

Antti Kaijalainen

Kupariputkien korroosio käyttövesi- järjestelmässä

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
28.9.2011

Tekijä(t) Otsikko	Antti Kaijalainen Kupariputkien korroosio käyttövesijärjestelmässä
Sivumäärä Aika	30 sivua 28.9.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaaja(t)	lehtori Jyrki Viranko
<p>Tämän kirjallisuuspohjaisen insinööriyön aiheena oli korroosio kuparisessa käyttövesiverkostossa. Työn tavoitteena oli löytää kuparin eri korroosimuotoihin johtavat riskitekijät ja antaa käytännön neuvot riskien pienentämiseksi. Lähdemateriaalina on sekä kotimaista että ulkomaista tutkimusaineistoa.</p> <p>Työ esittää perustiedot kuparista käyttövesiputkistomateriaalina ja metallien korroosion kemiallisen taustan. Se käy läpi kuparisen käyttövesiverkoston eri korroosimuodot keskityen tarkemmin Suomessakin ongelmia aiheuttaneisiin muotoihin. Lisäksi työssä kerrotaan käyttöveden teknisen laadun vaikutuksesta korroosion syntyyn.</p> <p>Vesivirtauksen aikaansaamasta mekaanisesta rasituksesta johtuva eroosikorroosio on käyty läpi putkistosuunnittelun ja putkenasennuksen näkökulmista. Kuvaesimerkein on havainnollistettu pyörteiseen virtauksen johtavia syitä ja niiden eliminointia.</p> <p>Työ antaa ohjeet, joilla kupariputkiston käyttöönotossa voidaan edesauttaa kuparille luontaisen suojakerroksen muodostumista putken pintaan ja siten hyvää korroosionkestoa.</p> <p>Insinööriyön aikana vahvistui käsitys siitä, että kupariselta käyttövesiputkistolta voidaan odottaa hyvää kestoä korroosiota vastaan, kun korroosion riskitekijät osataan huomioida ja ehkäistä alkaen putkistosuunnittelusta.</p>	
Avainsanat	kupariputkisto, kuparin korroosio, eroosikorroosio, putkistohuuhtelu

Author(s) Title	Antti Kaijalainen Corrosion of copper pipes in domestic drinking water systems
Number of Pages Date	30 pages 28 September 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructor(s)	Jyrki Viranko, lecturer
<p>The topic of this literature based Bachelor's thesis was the corrosion of domestic drinking water systems made of copper. The aim of the thesis was to discover the risk factors behind different types of corrosion and to give practical advice for risk minimization. The source literature included both local (Finnish) and global studies on the subject.</p> <p>In the thesis, the use of copper in domestic drinking water systems, as well as the chemical basis of the corrosion of metals were introduced. The different corrosion types in a copper pipe network were presented, focusing on the ones that have caused problems in Finland. The effect of the technical quality of drinking water on the development of corrosion was discussed.</p> <p>Erosion corrosion caused by the mechanical shear forces of the water flow was discussed from the viewpoint of piping design and installation. The causes of turbulent flow and their elimination were demonstrated with illustrations.</p> <p>In the thesis, procedures were introduced for the commissioning of a copper piping system in such a way that it supports the development of copper's natural protective layer and thus contributes to good resistance against corrosion.</p> <p>The final year project strengthened the impression that it is justified to expect copper to resist corrosion well in domestic drinking water systems when the corrosion risk factors are considered and addressed starting from the piping design.</p>	
Keywords	copper piping, copper corrosion, erosion corrosion, piping flushing

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kupari käyttövesiputkistomateriaalina	2
3	Korroosion kemiaa	3
4	Kupariputken korroosiotyypit	5
4.1	Pistekorroosio	6
4.2	Eroosiokorroosio	8
4.3	Rako- ja piilokorroosio	10
4.4	Yleinen korroosio	10
4.5	Korroosioväsyminen	11
4.6	Jännityskorroosio	11
4.7	Ulkopuolinen korroosio	12
4.8	Mikrobiologinen korroosio	12
5	Putkistovirtaus eroosiokorroosioon vaikuttavana tekijänä	14
5.1	Virtauksen nopeuden ja pyörteisyyden merkitys	14
5.2	Virtauslajin selvittäminen	16
5.3	Putkenhalkaisijan vaikutus	18
6	Kupariputkiston asennuksesta, kalusteista ja käyttöönnotosta	19
6.1	Putkien käsittely	19
6.2	Kupariputkien liitokset	19
6.3	Muut metallit kupariputkistossa	22
6.4	Käyttöönotto	24
7	Korroosiolle altistavia käyttöveden teknisiä laatutekijöitä	25
7.1	Alumiini ja mangaani	26
7.2	Kloori	26
7.3	Silikaatti	26
8	Yhteenveto	27
	Lähteet	29

1 Johdanto

Kupari on paljon käytetty kiinteistöjen vesijohtomateriaali sekä uudisrakentamisessa että korjauskohteissa. Suomen Isännöintiliiton vuonna 2007 tekemän kyselyn mukaan kuparin osuus korjauskohteiden uusituissa vesijohdoissa oli 56,1 % (Kekki ym. 2008: 139).

Yleensä kupariputki kestää hyvin veden, ilman ja maaperän syövyttäviä vaikutuksia vastaan. Kuparin hyvä korroosiokestävyys johtuu siitä, että se lukeutuu metallien sähkökemiallisessa jännitesarjassa jaloihin metalleihin. Kuparin liukoisuus veteen on pieni ja hapettuminen vähäistä. Myös kuparia syövyttävät maaperät ovat harvinaisia. Kuparisten kylmävesijohtojen kestoiksi suotuisissa olosuhteissa voidaankin arvioida 50 vuotta. Kuparisten lämminvesijohtojen käyttöikä taas vaihtelee tavallisesti 30–50 vuoteen. Kuitenkin epäsuotuisissa olosuhteissa putket voivat syöpyä huomattavasti nopeammin, jo muutamien vuosien käytön jälkeen. (RVV-käsikirja 1987: 61; Kekki ym. 2008: 143.)

Metallin korroosioon liittyy aina kemiallisia tai sähkökemiallisia reaktioita sekä joissain tapauksissa myös mekaanisia tekijöitä, joita nestevirtauksen nopeus ja tyyppi voivat aikaansaada. Korroosioilmiöt ovat monimutkaisia, mutta kaikkien niiden perussyynä on metallin pyrkimys minimienergiatilaan eli hapettumaan puhtaista metalleista – missä muodossa ne ovat putkistossa – takaisin yhdisteikseen. (Antila ym. 2009: 201–202.)

Kupariputkiston suunnittelussa ja asennuksessa tehdyillä virheillä on suuri merkitys korroosioaurioiden syntyyn. Erityisesti ne vaikuttavat eroosikorroosiota lisäävästi silloin, kun veden virtausnopeus putkistossa on yli suositeltujen maksimiarvojen tai virtaus on jossain putkenosassa häiriöinen. (Kekki ym. 2008: 66.)

Myös käyttöveden ominaisuudet voivat nopeuttaa korroosiota, esimerkiksi jos ne estävät normaalisti kupariputken sisäpintaan muodostuvan suojakerroksen synnyn tai vioittavat sitä (Kekki ym. 2008: 67–68). Putken ulkopuolisena tekijänä on huomioitava putkiston asennusympäristön ominaisuudet ja sen mahdolliset vaikutukset putken ulkopintaan.

Tämän insinööriyön tavoitteena on esittää selkeästi ja johdonmukaisesti kuparisissa käyttövesiputkistoissa Suomessa tavatut korroosiotyypit ja olosuhteet, jotka edesauttavat korroosion syntymistä. Lisäksi käydään läpi ne tavat, joilla jo putkiston suunnittelussa, materiaalivalinnoissa ja asennuksessa voidaan ehkäistä tai hidastaa korroosion syntyä. Tavoitteena on, että esimerkiksi omatoiminen pientaloremontoiija pystyisi tähän työhön tutustumalla saamaan kokonaiskuvan kupariputkiston korroosioriskeistä ja käytännön neuvot virheiden välttämiseksi.

2 Kupari käyttövesiputkistomateriaalina

Kupariputkea, lähtöaineenaan 99,95 %:n puhtausasteinen elektrolyyttikupari, on käytetty vuosikymmenten ajan suomalaisissa käyttövesiputkistossa. Niitä on asennettu 1940-luvulta alkaen yleisesti lämminvesijohdoiksi ja 1960-luvulta alkaen kylmävesijohdoiksi. Myöhemmin tässä työssä esiteltävien korroosionkesto-ominaisuuksiensa lisäksi se on nykypäivänäkin suosittu käyttövesiputkistomateriaali muun muassa kilpailukykyisen hintansa, mekaanisen lujuutensa sekä hyvän muihin materiaaleihin yhdisteltävyytensä ansiosta. (RVV-käsikirja 1987: 60; Harju 2005: 90.)

Kupariputkia voidaan asentaa joko pinta-asennuksena tai koteloituna rakenteen sisään, joista jälkimmäisessä tapauksessa niiden tulee olla vuotovesisuojujattuja. Kupariputkia on saatavilla ulkopinnaltaan maalattuina, kromattuina sekä muovipäällysteisinä. Tarjoamien esteettisten etujen lisäksi päällysteen tehtävänä on suojata putkea ulkoisilta vaurioilta. (Kekki ym. 2008: 63.)

Uudisrakentamisessa kuparia käytetään putken lisäksi putkistoliittimissä. Kupariputkistoon asennettavat venttiilit ovat tyyppillisesti valmistettu kovemmasta materiaalista, kuten messingistä. (Talousveden laatu ja verkostomateriaalit 2008: 2.)

Käyttöveden sisältämä happi asettaa putkistolle ja putkistolaitteille vaatimuksen hyvästä korroosiokestävyydestä. Suotuisissa virtausolosuhteissa kupariputken sisäpinta happettuu hieman, mutta kuparin kohdalla tämä on toivottu ominaisuus, sillä samalla

muodostuu sen pintaa enemmän korroosiolta suojaava kuparioksidikerros. (Seppänen & Seppänen 2004: 213; Harju 2005: 90.)

