

# Hyvät toimintatavat kiinteistöjen kuparisten vesijohtojen syöpymi- sen ehkäisemiseksi

Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 76

Helsinki 2022



Julkaisun jakelu:

Vesilaitosyhdistys  
Ratamestarinkatu 7 B  
00520 Helsinki

puh. (09) 868 9010  
sähköposti: [vvy@vvy.fi](mailto:vvy@vvy.fi)  
kotisivu [www.vvy.fi](http://www.vvy.fi)

ISSN-L 2242-7279  
ISSN 2242-7279

ISBN 978-952-6697-74-1

Helsinki 2022

| <b>KUVAILEHTI</b>                    |  |                          |                                       |
|--------------------------------------|--|--------------------------|---------------------------------------|
| <i>Julkaisija</i>                    | Suomen Vesilaitosyhdistys ry   |                          |                                       |
| <i>Tekijät</i>                       | Aino Peltto-Huikko ja Martti Latva   |                          |                                       |
| <i>Julkaisun nimi</i>                | Hyvät toimintatavat kiinteistöjen kuparisten vesijohtojen syöpymisen ehkäisemiseksi  |                          |                                       |
| <i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i> | Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 76  |                          |                                       |
| <i>Julkaisun teema</i>               |  |                          |                                       |
| <i>Saatavuus</i>                     | Julkaisu on saatavissa Vesilaitosyhdistyksen verkkosivuilta.   |                          |                                       |
| <i>Tiivistelmä</i>                   | <p>Kuparisissa vesijohdoissa on viime vuosina tapahtunut ennenaikaisia korroosiovaurioita, joiden aiheuttajaa ei useimmissa tapauksissa tunneta. Vesijärjestelmään liittyviä korroosioon vaikuttavia tekijöitä ovat veden laadun lisäksi putken laatu ja sisäpinnan epäpuhtaudet, veden lämpötila ja virtausnopeus sekä suunnitteluun, asennukseen, käyttöönottoon ja veden käyttötapoihin liittyvät tekijät. Vesijohtojen materiaaleihin, suunnitteluun, asennukseen ja käyttöönottoon liittyvillä rakentamismääräyksillä pyritään osaltaan estämään vesilaitteistojen korroosiota.</p> <p>Veden syövyttävyyteen vaikuttavista vedenlaatutekijöistä tärkeimpiä ovat liuenneen hapen pitoisuus, pH-arvo, kloridi- ja sulfaattipitoisuudet, hiilidioksidipitoisuus, kovuus ja alkaliteetti (bikarbonaattipitoisuus) sekä rauta-, alumiini- ja mangaanipitoisuudet.</p> <p>Kenttätutkimuksen ja kirjallisuusselvityksen perusteella kupariputkien pistekorrosion keskeisin tekijä on todennäköisimmin kupariputken sisäpinnalle kiinnittyvä rauta, joka aiheuttaa pistekorrosion ydintymisen sellaisiin kohtiin, mihin rautaa on kiinnittynyt. Tässä tutkimuksessa korroosion ei havaittu kuitenkaan etenevän muuten kuin olosuhteissa, joissa veden pH-arvo on alle 7,5 ja vesi sisälsi liuennutta hiilidioksidia. Veden silikaattipitoisuudella ei todettu olevan vaikutusta pistekorrosioon, vaikka aiemmissa tutkimuksissa kupariputkien sisäpinnan pistekorrosiotapauksissa vaurioituneiden putkien sisäpinnan kerrostu- missa oli todettu runsaasti piitä.</p> |                          |                                       |
| <i>Avainsanat</i>                    | kupariputket, korroosio, vedenlaatu, talousvesi, syövyttävyyys, syöpymisen ehkäiseminen  |                          |                                       |
| <i>Rahoittaja/ toimeksiantaja</i>    | Suomen Vesilaitosyhdistys ry   |                          |                                       |
|                                      | <i>ISBN</i><br>978-952-6697-74-1   | <i>ISSN</i><br>2242-7279 |                                       |
|                                      | <i>Sivuja</i><br>20  | <i>Kieli</i><br>suomi    | <i>luottamuksellisuus</i><br>julkinen |
| <i>Julkaisun jakelu</i>              | Vesilaitosyhdistys, www.vvy.fi   |                          |                                       |

| <b>BESKRIVNINGSBLAG</b>                     |   |                          |                                      |
|---|---|--------------------------|--------------------------------------|
| <i>Publicerat av</i>                        | Finlands Vattenverksförening r.f.   |                          |                                      |
| <i>Författare</i>                           | Aino Pelto-Huikko, Martti Latva   |                          |                                      |
| <i>Publikationens titel</i>                 | God praxis för att förhindra korrosion i vattenledningar av koppar i fastigheter  |                          |                                      |
| <i>Publikationsseriens titel och nummer</i> | Vattenverksföreningens duplikatserie nr 76  |                          |                                      |
| <i>Publikationens tema</i>                  |   |                          |                                      |
| <i>Tillgänglighet</i>                       | Publikationen finns på Vattenverksföreningens webbsida.   |                          |                                      |
| <i>Sammanfattning</i>                       | <p>Under de senaste åren har det skett förtidiga korrosionsskador i vattenledningar av koppar där orsaken till skadorna oftast är okänd. Faktorerna som påverkar korrosionen i vattensystem omfattar utöver vattenkvaliteten även rörets kvalitet och föroreningar på dess inre yta, vattnets temperatur och strömningshastighet samt faktorer kring planering, installation, driftsättning och användningssätt. Byggnadsbestämmelserna avseende material respektive planering, installation och driftsättning av vattenledningar är ägnade att förhindra korrosion i vattenanordningar.</p> <p>De viktigaste av faktorerna som påverkar hur vattnet orsakar korrosion är halten upplöst syre, pH-värdet, klorid- och sulfathalter, koldioxidhalt, hårdhet och alkalitet (bikarbonathalt) samt järn-, aluminium- och manganhalter.</p> <p>Fältundersökningar och litteraturutredningar visar att den viktigaste faktorn för punktkorrosion i kopparrör mest sannolikt är järn som fäster sig på innerytan i kopparröret och orsakar kärnbildning av punktkorrosion där järn har tagit fäste. Denna undersökning har dock inte upptäckt att korrosionen annars framskrider än i förhållanden där vattnets pH-värde är lägre än 7,5 och vattnet innehåller upplöst koldioxid. Halten silikat i vatten har visat sig påverka punktkorrosion fastän tidigare undersökningar har visat att det i fällningarna på innerytorna i skadade kopparrör med punktkorrosion finns rikligt med kisel.</p> |                          |                                      |
| <i>Nyckelord</i>                            | kopparrör, korrosion, vattenkvalitet, hushållsvatten, aggressivitet, förebyggande av korrosion  |                          |                                      |
| <i>Finansiär/uppdragsgivare</i>             | Finlands Vattenverksförening r.f.   |                          |                                      |
|   | <i>ISBN</i><br>978-952-6697-74-1  | <i>ISSN</i><br>2242-7279 |                                      |
|   | <i>Sidantal</i><br>20   | <i>Språk</i><br>finska   | <i>Konfidentialitet</i><br>offentlig |
| <i>Distribution av publikationen</i>        | Vattenverksföreningen, <a href="http://www.vvy.fi">www.vvy.fi</a>   |                          |                                      |

## Esipuhe

Veden syövyttävyyteen ja kiinteistöjen vesilaitteiden syöpymiseen vaikuttavat monet tekijät yhdessä. Kiinteistöjen vesilaitteiden osalta vaikuttavia tekijöitä ovat esim. laitteiden materiaalit ja valmistustapa, mitoitus, asennus ja käyttöönotto sekä veden kulutustavat. Veden laadun osalta syövyttävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat esim. pH, alkaliteetti, kovuus, hiilidioksidi sekä sulfaatti- ja kloridipitoisuus. Silikaatilla epäillään olevan vaikutusta kupariputkien syöpymiseen, mutta silikaatin koostumus ja toimintamekanismit näyttävät vaihtelevan erilaisissa vesissä. Myös pinnalle saostuneet tai jääneet epäpuhtaudet kuten rautasaostumat voivat saada aikaan pistesyöpymiä kupariputkissa, mikäli ne ovat kosketuksissa syövyttävän veden kanssa.

