

Kupariputkien pistekorroosio – tapaustutkimus

LOPPURAPORTTI

Suomen Vesilaitosyhdistys ry

Päivi Peltonen

30.4.2026

P39333

30.4.2026

Sisällysluettelo

Kupariputkien pistekorroosio – tapaustutkimus	1
1 Hankkeen taustaa ja tavoite	1
2 Hankkeen toteutus	2
3 Katsaus kupariputken pistekorroosioon vaikuttavista tekijöistä	3
3.1 Kupariputken passivoituminen ja pistekorroosio	3
3.2 Kupariputkien sisäpinnan käsittely valmistuksessa ja vaatimukset	3
3.2.1 Ympäristöministeriön asetus	3
3.2.2 Kupariputkien sisäpinnan käsittely	4
3.3 Kupariputken asennus ja käyttöönotto	6
3.4 Talousveden laatu	6
3.5 Vedenkäsittely ja verkosto ennen kiinteistöä	9
4 Käyttämättömien kupariputkien sisäpintojen tutkimus	10
4.1 Kvalitatiivisen tutkimuksen toteutus	10
4.2 Kupariputkien sisäpintojen eroja	10
4.3 Tulosten yhteenveto	13
5 Tapaustutkimuksen tulokset	13
5.1 Korroosiokohteiden piirteitä	13
5.2 Vedenkäsittelyn vaikutus pistekorroosioon	15
5.3 Verkostomateriaalin ja -pituuden vaikutus pistekorroosioon	17
5.4 Talousveden laadun tarkastelu	19
6 Johtopäätökset	22
Kirjallisuusviitteet	24

FCG Rakennettu Ympäristö Oy ("FCG") on laatinut tämän raportin FCG:n asiakkaan ("Asiakas") toimeksiannon ja ohjeiden mukaisesti. Tämä raportti on laadittu FCG:n ja Asiakkaan välisen sopimuksen ehtojen mukaisesti. FCG ei ole vastuussa tästä raportista tai sen käytöstä suhteessa mihinkään muuhun tahoon kuin Asiakkaaseen.

Tämä raportti voi perustua kokonaan tai osaksi kolmansien osapuolten FCG:lle antamiin tietoihin tai julkisiin lähteisiin ja näin ollen tietoihin, joihin FCG:llä ei ole ollut vaikutusmahdollisuuksia. FCG toteaa nimenomaisesti, ettei sillä ole vastuuta sille annettujen virheellisten tai puutteellisten tietojen perusteella.

Kaikki oikeudet (mukaan lukien tekijänoikeudet) tähän raporttiin kuuluvat FCG:lle, tai Asiakkaalle, mikäli niin on sovittu FCG:n ja Asiakkaan välillä. Tätä raporttia tai sen osaa ei saa muokata tai käyttää uudelleen toiseen tarkoitukseen ilman FCG:n kirjallista lupaa.

30.4.2026

Kupariputkien pistekorroosio – tapaustutkimus

1 Hankkeen taustaa ja tavoite

Kiinteistöjen kupariputkien pistekorroosio on yleistynyt 1990-luvun lopulta lähtien Suomessa. Erityisesti kupariputkien pistekorroosiota on havaittu pohjavesilaitosten vedenjakealueilla, vaikka talousveden laatu on Sosiaali- ja terveysministeriön talousvedelle asettamien laatuavoitteiden ja -vaatimusten mukaista (STM 1352/2015, ent. 461/2000 ja 74/1994). Vedenlaatu ei ole läheskään aina yksinomaan syynä kupariputkien pistekorroosiin, sillä usein talousveden laadussa ei ole tapahtunut muutosta verrattuna aikaisempiin vuosiin. Pistekorroosiota voi esiintyä lähekkäisistä samanikäisistä taloyhtiöistä vain toisessa. Lisäksi käytetyt kupariputket ovat yleensä standardin mukaisia ja tyyppihyväksytyjä. Kupariputkien syövyttävyystekijöitä on tarpeen tarkastella uudelleen, sillä kupariputkien sisäpinnan käsittelymenetelmät ovat muuttuneet patenttien mukaan 1990 lopulla – 2000-luvun alussa.

Myös esimerkiksi Saksassa vuodesta 2005 lähtien havaittiin merkitsevää kasvua pistekorroosiotapauksissa puolikovilla kupariputkilla (R250) kylmä- ja lämminvesiverkostoissa muuttaman vuoden käytön jälkeen (Becker et al. 2015).

Hankkeessa kartoitettiin eri paikkakunnilta kiinteistöissä havaittuja kupariputkien pistemäisiä korroosiotapauksia erityisesti 2000-luvulta alkaen. Hankkeen tavoitteena oli selvittää kiinteistöjen kupariputkien pistekorroosiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä korroosiokohteista ja vesilaitoksilta saatavilla olevien tietojen pohjalta sekä täydentää näitä kirjallisuuskatsauksella:

- kupariputkien sisäpinnan laadun merkitys
- kupariputken käyttöönottotavan merkitys
- kiinteistöä edeltävän vesijohtoverkoston vaikutus
- vedenkäsittelyn ja vedenlaadun vaikutus.

Lisäksi selvitettiin eri valmistajien kupariputkien sisäpinnan laatua ja käsittelymenetelmiä kirjallisuudesta, haastatteluilla ja pienellä otannalla tarkastelemalla uusien kaupasta hankittujen talousvesikäyttöön hyväksytyjen kupariputkien sisäpintoja.

Hankkeen ohjausryhmän muodosti rahoittajien edustajat: Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto, Riina Liikanen Vesilaitosyhdistys, Kari Korhonen Keski-Uudenmaan Vesi Kuntayhtymä, Soile Toivonen Lahti Aqua, Riitta Kettunen Tampereen Vesi ja Krista Viitasalo Vihdin Vesi. FCG Oy:n työryhmään osallistuivat Päivi Peltonen, Meri Sipilä, Jorma Pääkkönen ja Kalle Kakko.

Tapaustutkimushanke tuki Talousveden syövyttävyyshanketta (VVY 2022), jossa toteutettiin kupariputkien pistekorroosiin liittyvä kenttätutkimus (kesto 2 vuotta) ja kirjallisuusselvitys painottuivat vedenlaadun vaikutuksien selvittämiseen. Talousveden syövyttävyyshankkeessa laadittiin julkaisu ”Hyvät toimintatavat kiinteistöjen kuparisten vesijohtojen syöpmisen ehkäisemiseksi” (VVY 2022).

30.4.2026

2 Hankkeen toteutus

Hanke koostui seuraavista vaiheista v. 2020 – 2021:

1. Kirjallisuusselvitys

- kupariputkien sisäpinnan käsittelymenetelmien selvittäminen ja vaikutus kupariputken sisäpintaan ja passivoitumiseen
- käyttöönottoimenpiteiden vaikutus kupariputken pistekorroosioon
- kiinteistöä edeltävän vesijohtoverkoston vaikutus talousveden laatuun ja kupariputken pistekorroosioon

2. Haastattelut tai viestit: Ympäristöministeriö, Eurofins Expert Services Oy, vakuutusyhtiöt (OP, Fennia, IF, kaupungin omaisuusvahinkotiimi). Putkivalmistajat eivät vastanneet.

- uusien kupariputkien tekniset vaatimukset talousvesikäytössä ja perustelut
- uusien kupariputkien sisäpinnan käsittelymenetelmät ja laadun tarkkailu

3. Käyttämättömien uusien talousvesikäyttöönhyväksytyjen kupariputkien sisäpintojen visuaalinen tutkimus

4. Tapaustutkimus

- Nettikyselyn laatiminen, haastattelut (mm. isännöitsijät, asumisoikeus ja vuokratalosäätiöt, opiskelija-asuntojen vuokraajat)
 - kyselylomake (kiinteistötyyppi, asennusvuosi ja pistekorroosion ilmeneminen, edeltävä verkosto)
- Tutkimuskiinteistöjen valinta vesilaitoksittain
 - laitoksen verkostossa on tapahtunut kupariputkien pistekorroosiota
 - kiinteistöt, joissa havaittu kylmä- tai lämminvesiverkostossa pistekorroosiota
 - verrokikiinteistöt, jossa ei ole havaittu kupariputkien pistekorroosiota: kiinteistöjen tulee olla likimain saman ikäisiä ja saman vesilaitoksen piirissä, sama tai eri verkostoalue. Eri verkostoalue mahdollistaa talousvesiverkoston materiaalin vertailun
 - kiinteistön ja sisäisen kupariputkiston tiedot (mm. asennusvuosi, kiinteistötyyppi, vauriotiedot ja mahdolliset tutkimukset, putken valmistaja, huuhtelujen dokumentointitiedot tms.)
- Taustatiedon kerääminen tutkimuspisteittäin putkiston asennuksen ja pistekorroosion ilmenemisen välillä
 - vesijohtoverkosto laitokselta kiinteistölle
 - vedenkäsittelyprosessi vesilaitoksella
 - talousveden laatu

5. Syy-seuraus korrelaatioiden tarkastelu, tulosten tulkinta ja raportointi.

30.4.2026

Hankkeen seurantaan perustettiin ohjausryhmä, joka koostui hanketta rahoittavien vesihuoltolaitosten edustajista ja Vesilaitosyhdistyksen edustajasta.

Hanke toteutettiin ja vesilaitoskohtaiset raportit laadittiin vuosina 2020 ja -21. Koronapandemia hankaloitti ja hidasti hankkeen etenemistä mm. kiinteistöjen isännöitsijöiltä saatavien tietojen osalta.

3 Katsaus kupariputken pistekorroosioon vaikuttavista tekijöistä

3.1 Kupariputken passivoituminen ja pistekorroosio

Kupariputkien kestävyys perustuu suojaavan kerroksen muodostumiseen putken sisäpinnalle. Vesijohtovesi on aina kuparia syövyttävää. Uusien kupariputkien sisäpinnalla esiintyykin yleistä eli tasaista korroosiota, kun passivointikerroksen eli tiiviin suojaavan kuparioksidikerroksen muodostuminen on kesken. Kupariputkien yleinen korroosio nostaa talousveden kuparipitoisuutta, kunnes suojaava kerros on muodostunut. Yleistä korroosiota on 2000-luvulla vähennetty puhdistamalla kupariputkien sisäpinnat esimerkiksi hiekkapuhalluksella ja passivoimalla pinnat kemikaalikäsittelyllä. Yleinen korroosio ei yleensä aiheuta putkistovuotoja eikä pistekorroosiota.

Kupariputken pistekorroosiossa osalla putken sisäpintaa on hyvälaatuinen oksidikerros. Paikoitellen sisäpinnalle on kuitenkin muodostunut partikkelin tai saostuman alle kuoppia, jotka ajan mittaan aiheuttavat puhkisyöpymisiä ja vuotoja. Pistekorroosio ei nosta talousveden kuparipitoisuutta.

3.2 Kupariputkien sisäpinnan käsittely valmistuksessa ja vaatimukset

3.2.1 Ympäristöministeriön asetus

Ympäristöministeriö on julkaissut asetukset tuotekohtaisista olennaisista teknisistä vaatimuksista ja tyyppihyväksynnästä. Kupariputken sisäpintaan liittyen Ympäristöministeriön asetuksissa 455/2019 ja 2/19 on mm. seuraavia vaatimuksia:

YM asetus 455/2019 kupariputkien olennaisista teknisistä vaatimuksista:

Putkissa ei saa olla käyttöä haittaavia vikoja. Putkien ulko- ja sisäpintojen on oltava puhtaita ja sileitä. Sisäpinnalla ei saa olla käyttöä haittaavaa hiilikalvoa eikä pinnan hiilipitoisuus saa olla niin suuri, että se mahdollistaisi käyttöä haittaavan kalvon muodostumisen asennuksen aikana. Sallittu hiilimäärä on esitetty taulukossa viisi.