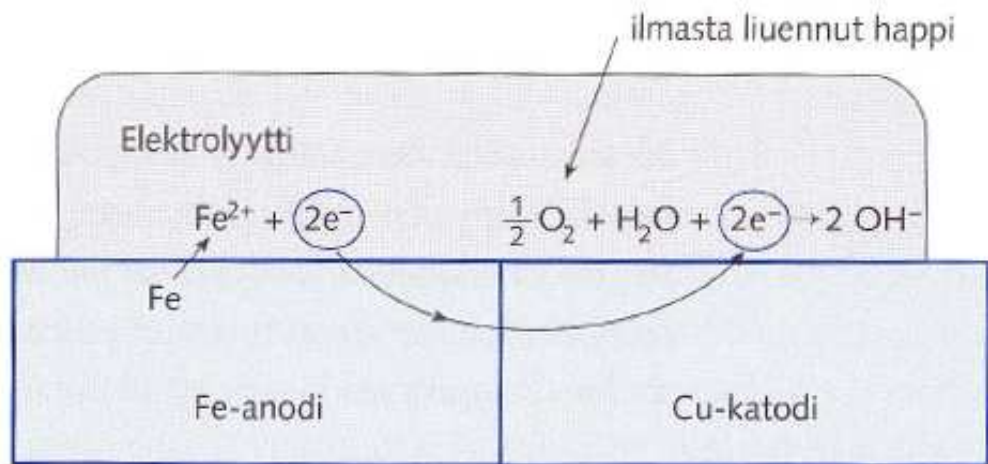
3 Korroosion kemiaa

Metallin korroosiolla tarkoitetaan sen hidasta syöymistä, joka aiheutuu metallin pintaan kohdistuvasta kemiallisesta ja sähkökemiallisesta vaikutuksesta. Raja näiden vaikutusten välillä on häilyvä. Märässä ympäristössä tapahtuva korroosio tulkitaan yleensä sähkökemialliseksi, sillä sähkökemian mallit ovat ilmiöiden taustalla (Antila ym. 2009: 201). Tässä insinööriyössä keskitytään sähkökemialliseen korroosioon, joka pätee putkivirtauksen tapauksessa. Putkivirtauksessa metalliin kohdistuu lisäksi virtaavan nesteen aikaansaama mekaaninen vaikutus, joka osaltaan voi aiheuttaa korroosiota tai nopeuttaa sen syntyä.

Korroosion perussy on alkuainemuotoon jalostetun käyttömetallin pyrkimys tästä keinotekoisesti aiheutetusta tilastaan takaisin vähäenergiseen yhdistemuotoon. Sähkökemiallinen korroosio voidaan ajatella useasta mikrokooppisen pienestä sähköparista koostuvaksi prosessiksi, jossa tapahtuu hapettumis- ja pelkistymisreaktioita. Sähköpari muodostuu kahden sähköiseltä potentiaaliltaan toisistaan eroavan metalliosan välille. Kyseeseen voi tulla saman metallipinnan kaksi eri aluetta tai kaksi eri metallia, jotka ovat sähköisesti toisiinsa kosketuksessa. Korroosion etenemisen edellytyksenä on, että tilanteessa ovat läsnä kaikki sähkökemiallisen kennon perusosat (Antila ym. 2009: 201–202):

- Elektrodit, joilla kemialliset reaktiot tapahtuvat. Elektrodina voi toimia kupari-putki yhdessä toisen putkistometallin tai putkistossa olevien epäpuhtauksien kanssa.
- Metallioneja sisältävä ja sähköä johtava elektrolyytti, jona tässä tapauksessa toimii putkessa virtaava vesi.
- Sähköinen johdin, jota pitkin hapettumis- ja pelkistymisreaktioissa siirtyvät elektronit kulkevat. Tämä toteutuu esimerkiksi kahden eri metallin ollessa kosketuksessa toisiinsa.

Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva raudan korroosiosta sen ollessa sähkökemiallisen kennon kaltaisessa yhteydessä kupariin.



Kuva 1. Raudan anodinen korroosio (Antila ym. 2009: 204).

Anodireaktiona tapahtuu korroosiolle altistuvan metallin — tässä tapauksessa raudan — hapettuminen, jolloin se luovuttaa elektroneja. Jotta hapettuminen olisi mahdollista, täytyy jonkin elektrolyytissä olevan aineen kuluttaa vapautuneet elektronit eli pelkistyä. Kuvan 1 tapauksessa pelkistyy ilmasta veteen liuennut happi. Pelkistyminen tapahtuu kuparikatodin pinnalla, elektronien siirtyessä metallia pitkin. Rauta anodilla syöpyy, mutta katodilla kupari säilyy ehjänä. (Lehtonen & Lehtonen 2008: 161; Antila ym. 2009: 203.)

Täysin puhdas vesi johtaa huonosti sähköä eikä sisällä aineita, jotka voisivat ottaa vastaan anodilla vapautuneet elektronit. Tästä syystä se on huono elektrolyytti, mutta tässä työssä tutkittavassa putkistovirtauksessa virtaava vesi ei koskaan ole täysin puhdasta, kuten ei myöskään ole putken ulkopinnalle mahdollisesti tiivistyvä kosteus. Niihin liuenneina voi olla esimerkiksi happea, hiilidioksidia sekä erilaisia suoloja, joiden ansiosta vesi voi toimia elektrolyytinä korroosioreaktioissa. (Antila ym. 2009: 204.)

Eri metallien sekä niiden muodostamien liitosten korroosioherkkyyttä voidaan ennustaa kuvassa 2 esitetyn metallien jännitesarjan avulla.

Li K Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Cu Hg Ag Pd Pt Au

Kuva 2. Metallien jännitesarja (Antila ym. 2009: 180).

Epämetalli vety (H) on mukana jännitesarjassa vertailuaineena. Sen vasemmalla puolella olevat metallit, kuten rauta (Fe), kuuluvat epäjaloihin metalleihin. Vastaavasti vedyn oikealla puolella olevat metallit ovat jalometalleja. Jaloja metalleja, kuten kuparia (Cu), voi esiintyä luonnossa alkuainemuodossaan, kun taas epämetalleja esiintyy vain yhdisteinään. Jännitesarjaa tarkastelemalla voidaan siis päätellä aiemmin esitetyn kuvan 1 sähkökemialliset tapahtumat: Metallinen rauta pyrkii takaisin vähäenergisempään yhdistemuotoon, eli sillä on pyrkimys hapettua (syöpyä), kun taas jalometalli kupari säilyttää metallimuotonsa. Yleisesti voidaan todeta, että jännitesarjassa esitettyjen kahden metallin välisissä korroosiotapahtumissa niistä epäjalompi — eli vasemmanpuoleinen — on se, joka syöpyy. (Lehtonen & Lehtonen 2008: 144.)

4 Kupariputken korroosiotyypit

Kuparisella käyttövesiputkella on luontaisesti hyvä korroosiokestävyys, joka perustuu sen metallisen pinnan passivoitumiseen. Kuparin ollessa talousveden kanssa kosketuksessa tapahtuu sen pinnalla hapetus-pelkistysreaktioita. Näiden reaktioiden myötä kuparin pintaan muodostuu niukkaliukoinen ja kiinteä kuparioksidikerros, joka estää kuparia liukenemasta ja siten hidastaa korroosion syntyä. Käyttöveden laatu sekä putkiston käyttöolosuhteiden, kuten veden lämpötilan ja virtaaman, vaihtelu vaikuttavat suojakerroksen muodostumisnopeuteen. (Kiinteistöjen metallisten käyttövesiputkistojen ja -laitteistojen kestävyys 2009: 2; Kekki ym. 2008: 62–63.)

Usein kupariputken korroosion taustalla on aggressiivinen vesi, joka haittaa edellä kuvattua suojakerroksen muodostumista tai vahingoittaa jo muodostunutta kalvoa. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1 (2007: 44) annetaan veden happamuudelle suositus $7,5 < \text{pH} < 9,0$ kupariputkia käytettäessä. Toisaalta virheellinen asennus tai käyttöönotto lisää tiettyjen korroosiotyyppien esiintymisriskiä merkittävästi; eroosio-

korroosion ja korroosioväsymisen kohdalla ne aiheuttavat vaurioista suurimman osan. (Kekki ym. 2008: 68.)

Kuparisessa käyttövesiputkessa esiintyvät korroosiomuodot niiden Suomessa tavatun yleisyyden mukaisessa järjestyksessä, yleisimmästä alkaen, ovat seuraavat (Kekki ym. 2008: 64–65):

- pistekorroosio
- eroosiokorroosio
- rako- ja piilokorroosio
- yleinen korroosio
- korroosioväsyminen
- jännityskorroosio
- ulkopuolinen korroosio
- mikrobiologinen korroosio.

Seuraavissa jaksoissa käydään läpi näiden korroosiomuotojen erityispiirteet. Erityisesti on syytä huomata, että yllä listattujen korroosioilmiöiden esiintyminen kupariputkessa vaihtelee osaltaan sen mukaan, onko kyse kylmävesiputkesta vai lämminvesiputkesta.

4.1 Pistekorroosio

Pistekorroosio kattaa noin 40–50 % Suomessa tavatuista kupariputken korroosiovaurioista. Sitä voi päästä muodostumaan putkea suojaava kuparioksidikalvon vaurioituttua. Pistekorroosio voi paikallistua vain tiettyyn kohtaan putkea tai vesikalustetta, muun putkiston ollessa suurelta osin vaurioton. Käyttöveden ominaisuudet osaltaan vaikuttavat pistekorroosion etenemisnopeuteen. Lopulta pistekorroosio voi syövyttää kupariputken läpi paikallisen niin sanotun neulansilmäsyöpymän ja johtaa putkivuotoon. Käyttövesiputkistoon voi ajan myötä kehittyä useita pistekorroosiokohtia, joista yksikään ei kuitenkaan tule läpi putkesta. Haasteena onkin havaita putkiston alttius pistekorroosiolle ennen ensimmäistä putkivuotoa. (Kekki ym. 2008: 70; Ehrlich ym. 2004: 2, 18.)

