

KEKKI TOMI K., KAUNISTO TUIJA,  
KEINÄNEN-TOIVOLA MINNA M., LUNTAMO MARJA

# VESIJOHTOMATERIAALIEN VAURIOT JA KÄYTTÖIKÄ SUOMESSA



VESI-INSTITUUTIN JULKAISUJA 3

# VESIJOHTOMATERIAALIEN VAURIOT JA KÄYTTÖIKÄ SUOMESSA

Kekki Tomi K., Kaunisto Tuija,  
Keinänen-Toivola Minna M., Luntamo Marja

2008

Vesi-Instituutin julkaisuja 3

1. painos

Julkaisija: Vesi-Instituutti/Prizztech Oy, [www.vesi-instituutti.fi](http://www.vesi-instituutti.fi)

Painopaikka: Karhukopio, Turku

Kansikuvat: Marko Mikkola ja Tomi Kekki, Prizztech Oy

ISBN 978-952-99840-4-6 (nid.)

ISBN 978-952-99840-5-3 (PDF)

ISSN 1796-7376



# Tiivistelmä

## Yleistä

Talousveden jakelu- ja kiinteistöverkostoissa esiintyvien vaurioiden syyt voidaan jakaa seuraavasti:

- asennus- ja käyttöönottovirheet
- teknisen käyttöiän saavuttaminen
- vahingot
- tuotevirheet

Yksittäinen vaurio voi olla useamman syyn aiheuttama. Suurin osa vaurioista johtuu kuitenkin virheellisestä asennuksesta ja käyttöönotosta. Teknisen käyttöiän saavuttaminen ja äkilliset vahingot (esim. naulaaminen putken läpi) aiheuttavat seuraavaksi merkittävimmän osan vaurioista. Virheelliset tuotteet aiheuttavat myös jonkin verran vaurioita. Asennus- ja käyttöönottovirheet lisäävät vauriomekanismien lukumäärää ja ilmiöiden voimakkuutta. Alla esitetyt ilmiöt vaikuttavat merkittävästi materiaalien todelliseen käyttöikään verkostoissa.

Talovesiverkostoissa materiaalien vaurioitumiseen vaikuttavat lähinnä seuraavat ilmiöt:

- sähkökemiallinen korroosio (metallit) ja aineiden liukeneminen (sementtipohjaiset materiaalit, muovit ja kumit)
- vanheneminen (muovit ja kumit)
- mikrobitoiminta biofilmeissä
- mekaaniset kuormitukset

Sähkökemiallinen korroosio, vanheneminen, aineiden liukeneminen, mikrobitoiminta biofilmeissä ja mekaaniset kuormitukset (mm. liikenne ja routa) vaikuttavat jakeluverkostojen putkissa sekä ulko- että sisäpinnoilla. Kiinteistöissä vesijohtojen ulkopinnan vaurioituminen on vähäisempää kuin jakeluverkostoissa. Vaurioita aiheuttavien ilmiöiden voimakkuuteen vaikuttavat talousveden laatu, maaperän ominaisuudet sekä käyttöä edeltävät toimenpiteet. Vesijohtoverkostojen vaurioista ja vuodoista aiheutuu vuosittain merkittäviä kansantaloudellisia kustannuksia ja muita haittoja.

Tässä työssä selvitettiin suomalaisissa vedenjakelu- ja kiinteistövesijohdoissa käytettyjen materiaalien vauriomekanismeja, vaurioiden ilmenemistä ja niiden syitä. Kiinteistöjen osalta käsitellään sekä kylmä- että lämminvesijohdot. Selvityksessä arvioitiin myös putkistojen käyttöikää sekä käyttöiän pidentämisen keinoja Suomessa. Mukana on lyhyt kooste vesijohtojen kunnan ja käyttöiän arviointimenetelmistä Suomessa.

Selvityksessä tarkasteltiin talousveden laadun vaikutuksia materiaaleihin. Materiaalien ja veden välisen vuorovaikutuksen aiheuttamia muutoksia veden laadussa ja liukenevien aineiden terveydellisiä näkökohtia on tarkasteltu edellisessä selvityksessä ”Talousveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa” (Kekki ym. 2007). Veden laatu on merkittävä tekijä sekä jakelu- että kiinteistövesijohdoissa.

Työ suoritettiin pääosin olemassa olevan kirjallisuuden perusteella. Selvityksessä hyödynnettiin Vesi-Instituutin vesilaitoksille tekemää kyselyä vuonna 2005 tapahtuneista verkostovaurioista ja niiden syistä. Lisäksi elokuussa 2007 järjestetyssä workshopissa pohdittiin keinoja pidentää vesijohtomateriaalien käyttöikää. Selvityksessä hyödynnettiin laajasti kotimaisia ja ulkomaisia tieteellisiä artikkeleita, raportteja ja kirjallisuutta. Tiedon saatavuus ja tieteellinen taso eri materiaalien vuorovaikutusilmiöistä vaihtelee, ja tämä seikka tulee ottaa huomioon myös tutkimuksen tuloksia tulkittaessa.

## Vedenjakeluverkostojen vauriot

Muovit ja erityisesti polyeteenit ovat käytetyin putkimateriaali jakeluverkostoissa. Myös valurautaisia ja teräksisiä putkia, liittimiä ja venttiilejä käytetään paljon. Muovien vauriomekanismit voidaan jakaa vanhenemiseen ja sitkeään murtumiseen. Muovien vanheneminen on niille osittain ominainen ilmiö, johon ympäristömuuttajat vaikuttavat. Vanheneminen aiheuttaa hauraita murtumia mekaanisesti rasitetuissa rakenteissa. Sitkeä murtuminen on seurausta muovin mekaanisen rasituksen suunnittelulärajan ylittämisestä. Metallisten materiaalien vauriomekanismit ovat erilaisia syöpymismekanismia, joihin ympäristöolosuhteet vaikuttavat voimakkaasti verkoston sisä- ja ulkopuolella. Pinnoitteet ovat ratkaisevia teräksisten ja valurautaisten putkistojen käyttöäälle. Myös sementtipohjaisissa materiaaleissa vauriomekanismit ovat erilaisia syöpymisilmiöitä. Mekaaniset rasitukset ja korroosiotyyppi ratkaisevat vaurion etenemisnopeuden sementtipohjaisissa materiaaleissa. Ulkopuolisella korroosiolla on todennäköisesti suurempi vaikutus jakeluverkostomateriaalien käyttöikään kuin sisäpuolisella korroosiolla.

Vuotovahingoissa kustannuksia aiheuttavat:

- vuotovesi
- uusien laitteiden/korjausosien hankinta
- työ- ja kaivukustannukset
- mahdolliset muille rakenteille aiheutuneet vahingot tai vedenjakelun keskeytyskorvaukset

Lisäksi mahdolliset vedenjakelun keskeytykset tuottavat muitakin kuin taloudellisia haittoja.

Vesi-Instituutin materiaalikyselyyn osallistuneista suuret laitokset ilmoittivat laskuttamattoman tai vuotoveden määrän, ja keskimääräinen vuotovesiprosentti oli 16,0 % ja vaihteluväli 8,7 % - 25,7 %. Keskisuurissa laitoksissa noin puolet kyselyyn osallistuneista ilmoitti vuotovesiprosentit, joiden keskiarvo oli 17,9 % ja vaihteluväli 9,4 % - 27,7 %. Kaikkien laitosten verkostojen vuodoista n. 90 % tapahtui jakelu- ja tonttivesijohdoissa. Keskisuurissa laitoksissa tonttivesijohtojen osuus oli suurempi kuin muiden johtotyyppien. Pääjohtojen osuus vuodoista oli keskimäärin alle kymmenesosa, mutta pienissä laitoksissa vuotojen esiintyvyys eri johtotyypeissä on suunnilleen sama.

Vesi-Instituutin materiaalikyselyssä selvästi eniten vauriotapauksia ilmoitettiin olleen harmaasta valuraudasta valmistetuissa putkissa. Seuraavaksi eniten vaurioita oli putkimateriaalien luokassa ”muut” (lähinnä teräs), pallografiittiraudassa ja PEH:ssä. Vaurioita materiaalin putkipituutta kohti oli eniten materiaaliluokassa ”muut” (lähinnä teräs), harmaassa valuraudassa sekä PEL:ssä. Putken iän vaikutusta vaurioiden määrään eri materiaaleilla ei ole tässä otettu huomioon.

Putken asennusvirhe ja ulkoinen mekaaninen vaurio arvioitiin yleisimmiksi vaurioiden syiksi PEH- ja PVC-putkissa. Polyeteenimateriaaleista varsinkin PEM:ssä asennusvirheiden osuus oli suuri. Asennusvirheitä ei arvioitu kovin yleisiksi syiksi valurautamateriaaleissa ja asbestisementissä. Ulkoinen mekaaninen rasitus näytti aiheuttavan suurimman osan vaurioista pallografiittiraudassa ja asbestisementissä. Harmaassa valuraudassa eniten vaurioita aiheuttaviksi tekijöiksi arvioitiin ulkoinen mekaaninen rasitus, jälkikäteen virheelliseksi todettu työtapo sekä teknisen käyttöiän loppuminen.

Materiaalivirheitä arvioitiin esiintyneen asbestisementti-, PEL-, PEH-, harmaa valurauta- ja pallografiittirautaputkissa. Jäätyminen todettiin monella materiaalilla vauriosyyksi. Teknisen käyttöiän loppuminen oli tyypillisesti merkittävä syy pitkään käytössä olleiden materiaalien eli valurautojen ryhmässä. Toisaalta PVC:ssä ja muoveissa, joiden laatua ei ollut eritelty, se

oli myös huomattava. Polyeteenipohjaisissa putkissa materiaalin teknisen käyttöiän loppuminen oli harvinaisempi syy. Jälkikäteen virheelliseksi todettu materiaalivalinta arvioitiin vaurioiden syyksi kaikilla materiaaleilla. Jälkikäteen virheelliseksi todettujen työtapojen aiheuttamia vaurioita oli eniten harmaassa valuraudassa ja jonkin verran myös muissa materiaaleissa lukuun ottamatta PEL- ja PEM-materiaaleja.

Muoviputkissa liitoksilla on suurempi merkitys vaurioiden esiintyvyyteen kuin valurautaputkissa. Muoviputkissa on vähän vaurioita putkipituutta kohti. Myös pallografiittirautaputkissa on vähän vaurioita putkipituutta kohti, mutta vaurio tapahtuu useimmiten itse putkessa eikä liitoksessa. Venttiilien vaurioita oli vähän suhteessa putkissa ja liitoksissa tapahtuneiden vaurioiden määrään.

Edellä esitetyn perusteella voidaan arvioida, että materiaalivirheiden osuus jakeluverkostojen vuotovaurioiden aiheuttajana on vähäinen Suomessa. Putkien asennuksen ja maansiirtotyön laatu ovat selvästi merkittävien vaurioiden aiheuttaja materiaalista riippumatta. Kaikkien jakeluverkoston osien käyttöiän kannalta merkittävä vaikutus on myös veden laadulla ja materiaalivalinnalla.

## **Kiinteistövesijohtojen vauriot**

Nykyisin kiinteistöjen kylmä- ja lämminvesijohdoiksi asennetaan lähinnä kupari-, PEX- ja komposiittiputkia, mutta myös ruostumatonta terästä. Messinki on yleinen liitin- ja venttiilimateriaali. Myös muoveja käytetään liittimissä. Aiemmin yleisesti kylmävesijohdoissa käytettyä sinkittyä terästä ei enää ole asennettu 1970-luvun jälkeen, mutta sitä on vielä käytössä jonkin verran. Metallisten kiinteistövesijohtojen materiaalien vauriomekanismit ovat erilaisia syöpymismekanismia. Muovien vauriomekanismit ovat sitkeä murtuminen ja vanheneminen. Kupari on kansainvälisesti tutkituin vesijohtomateriaali, mikä on myös nähtävissä tämän selvityksen materiaalikohtaisesta aineistosta.

