

Tehtäväraportti
Salassa pidettävä

Korroosioaurioiden välttäminen suljetuissa jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmissä

11.2.2020

Selvityksen tekijä: Carolina Schneiker
carolina.schneiker@ri.se, +46 10 22 84 861

Osasto: Korroosio

Viitenumeromme: 15834

Viitteenne: Leno Stenfeldt/Daniel Schneider
Yritys: Svensk Vattenbehandling/elector GmbH

Päiväys: 11.2.2020

Hyväksyjä:

11.2.2010

Selvityksen tekijä: Carolina Schneiker

Viitenumero: 15834



Viitteenne: Leno Stenfeldt/Daniel Schneider

Signed by: Andrew Gordon

Viitenumeronne:

Yksikön johtaja

Kääntäjä: Hannu Haanpää - Pirkanmaan
Vedenkasittely Oy // Daniel
Schneider – elector GmbH

Korroosioaurioiden välttäminen suljetuissa jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmissä

Yhteenveto

Standardit koskien lämmitysjärjestelmien veden happipitoisuutta, pH:ta ja ulkonäköä sekä happipitoisuuden ylärajaa yhdistettynä veden alhaiseen tai korkeaan sähköjohtavuuteen on kuvattu VDI 2035:n osassa 2 – ”Prevention of damage in water heating installations”.

Happi: Materiaalivalinnat suljetuissa jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmissä on tehty oletuksella, että järjestelmä on hapeton, joten syöpymistä voi tapahtua, jos järjestelmässä esiintyy happea. Happi voi joutua järjestelmään muun muassa täyttöveden mukana, diffuusion kautta muoviletkuista tai alipaineen aiheuttamana sisään vuotona. Järjestelmän happipitoisuuden pitäminen matalana onkin tärkeää huomattavien korroosioaurioiden välttämiseksi.

pH: pH:n ilmoitettu ohjearvo on 8,2–10 ja arvoa on noudatettava, jotta vältetään muut katodiset reaktiot kuin pelkistysreaktio. Lisäksi näillä pH-arvoilla teräs- ja kuparipinnoille muodostuu suojaavia oksideja.

Sähköjohtavuus: Alhainen sähköjohtavuus on toivottavaa korroosion välttämiseksi, sillä se tarkoittaa rajoittunutta reaktionopeutta sekä pienempää määrää suoloja, jotka voisivat aiheuttaa korroosiota.

Reaktiosäiliö – Elector: Järjestelmässä olevan veden käsittely, jossa veteen liuennut happi poistetaan pelkistysreaktion avulla ja pH:n nosto tapahtuu hydroksidi-ionien muodostumisen myötä. Tarvittaessa lika ja epäpuhtaudet voidaan poistaa vedestä.

Ioninvaihtaja – Purofill: Vähentää järjestelmässä olevan veden konduktiivisuutta (sähköjohtavuutta).

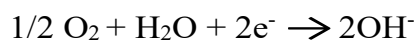
Seuranta: Lämmitysjärjestelmän korroosiotilanteen arvioimiseksi järjestelmässä olevan veden laatua tutkitaan ja saatuja arvoja verrataan VDI 2035:n osassa 2 annettuihin viitearvoihin. Seuranta on tärkeää järjestelmän asennuksen tai uudelleenasetuksen jälkeen, jotta mahdolliset korroosioauriot voidaan estää varhaisessa vaiheessa.

Korroosio suljetuissa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä

Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmät koostuvat monista erilaisista komponenteista ja putkista, jotka on valmistettu eri materiaaleista riippuen järjestelmien toiminnallisista vaatimuksista. Yksi laitteilta vaadittava ominaisuus on syöpymättömyys, jotta vältetään vuodoilta. Myös korroosiotuotteet voivat vaikuttaa järjestelmän tehokkuuteen peittämällä komponentteja tai vähentämällä lämmönjohtokykyä lämpöä siirtävillä pinnoilla. Korroosiota eli metallin (M) liukenemista voidaan kuvata **anodireaktion** avulla:



Jotta korroosiota voi esiintyä suljetuissa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä, täytyy tapahtua myös **katodireaktio**. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä käytettävien pH-arvojen yhteydessä katodireaktion aikaansaa lähinnä pelkistysreaktio:



Korroosio on paljon nopeampaa, kun läsnä on ioneja kuljettava elektrolyytti. Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmissä elektrolyytinä toimii vesi. Korroosioriskin vähentämiseksi voidaan vaikuttaa katodireaktioon ja elektrolyytin ominaisuuksiin.