Asetuksessa ei ole kriteerejä kupariputken sisäpinnan sileydelle. Asetuksessa ei ole myöskään mainintaa, millaiset värierot tai epätasaisuus on sallittua, jos ollenkaan. Sileysvaatimus on kupariputkistandardin SFS-EN 1057 mukainen. Ympäristöministeriön asetuksen perustelumuistiossa mainitaan pintojen ominaisuuteen liittyen, että ”Rosoisuus voi kerätä putken

30.4.2026

sisäpinnalle helpommin veden laatuun vaikuttavaa mikrobikasvustoa.” (Ympäristöministeriö 2019b).

YM asetuksen 2/19 rakennusten vesilaitteistoihin tarkoitettujen kupariputkien tyyppihyväksynnästä mukaan:

7 §

Pintojen ominaisuudet

Akkreditoidun testauslaboratorion on tarkastettava kupariputken sisä- ja ulkopinnat silmämääräisesti ilman suurennosta.

Akkreditoidun testauslaboratorion on määriteltävä sisäpinnasta pintahiilen määrä kvantitatiivisella polttomenetelmällä.

Akkreditoidun testauslaboratorion on tarkastettava hiilikalvon esiintyminen sisäpinnalla kvantitatiivisesti hiilikalvokokeella.

Akkreditoidulla testauslaboratoriolla (ent. VTT, nyk. Eurofins Expert Service Oy) ei ole käytössä kriteerejä kupariputken sisäpinnan sileydelle eikä silmämääräisistä tarkasteluista pidetä kirjaa tai oteta kuvia (tiedot v. 2020).

Kupariputken sisäpinnan silmämääräisessä tarkastelussa tummuuserot eivät välttämättä näy juuri valmistetulle putkelle. Sisäpinnan tummuus lisääntyy ilman hapen vaikutuksesta, jolloin oksidikerros alkaa muodostua.

Kupariputken sisäpinnalla sallittu hiilimäärä on $<0.20 \text{ mg C / dm}^2$. Seuraavissa patenteissa on mainittu tutkimustuloksia, joiden mukaan putken sisäpintaan voi jäädä pistemäisesti hiiltä, vaikka ei ole hiilikalvoa ja asetuksen pitoisuusvaatimus täyttyy. Yksittäiset hiilipartikkelitkin aiheuttavat riskin pistekorroosiolle.

- Patentti 1: kupariputken puhdistuksen jälkeen hiilen määrä oli 0.12 mg C / dm^2 (Patentti- ja rekisterihallitus 1984, Euroopan patenttinvirasto 1989)
- Patentti 2: 0.06 mg C / dm^2 (Euroopan patenttinvirasto 2003).

3.2.2 Kupariputkien sisäpinnan käsittely

Menetelmä

Kupariputkien sisäpuolinen käsittely on muuttunut 1990-luvun lopulla. Aikaisemmin on käytetty sisäpinnan puhdistukseen vetorasvajaamista orgaanisia liuottimia esimerkiksi trikloorieteeniä. Trikloorieteeni -käsittelyn tilalle on kehitetty muita menetelmiä, kuten hehkutus hapella rikastetulla ilmalla, jonka jälkeen karhennus hiekkapuhaltamalla tai syövyttämällä (Patentti- ja rekisterihallitus 2001 ja 2005).

Käsittelymenetelmän muutoksella on pyritty ympäristöystävällisiin käsittelymenetelmiin ja kuparin liukenemisen vähentämiseen putken käyttöönnotossa eli yleisen kuparikorroosion vä-

30.4.2026

hentämiseen. Nykyisistä karhennetuista kupariputkien sisäpinnoista liukenee selvästi vähemmän kuparia kuin liuottimilla käsitellyistä putkista, kun karhennetuissa putkissa on passivointikerros valmiina. Viime vuosikymmeninä kuitenkin pistekorroosion riski on kasvanut.

1990-luvun lopun ja 2000-luvun alun eri kupariputkivalmistajien patenteissa mainitaan hiekkapuhallus kupariputken sisäpinnan käsittelymenetelmänä. Patentit ovat nykyään julkisia. Patenteissa mainitaan hiekkapuhallusmateriaaliksi esimerkiksi korundi (Patentti- ja rekisterihallitus 1984), mutta aina hiekkapuhallusmateriaalia ei täsmennetä (Patentti- ja rekisterihallitus 2001 ja 2005). Korundi on alumiinioksidia, hiekkapuhalluksessa käytetty raekokoa 0.05 - 0.3 mm. Myös rautapartikkeleita on käytössä putken sisäpinnan suihkupuhdistuksessa (VVY 2022).

Korundia eli alumiinia, rautaa ja muita käytössä olevia puhallusmateriaaleja jää todennäköisesti putken sisäpinnan epätasaisiin kohtiin kuten pieniin kuoppiin. Tämän vuoksi alumiinia tai rautaa on todennäköisesti havaittu useissa pistesyöpymissä, vaikka alumiinia tai rautaa ei havaittaisi talousvedessä. On myös mahdollista, että yksittäisiä hiilipartikkeleita jää puhallusmateriaalin alle tai kuoppiin. Uusien putkien tutkimuksissa hiilen pitoisuus sisäpinnalla on ylittänyt määritysrajan patenttien mukaan.

Kemiallisia kupariputken sisäpinnan käsittelymenetelmiä on myös patentoitu ja hiekkapuhallus yhdistettynä kemialliseen käsittelyyn (Euroopan patenttivirasto 2005a ja b, Patentti- ja rekisterihallitus 2009). Suojaava oksidikalvo voidaan muodostaa myös hehkutuskäsittelyllä ja suojaakaasulla (Patentti- ja rekisterihallitus 2001).

Huomioita pistekorroosiotutkimuksista

Pistekorroosiotutkimuksissa Suomessa tai kansainvälisesti ei ole juurikaan tutkittu eikä verrattu käyttämättömiä kupariputkia eli ”nollanäytteitä” pistesyöpyneisiin putkiin kiinteistöissä tai koejärjestelmissä. Kirjallisuushaussa v. 2020-21 löydettiin ainoastaan Saksassa tehtyjä tutkimuksia (DVGW 2017, DKZ 2017), jossa on tutkittu myös käyttämättömän putken sisäpintaa. DVGW:n tutkimuksessa havaittiin, että uusien putkien sisäpinnoilla on valmistuksen jäljiltä oksidikerroksissa mikrovirheitä kuten pieniä säröjä, avonaisia raerajoja ja epätasaisuuksia. DVGW:n tutkimustulosten mukaan pistekorroosion mahdollisia syitä ovat kupariputkien sisäpintojen karheus, putkien varastoinnin, kuljetuksen ja käsittelyn vaikutus ja käyttöönotto.

Suomessa esimerkiksi VTT:n tutkimuksessa v. 2017 (VTT 2017) on havaittu käytetyn kupariputken sisäpinnalla todennäköisiä valmistusvirheitä, pituussuuntaisia jälkiä, sekä syöpyneessä putkessa että koetutkimuksessa 1,5 kk ja 3 kk käytetyissä kupariputkissa (puolikova R250). Pituussuuntaiset jäljet ovat vastaavia kuin tässä tutkimuksessa ostetun käyttämättömän kupariputken kuvassa 1b oikea putki ja kuvan 2 käyttämättömässä kupariputkessa.

Jos kupariputken pinnalla on hyvin selviä tummuuseroja ja värieroja, pinnasta voidaan saada täysin erilaisia tuloksia eri kohdasta putkea otetuista analyyseistä. Useissa tutkimuksissa ei ole otettu kantaa sisäpinnan värieroihin. Jos värierot ovat putken suuntaiset, todennäköisin syy on putken valmistuksessa sisäpuolisen käsittelyn epätasaisuus.

Talousveden syövyttävyyden hankkeessa (VVY 2022) otettiin tutkittavaksi ensimmäistä kertaa Suomessa koejärjestelmään asennettu käyttämätön kupariputki. Tutkimuksen perusteella

30.4.2026

kupariputkien pistekorroosion keskeisin tekijä on kupariputken sisäpinnalle tiukasti kiinnittynyt rauta, jota havaittiin käyttämättömässä kupariputkessa. Tällöin rauta on peräisin valmistuksessa käytetystä sisäpinnan hiovasta puhdistusmenetelmästä. Puhdistusmenetelmästä putken sisäpintaan kiinnittyneet rautapartikkelit eivät lähteneet pois voimakkaalla huuhtelulla. Tutkimuksessa käytetyllä kupariputkella pistekorroosion etenemiseen vaikutti vedenlaatu.

3.3 Kupariputken asennus ja käyttöönotto

Kupariputkiston suunnittelu (mitoitus), asennus ja käyttöönotto ovat tärkeitä vaiheita vesilaitteiston kestävyyskannalta. Ympäristöministeriön asetuksessa 1047/2017 rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista ja asetuksen soveltamisen tueksi laadittu Vesi- ja viemärlaitteistot -oppaassa (Talotekniikkainfo) on määräyksiä ja ohjeita mm. kupariputkille hyväksytyistä maksimivirtausnopeuksista, kupariputkien käyttöönottohuuhteluista ja tiiveys- tai painekoikeista sekä lämpimän käyttöveden lämpötilasta. Aikaisemmin määräykset ja ohjeet annettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1 (YM 2007). Lisäksi tulee huomioida putki valmistajan ohjeet.

Talousvedellä tehtävän huuhtelun tulee olla riittävän voimakas putkiston kaikissa osissa ja oikein suoritettu, että saadaan mahdollinen lika ja irtoaines pois putkistosta, ja parannetaan sisäpintojen passivoitumista. Asennustöistä putkistoon jäänyt lika voi aiheuttaa myöhemmin korroosiota (Outokumpu Copper 1996). Rakennusvaiheen vastuuhenkilö merkitsee rakennustyön tarkastusasiakirjaan käyttöönoton toimenpiteet ja mittaukset (YM 1047/2017, aiemmin D1/YM 2007).

Kupariputkiston käyttöönoton alkuvaiheessa pitkään seisova vesi käyttövesiputkistossa aiheuttaa veden happipitoisuuden alenemista, mikä hidastaa passivoitumista ja on riski pistekorroosion käynnistymiseen. Putkiston virheellinen asennus tai käyttöönotto lisää korroosio- vaurioita. (Forsberg, 2009)

Varastoinnin aikana putken sisäpinnalle päätyneet epäpuhtaudet voivat altistaa pistekorroosiolle (VVY 2022). Kupariputken sisäpinnassa voi myös tapahtua muutoksia putken varastoinnin aikana. Tummuminen on kupariputkelle ominaista varastoinnissa (Outokumpu Copper 1996). Pitkään varastoitaessa puhtaan ilman happi passivoi putken pintaa, mikä vähentää korroosioriskiä, mutta likainen ilma voi huonontaa pintaa. Käytännössä ei ole tietoa, millainen on kupariputkien myynnin kierto kaupoissa, kuinka kauan putken pinta on tekemisissä ilman kanssa ennen asennusta ja käyttöönottoa.

Myös Saksassa tehdyn tutkimuksen (DVGW 2017) mukaan pistekorroosion mahdollisia syitä ovat kupariputkien sisäpintojen karheuden lisäksi putkien varastoinnin, kuljetuksen ja käsittelyn vaikutus ja käyttöönotto.

3.4 Talousveden laatu

Talousveden laadun vaikutuksesta kupariputkien pistekorroosioon on tehty tutkimuksia vuosikymmeniä. Kuparikorroosiokirjallisuutta löytyy lähinnä kovaan talousveteen, joka yleistä

30.4.2026

muualla Euroopassa. Suomen (ja Pohjois-Euroopan) talousveden laatu poikkeaa keskieu-rooppalaisesta talousvedestä mm. kovuuden ja orgaanisen aineen osalta, joten suomalaisen talousveden vaikutus voi olla erilainen kuin muualla Euroopassa. Usein pistekorroosiotapauksissa talousvesi (kylmä vesi) täyttää Sosiaali- ja terveysministeriön laatuvaatimukset ja -tavoitteet (STM asetus 1352/2015).