Kiinteistöjen vesijohdoissa tapahtuvat vauriot aiheuttavat usein suuria vahinkoja, sillä vuotojen seurauksena vesi voi pilata muita rakenteita. Kylmä- ja lämminvesijohdoissa esiintyneet vuodot aiheuttivat 35 % vuotovahinkojen lukumäärästä vuonna 2002. Kylmä- ja lämminvesijohdojen osuus vuotovahingoista on pienentynyt merkittävästi vuodesta 1988, mutta kaikkien vuotovahinkojen lukumäärä on lisääntynyt samalla 30 %. Osa vuotovahinkojen kasvusta on selitettävissä sillä, että 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuissa taloissa putkistot alkavat olla uusimistarpeessa. Kyseinen ajanjakso oli voimakkaan rakentamisen aikaa. Vuonna 2002 suurin osa omakoti- ja rivitalojen vuotovahingoista aiheutui kylmävesijohdoista. Vuotovahinkojen yhteenlaskettu korvaussumma nousi vuodesta 1988 vuoteen 2006 mennessä kaksinkertaiseksi (rahan arvon muuttuminen huomioitu). Voidaan arvioida, että kylmä- ja lämminvesijohdojen vaurioiden vuoksi maksettiin vuonna 2006 vähintään 33 miljoonaa euroa korvauksia. Summa ei kuitenkaan vastaa kaikkia kustannuksia, sillä kaikkia vauriotapauksia ei vakuutusehtojen mukaisesti korvata ja kansantaloudellisesti summa nousee helposti 35-45 miljoonaan euroon.

Kiinteistöjen vesijohtojen ja niiden laitteiden vauriot aiheuttavat kustannuksia seuraavista:

- kostuneiden rakenteiden kuivaus
- kostuneiden rakenteiden korjaus (tuote- ja työkulut)
- putkien ja muiden laitteiden korjaus (tuote- ja työkulut)
- irtaimiston vaurioituminen

Lisäksi on otettava huomioon asunnon haltijalle koituvat ongelmat ja haitat, vaikka kustannuksia ei tulisikaan. Merkittäviä kustannuksia muodostuu kuitenkin usein tarpeellisesta väliaikaisesta asumisesta muualla.

Jakeluverkostojen kaltaisia materiaalikohtaisia vaurioilastoja ei ole kiinteistöverkostoista. Suomessa tilanne kiinteistöjen putkimateriaalien osalta on siinä mielessä ongelmallinen, että muovimateriaalien käyttäytymisestä todellisissa käyttöolosuhteissa ei ole tehty riittävästi tutkimusta. Viimeisten parinkymmenen vuoden aikana kiinteistömateriaaleissa tapahtuneet muutokset tulisi niiden kansantaloudellisen merkityksen vuoksi ottaa huomioon myös tutkimuspanostuksissa. Kiinteistöjen vesijohtomateriaalien käyttöikäen vaikuttavat ennen kaikkea asennuksen ja käyttöönoton laatu, veden tekninen laatu, materiaalivalinta sekä kunnossapito.

## **Vesijohtoverkostojen tulevaisuus**

Materiaalien käyttöiän pidentämiseksi tulisi löytää tehokkaimmat keinot ja työkalut.

Käyttöikäen voidaan vaikuttaa panostamalla seuraavien tekijöiden optimointiin ja kehittämiseen:

- lainsäädäntö ja määräykset
- veden tekninen laatu
- suunnittelu
- materiaalivalinta
- asennuksen ja käyttöönoton laatu
- käyttö ja kunnossapito

Tutkimustiedon perusteella määriteltiin vedenjakelu- ja kiinteistöverkostojen metallisille ja sementtipohjaisille vesijohtomateriaaleille teknisesti hyvä veden laatu. Tällaisen veden pH-arvo on 7,5-8,0, bikarbonaatin määrä >60 mg/l, kalsiumin >20 mg/l, vapaan hiilidioksidin <15 mg/l, kloridin <100 mg/l ja sulfaatin määrä <100 mg/l. Veden laadun vaikutusta muoviputkien kestävyys ei ole tutkittu kyseisten veden teknisten parametrien osalta. Vesi-Instituutti on selvittänyt veden laatua näiden muuttujien osalta Suomessa. Suomessa erityisesti pohjavedet ovat luonnostaan happamia ja pehmeitä ja ilman käsittelyä veden laatu voi poiketa merkittävästi materiaalien kannalta hyvästä laadusta. Veden tekninen laatu Suomessa on keskimäärin hyvä ja selvät veden teknisen laadun ongelmat löytyvät pääosin hyvin pienistä vesilaitoksista. Lisätutkimuksia tarvitaan siitä, miten ja millaisilla teknisillä ratkaisuilla materiaaleille teknisesti hyvä veden laatu voidaan saavuttaa taloudellisesti erilaisissa vesilaitoksissa.

Selvityksen lopussa esitetään toimenpide-ehdotukset materiaalien käyttöiän pidentämiseksi Suomessa. Sekä jakelu- että kiinteistövesijohtojen vaurioista suuri osa johtuu asennuksen ja käyttöönoton virheistä ja niiden määrä pitäisi saada vähenemään. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon paikallinen veden laatu ja ottaa käyttöön ratkaisut vuotovahaitavuuden parantamiseksi.

## **Executive Summary**

### **Failures and service life of materials in drinking water mains and household plumbing in Finland**

#### **General**

The failures in the drinking water mains and household plumbing are due to:

- faults in installation and procedures before use
- achieved service life
- accidental damages
- faulty products

A single failure can be a result of various reasons. Most damages are due to faults in installation and procedures before use. Achievement of technical lifetime and accidental damages also cause substantial number of the failures. Faulty products cause some failures. Faults in installation and procedures before use increase the number and rate of the deterioration phenomena. The phenomena described below have a strong impact on the real lifetime of materials in networks.

There are several phenomena in the drinking water mains and household plumbing that can affect the deterioration of materials:

- electrochemical corrosion (metals) and dissolving of substances (cement-based materials)
- aging (plastics and rubbers)
- microbial activity in biofilms
- mechanical loading

Electrochemical corrosion, aging, dissolving of substances, microbial activity in biofilms and mechanical loading (traffic and frost etc.) have an impact on drinking water mains both on the inside and outside. Deterioration of the outer surface of household plumbing is irrelevant compared to the mains. Factors influencing the significance of these phenomena are the quality of drinking water, characteristics of the soil and the measures taken before use. Damage and leaks in the drinking water pipes cause substantial losses every year to the national economy.

Research was carried out to examine the mechanisms of deterioration, its implications and causes in materials used in Finnish drinking water mains and household plumbing. This study includes both cold and hot water plumbing. The service life of materials was also examined and the measures to increase it. A short listing of methods used in estimating the remaining service life is included.

This study focuses on the effects of drinking water quality on materials. The changes in the hygienic quality of water due to the interaction of materials and water have been studied in the previous work "Materials in contact with drinking water in Finland" (Kekki et al 2007). The quality of the water has a substantial influence on materials used in the mains and household plumbing.

This work was primarily based on literature. A survey on materials in the drinking water mains and the damage incurred was carried out in 2005 by the Finnish Institute of Drinking Water (FIDW) and these results are included. In addition, a workshop on the possible means



to increase the service life of materials was held in August 2007, where Finnish and foreign scientific literature and reports were cited. The availability of information and the level of scientific knowledge on the interaction of materials and drinking water vary according to the material used and this should also be considered when interpreting the results of this study.

## **Failures in drinking water mains**

Plastic materials and particularly polyethylenes are the most commonly used pipe materials in the drinking water mains. Additionally, pipes, fittings and valves made of cast iron and steel are used in substantial amounts. The mechanisms of deterioration in plastics can be classified as aging and ductile fracture. Aging of plastics is to some extent distinctive and is affected by environmental factors and phenomena. Because of aging, brittle fractures appear in plastic structures under mechanical loading. Ductile fracture is the result of exceeding the designed limit of mechanical loading. Deterioration mechanisms of metals are different kinds of corrosion mechanisms that environmental factors have a conclusive effect on, both the inner and outer surfaces of the networks. Coatings have a crucial effect on the service life of steel and cast iron in pipelines. The deterioration mechanisms of cementitious materials are also of a corrosive nature. The mechanical loading and type of corrosion are decisive with regard to the rate of deterioration in cementitious materials. Corrosion on the outer surface of the distribution network probably has a stronger impact on the service life than the corrosion inside the pipelines.

The costs due to leaks consist of:

- leaked water
- acquiring new equipment/repairing parts
- work hours and excavation
- possible damage to other infrastructure or compensation because of interrupted water service

Possible interruptions in supplying water can have other adverse effects as well as economic ones.

The large waterworks that participated in the survey by FIDW on materials and their damage reported the amounts of unbilled or leakage water. The average leakage rate was 16.0 %, and ranged between 8.7 % - 25.7 %. About half of the middle-sized waterworks reported their leakage rates and the average was 17.9 %, and the range 9.4 % - 27.7 %. The amount of leakage incidents in service lines in waterworks of all sizes was considerable.

The largest numbers of leakage incidents were reported for grey cast iron pipes. The next largest numbers were reported for the group “others” (mostly steel), ductile iron and HDPE. The leakage rate per pipe length was highest in the group “others”, grey cast iron and LDPE. The effect of the pipe’s age on the leakage rate was not taken into account.

Installation and mechanical damage from the outside were estimated as the most common causes of damage in HDPE and PVC pipes. In particular, medium density polyethylenes (MDPE) had a high rate of installation faults. Installation faults were not estimated as common causes of damage in cast iron and asbestos cement pipes. Mechanical loading outside of the pipeline seemed to be the main cause of damage in ductile iron and asbestos cement pipes. In grey cast iron the main causes of damage were estimated to be mechanical loading from the outside, faulty installation procedures discovered afterwards and the end of the technical lifetime.

It was estimated that defective materials had caused some damage in asbestos cement, LDPE, HDPE, grey cast iron and ductile iron pipes. Freezing was estimated as a reason for damage in a number of materials. The end of the technical lifetime was typically a substantial cause of damage in materials that had been in use for a long time, i.e. cast iron pipes. On the other hand, in PVC and plastics (undefined), it was also a significant cause of damage. In polyethylene pipes, the end of the lifetime was a less common cause of damage. Incorrect material selection was estimated as a cause of damage in every material. The highest number of cases of damage due to faults in installation procedures discovered afterwards was in grey cast iron, but there was also some in all other materials, apart from LDPE and MDPE.

The joints have a more substantial impact on the rate of damage in plastic pipes than in cast iron pipes. Plastic pipes have a small amount of damage per pipe length. Ductile iron pipes also have a small amount of damage per pipe length, but the damage usually occurs in the pipe rather than the joint. The amount of damage in valves was low compared to that in pipes and joints with all pipe materials.

Finally, it can be concluded that faulty material is a rare cause of damage in drinking water mains in Finland. The pipe installation and the quality of the excavation work are clearly the most substantial reasons for damage regardless of the material. The quality of drinking water and the selection of materials have a crucial effect on the service life of drinking water mains.

## **Failures in cold and hot water plumbing**

Nowadays, hot and cold water pipes installed in buildings are made of copper, PEX or composite, and also stainless steel. Brass is a common fitting and valve material. Plastics are also used in fittings. Galvanized steel was a common material in cold water pipes, has not been installed since the 1970s. Naturally, some are still in use. The deterioration mechanisms of metallic plumbing materials are mainly different kinds of corrosion. Deterioration mechanisms of plastics can be divided into ductile fracture and aging. Internationally, copper is the most studied drinking water material, which can also be seen in this work.