Kiinteistöjen kupariputkien ennenaikaiseen syöpymiseen johtavien vaurioiden syiden selvittäminen on yleensä vaikeaa, sillä tarkasti pystytään tutkimaan vain vaurion havaitsemisen ajankohdan vesi, mutta ei vaurion syntymisen kannalta merkittäviä putkien ja niiden asennuksen ja käyttöönoton tai vedenlaadun ja sen vaihtelun tarkkoja historiatietoja.

Terveellisyyden lisäksi talousveden on oltava myös käyttötarkoitukseensa soveltuvaa. Se ei saa aiheuttaa haitallisessa määrin syöpymistä tai haitallisten saostumien syntymistä vedenjakeluverkostossa tai kiinteistön vesilaitteistossa. Toimitettu talousvesi täyttää Suomessa lähes poikkeuksetta lainsäädännössä veden syövyttävyyden kontrolloimiseksi asetetut laatutavoitteet, mutta talousvesiasetuksessa laatutavoitteita ei ole asetettu kaikille syövyttävyyteen vaikuttaville muuttujille, esimerkiksi alkaliteetille tai hiilidioksidille.

Vesilaitosyhdistyksen Vesilaitosryhmän käynnistämässä Talousveden syövyttävyys -tutkimusprojektissa koottiin kirjallisuusselvitykseen (Kaunisto ym. 2020) talousveden syövyttävyyttä ja etenkin kupariputkien korroosiota koskevaa tutkimustietoa, jotta vesilaitokset ja muut toimijat pystyvät kehittämään toimintaansa kiinteistöjen vesilaitteiden ennenaikaisen korroosion estämiseksi. Kirjallisuusselvityksen lisäksi selvitettiin kenttäkokeiden avulla kiinteistöjen kuparisten vesijohtojen syöpymiseen Suomen olosuhteissa vaikuttavia tekijöitä.

Vesijohtojen materiaaleihin, suunnitteluun, asennukseen ja käyttöönottoon liittyvillä rakentamismääräyksillä pyritään osaltaan estämään vesilaitteistojen korroosiota, mutta kuluttajat tarvitsevat ohjeita vesijärjestelmien oikeanlaiseen käyttöön riskien vähentämiseksi. Kirjallisuusselvityksen ja kenttäkokeiden tulosten perusteella laadittiin tämä hyvien toimintatapojen kuvaus kiinteistöjen kuparisten vesijohtojen syöpymisen ehkäisemiseksi.

Projektin rahoittivat Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto, sosiaali- ja terveysministeriö sekä vesihuoltolaitokset Hangon vesi, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY, Porin Vesi liikelaitos, Rauman Vesi, Tampereen Vesi Liikelaitos ja Äänekosken Energia Oy. Satakunnan ammattikorkeakoulun Tutkimuskeskus WANDER vastasi yhdessä vesihuoltolaitosten kanssa projektin käytännön toteuttamisesta. Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat rahoittajien lisäksi SAMKin, FCG Finnish Consulting Group Oy:n (laskelmat vesilaitoksille) ja Valviran edustajat.

# Sisällysluettelo

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Johdanto .....                                  | 1  |
| 2     | Kupariputkien korroosio .....                   | 2  |
| 2.1   | Kirjallisuus.....                               | 2  |
| 2.2   | WANDERin kenttäkoetutkimus VESILAITOKSILLA..... | 3  |
| 3     | Korroosion estäminen .....                      | 5  |
| 3.1   | Kupariputkien laatu .....                       | 5  |
| 3.2   | Asennus ja käyttöönotto.....                    | 5  |
| 3.3   | Vesijärjestelmän käyttö .....                   | 6  |
| 3.4   | Virtausnopeus .....                             | 6  |
| 3.5   | Putkistojen huolto ja kuntotutkimukset.....     | 7  |
| 3.6   | Talousveden syövyttävyyden hallinta.....        | 8  |
| 3.6.1 | Suosituksia .....                               | 9  |
| 4     | Yhteenveto.....                                 | 10 |
|       | Lähteet.....                                    | 11 |
|       | Liitteet .....                                  | 12 |

## LIITE 1 KALKKI-HIILIHAPPOTASAPAINO

# 1 JOHDANTO

Kuparisissa vesijohdoissa on viime vuosina tapahtunut ennenaikaisia korroosiovaurioita, joiden aiheuttajaa ei kaikissa tapauksissa tunneta. Tähän alle 10 vuoden käytön aikana lähinnä lämminvesijohdoissa tapahtuneeseen putken seinämän läpäisevään pistekorrosiomuotoon on todettu liittyneen korkeat piipitoisuudet sisäpinnan kerrostumissa, joissa on piin lisäksi ollut rautaa ja usein myös alumiinia. Piiyhdisteiden eli silikaattien onkin epäilty lisäävän kuparisten vesijohtojen pistekorrosioriskiä.

Vuotoja on ollut standardin SFS-EN 1057 (vuoteen 1996 asti standardien SFS 2250 ja SFS 2907) mukaisissa putkissa, ja pistekorrosiota on tapahtunut useiden eri valmistajien tuotteissa. Koska vaurioituneet kupariputket täyttivät standardien laatuvaatimukset, vaurioiden syytä lähdettiin etsimään muista tekijöistä kuten veden laadusta ja käyttöolosuhteista. Useimmissa vauriotapauksissa talousvesi on ollut valmistettu pohjavedestä, mutta vaurioita on ollut myös pintavesilaitosten toimittamassa vedessä. Veden laatu tutkimushetkellä ei kaikissa tapauksissa ole ollut täysin kupariputkien syöpymisen estämiseksi annettujen suositusten (Outokumpu 1990) mukaista, mutta pistesyöpymiä on esiintynyt myös kupariputkien kestävyuden kannalta hyvälaatuisiksi luokitellussa vedessä.

Edellä kuvatut kupariputkien pistekorrosiovauriot eivät ole olleet kirjallisuudessa esitettyjen perinteisten pistekorrosiotyyppien mukaisia, eikä näille pistekorrosiovaurioille ole voitu osoittaa selvää syytä eikä antaa kaiken kattavaa ohjeistusta esimerkiksi veden laadulle korroosion estämiseksi.

Vesijärjestelmän korroosioon vaikuttavat veden laadun lisäksi fysikaaliset tekijät kuten putken laatu ja sisäpinnan epäpuhtaudet, veden lämpötila ja virtausnopeus sekä suunnitteluun, asennukseen, käyttöönottoon ja veden käyttötapoihin liittyvät tekijät. Näitä tekijöitä on käsitelty tässä raportissa korroosion estämisen yhteydessä.

## 2 KUPARIPUTKIEN KORROOSIO

### 2.1 KIRJALLISUUS

Tässä luvussa on esitetty lyhyesti kupariputkien pistekorrosioon liittyviä asioita. Tarkempaa tietoa kupariputkien pistekorrosiosta esitetään kirjallisuusselvityksessä Kiinteistöjen kupariputkien korrosio (Kaunisto ym. 2020).

Kupariputken pintaan muodostuvilla korrosiotuotekerroksilla on merkittävä vaikutus kupariputkien korroosion todennäköisyyteen. Suojaavan oksidikerroksen eli passiivikalvon muodostuminen on tärkeää sekä yleisen että paikallisen korroosion estämisessä. Oksidikerrosten muodostumiseen tarvitaan happa erityisesti kupariputken käytön alkuvaiheessa. Ajan myötä kupariputken pintaan voi muodostua kuparikarbonaattia eli malakiittia, joka niukkaliukoisena on myös suojaava korrosiotuotekerros.

