

Îndrumar de calitate a apei în schimbătoarele de căldură cu plăci plane brazate în cupru

Rezumat

Departamentul Termoficare din cadrul Danfoss a elaborat acest îndrumar pe baza raportului realizat de Marie Louise Petersen, de la Departamentul Danfoss de Service-Tehnologie Industrială, privind calitatea apei la robinet și a apei folosite în instalația de termoficare trecută prin schimbătoarele de căldură cu plăci din oțel inoxidabil (EN Nr. 1.4404 ~ AISI 316L) brazate cu cupru pur. Apa care curge prin aceste schimbătoare cu plăci plane variază foarte mult de la o instalație la alta și coroziunea poate fi o problemă în anumite situații.

Departamentul Termoficare din cadrul Danfoss nu poate să își asume responsabilitatea pentru reclamațiile privind coroziunea cauzată de apă dacă recomandările din acest îndrumar de calitate a apei nu sunt respectate.

Este important să precizăm că respectarea specificațiilor de calitate a apei nu reprezintă o garanție a faptului că nu va apărea efectul de coroziune, însă acestea trebuie considerate ca fiind o unealtă utilizată pentru evitarea problemelor grave în aplicațiile pe bază de apă. O prezentare sumară a celor mai importanți parametri privind calitatea apei și a limitelor recomandate este oferită în tabelele 1 și 2 de mai jos. Aceste limite sunt valabile doar pentru schimbătoarele cu plăci plane din oțel inoxidabil (EN Nr. 1.4404 ~ AISI 316L) brazate cu cupru pur.

Tabelul 1. Limitele recomandate ale calității apei pentru apa la robinet în circuitul secundar.

Parametru	Limitele recomandate ale calității apei pentru apa la robinet în circuitul secundar
Temperatură	Depinde de compoziția apei, însă trebuie să fie sub 60 °C pentru a limita riscul apariției coroziunii oțelului inoxidabil tensionat și corodarea cuprului de către apa caldă.
pH	7-9
Alcalinitate	60 mg/l < [HCO ₃ ⁻] < 300 mg/l
Conductivitate	< 500 μS/cm
Duritate	[Ca ²⁺ , Mg ²⁺]/[HCO ₃ ⁻] > 0,5
Cloruri	1.000 mg/l la 25 °C 300 mg/l la 50 °C 100 mg/l la 80 °C 0 mg/l la T > 100°C
Sulfați	[SO ₄ ²⁻] < 100 mg/l și [HCO ₃ ⁻]/[SO ₄ ²⁻] > 1
Nitrați	[NO ₃ ⁻] < 100 mg/l
Clor liber	< 0,5 mg/l

Dacă este utilizată apă de robinet netratată ca apă suplimentară în sistemele de termoficare, majoritatea limitelor de calitate a apei vor fi similare recomandărilor stabilite pentru apa la robinet în circuitul secundar.

Tabelul 2. Limitele recomandate ale calității apei folosite în instalația de termoficare în circuitul primar.

Clasa de calitate	Limitele recomandate ale calității apei folosite în instalația de termoficare în circuitul primar			
	Netratată	Dedurizată	Parțial desalinizată	Desalinizată
Apă suplimentară	Apă la robinet	Dedurizată	Dedurizată și/sau desalinizată	Desalinizată
Aspect	Transparentă	Transparentă	Transparentă	Transparentă
Miros	Fără miros	Fără miros	Fără miros	Fără miros
Particule	< 10 mg/l	< 10 mg/l	< 5 mg/l	< 1 mg/l
Ulei și grăsimi	< 1 mg/l	< 1 mg/l	< 1 mg/l	< 1 mg/l
pH la 25 °C	Cf. tabelului 1	9,8 ± 0,2	9,8 ± 0,2	9,8 ± 0,2
Duritatea reziduală a apei	Cf. tabelului 1	< 0,5 °dH	< 0,2 °dH	< 0,1 °dH
Conductivitatea la 25 °C	Cf. tabelului 1	< 1.500 μS/cm	< 500 μS/cm	< 25 μS/cm
Oxigen		< 0,02 mg/l	< 0,02 mg/l	< 0,02 mg/l
Cloruri	Cf. tabelului 1	< 300 mg/l	< 50 mg/l	< 3 mg/l
Sulfați	Cf. tabelului 1			< 2 mg/l
Sulfuri	< 1 mg/l	< 1 mg/l	< 1 mg/l	< 1 mg/l
Nitrați	Cf. tabelului 1			
Clor liber	Cf. tabelului 1			
Amoniac		< 10 mg/l	< 5 mg/l	< 5 mg/l
Conținut total de fier		< 0,1 mg/l	< 0,1 mg/l	< 0,05 mg/l
Conținut total de cupru		< 0,02 mg/l	< 0,02 mg/l	< 0,01 mg/l