Kuvassa 3 näkyy tyypillinen pistekorroosion aiheuttama putkivuoto.



Kuva 3. Pistekorrosion aiheuttama vuoto kuparisessa käyttövesiputkessa (Ehrlich ym. 2004: 3).

Pistekorrosio jaotellaan vielä kolmeen alatyyppiin, joista tyyppiä 3 ei ole tavattu Suomessa. Tyyppin 1 pistekorrosiota esiintyy lähinnä kylmässä ja kovassa vedessä. Syöpymät ovat syviä ja puolipallomaisia ja voivat johtaa putkivuotoihin jo 1–2 vuotta vanhassa putkessa. Tätä korroosiotyyppiä on kuitenkin tavattu vain harvoin Suomessa. Yleisempää se on ollut muun muassa Keski-Euroopassa, ja yleensä korroosion taustalla on ollut putkivirtauksessa olevat kiintoainejäämät, jotka ovat voineet olla esimerkiksi putken valmistusprosessista peräisin. (Kekki ym. 2008: 70–71.)

Suomessa lähestulkoon kaikki pistekorrosio on tyyppiä 2, ja sitä havaitaan käytännössä vain lämminvesiputkistoissa, kun vesi on pehmeää ja sen pH on alle 7,4. Syntyvät syöpymät ovat syviä, ja ne voivat johtaa kuvassa 3 esitetyn kaltaiseen putkivuotoon. Alttiutta tälle pistekorrosion muodolle lisäävät tietyt käyttöveden ominaisuudet, kuten korkea happamuus ja korkea sulfaattikonsentraatio. Näin ollen käyttöveden laatuun vaikuttamalla voidaan kyseistä korroosiotyyppiä ehkäistä. (Ehrlich ym. 2004: 19; Kekki ym. 2008: 65, 72.)

Pistekorrosiota on Suomessa tavattu myös tyyppiä 1½, josta on kyse, kun pistekorrosioon liittyy mikrobiologista toimintaa ja sillä on piirteitä molemmista tyypeistä 1 ja 2. Tätä korroosiotyyppiä esiintyy sekä kylmä- että lämminvesiputkissa, ja sitä voidaan torjua varmistamalla käyttöveden lämpötilan pysyminen yli 55 °C:ssa lämpimän veden osalta ja alle 20 °C:ssa kylmän veden osalta. (Kekki ym. 2008: 72.)

4.2 Eroosiokorroosio

Kuparin eroosiokorroosiomuodon aiheuttaa putkistossa virtaava käyttövesi, jonka putken sisäpintaan kohdistamat kitkavoimat voivat paikallisesti kuluttaa pois putkea suojaavan kuparioksidikerroksen. Paljastuneeseen kohtaan voi siten päästä syntymään paikallinen syöpymä. Eroosiokorroosio on yleisintä sellaisissa putkistonosissa, joissa virtauksen suunta tai nopeus vaihtelee ja virtaus on turbulenttista. Tällaisia putkistonosia voivat olla muun muassa mutkat ja haarat. Myös putken sisäpintaan huolimattomassa asennuksessa jääneet olakkeet voivat aiheuttaa tähän korroosiotyyppiin johtavia virtausvaihteluita. (Erosion-Corrosion 2010.)

Kuvassa 4 on esitetty kupariputken mutkaan, eli yllä kuvatun kaltaiselle virtausalueelle, syntynyt eroosiokorroosioalue.



Kuva 4. Eroosiokorroosio kupariputken mutkassa (Corrosion Control 2009).

Kuparin pehmeys metallina saa sen alttiiksi eroosiokorroosiolle. Riski on suurempi lämminvesilinjoissa ja sitä lisäävät käyttöveden korkea happipitoisuus sekä matala pH. Veden pehmeys edistää eroosiokorroosiota, kovuuden hidastaessa sitä. Käyttöveden mukana mahdollisesti kulkeutuvat kiintoaineet voivat lisätä eroosiokorroosiota. Veden teknistä laatua parantamalla voidaan siten vähentää eroosiokorroosiota. (Kekki ym. 2008: 64, 68.)

Suomessa eroosikorroosion osuus kupariputken korroosiovaurioista on n. 25–30 %. Virheet putkistosuunnittelussa ja asennuksessa ovat merkittävin syy sen syntyyn. Esimerkiksi asennuksessa liian jyrkäksi tehdyt putkitaivutukset lisäävät virtauksen paikallista turbulentsuutta, jos putki on päässyt litistymään tai poimuttumaan sisältä. Näitä asennusvirheitä on havainnollistettu kuvassa 5. (Kekki ym. 2008: 64, 66.)



Kuva 5. Kupariputken huonossa taivutuksessa litistynyt putki (vasemmalla), poimuttunut putki (keskellä) sekä hyvin tehty putkitaivutus (oikealla) (Kupari.com).

Eroosikorroosiota voidaan ja tulee estää putkiston suunnitteluvaiheessa huomioimalla Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 ohjeistus suurimmista hyväksytyistä virtausnopeuksista kuparisissa jako- ja kytkentäjohdoissa. Taulukossa 1 on esitetty ohjearvot, joiden tarkoituksena on juuri eroosikorroosioriskin minimointi.

Taulukko 1. Suurin hyväksytty veden virtausnopeus kuparijohdossa (Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D1 2007: 13).

Vesijohto	Suurin hyväksytty nopeus, m/s	
	Kylmä vesi	Lämmin vesi
Jakojohto	4,0	3,0
Kytkentäjohto	4,0	3,0
Johdossa jatkuva virtaus (Huom. Lämpimän veden kiertojohtoon mitoitussarvo 0,5 m/s)	1,0	1,0

Varsinkin lämpimän veden kiertojohtossa ohjearvojen noudattaminen on tärkeää. Liian suuri virtausnopeus voi syövyttää kiertojohtoa 0,1–0,3 mm vuodessa, mikä voi johtaa putkivuotoon jo 5–10 vuodessa. (Kekki ym. 2008: 68.)

4.3 Rako- ja piilokorroosio

Rako- ja piilokorroosiota on Suomessa tavattu noin 15 %:ssa kuparin korroosio-vauriotapauksista. Kyseessä on sekä kylmässä että kuumassa käyttövedessä tavattu paikallinen syöpymä, joka syntyy kahden metallipinnan väliseen liitosrakoon, metallin pinnalle kertyneiden epäpuhtauksien alle tai halkeamaan. Tällaiset paikat putkistossa ovat usein vähähappisia, jolloin kuparioksidisen suojakerroksen muodostuminen on voinut estyä hapen puutteen vuoksi. (Kekki ym. 2008: 64; Lehtonen & Lehtonen 2008: 163.)

Paikallisesti alentunut veden virtausnopeus osaltaan edesauttaa rako- ja piilokorroosion syntyä, sillä se helpottaa kiintoaineen tarttumista putken sisäpintaan ja vähentää veden vaihtuvuutta kyseisessä kohdassa. Rako- ja piilokorroosiota voidaan estää huolellisella putkiston asennuksella ja käyttönotolla. (Kekki ym. 2008: 64.)

4.4 Yleinen korroosio

Yleisessä l. tasaisessa korroosiossa kupariputkiston sisäpinta syöpyy kauttaaltaan, eri putkiston osissa likimäärin samalla n. 10 µm:n vuotuisella nopeudella. Laajuutensa vuoksi yleinen korroosio on helpompi havaita kuin paikalliset korroosimuodot. Se ei tavallisesti johda putkistovuotoihin tai laitevaurioihin, mutta voi nostaa käyttöveden kuparipitoisuutta ja aiheuttaa saniteettikalusteiden värjäytymistä. (Antila ym. 2009: 205; Kekki ym. 2008: 69.)

Yleinen korroosio syntyy, kun kuparin pintaan ei käyttöveden ominaisuuksien vuoksi pääse muodostumaan suojaavaa kuparioksidikerrosta. Tärkeä tekijä on pH, jonka tulisi olla yli 6,7 yleisen korroosion estämiseksi. Kuitenkin jos vesi on hyvin pehmeää, voi yleistä korroosiota esiintyä emäksisemmässäkin vedessä. Tämän korroosimuodon kannalta on siten syytä pitää aiemmin esitetystä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 suosituksessa $7,5 < \text{pH} < 9,0$. Muita kirjallisuudessa esitettyjä veden kemiallisia ohjearvoja yleisen korroosion välttämiseksi ovat (Kekki ym. 2008: 69)

- vapaa hiilidioksidi < 15 mg/l
- bikarbonaattipitoisuus 70–300 mg/l
- sulfaattipitoisuus < 100 mg/l

- bikarbonaatti/sulfaattisuhde > 1
- kloridipitoisuus < 100 mg/l.

Yleisen korroosion riski on suurin lämminvesijohdoissa, mutta sitä esiintyy myös kylmässä vedessä. Veden teknisen laadun parantamisen lisäksi sitä voidaan ehkäistä oikein tehdyllä putkiston käyttöönottohuuhtelulla. (Kekki ym. 2008: 65.)

4.5 Korroosioväsyminen

Korroosioväsyminen voi aiheuttaa putkivaurion yleensä lämminvesijohtoon, jos putkelle ei ole sitä asentaessa jätetty riittävästi mukautumisvaraa lämpölaajenemisesta aiheutuviin pituusmuutoksiin. Kun lämpölaajeneminen huomioidaan asennuksessa, voidaan tämä korroosionmuoto ehkäistä kokonaan. Korroosioväsyminen on aiheuttanut noin 5 % Suomessa tavatuista korroosioaurioista. (Kekki ym. 2008: 64, 68.)

