

## Vasega joodetud plaatsoojusvahetite veekvaliteedi suunised

### 0 Kokkuvõte

Danfoss District Heating on koostanud need vasega joodetud roostevabast terasest (1.4404, X2CrNiMo17-12-2 vastavalt standardile EN 10088-2:2005 ~ AISI 316L) plaatsoojusvahetites kasutatava kraanivee ja kaugküttevee kvaliteedi suunised.

Joodetud plaatsoojusvahetites voolav vesi erineb sõltuvalt süsteemist suurel määral ja teatud olukordades võib probleemiks olla korrosioon. Need suunised põhinevad põhjalikul kirjanduse läbitöötamisel ja meie aastakümnete pikkusel vasega joodetud roostevabast terasest plaatsoojusvahetite kasutamise kogemusel.

Oluline on rõhutada, et siin toodud vee kvaliteedinäitajad ei garanteeri korrosiooni vältimist, kuid neid tuleks arvesse võtta abivahendina kõige kriitilisemate veesüsteemide vältimiseks.

Parameetrite ja nende soovitatavate piirmäärade kokkuvõte on esitatud tabelis 2 (sekundaarpoole vesi – kraanivesi, joogivesi) ja tabelis 3 (primaarpoole vesi – soojusvarustus, kaugküttevesi).

Need piirmäärad kehtivad ainult vasega joodetud 1.4404 roostevaba terasest plaatsoojusvahetitele.

### 1 Sissejuhatus

Danfoss District Heating on koostanud need vasega joodetud roostevabast terasest (1.4404, X2CrNiMo17-12-2 vastavalt standardile EN 10088-2:2005 ~ AISI 316L) soojusvahetites kasutatava kraanivee ja kaugküttevee kvaliteedi suunised. Tavaliselt voolab kraanivesi (joogivesi) soojusvaheti sekundaarpoolel ja soojuskandja (nt kaugküttevesi) primaarpoolel.

Veega kokku puutuvatel pindadel võib esineda kahte tüüpi probleeme: katlakivi teke ja korrosioon. Katlakivi- ja/või korrosiooniriski mõjutavad peamiselt vees lahustunud gaasid ja soolad, kuid lisaks ka komponendi kujundus (nt ehitus, kasutatud materjalid, tootmisprotsess) ning töötingimused (nt temperatuur, voolamistingimused, kasutuseta oleku ajavahemikud).

Lisaks tuleb arvestada, et keemiliste reaktsioonide kiirus (nt korrosiooni kiirus) suureneb temperatuuri tõustes. van't Hoffi reegli kohaselt suureneb temperatuuri 10 °C võrra tõusmisel reaktsiooni kiirus 2 kuni 3 korda.

Kui vee keemiline koostis ja küttesüsteemi töötingimused on teada, saab prognoosida katlakivi- ja korrosiooniriski. Selle põhjal saab anda soovitusi komponendi katlakivi ja/või korrosiooni tekke probleemide vältimiseks. Eelnev ongi selle vee kvaliteedinäitajate suuniste eesmärk.

### **1.1 Katlakivi teke**

Joogivee (kraanivee) tootmiseks kasutatav toorvesi sisaldab sõltuvalt veevõtukohta geoloogilistest omadustest vähem või rohkem lahustunud gaase ja soolasid. Need erinevused põhjustavad ka lõpliku joogivee koostise erinevuse. Katlakivi teket mõjutavad eriti karbonaatkaredus (st vesinikkarbonaadi sisaldus) ja üldkaredus (st kaltsium- ja magneesiumioonide summa). Lisaks mõjutavad seda ka muud ioonid (nt sulfaadid).

Ülalmainitud ühenditest võib katlakivi (kaltsiumkarbonaat,  $\text{CaCO}_3$ ) moodustuda temperatuuri tõustes ja/või süsinikdioksiidi eraldumisel (nt degaseerumine).

Temperatuuri edasine tõusmine võib põhjustada muude soolade (nt kips ( $\text{CaSO}_4$ )) sadestumist.

Muud komponentide ummistumist põhjustavad ühendid on rauda sisaldavad setted, nagu rooste (st raudoksiidid ja -hüdroksiid või magnetiit). Need võivad moodustuda plaatsoojusvahetis endas või uhtuda süsteemi muudest osadest, mis on korrodeerunud.