It is common that damage in plumbing in turn causes massive damage due to the leaking water and spoiling of other structures. Damage in cold and hot water pipes caused 35 % of plumbing leaks in 2002. Here plumbing leaks include damage to cold and hot water pipes, sewer and heating pipes, dishwashers, water heaters and washing machines. The proportion of cold and hot water pipes in plumbing leaks has decreased substantially from 1988, but at the same time the total number of plumbing leaks has increased by 30 %. The growth of incidents is partly explained by the fact that the plumbing of buildings built in the 1960s and 1970s is generally reaching the end of its service life. This period was an era of massive construction in Finland. In 2002 most cases of plumbing leaks in residential buildings (apartments and cottages excluded) occurred in cold water pipes. The value of plumbing leaks covered by insurance doubled from 1988 to 2006 (fixed value). It is estimated that at least 33 million Euros was paid out in compensation in 2006 as a result of plumbing leaks in cold and hot water pipes. This sum does not represent all the financial losses because not all incidents are compensated owing to different insurance terms. The overall effect on the national economy could easily amount to 35-45 million Euros.

The costs of leaks consist of:

- drying of water-damaged structures
- repairing of water-damaged structures (parts and work costs)
- repairing of pipes and other devices (parts and work costs)

- damaged personal property

In addition, problems and inconvenience to the tenant/members of the household other than financial must be taken into account. Temporary living elsewhere is a usual additional cost.

Data on damage and damaged materials in plumbing systems similar to that for drinking water mains is not available. It is problematic that not enough research has been done on cold and hot water plastic materials in Finland in normal circumstances. The changes in plumbing materials during the last two decades should be considered in national research.

Most importantly, the service life of cold and hot water pipes is affected by the technical quality of the water, quality of the installation and other procedures that take place before use, material selection and maintenance.

### **The future of drinking water mains and plumbing**

Measures and tools to prolong the service life of materials need to be found.

The service life can be prolonged by the optimization and development of:

- legislation and regulation
- technical quality of water
- planning
- material selection
- quality of installation and procedures before use
- use and maintenance

The definition of the good technical quality of water for metallic and cementitious materials in drinking water mains and plumbing was based on research. In this the water pH is 7.5-8.0, the bicarbonate content >60 mg/l, calcium >20 mg/l, free carbon dioxide <15 mg/l, chloride <100 mg/l and sulphate <100 mg/l. The effect of these water quality parameters on the service life of plastic pipe materials has not been studied. FIDW has studied the quality of drinking water and these variables in Finland. The groundwater in Finland is usually acidic and soft and without treatment, the quality of the water may differ substantially from the best quality for materials. The average technical quality of water in Finland is good and the clear cases of technical quality problems are mainly in very small waterworks. Further research is needed on how and with which technical solutions a good technical quality of water for materials can be achieved economically in different kinds of waterworks.

Measures to prolong the service life of materials in Finland are proposed at the end of this study. Most of the damage in drinking water mains and plumbing occur due to mistakes in installation and procedures before use, and this should be decreased. In planning, the quality of the local water should be taken into account and solutions must be introduced to improve leak detection.

## Lyhenteet

<b>CPVC</b>	jälkikloorattu polyvinyylidikloridi (chlorinated polyvinylchloride)
<b>EPS</b>	solun ulkopuolinen polysakkaridi/eksopolysakkaridi (extracellular polymeric substance/exopolysaccharide)
<b>HPC</b>	heterotrofisten bakteerien pesäkelukumäärä (heterotrophic plate count)
<b>HRT</b>	viipymä (hydraulic retention time)
<b>ILI</b>	vuotavuusindeksi (infrastructure leakage index)
<b>IWA</b>	International Water Association
<b>LI/LSI</b>	Langelier-indeksi (Langelier-index/Langelier Saturation Index)
<b>MIC</b>	mikrobiologinen korroosio (microbiologically influenced corrosion)
<b>MRS</b>	pienin vaadittu lujuus (minimum required strength)
<b>NOM</b>	luonnollinen orgaaninen aines (natural organic matter)
<b>OIT</b>	oxidation induction time
<b>PB</b>	polybuteeni (polybutylene)
<b>PE</b>	polyeteeni (polyethylene)
<b>PEX</b>	ristisilloitettu polyeteeni (crosslinked polyethylene)
<b>POM</b>	polyasetaali (polyacetal, polyoxymethylene)
<b>PP</b>	polypropeeni (polypropylene)
<b>PVC</b>	polyvinyylidikloridi (polyvinylchloride)
<b>RCP</b>	nopea särön kasvu (rapid crack propagation)
<b>SCC</b>	jännityskorroosiomurtuminen (stress corrosion cracking)
<b>SCG</b>	hidas särön kasvu (slow crack growth)
<b>SDR</b>	putken standardimittojen suhdeluku (standard dimension ratio)
<b>SEM</b>	standardiekstrapolointimenetelmä (standard extrapolation method)
<b>SG</b>	pallografiittirauta (spheroidal graphite cast iron/ductile iron)
<b>SRB</b>	sulfaattia pelkistävät bakteerit (sulfate reducing bacteria)



# Sisällysluettelo

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 SELVITYKSEN TOTEUTUS.....</b>	<b>17</b>
<b>3 VAURIOITUMISEEN JA KÄYTTÖIKÄÄN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Veden laatu .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Mikrobitoiminta biofilmeissä.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Sisäpuolinen mekaaninen kuormitus .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 Maaperän ja veden vaikutus.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 Ulkopuolinen mekaaninen kuormitus.....</b>	<b>30</b>
<b>3.6 Käyttöä edeltävät olosuhteet.....</b>	<b>30</b>
<b>4 VERKOSTOMATERIAALIEN VAURIOITUMINEN .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Jakeluverkostot .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 Kiinteistöverkostot.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 Metallit.....</b>	<b>37</b>
4.3.1 Harmaa valurauta.....	41
4.3.2 Pallografiittirauta.....	47
4.3.3 Teräs .....	50
4.3.4 Sinkitty teräs.....	53
4.3.5 Ruostumaton teräs .....	57
4.3.6 Kupari .....	62
4.3.7 Messinki .....	74
4.3.8 Muut metallit .....	78
<b>4.4 Sementtipohjaiset materiaalit.....</b>	<b>78</b>
4.4.1 Asbestisementti.....	85
4.4.2 Teräsbetoni .....	85
4.4.3 Sementtilaasti .....	86
<b>4.5 Muovit.....</b>	<b>88</b>
4.5.1 Polyeteenit .....	96
4.5.2 Polyvinyylidikloridi.....	101
4.5.3 Muut muovit.....	102
<b>4.6 Pinnoitteet ja tiivisteet .....</b>	<b>104</b>
4.6.1 Kumit.....	106
4.6.2 Muovit .....	108
4.6.3 Muut materiaalit .....	109
<b>5 KUNNON JA KÄYTTÖIÄN ARVIOINTI.....</b>	<b>110</b>
<b>5.1 Jakeluverkostot .....</b>	<b>110</b>
<b>5.2 Kiinteistöverkostot.....</b>	<b>116</b>
<b>6 KÄYTTÖIKÄ JA KUSTANNUKSET .....</b>	<b>119</b>
<b>6.1 Jakeluverkostot .....</b>	<b>124</b>
6.1.1 Materiaalien vauriotutkimukset .....	124
6.1.2 Materiaalivalinta.....	135
6.1.3 Vuotovaurioiden kustannukset .....	136
<b>6.2 Kiinteistöverkostot.....</b>	<b>138</b>
6.2.1 Materiaalien vauriotutkimukset .....	138
6.2.2 Materiaalivalinta.....	144
6.2.3 Vuotovaurioiden kustannukset .....	144

<b>6.3 Materiaalien käyttöiän pidentäminen Suomessa .....</b>	<b>147</b>
6.3.1 Muutokset verkostojen materiaaleissa ja säädöksissä .....	148
6.3.2 Käyttöiän pidentämisen keinot .....	151
6.3.3 Suunnittelu ja materiaalinvalinta .....	153
6.3.4 Lainsäädännön ja määräysten kehittäminen .....	155
6.3.5 Asennuksen ja käyttöönoton laadun parantaminen .....	158
6.3.6 Käyttö ja kunnossapito .....	160
6.3.7 Veden teknisen laadun parantaminen .....	162
6.3.8 Tutkimustarpeita.....	167
<b>7 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET .....</b>	<b>171</b>
<b>LÄHDELUETTELO.....</b>	<b>175</b>
<b>LIITTEET.....</b>	<b>184</b>

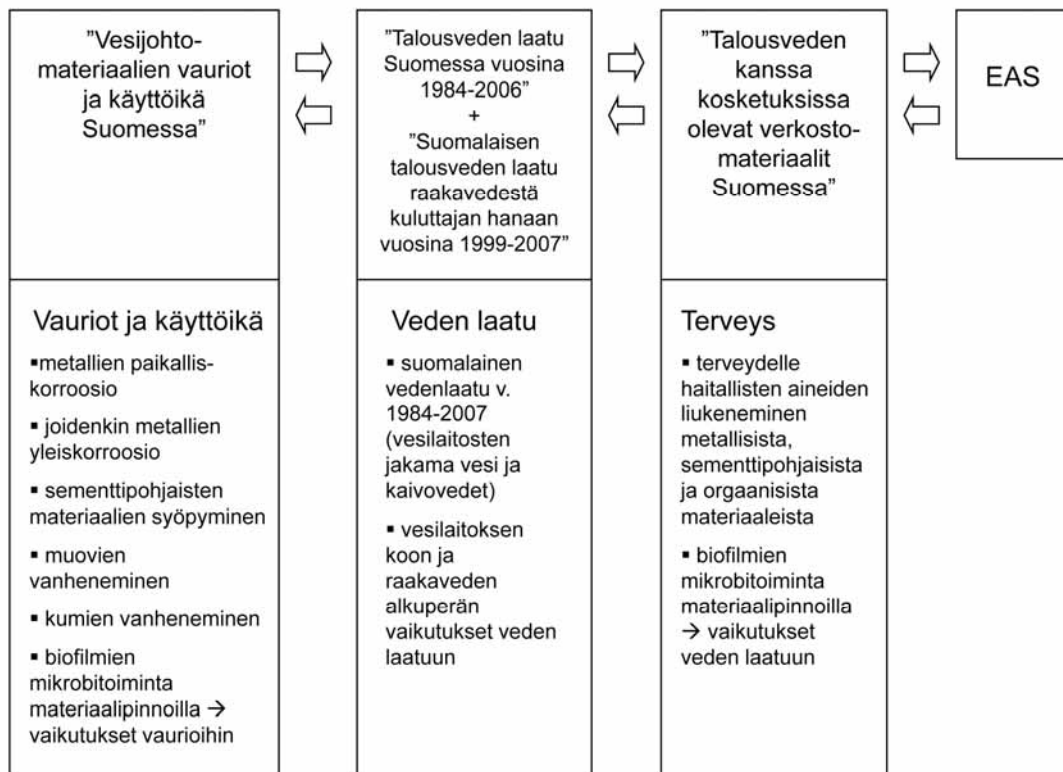
# 1 Johdanto

Talousveden jakeluverkostot ja kiinteistöjen lämmin- ja kylmävesijohdot Suomessa vanhenevat ja saneeraustarve lisääntyy. Monet tekijät vaikuttavat materiaalien vaurioitumiseen ja sen seurauksena niiden käyttöikä verkostossa. Kiinteistöjen vuotovahinkojen aiheuttamat kustannukset ovat kasvaneet merkittävästi sekä tapausten että korvausten määrällä mitattuna ja selvästi suurin osa vahingoista on sattunut kylmän ja lämpimän veden putkistoissa. Jakeluverkostojen vauriot aiheuttavat mm. vuotovesimäärän ja korjauskustannusten kasvua, mutta vaurioista voi aiheutua myös terveystriskejä.