Kuparin yleinen syöpyminen on tavallisinta happamissa ja pehmeissä, alkaliteetiltaan matalissa vesissä, joissa kuparin pintaan ei muodostu suojakerrosta. Yleinen syöpyminen ei aiheuta putkivuotoja tai laitteistovaurioita. Se on useimmiten putkien käytön alkuvaiheessa esiintyvä esteettinen haitta, joka voi aiheuttaa veden kuparipitoisuuden nousua ja saniteettikalusteiden värjäytymistä sinivihreäksi. Hyvälaatuisessa vedessä liukeminen vähenee merkittävästi suojakerrosten muodostuttua.

Kupariputkien vuodot ovat useimmiten pistekorrosion aiheuttamia. Kuparin pistekorrosio kuvataan yleensä kaksivaiheisena prosessina. Ensin on ydintymisvaihe, jossa syöpymät syntyvät, ja sitten etenemisvaihe, jossa syöpyminen etenee, mahdollisesti jopa putken seinämän läpi. Pistesyöpyminen voi alkaa erilaisissa pinnan heterogeenisuuskohtissa, kuten urissa, naarmuissa tai passiivikalvon vauriokohtissa. Pistekorrosioon vaikuttavia tekijöitä ovat veden laadun lisäksi putken laatu ja sisäpinnan epäpuhtaudet, veden lämpötila ja virtausnopeus sekä suunnitteluun, asennukseen, käyttöönottoon ja veden käyttötappoihin liittyvät tekijät. Pistekorrosion eteneminen riippuu oleellisesti veden laadusta, ja pistekorrosioriskiinkin liitetään monia vedenlaatutekijöitä kuten matala pH ja alkaliteetti, suuret hiilidioksidi-, kloridi- ja sulfaattipitoisuudet sekä alumiini-, mangaani- ja rautaionit ja mahdollisesti myös silikaatit. Hyvälaatuisessa vedessä syöpymät voivat passivoitua uudelleen, jolloin syöpyminen pysähtyy.

Kupariputkien pistekorrosiota on luokiteltu veden laadun ja lämpötilan mukaan kolmeen perustyyppiin, jotka on kuvattu yksityiskohtaisesti kirjallisuusselvityksessä (Kaunisto ym. 2020).

Aiemmin kupariputkien vuotoja on Suomessa tapahtunut yleisimmin lämminvesijohdoissa ja lämpimän veden kiertojohdoissa (Outokumpu 1981), ja tämä pistekorrosio johtuu lähinnä veden koostumuksesta ja lämpötilasta (SFS-EN 12502-2). Sitä esiintyy tyypillisesti pehmeissä vesissä, joiden pH on alle 7,4 ja lämpötila yleensä yli 60 °C (Outokumpu 1990; Keevil 2004). Mattsson (1990) on esittänyt, että korroosion estämiseksi pH-arvon tulee olla yli 7,4 (mieluiten yli 8), bikarbonaatin ja sulfaatin suhteen  $\text{HCO}_3/\text{SO}_4$  (mg/l) > 1 ja veden lämpötilan alle 60 °C.

Pistekorrosiota voi esiintyä vesijohdoissa myös pinnalla olevien saostumien tai biofilmien alla. Vedessä olevat rauta, alumiini ja mangaani voivat muodostaa saostumia erityisesti lämpimässä vedessä, ja nämä saostumat voivat aiheuttaa pistesyöpymiä. Kupariputkien pistekorrosioriskin vähentämiseksi veden rautapitoisuuden tulisi olla alle 0,2 mg/l, mangaanipitoisuuden alle 0,1 mg/l ja alumiinipitoisuuden alle 0,2 mg/l (SCDA).



Nämä ovat talousvesiasetuksessa asetettujen laatutavoitteiden mukaisia. Käytettäessä alumiini- ja rautapohjaisia saostuskemikaaleja vedenkäsittelyssä pitää ottaa huomioon alumiinin, raudan, kloridin ja sulfaatin mahdolliset vaikutukset käsitellyssä vedessä.

Vesijohtojen pinnalle muodostuva biofilmi voi toimia mikrobiologisen korroosion aiheuttajana ja lisätä pistekorroosioriskiä. Kuparin mikrobiologisen korroosion riskiä lisäävät veden pehmeys ja matala pH-arvo, suuret kiintoaine- ja ravinne määrät, veden seisontajaksot, pieni kloorin määrä sekä mikrobikasvulle otolliset veden lämpötilat (Bremer ym. 2001).

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista todetaan, että kylmävesijohdon on oltava suunniteltu ja asennettu siten, että kylmävesilaitteistossa olevan veden lämpötila saa olla enintään 20 °C. Vähintään kahdeksan tunnin käyttämättömän jakson jälkeen veden lämpötila saa olla enintään 24 °C. Lämminvesilaitteistossa olevan veden lämpötilan on oltava vähintään 55 °C ja sitä on saatava lämminvesikalusteesta 20 sekunnin kuluessa. Lämminvesilaitteistosta saatavan veden lämpötila saa olla korkeintaan 65 °C. (Ympäristöministeriö 2017) Asumisterveysasetuksen mukaan lämminvesilaitteistosta saatavan lämpimän vesijohtoveden lämpötilan tulee olla vähintään 50 °C ja vesikalusteesta saatava vesi saa olla korkeintaan 65 °C (Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 2015).

Veden sisältämien silikaattien (piiyhdisteiden) roolia kupariputkien pistekorroosiossa ei ole aukottomasti selvitetty. Kirjallisuuden mukaan silikaattien haitallinen vaikutus kupariputkissa liittyy ensinnäkin suojaavien oksidikalvojen muodostumisen häiriintymiseen. Toisaalta piiyhdisteiden ja metallien muodostamat silikaatit voivat pinnoille saostuessaan aiheuttaa pistekorroosiota. Erityisesti alumiini- ja rautasilikaattien on todettu muodostuvan jo hyvin pienillä veden rauta- ja alumiinipitoisuuksilla.

## 2.2 WANDERIN KENTTÄKOETUTKIMUS VESILAITOKSILLA

Tutkimuskeskus WANDER on tehnyt yhteistyössä vesilaitosten kanssa kaksi vuotta kestäneen kenttäkokeen. Kenttäkokeessa kupariputken kestävyyttä tutkittiin eri vesilaitosten vedessä analysoimalla vesi- ja materiaalinäytteitä.

Tämän tutkimuksen perusteella kupariputkien pistekorroosion keskeisin tekijä on todennäköisimmin kupariputken sisäpinnalle kiinnittyvä rauta, joka aiheuttaa pistekorroosion ydintymisen sellaisiin kohtiin mihin rautaa on kiinnittynyt. Korroosio ei kuitenkaan käynnisty eikä etene muuten kuin tietyissä veden laadun puolesta epäsuotuisissa olosuhteissa eli ns. syövyttävissä vesissä.

Rauta voi olla peräisin raakavedestä tai vesijohtoverkostossa sijaitsevasta vanhasta valurautaputkesta tai sen osasta (Latva ym. 2016). Lisäksi rautaa voi jäädä uuden kupariputken sisäpinnalle, jos sisäpintaa käsitellään ja muokataan teräspartikkeleilla nopeamman oksidoitumisen aikaansaamiseksi tekniikalla, joka tunnetaan ns. hiovana puhdistuksena. Kyseisestä tekniikasta on olemassa patentteja. Rauta voi olla kiinnittynyt putken pintaan myös talousvedestä silikaattien mukana tai sitten saostunut pinnalle jostakin muusta vedessä olevasta rautayhdisteestä. Silikaateissa rauta voi olla jo alun perin mukana itse maalajissa tai kiinnittynyt saostuskemikaalina käytetystä rautakemikaalista. Silikaatit ovat vedessä todennäköisimmin kolloideina, ja niihin voi olla kiinnittynyt myös orgaanista ainesta ja epäorgaanisia ioneja. (Boglaenko ym. 2021) Kolloideilla on pintavarauksen avulla ne kykenevät sopivissa olosuhteissa kiinnittymään kupariputken pintaan tai varauksen neutraloituessa saostumaan pinnalle.