Suljetuissa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä käytettävät materiaalit on valittu siten, että järjestelmät ovat hapettomia, mikä tarkoittaa, että katodireaktio eliminoidaan eikä anodireaktiota (1) eli metallin liukenemista pääse tapahtumaan. Happea voi kuitenkin päästä järjestelmään monin eri tavoin: käyttövesi on hapekasta (ensimmäistä kertaa täytettäessä tai vettä lisättäessä), muoviputkien ja -letkujen läpi tapahtuu diffuusiota, alipaine aiheuttaa sisään vuotoa tai järjestelmässä on ilmataskuja. Jos järjestelmään pääsee liuenneutta happea, on tärkeää, että järjestelmässä olevan veden koostumus on korroosion kannalta epäedullinen.

Ruotsalainen standardi SS-EN 12828 [1] ”Värmesystem i byggnader – Utförande och installation av vattenburna värmesystem” viittaa **VDI 2035:n osaan 2 [2] – ”Prevention of damage in water heating installations”**, joka sisältää standardit koskien lämmitysjärjestelmien veden pH:ta ja ulkonäköä sekä happipitoisuuden ylärajaa yhdistettynä veden alhaiseen tai korkeaan sähkönjohtavuuteen. Näiden parametrien merkitystä käsitellään alla.

On tärkeää muistaa, että happi voi esiintyä liuenneessa tai kaasumuodossa (kuplina) järjestelmän vedessä. Se, missä muodossa happi on, riippuu hapen liukoisuudesta järjestelmän vedessä, ja hapen liukoisuus puolestaan riippuu veden lämpötilasta. Kylmemmässä vedessä hapen liukoisuus on korkeampi.

Järjestelmän happipitoisuus vaikuttaa siihen, millaisia sähkönjohtavuustasoja voidaan hyväksyä. Happipitoisuuden matalammalla tasolla < 0,02 mg/l hyväksytään korkeampi sähkönjohtavuus (100-1500 µS/cm), kun taas korkeampi happipitoisuus < 0,1 mg/l vaatii matalampaa sähkönjohtavuutta (< 100 µS/cm).

VDI 2035:ssä esitetään eri standardit **sähkönjohtavuudelle** erilaisten happipitoisuuksien yhteydessä, sillä kun sähkönjohtavuus on alhainen, johtavuus (virta) nesteessä on rajoittava tekijä ja anodi- ja katodireaktioiden on tapahduttava toisiaan lähellä, ja korroosiotuotteiden muodostuminen ehkäisee reaktioita. Kun sähkönjohtavuus on korkea, anodi- ja katodireaktiot tapahtuvat erillisillä pinnoilla ja reaktiot voivat edetä korroosiotuotteiden muodostumisesta huolimatta, joten alhaisempaa happipitoisuutta tarvitaan välttämään merkittävää korroosiota. Alhainen sähkönjohtavuus tarkoittaa alhaista suolojen (kloridien, sulfaattien ja nitraattien) määrää, joka on eduksi, sillä suolat voivat johtaa tiettyjen metallien korroosioon.

pH:n määritetty ohjearvo on 8,2–10. Tällä pH-alueella teräs- ja kuparipinnoille muodostuu suojaavia oksideja. Alumiinista valmistetuissa komponenteissa, esim. lämmönvaihtimissa, halutaan välttää liian korkeaa pH:ta, sillä suojaava oksidi on epästabiili tällaisissa olosuhteissa. Kun pH on matalampi, esiintyy myös muita katodireaktioita, jolloin korroosiota voi tapahtua myös ilman happea.