Introducere

Departamentul Termoficare din cadrul Danfoss a elaborat acest îndrumar de calitate a apei la robinet și a apei folosite în instalația de termoficare trecută prin schimbătoarele de căldură din oțel inoxidabil (EN Nr. 1.4404 ~ AISI 316L) brazate cu cupru pur. Apa care curge prin aceste schimbătoare cu plăci plane variază foarte mult de la o instalație la alta și coroziunea poate fi o problemă în anumite situații. Elaborarea unei specificații pentru apă poate limita riscul de coroziune indus de apă.

În mod normal, apa de robinet curge prin circuitul secundar, iar un mediu de încălzire (de exemplu, apa folosită în instalația de termoficare) curge prin circuitul primar al schimbătorului de căldură.

Coroziunea

În timpul utilizării unui schimbător de căldură pot apărea mai multe tipuri de coroziune. O explicație detaliată a diverselor tipuri de coroziune nu va fi prezentată în acest raport, însă în tabelul 3 este oferită o prezentare generală a celor mai obișnuite tipuri de coroziune.^[3]

Tabelul 3. Fenomenele de corodare obișnuite care apar în schimbătoarele de căldură cu plăci plane din oțel inoxidabil brazate cu cupru.^[3]

Tipul de coroziune	Descriere
Coroziune localizată	În mod normal, schimbătoarele de căldură nu au fisuri, însă acestea se pot forma sub depunerile de calcar sau de alte materiale, precum și la îmbinările brazate imperfect.
Coroziune generalizată	Dacă are loc un proces de corodare generalizată, în mod normal cuprul se va coroda, nu oțelul inoxidabil. Dacă brazarea cu cupru se corodează, rezultatul va fi pierderea puterii mecanice și apariția scurgerilor din schimbătorul de căldură.
Coroziune galvanică	Contactul metalic imersat în apă dintre cupru și oțelul inoxidabil poate provoca un atac coroziv asupra metalului cu proprietăți electronegative mai puternice, în acest caz cuprul.
Coroziune sub sarcină	Coroziunea sub sarcină poate apărea dacă limita de rezistență la tracțiune a oțelului inoxidabil și limita de cloruri sunt depășite. Creșterea temperaturii va spori și mai mult riscul de coroziune sub sarcină, care apare adeseori la temperaturi de peste 60 °C. ^[6]
Coroziune intergranulară	Coroziunea intergranulară poate apărea dacă în oțelul inoxidabil se formează carbură de crom în marginile granulate în timpul unei tratări termice neadecvate. Zonele cu un conținut redus de crom vor fi mai sensibile la coroziune.
Fragilitate la metale lichide	Dacă procesul de brazare are loc la o temperatură de brazare prea ridicată, cuprul se va difuza în oțelul inoxidabil și va determina scăderea rezistenței plăcilor din oțel inoxidabil.

Specificațiile de calitate a apei

Circuitul secundar – Apa la robinet

Parametrii apei uzuale de la robinet, care determină stabilitatea generală la coroziune a schimbătoarelor de căldură cu plăci, sunt: temperatura, pH-ul, conductivitatea, duritatea, alcalinitatea, precum și concentrația de cloruri, sulfati și nitrați.