Jakelu- ja kiinteistöverkostoissa on huomattava määrä erilaisia tuotteita, joihin sitoutunut pääoma on miljardeja euroja. Vaurioista joutuvat maksamaan verkostojen omistajat ja verkostoja hyödyntävät tahot sekä viime kädessä myös yksittäiset käyttäjät. Kansantaloudellisesti on järkevää huolehtia mahdollisimman tehokkaasti verkostojen kunnosta. Tärkeää olisikin löytää keinot materiaalien mahdollisimman pitkän käyttöiän varmistamiseksi. Tämän selvityksen tarkoituksena oli kerätä tietoa Suomessa käytettyjen jakelu- ja kiinteistöverkostojen materiaalien vauriomuodoista, -mekanismeista ja vaurioiden syistä sekä pohtia kustannuksia ja käyttöiän pidentämisen keinoja.

Suunnitteilla olevan eurooppalaisen tuotehyväksyntäjärjestelmän, EAS:n vuoksi Suomessa kuten muuallakin Euroopassa tarvitaan tietoa materiaalien ja veden vuorovaikutusten seurauksista veden hygieeniselle laadulle. Vuorovaikutusten arvioinnissa tarvitaan kattavasti tietoa suomalaisesta veden laadusta ja sen vaihtelusta. Tätä tietoa sisältävät Vesi-Instituutin veden laatua käsittelevät selvitykset ”Talouden veden laatu Suomessa vuosina 1984-2006” ja ”Suomalaisen talousveden laatu raakavedestä kuluttajan hanaan vuosina 1999-2007” (kuva 1). Aiemmin valmistuneen ”Talouden veden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa” -selvityksen perusteella saatiin tietoa Suomessa käytetyistä materiaaleista jakelu- ja kiinteistöverkostoissa, niiden perusominaisuuksista sekä todetuista ja mahdollisista vaikutuksista vedenlaatuun. Materiaalien vaurioita tai käyttöikäasioita ei selvityksessä käsitelty. Kuitenkin materiaalien vaurioituminen liittyy usein veden hygieenisen laadun heikkenemiseen, joten vauriomekanismien toimintaperiaatteet sekä olosuhteet, joissa ne syntyvät, on tunnettava. Veden hygieeninen laatu liittyy myös elinikäiseen altistumiseen materiaaleista liukeneville aineille. EAS tai muu mahdollinen hyväksyntämenettely tulee näyttämään kuinka nämä asiat otetaan huomioon vesijohtotuotteiden testauksessa, mutta kotimaista tietoa tarvitaan pyrittäessä vaikuttamaan tulevaan hyväksyntäjärjestelmään. Perustiedot materiaalien vauriomekanismeista palvelevat myös tätä työtä.





**Kuva 1.** Vesi-Instituutin selvitysten suhde toisiinsa ja tulevaan EAS-hyväksyntäjärjestelmään.

Selvitystä ovat rahoittaneet Finanssialan Keskusliitto ja LVI-Talotekniikkateollisuus ry. Työtä tuki myös Suomen LVI-liiton apurahasäätiö Säätiö L.V.Y. Osa selvityksestä on rahoitettu Prizztech Oy:öön kuuluvan Vesi-Instituutin perusrahoituksella. Vuosina 2006 ja 2007 Vesi-Instituutin rahoittajina olivat Oras Oy, Outokumpu Pori Tube Oy, Rauman Seudun Kehitys Oy ja Rauman kaupunki, Satakuntaliitto (EU:n aluekehitysrahaa, EAKR) ja Uponor Suomi Oy. Selvitystyötä valvovaan ohjausryhmään kuuluivat tutkimuspäällikkö Terho Harju Outokumpu Pori Tube Oy:stä, tutkimusjohtaja Jyri Järvenkylä Uponor Suomi Oy:stä, projektipäällikkö Pekka Nilsson Oras Oy:stä, vahingontorjuntapäällikkö Seppo Pekurinen Finanssialan Keskusliitosta, asiantuntija Jorma Railio LVI-talotekniikkateollisuus ry:stä, kehityspäällikkö Jari Virta Suomen kiinteistöliitosta ja ympäristöministeriöstä rakennusneuvos Matti J. Virtanen, joka toimi ohjausryhmän puheenjohtajana.

## 2 Selvityksen toteutus

Selvityksessä on käytetty lähteinä ulkomaista ja kotimaista kirjallisuutta, tieteellisiä artikkeleita sekä hyödynnetty Vesi-Instituutin aiemmin suorittamaa kyselyä vesilaitoksille ja aiheeseen liittyneen workshopin tuloksia. Lisäksi työn aikana on oltu yhteydessä useihin alan yrityksiin ja vesilaitoksiin.

Edellisen selvityksen ”Talousveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa” yhteydessä tehtiin kysely vesilaitoksille mm. materiaalien käytöstä, määristä ja vaurioista. Vesilaitokset arvioivat vaurioiden määriä vuonna 2005, vuotokohtia verkostoissa, vaurioiden syitä sekä kertoivat käyttökokemuksistaan eri materiaaleista. Kyselyyn osallistui yhteensä 50 laitosta kesällä 2006. Tulosten käsittelyyn näistä otettiin mukaan 45 vesilaitosta. Kysely kattoi n. 56 % Suomen vesilaitosten toimittamasta veden määrästä ja 50 % laitosten toiminta-alueen väestöstä. Vastanneiden laitosten verkostojen yhteispituus oli 14980 km, joka on Suomen Ympäristökeskuksen tilastoihin vuodelta 2002 verrattuna n. 18 % kaikkien vesilaitosten verkostojen pituudesta (Lapinlahti ja Raassina 2002).

Kyselyyn vastasivat lähinnä suuret ja keskisuuret laitokset ja pienten laitosten vastausten määrä oli vähäinen. Kyselyyn vastanneista laitoksista 64,6 % käytti raakavesilähteenään pintavettä, 21,6 % pohjavettä ja 13,6 % tekopohjavettä. Vastanneilla laitoksilla oli yhteensä n. 235700 liittyjää, joista keskimäärin 79 % oli pientaloja, 11 % kerrostaloja ja 10 % teollisuutta. Laitokset jaettiin tässä selvityksessä vuodessa toimitetun veden tilavuuden mukaan kolmeen luokkaan: yli 5 milj. m<sup>3</sup>; 0,5-5 milj. m<sup>3</sup> ja alle 0,5 milj. m<sup>3</sup>. Nämä luokat ovat likipitään samat kuin laitoksen asiakkaiden määrän perusteella tehty jako: yli 70000, 5000-70000 ja alle 5000 asukasta. Kyselyn tuloksista saatu vauriotieto käsitellään kokonaisuudessaan tässä teoksessa.

Elokuussa 2007 järjestettiin talousvesiverkostojen materiaalien vaurioista workshop, jossa oli keskustelemassa joukko alan asiantuntijoita sekä yritysten ja valtionhallinnon edustajia. Päivän tuloksena saatuja ideoita ja ehdotuksia verkostomateriaalien vaurioiden ja vuotovahinkojen vähentämiseksi on hyödynnetty tässä selvityksessä.

Selvitys pyrkii kattamaan päämateriaalit, joita käytetään vedenjakeluverkostoissa ja kiinteistöverkostoissa mukaan lukien lämminvesijohdot. Tässä selvityksessä tonttivesijohdot määritellään osaksi vedenjakeluverkostoa niissä käytettyjen materiaalien vuoksi. Vesimittarit taas lasketaan kiinteistön verkostoon kuuluviksi. Vesilaitoksella tarkoitetaan tässä talousvettä tuottavaa ja/tai jakavaa vesihuoltolaitosta. Veden teknisellä laadulla tarkoitetaan yhteisesti niiden vedenlaatuominaisuuksien pitoisuuksia, joiden liian suuri tai pieni pitoisuus vedessä voi vaikuttaa materiaalien syöpymiseen tai ylipäänsä verkostojen laitteiden toimivuuteen tai tehokkuuteen.

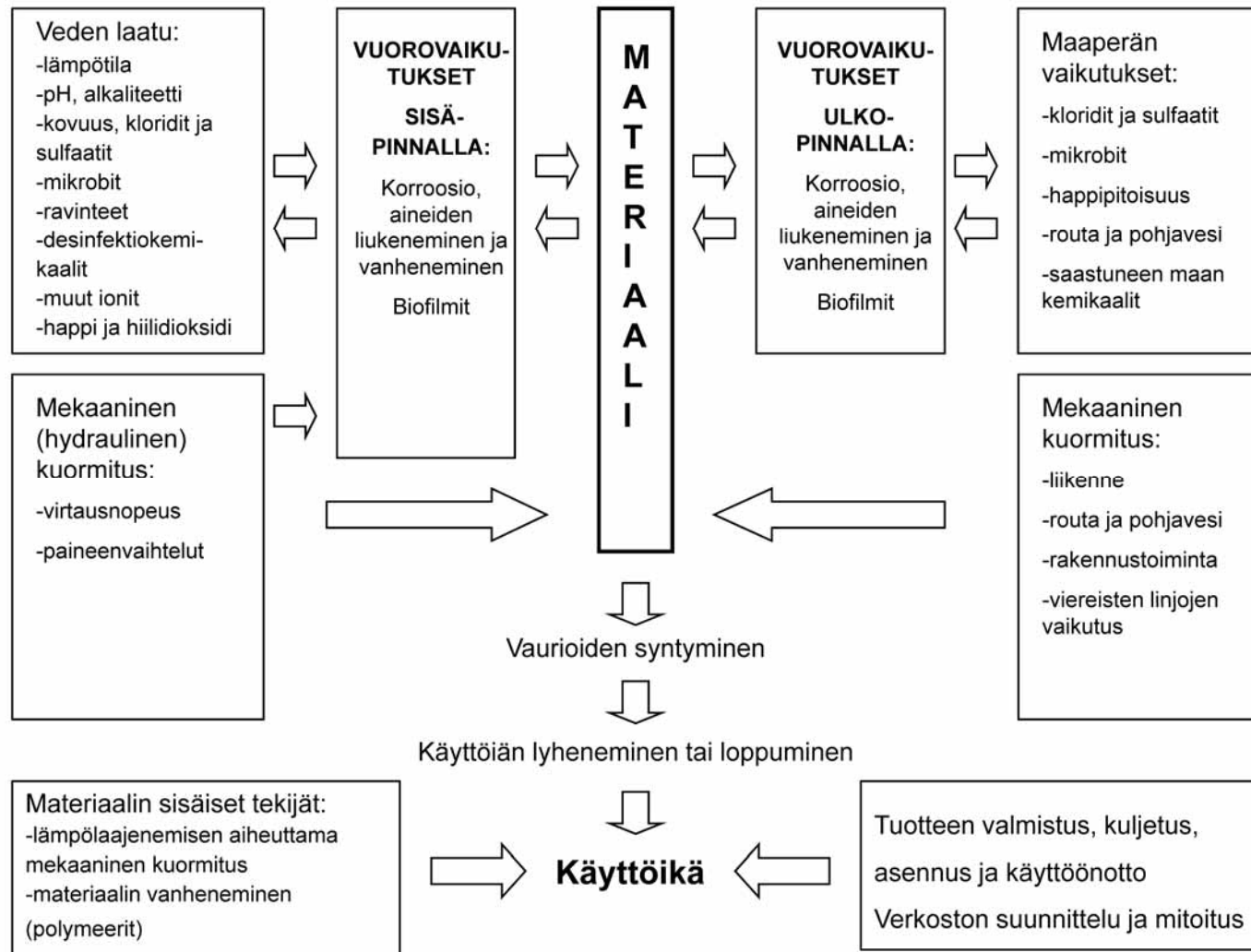
### 3 Vaurioitumiseen ja käyttöikään vaikuttavat tekijät