Tällä hetkellä jäähdytysjärjestelmiä varten ei ole olemassa omaa standardia, ja lämmitysjärjestelmien arvoja on tapana käyttää viitearvoina myös jäähdytysjärjestelmissä. Jäähdytysjärjestelmien täyttövedelle ja kiertävälle vedelle on kuitenkin esitetty raja-arvot BTGA-Regel 3.003:ssa [3] (saksalainen yhdistys Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung e.V.), ja näitä raja-arvoja voidaan pitää ohjeellisina.

Perinteisissä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä on merkittävä osuus **terästä**, esimerkiksi putkissa, pattereissa ja paisuntasäiliöissä. Tästä seuraa, että järjestelmässä on suuri pinta, jolla voi tapahtua korroosiota ja siten myös järjestelmään talousveden tai täyttöveden mukana tulleen hapen käyttöä. Happi käytetään muodostamalla rautaoksidia, joka on teräspintaa lisäkorroosiolta suojaava korroosiotuote. Tämä oksidi on stabiili niillä pH:n ohjearvoilla, jotka on ilmoitettu VDI 2035:n osassa 2. Jos happea virtaa jatkuvasti sisään, muodostuu punertavia korroosiotuotteita, jotka eivät suojaa pintaa ja aiheuttavat vuotoriskin sekä riskin rautapitoisten korroosiotuotteiden kerääntymiselle järjestelmän muihin osiin.

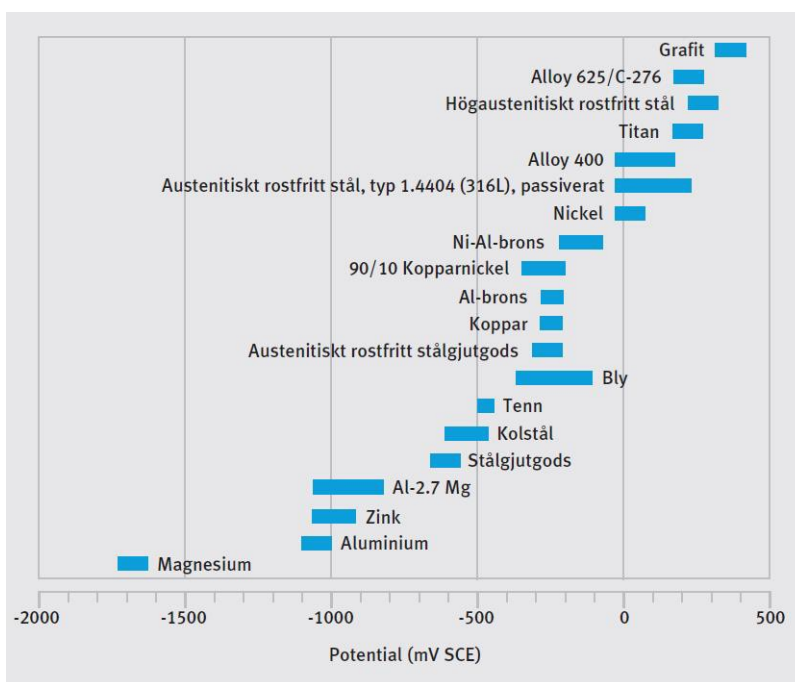
Myös **kuparin** ja kupariseosten korroosioriskiin vaikuttaa happipitoisuus, mutta mikäli se on matala, ei korroosiota tapahdu. Kupariputkien seinämät ovat usein ohuita, mikä voi paikallisen korroosion seurauksena johtaa vuotoon jo muutaman kuukauden käytön jälkeen, jos järjestelmän vedessä on happea.

Alumiiniseoksia (AlSi) käytetään esimerkiksi pattereissa ja lämpöä siirtävinä pintoina. Korroosioriskiin vaikuttaa lähinnä pH-arvo. Passiivikerros muuttuu epästabiiliksi matalilla tai korkeilla pH-arvoilla, mutta veden happipitoisuudella ja sähkönjohtavuudella on myös vaikutusta korroosioon. Perinteisesti on käytetty puhdasta alumiinia, mutta sen rajoituksena on, että oksidikerros muuttuu epästabiiliksi pH:n ollessa yli 8,5. AlSi-seoksilla on stabiili oksidikerros ympäristöissä, joissa pH-arvo on 9 ja tietyn edellytyksin vieläkin korkeampi. Virtausnopeutta on kontrolloitava eroosioriskin välttämiseksi.