Useissa 2000-luvun pistekorroosiotutkimuksissa Suomessa on arveltu vedestä saostuvan **silikaatin** (piihapon) aiheuttavan tai kiihdyttävän putkien korroosiota. Sitä ennen silikaattia ei pidetty juurikaan pistekorroosiota edistävänä tekijänä. Silikaattia liukenee maaperästä aina pohjaveteen. Suomen pohjavesissä yleisesti on silikaattia keskimäärin 12 – 17 mg/l (Keinänen-Toivola et al. 2007), jota on pidetty pistekorroosiotutkimuksissa haitallisena tasona (n. 10 – 20 mg/l). Kupariputkien pistekorroosio ei kuitenkaan ole näin laaja ongelma Suomessa (FCG Oy ja VVY 2009). Tekopohjavesissä silikaatin pitoisuus on jonkin verran pienempi, mutta myös tekopohjaveden jakelualueella esiintyy pistekorroosiota. Pintavesilaitoksien talousveden silikaattipitoisuus on alhainen.

Vuonna 2009 Forsbergin DI-työssä havaittiin, että silikaatin rooli ei ollut yksiselitteinen. Silikaattikalvo muodostui myös täysin vaurioitumattoman kupariputken oksidikerroksen pinnalle (lämpimän käyttöveden kiertojohto), kun puolestaan yhden vaurioituneen kylmän käyttövesiputken ja lämpimän käyttöveden kiertojohdon pinnoille ei ollut muodostunut silikaattikalvoa. Piipihdisteitä voi olla myös saostuneena putken pinnalla, vaikkei ole muodostunut silikaattikalvoa kuparioksidikerroksen päälle. Tutkimuksessa talousveden silikaattipitoisuudella ei ollut vaikutusta pistekorroosion ilmenemiseen. (Forsberg 2009)

Silikaattia on käytetty korroosioinhibiittinä ulkomailla. Silikaatin kuten natriumsilikaatin annostuksen tavoitteena on muodostaa ohut suojakalvo putken pinnalle. Silikaatin käytettävyyttä hankaloittaa kuitenkin silikaatin kallis hinta sekä kalvon muodostumiseen tarvittava korkea annostus, kuluva aika sekä vedenlaadun vaikutus silikaatin toimivuuteen. (AWWA 2017)

Useissa Suomessa havaituissa kupariputkien **pistesyöpymäkohdissa on havaittu alumiinia, rautaa ja piitä**. Hyvin pienilläkin veden rauta- ja alumiinipitoisuuksilla on havaittu muodostuvan alumiini- ja rautasilikaattia, joiden saostuessa putken pinnalle voi saostuman alle muodostua pistekorroosiota (VVY 2020 ja 2022). **Kupariputken valmistuksessa käytetystä sisäpinnan hiovasta puhdistusmenetelmästä kiinnittyy myös partikkeleita tiukasti putken sisäpintaan**, kuten havaittiin rautapartikkeleita käyttämättömässä kupariputkessa Talousveden syövyttävyyden hankkeessa (VVY 2022). Putkien puhallusmateriaalina voidaan käyttää erilaisia hiekkalaatuja esim. rautasilikaattia sekä yhden valmistajan patentin mukaan korundia (kiteinen alumiinioksidi), mutta ei ole tiedossa mitä eri valmistajat käyttävät nykyisin.

Silikaatin ja muun vedenlaadun roolia kupariputkien ennen aikaiseen syöymiseen tutkittiin Talousveden syövyttävyyden hankkeessa, joka käynnistyi vuonna 2018 (VVY 2022). Hankkeessa laadittiin laaja kirjallisuusselvitys, jossa on mm. ainekohtaisesti koottuna viimeisimpien tutkimusten tulokset liittyen kupariputkien pistekorroosioon (VVY 2020). Hankkeen tutkimustulosten ja kirjallisuuden perusteella on laadittu julkaisu ”Hyvät toimintatavat kiinteistöjen ku-

30.4.2026

paristen vesijohtojen syöpmisen ehkäisemiseksi” (VVY 2022). **Tutkimuksen mukaan silikaatilla ei havaittu olevan vaikutusta kupariputken pistekorroosioon. Kenttäkokeissa syöpy-miä havaittiin putken sisäpinnalla olevien rautapartikkelien alta, jotka ovat todennäköi-sesti peräisin putken valmistusprosessista. Pistekorroosiota muodostui rautapartikkelien alle, kun talousveden pH-arvo oli alhainen (pH <7,5), jolloin vedessä on myös hiilidioksidia, ja alhainen alkaliteetti (bikarbonaattipitoisuus) (VVY 2022).**

Vedenkäsittelyllä on havaittu olevan vaikutusta kuparin pistekorroosioon, jos pH-arvo vaih-telee laitokselta lähtevässä vedessä (Forsberg 2009). Tasainen pH-arvo ja riittävä alkaliteetti suojaavat verkostoa (AWWA 2017). Veden alkaliteettia, pH-arvoa ja hiilidioksidia tulee tar-kastella yhdessä, sillä veden pH-arvo määräytyy hiilidioksidin ja sen suolojen bikarbonaatin (alkaliteetin) tai karbonaatti - suhteiden perusteella (VVY 2022, AWWA 2017, FCG Oy ja VVY 2009). Talousveden alhainen kovuus ns. pehmeä vesi sekä alhainen pH (<7) ja alkaliteetti ai-heuttaa kupariputken yleistä syöpymistä ja hidastaa putken sisäpinnan passivoitumista (Suomen Kuntaliitto 1993, AWWA 2017, VVY 2020).

Talousveden syövyttävyyteen verkostomateriaaleille vaikuttaa myös happi sekä rauta-, alu-miini- ja mangaanipitoisuudet. Raudan, mangaanin ja alumiinin saostumat ja partikkelijää-mät kupariputken pinnalla on riski pistekorroosion kehittymiseen saostuman alle (VVY 2022, Forsberg, 2009, Suomen Kuntaliitto 1993).

Kloridi ja sulfaatti voivat edistää kupariputken pistekorroosiota lisäämällä sähkövirtaa (gal-vaaninen korrosio) ja happamuutta korroosiokohdassa. Veden laatu vaikuttaa korroosiono-peuteen ja suojakerroksen muodostumiseen (Suomen Kuntaliitto 1993). Pelkistävissä olo-suhteissa sulfaatista muodostuu kuparia syövyttävää sulfidia (AWWA 2017).

Kupariputken passivoituminen vaatii riittävän **happipitoisuuden**. Alhainen happipitoisuus hi-dastaa kupariputkien passivoitumista sekä hapettomissa kohdissa aiheuttaa putken syöpy-mistä (AWWA 2017, VVY 2020). Happipitoisuus on lämpimässä vedessä alhaisempi kuin kyl-mässä vedessä, kuten myös etenkin isoissa kiinteistöissä putkistossa seisoneessa vedessä sekä verkoston äärilaidoilla.

Kuparin pistekorroosioriskin vähentämiseksi suositeltu vedenlaatu on esitetty taulukossa 1 (kappale 5.4).

Saksassa on tehty laaja tutkimus juomavesiverkoston kupariputkien pistekorroosion esiinty-misestä ja syistä (DVGW 2017). Tutkimukseen osallistui 225 jäsenyritystä, ja arvioitiin 200 talousvettä, joista 100 jakelualueella ilmeni pistekorroosiota ja 100 talousvesialueella ei ha-vaintoja. Tutkimuksessa havaittiin pistekorroosiota sekä kylmän että lämpimän veden put-kistoista. Saksassa on pääosin keskikovia ja kovia talousvesiä, mutta tutkimuksessa oli mu-kana myös kohteita pehmeän talousveden jakelualueilta. Tutkimuksessa mukana olleista kohteista pehmeän veden alueella sijaitsi 15% kylmän veden ja 20% lämpimän veden putkis-toista. **Saksalaisessa tutkimuksessa ei havaittu korrelaatiota kupariputkien pistekorroosi-olla ja vedenlaadulla. Tutkimustulosten mukaan puolikovien kupariputkien korroosion mahdollisia syitä ovat uusien putkien sisäpintojen karheus, putkien varastoinnin, kuljetuk-sen ja käsittelyn vaikutus ja käyttöönotto kuten riittämätön huuhtelu.**

30.4.2026

3.5 Vedenkäsittely ja verkosto ennen kiinteistöä

Laaditut korroosiotutkimukset ja putken sisäpinnan käsittelyn muuttuminen eivät vielä selitä pistekorroosion paikallisuutta tiettyyn verkoston osaan. Korroosion ilmentymiseen eri verkostoalueilla voisi vaikuttaa esimerkiksi edeltävän verkoston putkistomateriaali (valurauta, muovi) ja vedenjakelualueen laitoksen vedenkäsittely.

Jakeluverkoston rakennusmenetelmät ja materiaalin valintaperusteet ovat vaihdelleet eri aikakausina. Tämän seurauksena vedenjakeluverkostojen materiaali jakaumat ovat kirjavia. Nykyään jakeluverkosto rakennetaan pääasiassa muovista, mutta aikaisemmin myös harmaa- ja pallografiittivaluraudat ovat olleet yleisiä.

Vedenkäsittelyllä ei voida täysin estää metallien korroosiota, mutta pyritään saamaan olosuhteet, jotta metallin pinnalle muodostuu mahdollisimman tiivis suojakerros. Rautaputkilla suojakerros on paksu ja huokoinen, kuparin ja messingin suojakerros on ohut ja tiivis. Rautaputkista raudan liukenemisella, sementillä pinnoitettujen putkien pH:n ja alkaliteetin nousulla tai esimerkiksi himaniittiputkista kalsiumin ja mahdollisesti silikaatin liukenemisella veteen voisi olla merkitystä kupariputkien korroosioon.

Suomessa alkaloinnin tavoitteena on estää kupariputkien yleinen korroosio sekä rauta- ja sementtiputkien syöpyminen nostamalla pH, alkaliteetti ja tarvittaessa kalsiumpitoisuus sopivalle tasolle. Kalkki-hiilihappotasapainon laskennalla tai kokeellisesti arvioidaan talousveden optimi pH-arvoa, jolloin kalkkia ei saostu vedestä haitallisia määriä kuluttajien lämmönsäiläisiin (AWWA 2017, VVY 2022). Laskenta voidaan tehdä Langelierin indeksin tai Saturation index:ä (APHA et al. 2017) käyttämällä. Täten sopiva pH riippuu veden alkaliteetin lisäksi lähinnä kalsiumpitoisuudesta, koville vesille pH 7,5 on riittävä ja pehmeillä vesillä tavoite on yleensä vähintään pH 8.

Alkalointimenetelmästä riippuen talousveden pH-arvo voi vaihdella, josta voi aiheutua korroosiota metallisille verkostomateriaaleille. Esimerkiksi pohjavesilaitoksilla sooda- ja lipeä annostellaan usein lähtevään putkeen. Annostuksessa huomioidaan yleensä vain virtaama, mutta laitoksen erilaisten pohjavesikaivojen vedenlaatua tai annosteluliuoksen pitoisuusvaihteluja ei aina huomioida. Tällöin talousveden laatu, erityisesti pH voi vaihdella voimakkaasti. (Forsberg, 2009)

Vedenkäsittelyjen osalta on tutkittu alkaloinnin vaikutusta kuparikorroosioon, mutta esimerkiksi myös raudanpoistolla voi olla vaikutusta. Alkalointia veteen voi muodostua silikaattia, joka saostuu helposti metalliputkiin kuten valuraudan tai kupariputken pinnalle. Vedenkäsittelyssä raudanpoisto voi sitoa ionimuotoisen silikaatin ja estää sen reagoimisen kuparin kanssa.

Suomessa aikaisemmin on tehty laaja tutkimus veden laadun muuttumisesta valurautaputkistossa (Suomen Kaupunkiliitto 1989), jossa mm. todettiin, että osa piistä on saostumassa muulla tavalla kuin hiekkana. Osa veden silikaatista saattaa olla ionimuodossa. Tällä voi olla vaikutusta esimerkiksi metallien kanssa reagoivan silikaatin määrään talousvedessä ja silikaatin saostumiseen kupariputken pinnalle.