Vauriolla tarkoitetaan materiaalin käytettävyyden merkittävää laskua, esim. vuotoa. Vauriomekanismi puolestaan kuvaa mekanismia/mekanismeja, jonka seurauksena vaurio syntyy, esim. murtuminen. Käyttöikä on materiaalin käytössäoloaika asentamisesta käytöstä poistamiseen asti. Maaperään kaivettujen jakeluverkostomateriaalien käyttöikään vaikuttavia tekijöitä on useita. Verkostossa virtaavan veden vaikutukset voidaan jakaa veden laadun eli koostumuksen ja mekaanisen eli hydraulisen kuormituksen aiheuttamiin tekijöihin. Veden laatu vaikuttaa materiaaleihin syöpyminen, aineiden liukenemisen ja saostumisen sekä biofilmeissä tapahtuvan mikrobitoiminnan vuorovaikutusten kautta (kuva 2). Verkoston hydrauliset olosuhteet puolestaan vaikuttavat materiaaleihin sekä edellä mainittujen ilmiöiden kautta että materiaalia mekaanisesti kuormittaen esimerkiksi kuluttamalla ja paineiskujen kautta. Maaperän olosuhteet ja ulkopuolelta päin vaikuttava staattinen tai dynaaminen mekaaninen kuormitus vaikuttavat aina jakeluverkostojen materiaaleihin. Sijoitettaessa putkilinjoja järven pohjalle tai sillan alle ilmasto-olosuhteisiin ulkopuoliset tekijät poikkeavat normaalista maaperärasituksesta.

Materiaalien käyttöikään vaikuttavat erittäin merkittävästi tuotteen koostumus, valmistus, kuljetus, asennus, käyttöönotto, verkoston suunnittelu ja mitoitus sekä valvonta asennuksen ja käyttöönoton yhteydessä. Asennuksen ja käyttöönoton toimenpiteiden laatu vaikuttavat eniten vaurioiden määrään ja käyttöikään.

Kuvaa 2 voidaan soveltaa myös kiinteistöverkostojen materiaaleille, sillä muuttujat verkostossa ovat samat kuin jakeluverkostossa lukuun ottamatta ulkopuolista mekaanista kuormitusta ja maaperän vaikutusta. Kiinteistölinjojen ja laitteiden ulkopinnoilla tapahtuva syöpyminen ja mikrobitoiminta on vähäistä, mutta materiaalien vaurioitumista voi tapahtua esim. kosteuden tiivistymisen tai kemikaalien pinnalle joutumisen vuoksi. Mitä useampi rasitustekijä ylittää materiaalille suunnitellun kuormituksen, sitä enemmän vaikutukset summautuvat ja suunniteltu käyttöikä lyhenee.

Selvityksessä ”Talousveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa” on käsitelty yleisesti veden ja materiaalin välisen vuorovaikutuksen perusteet. Tämä vuorovaikutus tapahtuu korroosion, aineiden liukenemisen ja biofilmeissä tapahtuvan mikrobitoiminnan kautta. Lisäksi näillä ilmiöillä on hyvin merkittävä vaikutus toisiinsa (Kekki ym. 2007). Seuraavissa kappaleissa jatketaan materiaaleihin vaikuttavien tekijöiden tarkastelua.



**Kuva 2.** Jakeluverkostoissa materiaalien käyttöikään vaikuttavat tekijät.

### 3.1 Veden laatu

Veden laadun on oltava kuluttajan terveydelle haitatonta ja esteettisesti korkealaatuista. Veden laadun tiedetään vaikuttavan metallisten, sementtipohjaisten ja muovisten materiaalien kestävytyteen syöpymisen ja aineiden liukenemisen seurauksena. Tässä selvityksessä veden teknisellä laadulla kuvataan veden syövyttävyyteen vaikuttavien vedenlaatuparametrien yhteisvaikutusta erityisesti metalli- ja sementtipohjaisiin materiaaleihin. Veden tekniseen laatuun vaikuttaviin tekijöihin luetaan yleensä pH, alkaliteetti, kovuus, vapaan hiilidioksidin, raudan, mangaanin, kloridien ja sulfaattien määrä. Veden laatu vaikuttaa myös materiaalin pinnalla tapahtuvaan mikrobitoimintaan ja päinvastoin, jolloin veden sisältämät orgaaniset ja epäorgaaniset ravinteet ja mikrobit voivat olla merkittävä tekijä myös materiaalien käyttöiän kannalta. Mikrobien toiminta ei ole riski pelkästään veden hygieeniselle laadulle. Muovimateriaaleista tiedetään liukenevan lisäaineita, ja veden lämpötila ja klooripitoisuus vaikuttavat liukenemiseen, mutta veden laadun vaikutuksista liukenemisen nopeuteen ei ole muuta tietoa. Lämpötilalla on suuri vaikutus kaikkien materiaalien vaurioitumisilmiöissä ja se luetaan tässä vedenlaatu-tekijäksi.

Veden laadun muuttuminen voi vaikuttaa monella tavalla talousvesiverkostojen olosuhteisiin. Veden laadun muuttuminen esim. raakavesilähteen vaihtuessa tai eri lähteistä tulevien vesien sekoitussuhteiden muuttuessa voi aiheuttaa esim. vanhojen saostumien irtoamista ja liukenemistä. Arviot veden laadun vaikutuksista materiaalien liukenemiseen ja mikrobitoimintaan perustuvat useimmiten tiettyyn veden laatuun, eikä niitä välttämättä voida soveltaa muun laatuissa vesissä.

#### Veden syövyttävyyys

Veden syövyttävyyys on merkittävä veden teknistä laatua kuvaava tekijä. Yleensä pH:n, alkaliteetin ja kovuuden pieneneminen sekä kloridien, sulfaattien ja vapaan hiilidioksidin määrän kasvaminen lisäävät veden syövyttävyyttä. Lisäksi näiden muuttujien vaihtelu lisää veden kemiallista epätasapainoa ja yleensä lisää syöpymistä. Veden laadun yksittäisten muuttujien vaikutukset metallisiin ja sementtipohjaisiin materiaaleihin on käsitelty kyseisten materiaaliryhmien ja materiaalien kohdalla.

#### *Langelierin indeksi*

Veden syövyttävyyttä on arvioitu Langelier-indeksillä (LI / LSI eli Langelier index / Langelier Saturation index). Positiivinen Langelier-indeksi kertoo, että kalsiumkarbonaatti pysyy kiinteässä muodossa putkien pinnoilla. Negatiivinen indeksi taas kertoo, että  $\text{CaCO}_3$ :a ei ole kyllästynyt. Alikyllästyneet vedet pyrkivät siirtämään kiinteää  $\text{CaCO}_3$ :a ja paljastamaan metallin pintaa. Indeksien yksinkertainen laskentamuoto on:

$$LI = \text{pH} - \text{p}K_2 + \text{p}K_{\text{so}} + \log[\text{Ca}^{2+}] + \log[\text{Alkaliteetti}]$$
 ( $K_{\text{so}}$  =  $\text{CaCO}_3$ :n liukoisuusvakio,  $K_2$  = happovakio bikarbonaatin liukenemiselle,  $[\ ]$  = konsentraatio)

Langelier-indeksiä ei suositella käytettäväksi veden aiheuttaman korroosion arvioimiseen (Pisigan ja Singley 1985). Langelier-indeksiä käytetään valurauta- ja teräsputkien korroosion seurannassa, mutta se ei ole toimiva keino sen kontrolloimiseen (McNeill ja Edwards 2001). Langelier-indeksi sopii kuitenkin hyvin veden laadun muuttumisen arviointiin ja erityisesti alueille, joissa kalsiumkarbonaatilla on taipumus saostua haitallisessa määrin verkostoon.

### *Larsonin indeksi*

Veden syövyttävyyttä metalliputkissa voidaan arvioida myös Larsonin indeksillä, jossa yli 0,5 arvoja pidetään syövyttävinä:

$$LR = ([Cl^-] + [SO_4^{2-}]) / [HCO_3^-],$$

[ ] = milliekvivalenteja per litra

Kuparin osalta Larsonin ja Langelierin indeksejä ei tulisi käyttää (Edwards ym. 1996). Veden vaikutuksia raudan yleiseen korroosioon on arvioitu myös modifioidulla Larsonin indeksillä (Imran ym. 2005a):

$$LRM = (Cl^- + SO_4^{2-} + Na^+)^{1/2} / Alkaliteetti * (T/25)HRT$$

(HRT = hydraulic retention time, viipymä päivissä)

### *Muita arviointimenetelmiä*

Valurauta- ja teräsputkien syöpymistä voidaan arvioida myös liukenevan raudan aiheuttaman veden värin muutoksien perusteella. Alkaliteetin on havaittu vähentävän värin lisääntymistä vedessä ja toisaalta kloridit, sulfaatit, natrium, liuennut happi, lämpötila ja vähentynyt virtaus lisäävät väriä (Imran ym. 2005b).

Veden laatu voi vaikuttaa myös sementtipohjaisiin materiaaleihin. Asbestisementtiputkia varten voidaan laskea veden aggressiivisuusindeksi:

$$AI = pH + \log(AH)$$

(A = alkaliteetti ja H = kovuus (molemmat mg/l CaCO<sub>3</sub>:na))

Yleensä vesiä, joissa indeksin arvo on 12 tai enemmän, ei pidetä aggressiivisina, alle 10 hyvin aggressiivisina ja 10-12 melko aggressiivisina.

Myös veden kokonaissuolapitoisuutta sähkönjohtokyvyllä mitattuna on käytetty joskus veden syövyttävyyden arviointiin. Rajaksi on tällöin esitetty arvoa 35 mS/m. Tätä ei kuitenkaan voida käyttää tarkkana rajana, sillä johtokykyä lisäävät myös veden kalsium- ja bikarbonaatti-ionit, jotka ovat korroosiota hidastavia ioneja (Ala-Peijari 1980).

### **Lämpötila**

Lämpötila vaikuttaa liukenemiseen, syöpymiseen ja mikrobiologiseen aktiivisuuteen sekä jakelu- että kiinteistöverkostojen pinnoilla. Yleensä lämpötilan nouseminen lisää kemiallisten ja mikrobiologisten ilmiöiden määrää ja nopeutta. Nämä ilmiöt ovat kuitenkin pitkäaikaisia muutoksia, joiden vaikutukset materiaaleihin yleensä ääritapauksia lukuun ottamatta tulevat esiin vasta vuosien kuluessa. Esimerkiksi ero 5 tai 25 °C-asteisen veden aggressiivisuudessa voi olla hyvin suuri. Samoin lämpötilan vaihtelu satunnaisesti tai syklisesti voi vaikuttaa hyvin paljon (McNeill ja Edwards 2002). Suuret lämpötilan vaihtelut Suomessa voivat vaikuttaa materiaalien mekaaniseen kestävyYTEEN. Lämpötilaerot ovat suuria jakeluverkostossa ja vielä kiinteistön puolelle siirryttäessä, ja normaalisti veden lämpötila alkaa nousta sisätiloissa. Lämminvesijohdoissa jakeluverkostosta tulevasta vedestä johtuvia lämpötilamuutoksia tapahtuu vain varaajaan tai lämmönvaihtimeen asti.