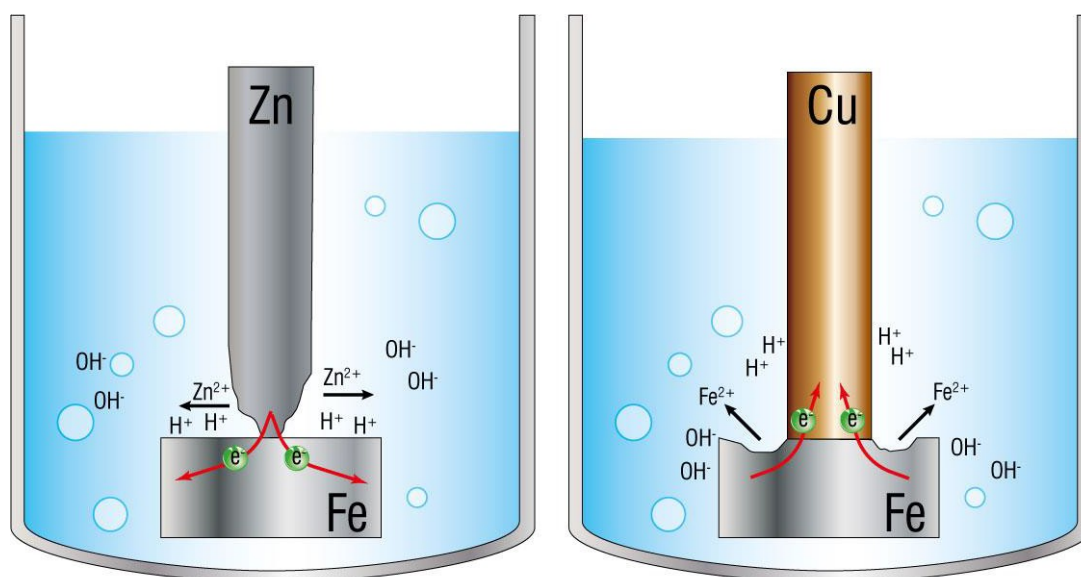
Modernit järjestelmät voivat sisältää merkittäviä määriä **ruostumattomasta teräksestä** tehtyjä putkia. Ruostumaton teräs estää korroosiota muodostamalla hyvin ohuen oksidikerroksen, jota kutsutaan passiivikerrokseksi. Tämä kerros muodostuu hapellisissa ympäristöissä ja uusiutuu vaurioituttuaan (uudelleen passivoituminen). Passiivikerros ei ole herkkä veden happipitoisuudelle vaan klorideille yhdistettynä korkeisiin lämpötiloihin. Jos korroosiota esiintyy, se on paikallista ja voi johtaa nopeasti vuotoon ohutseinämaisessä komponentissa tai putkessa. Herkimvät alueet paikalliselle korroosiolle ovat raot ja huonosti puhdistetut hitsausaumamat. Ruotsissa talousveden kloridipitoisuutta kontrolloidaan ja se on yleensä tasolla, jolla riski ruostumattoman teräksen korroosiolle on pieni. Riittämätön tiivistys aiheuttaa riskin pistesyöpymiselle ja jännitekorroosiolle, jotka voivat johtaa pienten vesimäärien vuotoon ja siten kloridien kerääntymiseen komponentin ulkopinnalle.

Muovit ovat tavallisia materiaaleja nykyaikaisissa jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmissä, ja niitä käytetään esimerkiksi lattialämmityksessä käytettävissä putkissa. On tärkeää tietää, että jopa niin sanotut diffuusiotiiviit muovit päästävät lävitseen tietyn määrän happea. VDI 2035 osa 2:n mukaan muoviputkien läpäisevyyden katsotaan olevan hyväksyttävä, kun järjestelmään diffundoituvan hapen määrä on alle $0,10 \text{ g/(m}^3\text{d)}$.