Rauta syöpyy kuparia helpommin, mutta tietyissä olosuhteissa on havaittu, että kuparipintaan kiinnittynyt rauta synnyttää kupariputken pistesyöpymiselle otollisen kohdan. Talousveden syövyttävyyden -projektin kenttätutkimuksessa havaittiin kahdella kuudesta kenttäkohteesta pistekorroosiota, jota näytti muodostuneen sisäpinnalle vastaaviin kohtiin kuin missä käyttämättömässä ja puoli vuotta käytettyjen putkinäytteiden sisäpinnoilla olleet rautapartikkelit olivat sijainneet. Varsinaisessa syöpymässä ei enää tuossa vaiheessa havaittu rautaa. Muodostuneiden pistesyöpymien päällä havaittiin olevan karbonaattia ja rautaa, joka sijaitsee syöpymän ympärillä hyvin pieninä pistemäisinä saostumina. Näiden kenttäkohteiden vesi oli pohjavettä, ja vesinäytteiden perusteella ne sisälsivät liuenutta hiilidioksidia pH-arvon ollessa myös suhteellisen alhainen. Kahdessa muussa pohjavettä käyttävässä kenttäkohteessa ei havaittu tapahtuvan pistekorroosiota. Näissä kohteissa liunneen hiilidioksidin määrät olivat alle 2,5 mg/l ja pH-arvot olivat yli 8, kun taas niissä kohteissa, missä pistekorroosiota havaittiin, hiilidioksidia oli selvästi yli 2,5 mg/l ja pH-arvot olivat alle 8.

Aiemmin Kristiansen (1977) oli tutkimuksissaan havainnut, että pistekorroosiota muodostui niihin radioaktiivisella raudalla, <sup>59</sup>Fe, merkittyihin kohtiin, missä kupariputken pinnalla oli ollut rautaa ja syöpyminen tapahtui vain silloin, kun hiilidioksidin määrä ylitti tietyn arvon. Kristiansenin mukaan kaikki rautasaostumat eivät kuitenkaan johtaneet pistekorroosioon ja myös lämpötilalla oli suuri merkitys eli lämpötilan nousu lisäsi pistesyöpymän kasvua.

Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että pistekorroosiota tapahtuu kupariputkessa, kun rautaa joko jää, kiinnittyy tai saostuu kupariputken sisäpinnalle ja vesi sisältää riittävästi hiilidioksidia.

Talousveden syövyttävyyden -projektin kenttäkoetulosten perusteella yhdessä tutkimuskohteessa, jossa veden silikaattipitoisuus oli korkea (20 mg/l SiO<sub>2</sub>), kupariputken pii- ja rautapitoisen pintakerroksen alla todettiin kuitenkin kahden vuoden koeajan jälkeen ehyt oksidikerros eikä pinta ollut juurikaan syöpynyt. Kyseisessä kohteessa vesi oli muuten hyvälaatua eli pH ja alkaliteetti olivat korkeat, mutta vedessä oli merkittävästi kloridia ja sulfaattia. Silikaattipitoinen vesi ei siis ollut käynnistänyt korroosiota kahden vuoden aikana. Olosuhteiden pysyessä samankaltaisina nopeasti etenevän vuotoon johtavan korroosion käynnistyminen tuntuu tässä tutkimuskohteessa epätodennäköiseltä. Yhdessä kenttäkohteesta kupariputkissa todettiin syöpymiä jo yhden vuoden koeajan jälkeen. Tässä kohteessa veden silikaattipitoisuus oli matala (n. 5 mg/l SiO<sub>2</sub>), mutta veden pH n. 7, alkaliteetti 0,2–0,3 mmol/l ja johtokyky 50 µS/cm ja hiilidioksidipitoisuus 5–6 mg/l.

Veden silikaattipitoisuudesta ei nykyisen tietämyksen pohjalta voi päätellä, muodostuuko vesijohtoputkien sisäpinnoille korroosiota edistävää piiyhdisteiden muodostamaa kerrostumaa. Piiyhdisteiden ja muodostuvien kerrostumien laatu ja morfologia vaihtelevat eri vesissä, ja tällä voi olla vaikutusta myös kupariputkien korroosioriskiinkin. Myös muilla vedenlaatutekijöillä ja lämpötilalla lienee vaikutusta silikaattien käyttäytymiseen kuparipinnalla.

## 3 KORROOSION ESTÄMINEN

Veden laatu vaikuttaa oleellisesti korroosion todennäköisyyteen. Kuparin pistekorroosioon vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä ovat putken laatu ja sisäpinnan epäpuhtaudet, veden lämpötila, paine, virtausnopeus sekä suunnitteluun, asennukseen ja käyttöönottoon tekijät.

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan rakennuksen vesilaitteistoon johdettavaksi aiotun veden laadun on oltava erityissuunnittelijan tiedossa laitteiston teknistä suunnittelua ja korroosion välttämistä varten. Vesilaitteistoon voi johtaa vain talousvedelle asetetut laatuvaatimukset täyttävää vettä. Vesilaitteistosta otettava vesi ei saa vaarantaa terveyttä eikä vedessä saa olla maku- tai hajuhaittoja. (Ympäristöministeriö 2017)

### 3.1 KUPARIPUTKIEN LAATU

Vesijohtoina käytettävien kupariputkien tulee olla niistä annettujen viranomaismääräysten mukaisia. Kupariputkien olennaisia teknisiä vaatimuksia koskeva ympäristöministeriön asetus (455/2019) ja siihen perustuva tyyppihyväksyntäasetus (2/19) sisältävät vaatimukset mm. kemialliselle koostumukselle sekä virheettömyydelle ja pintojen ominaisuuksille. Putkien ulko- ja sisäpintojen tulee olla puhtaita ja sileitä. Sisäpinnan puhtaudelle ja hiilimäärälle kriteerit ovat samat kuin standardissa SFS-EN 1057. Laadunvalvonassa putkien sisä- ja ulkopintojen sileys ja puhtaus tarkastetaan silmämääräisesti ilman suurennosta, pintahiilen määrä mitataan kvantitatiivisella polttomenetelmällä ja hiilikalvon esiintyminen sisäpinnalla tarkastetaan kvalitatiivisesti hiilikalvokokeella. Kupariputkien talousvesikelpoisuuden arvioinnissa ei vaadita aistinvaraista arviointia, koska talousvesiasetuksessa on annettu enimmäisrajat metallipitoisuuksille, ja korkeat, terveydelle haitalliset metallipitoisuudet aiheuttaisivat kuluttajan havaitsemaa veden laadun heikentymistä.

Putkien sisäpinnoilla voi olla valmistusprosessissa tehdyn suihkupuhdistuksen jäljiltä puhdistusmateriaalin jäänteitä, esimerkiksi rautaa. Kenttäkokeissa todettiin, että ei-syövyttävässä vedessä nämä pienet rautapartikkelit liukenevat käytön alkuvaiheessa pois eivätkä vaikuta putken kestävyys. Sen sijaan syövyttävässä vedessä ne voivat edesauttaa korroosion käynnistymistä. Korroosioriskiä voitaisiin pienentää, mikäli ulkopuolisen laadunvalvonnan yhteydessä olisi tutkittava pinta-analyttisin menetelmin metalliset epäpuhtaudet putkinäytteestä sen jälkeen, kun se ensin on huuhdeltu riittävästi vedellä. Yhdellä putkilaadulla suoritetussa tutkimuksessa rautajäämiä siis todettiin putkissa ennen käyttöönottoa. Partikkelijäämien yleisyyttä eri valmistajien ja eri tavoin valmistettujen putkien sisäpinnoilla ei kuitenkaan tunneta.