### **1.2 Korrosioon**

Korrosiooni võivad põhjustada erinevad protsessid, mille tagajärjeks võib olla mitmesugust eri tüüpi korrosioone. Osad neist võivad aset leida plaatsoojusvaheti hooldamise ajal. Enamik korrosiooniprotsesse on keemilise põhjusega. Vee keemiline koostis mõjutab erinevaid materjale erinevalt.

Metallide korrosiooni mõjutab lisaks eelmainitud teguritele (materjal, töötingimused...) ka hapnikusisaldus. Korrosiooni tekkeks on olulised parameetrid veel pH-väärtus (happe kontsentratsioon), happe neutraliseerimise võime (puhverdusvõime) ja soolasisaldus. Teadmine nende olemasolust on oluline võimalike korrosiooniriskide hindamisel.

Eri tüüpi korrosioonide üksikasjalik kirjeldus ületaks selle aruande käsitusala, kuid enim levinud korrosioonitüüpide ülevaade on antud tabelis 1.

**Tabel 1. Vasega joodetud roostevabast terasest plaatsoojusvahetite levinud korrosioonitüübid<sup>[12]</sup>**

Korrosioonitüüp	Kirjeldus
Üldkorrosioon	Kui plaatsoojusvahetis on üldkorrosiooni, siis tavaliselt korrodeerub vask, mitte roostevaba teras. Kui vaskjoodis korrodeerub, siis halveneb soojusvaheti mehaaniline tugevus ja soojusvaheti võib hakata lekkima.
Pilu-/pragukorrosioon	Tavaliselt ei ole soojusvahetil pilusid/pragusid, kuid pilud/praad võivad moodustuda katlakivi ja muude setete ning defektsete jooteliidete alla.
Galvaaniline korrosioon	Vase ja roostevaba terase kontakt suure elektrijuhtivusega vees võib põhjustada elektronegatiivsema metalli (antud juhul vase) korrosiooni rünnaku.
Pingekorrosioonpragunemine	Tõmbepingete ja kloriidi suure sisalduse korral võib roostevabal terasel ilmuda pingekorrosioonpragunemine. Pingekorrosioonpragunemise riski suurendab veelgi temperatuuri tõusmine. See toimub sageli 60 °C kõrgematel temperatuuridel. <sup>[14]</sup>
Kristallidevaheline korrosioon	Vale termotötluse korral võib kroomkarbiidi teke terapiiril põhjustada roostevaba terase kristallidevahelist korrosiooni. Väiksema kroomisisaldusega kohad on korrosioonikindlamad.
Vedelmetalli põhjustatud haprumine	Kui jootmisel on jootmistemperatuur liiga kõrge, siis võib vask sulanduda roostevabasse terasesse ja nõrgendada roostevabast terasest plaate.

## 2 Vee kvaliteedinäitajad

### 2.1 Sekundaarpool – kraanivesi

Plaatsoojusvaheti üldist korrosioonistabiilsust mõjutavad järgmised normaalse kraanivee parameetrid: temperatuur, pH tase, karbonaatkaredus (aluselisus), üldkaredus ning kloriidide, sulfaatide ja nitraatide kontsentratsioon. Ioonide (soola) kogusisalduse üldparameetrina kasutatakse sageli juhtivust.

Kuna vase korrosioonistabiilsus kraanivees on tavaliselt väiksem kui 1.4404 roostevaba terase oma, siis määratleb need vee kvaliteedinäitajad põhiliselt vase korrosioon. Üldiselt korrodeerub roostevaba teras kraanivees ainult suure kloriidisisalduse korral kõrgetel temperatuuridel.

Järgmisena on kirjeldatud kõige olulisemaid vee parameetreid ja nende näitajaid:

- **Temperatuur.** Üldiselt suurendab temperatuuri tõus enamiku metallide korrosioonikiirust. Soojas vees on vase pragude tekkimise tõenäosus suurem temperatuuridel üle 60 °C. Üle 60 °C temperatuuride korral suureneb samuti roostevaba terase pingekorrosioonpragunemise risk ning pragude tekkimine ja pilukorrosioon roostevaba terases sõltuvad samuti temperatuurist (vt jaotist kloriididest).<sup>[1, 2, 14]</sup>
- **pH tase.** Vase üldkorrosioon sõltub peamiselt pH tasemest ning korrosioonirisk on väiksem, kui pH on üle 7,5 ja alla 9,0.<sup>[1, 10, 12]</sup> Arvestada tuleb, et tavaliselt on normaalse kraanivee pH umbes 7, kuid soovitatav on vältida 7-st madalamat pH-väärtust. Kaugküttesüsteemide vesi on sageli aluseline, pH kuni 10.<sup>[4, 5, 6, 8]</sup>
- **Aluselisus.** Kui vee vesinikkarbonaadi ( $\text{HCO}_3^-$ ) sisaldus on väga madal (st alla 60 mg/l), siis võivad vase korrosioonijäägid lahustuda ja kanduda süsteemi.  $\text{HCO}_3^-$  kontsentratsioon ei tohiks olla suurem kui 300 mg/l.<sup>[1, 10, 12]</sup>
- **Elektrijuhtivus.** Kraanivee suur elektrijuhtivus tähendab, et ionsete ainete kontsentratsioon vees on suur. Üldiselt suurendab kraanivee juhtivuse suurenemine enamiku metallide korrosioonikiirust. Üldiselt on maksimaalse juhtivuse soovitatav väärtus 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .<sup>[13]</sup>
- **Karedus.** Vask korrodeerub pehmes vees, seega peab suhe  $[\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}] / [\text{HCO}_3^-]$  (arvutatakse molaarkogustes) olema suurem kui 0,5.<sup>[9, 12]</sup>
- **Kloriidid.** Kloriidide sisaldus joogivees suurendab roostevaba terase paikset korrosiooni. Piirmäär sõltub temperatuurist. Vt tabelit 2 ja 3.<sup>[14, 15]</sup>
- **Sulfaadid:** Sulfaatide suur kontsentratsioon suurendab pragude tekkimise riski vases. Soovituslikult on sulfaatide maksimumkontsentratsioon 100 mg/l, kuid korrosioon võib ilmned ka väiksema kontsentratsiooni korral, kui suhe  $[\text{HCO}_3^-] / [\text{SO}_4^{2-}]$  (arvutatakse molaarkogustes) on väiksem kui 1.<sup>[1, 10]</sup>
- **Nitraadid.** Nitraationide mõju on sarnane sulfaatidega ja soovituslik nitraatide maksimumkontsentratsioon on 100 mg/l.<sup>[10, 13]</sup>

- **Kloorisisaldus.** Paljudes kraanivee töötusjaamades lisatakse bakterioloogilistel kaalutlustel kloori. Kloor on väga oksüdeeriv ja vähendab roostevaba terase korrosioonikindlust. Roostevaba terase tarnija Outokumpu Oy uuringud on näidanud, et 1.4404 roostevaba terase korrosiooni vältimiseks peaks vaba aktiivse kloori kontsentratsioon olema alla 0,5 mg/l. <sup>[15]</sup>

Järgmises tabelis on esitatud kokkuvõtavad soovitusel vasega joodetud roostevabast terasest plaatsoojusvahetite sekundaarpoolele (st joogiveepool).

**Tabel 2. Plaatsoojusvaheti sekundaarpoole veekvaliteedi soovituslikud piirmäärad**

Parameeter	Märkused	Väärtus
Värvus		värvitu
Lõhn		lõhnatu
Lisandite sisaldus		setteid/osakesi ei tohi olla
Õli ja rasv		< 1 mg/l
pH tase		7–10
Elektrijuhtivus		2500 µS/cm
Karbonaatkaredus *)		1 mmol/l < $K_{s\ 4,3}$ < 5 mmol/l **)
Üldkaredus ***)		$[Ca^{2+}, Mg^{2+}]/[HCO_3^-] > 0,5$
Kloriidid		
	temperatuur ≤ 20 °C	1000 mg/l
	temperatuur ≤ 50 °C	400 mg/l
	temperatuur ≤ 80 °C	200 mg/l
	temperatuur ≤ 100 °C	100 mg/l
Sulfaadid		$[SO_4^{2-}] < 100$ mg/l ja $[HCO_3^-]/[SO_4^{2-}] > 1,5$
Nitraadid		< 100 mg/l
Nitritid		pole lubatud
Ammoonium		< 2,0 mg/l
Vaba kloor		< 0,5 mg/l
Rauda kokku		< 0,2 mg/l
Mangaan		< 0,05 mg/l

\*) = vesinikkarbonaadi sisaldus, mööduv karedus, (karbonaat) aluselisis

\*\*)  $K_{s\ 4,3}$  = happe neutraliseerimise võime

\*\*\*) = kaltsium- ja magneesiumioonide summa

## 2.2 Primaarpool – kaugküttesüsteemi

Kaugküttesüsteemi kvaliteedinäitajad on toodud mitmete riikide suunistes, mida analüüsiti selle dokumendi jaoks [4, 5, 6, 7, 8]. Kõik need suunised käsitlevad kaugküttesüsteemides korrosiooni ja katlakivi vältimist.