Järjestelmä koostuu usein eri materiaaleista valmistetuista komponenteista ja putkista. Jos nämä materiaalit ovat keskenään sähköisessä kontaktissa, on riskinä **bimetallinen korroosio (galvaaninen korroosio)**. Galvaaninen jännitesarja (Kuva 1) näyttää eri materiaalien potentiaalierot merivedessä. Korkean potentiaalin aineet ovat jalompia ja sijoittuvat kuvassa oikealle, kun taas matalan potentiaalin materiaalit ovat epäjalompia ja ovat kuvassa vasemmalla. Jos kaksi eri jaloustasteen materiaalia asetetaan veteen, epäjalompi metalli alkaa syöpyä. Tätä havainnollistetaan Kuvassa 2. Jos metalleina ovat sinkki ja rauta, sinkki on metalleista epäjalompi, mikä tarkoittaa sitä, että se toimii anodina ja syöpyy. Jos taas yhdistetään rautaa ja kuparia, rauta toimii anodina ja syöpyy.



Kuva 1. Galvaaninen jännitesarja merivedessä, kun veden lämpötila on $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [4]. Kuvassa vasemmalla olevat materiaalit toimivat anodeina ja oikealla olevat katodeina.



Kuva 2. Sinkistä (Zn) tulee anodi, kun se yhdistetään raudan (Fe) kanssa, eli Zn syöpyy. Kun yhdistetään rautaa (Fe) ja kuparia (Cu), rauta toimii anodina, koska se on epäjalompi kuin kupari.

Kun kaksi jalousasteeltaan erilaista metallia ovat sähköisessä kontaktissa keskenään, epäjalomman metallin (anodin) korroosio kiihtyy. Bimetallikorroosiossa korroosionopeuteen vaikuttavat:

- **Metallien välinen ero jalousasteessa.** Mitä suurempi potentiaaliero on, sitä korkeampi on bimetallikorroosion liikkeellepaneva voima.
- **Anodi- ja katodipinnan laajuus.** Anodin pieni pinta-ala johtaa korkeaan korroosionopeuteen, kun taas suuri anodin ala verrattuna katodin ala johtaa matalampaan korroosionopeuteen.
- **Elektrolyytin sähkönjohtavuus.** Korkeampi sähkönjohtavuus aikaansaa korkeamman korroosionopeuden.

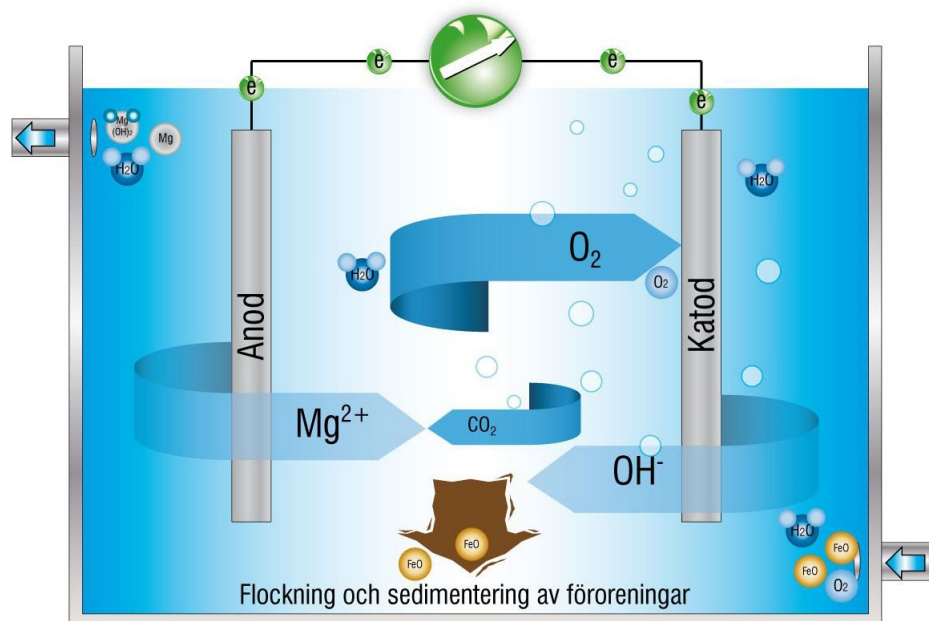
Sähkökemiallinen vedenkäsittely Elector-reaktiosäiliöllä – teoreettinen toimintaperiaatteen kuvaus