Deoarece, în general, cuprul are o stabilitate la coroziune mai redusă decât oțelul inoxidabil (EN Nr. 1.4404) în cazul apei la robinet, specificațiile de calitate a apei sunt determinate în principal de coroziunea cuprului. În general, corodarea oțelului inoxidabil în apa potabilă are loc doar dacă acesta intră în contact cu apă de robinet cu concentrație ridicată de cloruri și cu o temperatură ridicată.

O descriere a celor mai importanți parametri de calitate ai apei și a specificațiilor aferente este oferită mai jos.

- **Temperatură:** în general, creșterea temperaturii va spori viteza de corodare pentru majoritatea metalelor. Pentru cuprul imersat în apă caldă, posibilitatea apariției coroziunii este mai ridicată la temperaturi de peste 60 °C. De asemenea, riscul de apariție a fisurilor provocate de coroziunea sub sarcină a oțelului inoxidabil va crește la temperaturi mai mari de 60 °C, iar corodarea în puncte și apariția fisurilor de corodare în oțelul inoxidabil depinde, de asemenea, de temperatura apei (vezi și secțiunea privind clorurile).^[2,5,6]
- **Valoare pH:** coroziunea generalizată a cuprului depinde în primul rând de valoarea pH, iar riscul de apariție a coroziunii este cel mai scăzut dacă pH-ul este menținut la o valoare mai mare de 7,5 și mai mică de 9,0.^[1,2,3] În practică, valoarea pH normală pentru apa de robinet nu este decât de aproximativ 7; în aceste condiții, este recomandată evitarea apei cu o valoare a pH-ului mai mică de 7.
- **Alcalinitate:** dacă conținutul de hidrogenocarbonat (HCO_3^-) al apei este foarte scăzut, de exemplu sub 60 mg/l, produsele coroziunii cuprului vor fi dizolvate și eliberate în sistem. De asemenea, nu este recomandată depășirea unei concentrații de HCO_3^- de 300 mg/l.^[1,2,3]
- **Conductivitate:** conductivitatea ridicată a apei de robinet presupune o concentrație ridicată de substanțe ionice. În general, creșterea conductivității apei de robinet determină creșterea vitezei de coroziune a majorității metalelor. O conductivitate maximă de 500 $\mu\text{S/cm}$ este, în general, o valoare limită adecvată.^[4]
- **Duritate:** cuprul este predispus la coroziune în apa cu duritate foarte redusă, iar raportul $[\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}] / [\text{HCO}_3^-]$ trebuie să aibă din acest motiv o valoare mai mare de 0,5.^[3]
- **Cloruri:** prezența clorurilor în apa potabilă sporește riscul apariției coroziunii localizate asupra oțelului inoxidabil. Valorile limită vor depinde de temperatură, conform tabelului 4.^[3]

Tabelul 4. Limitele recomandate de cloruri pentru diverse temperaturi.^[3]

Limita de cloruri
1000 mg/l la 25 °C
300 mg/l la 50 °C
100 mg/l la 80 °C
0 mg/l la T > 100 °C

- **Sulfazi:** o concentrație ridicată de sulfazi va spori riscul de coroziune în puncte a cuprului. Se recomandă o concentrație maximă a sulfazilor de 100 mg/l, însă corodarea poate să aibă loc și la concentrații mai reduse dacă raportul dintre $[\text{HCO}_3^-] / [\text{SO}_4^{2-}]$ este mai mic de 1.^[1,2,]
- **Nitrați:** ionii de nitrați au o influență similară celei a sulfazilor; prin urmare se recomandă o concentrație maximă de 100 mg/l.^[1,4]

În multe instalații de apă de robinet, adăugarea clorului este necesară din motive bacteriologice. Clorul are un efect oxidant ridicat și scade rezistența la coroziune a oțelului inoxidabil. Compania Alfa Laval recomandă menținerea clorului activ liber la un nivel mai mic de 0,5 mg/l pentru a evita corodarea oțelului inoxidabil 316L (= EN Nr. 1.4404).^[3]

Circuitul primar – Apa folosită în instalații de termoficare

Specificațiile de calitate a apei folosite în instalații de termoficare au fost oferite în îndrumarul elaborat de DFF (*Danske Fjernvarmeværkers Forening*). Îndrumarul prezintă aspecte privind tratarea apei și prevenirea coroziunii în sistemele de termoficare.^[7]

Îndrumarul DFF prezintă patru feluri de apă care trece prin sistemele de termoficare:

1) apă la robinet netratată, 2) apă dedurizată, 3) apă parțial desalinizată și 4) apă desalinizată.