30.4.2026

4 Käyttämättömien kupariputkien sisäpintojen tutkimus

4.1 Kvalitatiivisen tutkimuksen toteutus

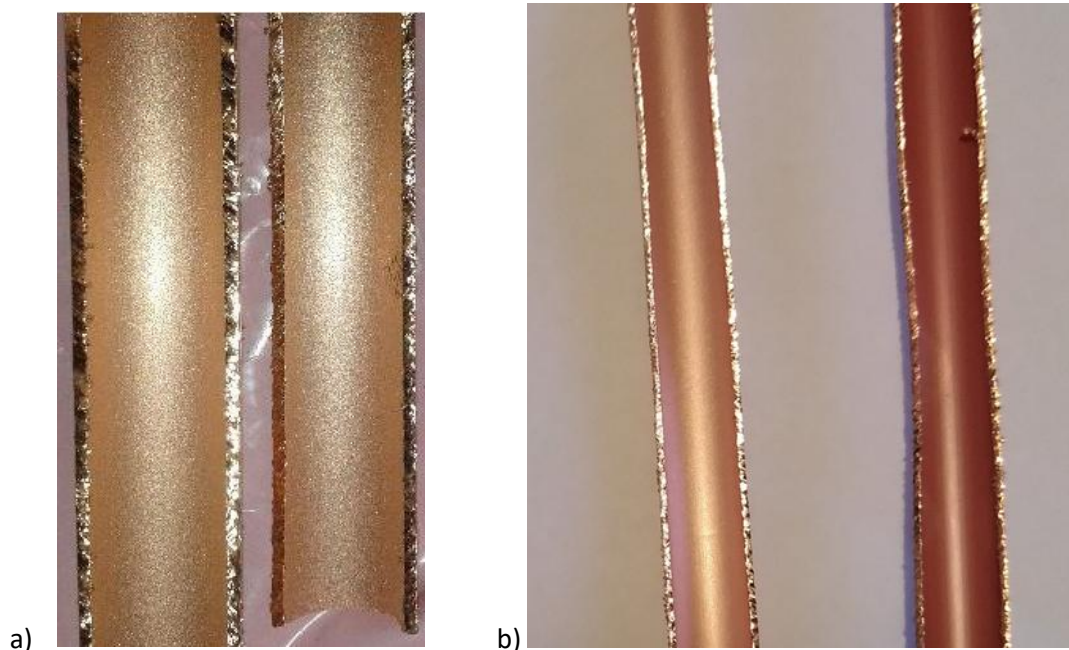
Kesäkuussa 2020 ostettiin kupariputket rautakaupasta ja tukkukaupoista ja halkaistiin pituus-suunnassa. Kupariputken sisäpintoja tarkasteltiin silmämääräisesti kuten YM asetus 2/19 kupariputkien tyyppihyväksynnästä vaatii.

Kaikki tutkitut kupariputket on tarkoitettu talousvesikäyttöön Suomessa. Kupariputkien valmistajia olivat suomalainen, englantilainen ja ruotsalainen yritys. Osa kupariputkista oli kovia, osa puolikovia ja yksi kierreputki. Putket eivät olleet tulpattuina kauppojen hyllyissä.

4.2 Kupariputkien sisäpintojen eroja

Pienellä otannalla tarkasteltuna nykyisten talousvesikäyttöön hyväksytyjen kupariputkien sisäpinnat olivat eri valmistajilla erilaisia. Putkien sisäpinnat poikkeavat sileydeltään, väriltään ja tasaisuudeltaan.

Yhden valmistajan kupariputken sisäpinta on vaalea ja karhean näköinen mattapintainen, ja tuntuu myös karhealta (kuva 1 a).



Kuva 1. Käyttämättömien kupariputkien sisäpinnat. Kupariputket: suora 12 mm kova R290, tyyppihyväksytty käyttövesiasennuksiin Suomessa, kuvassa b) putket kahdelta eri valmistajalta, joista vasemmanpuoleinen putki on myös kuvassa a).

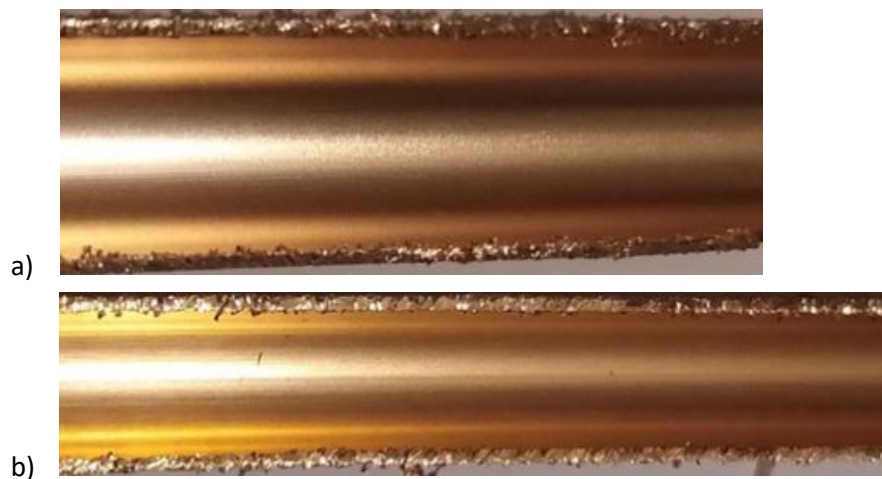
Toisen putkivalmistajan kupariputken sisäpinta on punertava ja pinnalla on koko putken pituisia tummia raitoja (kuva 2). Sisäpinta tuntuu kohtuullisen sileältä.

30.4.2026



Kuva 2. Käyttämättömän kupariputken sisäpinnalla tummia raitoja (kupariputki suora kova R290, tyyppi hyväksytty käyttövesiasennuksiin Suomessa). Kuvassa punainen väri on korostunut, todellinen värisävy näkyy kuvassa 1 b) oikea putki.

Kolmannen putkivalmistajan kupariputkien sisäpinnat ovat kirkkaita ja sileitä kuten kupariputket ennen 2000-lukua. Sisäpinta on tasaisen värinen. Kuvattaessa valo heijastuu sileästä pinnasta, josta aiheutuu varjoja kuvaan (kuva 3).



Kuva 3. Käyttämättömien kupariputkien sisäpinnat sileitä (kupariputki suora puolikova, soveltuu käyttövesiasennuksiin Suomessa). Kuvassa a) 15 mm ja b) 10 mm.

Tarkasteltu kieppiputki on pehmeäksi hehkutettu kupariputki. Kieppiputken sisäpinta on tumman ruskea, ja sisäpinnassa on hyvin tummia (lähes mustia) pisteitä ja viivoja (kuva 4).

30.4.2026



Kuva 4. Käyttämättömän kieppi kupariputken sisäpinta (10 mm R220, tyyppihyväksytty käyttövesiasennuksiin Suomessa) eri kuvakulmista a) ja b).

Kupariputken pidemmässä varastoinnissa tulee sisäpinnan värierot esiin vasta, kun putki on ollut jonkin aikaa ilman kanssa tekemisessä (kuva 5).



Kuva 5. Käyttämättömän kupariputken sisäpinta (tyyppihyväksytty käyttövesiasennuksiin Suomessa) noin 1 vuoden säilytyksen jälkeen.

30.4.2026

4.3 Tulosten yhteenveto

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan kupariputken sisäpinnan tulee olla puhdas ja sileä. Osalla valmistajista putkien sisäpinnat eivät ole sileitä vaan karheita, ja pinnoilla havaittiin värieroja ja viivoja. Osalla valmistajista kupariputken sisäpinnoilla havaittiin yksittäisiä pieniä mustia pisteitä, jotka on jäänyt pistemäisesti putken pintaan kiinni. Putkinäytteitä ei lähetetty analysoitavaksi. Sisäpinnassa kiinni olevat mustat pisteet voi olla hiiltä.

Akkreditoituun testauslaboratorioon kupariputket tuodaan todennäköisesti suoraan tuotannosta. Kaupasta ostaessa kupariputki on pidempään ilman kanssa tekemisissä ennen ostoa ja asennusta kiinteistöön, riippuen kuinka tiheä kierto on valmistus – myynti – asennus. Testauslaboratoriossa voi myös olla jonkin verran viivettä, ennen kuin putken pinta tutkitaan ja testataan. Ei ole tiedossa, tuleeko putket testattavaksi tulpattuina. Kaupassa kupariputket ei ollut tulpattuina.

Kun putken sisäpinnalla on värieroja tai mustia pisteitä, tutkimuslaboratoriossa olisi hyvä tutkia testattavaa putkea eri kohdista. Karheisiin sisäpintoihin voi jäädä puhallusmateriaalia kuoppiin sekä mahdollisesti haitallisia hiilipartikkeleita puhallusmateriaalin alle tai kuoppiin.

Tulokset tukevat kirjallisuudessa ja patenteissa mainittuja kupariputkien sisäpintojen käsittelymenetelmien muutoksia. Kuvien 1, 2, 4 ja 5 mukaisten käyttämättömien kupariputkien sisäpintojen epätasaisuudet ja värerot lisää pistekorrosioriskiä.

Uusien kupariputkien sisäpintojen perusteella on selvä tarve kunnolla toteutetulle putkiston käyttöönottohuuhtelulle ja akkreditointiin liittyvän testauksen tarkentamiselle.

5 Tapaustutkimuksen tulokset

5.1 Korroosiokohteiden piirteitä

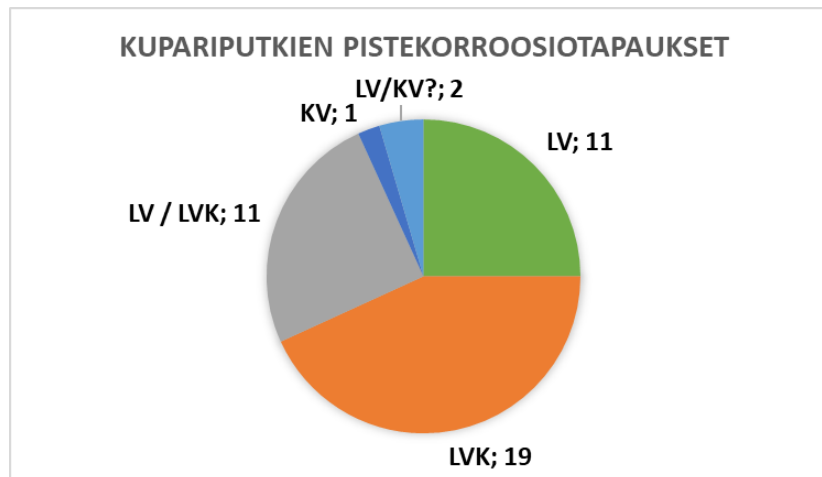
Kupariputken pistemäistä korroosiota havaituista kiinteistöistä valittiin jatkotarkasteluun alueet, joilla havaittiin useampia korroosiokohteita ja kupariputket asennettu 1990-luvun loppuun ja sen jälkeen (1995 – 2014). Vanhemmat korroosiotapaukset rajattiin pois tutkimuksesta, koska tiedonsaanti tapauksista oli haastavaa ja kupariputkien sisäpinnan käsittely on muuttunut 1990-luvun loppupuolella, jolloin pistekorrosioon vaikuttavat tekijät ovat myös osittain erilaiset. Alueita, joissa esiintyi yksittäinen tapaus, ei otettu jatkokäsittelyyn.