Elector-reaktiosäiliötä käytetään sähkökemialliseen vedenkäsittelyyn, ja se koostuu painevesisäiliöstä, joka pitää sisällään osan järjestelmässä kiertävästä vedestä. Säiliö on valmistettu ruostumattomasta teräksestä AISI 304/316 ja sen sisälle on asennettu magnesiumielektrodi (Anod – Mg > 99%).

Säiliön sisäseinämät ja Mg-anodi ovat sähköisessä kontaktissa ja järjestelmässä olevan veden myötä muodostuu galvaaninen kenno, jossa vesi toimii elektrolyytinä.

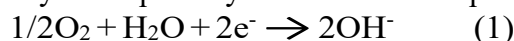
Magnesiumilla on alhainen sähkökemiallinen potentiaali (ks. Kuva 1), joten se toimii anodina. Säiliön ruostumattomasta teräksestä valmistetut sisäseinämät toimivat katodina. Suuri jalousasteen ero (sähkökemiallinen potentiaali) sekä anodi- ja katodialan edullinen suhde saavat aikaan galvaanisen kennon, joka muuttaa veden ominaisuuksia. Ensisijaisena tarkoituksena on vähentää (kuluttaa loppuun) järjestelmässä olevaa happea sekä nostaa pH-

arvoa siten, että se on suojaavan oksidikerroksen kannalta edullisella tasolla. Tätä kuvataan yksityiskohtaisesti alla.

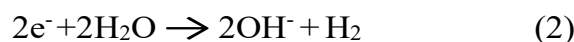


Kuva 3. Kaavamainen luonnos vedenkäsittelyn periaatteesta.

Niin kauan, kun happea on liuenneena järjestelmässä olevaan veteen, sitä käytetään pelkistysreaktiossa katodipinnalla:



Lisäksi katodipinnalla voi tapahtua katodireaktio:

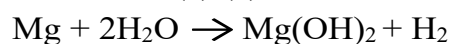


Samanaikaisesti näitä reaktioita tasapainottaa anodireaktio:



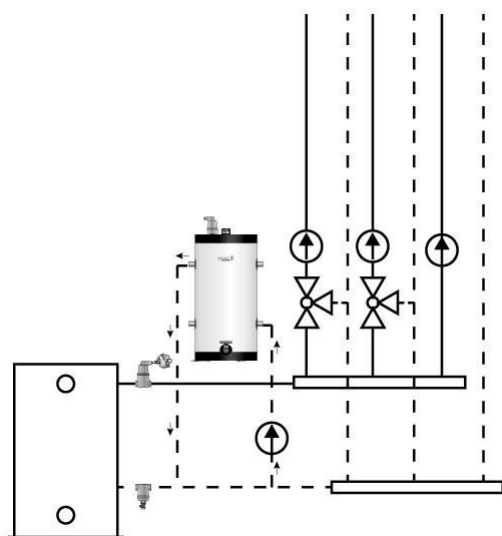
Tämä tarkoittaa, että Mg-ionit siirtyvät elektrolyyttiin (veteen), elektronit vaeltavat anodista katodiin ja OH^- (hydroksidi) liikenee järjestelmän veteen reaktioiden (2) ja (3) myötä. Tätä havainnollistetaan kaaviolla Kuvassa 3. Hydroksidi-ionien muodostuminen reaktioissa (2) ja (3) tarkoittaa, että järjestelmän veden pH-arvo nousee.

Reaktioiden (1)-(3) summareaktiot:



$\text{Mg}(\text{OH})_2$ liikenee huonosti veteen, joten aine saostuu hiukkasmuodossa. Se voi sakkautua pohjalle ja toimia järjestelmässä flokkausaineena lialle ja epäpuhtauksille, jos virtausnopeus on riittävän alhainen.