Specificațiile apei folosite în instalațiile de termoficare vor depinde de alegerea apei suplimentare, conform indicațiilor din tabelul 5.

Tabelul 5. Specificațiile de calitate a apei folosite în instalații de termoficare conform îndrumarului DFF.^[7]

Clasa de calitate		Netratată	Dedurizată	Parțial desalinizată	Desalinizată
Apă suplimentară		Apă la robinet	Dedurizată	Dedurizată și/sau desalinizată	Desalinizată
Aspect		Transparentă	Transparentă	Transparentă	Transparentă
Miros		Fără miros	Fără miros	Fără miros	Fără miros
Particule	mg/l	<10	<10	<5	<1
Ulei și grăsimi	mg/l	<1	<1	<1	<1
pH la 25 °C			9,8 ± 0,2	9,8 ± 0,2	9,8 ± 0,2
Duritatea reziduală a apei*	°dH		<0,5	<0,2	<0,1
Conductivitate la 25 °C	μS/cm		<1.500	<500	<25
Oxigen	mg/l		<0,02	<0,02	<0,02
Cloruri	mg/l	<300 **	<300 **	<50 **	<3
Sulfazi	mg/l				<2
Amoniac	mg/l		<10	<5	<5
Conținutul total de fier	mg/l		<0,1	<0,1	<0,05
Conținutul total de cupru	mg/l		<0,02	<0,02	<0,01

* Specificațiile suplimentare de calitate a apei pot fi necesare în cazul suprafețelor de încălzire și al construcției de cazane.

** Clorurile și temperatura reprezintă cerințe speciale din punctul de vedere al rezistenței la coroziune a oțelului inoxidabil; consultați tabelul 4.

Limitele indicate în tabelul 5 reprezintă măsuri rezonabile de prevenire a coroziunii în circuitul primar al schimbătorului de căldură cu plăci, însă acestea trebuie să fie mai largi în cazul utilizării apei netratate, astfel încât aceasta să respecte cerințele apei la robinet utilizate în circuitul secundar.

Cei mai importanți parametri care influențează rezistența la coroziune a oțelului inoxidabil imersat în apa folosită în instalații de termoficare sunt clorurile, temperatura și conținutul de oxigen. Limita acceptabilă de cloruri va depinde de alegerea apei suplimentare, conform indicațiilor din tabelul 5. În plus, în cazul în care conținutul de oxigen este ridicat, riscul de corodare a oțelului inoxidabil va crește. Deși un conținut de oxigen mai mic de 0,02 mg/l este de dorit, această valoare este adeseori mai ridicată în practică. Pentru apa netratată folosită în instalațiile de termoficare, cu un conținut ridicat de oxigen, această valoare va scădea cu timpul, pe măsură ce oxigenul este utilizat în procesele de coroziune din interiorul sistemului.

Cele mai importante elemente de limitare a riscului de coroziune a cuprului sunt utilizarea unui mediu lipsit de oxigen (sub 0,02 mg/l), a unui mediu cu alcalinitate redusă (valoare pH sub 10) și menținerea conținutului de amoniac și sulfuri sub limitele minime.

Pentru apa folosită în instalațiile de termoficare, se recomandă utilizarea apei dedurizate sau desalinizate și tratate pentru obținerea unei valori pH de aproximativ 9-9,5, iar oxigenul trebuie fie eliminat, fie legat chimic.

Măsuri de precauție speciale se aplică în cazul substanțelor chimice utilizate la tratarea apei pentru obținerea valorii pH dorite și/sau pentru legarea chimică a oxigenului.

Trebuie evitată utilizarea amoniacului la tratarea apei pentru obținerea valorii pH din cauza sporirii riscului de coroziune a cuprului și bronzului. În locul amoniacului trebuie utilizat hidroxid de sodiu (NaOH) sau trifosfat de sodiu (Na₃PO₄) pentru creșterea valorii pH a apei.

