie tlenu takie jak garbniki.

Generalnie, podwyższone stężenie siarczynów w wodzie może wskazywać na zanieczyszczenie bakteriami w systemie wody sieciowej. Dlatego też zalecane jest utrzymanie minimalnego poziomu siarczynów w wodzie.

Do wody dodawane są czasem inne wiązania tlenu. Niektóre z nich to witamina C i metyloetyloketoksym (MEKO). Do wody mogą być dodane biocydy, aby kontrolować tworzenie się bakterii w systemie. Tenzydy czasem dodawane są do wody w celu redukcji tarcia w systemie.

**Tabela 3 Zalecane graniczne wskaźniki jakości wody sieciowej po stronie wysokich parametrów**

Parametr	Uwagi	Wartość
Wygląd		przezroczysta
Zapach		bez zapachu
Zawartość zanieczyszczeń		wolna od osadów/cząstek
Olej i tłuszcze		< 1 mg/L
pH przy 25°C		7 do 10
Resztkowa twardość wody		$[\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-] > 0.5$ , < 0.5 mmol/L (2.8 °dH)
Przewodnictwo przy 20°C		2500 µS/cm
Tlen		< 0.1 mg/L (jak najniższa)
Chlorki		
	w temp. ≤ 20 °C	1000 mg/l
	w temp. ≤ 50 °C	400 mg/l
	w temp. ≤ 80 °C	200 mg/l
	w temp. > 100 °C	100 mg/l
Siarczany		$[\text{SO}_4^{2-}] < 100$ mg/L oraz $[\text{HCO}_3^-]/[\text{SO}_4^{2-}] > 1.5$
Siarczyny	np. użycie wiązania tlenu	< 10 mg/L
Siarczyny		< 0.02 mg/L
Azotany		< 100 mg/L
Amoniak		< 2.0 mg/L
Całkowity organiczny węgiel TOC		< 30 mg/L

### 2.3 Twardość, osadzanie się kamienia i gwarancja

Zdolność wymiany ciepła w płytowych wymiennikach ciepła zmniejsza się w wyniku wytrącania się składników wody (kamienia kotłowego) i osadzanie się zanieczyszczeń. Osadzanie się kamienia jest zwykle powodowane obecnością soli wapnia i magnezu.

Twardość całkowita jest zasadniczo sumą jonów wapnia ( $\text{Ca}^{++}$ ) i magnezu ( $\text{Mg}^{++}$ ) w wodzie. Zwykle wyrażana jest w miligramach na litr (mg/L) lub częściach na milion (ppm) węglanu wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) lub stopniach twardości (°dH). Niemieckie °dH są równe 17,8 ppm  $\text{CaCO}_3$ .

Od 2004 twardość wody klasyfikowana jest w Unii Europejskiej zgodnie z Rozporządzeniem Wspólnoty Europejskiej (EC) Nr 648/2004 w sprawie detergentów<sup>[16]</sup> w sposób pokazany w poniższej tabeli.

**Tabela 4 Klasyfikacja twardości wody zgodnie z Rozporządzeniem EC nr 648/2004 w sprawie detergentów.**

Zakres twardości	Węglan wapnia [mmol/L]	Węglan <sub>2</sub> wapnia [mg/L]	°dH <sup>1)</sup>
miękką	poniżej 1.5	poniżej 150	poniżej 8,4 °dH
średniotwarda	1,5 do 2,5	150 do 250	8,4 do 14 °dH
twarda	powyżej 2.5	powyżej 250	powyżej 14 °dH

<sup>1)</sup> Zgodnie z *Système international d'unités* z 1971, suma berylowców podana została w mmol/L.

<sup>2)</sup> Zestawienie wartości w mg/L oraz "niemiecki stopień twardości °dH" są wartościami tylko orientacyjnymi.

Podgrzanie wody o wysokiej twardości powoduje wytrącania się osadu wapniowego (CaCO<sub>3</sub>). Występuje on w formie warstwy na powierzchni płyty. Podgrzanie powyżej 55°C może spowodować zwiększone wytrącanie się osadu wapniowego. Obniży to zdolność wymiany ciepła w płytowych wymiennikach ciepła.

Ważne dlatego też jest wybór wymienników ciepła Danfoss o rozmiarze, które zabezpieczają odpowiednio wysoką prędkość przepływu. Pomoże to ograniczyć osadzanie się kamienia kotłowego.

Zawarte w wodzie zanieczyszczenia mogą również osadzać się w postaci warstwy na powierzchni płyty.

Zanieczyszczenia i osad wapniowy mogą zostać usunięte poprzez przepłukanie wymiennika różnego rodzaju środkami chemicznymi, w zależności od składu chemicznego osadu. Danfoss zaleca korzystanie z dostawców posiadających uznaną technologię i doświadczenie w czyszczeniu wymienników ciepła.

Płukanie może usunąć osady oraz zwiększyć zdolność wymiany ciepła, ale również może być powodem skrócenia żywotności wymiennika ciepła.