Suomessa pintavedestä valmistetun talousveden lämpötila vaihtelee merkittävästi vuodenaikojen mukaan. Lämpötilaerot ovat samaa suuruusluokkaa myös verkostoissa. Esimerkiksi Tampereella käytetyn pintaveden lämpötilavaihtelu vuonna 2001 oli 1,0-19,6 °C, kun pohjaveden vaihtelu oli samaan aikaan 5,4-5,8 °C (Jokinen 2003). Samassa tutkimuksessa vuotojen määrä koko verkostossa laski selvästi keväisin ja nousi syksyisin. Putkilinjoissa, joihin syötettiin pohjavettä, oli keskimäärin vähemmän vuotoja vuodenajasta riippumatta kuin linjoissa, joihin syötettiin pintavettä. Tutkimuksen mukaan pintavedestä valmistetun talousveden lämpötilalla on merkittävä vaikutus putkistovuotojen syntymistiheyteen niin, että matalampi lämpötila aiheuttaa vuotojen selvää lisääntymistä. Selityksenä ajatellaan olevan routiminen ja maan painuminen sekä liikenteen rasitukset. Lisäksi mainitaan lämpötilan muutosten vaikutukset veden laadussa ja materiaaleissa.

### 3.2 Mikrobitoiminta biofilmeissä

Talousvesiverkostoissa on mikrobitoimintaa sekä vedessä että materiaalien sisäpinnoilla, mutta myös jakeluverkostojen ulkopinnoilla. Mikrobitien toiminta keskittyy käytännössä pinnoilla kasvaviin biofilmeihin. Talousvesiverkostoista on tavattu bakteereja, leviä, sieniä ja viruksia, joista materiaalien vaurioitumisen kannalta selvästi oleellisin ryhmä on bakteerit, mutta myös sienten on todettu voivan vaurioittaa materiaaleja. Mikrobitoimintaa, joka aiheuttaa materiaalien vaurioitumista kutsutaan mikrobiologiseksi korroosioksi (MIC, microbiologically influenced corrosion). Mikrobiologisen toiminnan seurauksena tapahtuvat ilmiöt materiaalissa ovat samoja kuin sähkökemiallisessa korroosiossakin, mutta mikrobit voivat vaikuttaa esiintyviin reaktioihin sekä nopeuteen.

Mikrobit voivat aiheuttaa materiaalien vaurioitumista usealla eri mekanismilla erikseen tai yhtä aikaa. Ne voivat käyttää materiaaleista liukenevia aineita aineenvaihdunnassaan joko energianlähteenä (esim. rautabakteerit) tai välttämättöminä lisäaineina. Eniten on tutkittu metallien mikrobiologista korroosiota, mutta myös kumi- ja muovimateriaaleissa on todettu vastaavan tyyppisiä ilmiöitä. Mikrobiologisen korroosion ilmiöt eri materiaaleilla ovat vielä pitkälti selvittämättä. Mikrobitien toiminnan vaikutuksia metalleihin on käsitelty tarkemmin kohdassa Metallit.

Mikrobiologisen korroosion vaikutukset voidaan jakaa (Dexter 2003):

- Orgaanisten ja epäorgaanisten happojen tuotanto aineenvaihdunnan tuloksena
- Sulfidien tuotanto anaerobisissa (ei-hapellisissa) olosuhteissa
- Uusien hapetus-pelkistysreaktioiden syntyminen
- Happi- tai kemiallisten konsentraatiokohtien muodostuminen

Kaikkia mekanismeja ei ole tavattu vesiverkostoissa, mutta maaperään sijoitetuissa rakenteissa niitä on todettu. Kaikkien mikrobitien toiminnasta ja vaikutuksista eri materiaaleihin tarvitaan lisää tutkimusta. Materiaaleihin vaikuttavia mikrobiryhmiä ja niiden tyyppillisiä piirteitä on esitetty taulukossa 1. Taulukon tulkinnassa on huomioitava, että taulukkoon on koottu tietoa niistä asioista, joita on tutkittu ja tutkimustarpeet tällä osa-alueella ovat mittavat.

#### *Orgaanisten ja epäorgaanisten happojen aiheuttama vaurioituminen*

Jotkut mikrobit tuottavat vahvoja epäorgaanisia happoja aineenvaihduntansa väli- tai lopputuotteina. Tyypillisiä happoja ovat rikkihappo, typpihappo ja hiilihappo. Rikkihappoa

tuottaa erityisesti *Thiobacillus*-bakteerisuku, mutta tyypillisesti myös *Thiothrix* ja *Beggiatoa* -suvut. Typpihappoa ja -hapoketta tuottavat ammoniumia ja nitriittiä hapettavat bakteerit, mutta myös heterotrofiset nitrifioivat bakteerit voivat tuottaa näitä yhdisteitä. (Sand 1996)

Suurin osa mikrobeista tuottaa orgaanisia happoja, joita on hyvin paljon erilaisia. Orgaanisten happojen vaikutukset ovat joka tapauksessa samankaltaisia kuin epäorgaanistenkin eli ne liuottavat materiaaleja. Orgaaniset hapot voivat myös kompleksoida yhdisteitä ja vaikuttaa materiaaleihin. Orgaanisten happojen aiheuttama vaikutus materiaalissa voi olla hankalampi todeta kuin epäorgaanisten happojen vaikutus (Sand 1996). Sienten aiheuttama korroosio voi liittyä niiden tuottamiin orgaanisiin happoihin enemmän kuin muihin mekanismeihin (Beech ym. 2000).

#### *Anaerobisen sulfidien tuotannon aiheuttama vaurioituminen*

Biofilmin alle voi muodostua anaerobisia alueita pintakerroksen happea käyttävien mikrobien kuluttaessa kaiken hapen kyseisestä kohdasta. Anaerobisissa olosuhteissa voi tapahtua sulfaattia pelkistävien bakteerien (SRB, sulphate reducing bacteria) toiminnan seurauksena sulfaattien pelkistymistä rautasulfidiksi tai rikkivedyksi (Dexter 2003). Osa SRB-lajeista pystyy toimimaan myös hapellisissa olosuhteissa (Sand 1996).

#### *Uusien hapetus-pelkistysreaktioiden aiheuttama vaurioituminen*

Biofilmeihin kerääntyy tyypillisesti metalli-ioneja, jotka voivat vaikuttaa syntyviin reaktioihin. Esim. mangaanin hapetus-pelkistysreaktiot voivat vaikuttaa sekä epäorgaanisiin että biologisiin prosesseihin. (Dexter 2003)

#### *Happi- tai kemiallisten konsentraatiokohtien aiheuttama vaurioituminen*

Konsentraatiokohtien vaikutus perustuu mikrobitoiminnan aiheuttamaan kemiallisen tilanteen muutokseen biofilmissä vesi-metallirajapinnassa. Mikrobitoiminta voi konsentroida korroosiossa olennaisia happi- tai vetyioneja, mutta myös esim. kloridien konsentroituminen on mahdollista. Tyypillinen tilanne on, että hapellisen veden alueet ovat katodisia ja vähähappisen anodisia. Biofilmin alla mikrobitoiminta kuluttaa helposti happea ja vahvistaa tilannetta. Metallista tulee anodi ja se syöpyy pistemäisesti tai kuoppamaisesti biofilmin alla. (Dexter 2003)

Rautaa ja mangaania hapettavat bakteerit voivat konsentroida klorideja ja tuottaa syövyttävää ferrikloridia (Borenstein 1994). Orgaanisten ja epäorgaanisten happojen anionit reagoivat kationien kuten kalsiumin kanssa muodostaen suolaa ja vettä. Jos suolat jäävät hygroskooppisten aineiden sisälle, voivat ne aiheuttaa jäätymis- ja halkeamisilmiöiden voimistumista (Sand 1996). Veden yleiset ominaisuudet eivät välttämättä ole kovin ratkaisevia tässä mikrobiologisen korroosion lajissa (Dexter 2003).

#### *Muita vaurioitumismekanismeja*

Mikrobit tuottavat aineenvaihdunnassaan eksoentsyymejä eli solun ulkopuolisia entsyymejä, jotka ovat katalyyttejä ja voivat nopeuttaa materiaalien vaurioitumisilmiöitä. (Sand 1996)



Myös mikrobiologisen toiminnan seurauksena syntyvät orgaaniset liuottimet voivat aiheuttaa vaurioita. Anaerobisissa eli hapettomissa olosuhteissa voi bakteerien aineenvaihdunnan seurauksena fermentaatiossa muodostua orgaanisia liuottimia, kuten etanolia, propanolia ja butanolia, jotka voivat aiheuttaa esim. materiaalin turpoamista. (Sand 1996)

## **Verkoston sisäpinta**

Koska kasvuympäristö ratkaisee mikrobien kasvun ja valikoitumisen, on sisäpinnan virtaavassa vedessä ja ulkopinnan maaperässä tapahtuvia mikrobiologisia ilmiöitä tarkasteltava erikseen. Mikrobit vaikuttavat toiminnallaan veden hygieeniseen laatuun ja materiaaleihin, mutta toisaalta veden laatu vaikuttaa voimakkaasti mikrobien kasvuun. Mikrobien kasvamiseen verkostopinnoilla vaikuttavat lämpötila, hapen määrä, materiaalin ominaisuudet, ravinteet, desinfektioaineet, paine, virtausolot ja niiden vaihtelu. Biofilmien alle muodostuu helposti hapettomia kohtia tai mikrobitoiminnan seurauksena esim. kloridin pitoisuus kasvaa. Critchley ym. (2003) mukaan joissakin tilanteissa biofilmin on kuitenkin mahdollista toimia suojana esim. mekaanista kulumista vastaan.

Käytännössä mikään mikrobilaji ei yksinään ole mikrobiologisen korroosion aiheuttaja vaan vauriot ovat seurausta monen lajin tai bakteeriryhmän yhteistoiminnasta. Tunnetuimmat materiaalien vaurioitumiseen vaikuttavat mikrobiryhmät vesijohtoverkostoissa ovat sulfaattia pelkistävät bakteerit sekä rauta- ja mangaanibakteerit, jotka saavat energiaa hapettamalla kyseisiä metalleja. SRB-bakteerien toimintaa on käsitelty tarkemmin kohdassa Metallit.

### *Hydrauliset olosuhteet*

Korkea vedenpaine ja sen vaihtelu eivät vähennä mikrobiologisten ongelmien riskiä verkostoissa. Paineenvaihteluiden aikana mikrobit selviävät verkostossa kasvattamalla biofilmiä, joka suojaa niitä myös muita ympäristömuuttujia vastaan. Virtausolosuhteiden on todettu vaikuttavan monien bakteerilajien tarttumiseen materiaalin pintaan. Esim. *Pseudomonas* spp. näyttäisi tarttuvan herkästi ruostumattomaan teräkseen suuresta virtausnopeudesta huolimatta (Percival ym. 1998b). Bakteerien erittämän EPS:n (solun ulkopuolinen polysakkaridi) määrä ruostumattoman teräksen pinnalla oli toisessa tutkimuksessa suurempi virtausnopeuden kasvaessa. Usein käsitys on, että biofilmit voidaan huuhdella suuremmalla virtauksella pois, mutta tämän ja monen muun tutkimuksen mukaan biofilmi itse asiassa viskoosina ”materiaalina” muuttuu kompaktimmaksi ja stabiilimmaksi eli bakteerit sopeutuvat vallitsevaan tilanteeseen (Percival ym. 1999). Irtonaiset sakat irtoavat voimakkaan virtauksen seurauksena, mutta vain väliaikaisesti, sillä mikrobien saadessa jatkuvasti kasvuun tarvittavia ravinteita, kasvu jatkuu ja biofilmin rakenne muuttuu rasiitusta kestäväksi. Virtausnopeuden kasvu aiheuttaa siis vesiympäristössä biofilmien kasvua ravinteiden kulkeutuessa paremmin biofilmin sisälle sekä mikrobien sopeutumisen seurauksena (Percival ym. 2000). Veden virtauksen pysähtyminen useiden tuntien ajaksi esim. yön aikana vaikuttaa selvästi bakteerien määrää lisäävästi sekä kupari- että polyeteeniputkissa (Lehtola ym. 2007).