Sulfitul de sodiu (Na₂SO₃) a fost utilizat pe scară largă pentru legarea oxigenului, însă utilizarea acestei substanțe trebuie evitată în instalațiile care conțin componente din cupru și oțel inoxidabil. În timpul procesului de legare a oxigenului, sulfitul se transformă în sulfat. Sulfatul are rolul de substanță nutritivă pentru anumite bacterii care transformă sulfatul în sulfid și creează un mediu corosiv pentru cupru și oțel inoxidabil.

În locul sulfidului de sodiu, utilizați substanțe organice pentru legarea oxigenului, precum taninii. Concentrația ridicată de sulfid din apă ar putea indica existența unei probleme cu bacteriile în sistemul de termoficare. Prin urmare, se recomandă limitarea la minimum a conținutului de sulfid din apă.

Alte substanțe pentru legarea oxigenului sunt adăugate uneori în apă, precum vitamina C și metiletilcetoxima (MEKO). De asemenea în apă sunt adăugate substanțe biocide, acestea având rolul de a împiedica dezvoltarea bacteriilor în sistem. Uneori sunt adăugate în apă și substanțe tenside pentru a reduce frecarea în interiorul sistemului.

Concluzie

Departamentul Termoficare din cadrul Danfoss a elaborat acest îndrumar pe baza raportului realizat de Marie Louise Petersen, de la Departamentul Danfoss de Service-Tehnologie Industrială, privind calitatea apei la robinet și a apei folosite în instalația de termoficare trecută prin schimbătoarele de căldură cu plăci din oțel inoxidabil (EN Nr. 1.4404 ~ AISI 316L) brazate cu cupru pur.

Departamentul Termoficare din cadrul Danfoss nu poate să își asume responsabilitatea pentru reclamațiile privind coroziunea cauzată de apă dacă recomandările din acest îndrumar de calitate a apei nu sunt respectate.

Este important să precizăm că respectarea specificațiilor de calitate a apei nu reprezintă o garanție a faptului că nu va apărea efectul de coroziune, însă acestea trebuie considerate ca fiind o unealtă utilizată pentru evitarea problemelor grave în aplicațiile pe bază de apă. O prezentare sumară a celor mai importanți parametri privind calitatea apei și a limitelor recomandate este oferită în tabelele 6 și 7. Aceste limite sunt valabile doar pentru schimbătoarele cu plăci plane din oțel inoxidabil (EN Nr. 1.4404 ~ AISI 316L) brazate cu cupru pur.

Capacitatea de transfer termic în schimbătoarele de căldură cu plăci poate fi redusă din cauza precipitării conținutului apei și a depunerilor de impurități.

Încălzirea apei cu duritate mare la temperaturi de peste 55 °C va provoca precipitarea masivă a calcarului (Ca^{2+}) care se va depune pe suprafața plăcilor.

Conținutul de impurități poate de asemenea forma un strat pe suprafața plăcilor.

Aceste impurități pot fi îndepărtate prin spălarea schimbătorului de căldură cu diverse tipuri de lichide, în funcție de compoziția depunerilor. Danfoss recomandă utilizarea unui lichid precum Kaloxi și a unei pompe fabricate de un furnizor de renume precum Termorens, sau a unei pompe similare fabricate de alți furnizori, precum Alfa Laval.

Spălarea poate îndepărta depunerile și crește capacitatea de transfer termic, însă poate provoca și reducerea duratei de utilizare a schimbătorului de căldură.

Departamentul de Termoficare din cadrul Danfoss nu își asumă responsabilitatea pentru schimbătoarele de căldură care prezintă scurgeri externe sau interne în urma spălării, în cazul în care acestea sunt provocate de calitatea inferioară a apei utilizate.

Tabelul 6. Limitele de calitate a apei recomandate pentru apa la robinet din circuitul secundar.