***Danfoss District Heating nie bierze odpowiedzialności gwarancyjnej za wymienniki ciepła:***

- *o obniżonej sprawności spowodowanej osadzaniem się wapnia i kamienia kotłowego.*
- *nieszczelnych zewnętrznie lub wewnętrznie po płukaniu w celu usunięcia osadów i kamienia.*
- *nieszczelnych zewnętrznie lub wewnętrznie z powodu korozji spowodowanej parametrami wody jeśli zalecenia odnośnie jakości wody zawarte w niniejszych wytycznych nie zostały spełnione.*



### 3 Dokumenty referencyjne

- [1] EN 12502-2:2004. Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems – Part 2: Influencing factors for copper and copper alloys [Ochrona materiałów metalicznych przed korozją – Wytyczne odnośnie oceny prawdopodobieństwa wystąpienia korozji w systemach przechowywania i dystrybucji wody – Część 2: Wpływ miedzi i stopów miedzi]
- [2] EN 12502-4:2004. Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems – Part 4: Influencing factors for stainless steels [Ochrona materiałów metalicznych przed korozją – Wytyczne odnośnie oceny prawdopodobieństwa wystąpienia korozji w systemach przechowywania i dystrybucji wody – Część 4: Czynniki wpływające na stale nierdzewne]
- [3] EN 14868:08-2005 Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in closed water circulation systems. [Ochrona materiałów metalicznych przed korozją – Wytyczne odnośnie oceny prawdopodobieństwa wystąpienia korozji w systemach przechowywania i dystrybucji wody.]
- [4] VDI 2035-2:08-2009 Prevention of damage in water heating installations, Part 2: Waterside corrosion. [Ochrona przed uszkodzeniami w instalacjach podgrzewania wody, Część 2: Korozja ze strony wody].
- [5] AGFW-Arbeitsblatt FW 510:06-2011 Requirements for circulation water in industrial and district heating systems and recommendations for their operation. [Wymagania dla wody obiegowej w przemysłowych i sieciowych systemach grzewczych oraz zalecenia odnośnie ich eksploatacji].
- [6] ÖNORM H 5195-1:12-2010 Heat medium for technical building equipment, Part 1: Prevention of damage by corrosion and scale formation in closed warm-water-heating systems. [Czynnik grzewczy dla technicznych urządzeń budowlanych, Część: 1 Zapobieganie uszkodzeniom korozyjnym i tworzeniu się kamienia kotłowego w zamkniętych systemach podgrzewania wody ciepłej].
- [7] SWKI BT 102-01:04-2012, Richtlinie “Wasserbeschaffenheit für Gebäudetechnik-Anlagen“ Ed.: Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren, [www.swki.ch](http://www.swki.ch)
- [8] DFF-guideline “Vandbehandling og korrosionsforebyggelse i fjernvarmesystemer”. DFF Danske Fjernvarmeværkers Forening, 1999.
- [9] Mattsson, E., 1988. Counteraction of pitting in copper water pipes by bicarbonate dosing. [Przeciwdziałanie wżerom w miedzianych rurach wodociągowych za pomocą dodawania wodorowęglanu] Werkstoffe und Korrosion **39**,499-503
- [10] Mattsson, E., 1990. Tappvattensystem av kopparmaterial. Korrosionsinstitutet, ISBN 91-7332-558-9.
- [II] Anonymus, 2004. Fachthema Gelötete Plattenwärmeüberträger. Euroheat & Power **33**, 3, 96-104
- [12] Nilsson, K., Klint, D., Johansson, M., 2007. Corrosion aspects of compact heat exchangers consisting of stainless steel plates brazed with copper filler metal in water applications”[Aspekty korozji cokompaktowych wymienników ciepła z płyt nierdzewnych lutowanych miedzią w zastosowaniach wodnych], 14 Nordycki Kongress na temat Korozji, Kopenhaga, Dania.
- [13] Pajonk, G., niedatowane. “Korrosionsschäden an gelöteten Plattenwärmetauschern”, Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund. [http://www.vau-thermotech.de/mediapool/40/409506/data/Korrosionsschaeden\\_an\\_geloeteten\\_Plattenwaermetauschern.pdf](http://www.vau-thermotech.de/mediapool/40/409506/data/Korrosionsschaeden_an_geloeteten_Plattenwaermetauschern.pdf)
- [14] Outokumpu Corrosion Handbook for Stainless Steels” [Podręcznik korozji dla stali nierdzewnych], Wydanie dziesiąte, 2009

- [15] Mameng, S., Pettersson, R., 2011. "Localised corrosion of stainless steels depending on chlorine dosage in chlorinated water" [Korozja miejscowa stal nierdzewnych w zależności od dawek chloru w wodzie chlorowanej]. Outokumpu acom 03-2011.
- [16] Rozporządzenie (EC) No 648/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 31 marca 2004 w sprawie detergentów