Kaikista korroosiokohteista ei oltu tehty tarkempaa tutkimusta kupariputken laadusta tai korroosiomuodosta. Näissä kohteissa saatujen tietojen mukaan korroosiokohta on pistemäinen. Pistemäiset vuodot ovat todennäköisesti pistekorrosiota, sillä yleensä eroosikorrosiota ei muodostu pistemäisesti suorassa putkiosuudessa eikä pystyputkessa, joissa on tehty virtausnopeuden säätö, vaan eroosikorrosiota havaitaan lähinnä putkiston mutkissa, haaroissa ja liitoksissa. Eroosikorrosiota ei muodostu useaan paikkaan pistemäisesti, jos säädetty virtausnopeus, vaan korroosiota ilmenisi laajemmalla alueella. Muissa korroosiomuodoissa putki syöpyy laajemmalla alueella. Osassa kohteista ei ole saatavilla tietoja käyttöönotosta ja asennuksesta.

30.4.2026

Hankkeessa tarkasteltuihin pistemäisiin kupariputkien vuotokohtiin liittyviä piirteitä:

- **2000-luvulla asennetuissa kupariputkissa pistemäiset vuotokohdat olivat kaikki lämpimän käyttöveden (LV) tai lämminvesikierron (LVK) putkissa.** Yksi kylmän käyttöveden putkistossa havaittu ja varmistettu pistekorroosiotapaus oli omakotitalossa v. 1996 (putken merkintöjä ei ollut saatavilla).
- **pistemäistä korroosiota** havaittiin sekä suorissa putkiosuuksissa että muutama tapaus mutkassa, osa kylpyhuoneessa, vaatehuoneen katossa, osa porrashuoneissa
- **putken ominaisuuksia:** Kohteissa, joista saatiin tarkempia tietoja, syöpyneet putket olivat kovuudeltaan erilaisia kuten kova kupariputki, puolikova ja hehkutettu kupariputki, ja syöpyneet putket olivat eri valmistajilta. Muutamista kohteista oli lähetetty syöpyneitä putkia tutkittavaksi, ja kupariputken koostumus oli todettu standardin mukaisiksi. Puolalaista kupariputkea oli yhdessä pistekorroosiokohteessa, josta ei selvinnyt, onko LV-putkiston lisäksi korroosiota myös KV-putkistossa (merkitty kuvaan LV/KV?, asennettu v. 2005).
- **käyttöönottoimenpiteet:** Osasta kohteista saatiin tietoa, että putkistohuuhtelut oli tehty voimakkaalla virtauksella, ja LVK virtausnopeus ja LV-putkiston lämpötila säädetty. Osasta kiinteistöjä ei saatu tietoja, kun isännöitsijät olivat etätöissä korona-aikana ja tiedot papereissa toimistolla, osasta ei löytynyt dokumentaatiota.
- **käyttöönotto:** Suurin osa kiinteistöistä oli otettu heti käyttöön <1kk, eikä talousvesi seisunut putkistossa pitkiä aikoja. Putkiston käyttämättömyys hidastaisi kupariputken sisäpinnan passivoitumisen eli suojakerroksen muodostumista. Kylmän käyttövesiputken pistekorroosiokohteessa käyttöönotto oli n. 2 kk kohteen valmistumisesta.

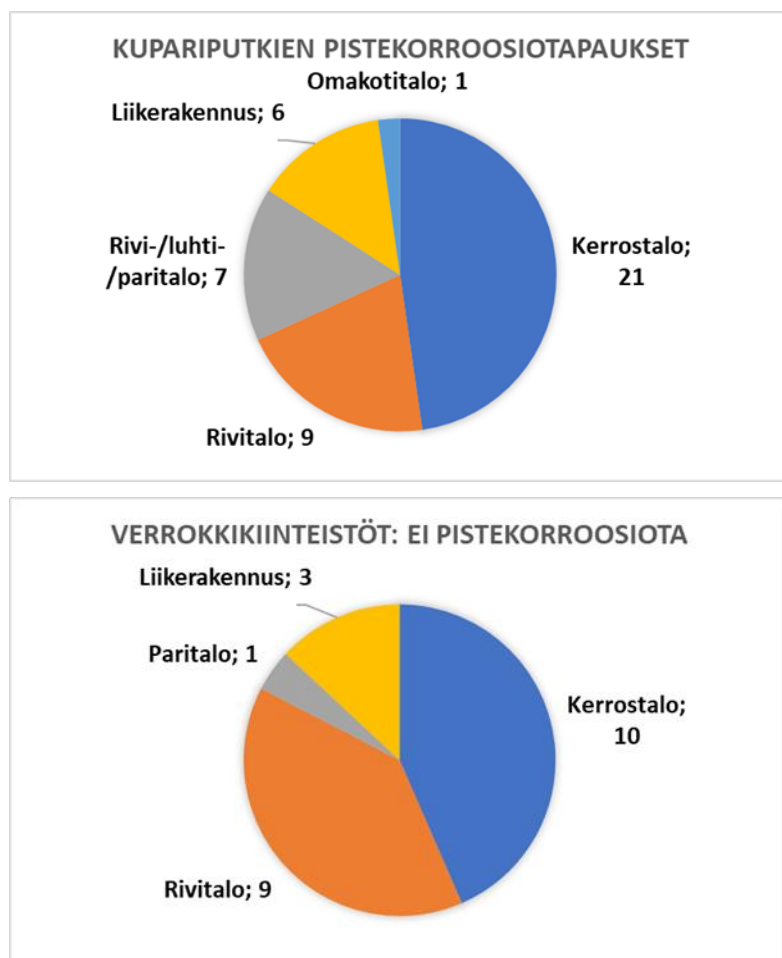


Kuva 6. Kyselyyn vastanneiden ja haastattelujen perusteella kupariputkien pistemäisten korroosiotapausten jakauma kylmän käyttöveden (KV), lämpimän käyttöveden (LV) ja lämminvesikierron (LVK) putkistoissa. Kahdessa kohteessa (LV/KV?) ei varmistunut, oliko LVn lisäksi KV-putkistossa pistekorroosiota.

30.4.2026

Pistemäisiä kupariputkien syöpymiä oli erilaisissa kiinteistöissä, yhteensä 44 kiinteistöä (kuva 7). Rivitalo- ja kerrostalokohteissa oli useammassa asunnossa todettu pistekorroosiota. Kupariputken kesto vaihteli kahdesta vuodesta noin 20 vuoteen ennen pistemäisen korroosion ilmenemistä (kuva 8).

Kiinteistöille, joissa havaittu pistekorroosiota, kartoitettiin samalta vedenjakelualueelta verrokkikiinteistöjä (kriteerit kpl 2), joissa ei ole havaittu kupariputkien korroosiota. Verrokkikiinteistöjä tarkasteltiin yhteensä 23 kpl, (kuva 7).



Kuva 7. Kupariputkien pistemäisten korroosiotapausten ja verrokkien jakauma erilaisissa kiinteistöissä.

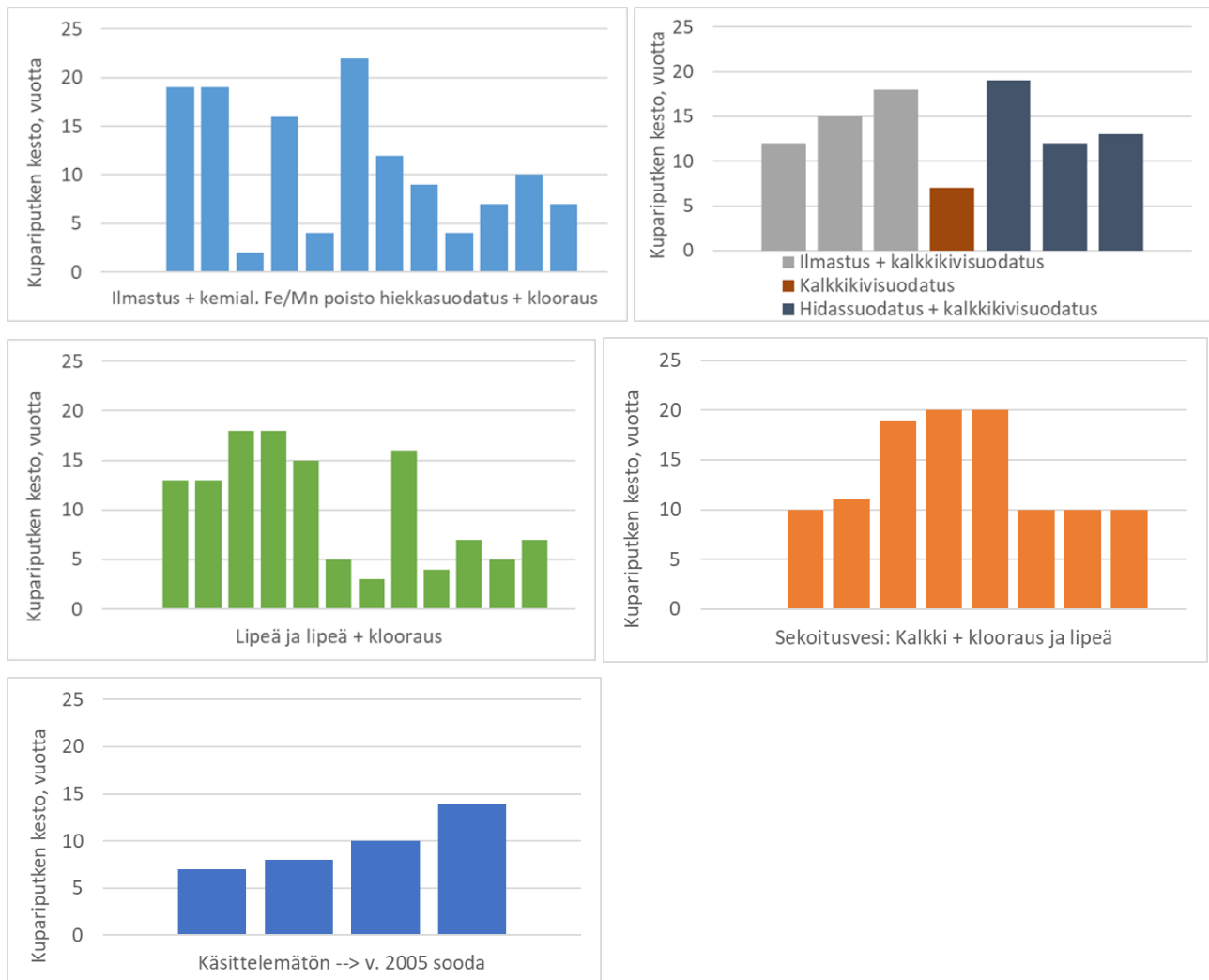
5.2 Vedenkäsittelyn vaikutus pistekorroosioon

Kiinteistöt, joissa havaittu kupariputkien pistekorroosiota tai pistemäisiä vuotokohtia, sijaitsivat kaikki pohjavesilaitosten vedenjakelualueella. Vesihuoltolaitoksella, jolla on vedenjakelualueita pohjavesilaitoksien lisäksi pintavesilaitoksille sekä alueita, joissa sekoittuu pinta- ja

30.4.2026

pohjavesilaitosten talousvedet, havaittiin että pintavesilaitoksen sekä pinta- ja pohjavesilaitosten sekoituksen vedenjakelualueilta ei tullut esiin kiinteistöjen kupariputkien pistekorrosiota.

Kiinteistöihin johdetaan talousvettä pohjavesilaitoksilta, joiden vedenkäsittelymenetelmät olivat erilaisia kupariputkistojen käyttöönoton aikaan (kuva 8). Vesilaitoksilla alkalointi oli toteutettu kalkkikivisuodatuksella, sooda-, kalkkivesi- tai lipeän annostuksella, kahdeksalle kiinteistölle johdettiin sekoitusvettä lipeälaitokselta ja kalkkivettä käyttävältä laitokselta, kahdella laitoksella pH-arvoa nostettiin ilmastuksella. Kahdella vesilaitoksella alkalointiin on yhdistetty raudanpoisto pika- tai hidassuodatuksella sekä klooraus, ja talousvettä johdettiin 15:lle kiinteistölle. Yhden kiinteistön talousveteen sekoittui talousvettä myös tekopohjavesilaitokselta. 2000-luvulla vesilaitoksiin on asennettu lisäksi UV-desinfiointi.