### *Materiaalin pinnan ominaisuudet*

Materiaalien ominaisuudet vaikuttavat ratkaisevasti mikrobien tarttumis- ja kasvukykyyn niiden pinnalla. Näitä ominaisuuksia ovat pinnan sileyys, veden imeytyminen sekä adheesio-ominaisuudet ja ne vaikuttavat ns. pioneerilajien tarttumistehokkuuteen sekä voivat tuottaa

mikrobikasvua lisääviä aineita (Batte ym. 2003). Tutkimuksen mukaan yleinen mikrobikasvu näytti olevan samaa luokkaa niiden materiaalien pinnalla, joilla oli keskenään vastaava huokoisuus ja pinnan tasaisuus (Niquette ym. 2000). Toisessa tutkimuksessa havaittiin, että epätasaisille mattapintaisille AISI 304- ja 316-tyyppisten ruostumattomien terästen pinnoille kerääntyi suurempi solumäärä, hiilihydraattien määrä ja kuivapainomassa kuin sileämmille pinnoille. Elävien bakteerien määrä pieneni merkittävästi 12 kuukauden jälkeen kokeen aloituksesta. Tämä viittaa kirjoittajien mielestä siihen, että pinnan tasaisuudella olisi merkitystä elävien solujen määrään vain biofilmin muodostumisen alkuvaiheessa (Percival ym. 1998a). Toisaalta koska näin samankaltaisten materiaalien pinnanlaatuerot vaikuttavat biofilmin koostumukseen ja toimintaan, on oletettavaa, että täysin eri materiaalien välillä on merkittävämpiä eroja. Lisäksi ruostumaton teräs on inertimpi kuin moni muu käytössä oleva materiaali.

### *Ravinteiden merkitys*

Yleiseen mikrobikasvuun vaikuttavat voimakkaasti veden sisältämät ravinteet, joista mm. Suomen ja Japanin verkostojen kannalta tärkeimpänä pidetään fosforia, koska se rajoittaa kasvua. Kasvun rajoittajana se on aine, jonka pienikin lisäys vaikuttaa suoraan mikrobien kasvuun toisin kuin ravinteet, jotka eivät ole kasvua rajoittavia (Sathasivan ym. 1997; Lehtola ym. 2002b). On myös viitteitä siitä, että Norjan ja Latvian vedet olisivat fosforirajoitteisia (Charnock ja Kjonno 2000; Juhna 2002). Muissa maissa, mm. Yhdysvalloissa tärkein kasvua rajoittava tekijä on yleensä hiili (LeChevallier ym. 1991). Hiilen määrä vedessä saattaa myös liittyä mikrobiologisen korroosion todennäköisyyteen ja ilmenemiseen mikrobikasvun kannalta hiilirajoitteisissa vesissä. Suomessa ja muissa maissa, joissa fosforipitoisuus rajoittaa mikrobien kasvua, voidaan fosforin pitoisuuden arvioida vaikuttavan myös mikrobiologiseen korroosioon, mutta tutkimustietoa asiasta ei ole.

Joidenkin kumien on todettu muissa kuin vesiympäristöissä vaurioituvan bakteerien nopeuttamien hajoamisreaktioiden kautta, minkä seurauksena bakteerit käyttävät liukenevia hajoamistuotteita hyväksi (Gu 2003). Tutkimustietoa muovien mikrobiologisesta hajoamisesta ei ole, mutta mikrobien tiedetään käyttävän passiivisesti hyväkseen muoveista veteen liukenevia aineita kuten fosforiyhdisteitä (Lehtola ym. 2002a). Mikrobien tiedetään voivan aiheuttaa vaurioita metallien lisäksi myös orgaanisissa pinnoitteissa. Mikrobiologiseen korroosioon (MIC) voidaan lukea mikrobien aiheuttamat vauriot sekä metalleissa, sementtipohjaisissa materiaaleissa, muoveissa että kumeissa. Tietoa mikrobiologisen toiminnan vaikutuksista materiaalien kestävyteen lyhyellä tai pitkällä aikavälillä ei ole riittävästi.

### **Verkoston ulkopinta**

Maaperässä elää hyvin suuri määrä erilaisia mikrobeja, joiden kirjo on keskimäärin huomattavasti suurempi kuin verkostojen sisällä. Ulkopintojen mikrobiologisen korroosion aiheuttavien mikrobiryhmien tai -lajien on kuitenkin usein todettu olevan samoja kuin verkostojen sisällä tapahtuvassa mikrobiologisessa korroosiossa. Myös ulkopinnoilla elävät mikrobit muodostavat biofilmiä ja kasvuun vaikuttavat samat tekijät kuin verkoston sisälläkin lukuun ottamatta putkessa virtaavaa vettä, joka on ratkaiseva ympäristötekijä mikrobeille. Tyypillisin esimerkki maaperässä tapahtuvasta mikrobiologisesta korroosioista on sulfaattia pelkistävien bakteerien toiminta valurauta- ja teräsputkien pinnassa. Sulfaattipitoisissa maaperissä mikrobiologisen korroosion riski on suurempi.

**Taulukko 1.** Mikrobiologista korroosiota aiheuttavia mikrobiryhmiä, todettuja tyypillisiä olosuhteita ja vaikutustapoja. Nykytiedon perusteella tärkeimpinä ryhminä materiaalien vaurioitumisen kannalta voidaan pitää selvästi neljää ensimmäistä ryhmää. Taulukon mikrobiryhmät ja vaikutustavat ovat joiltain osin päällekkäisiä keskenään, sillä monien mikrobiryhmien sisällä on useita eri aineenvaihduntamekanismeja. Mikrobien vaikutusmekanismit riippuvat yleensä materiaalista, jossa kasvu tapahtuu. Taulukon sisältämät tiedot kertovat vain tutkitusta aineistosta eli mikäli asiasta ei ole mainintaa taulukossa, ei siitä ole tietoa. Esim. monia materiaaleja ei ole tutkittu mikrobiologisten vaikutusten osalta.

Mikrobiryhmä	Olosuhteet verkoston sisällä	Maaperän ominaisuudet	Materiaalit, joihin voivat vaikuttaa	Vaikutustapa*
Sulfaattia pelkistävät bakteerit (SRB), (esim. <i>Desulfovibrio</i> , <i>Desulfobacter</i> )	1. Hapettomuus/vähähappisuus lisää riskiä, jotkut lajit sietävät happea. 2. Havaittu matalissa lämpötiloissa. 3. Vähäinen virtaus lisää riskiä.	Riskiä lisää matala ominaisvastus, sulfaattipitoisuus, savi (etenkin merenpohjan), muta, epäsopiva täyttömateriaali.	teräs, ruostumaton teräs, valuraudat, kuparimetallit, sinkki, alumiini	Pelkistävät sulfaatin rikkivedyksi tai sulfidiksi.
Rikkiä ja sulfidia hapettavat bakteerit (esim. <i>Thiobacillus</i> )	1. Hapelliset olosuhteet. 2. Havaittu matalissa lämpötiloissa.	Ei tietoa	metallit (ei tarkempaa tietoa)	Alkuainerikki tai sulfidi hapettuu rikkihapoksi.
Rautaa tai mangaania hapettavat bakteerit (esim. <i>Gallionella</i> , <i>Leptothrix</i> )	1. Hapelliset olosuhteet. 2. Havaittu matalissa lämpötiloissa.	Ei tietoa	teräs, ruostumaton teräs, valuraudat	Ryhmässä monia mekanismeja. Rautanystyröiden muodostuminen tyypillistä. Hapettavat rautaa ja mangaania.
Rautaa hapettavat ja limaa tuottavat bakteerit (erityisesti <i>Sphaerotilus</i> , <i>Pseudomonas</i> )	1. Hapelliset olosuhteet.	Ei tietoa	teräs, ruostumaton teräs, valuraudat	Ryhmässä monia mekanismeja. Hapettavat rautaa ja tuottavat limaa, vaikuttavat vahvasti konsentraatiokennojen muodostumiseen. Lisäävät SRB:n todennäköisyyttä.

Nitraattia pelkistävät bakteerit	2. Havaittu matalissa lämpötiloissa.	Ei tietoa	metallit (ei tarkempaa tietoa)	Ei tietoa
Ammoniakkia ja nitriittiä hapettavat bakteerit	1. Hapelliset olosuhteet.	Ei tietoa	Ei tietoa	Ammoniakki ja nitriitti hapettuvat typpihapoksi ja typpihapokkeeksi
Happoja tuottavat sienet	1. Hapelliset olosuhteet.	Elävät maaperässä, ei tietoa vaikutuksista materiaaleihin.	Ei tietoa	Orgaanisia happoja muodostuu.
Aktinomykeetit (aktinobakteerit)	2. Havaittu matalissa lämpötiloissa.	Elävät maaperässä, ei tietoa vaikutuksista materiaaleihin.	luonnonkumi	Ei tietoa

---

\* vaikutustapa riippuu materiaalista

### 3.3 Sisäpuolinen mekaaninen kuormitus

Verkostoa kuormittavat sisältäpäin veden tuottama paine ja veden lämpötilamuutosten aiheuttamat tilavuusmuutokset materiaaleissa. Virtauksen ja paineen vaihtelut lisäävät merkittävästi verkoston kuormitusta. Samoin mahdollinen kiintoainekulutus lisää materiaalien pintaa varsinkin virtauksen kasvaessa suureksi. Toisaalta hidas virtaus ja seisovat olot yleensä lisäävät syövyttävien olosuhteiden syntymistä. Virtausolot vaikuttavat olennaisesti mikrobien toimintaan verkostopintojen biofilmeissä. Veden laatu heikkenee tyypillisesti vedenkulutuksen ja virtauksen pienentyessä jakeluverkostojen liian suureksi mitoitetuissa putkissa.

Paineiskut vaikuttavat merkittävästi jakeluverkoston virtausolosuhteisiin ja niitä syntyy, kun virtaus äkillisesti muuttuu. Tyypillisimmin on kysymys pumppujen käynnistyksestä tai pysäytyksestä tai venttiilien avaamisesta ja sulkemisesta tai äkillisistä vuototapauksista. Paineaalto etenee läpi koko verkoston ja tällöin etenemisnopeus ja vaikutukset riippuvat verkoston ja materiaalien ominaisuuksista (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1986b). Paineiskujen vaikutukset riippuvat laitteesta ja sen sijainnista. Itse putkimateriaali voi kestää paineiskuja hyvin, mutta mahdollisen ongelman saattaakin muodostaa esim. liitosten ja mutkakohtien kestävyys. Eri liitostekniikoiden paineiskujen kestävyudessa on eroja. Kiinteistöjen ylipaineventtiilit estävät jakeluverkoston ylipaineen pääsyn kiinteistöön. Sekä jakeluverkostot että kiinteistöjen vesijohtoverkostot pyritään suunnittelemaan kokonaistaloudellisesti järkeviksi ja sellaisiksi, että virtaus niissä on mahdollisimman tasaista. Jakeluverkostoissa 0,6-1 m/s on tyypillinen suunnitteluvirtausnopeus.