4.6 Jännityskorroosio

Jännityskorroosio on Suomessa harvinainen kuparin korroosionmuoto. Putkeen voi syntyä jännityskorroosiomurtuma, jos seuraavat tekijät ovat yhtä aikaa voimassa: Putkenvalmistuksesta putkeen on jäänyt vetojännitettä, putken pinta joutuu kosketuksiin tyyppiyhdisteiden ja kosteuden kanssa, ja olosuhteet ovat emäksiset. (Kekki ym. 2008: 64; Oliphant & Jönsson 2010: 18.)

Valitsemalla EN 1057 -kupariputkituotestandardin mukaisia putkia voidaan parhaiten varmistua, että putkeen ei ole valmistusvaiheessa jäänyt haitallisia vetojännityksiä. Tyyppiyhdisteitä, kuten ammoniakkia ja nitraattia, voi päästä putken pinnalle esimerkiksi putkenvalmistuksesta tai pesuaineista. Emäksiset olosuhteet voivat syntyä esimerkiksi tietyntyyppisissä betonirakenteissa, jolloin metallipinnan suojaamiseksi niihin voidaan valita ulkopinnaltaan muovipinnoitettua putkea. Huomioimalla putkenasennuksessa erilaisten rakenteiden vaatimukset voidaan jännityskorroosiolta käytännössä välttyä. (Kekki ym. 2008: 68–69; Oliphant & Jönsson 2010: 18–19.)

4.7 Ulkopuolinen korroosio

Ulkopuolista korroosiota voi putkistossa aiheuttaa esimerkiksi kupariputken eristeen kastuminen tai kylmävesiputken ulkopinnalle kosteissa tiloissa tiivistyvä kosteus. Lisäksi putken asennusympäristöt, kuten tietyntyyppiset rikkihaittoisuudeltaan korkeat betoneokset, voivat altistaa sen ulkopinnan korroosiolle. (Kekki ym. 2008: 69; Is There a Problem With Embedding Copper Tube in Concrete 2011).

Kuvassa 6 on esitetty betoniin sijoitetun suojaamattoman kupariputken ulkopinnan korroosiotapaus.



Kuva 6. Suojaamattoman kupariputken ulkopinnan korroosio betonissa (Plumbersdiary).

Ulkopuolisen korroosion ehkäisemiseksi voidaan kupariputki käyttöympäristöstä riippuen tarvittaessa maalata tai pinnoittaa muovilla (Kekki ym. 2008: 69).

4.8 Mikrobiologinen korroosio

Mikrobiologista korroosiota voi esiintyä yksistään, mutta yleisimmin se liittyy johonkin toiseen korroosimuotoon, kuten edellä on esitetty pistekorroosion yhteydessä. Tällöin myös aiheuttamiltaan vaurioilta se vastaa jotain aiemmin esitellyistä korroosio-

muodoista. Suomen ulkopuolella on raportoitu mikrobiologisen toiminnan olleen tärkein tekijä joissain kupariputken korroosioaurioissa, ja riskiä tähän on lisännyt muun muassa mikrobiologisen toiminnan kannalta otollinen käyttöveden lämpötila sekä ajoittain seisova vesi. (Kekki ym. 2008: 73.)

Mikrobiologisen toiminnan vuoksi putken sisäpinnalle voi muodostua biofilmi, joka ilmenee ohuena bakteeripitoisena polysakkaridikerroksena tai paksuna limamaisena kerroksena. Tämän kerroksen alla voi tapahtua mikrobiologista pistemäistä korroosiota, jota havainnollistaa kuva 7.



Kuva 7. Mikrobiologisen toiminnan aiheuttama korroosio. Putken pinta on puhdistettu hapolla ennen valokuvan ottoa. (Oliphant & Jönsson 2010: 16.)

Käyttöveden lämpötila on edempänä mainituista tärkein tekijä, joka ollessaan välillä +25–50 °C on aiheuttanut korroosio-ongelmia. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1 ohjeistetaan lämpimän käyttöveden minimilämpötilaksi +55 °C, jonka alle lämpötila saa laskea vain odotusajan johto-osuuksilla. Koska vesijohtoverkon kuormitus tiedetään matalaksi esimerkiksi yöaikaan, varustetaan suurin osa kiinteistöistä lämpimän veden kiertojohdolla. Kiertojohdossa vesi kiertää jatkuvasti, jolloin sen lämpötila saadaan tasaiseksi ja estetään sitä painumasta mikrobikasvustoa suosivalle tasolle. Edelleen D1:n ohjeen mukaan kylmän veden lämpötila ei saa nousta yli 20 °C:n. (Kekki ym. 2008: 73; Seppänen & Seppänen 2004: 213.)

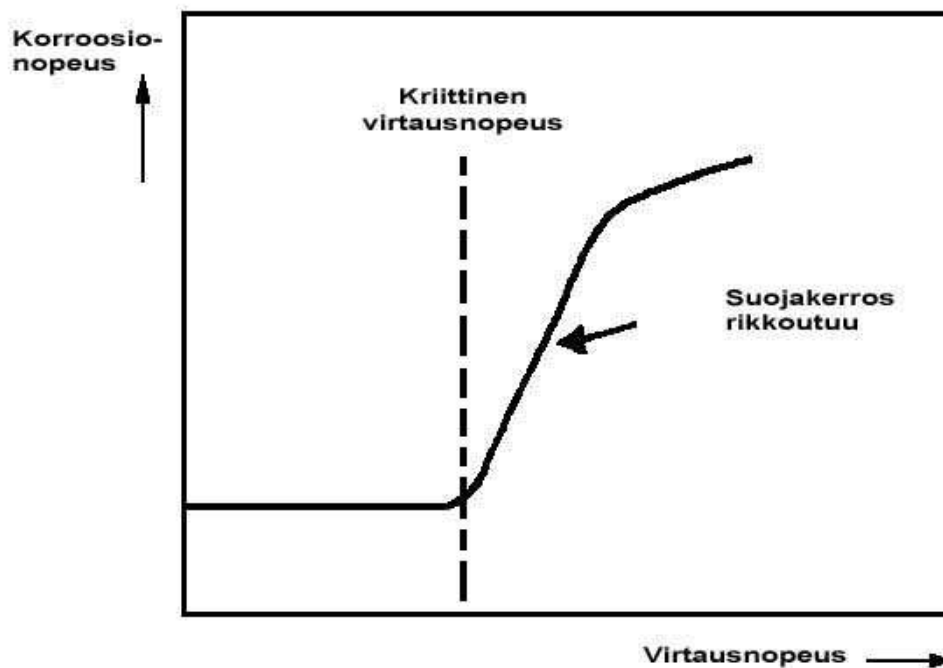
Mikrobiologisen korroosion riskin minimoimiseksi putkiston suunnittelussa tulee välttää umpipäitä ja pitkiä vaakalinjoja, joihin voisi syntyä sakkautumia ja siten anaerobista mikrobitoimintaa. Lisäksi on varmistettava riittävä puhtaus putken asennuksessa ja

käyttöön otossa sekä minimoitava aika asennuksen ja käyttöönoton välillä. (Kekki ym. 2008: 65, 74.)

5 Putkistovirtaus eroosiokorroosioon vaikuttavana tekijänä

5.1 Virtauksen nopeuden ja pyörteisyyden merkitys

Kuten luvussa 4.2 Eroosiokorroosio on kerrottu, putkistossa virtaava käyttövesi voi virtausnopeuden kasvaessa liian suureksi kuluttaa kupariputken sisäpinnan suojakerrosta ja altistaa putken nopeutuneelle korroosiolle. Korroosionopeuden suhdetta veden virtausnopeuteen havainnollistaa kuva 8.

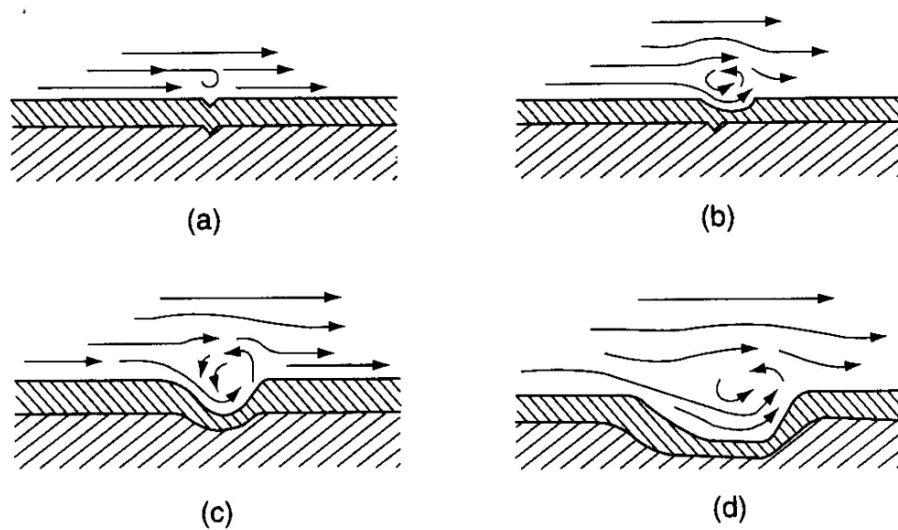


Kuva 8. Kupariseoksen korroosionopeus veden virtausnopeuden funktiona (Opetushallituksen oppimateriaalit: Mekaniikka).