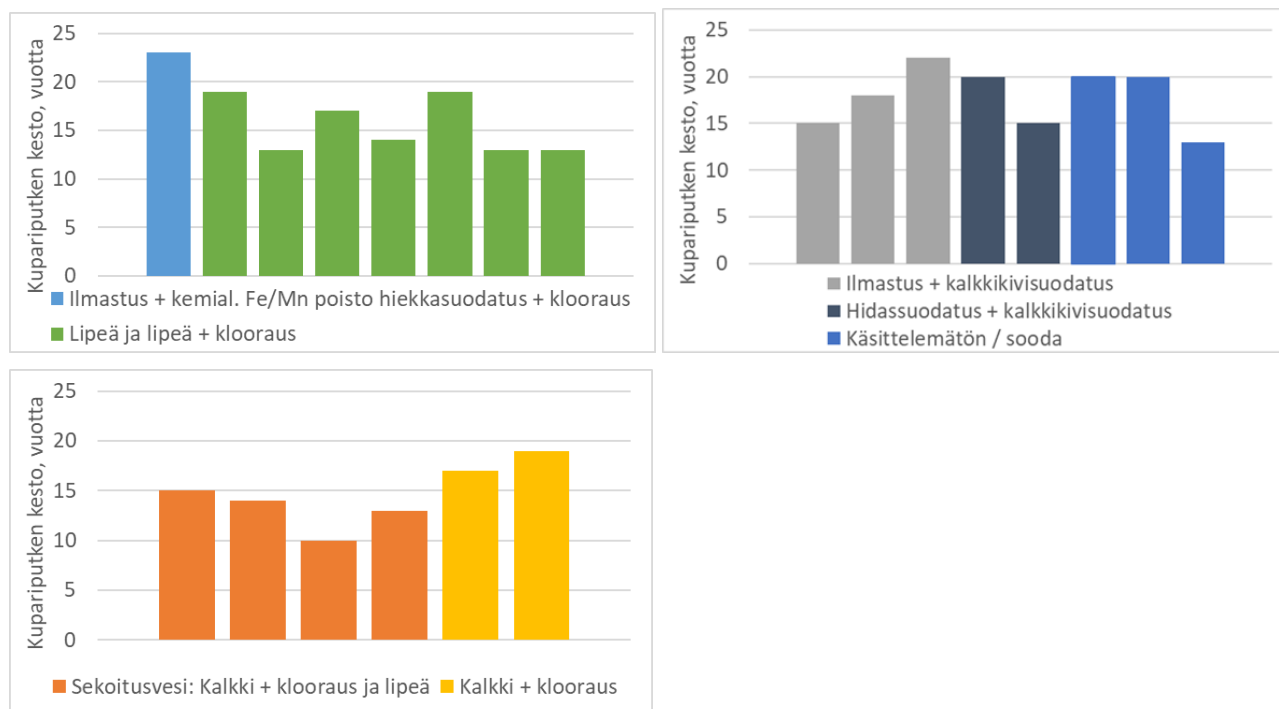
Kuva 8. Kupariputkien pistemäisten korroosiotapausten kiinteistöille johdetun talousveden käsittely vesilaitoksella verrattuna kupariputken keston vuosina.

30.4.2026

Verrokkikiinteistöt sijaitsevat samalla vedenjakelualueella kuin korroosiokohteet. Jokaiselle vedenjakelualueelle, jossa kiinteistöissä havaittu pistekorroosiota, löytyi vähintään 1 kpl verrokkikiinteistöjä, joissa ei ole havaittu korroosiota. Verrokkikiinteistöjen tietoja:

- kupariputkien käyttöönotto vuoden sisällä (+/-1) verrattuna kiinteistöihin, joissa havaittu pistemäistä korroosiota
- asuntoja verrokkikiinteistöissä on vähintään 655 kpl + liikerakennukset
- verrokkikiinteistöissä tiedon keruun hetkellä kupariputken kesto ollut 10 – 23 vuotta (kuva 9)

Verrokkikiinteistöille johdetaan talousvettä samoilta vesilaitoksilta kuin kiinteistöille, joissa havaittu pistemäistä kupariputken korroosiota, joten vesilaitosten vedenkäsittely ja alkalointi on sama (kuva 9).



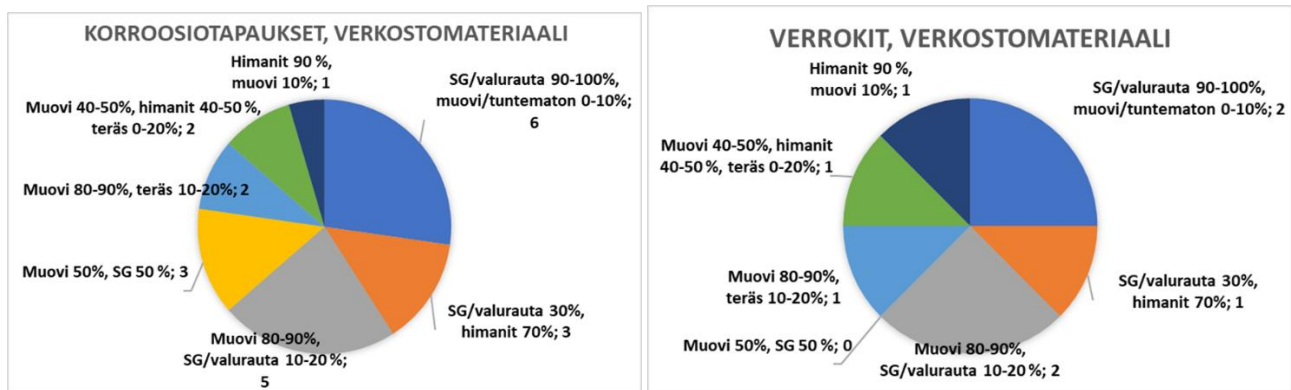
Kuva 9. Verrokkikiinteistöille (ei havaittu pistekorroosiota) johdetun talousveden käsittely vesilaitoksilla verrattuna kupariputken keston vuosina.

5.3 Verkostomateriaalin ja -pituuden vaikutus pistekorroosioon

Kupariputkien pistekorroosiota esiintyneisiin kiinteistöihin ja verrokkikiinteistöihin johdetaan vesilaitoksilta talousvettä eri verkostomateriaalista koostuvia verkostoja pitkin. Verkostotietoja saatiin 22 kiinteistöön, joissa havaittu kupariputkien pistekorroosiota, ja 8 kpl verrokkikiinteistöön. Yksi kohde voi edustaa useampaa korroosio/verrokkikohdetta lähialueella. Osaan kohteista talousvesi voidaan johtaa useampaa verkostoreittiä pitkin, jolloin tarkasteltiin todennäköisimmät reittivaihtoehtot.

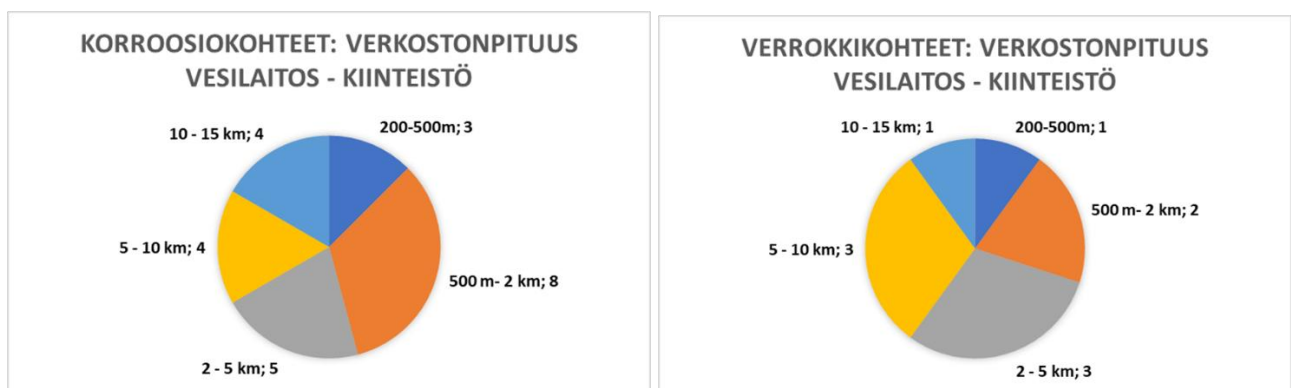
30.4.2026

Verkostomateriaalit vaihteli vesilaitoksen ja pistekorroosikiinteistön sekä vastaavasti vesilaitoksen ja verrokkikiinteistön välillä. Osa verkostoista oli 100% muovia, 100% valurautaa, näiden sekoitusta tai osittain himaniittia tai terästä. Verkostomateriaalilla ei havaittu merkittävää kupariputkien pistekorroosion esiintymiseen.



Kuva 10. Verkostomateriaalien jakaumat talousveden johtamiseen vesilaitoksien ja kiinteistöjen (korroosio ja verrokki) välillä, arvot (%) pyöristetty. SG = pallografiittirauta.

Talousvesiverkoston pituudella vesilaitoksen ja kiinteistön välillä ei havaittu olevan vaikutusta kiinteistöjen kupariputkien pistekorroosion esiintymiseen (kuva 11). Lähimmät kiinteistöt, joissa havaittu pistemäistä korroosiota, ja vastaavasti verrokkikiinteistö sijaitsivat noin 200 metrin päässä vesilaitoksesta. Kauimpiin kiinteistöihin oli vesijohtoa 10 – 15 km vesilaitokselta.



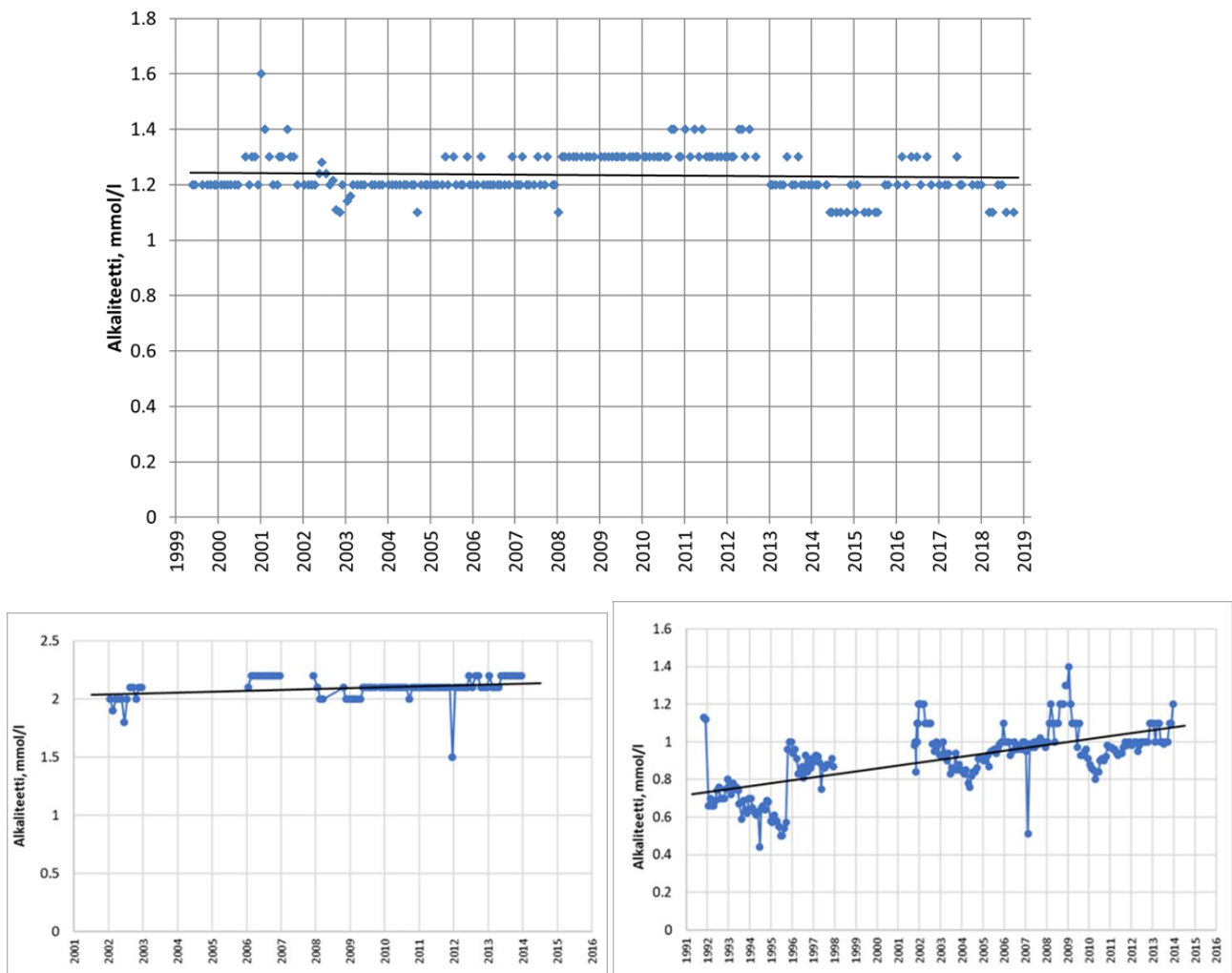
Kuva 11. Verkstopituuksien jakaumat talousveden johtamiseen vesilaitoksien ja kiinteistöjen (korroosio ja verrokki) välillä.