### 3.2 ASENNUS JA KÄYTTÖNOTTO

Kupariputkien korroosionkestävyys riippuu veden ja putkien laadun lisäksi myös putkien käsittelystä ennen asennusta. Putken sisäpinnalle varastoinnin ja asennuksen aikana päässeet epäpuhtaudet kuten metallilastut ja hiekka sekä vedestä tulleet partikkelit voivat altistaa pistekorroosiolle erityisesti veden käytön ollessa vähäistä ja veden seisontajaksojen pitkiä. Putkistoon ei siis saa päästä likaa tai epäpuhtauksia varastointi- ja asennusvaiheessa (Outokumpu 1990). Putket tulisikin varastoida ja säilyttää työmaalla ennen asennusta mieluiten sisätiloissa ja tulpattuina.

Putket tulee asentaa valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Kannatukset tulee tehdä asianmukaisesti lämpöliikkeiden aiheuttaman korroosioväsymisen estämiseksi.

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan erityisalan työnjohtajan on huolehdittava, että vesilaitteiston tiiviys on koestettu ennen rakennuksen käyttöönottoa. Vesilaitteiston tiiviys on varmistettava vesipainekokeella. Koe on tehtävä siten, että vesijohdot liitoksi- neen ovat eristämättömiä ja helposti havaittavissa. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on tehtävä merkintä rakennustyön tarkastusasiakirjaan vesilaitteiston tiivyyden toteami- sesta. (Ympäristöministeriö 2017). Vesipainekokeessa tulee käyttää vain puhdasta vettä. Esimerkiksi painekokeessa käytetty hyvin hapan tai rikkiyhdisteitä sisältävä vesi voi häiritä oksidikerrosten muodostumista kupariputkien sisäpinnalle (Aromaa 2001).

Erityisalan työnjohtajan on huolehdittava, että vesijohtolaitteisto on huuhdeltu ennen käyttöönottoa. Huuhtelu on tehtävä talousvedellä, jotta mahdollinen lika ja irtoaines saa- daan poistettua putkistosta. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on tehtävä merkintä huuhtelusta rakennustyön tarkastusasiakirjaan. (Ympäristöministeriö 2017)

Kupariputkien huuhtelulla parannetaan myös putkien sisäpinnan suojakerrosten muo- dostumista. Huuhtelusta annetun ohjeen mukaan veden virtausnopeuden tulee olla kai- kissa putkiston osissa vähintään 0,5 m/s (Vesi- ja viemärlaitteistot -opas 2019). Mikäli putkilinjaa ei oteta käyttöön pian asennuksen jälkeen, vettä pitäisi juoksuttaa vähintään viikoittain, jotta passiivikalvon muodostuminen ja ylläpito olisi mahdollista (Cupori 2012).

Vaikka painekokeen ja huuhtelun suorittaminen on rakentamismääräysten mukaan do- kumentoitava, näistä toimenpiteistä on usein vaikeaa saada luotettavaa tietoa jälkeen- päin vaurion tapahduttua.

### **3.3 VESIJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ**

Veden seisominen verkostossa heikentää veden laatua sekä voi heikentää materiaalien kestävyyttä ja aiheuttaa siten vuotovahinkoja. Jokaista vesipistettä tuleekin käyttää vä- hintään kerran viikossa. Poissaolojen jälkeen verkosto tulisi huuhdella tekemällä 2–3 mi- nuutin lämpimän ja kylmän veden juoksutukset kaikista vesipisteistä. Täysin käyttämättä jäävä verkoston osa on tulpattava kiinni tai johtolinja katkaistava kokonaan mahdollisim- man läheltä runkolinjaa, jotta käyttämätön verkoston osa ei toimisi mikrobilähteenä. (Pelto-Huikko & Kaunisto 2015)

Asukkaiden tulisi tuntea sulkuventtiilien paikat ja toimintatavat. Kerros- ja rivitaloissa saattaa olla huoneistokohtaisia sulkuventtiileitä kiinteistökohtaisen sulun lisäksi. Sulku- venttiileitä saattaa olla myös laitekohtaisesti. Vahingot tapahtuvat odottamatta ja kyky reagoida tilanteisiin on keskeistä. Huoneistoon tulevan tai vesimittarin yhteydessä ole- van sulkuventtiilin sulkeminen pitkäaikaisen poissaolon ajaksi estää mahdollisen putkiri- kon aiheuttaman vesivahingon. Sulkuventtiilien säännöllinen käyttö edistää venttiilin toi- mintakykyä. Taloyhtiöissä sulkuventtiilin sijainnin tietää huoltoyhtiö. (Pelto-Huikko & Kaunisto 2015)

### **3.4 VIRTAUSNOPEUS**

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan erityisalan työnjohtajan on huolehdittava, että vesilaitteiston paine ja vesikalusteiden virtaamat on mitattu, säädetty ja todettu suunni- telmien mukaisiksi ennen käyttöönottoa. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on tehtävä merkintä mittaus- ja säätötyön suunnitelmanmukaisuudesta rakennustyön tarkastus- asiakirjaan. (Ympäristöministeriö 2017)

Veden liian alhainen virtausnopeus voi edesauttaa pistekorrosiota aiheuttavien saostu- mien muodostumista putkiston sisäpinnoille. Liian suuri virtausnopeus taas voi aiheuttaa

veden pyörteisyyttä ja sen seurauksena eroosiokorroosiota, jonka seurauksena muodostuu paljaita, teräväreunaisia syöpymäkohtia. Kiertovesipumppu ei saa olla liian tehokas, jotta veden virtausnopeudet ovat suositusten mukaisia. Kupariputkien eroosiokorroosion estämiseksi kylmän veden virtausnopeuden tulisi olla korkeintaan 4,0 m/s ja lämpimän veden 3,0 m/s (Vesi- ja viemärlaitteistot -opas 2019). Mikäli vesijohdossa on jatkuva virtaus, maksimivirtausnopeuden tulee olla 1,0 m/s, ja lämpimän veden kiertojohdon virtausnopeuden mitoitusarvon tulee olla 0,5 m/s.

Eroosiokorroosion riskikohtia kohtuullisissakin virtausnopeuksissa ovat juotosliitokset, mikäli niissä syntyy putken sisään tulevia ulokkeita. Näitä voi olla ilman kapillaariosia tehdyissä T-liitoksissa, joissa haaraputket ulottuvat liian pitkälle runkoputken sisään. Myös rypistysliitokset ja putkien taivekohtien poimut voivat muuttaa veden pyörteiseksi.

Veden laatu vaikuttaa myös eroosiokorroosion esiintymiseen ja voimakkuuteen. Riskiä lisäävät veden matala pH-arvo ja veden pehmeys sekä suuret happi-, kloridi- ja kiintoainepitoisuudet. Mitä aggressiivisempaa ja kuumempaa vesi on, sitä suurempi on virtausnopeuden vaikutus syöpymisnopeuteen.

### **3.5 PUTKISTOJEN HUOLTO JA KUNTOTUTKIMUKSET**

Isännöitsijän tulee hoitaa vesi- ja viemärlaitteistojen määräaikaistarkastukset ja kertoa osakkaille, milloin putkistoille tulisi tehdä kuntotutkimus tai ryhtyä saneeraustoimenpiteisiin. Taloyhtiön ja osakkeenomistajan kunnossapitovastuut eri rakenteista ja laitteista on esitetty esimerkiksi taloyhtiön säännöissä tai Kiinteistöliiton vastuunjakotaulukossa. Osa toimenpiteistä on asukkaan vastuulla, osa toimenpiteistä edellyttää ammattitaitoista tekijää.

Veden laatu on kiinteistön omistajan vastuulla liittämiskohdasta eteenpäin. Liittämiskohta on määritelty vesihuoltolaitoksen ja kiinteistön välisessä sopimuksessa. Veden laatu on kiinteistön omistajan vastuulla myös tonttivesijohdossa. Kiinteistön omistaja vastaa myös tonttivesijohtonsa kunnosta, joten kiinteistön omistajan tulee seurata tonttijohtonsa kuntoa ja ilmoittaa laitokselle tonttijohdoissa ja laitoksen laitteissa havaitsemiaan vioista ja vuodoista.