Suojakerroksen rikkoontumisen aikaansaava kovalla nopeudella virtaavan, yleensä pyörteisen veden putken pintaan kohdistamat leikkausjännitykset ja painenvaihtelut. Rikkoontumista voivat vielä osaltaan nopeuttaa putkistoon jäänyt kiintoaines, kuten hiekka, tai veden sisältämät kaasukuplat. Kuvan 8 mukaisesti korroosionopeus pysyy liki-

määrin samana virtausnopeuden kasvaessa, kunnes ylitetään kyseiselle putkistolle tai sen osalle ominainen kriittinen virtausnopeus. Tämän ylittyttyä suojakerroksen rikkoutumisvauhti ja siten korroosionopeus kasvavat jyrkästi virtausnopeuden yhä kasvaessa. Jos veden mukana virtaa kiintoainesta, voi se aiheuttaa suojakerroksen rikkoutumisen jo kriittistä virtausnopeutta alhaisemmalla virtausnopeudella. (Corrosion: Impact, Principles, and Practical Solutions: 18; Opetushallituksen oppimateriaalit: Mekaniikka).

Kuvassa 9 on esitetty virtaavan nesteen pyörteilyn aikaansaama putken suojakerroksen kuluminen ja sitä seurannut putkensäöpymä.



Kuva 9. Pyörteisen nestevirtauksen aiheuttama putkensäöpymä (Erosion-Corrosion 2010).

Kuvan 9 tapauksen ensimmäisestä kuvasta nähdään, kuinka pyörteily tässä tapauksessa johtuu putken sisäpinnalla alkujaan olleesta naarmusta. Osissa 9b–9d nähdään, kuinka pyörteily voimistuu entisestään suojakerroksen ja myöhemmin putken pinnan alkaessa kulua. Pyörteilyn alkuun voi olla jokin tässä kuvatus kaltaisen mekaaninen syy, mutta myös virheettömässä putkessa veden virtaus muuttuu kerrostuneesta eli laminaarisesta turbulenttiseksi, kun veden virtausnopeus kasvaa tietyn siirtymävaiheen nopeuden yli. Kiinteistöjen käyttövesiverkostoissa virtaukset ovat turbulenttisia lähes poikkeuksetta (Kuikka 2003: 11).

Kokemusperäisesti on määritetty, että putkivirtauksessa veden virtausnopeusalue 0,3–0,8 m/s on suotuisa, kun halutaan minimoida eroosiorroosion kehittyminen. Tämä

virtausnopeusalue pätee kaikenkokoisille putkille, ja se mahtuu edellä taulukossa 1 esitettyjen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 virtausnopeusvaatimusten sisälle. Käytännössä kuitenkin näin alhaisella virtausnopeusalueella liikutaan vain lämpimän veden kiertojohdossa. (Kuikka 2003: 9.)

5.2 Virtauslajin selvittäminen

Putkistossa virtaavan veden virtauslaji, eli onko virtaus turbulენტtista vai laminaarista, voidaan selvittää laskemalla niin kutsuttu Reynoldsin luku, joka on dimensioton. Se määritellään (Heikkinen 2010: 16, 18.)

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (1)$$

Re on Reynoldsin luku

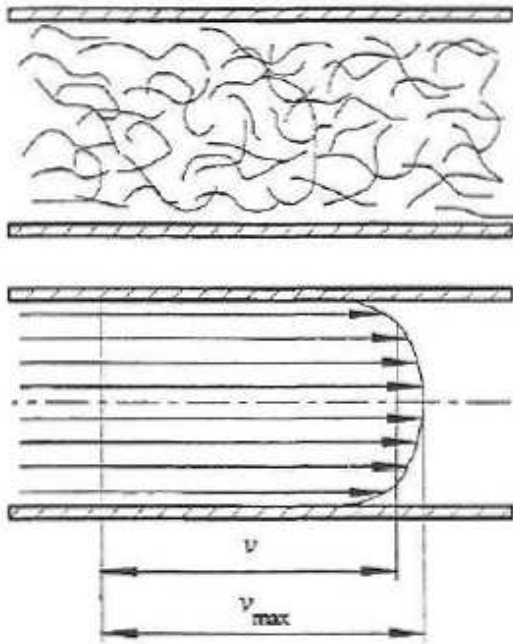
v on veden virtausnopeus

D on putken sisähalkaisija

ν on veden kinemaattinen viskositeetti

Veden virtaus putkessa on laminaarista, kun $Re < 2300$, ja turbulენტtista, kun $Re > 4000$. Välillä $2300 < Re < 4000$ on siirtymäalue, jossa virtauksella on sekä laminaarisen että turbulენტtisen virtauksen piirteitä. (Laminar Flow and Turbulent Flow of Fluids: 1–2.)

Koska käyttöveden virtauksen on todettu olevan lähes aina turbulენტtista, ja juuri pyörteinen virtaus altistaa putken eroosiorroosiolle, keskitytään seuraavassa tähän virtaustyyppiin. Turbulენტtisen putkivirtauksen pyörteinen malli sekä sen nopeusprofiili on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Yläkuvassa turbulenttinen virtaus sekä alla sen nopeusprofiili (Heikkinen 2010: 17).

Virtausprofiilin mukaisesti veden virtausnopeus on suurimmillaan putken poikkileikkauksen keskellä (v_{max}) ja hidastuu mentäessä säteensuuntaisesti putkenseinämää kohti. Hidastumisen aikaansaa putkenseinämän viereiseen nesteeseen kohdistamat kitkavoimat, ja edelleen näiden seinämää lähellä olevien vesikerrosten viereisiin kerroksiinsa kohdistama lisääntynyt sisäinen kitka.

Jos virtaus olisi pyörteetöntä l. laminaarista, olisi sen nopeusjakauma paraboloidinen. Turbulenttisessa virtauksessa kuitenkin yksittäiset nestepartikkelit voivat liikkua vapaasti ilman tarkkoja ratoja, hetkellisesti jopa virtausta vastakkaiseen suuntaan. Tämä saa aikaan nopeusprofiilin laakeuden, ja nestepartikkelin keskiarvonopeus $v = (0,8 \dots 0,88)v_{max}$. Turbulenttisen virtauksen nopeusjakauman perusteella voi saada käsityksen niistä kitkavoimista, jotka vaikuttavat eroosiokorroosion syntyyn. (Heikkinen 2010: 16–17.)

Reynoldsin luvun laskukaavan (1) mukaan virtauksen todennäköisyys olla turbulenttista kasvaa, kun putken sisähalkaisija D kasvaa, jos virtausnopeus ei vastaavasti laske. Käytännössä valittaessa isompi putkikoko samalle vesikalusteen normivirtaamalle (tilavuusvirta) laskee samalla virtausnopeus ja muutos Reynoldsin luvussa tasoittuu. Veden kinemaattinen viskositeetti taas vaihtelee käyttöveden lämpötilan mukaan, sen ollessa

+4 °C:n lämpöiselle vedelle $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ja +50 °C:n lämpöiselle vedelle $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Kaavan (1) mukaan turbulenttisen virtauksen todennäköisyys on siis suurempi lämpimälle käyttövedelle. Tämä osaltaan selittää sitä, miksi edellä taulukossa 1 esitetyt lämpimälle käyttövedelle suunnittelussa sallitut maksimivirtausnopeudet ovat alhaisemmat kuin kylmälle käyttövedelle. (Kuikka 2003: 9.)

5.3 Putkenhalkaisijan vaikutus

Kupariputken eroosikorroosiotaipumuksessa on Suomessa havaittu olevan eroja riippuen putken halkaisijasta. Eroja on siitä huolimatta, että normivirtaamaan kasvaessa putken halkaisija mitoitetaan suuremmaksi, jotta virtauksen nopeus saadaan pidettyä alle sallittujen maksimiarvojen. Ongelmallisia kupariputkikokoja ovat olleet ulkohalkaisijaltaan 18 mm:n putket ja sitä pienemmät. Ulkohalkaisijaltaan 22 mm:n putkilla ja sitä suuremmilla taas korroosio-ongelmat ovat olleet vähäisempiä.

Käytännössä 18-millimetrisiä ja sitä pienempiä kupariputkia ei toki voida yllä mainitulla perusteella olla käyttämättä, sillä tarvittava halkaisija pienenee yksittäistä vesikalustetta päin putkistossa mentäessä ja vastaa lopulta kunkin vesikalusteen normivirtaaman vaatimusta. Kuitenkin esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D1 (2007: 39) antaa kuparisten kytkentäjohtojen valintataulukossaan normivirtaamalle $0,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ (esim. pesukone talopesulassa) vaihtoehtoiksi 18- ja 22-millimetriset putkikoot, joista ensin mainitulle maksimipituudeksi annetaan neljä metriä. Kokemusperäisen tiedon valossa voisi kuitenkin halutessaan valita alle 4-metriselekin kytkentäjohtosuudelle hinnakkaampaa 22-millistä putkea eroosikorroosioriskin pienentämiseksi.

Samoin esimerkiksi tapauksessa, jossa kuparisen jakojohdon riittäväksi kooksi mitoituksen perusteella tulisi 18 millimetriä, voisi piiloon jäävään asennuksen tehdä sen sijaan 22-millimetrisenä. Huoneen sisällä voitaisiin kuitenkin käyttää 18-millimetristä putkea pinta-asennuksena, jolloin eroosikorroosion mahdollisesti aikaansaaman vuodon voisi kuitenkin havaita helposti.

6 Kupariputkiston asennuksesta, kalusteista ja käyttöönnotosta

6.1 Putkien käsittely

Kupariputkien kuljetuksen ja käsittelyn aikana tulee välttyä kolhimasta putkia ja aiheuttamasta niihin painaumia. Näin voidaan edesauttaa sitä, että valmiin putkiston virtaus on häiriötön ja eroosikorroosion riski lähtöjään pieni. Kuljetuksen ja työmaavarastoinnin aikana putkien avoimet päät on syytä suojata, jotta alusta alkaen minimoidaan riski liian jäämisestä valmiiseen putkistoon ja siten edesautetaan sisäpinnan suojakerroksen muodostumista. Jos kupariputkella on muovipinnoite, on sitä varottava vahingoittamasta ennen asennusta ja sen aikana, jotta kupari ei suotta altistu ulkoiselle korroosiolle. (Putkistojen asennus 2004: 4; Kupari.com.)