Tabelis 3 esitatud piirmäärad on mõistlik kompromiss plaatsoojusvaheti primaarpoole korrosiooni ja katlakivi tekke vältimiseks. Need kattuvad suurel määral sekundaarpoolel kasutatava vee piirmääradega.

Roostevaba terase korrosioonikindlust kaugküttesüsteemis mõjutavad enim järgmised parameetrid: kloriidid, temperatuur ja hapnikusisaldus. Aktsepteeritav kloriiditase sõltub maksimumtemperatuurist, millega plaatsoojusvaheti kokku puutub.

Vase korrosiooniriski piiramiseks on kõige olulisemad parameetrid järgmised: peaaegu hapnikuvaba (alla 0,1 mg/l) ja aluseline (alla pH 10) keskkond ning ammoniaagi- ja sulfiiditase peab olema alla miinimumpiiride (vt tabel 3).

Kaugküttesüsteemi kasutatakse sageli pehmendatud või magedatud vett, mille pH tase on reguleeritud väärtusele 9–9,5; hapnik on eemaldatud või keemiliselt seotud. Erilist tähelepanu tuleks pöörata mõnedele kemikaalidele, mida kasutatakse pH taseme reguleerimiseks ja/või hapniku sidumiseks.

pH taseme reguleerimiseks tuleks vältida ammoniaaki, kuna see põhjustab vase (ja messingi) korrosiooniriski. Selle asemel tuleks vee pH taseme suurendamiseks kasutada naatriumhüdroksiidi (NaOH) või trinaatriumfosfaati ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ).

Naatriumsulfit ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) on laialdaselt kasutatud hapniku sidumiseks, kuid selle kasutamist tuleks vältida vaske ja roostevabast terast sisaldavates süsteemides. Hapniku sidumise protsessi käigus teisendub sulfit sulfaadiks. Teatud bakterid võivad sulfaadid taandada sulfiidideks, luues sellega vase ja roostevaba terase jaoks korrodeeriva keskkonna. Selle asemel tuleks kasutada orgaanilisi hapnikusidujaid (nt tanniinid).

Kui vee sulfiidide kontsentratsioon kasvab, siis võib see märku anda kaugküttesüsteemi bakteriaalsest saastatusest. Seega on soovitatav jälgida, et vees oleks sulfiide minimaalselt.

Mõnikord lisatakse vette muid hapnikusidujaid. Näiteks C-vitamiini ja metüül-etiül-ketoksiimi (MEKO). Vette võidakse lisada ka biotsiide, et ohjeldada bakterite teket süsteemis. Vette lisatakse mõnikord pindaktiivseid aineid, et vähendada süsteemis hõõrdumist.

**Tabel 3. Primaarpoole kaugküttevee veekvaliteedi soovituslikud piirmäärad**

Parameeter	Märkused	Väärtus
Värvus		värvitu
Lõhn		lõhnatu
Lisandite sisaldus		setteid/osakesi ei tohi olla
Õli ja rasv		< 1 mg/l
pH tase temperatuuril 25 °C		7–10
Vee jääkkaredus		$[Ca^{2+}, Mg^{2+}]/[HCO_3^-] > 0,5;$ < 0,5 mmol/l (2,8 °dH)
Juhtivus temperatuuril 20 °C		2500 µS/cm
Hapnik		< 0,1 mg/l (võimalikult vähe)
Kloriidid		
	temperatuur ≤ 20 °C	1000 mg/l
	temperatuur ≤ 50 °C	400 mg/l
	temperatuur ≤ 80 °C	200 mg/l
	temperatuur ≤ 100 °C	100 mg/l
Sulfaadid		$[SO_4^{2-}] < 100$ mg/l ja $[HCO_3^-]/[SO_4^{2-}] > 1,5$
Sulfitid	nt hapniku sidujana kasutamisel	< 10 mg/l
Sulfiidid		< 0,02 mg/l
Nitraadid		< 100 mg/l
Ammoonium		< 2,0 mg/l
Orgaanilise süsiniku üldsisaldus		< 30 mg/l

### 2.3 Karedus, katlakivi teke ja garantii

Plaatsoojusvahetite soojusülekanne võime väheneb vee koostisosade väljasadestumisel (katlakivi teke) ja lisandite sadestumisel. Katlakivi tekib tavaliselt kaltsium- ja magneesiumsoolade tõttu.