Kuntotutkimus tehdään valitettavan usein vasta toistuvien vuotovahinkojen jälkeen. Hallituksen ja isännöitsijän on huolehdittava siitä, että kaikki asukkaat tietävät ja ymmärtävät putkistojen kunnan mahdolliset vaikutukset vakuutuksiin. LVV-kuntotutkimuksen tavoitteena on selvittää putkiston kuntoon vaikuttavien toiminnallisten ongelmien tai vaurioiden laajuus ja aiheuttaja sekä antaa tarvittavat toimenpide-ehdotukset suunnittelun ja korjauksen tai uusimisen lähtötiedoiksi. Tutkimusmenetelmät ovat usein rakenteita rikkovia. Kuntotutkimusraportissa esitetään putkijärjestelmien kunto, korjaustarve, käyttöikä ja kustannukset sekä riskit, jos korjauksia ei tehdä ajallaan. (SuLVI 2013) Tutkimuksia ja selvityksiä tekevät asiantuntijat, mm. FISE-pätevyityneet kuntotutkijat.

Käytössä olleiden kupariputkien kuntotutkimuksissa ja putkien jäljellä olevan käyttöiän arvioinnissa tulee ottaa huomioon se, että pistesyöpyminen ei välttämättä etene tasaisella nopeudella. Jossain vaiheessa syntyneet pienet pistesyöpymät voivat pysyä pitkään samankokoisina ja pistesyöpymien eteneminen pysähtyä uudelleenpassivoitumisen seurauksena. Yksittäisen kupariputken pienehköiden pistesyöpymien syvyydestä ei voi siis päätellä mahdollisesti vuotoihin johtavan pistekorroosion riskiä. Arviointiin tarvittaisiin vähintään kahden eri käyttöikää edustavan samasta putkilinjasta otetun riittävän vertailukelpoisen putkinäytteen tutkimukset.

### 3.6 TALOUSVEDEN SYÖVYTTÄVYYDEN HALLINTA

Talousvesiasetuksen mukaan vesi ei saa olla aggressiivista, mutta veden syövyttävyydelle ei ole annettu määritelmää eikä asetuksessa ole suosituksia tai vaatimuksia esimerkiksi alkaliteetille (bikarbonaattipitoisuus), kovuudelle eikä hiilidioksidipitoisuudelle. Veden pH-arvolle on annettu vain laatutavoite 6,5–9,5.

Alkaliteetti on muuttuja, jonka nostaminen tasaa pH:n muutoksia mahdollisten veden laatumuutosten aikana. Alkaloinnin tavoitteena on minimoida metalli- ja betoniputkien syöpyminen sekä hallita haitallisten kalkkisaostuminen muodostuminen. Veden alkaliteetti on keskeinen tekijä karbonaattisysteemissä. Vedenkäsittelyssä hiilidioksidi joko sidotaan alkaloinnilla bikarbonaatiksi eli alkaliteetiksi tai ilmastetaan pois vedestä. Molemmat käsittelyt nostavat samalla veden pH-arvoa. Liian alhaista alkaliteettia voidaan nostaa hiilidioksidin annostuksella, soodalla tai kalkkikivisuodatuksella. Veden hiilidioksidin ja alkaliteetin suhdetta on kuvattu liitteen 1 kalkki-hiilihappotasapaino kuvauksessa.

Pohjaveden hiilidioksidi on yleensä aggressiivista. Aggressiivinen hiilidioksidi on liuenneen hiilidioksidin osa, joka jää kalsiumkarbonaatin ja hiilihapon tasapainoon kuuluvan hiilidioksidin jälkeen. Kun vedenkäsittelyllä nostetaan pH-arvoa, vähenee aggressiivisen hiilidioksidin määrä.

Veden hiilidioksidipitoisuutta mitataan vedenlaadun seurannassa vielä suhteellisen harvoin, ja sen vaikutusta on tutkittu ennen kaikkea yleisen korroosion näkökulmasta. Korroosiota lisäävän vaikutuksen on yleisesti esitetty johtuvan paikallisesta happamuuden lisääntymisestä, kun hiilidioksidin reagoidessa vedessä kuparipinnan läheisyydessä syntyy karbonaattia ja happamuuden lisääntymistä aiheuttavia H<sup>+</sup>-ioneja.

Suomessa suurten vesilaitosten toimittaman veden laatu on yleensä hyvä myös syövyttävyyden kannalta, mutta pienempien vesilaitosten veden laadussa on toisinaan puutteita tässä suhteessa. Erityisesti pienten pohjavesilaitosten veden laatu on heikompa matalien pH-arvojen, alkaliteetin ja kovuuden sekä korkeiden hiilidioksidipitoisuuksien vuoksi. (Ahonen ym. 2008)

Putkistomateriaalien kestävyysvarmistamiseksi materiaalien ja veden yhteensopi vuus tulee varmistaa jo suunnitteluvaiheessa. Mikäli kiinteistöön toimitettavan veden tekninen laatu on puutteellista, materiaalit tulee valita erityisen huolellisesti tai ottaa käyttöön kiinteistökohtainen vedenkäsittely. Kiinteistökohtaisessa vedenkäsittelyssä on suositeltavaa käyttää menetelmiä, joiden käytöstä on pitkäaikaista kokemusta tai vaikuttavuudesta Suomen olosuhteissa tehtyjen riippumattomien tutkimusten tuloksia.

Lämmin vesi ei Suomessa ole säädösten mukaisesti talousvettä, mutta sitä johdetaan samoista materiaaleista valmistetuissa putkissa ja laitteissa kuin kylmääkin vettä. Veden teknisen laadun parantaminen voi aiheuttaa myös epätoivottuja muutoksia, sillä vaikka lämmönsiirtopintojen syöpyminen vähenee yleisesti, voi kalkin saostuminen pinnoille heikentää lämmön siirtymistä ja aiheuttaa tukkeumia.

Korroosion estämiseksi olisi toivottavaa, että talousvesiasetuksessa olisi veden tekniseen laatuun vaikuttaville muuttujille ja niiden mittauksille suositukset. Vesi- ja viemäri-laitteiston suunnittelijan tulee tuntea johdettavaksi aiotun veden laatu, jotta korroosio voidaan välttää (Talotekniikkainfo). Siksi tekniseen laatuun vaikuttavia muuttujia tulisi tutkia laitosten omavalvonnassa. Vuonna 2021 voimaan tulleessa EU:n juomavesidirektiivissä esitetään, että vesihuoltolaitosten tulee tiedottaa veden kovuus sekä kalsium-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet (Direktiivi (EU) 2020/2184). Kun talousvesiasetus uusitaan

vastaamaan direktiiviä, olisi hyvä pohtia myös alkaliteetin ja hiilidioksidin lisäämistä tiedotettavien muuttujien joukkoon.

### 3.6.1 Suosituksia

Kuparin pistekorroosion vähentämiseksi (Kaunisto ym. 2020):

- Veden pH:n tulisi olla yli 7,5 ja alkaliteetin yli 0,6 mmol/l.
- Hiilidioksidipitoisuutta olisi seurattava ja sen tulisi olla alhainen.

Korroosioriskiä lisääville anioneille suositellaan pitoisuudeksi (Kaunisto ym. 2020):

- Sulfaatti alle 100 mg/l
- Kloridi alle 25 mg/l

Kationit ja yhdisteiden muodostamat saostumat voivat edistää kupariputkien pistekorroosiota. Raudan, alumiinin ja mangaanin osalta talousvesiasetuksen laatutavoitteet ovat Scandinavian Copper Development Associationin (SCDA) asettamien suositusrajojen mukaisia tai tiukempia.