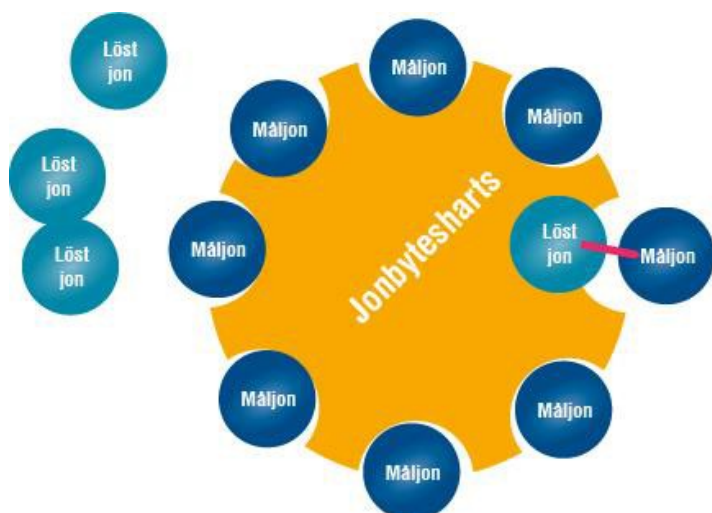
Electrokinetin kautta kulkenut osavirtaus sekoittuu seuraavaksi muun kiertävän jäähdytysveden kanssa, periaate näkyy Kuvassa 4. Reaktiosäiliön koon täytyy olla sopiva järjestelmän kokoon nähden. Reaktiosäiliön kautta kulkevan osavirtauksen virtausnopeudella on suora vaikutus säiliössä tapahtuviin reaktioihin, joten sen on oltava sopiva, jotta aikaansaadaan toivottu vaikutus happipitoisuuteen ja pH-arvoon.



Kuva 4. Vasemmalla sivuvirtauksen periaate asennetussa Elector-reaktiosäiliössä. Oikealla Elector L60 asennettuna järjestelmään, jonka tilavuus on 10 m³.

Vedenkäsittely Purofill-tuotteilla ioninvaihtoa hyödyntäen – teoreettinen toimintaperiaatteen kuvaus

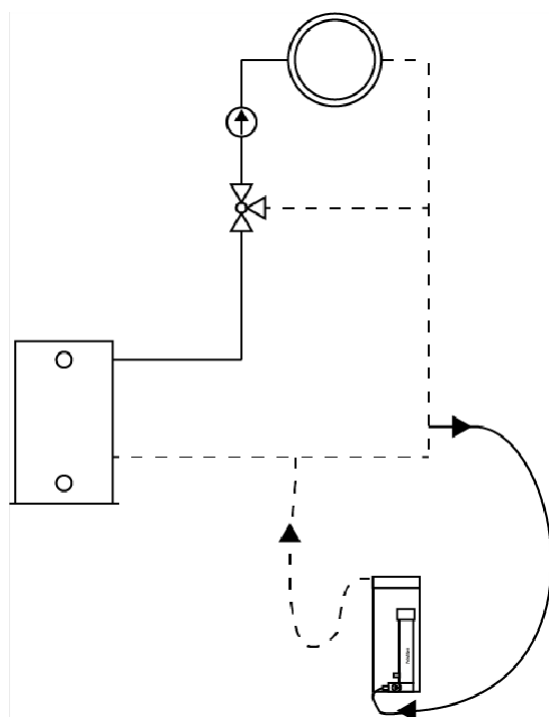
Purofill on tuotesarja suodatukseen ja ioninvaihtoon (demineralisointiin) perustuvaan vedenkäsittelyyn. Käsittelyn tarkoituksena on vähentää järjestelmässä olevan veden sähkönjohtavuutta VDI 2035:ssä ilmoitettujen arvojen mukaisesti alle tason 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Järjestelmän veden demineralisointi tapahtuu siten, että sen kationit (+) ja anionit (-) vaihtavat paikkaa ioninvaihtohartsin ns. kohdeionien kanssa. Tämä näkyy Kuvan 5 kaaviossa. Ioninvaihtohartsin koostuu kohdeioneista, OH^- anionina ja H^+ kationina, jotka vaihdon jälkeen muodostavat järjestelmän veteen H_2O :ta.