30.4.2026

5.4 Talousveden laadun tarkastelu

Kiinteistöille, joissa havaittu kupariputkien pistemäistä korroosiota, ja verrokkikiinteistöille johdettavan talousveden laadun vaihtelua tarkasteltiin 90-luvun lopun/2000-luvulta alkaen, sillä tarkasteltuihin kohteisiin kupariputket on asennettu pääosin 2000- ja 2010-luvuilla.

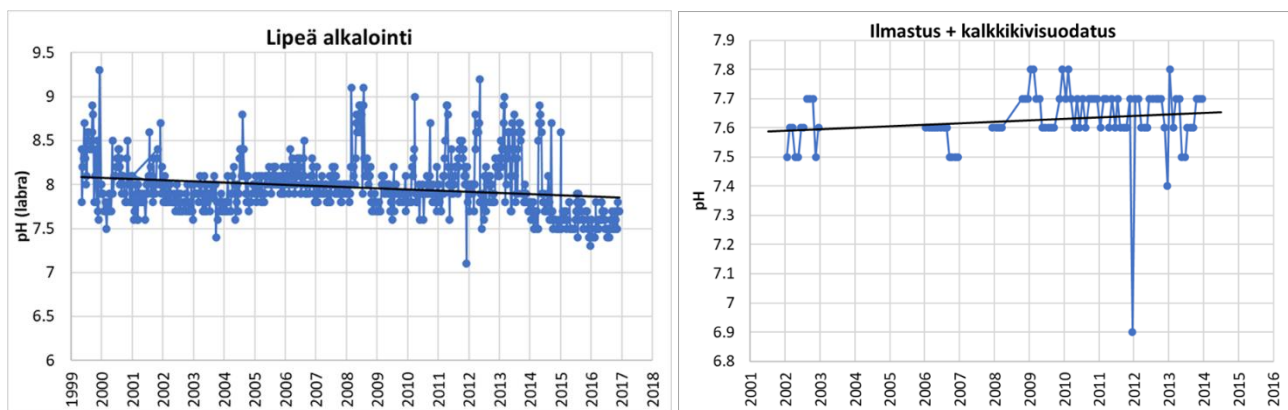
Talousvedenlaatu on erilaista eri vedenjakelualueilla. Talousveden syövyttävyyden ja kupariputkien korroosioriskien vähentämiseksi alkaliteetin suositus on $>0,6$ mmol/l, mieluiten $>0,8$ mmol/l (Valvira 2024, VVY 2022), myös 2000-luvulla. Kiinteistöille (korroosio kohde, verrokki) johdettujen talousvesien alkaliteetti on ollut suositusten mukaista ja hyvällä tasolla $0,7 - 2,1$ mmol/l, osassa talousvesiä tasaista 20 vuotta (kuva 12). Vanhemmissa julkaisuissa suositellut alkaliteettitasot jopa $3 - 4,9$ mmol/l ovat liian korkeita Suomen talousvesille (taulukko 1).



Kuva 12. Talousveden alkaliteetin vaihtelu 15 – 20 vuoden aikana kiinteistöille, joissa havaittu kupariputken pistemäistä korroosiota ja verrokkikiinteistöille (ei havaittu korroosiota). Vedenkäsittely: yläkuva raudan ja mangaaninpoistosuodatus + lipeä, alakuva vasenpuoli kalkkikivisuodatus ja oikeapuoli hidassuodatus + kalkkikivisuodatus.

30.4.2026

Kupariputkien pistekorroosion vähentämiseksi on esitetty ohjearvo, jonka mukaan veden pH:n tulisi olla $>7,5$ (VVY 2022, Valvira 2024). Kiinteistöille (korroosiokohde ja verrokki) johdettujen talousvesien pH-arvo oli keskimäärin pääosin suositusten mukainen. Osalla vesilaitoksia talousvesien pH-arvo on ollut tasainen ja osalla pH-arvo on vaihdellut (kuva 13). Kahden vesilaitoksen talousveden pH-arvo keskimäärin alitti suositustason 7,5 mutta oli talousvesiasetuksen mukainen STM:n 1352/2015 (ent. 461/2000). Yhden vesilaitoksen käsittelemätön talousvesi 2000-luvun alussa oli luontaisesti pH:n, alkaliteetin ja kovuuden suositusten mukainen. Vedenkäsittelyprosessien ilmastus + kalkkikivisuodatus ja pelkkä kalkkikivisuodatus tuottama talousvesi on pH-arvon suhteen yleensä tasainen. Lipeä alkaloinnissa voi esiintyä isoa vaihtelua riippuen lipeän syötön toteutuksesta (kuva 13).



*Kuva 13. Talousveden pH-arvon vaihtelu 15 – 20 vuoden aikana verrokkikiinteistöille (ei havaittu kupariputken pistekorroosiota) ja kiinteistöille, joissa havaittu kupariputken piste-
mäistä korroosiota. Esimerkkinä vedenkäsittely: vasen kuva lipeä alkalointi, oikea kuva il-
mastus + kalkkikivisuodatus.*

Alhaisempi talousveden pH-arvo $pH < 7,5$ hidastaa kupariputkien passivoitumista, mutta ei estä sitä. Veden pH-arvon vaihdellessa kuparimetalli pyrkii tasapainotilaan talousveden kanssa.

Seuraavassa taulukossa on koottuna suositeltuja talousveden teknisen laadun ominaisuuksia ja verrattu Sosiaali- ja terveysministeriön asetukseen talousveden laatuvaatimuksista ja -ta-
voitteista (461/2000, nyk. 1352/2015) ja Hyvät toimintatavat -julkaisuun (VVY 2022).

30.4.2026

Taulukko 1. Tutkimuskohteiden talousveden laatu v. 2000 alkaen, suosituksia talousveden laadulle syöpymisen ehkäisemiseksi eri kirjallisuuslähteissä ja STMn asetuksessa (ent. 461/2000) ja sen soveltamisoppaassa.

		Talousvesi kiinteistöille (korroosio ja verrokki) v. 2000 - 2020	Outokumpu Copper v. 1996 *	Vesi-Instituutti v. 2008 **	STM asetus 1352/2015, sovel- tamisohje 2024	VVY 2022
pH		8 – 8,3 (max 8,5 – 9,2) 7,5 – 8 7 – 7,5	7,5 – 9,0	7,5 – 9,0	6,5 – 9,5 (asetus) >7,5 (ohje)	>7,5
Kokonaiskovuus	mmol/l		0,7 – 1,5			
Kalsium	mg/l	8 – 50				
Bikarbonaatti	mg/l mmol/l	0,7 – 1,5 ja 1,5 – 2,1	70 – 300 1,15 – 4,9	70 – 300 1,15 – 4,9	>0,6 (ohje)	>0,6
Bikarbonaatti / sulfaatti	mol/m ³ = mmol/l			>2		
	mg/l / mg/l		>1,0			
Vapaa hiilidioksidi	mg/l		<10	<15	"alhainen" (ohje)	"alhainen"
Kloridi	mg/l	10 – 15 yhdessä kohteessa 23	<100	<100	<25	<25
Sulfaatti	mg/l	10 – 40	<100	<100	<150 (asetus) <100 (ohje)	<100
Sähkönjohtavuus	µS/cm				<250	
Rauta	mg/l	<0,01 – 0,01 max 0,060 ja 0,12	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Mangaani	mg/l	<0,01 max yksittäisiä 0,096- 0,34	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05
Alumiini	mg/l	<0,010 - <0,02 max 0,02	<0,2		<0,2	<0,2
Kiintoaineet	mg/l		<20			
Virtausnopeus	m/s			kylmä <4,0 kuuma <3,0		

* Outokumpu Copper. 1996. Kupariputket

** Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Vesi-Instituutin julkaisu 3, v. 2008

Alkaliteettia, pH-arvo ja hiilidioksidia tulee tarkastella kokonaisuutena, sillä yhden parametrin muutos vaikuttaa toiseen. Vedenkäsittelyssä kalsiumpitoisuus alkaliteetin ohessa vaikuttaa siihen, kuinka korkeaksi pH voidaan nostaa ja hiilidioksidia alentaa. Pohjavesilaitoksilla lähtevän veden pH-arvon ja hiilidioksidipitoisuuden vaihteluun vaikuttaa mm. eri vedenotto-kaivoista otettavan pohjaveden erilainen vedenlaatu ja vedenkäsittelyn alkalointikemikaalin annostuksen ohjaus. Verkostossa vaihtelua lisää eri talousvesien sekoittuminen.

Talousveden rauta, mangaani ja alumiini voivat saostua putken pinnalle. Saostumien alle voi teoriassa muodostua pistekorroosiota. Tutkimuksessa tarkasteltujen laitokselta lähtevien talousvesien rauta-, mangaani- ja alumiinipitoisuudet olivat olleet 20 vuotta taulukon 1 suositusarvojen mukaisia muutamaa yksittäistä mangaanipitoisuutta lukuun ottamatta.

30.4.2026

Tarkasteltujen talousvesien silikaattipitoisuudet 11 – 19 mg/l olivat Suomen pohjavesille tyyppillisellä tasolla. Yhdelle kiinteistölle johdettavassa tekopohjavesilaitoksen talousvedessä oli silikaattipitoisuus jonkin verran pienempi 8,7 mg/l. Happipitoisuustietoja oli vähemmän käytettävissä, mutta talousvesien happipitoisuudet vaihtelivat välillä 4 – 12 mg/l, yksittäisiä poikkeavia tilanteita lukuun ottamatta. Valviran soveltamisohjeessa on rautaputkistojen syövyttävyyden vähentämiseksi suositeltu happipitoisuutta >2 mg/l.

Tutkimuksessa tarkastelluista talousvesien vedenlaatutuloksista ei löytynyt yksittäistä selittävää tekijää pistekorroosiolle. Taulukon 1 talousveden laatusuositukset on annettu juoksetulle (kylmälle) talousvedelle. Tarkastellut kupariputkien pistekorroosiotapaukset olivat lämpimän käyttöveden tai lämminvesikierron puolella 2000-luvulla.

6 Johtopäätökset

Hankkeen tulosten perusteella pohjavesilaitosten talousvedenlaadulla, vedenkäsittelymenetelmällä tai vedenjakelualueella käytetyillä verkostomateriaaleilla tai verkostopituudella ei voitu todeta selvää yhteyttä kiinteistöjen kupariputkien pistesyöpymätapauksiin. Vain pintavesilaitosten vedenjakelualueella tai alueilla, joissa pintavesi- ja pohjavesilaitosten talousvedet sekoittuvat, ei tullut esiin pistekorroosiotapauksia. Talousvedenlaatu on ollut 20 vuoden ajalla kaikilla laitoksilla hyvä teknisiltä ominaisuuksilta, joita yleensä tarkastellaan korroosiotapauksien syitä selvitettäessä.