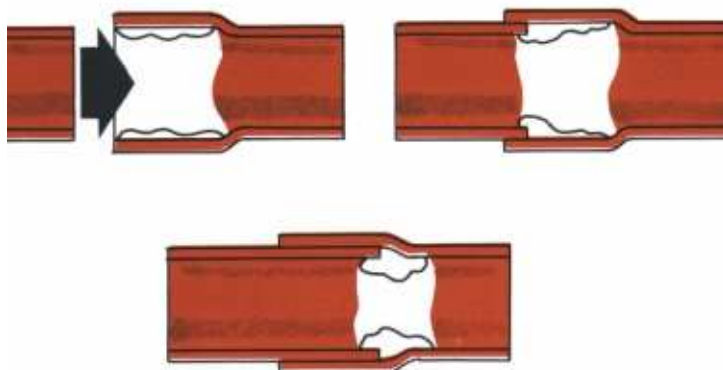
6.2 Kupariputkien liitokset

Kuparisilla vesiputkilla yleisesti käytettyjä liitostapoja ovat juotokset, pistoliitokset, ja irrotettavat sekä tiivisterenkaalliset puristusliitokset. Juotostapoja on kaksi: kovajuotto ja pehmeäjuotto. Näistä kovajuotto on yleisin Suomessa käytetty kupariputkien liitostapa. Siinä käytetään fosforikuparijuotetta Ag-Cu-P, jonka hopeapitoisuus on vähintään 2 %. Juoksutetta tarvitaan esimerkiksi juotettaessa kuparia messinkiin, mutta ei kahden kupariosan välillä. Kovajuotossa muhviiliitos on korroosion kannalta parempi kuin päittäisliitos. Käyttämällä kapillaariliitososia, joita on esitelty kuvassa 11, voidaan minimoida virtaushäiriöiden ja siten eroosikorroosion riski. Nykyisin käytössä olevat kovajuotokset eivät materiaalinsa puolesta yleensä aiheuta korroosio-ongelmia. (Putkistojen asennus 2004: 5; Kekki ym. 2008: 66–67.)



Kuva 11. Kupariputken kapillaariliitososa (Bätge).

Pehmeäjuotos on kovajuotosta mekaanisesti heikompi, minkä vuoksi sitä ei Suomessa enää usein käytetä kupariputkien liitoksiin. Lisäksi pehmeäjuotoksissa tarvittavaan juoksutteeseen liittyy korroosioriski, jos juoksutetta käytetään liikaa. Juoksutteen tarkoituksena on tehdä juotospinnoista oksidivapaat ja varmistaa siten luja juotos. Tämä onnistuu juoksutteen kemikaalien avulla, jotka osassa juoksutteista ovat kuparille aggressiivisia. Jos tällaista juoksutetta aplikoidaan liikaa, voi se juotetta lämmitettäessä päästä virtaamaan putken sisäpinnalle ja jäätyään sinne aiheuttaa pistekorrosiota. Samasta syystä juoksutetta ei saa sivellä liitososien sisäpinnoille, sillä tuolloin putkenosia yhdistettäessä juoksute pääsee työntymään valmiin liitoksen sisäpinnoille kuvan 12 mukaisesti. (Kekki ym. 2008: 67; Oliphant & Jönsson 2010: 17.)

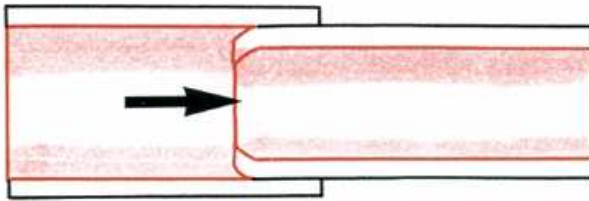


Kuva 12. Juoksute työntyy liitoksen sisäpinnalle virheellisen levityksen vuoksi (Kupari.com).

Juotteen aiheuttama pistekorroosio voi johtaa putken liitoskohdan lähellä havaittaviin neulansilmäsyöpymiin ja putkivuotoihin. Tehtäessä pehmeäjuotosta — tai juoksutteilista kovajuotosta — voidaan tältä pistekorroosiolta parhaiten välttyä käyttämällä SFS-standardin EN 29454-1 mukaista juoksutetta, välttämällä liian juoksutteen käyttöä ja sivelemällä se oikein, sekä tarvittaessa pyyhkimällä pois tai huuhtomalla vedellä putken sisäpinnalle päässyt juoksute. (Kekki ym. 2008: 67; Oliphant & Jönsson 2010: 17.)

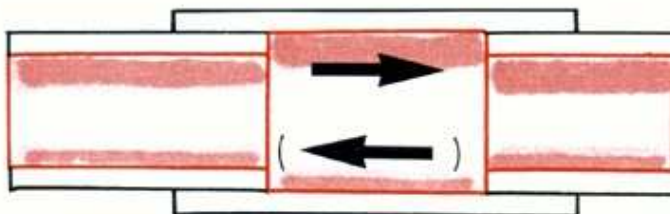
Mekaanisten liitosten kohdalla korroosioriskit vältetään hyvällä asennustavalla sekä käyttämällä liitinmateriaaleja, jotka ovat sinkinkadon kestäviä. Asennuksessa tulee välttää naarmuttamista putkea pituussuunnassa ja lisäksi tulee poistaa putkenkatkaisussa syntyneet jäysteet. (Kekki ym. 2008: 67.)

Jäysteiden poisto putkenkatkaisun jälkeen on tärkeää putken liitostavasta riippumatta. Kuvan 13 supistusliitoksessa sitä ei ole tehty, joten vesivirtaukseen väistämättä syntyy turbulenssia, joka ajan myötä voi johtaa eroosiokorroosiovaurioon.



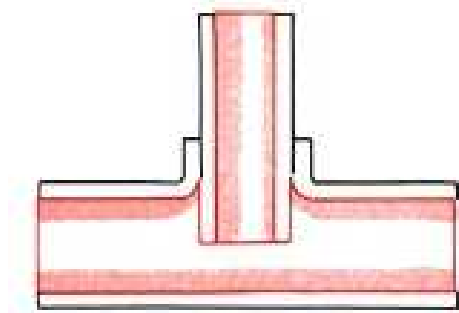
Kuva 13. Putkenkatkaisusta jääneet jäysteet aiheuttavat paikallisen virtaushäiriön (Kupari.com).

Kuvan 13 tapauksessa parempi tapa olisi käyttää tarkoitukseen sopivaa supistusyhdettä. Toinen esimerkki virtaushäiriölle altistavasta putkiliitoksesta on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Jatkoliitokseen sisältyvä virtauspoikkipinnan muutos (Kupari.com).

Kuvassa 14 esitetty virtauspoikkipinnan muutos saa aikaan virtauksen pyörteilyä, joka lisää eroosikorroosioriskiä. Poikkipinnan muutos voidaan välttää viemällä liitoksen sisäiset putkenpää perille asti toisiinsa kiinni. Kuvassa 15 on vielä esitetty kaulustettuun putkeen virheellisesti tehty haaroitus, josta muodostuu virtaukselle este.



Kuva 15. Liian syväälle asennettu putken haara (Kupari.com).

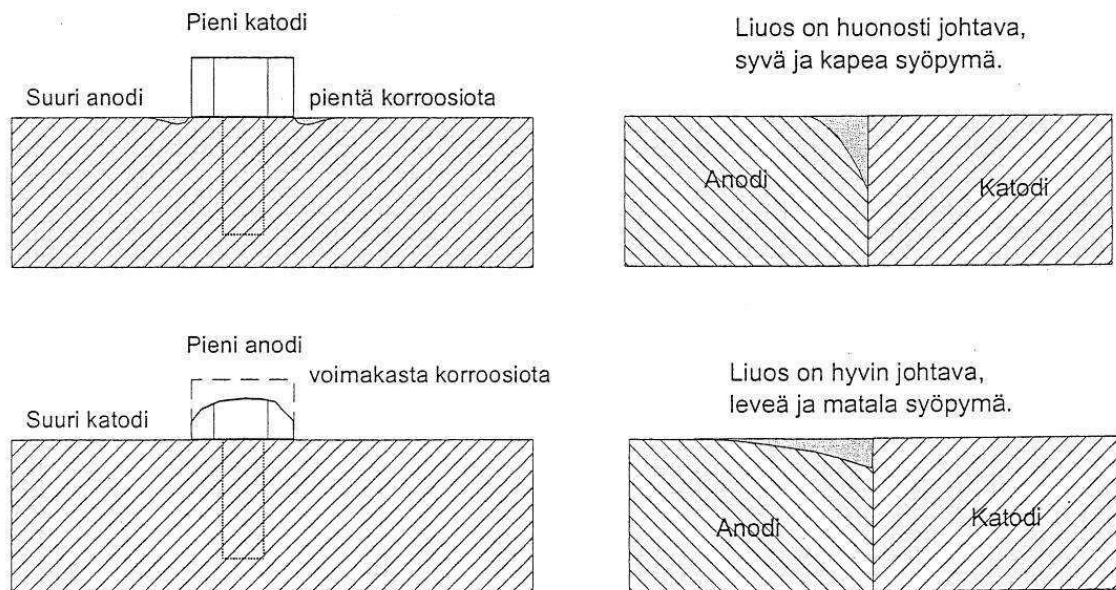
Kuvan 15 asennuksesta aiheutuu haaroituksen lähiympäristöön suuri virtaushäiriö ja eroosikorroosion vaara. Tämän virheen välttämiseksi haaroitukseen tulee tehdä este, joka estää haaran työntämisen asennuksessa liian syväälle (Kuikka 2003: 54).

On huomionarvoista, että kuvien 14 ja 15 kaltaisilta putkensovitusvirheiltä voidaan välttyä käytännössä kokonaan käyttämällä tehdasvalmisteisia putkilyhteitä (Kupari.com).