Parametru	Limitele de calitate a apei recomandate pentru apa la robinet din circuitul secundar
Temperatură	Depinde de compoziția apei, însă trebuie să fie sub 60 °C pentru a limita riscul apariției coroziunii sub sarcină a oțelului inoxidabil și corodarea în puncte a cuprului de către apa caldă.
pH	7-9
Alcalinitate	60 mg/l < $[\text{HCO}_3^-]$ < 300 mg/l
Conductivitate	< 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Duritate	$[\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-] > 0,5$
Cloruri	1.000 mg/l la 25 °C 300 mg/l la 50 °C 100 mg/l la 80 °C 0 mg/l la T > 100°C
Sulfați	$[\text{SO}_4^{2-}] < 100 \text{ mg/l}$ și $[\text{HCO}_3^-]/[\text{SO}_4^{2-}] > 1$
Nitrați	$[\text{NO}_3^-] < 100 \text{ mg/l}$
Clor liber	< 0,5 mg/l

Tabelul 7. Limitele recomandate ale calității apei folosite în instalația de termoficare în circuitul primar.

Clasa de calitate	Netratată	Dedurizată	Parțial desalinizată	Desalinizată
Apă suplimentară	Apă la robinet	Dedurizată	Dedurizată și/sau desalinizată	Desalinizată
Aspect	Transparentă	Transparentă	Transparentă	Transparentă
Miros	Fără miros	Fără miros	Fără miros	Fără miros
Particule	< 10 mg/l	< 10 mg/l	<5 mg/l	<1 mg/l
Ulei și grăsimi	<1 mg/l	<1 mg/l	<1 mg/l	<1 mg/l
pH la 25 °C	Cf. tabelului 6	9,8 ± 0,2	9,8 ± 0,2	9,8 ± 0,2
Duritatea reziduală a apei	Cf. tabelului 6	<0,5 °dH	<0,2 °dH	<0,1 °dH
Conductivitate la 25 °C	Cf. tabelului 6	<1.500 μS/cm	<500 μS/cm	<25 μS/cm
Oxigen		<0,02 mg/l	<0,02 mg/l	<0,02 mg/l
Cloruri	Cf. tabelului 6	<300 mg/l	<50 mg/l	<3 mg/l
Sulfați	Cf. tabelului 6			<2 mg/l
Sulfiți	<1 mg/l	<1 mg/l	<1 mg/l	<1 mg/l
Nitrați	Cf. tabelului 6			
Clor liber	Cf. tabelului 6			
Amoniac		< 10 mg/l	<5 mg/l	<5 mg/l
Conținut total de fier		<0,1 mg/l	<0,1 mg/l	<0,05 mg/l
Conținut total de cupru		<0,02 mg/l	<0,02 mg/l	<0,01 mg/l

Referințe

1. Einar Mattson; „Tappvattensystem av kopparmaterial”; Korrosionsinstitutet; 1990; ISBN 91-7332-558-9.
2. EN 12502-2:2004(E), „Protejarea materialelor metalice împotriva coroziunii – Îndrumar privind estimarea posibilității de apariție a coroziunii în sistemele de distribuție și depozitare a apei - partea a 2-a: Factori de influență asupra cuprului și aliajelor din cupru”.
3. Materiale de la Alfa Laval, „Aspecte privind coroziunea în schimbătoarele de căldură cu plăci care conțin plăci din oțel inoxidabil brazate cu cupru, montate în instalații cu apă”, al 14-lea Congres scandinav privind coroziunea, 2007.
4. G. Pajonk, „Korrosionsschäden an gelöteten Plattenwärmetauschern”, Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund.
5. EN 12502-4:2004(E), „Protejarea materialelor metalice împotriva coroziunii – Îndrumar privind estimarea posibilității de apariție a coroziunii în sistemele de distribuție și depozitare a apei - partea a 2-a: Factori de influență asupra oțelului inoxidabil”.
6. Sandvik Steel, „Îndreptarul Sandvik privind corodarea oțelului – oțelul inoxidabil”, 1994, ISBN 91-630-2124-2.
7. Îndrumarul DFF, „Vandbehandling og korrosionsforebyggelse i fjernvarmesystemer”, Danske Fjernvarmeværkers Forening, 1999.