Üldkaredus on peamiselt vees sisalduvate kaltsium- ( $Ca^{++}$ ) ja magneesium- ( $Mg^{++}$ ) ionide summa. Tavaliselt mõõdetakse seda järgmistes ühikutes: milligrammi liitri kohta (mg/l) või kaltsiumkarbonaadi ( $CaCO_3$ ) osa miljoni kohta (ppm) või kareduskraadides (°dH). Saksa °dH võrdub 17,8 ppm  $CaCO_3$ .

2004. aastast liigitatakse veekaredust Euroopa Ühenduses vastavalt EÜ määrusele nr 648/2004 detergentide kohta<sup>[16]</sup> (vt tabelit 4).

**Tabel 4. Veekareduse liigitus vastavalt EÜ määrusele nr 648/2004 detergentide kohta**

Karedusvahemik	Kaltsiumkarbonaat [mmol/l] <sup>1)</sup>	Kaltsiumkarbonaat [mg/l] <sup>2)</sup>	°dH <sup>2)</sup>
pehme	alla 1,5	alla 150	alla 8,4 °dH
keskmine	1,5–2,5	150–250	8,4 kuni 14 °dH
kare	üle 2,5	üle 250	üle 14 °dH

<sup>1)</sup> Leelismuldmetallide summa on ühikutes mmol/l, mis määratleti SI-süsteemis 1971. a.

<sup>2)</sup> Ühikutes mg/l ja saksa kareduskraad °dH antud väärtused on ainult informatiivsed.

Suure karedusega vee soojenemisel sadestub välja katlakivi ( $\text{CaCO}_3$ ). See moodustub plaadi pinnale kihina. Üle 55 °C temperatuuridel võib katlakivi sadestuda välja suurel hulgal. See vähendab plaatsoojusvahetite soojusülekanne võimet.

Seega on oluline valida Danfossi soojusvahetid suurustes, mis tagavad maksimaalselt suure voolukiiruse. See aitab vähendada katlakivi teket.

Plaadi pinnale võib sadestuda ka lisandite kiht.

Lisandeid ja katlakivi saab eemaldada soojusvaheti läbipesemisel eri tüüpi kemikaalidega sõltuvalt sette koostisest. Danfoss soovib kasutada tarnijaid, kellel on soojusvahetite puhastamiseks järeleproovitud tehnoloogia ja kogemused.

Pesemine võib eemaldada setted ja suurendada soojusülekanne võimet, kuid see võib lühendada ka soojusvaheti tööiga.

***Danfoss District Heating soojusvahetite garantii ei kehti, kui***

- ***selle võimsus on lubja väljasadestumise ja katlakivi tõttu vähenenud;***
- ***sellel on pärast setete ja katlakivi väljapesemist sise- või välislekkeid;***
- ***sellel on sise- või välislekkeid, mille on põhjustanud veest tingitud korrosioon, kui selle dokumendi veekvaliteedi nõudeid ei ole järgitud.***



### 3 Viited

- [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
- [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
- [3] EN 14868:08-2005 Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in closed water circulation systems.
- [4] VDI 2035-2:08-2009 Prevention of damage in water heating installations, Part 2: Water-side corrosion.
- [5] AGFW-Arbeitsblatt FW 510:06-2011 Requirements for circulation water in industrial and district heating systems and recommendations for their operation.
- [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.
- [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. *Werkstoffe und Korrosion* **39**,499-503
- [10] Mattsson, E., 1990. Tappvattensystem av kopparmaterial. Korrosionsinstitutet, ISBN 91-7332-558-9.
- [11] 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”, 14th Nordic Corrosion Congress, Copenhagen, Denmark.
- [13] Pajonk, G., undated. “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”, Tenth edition, 2009
- [15] Mameng, S., Pettersson, R., 2011. “Localised corrosion of stainless steels depending on chlorine dosage in chlorinated water”. Outokumpu acom 03-2011.
- [16] Regulation (EC) No 648/2004 of the European parliament and of the council of 31 March 2004 on detergents