6.3 Muut metallit kupariputkistossa

Kahden eri metallin tai metalliseoksen ollessa vesijohtoverkostossa toisiinsa kosketuksissa syntyy galvaaninen pari, jolloin metalleista epäjalompi on vaarassa syöpyä. Kupariputkistossa tavallisesti kupari on näistä jalompi, joten se ei ole syöpyvä osapuoli. Esimerkiksi asennettaessa kuumasinkittyä terästä käyttöveden virtaussuunnassa kuparin jälkeen, voi veteen liuennut kupari aiheuttaa nopeasti sinkin korroosiota. Tätä tähdennetään myös Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1 (2007: 44), joka ohjeistaa asentamaan kuparin virtaussuunnassa teräksen jälkeen. Samoin korroosioriski tulee huomioida liitettäessä kuparin kanssa samaan putkistoon epäjalompia valurautaisia tai hiiliteräksisiä komponentteja. (Kiinteistöjen metallisten käyttövesiputkistojen ja -laitteistojen kestävyys 2009: 6; Kekki ym. 2008: 56.)

Galvaanisen korroosion mekanismi on esitetty kuvassa 16. Kuten edellä on kerrottu, kuparin parina oleva metalli on tavallisesti syöpyvä osapuoli eli anodi, ja kupari muodostuu katodiksi.



Kuva 16. Putkikomponenttien fyysisen koon ja virtaavan veden sähkönjohtavuuden merkitys galvaanisessa korroosiossa (Forsberg 2009: 34).

Kuvan 16 mukaisesti epäjalompi metalli syöpyy nopeammin, jos se on pinta-alaltaan pieni suhteessa jaloon metalliin (Forsberg 2009: 33). Lisäksi käyttöveden sähkönjohtavuus — eli siihen liuenneiden suolojen määrä — vaikuttaa syntyvän syöpymän tyyppiin, mikä on hyvä tiedostaa kunkin erillisen korroosiotapauksen yhteydessä epäiltäessä galvaanista vaikutusta.

Messinkipohjaisia seosmetalleja käytetään usein kupariputkiston liittimissä ja venttiileissä kovuutensa ja hyvän muokattavuutensa vuoksi. Talotekniikka RYL:n osan 1 (2002: 103) mukaan vesijohtotarvikkeen materiaalina hyväksytään sinkinkadon kestävä messinki ja punametalli. Vuoden 1977 jälkeen Suomessa asennetut venttiilit ja liittimet ovat näistä jompaakumpaa materiaalia (Kekki ym. 2008: 74).

Perusmessinki koostuu pääasiassa kuparista ja sinkistä. Tietyillä seostuksilla se voi käyttövesijärjestelmässä altistua sinkinkadolle, joka on selektiivinen korroosion muoto. Siinä venttiileiden ja liittimien sinkitykset pyrkivät poistumaan messingistä jättäen jäljelle huokoisen kuparirakenteen, joka on altis paikalliselle korroosioauriolle. Messin-

kiseokset, joiden sinkkipitoisuus on 40–50 %:n välillä, ovat erittäin alttiita sinkinkadolle. Kun sinkkipitoisuus on alle 20 %, jota pidetään messinkiventtiilien suurimpana sallittuna sinkkipitoisuutena, on sinkinkadon vaara häviävän pieni. (Kaunisto 2010: 4; Kuikka 2003: 49–50.)

Sinkinkatoa esiintyy yleisemmin lämminvesijärjestelmässä ja sen riskiä lisäävät veden korkea kloridipitoisuus, matala bikarbonaattipitoisuus sekä veden pehmeys. Kuparisissa kylmävesiputkistoissa sinkinkatoa on esiintynyt vain harvoin, ja tuolloin kyseessä on ollut erityisen hapan vesi. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D1 (2007: 13) velvoittaa, että messinkikomponentit ovat veden koskettamilta osiltaan sinkinkatoa kestäviä. Sinkinkadolta vältytään tänä päivänä hyvin käyttämällä putkistossa tyyppihyväksytyjä erikoismessinki- tai punametallikomponentteja. (Kaunisto 2010: 4; Kuikka 2003: 50.)

6.4 Käyttöönotto

Käyttövesiputkistolle suoritetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 (2007: 16) vaatimusten mukaisesti käyttöönottohuuhtelu, jolla linjastosta poistetaan sinne putkenvalmistuksen tai -asennuksen yhteydessä jäänyt lika ja irtonainen aines. Kun kyseessä on kupariputkisto, niin huuhtelu myös edesauttaa kuparioksidisen suoja-kerroksen syntymistä, kun sen kehittymistä haittaavat juotoshilseet saadaan huuhdeltua pois. Lisäksi verkoston hygieenisuus paranee. (Vesijohtoverkoston huuhtelu 2007: 1.)

Putkistohuuhtelu suoritetaan erikseen kylmä- ja lämminvesiputkistolle. Huuhtelu tulee suorittaa mahdollisimman pian asennuksen valmistuttua, mieluiten järjestelmän ensimmäisen täytön ja painekokeen yhteydessä. Huuhtelu tehdään puhtaalla vedellä ja siinä tulee käyttää kaikkia vesipisteitä. Veden virtausnopeuden tulee olla vähintään 0,5 metriä sekunnissa, jotta voidaan varmistua kiintoaineen poistumisesta ja saadaan siten suoja-kerroksen muodostumiselle hyvät edellytykset. Seuraavassa on esitetty toimenpiteet, joilla taataan ainakin hetkellisesti vähintään 0,5 m/s nopeus kaikissa putkiston osissa. (Kekki ym. 2008: 66; Vesijohtoverkoston huuhtelu 2007: 1.)

- Huuhtelu suoritetaan yhdessä putkiston osassa tai putkilinjassa kerrallaan.

- Huuhtelu aloitetaan kauimmaisesta vesipisteestä edeten veden tulosuuntaan.
- Vesipisteet avataan ja jätetään kokonaan auki.
- Vettä juoksetetaan jokaisessa pisteessä > 2 min. ennen seuraavan avaamista.
- Viimeisen vesipisteen huuhtelun kestänyt > 2 min. vesipisteet suljetaan päinvastaisessa järjestyksessä.

Edellä olevaa ohjeistusta noudatettaessa tulee lisäksi varmistua, että huuhtelu kestää yli 15 sekuntia putkijuoksumetriä kohti. Lämpimän veden kierto johdon huuhtelulle on oma erillinen ohjeensa alla esitettynä (Vesijohtoverkoston huuhtelu 2007: 1).

- Huuhtelu suoritetaan yhdessä putkiston osassa tai putkilinjassa kerrallaan ilman käyttövesipattereita ja patteriventtiilejä.
- Patterille tuleva ja siitä lähtevä putki liitetään U-lenkillä, jossa on sulkuventtiili.
- Huuhtelu aloitetaan sulut auki ja vesi johdetaan kierto johdon avoimesta päästä, jolloin koko linja tulee huuhdelluksi.
- 10 minuutin huuhtelun jälkeen suljetaan 2 minuutin välein U-lenkkien sulut alkaen veden tulosuunnasta.

Putkistohuuhtelua voidaan tehostaa sykehuuhtelulla, jossa raskaatkin epäpuhtaudet — kuten juotoshilseet ja metallilastut — poistuvat putkistosta tehokkaasti jaksottaisen vesi/ilmavirtauksen avulla. Huuhtelupaineena käytetään noin 2 bar:a. Sykehuuhtelua koskevat samat virtausnopeus- ja huuhteluvaatimukset kuin on edellä esitetty tavalliselle huuhtelulle. (Vesijohtoverkoston huuhtelu 2007: 2; Kaiko.fi.)

7 Korroosiolle altistavia käyttöveden teknisiä laatutekijöitä

Edempänä eri korroosimuotojen yhteydessä käytiin läpi kyseisten korroosimuotojen kannalta merkityksellisiä käyttöveden laatutekijöitä. Liityttäessä kunnalliseen vesijohtoverkoston asukkaalla ei juuri ole mahdollisuutta vaikuttaa saamansa käyttöveden laatuun. Kuitenkin ottamalla selvää oman vesilaitoksensa toimittaman veden teknisestä laadusta on mahdollista tarkastella, onko vedellä sellaisia ominaisuuksia, jotka ovat suosiollisia jonkin edellä kuvatun korroosimuodon kehittymiselle. Seuraavassa käy-

dään läpi korroosionmuotojen esittelyn yhteydessä ilman mainintaa jääneitä käyttöveden laatutekijöitä ja niihin liittyvät korroosioriskit.

7.1 Alumiini ja mangaani

Käyttöveden liian suuri alumiinipitoisuus kiihdyttää kupariputkiston korroosiota. Alumiini voi muodostaa silikaatin kanssa kupariputken sisäpinnalle kiinteitä saostumia, joiden alla voi kehittyä pistekorroosiota. Tämän ehkäisemiseksi Outokumpu Copper on suositannut käyttöveden suurimmaksi alumiinipitoisuudeksi 0,2 mg/l. (Forsberg 2009: 57.)

Myös mangaani voi suurina pitoisuuksina aiheuttaa saostumia kupariputken sisäpinnalle, mahdollistaen pistekorroosion kehittymisen. Tästä syystä suurimmaksi käyttöveden mangaanipitoisuudeksi Outokumpu Copper on suositannut 0,1 mg/l. (Kiinteistöjen metallisten käyttövesiputkistojen ja -laitteistojen kestävyys 2009: 5.)

7.2 Kloori

Vesilaitoksella käyttöveden desinfioinnissa jätetään veteen pieni kloorijäännös veden hygieenisyyden varmistamiseksi. Veden ollessa riittävän emäksistä (pH 9,5) on tutkimuksissa havaittu vapaan kloorin pitoisuudella 0,7 mg/l kupariputkiston syöpymistä. Samoin on havaittu korkeiden klooripitoisuuksien yhdessä veteen liunneen alumiinin kanssa aiheuttaneen kupariputkistossa tyypin 1 pistekorroosiota. Myös alumiinin läsnä ollessa ja kloorin puuttuessa kokonaan kuparin on havaittu syöpyvän voimakkaasti alumiinin saostuessa. (Forsberg 2009: 56–57.)