Kiinteistöjen kupariputkien pistemäiset korroosiotapaukset olivat lämpimän käyttöveden tai lämminvesikierron verkostoissa 2000-luvulla havaituissa korroosiokohteissa. Yksi kiinteistön kylmävesiputken pistekorroosiotapaus oli v. 1996, mutta putken merkintöjä ei ole saatavilla.

Kupariputken pistemäistä korroosiota havaittiin eri kupariputkivalmistajien putkissa. Kupariputkien käyttöönottoimenpiteiden vaikutusta ei voitu yhdistää korroosioon niissä tapauksissa, joista tietoja oli käytettävissä.

Todennäköisin vaikuttava tekijä pistesyöpymien osalta on kupariputken sisäpinnan käsittelyn muuttuminen 1990 -luvun loppupuolella. Kupariputkien valmistusprosessi on muuttunut useilla valmistajilla patenttien mukaan 1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa. Patenttien ajankohdan jälkeen kupariputkissa havaitut pistekorroosioauriot ovat poikenneet perinteisistä pistekorroosiotyypeistä. Kupariputkien valmistuksessa sisäpinnan käsittelyssä on keskitytty kuparin liukenemisen minimointiin (yleinen korroosio), mutta samalla pistekorroosioriski on kasvanut. Ympäristöministeriön asetuksen ja kupariputkistandardin mukaan kupariputken sisäpinnan tulee olla puhdas ja sileä. Nykyään osan valmistajien kupariputkien sisäpinnat ovat karhennettuja (mattapinta), osassa havaittiin värieroja ja epäsäännöllisiä pinnanmuotoja. Ennen 1990 -luvun loppua kupariputkien sisäpinnat olivat kirkkaita ja sileitä.

Hiekkapuhaltamalla käsitellyissä kupariputkissa (karhennus) jää jonkin verran puhallusmateriaalia kuten rauta- tai alumiinipartikkeleita tiukasti kiinni putken sisäpintaan. Partikkeleiden rooli pistekorroosiossa on todennäköisesti merkittävä tekijä. Partikkelin alle voi muodostua hapettomia kohtia, mikä syövyttää putkea. Erityisesti lämpimän veden käyttöputkistoissa,

30.4.2026

joissa veden happipitoisuus laskee jonkin verran. Lisäksi kupariputkien varastoinnista ja putkiston asennuksen jälkeen voi jäädä putkeen epäpuhtauksia.

Korroosion ilmenemiseen liittyy kupariputkien valmistusprosessin sisäpinnan käsittelymenetelmän lisäksi käyttöönottoimenpiteet ja vedenlaatu. Kunnollisen käyttöönottohuuhtelun tarve on selkeä 2000-luvun kupariputkille. Myös riittävä happipitoisuus ja pH-arvo suojaavat hidastaa kupariputkia syöpymiseltä. Uusissa kiinteistöissä on tärkeää putkiston veden vaihto säännöllisesti, jos kiinteistöä tai yksittäistä huoneistoa ei oteta heti käyttöön sekä pitkien käyttämättömien ajanjaksojen aikana. Kiinteistön käyttöönoton ajankohdalla voi olla myös merkitystä.

Tapaustutkimuksessa pistekorroosiotapaukset 2000-luvun alusta lähtien havaittiin lämminvesiverkostossa tai lämpimän kiertoveden verkostossa. Mikäli kiinteistön käyttöönotto on keväällä ja lämpimän kiertoveden verkostossa vesikierto laitetaan pois päältä käyttöönoton jälkeen, voi verkostossa seisovan veden happipitoisuuden aleneminen aiheuttaa riskin pistekorroosiolle. Pistekorroosioriskiä on erityisesti kupariputkissa, joiden sisäpinnalle jää puhallusmateriaalia kuten rauta- tai alumiinipartikkeleita.

Ympäristöministeriön asetukseen ja kupariputkistandardiin tarvittaisiin määritelmä tai vaatimukset kupariputken sisäpinnan puhtaudelle ja sileydelle. Erityisesti tulisi täsmentää puhallusmenetelmän jäljiltä silminnähävästi karheiden putkien sileysvaatimus sekä valmistuksessa putken sisäpinnalle jäävien partikkelien tutkiminen, sillä hyvin pieniä partikkeleita ei voi havaita silmämääräisesti.

30.4.2026

Kirjallisuusviitteet

APHA et al. 2017: Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

AWWA 2017: Internal Corrosion Control in Water Distribution Systems. American Water Work Association. Manual of Water Supply Practices M58, Second Edition.

Becker et al. 2015: Pitting corrosion of copper – current damages in drinking water systems in Germany. Becker A., Ruhrberg U. ja Jentsch T. EUROCRR 2015, paper 564.

DKZ 2017: Holsterhausen: Rundum kritische Bedingungen. Neues Gutachten spricht von grenzwertigem Wasser für Kupferrohre. Kupferrohre, Installation DKZ 1-2 / 2017. https://installation-dkz.de/wp-content/uploads/2017/02/dkz_01-02_2017_S37.pdf

DVGW 2014: Untersuchungsbericht, Untersuchung von Trinkwasser-Installationen im Zusammenhang mit Lochkorrosion in Kupferrohren im Versorgungsgebiet des Wasserwerks Drakenburg (Nienburg/Weser) KS 035/13

DVGW 2017: Untersuchung zur Aufklärung von neuartigen Schäden durch Lochkorrosion an Trinkwasser-Installationen aus Kupfer. Management Summary. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches.

Euroopan patenttivarasto 1989: Patentti myönnetty, Method of cleaning metal tubes, in particular copper-tubes. <https://patents.google.com/patent/EP0335999A1/en>

Euroopan patenttivarasto 2003: Patentti myönnetty, Method for producing copper tubes. <https://patents.google.com/patent/EP0976845B1/en?q=EP0976845B1>

Euroopan patenttivarasto 2005a: Patentti myönnetty, Method for producing a protective layer on the inner surface of a copper pipe and use of drawing agents. <https://patents.google.com/patent/DE19533410B4/en?q=copper+pipe+inner+surface&assignee=KME+Germany&oq=copper+pipe+inner+surface+KME+Germany&page=2>

Euroopan patenttivarasto 2005b: Patentti myönnetty, Process for producing a protective coating on the interior surface of a copper pipe. <https://patents.google.com/patent/EP0955394B1/en?q=copper+pipe+inner+surface&assignee=KME+Germany&oq=copper+pipe+inner+surface+KME+Germany&page=2>

FCG Oy ja VVY 2009: Kiinteistöjen metallisten käyttövesiputkistojen ja -laitteistojen kestävyys, tiivistelmäraportti. FCG Paneko Oy ja Vesi- ja viemärilaitosyhdistys.

Forsberg, M. 2009: Kiinteistöjen metallisten käyttövesiputkistojen ja -laitteistojen kestävyys. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Espoo.

Keinänen-Toivola et al. 2007: Talousveden laatu Suomessa vuosina 1984 – 2006. Keinänen-Toivola M., Ahonen M. ja Kaunisto T. Vesi-Instituutin julkaisu 2.

30.4.2026

Kekki et al. 2008: Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Kekki T., Kaunisto T., Keinänen-Toivola M., ja Luntamo M. Vesi-Instituutin julkaisuja 3.

Outokumpu Copper 1996: Kupariputket.

Patentti- ja rekisterihallitus 1984: Patentin kuulutusjulkaisu, Menetelmä kuparisten asennusputkien korroosiokestävyyden parantamiseksi.

Patentti- ja rekisterihallitus 2001: Patentti myönnetty, Menetelmä kupariputken valmistamiseksi. <https://patents.google.com/patent/FI107543B/en?q=FI107543B>

Patentti- ja rekisterihallitus 2005: Patentti myönnetty, Menetelmä putken sisäpinnan käsittelemiseksi. <https://patents.google.com/patent/FI115120B/en?q=FI115120B>

Patentti- ja rekisterihallitus 2009: Patentti myönnetty, Menetelmä kupari- tai kupariseosputken sisäpinnan käsittelemiseksi. <https://patents.google.com/patent/FI120359B/en?q=FI120359B>

SFS-EN 1057 + A1: Kupari ja kupariseokset. Saumattomat pyöreät kupariputket LVI-käyttöön.

STM 461/2000: Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000461> kumottu asetuksella STM 1352/2015.

STM 1352/2015: Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laadusta ja valvonnasta sekä rakennusten vesilaitteistojen riskienhallinnasta. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajan-tasa/2015/20151352>

Suomen Kaupunkiliitto 1989. Vesijohtoverkon saostumat, julkaisu 489.

Suomen Kuntaliitto 1993: Vesijohtoveden laatu ja korroosio. Suomen Kuntaliitto, Vesi- ja viemärilaitosyhdistys.

Talotekniikkainfo. Vesi- ja viemärilaitteistot -opas, päivitetty 11.6.2021. Kappale 7 ja Vesilaitteiston mitoitusohjeet (D1/2007 Liite 2) ja luku 4 Vesilaitteiston käyttöönoton mittaukset. Talotekninen teollisuus ja kauppa ry. Saatavilla: <https://talotekniikkainfo.fi/vesi-ja-viemarilaitteistot-opas>

Valvira 2024: Talousvesisäännösten soveltamisohje. OSA II Enimmäisarvojen perusteet. Dnro V/1532/2024. <https://lvv.fi/documents/242146171/253413088/Talousvesis%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6sten+SO+OSA+II+2024.pdf/d4c96ea6-aae9-df20-684d-5e0e873f23de?t=1767007637316>

Vesi-Instituutti 2008: Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Vesi-Instituutin julkaisuja 3: <https://www.samk.fi/wp-content/uploads/2016/06/Vesijohtomateriaalien-vauriot-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6ik%C3%A4-Suomessa.pdf>

VTT Expert Services Oy 2017: Raportit nro VTT-S-06790-17 ja VTT-S-05343-17 (luottamuksellinen).

VVY 2020: Kiinteistöjen kupariputkien korroosio, Kirjallisuusselvitys. Kaunisto, T. Latva M, Pelto-Huikko A, Salonen N. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 62.

30.4.2026

https://www.vvy.fi/site/assets/files/5264/kiinteistojen_kupariputkien_korroosio_kirjallisuusselvitys.pdf

VVY 2022: Hyvät toimintatavat kiinteistöjen kuparisten vesijohtojen syöpymisen ehkäisemiseksi. Peltö-Huikko, A. & Latva, M. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 76. https://www.vvy.fi/site/assets/files/6757/hyvien_toimintatapojen_kuvaus_03_2022_final.pdf

Ympäristöministeriö 2007: Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Ympäristöministeriön asetus kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoista. Määräykset ja ohjeet 2007. (voima-saolo päättyi 2018)

Ympäristöministeriö 2017: YM asetus 1047/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171047>

Ympäristöministeriö 2019a: YM asetus 2/19 rakennusten vesilaitteistoihin tarkoitettujen kupariputkien tyyppihyväksynnästä. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Yma-kupariputket---tyyppihyvaak-syntaasetus-2019-7A5BB9B1_F41D_4C2B_A2ED_C7E39F2EAD1-145445.pdf/f452e948-dc2c-c86f-d77f-99920a80fcd5/Yma-kupariputket---tyyppihyvak-syntaasetus-2019-7A5BB9B1_F41D_4C2B_A2ED_C7E39F2EAD1-145445.pdf?t=1603259974260

Ympäristöministeriö 2019b: Perustelumuietio, Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesilaitteistoihin tarkoitettujen kupariputkien olennaisista teknisistä vaatimuksista.

YM 455/2019: Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesilaitteistoihin tarkoitettujen kupariputkien olennaisista teknisistä vaatimuksista.