- Rauta alle 0,2 mg/l
- Alumiini alle 0,2 mg/l
- Mangaani alle 0,05 mg/l

Kupariputkien yleisen ja paikallisen syöpymisen estämiseksi on oleellista, että putkien sisäpinnoille muodostuu suojaavia oksidikerrostumia. Kirjallisuuskatsauksen perusteella suojakerrosten muodostumista varmistavat ja korroosiota vähentävät edellisten lisäksi riittävä happipitoisuus, erityisesti putken käyttöönoton yhteydessä, kun suojaava oksidikerrostuma muodostuu. (Kaunisto ym. 2020)

## 4 YHTEENVETO

Vesijohtoina käytettävien kupariputkien kestävyys riippuu ensinnäkin vesijärjestelmän suunnittelusta, rakentamisesta, putkien laadusta, asennustavasta ja käyttöönottomenetelyistä. Vesijärjestelmän käyttövaiheessa vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötilat, vedenkäyttötavat, virtausnopeudet sekä talousveden laatu ja sen vaihtelut. Veden syövyttävyyteen vaikuttavista vedenlaatutekijöistä tärkeimpiä ovat liuenneen hapen pitoisuus, pH-arvo, kloridi- ja sulfaattipitoisuudet, hiilidioksidipitoisuus, kovuus ja alkaliteetti (bikarbonaattipitoisuus).

Monissa kupariputkien sisäpinnan pistekorrosiotapauksissa vaurioituneiden putkien sisäpinnan kerrostumissa on todettu runsaasti piitä. Piyyhdisteistä eli silikaateista pinnoille muodostuneet kerrostumat eivät kuitenkaan aina ole liittyneet pistekorrosiotapauksiin. Nykyisen tutkimustiedon perusteella ei ole mahdollista antaa suositusta talousveden silikaattipitoisuudelle kupariputkien korroosioriskien pienentämiseksi. Suoritettujen kenttäkokeiden tulokset osoittivat sen sijaan, että silikaattipitoisuudesta riippumatta kuparin korroosion käynnistymiseen vaikuttaa merkittävästi veden muu laatu ja syövyttävyyteen vaikuttavista tekijöistä erityisesti veden sisältämä hiilidioksidi.

Kenttätutkimuksen perusteella Suomessa yleisimmin tapahtuvan kupariputkien pistekorroosion keskeisin tekijä on todennäköisimmin kupariputken sisäpinnalle kiinnittyvä rauta, joka aiheuttaa pistekorroosion ydintymisen sellaisiin kohtiin mihin rautaa on kiinnittynyt. Korroosio ei kuitenkaan etene muuten kuin olosuhteissa, joissa vesi sisältää riittävästi liuennutta hiilidioksidia.

Putkiston käyttöönotto on oleellisen tärkeää tehdä asianmukaisesti pintaa suojaavan oksidikerrostuman muodostumiseksi ja pistekorroosion estämiseksi. Jos putkia ei huuhdella kunnolla asennuksen jälkeen ennen käyttöönottoa, pinnoille jäävät epäpuhtaudet voivat aiheuttaa pistekorroosiota happipitoisuuserojen vuoksi. Pitkät seisontajaksot asennuksen ja käyttöönoton välillä voivat aiheuttaa happipitoisuuden vähenemisen lisäksi mikrobikasvua, joka voi myös aiheuttaa pistekorroosiota. Jos vesijärjestelmää ei oteta käyttöön heti sen valmistumisen jälkeen, putket tulee joko tyhjentää vedestä tai järjestää veden juoksutus vähintään viikoittain. (Pelto-Huikko & Kaunisto 2015)

Ennenaikaiset kupariputkivauriot ovat viime vuosina olleet esillä julkisuudessa, mutta kuparisten vesijohtojen vaurioiden esiintymisestä Suomessa eri aikakausina ja vaurioiden syistä ei ole tilastotietoa eikä lisääntynyt uutisointi välttämättä korreloi vauriotapausten esiintymismäärien kanssa.



## LÄHTEET

- Ahonen M, Kaunisto T, Mäkinen R, Hatakka T, Vesterbacka P, Zacheus O, Keinänen-Toivola M. 2008. Suomalaisen talousveden laatu raakavedestä kuluttajan hanaan vuosina 1999–2007, Vesi-Instituutin julkaisu 4. Vesi-Instituutti/Prizztech Oy. 127 s. + liitteet 40 s. Saatavilla: <https://www.samk.fi/wp-content/uploads/2016/06/VI-julkaisu4.pdf>
- Aromaa, J. 2001. Vesijohtoverkoston korroosion estäminen kalkkikivialkaloinnilla. Teknillisen korkeakoulun materiaalitekniikan ja metallurgian julkaisu, TKK-MK-122. 62 s.
- Boglaenko D, Qafoku O, Kukkadapu RK, Kovarik L, Katsenovich YP, Cherkasov DE, Emerson HP, Levitskaia TG. 2021. Elemental iron: reduction of pertechnetate in the presence of silica and periodicity of precipitated nano-structures. *Environmental Science Nano*, 2021, 8, 97.
- Bremer, P.J., Webster, B.J. & Wells, D.B. 2001. Biocorrosion of copper in potable water. *Journal of the American Water Works Association* 93:82-91.
- Cupori 2012. Pikaopas LV-putkien asennukseen. Saatavilla: <http://www.taloon.info/pdf/cupori/cupori-asennusopas.pdf>.
- Direktiivi (EU) 2020/2184. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ihmisten käyttöön tarkoitetun veden laadusta.
- Kaunisto T, Latva M, Pelto-Huikko A, Salonen N. 2020. Kiinteistöjen kupariputkien korroosio. Kirjallisuusselvitys. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 62. Helsinki. 40 s. Saatavilla [https://www.vvy.fi/site/assets/files/5264/kiinteistojen\\_kupariputkien\\_korroosio\\_kirjallisuusselvitys.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/5264/kiinteistojen_kupariputkien_korroosio_kirjallisuusselvitys.pdf)
- Keevil, C.W. 2004. The physico-chemistry of biofilm-mediated pitting corrosion of copper pipe supplying potable water. *Water Science and Technology* 49(2) 91-98.
- Kristiansen, H. 1977. Corrosion of Copper by Water of Various Temperatures and carbon dioxide contents., *Materials and Corrosion/Werkstoffe Und Korrosion*, 28(11), 743–748. doi:10.1002/maco.19770281102.
- Latva M, Inkinen J, Rämö J, Kaunisto T, Mäkinen R, Ahonen M, Matilainen J, Pehkonen S. 2016. Studies on the magnetic water treatment in new pilot scale drinking water system and in old existing real-life water system. *Journal of Water Process Engineering*, 9, 215-224. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.01.009>.
- Mattsson, E. 1990. Tappvattensystem av kopparmaterial. *Korrosionsinstitutet*. 31 s.
- Outokumpu 1981. Outokummun kupariputkiopas. Outokumpu Oy.
- Outokumpu 1990. Kupariputket. Outokumpu Poricopper Oy.
- Pelto-Huikko, A. & Kaunisto, T. 2015. Kiinteistöjen vesijärjestelmien riskienhallinta. Vesi-Instituutin julkaisu 4. Satakunnan ammattikorkeakoulu/Vesi-Instituutti WANDER. 43 s.
- SCDA Rör av koppar. Scandinavian Copper Development Association.
- SFS-EN 12502-2. 2005. 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
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015.
- SuLVI 2013. LVV-kuntotutkimusopas 2013. 60 s. + liitteet 53 s.
- Talotekniikkainfo. Vesi- ja viemärlaitteistot -opas, päivitetty 11.6.2021. Luku 2, Rakennuksen vesilaitteisto. Talotekninen teollisuus ja kauppa ry. Saatavilla: <https://www.talotekniikkainfo.fi/rakennusten-vesi-ja-viemarilaitteistot-opas>
- Vesi- ja viemärlaitteistot -opas. 2019. Vesi- ja viemärlaitteistot, esimerkit: Vesilaitteiston mitoitusohjeet (D1/2007 Liite 2). Päivitetty 11.6.2019. Talotekniikkateollisuus, Talotekniikkainfo. Saatavilla: <https://www.talotekniikkainfo.fi/vesilaitteiston-mitoitusohjeet-d12007-liite-2>
- Ympäristöministeriö 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. 11 s.