Suomen käyttöveden jakeluverkostoissa vapaan kloorin määrä on yleensä < 0,5 mg/l ja tätäkin vähemmän kiinteistöverkostoissa. Näissä pitoisuuksissa kloori ei aiheuta merkittävässä määrin kuparin korroosiota. Ennen tämän poissulkemista on kuitenkin syytä varmistua, että veden alumiinipitoisuus on suositusten mukainen. (Forsberg 2009: 57.)

7.3 Silikaatti

Käyttövedessä olevaa silikaattia on epäilty kupariputken pistekorroosion aiheuttajaksi silloin, kun sen on havaittu muodostaneen kalvon putken sisäpinnalle. Haitallisena sili-

kaattipitoisuutena on yleisesti pidetty 10–20 mg/l. Suomen pohjavesien keskimääräinen silikaattipitoisuus on 12–17 mg/l eli haitallisena pidetyllä alueella. Kuitenkaan kuparin pistekorrosio ei Suomessa ole sen laajuinen ongelma kuin tämä havainto antaisi aiheen olettaa. (Kiinteistöjen metallisten käyttövesiputkistojen ja -laitteistojen kestävyys 2009: 5.)

Forsberg (2009) on Suomessa toteutetussa tutkimuksessaan havainnut, että edellä mainittu haitallisena pidetty silikaattipitoisuusalue ei yksistään ratkaise, muodostuuko kalvoa vai ei. Kalvonmuodostukseen vaikuttavat myös käyttöveden pH ja kovuus sekä kalsium- ja magnesiumpitoisuudet. Silikaatin roolia Suomessa tapahtuneiden kupari-putkien pistesyöpymien taustalla olisikin tarvetta selvittää jatkotutkimuksin, mieluiten käytännön olosuhteissa.

8 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä haluttiin antaa lukijalle perustiedot kuparista käyttövesiputkistomateriaalina sekä korroosion kemiallisesta taustasta. Lisäksi haluttiin laatia käytännönläheinen esitys kuparisessa käyttövesiputkistossa esiintyvistä korroosimuodoista ja niihin vaikuttavista tekijöistä. Korroosimuodot esiteltiin niiden Suomessa havaitun esiintyvyyden perusteella, jotta lukijalle jäisi kuva siitä, minkä kaltaisiin ongelmiin juuri suomalaisessa talonrakentamisessa tulisi varautua.

Eri korroosimuotojen yhteydessä käytiin läpi tapoja, joilla kyseistä korroosimuotoa voidaan ehkäistä. Tässä yhteydessä tuli selkeästi ilmi, että veden teknisellä laadulla on vaikutusta monen korroosimuodon esiintymiseen. Tämä on juuri se tekijä, johon kunnalliseen vesilaitokseen liittyneen vedenkäyttäjän on kenties hankalinta vaikuttaa. Vedenkäyttäjällä on kuitenkin mahdollisuus ottaa selvää käyttämänsä veden teknisestä laadusta, mitä kautta saa tiedon siitä, voivatko jotkin käyttöveden ominaisuudet lisätä tietyn korroosiotyyppin esiintyvyyttä.

Virtauksen käyttövesiputkistossa ollessa lähes aina pyörteistä on eroosikorroosion riski olemassa. Tässä työssä kerrottiin, millaisista hyvistä putkistosuunnittelu- ja mitoituskäytännöistä sen ehkäisy lähtee liikkeelle. Hyvästä putkiston suunnittelusta huolimatta

putkiston asennuksessa tehdyillä virheillä on mahdollista aiheuttaa paikallisia virtaushäiriöitä, jotka voivat johtaa eroosiokorroosioon. Kuvaesimerkein pyrittiin havainnollistamaan lukijalle virheellisiä putkiliitoksia ja sitä, kuinka ilmeisiä niistä aiheutuvat virtauspyörteet ovat. Oikein tehdyllä kupariputkiston käyttöönottohuuhtelulla saadaan hyvät edellytykset kuparin luontaisen suojakerroksen synnylle. Työssä annettiin ohjeet sen toteuttamiseksi.

Jälkikäteen katsottuna koen tämän insinööriyön aihepiirin omaksumisen tärkeänä jokaiselle käyttövesiputkistoja suunnittelevalle tai asentavalle, mutta myös kiinteistön rakennuttajalle nämä tiedot ovat tärkeitä. Opin sen, että kupari on hyvä käyttövesiputkistomateriaali ja siltä voidaan odottaa hyvää kestoikää, kunhan ensin on tehty tässä työssä kuvatulla tavalla huolellista työtä kaikissa työvaiheissa ennen putkiston luovutusta käyttöön. Suuri osa Suomessakin tavatuista korroosiotapauksista olisi ollut vältettävissä kiinnittämällä huomiota tässä työssä käsiteltyihin seikkoihin.

Lähteet

Antila Anna Maija, Karppinen Maarit, Leskelä Markku, Mölsä Heini & Pohjakallio Maija. 2009. Tekniikan Kemia, 10.–11. painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Bätge, Torsten. 2011. Kupferfittings. Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Kupferfittings_4062.jpg>. Luettu 5.8.2011.

Corrosion Control. 2009. Verkkodokumentti. Hydrotec (UK) Limited. <<http://www.hydrotec.co.uk/InfoCentre/CorrosionControl/tabid/137/Default.aspx>>. Luettu 28.7.2011.

Corrosion: Impact, Principles, and Practical Solutions. Module Six of CCE 281. Verkkodokumentti. Corrosion Doctors. <<http://corrosion-doctors.org/Forms-Erosion/erosion.htm>>. Luettu 1.8.2011.

Ehrlich Robert L. Jr., Steele Michael S., Hoskins Victor L. & Karimian Shawn S. 2004. Pinhole Leaks in Copper Plumbing, Task Force Study, Final Report. Maryland Department of Housing and Community Development.

Erosion-Corrosion. 2010. Verkkodokumentti. Corrosion Testing Laboratories, Inc. <<http://www.corrosionlab.com/papers/erosion-corrosion/erosion-corrosion.htm>>. Luettu 28.7.2011.

Forsberg, Miika. 2009. Kiinteistöjen metallisten käyttövesiputkistojen ja –laitteistojen kestävyys. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.

Harju, Pentti. 2005. Talotekniikan perusteet 2. Anjalankoski: Kotkaset.

Heikkinen, Teuvo. 2010. Järkäleen hydrauliiikan painehäviön pienentäminen. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Is There a Problem With Embedding Copper Tube in Concrete. 2011. Verkkodokumentti. Copper Development Association Inc. <http://www.copper.org/applications/plumbing/techcorner/problem_embedding_copper_concrete.html>. Luettu 5.8.2011.

Kaiko-Geno sykehuuhtelulaite. Verkkodokumentti. Kaiko Oy. <<http://www.kaiko.fi/Muita%20vesituotteita/sykehuuhtelulaite.htm>>. Luettu 9.8.2011.

Kaunisto, Tuija. 2010. Messinkikomponenttien vauriomekanismit. Vesi-Instituutin raportteja 1. Vesi-Instituutti Wander/Prizztech Oy.

Kekki Tomi K., Kaunisto Tuija, Keinänen-Toivola Minna M. & Luntamo Marja. 2008. Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Vesi-instituutin julkaisuja 3. Vesi-Instituutti/Prizztech Oy. Turku: Karhukopio.

Kiinteistöjen metallisten käyttövesiputkistojen ja –laitteistojen kestävyys, tiivistelmäraportti 2997-D1081. 2009. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, FCG Planeko Oy.

Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.

Kuikka, Veli-Matti. 2003. Veden virtausnopeuden vaikutus kuparisessa käyttövesiverkostossa. Insinööriyö. Espoon-Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu.

Kupari.com. Verkkodokumentti. Scandinavian Copper Development Association. <http://www.kupari.com/kopparror_fi/koppar/3002.html>. Luettu 8.8.2011.
<http://www.kupari.com/kopparror_fi/koppar/3005.html>,
<http://www.kupari.com/kopparror_fi/koppar/3012.html>. Luettu 6.8.2011.
<http://www.kupari.com/kopparror_fi/koppar/3014.html>,
<http://www.kupari.com/kopparror_fi/koppar/3015.html>,
<http://www.kupari.com/kopparror_fi/koppar/3016.html>. Luettu 7.8.2011.

Laminar Flow and Turbulent Flow of Fluids. Verkkodokumentti. Pipeflow.co.uk article. <http://www.pipeflow.co.uk/public/articles/Laminar_And_Turbulent_Flow.pdf>. Luettu 2.8.2011.

Lehtonen, Paula & Lehtonen, Pekka. 2008. Teknisten alojen kemia. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Oliphant, R. J. & Jönsson J. 2010. Causes of Corrosion in Plumbing Systems. Foundation for Water Research.

Opetushallituksen oppimateriaalit: Mekaniikka. Verkkodokumentti. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html>. Luettu 31.7.2011.

Plumbersdiary. Verkkodokumentti. <<http://www.plumbersdiary.com/bm.htm>>. Luettu 5.8.2011.

Putkistojen asennus, LVI-kortti 20-10348. 2004. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto.

Seppänen, Matti & Seppänen, Olli. 2004. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Sisäilmayhdistys. Espoo: SIY Sisäilmätieto Oy.

Talotekniikka RYL, talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset osa 1. LVI 01-10355. 2002. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto.

Talousveden laatu ja verkostomateriaalit, LVI-kortti 20-40075. 2008. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto.

RWV-käsikirja, 7. painos. 1987. Suomen Kunnallisteknillisen Yhdistyksen julkaisuja N:o 7. Porvoo: Oy Uusimaa.

Vesijohtoverkoston huuhtelu. 2007. Scandinavian Copper Development Association.