Kuva 5. Ioninvaihtohartsin toimintaperiaate. Järjestelmässä olevaan veteen liuenneet ionit vaihtavat paikkaa kohdeionien kanssa.

Deionisoidulla vedellä voi hyvin laimentaa järjestelmässä olevaa vettä, mutta täysin suolatonta vettä kannattaa harvoin käyttää järjestelmässä sellaisenaan, koska se on pehmeää, sen pH on neutraali ja siitä puuttuu puskurikapasiteetti. Järjestelmään vettä lisättäessä TÜV-Süd Germany suosittelee sekoitussuhdetta noin 10–20 % talousvettä ja 90–80 % tislattua vettä [5]. Lopullinen sähköjohtavuus riippuu tällöin käytettävän talousveden sähköjohtavuudesta.

Suodatin voidaan asentaa suoraan järjestelmän päävirtaan tai sivuvirtaukseen. Sivuvirta-asennuksen periaate näkyy Kuvassa 6. Jos sähköjohtavuutta halutaan vähentää tilapäisesti, Purofill asennetaan sivuvirtaan ja sitä käytetään, kunnes toivottu sähköjohtavuustaso on saavutettu. Esimerkit partikkelisuodattimen, ioninvaihtajan ja electorin asennuksesta näkyvät Kuvassa 7.



Kuva 6. Sivuvirtauksen periaate. Järjestelmässä kiertävä vesi käy läpi eri suodatusvaiheita.



*Kuva 7. Esimerkki
partikkelisuodattimen ja
ioninvaihtajan asennuksesta.*

Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän tilan arviointi korroosioaurioiden ehkäisemiseksi

Kun lämmitysjärjestelmän tilaa arvioidaan korroosion näkökulmasta, tutkitaan järjestelmässä olevaa vettä ja verrataan saatuja arvoja VDI 2035:ssa [2] ilmoitettuihin arvoihin. Veden ulkonäkö tarkistetaan: vedessä ei saa olla saostuneita aineita. Vesinäytteet voidaan mielellään analysoida pH:n ja sähkönjohtavuuden suhteen. Happipitoisuus täytyy mitata järjestelmän sisällä, koska muuten vesi sitoo itseensä ilmasta happea näytteenoton yhteydessä. Jotta järjestelmän tilasta saa lisätietoa, vesinäyte voidaan myös analysoida metallien ja suolojen osalta.

Yleinen suositus on seurata järjestelmää asennuksen jälkeen mahdollisten korroosioaurioiden minimoimiseksi. Seurantaväli riippuu järjestelmän historiasta, eli mm. iästä, mahdollisista vaurioista ja muutostöistä. Järjestelmän muutostöiden yhteydessä on tärkeää tehdä arviointi ennen muutostöiden aloitusta, jotta järjestelmän tilaa voi seurata muutostöiden valmistuttua.

Viittaukset

- [1] SS-EN 128 28:2012+A12014 Värmesystem i byggnader-Utförande och installation av vattenburna värmesystem
- [2] VDI-Richtlinien Prevention of damage in water heating installations Water-side corrosion, elokuu 2009
- [3] BTGA-Regel 3.003, Geschlossene wassergeführte Kalt- bzw. Kühlwasserkreisläufe - Zuverlässiger Betrieb unter wassertechnischen Aspekten, huhtikuu 2017
- [4] ”Galvanic corrosion: A practical guide for Engineers”, R. Francis, NACE International 2001, ISBN 1 57590 110 2
- [5] Erläuterungen zur aktuellen VDI-Richtlinie 2035, Blatt 2, TUV S

RISE KIMAB AB
Box 7047, 164 07 Kista
Käyntiosoite: Isafjordsgatan 28 A, 164 40 Kista
08 440 48 00, risekimab@ri.se, www.ri.se