## LIITTEET

LIITE 1 KALKKI-HIILIHAPPOTASAPAINO

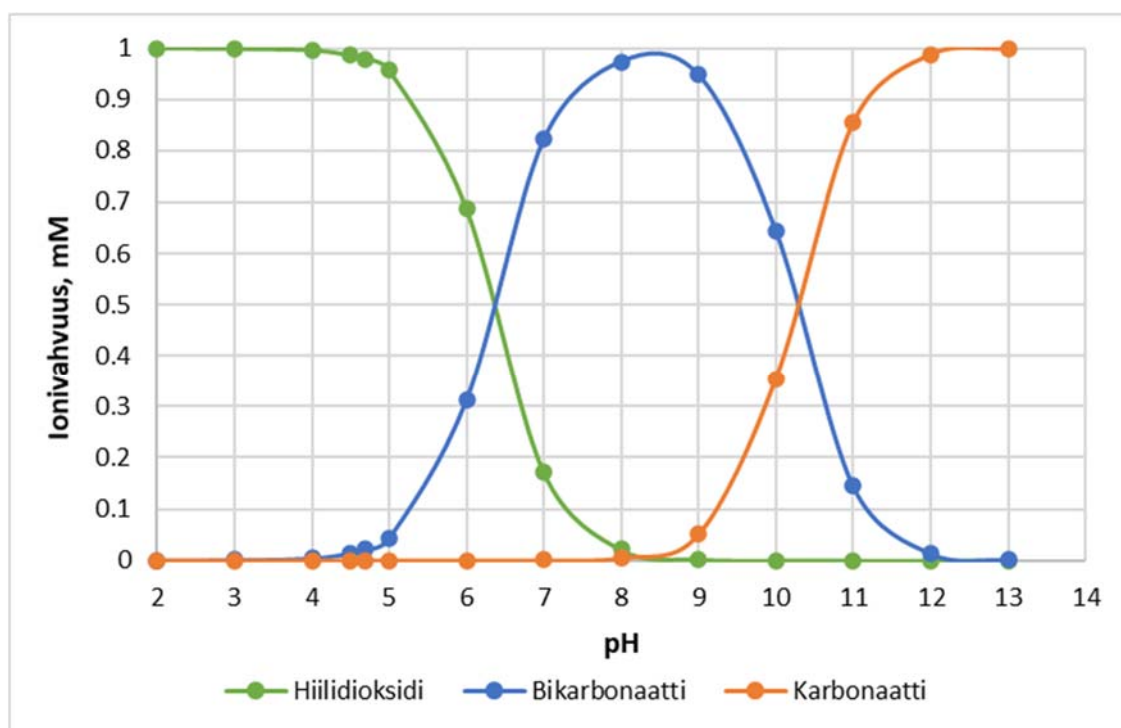
## LIITE 1 KALKKI-HIILIHAPPOTASAPAINO

Kirjoittajat: Päivi Peltonen ja Jorma Pääkkönen, FCG Finnish Consulting Group Oy

Veden pH-arvo määräytyy hiilidioksidin  $\text{CO}_2$  (hiilihapon  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) ja sen suolojen bikarbonaatin  $\text{HCO}_3^-$  tai karbonaatti  $\text{CO}_3^{2-}$  suhteiden perusteella.<sup>1,2</sup> Vedenkäsittelyssä pH-arvoa nostettaessa siis neutraloidaan hiilidioksidia (hiilihappoa) bikarbonaatiksi. Edelleen pH-arvoa nostettaessa bikarbonaattia muuttuu karbonaatiksi. Neutralointikemikaalin (esim. kalkki, lipeä) annostusmäärä riippuu hiilidioksidipitoisuudesta.

Taulukko 1. Alkalointikemikaalien likimääräiset vaikutukset hiilidioksidiin ja sen suoloihin

| pH-alue |                                 |
|---------|---------------------------------|
| 0–4,2   | mineraalihapot neutraloituvat   |
| 4,2–8,3 | hiilidioksidista bikarbonaattia |
| yli 8,3 | bikarbonaatista karbonaattia    |



Kuva 1. Hiilidioksidin, alkaliteetin ja karbonaatin jakautuminen vedessä riippuen pH-arvosta.

pH:ssa yli 8,3–8,4 vedessä ei ole enää liuennutta hiilidioksidia ( $\text{CO}_2 < 1 \text{ mg/l}$ ). Osa veden hiilidioksidista on aggressiivista, mikä tarkoittaa kalkkia (kalsiumkarbonaattia) liuottavaa. Sen määrää voidaan arvioida sekä laskennallisesti että kokeellisesti.

Sopiva pH riippuu veden bikarbonaattipitoisuuden (= alkaliteetti) lisäksi lähinnä kalsiumpitoisuudesta. Talousveden alkaloinnissa tavoiteltavaa optimi pH-arvoa voidaan arvioida

<sup>1</sup> RIL 124-1-2003: Vesihuolto I

<sup>2</sup> Vesi- ja viemärlaitosyhdistys 2002: Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi.

kalkki-hiilihappotasapainon laskennalla tai kokeellisesti, jolloin optimi pH:ssa kalkkia ei saostu vedestä haitallisia määriä kuluttajien lämminvesilaitteisiin (AWWA 2017<sup>3</sup>, Standard methods<sup>4</sup>). pH on sopivalla tasolla, kun kalkkia (kalsiumkarbonaattia) alkaa saostua lämpimään veteen, 20–50 asteen lämpötilassa.

Jos veden kalsiumpitoisuus on korkea, talousveden pH ei voi olla korkea. Esimerkiksi talousveden kalsiumpitoisuuden ollessa 30 mg/l ja alkaliteetti 2 mmol/l, talousveden pH optimi on noin 7,5. Jos tällaisen veden pH nostetaan arvoon 8,0, alkaa kalkkia saostua jo kylmästä vedestä.

Veden hiilidioksidipitoisuus voidaan analysoida laboratoriossa tai laskea teoreettisesti. Hiilidioksidi vapautuu vedestä helposti kaasuna ilmaan, joten hiilidioksidin määrä vedessä pienenee näytteenoton, kuljetuksen ja säilytyksen aikana. Kun hiilidioksidia vähenee vedestä näytteenotossa, nousee myös veden pH-arvo. Tämän vuoksi hiilidioksidi- ja pH-näytteiden näytteenotossa tulee olla erittäin huolellinen, valuttaa vettä hitaasti erillisiin pulloihin, ettei vesi ilmastu ja hiilidioksidi karkaa. Hiilidioksidi- ja pH-näytteet otetaan laitoksen omavalvonnassa (raakavedet, prosessin keskeltä, lähtevä), kun vesi on juoksutettu ja muut näytteet otettu, joko a) letkun avulla tai b) rauhallisella juoksutuksella:

- a) Hanaan kiinnitetään kapea muoviletku. Letkun asentamisen jälkeen juoksutusta jatketaan yhden minuutin ajan. Vie letku pullon pohjalle ja anna letkusta tulevan veden virrata pullon suun kautta ulos siten, että ulos virtaava vesimäärä vastaa 3–4 kertaa pullon tilavuutta (letkun pää koko ajan pullon pohjalla). Nosta hitaasti letku pullosta veden edelleen virratessa, ja sulje pullon korkki siten, ettei pulloon jää ilmakuplia.
- b) Jos letkua ei ole käytettävissä, pullon voi laittaa hanaan kiinni ja juoksuttaa hiljalleen pullon reunaa pitkin vähintään 3 x pullon tilavuuden yli (vesi ei saa pirskota). Sen jälkeen sulje pullon korkki siten, ettei pulloon jää ilmakuplia.

Hiilidioksidin laboratorioanalyysitulokset poikkeavat yleensä sitä enemmän todellisesta pitoisuudesta mitä korkeampi pitoisuus on. Hiilidioksidin karkaaminen myös nostaa pH-arvoa.

---

<sup>3</sup> Internal Corrosion Control in Water Distribution Systems. American Water Works Association (AWWA). 2017. Manual of Water Supply Practices M58, Second Edition

<sup>4</sup> Standard methods for the examination of water and wastewater (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation) 2017: menetelmä nro 2330 B