### 3.4 Maaperän ja veden vaikutus

Vesijohtomateriaalien kestävyys maaperässä vaikuttavat maaperän ominaisuudet sekä tilanteesta riippuen maaperän sisältämän veden määrä tai pohjaveden taso ja laatu. Alueella, jossa pohjaveden pinnankorkeus vaihtelee voimakkaasti, maaperäkorroosion riski on suuri. Vastaava vaikutus on havaittu myös eri maakerrosten rajakohdissa (Salo ja Saarikoski 1988). Maaperän osalta on useita tekijöitä, jotka vaikuttavat sen syövyttävyyteen. Tyypillisesti mitä pienempi ominaisvastus on, sitä aggressiivisempi maaperä on. Maalajien tyypillisiä ominaisvastusarvoja on taulukossa 2 ja arvio ominaisvastuksen vaikutuksesta syövyttävyyteen taulukossa 3. Oma vaikutuksensa on kaivannon pohjatyössä ja täytössä käytettävän maan koostumuksella. Lisäksi maaperässä ja materiaalien ulkopinnoilla tapahtuva mikrobitoiminta voi vaikuttaa paikoin hyvin voimakkaasti vaurioitumiseen. Maaperän koostumus ja sen sisältämän veden määrä, laatu ja liikkeet vaikuttavat mikrobien toimintaan.

**Taulukko 2.** Maalajien ominaisvastuksen arvoja (VTT 1997).

<b>Maalaji</b>	<b>Ominaisvastus (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
savi (ei kuiva kuori)	2-50
lieju, muta	5-30
humusmaa	10-40
siltti	10-100
turve	20-120
hiekkä	100-5000
liuskepohjaiset maalajit	300-700
sora	400-5000

**Taulukko 3.** Maaperän ominaisvastuksen ja syövyttävyyden yhteys (Borenstein 1994).

<b>Ominaisvastus (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>	<b>Syövyttävyys</b>
<5	erittäin syövyttävä
5-10	syövyttävä
10-20	melko syövyttävä
20-100	lievästi syövyttävä
>100	hieman syövyttävä

Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa maaperät sijoitettiin yleisen korroosion osalta seuraavaan järjestykseen: hiekkä  $\approx$  hiekkamoreeni < täyttöaines < turve  $\approx$  savi < merenpohjasavi. Paikallisen syöpymisen osalta järjestys oli: turve  $\approx$  hiekkä < savi  $\approx$  hiekkamoreeni < merenpohjasavi < täyttömateriaali (Vinka 2003b). Korroosion riski valurauta- ja teräsputkissa on suurin, jos johtokaivannon täyteenä käytetään hienorakeisia tai eloperäisiä maalajeja. Myös kaivannon täyteenä käytetyt tuhka ja kuona saattavat olla hyvin syövyttäviä (VTT 1997). Voimalaitosten kivihiilituhkaa (pohjatuhka ja -kuona) voidaan käyttää pelkästään erillisen suunnitelman mukaan savikkoalueilla alkutäyttömateriaalina, koska hyvien tiivistys- ja lujittumisominaisuuksiensa vuoksi se vaikeuttaa putken mahdollista myöhempää esiin kaivamista. Muoviputkiin liitetyt metallirakenteet, kuten esim. venttiilit ja muotokappaleet on voimalaitostuhkaa käytettäessä suojattava korroosiolta erillisen suunnitelman mukaisesti (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2005). Tyypillisesti Suomessa käytetään kaivantojen täyteenä kevytsoraa. Kevytsoran kosteusprosentin on todettu tutkimuksissa asettuvan ajan mukana arvoon 30-35 % (Suomen kaupunkiliitto 1979). Yleisesti syöpyminen on hitaampaa ilmastetussa maaperässä (Vinka 2003b), sillä esim. sulfaattia pelkistävien bakteerien toiminta hidastuu.

Talja ym. (2006) jaottelevat ruostumattomia teräksiä käsittelevässä selvityksessä maaperätyypit ei-aggressiivisiin, jossain määrin aggressiivisiin ja aggressiivisiin maihin. Jaotellua voidaan soveltaa myös muille metallisille materiaaleille:

Ei-aggressiiviset maat

-häiriintymättömät luonnonmaat, joissa enintään vähäisessä määrin klorideja ja sulfaatteja (hiekkä, siltti, savi, liuske), maalajien eloperäisen aineksen osuus on alle 2 paino-%

Jossain määrin aggressiiviset

-saastuneet luonnonmaat ja teollisuusalueiden maa-alueet (yleensä)

-tiivistämättömät, ei-aggressiiviset täytemaat (hiekkä, siltti, savi, moreeni, murskeet)

Aggressiiviset maat

-aggressiiviset luonnonmaat (kloridi- ja sulfaattipitoiset savet ja siltit sekä liejut, suo, turve) sekä suolatut väylärakenteet, joissa sulfaattipitoisuus on 500 mg/maa-aines kg tai >100 mg/l huokosvedessä, klorideja >100 mg/maa-aines kg tai >50 mg/l vesiliuoksessa

-tiivistämättömät ja aggressiiviset täytemaat (tuhka, kuona, aggressiivista luonnonmaata sisältävät täytöt)

-kaikki pilaantuneet maapohjat, ellei niiden ei-aggressiivisuutta ole todettu

-maa-alueet, joissa esiintyy tasavirtalähteiden aiheuttamat potentiaalilentä

### **3.5 Ulkopuolinen mekaaninen kuormitus**

Jakeluverkostojen putkiin vaikuttavat ulkopuoliset kuormitukset voidaan jakaa yleisesti taivutus-, puristus- ja vetojännityksiin sekä lämpötilamuutoksista aiheutuviin materiaalin tilavuusmuutoksiin (Makar ym. 2000). Ulkopuolisen kuormituksen aiheuttajia on useita. Maakerrosten routiminen ja tällöin tapahtuvat johtoa ympäröivien maakerrosten liikkeet kuormittavat rakenteita pääasiassa alhaalta päin. Roudan aiheuttama maakerrosten nousu voi olla useita senttimetrejä (Salo ja Saarikoski 1988). Liikenne ja läheinen maanrakennustoiminta lisäävät mekaanista kuormitusta.

### **3.6 Käyttöä edeltävät olosuhteet**

#### **Valmistus ja kuljetus**

Kun tuotteet valmistuksen jälkeen kuljetetaan asennuspaikalle tai varastoon, huolellisuus niiden käsittelyssä on tärkeää. Esimerkiksi putkien pudottaminen voi aiheuttaa naarmuja tai halkeamia putkeen tai sen pinnoitteeseen. Huolimaton käsittely voi aiheuttaa myös sisäpinnoitteen vaurioitumista, esim. sementtilaastin hiushalkeilua. Muoviputkien naarmut voivat olla vaurioiden alkukohtia käyttöolosuhteissa. Lisäksi kiinteistöjen muoviputket on suojattava ja jakeluverkostojen putket suositellaan suojattavaksi auringon UV-säteilyltä, sillä pitkäaikainen varastointi suojaamattomassa paikassa voi heikentää materiaalia. Monissa lämpimissä maissa muoviputkia asennetaan maan pinnalle, jolloin valmistusmateriaaleihin lisätyt suoja-aineet ovat välttämättömiä kemiallisen kestävyuden takaamiseksi. Huolellisuutta käsittelyssä on noudatettava sekä jakelu- että kiinteistöverkoston osissa.

#### **Asennus ja käyttöönotto**

##### *Jakeluverkosto*

Jakeluverkoston putkijohto voidaan suunnitella sen toimintatavasta ja maaperäolosuhteista riippuen joko painuvaksi tai painumattomaksi rakenteeksi. Painuvan putkirakenteen tulee kestää painumisesta aiheutuvat muodonmuutokset. Painuvalla maapohjalla putki usein

rakennetaan arinarakenteen varaan. Arina tulee suunnitella siten, että se tarjoaa riittävän kantavan työalustan putkea asennettaessa, tasaa epätasaisesta kovasta pohjasta aiheutuvat jännityshuiput, tasaa äkilliset painumaerot ja estää siten putken rikkoutumisen ja liitosten aukeamisen, estää liian suuret painumat ja painumaerot, jotka saattaisivat aiheuttaa putken kaltevuuden suunnan muuttumisen tai muita haittoja sekä tarjoaa riittävän paksun ja routimattoman pohjan putkille. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1995)

Maan kivettömyys on asennuksessa oleellista. Täyttömateriaalin raekoko valitaan putken halkaisijan mukaan. Putket asetetaan tasoitetulle kaivannon pohjalle tai erillisen tasauskerroksen päälle siten, että alusta tukee putkea koko pituudelta. Putkien muhveja varten tasauskerrokseen tehdään syvennykset, jotta muhvi ei jää kannattelemaan putkea. Putkea ei saa asentaa puukapuloiden tai vastaavien rakenteiden päälle. Kulmatukina käytettävien muhvilukkojen ja betonitukien on oltava rakenteiltaan ja perustamistavoiltaan sellaisia, että ne tukevat putkea riittävästi, mutta eivät kuormita putkea. Asennustyön aikana kaivannon vesipinta on pidettävä niin alhaalla, että noste ei liikuta eikä vesi vahingoita putkea (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1990). Talvella täyttömateriaalissa ei saa olla mukana jäätyneitä paakkuja. Eri putkimateriaaleja liitettäessä tulee noudattaa oikeita tekniikoita ja huolellisuutta.

Hyvän asennuksen laadun takaamiseksi putket tulisi tarkistaa vastaanotettaessa ja tarvittaessa laaditaan pöytäkirja johon merkitään putkien koot, määrät ja merkinnät; putkien jäykkyysluokat tai paineluokat; mahdolliset vauriot ja muut huomautukset (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2005). Painekokeissa metalli- ja asbestisementtiputkille koepaine on tavallisesti puolitoistakertainen käyttöpaine. Muoviputkia testataan vain käyttöpaineella, koska suuremmat paineet aiheuttavat putkea heikentäviä muodonmuutoksia. Toistaiseksi painekokeen suoritusta ei ole Suomessa standardisoitu (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004). Vesijohtokäyttöön tuleva putkisto tulee huuhdella ennen painekoetta ja desinfioida painekokeen jälkeen ennen käyttöönottoa rakennuttajan tai Suomen kuntaliiton (2002) ohjeiden mukaisesti (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2005). Desinfioimatta jätettyyn putkeen voi jäädä epäpuhtauksia, jotka voivat aiheuttaa terveydellisiä ongelmia mikrobien kasvun seurauksena. Asennuksessa noudatettu puhtaus on edellytys puhtaalle juomavedelle. Putkien päihin tehtaalla sijoitettuja tulppia ei saa poistaa ennen putken asentamista. Putket on puhdistettava kuljetuksen ja mahdollisen työstämisen jälkeen ennen asennusta. Asennuksen vaikutukset materiaalien ja laitteiden vaurioiden käyttökään ovat merkittäviä kaikkien materiaalien osalta ja vaikutuksia on käsitelty selvityksessä yksittäisten materiaalien kohdalla. Tutkimuksissa on todettu, että valvojan käyttäminen asennuksessa vähentää merkittävästi putkistovaurioita.

### *Kiinteistöverkosto*

Kiinteistöverkostojen asennuksessa olennaista on työn huolellisuus, oikeat työtavat, standardoitujen liitostapojen käyttö sekä riittävät putkikannatukset. Valmistajien ohjeita varastoinnista, käsittelystä ja asennuksesta on noudatettava. Kiinteistöasennuksissa olennaista on asennuksen ja painekokeen jälkeen suorittaa asianmukainen huuhtelu verkoston puhtauden ja materiaalien kestävyuden varmistamiseksi (Ympäristöministeriö 2007). Asennuksen vaikutuksia vaurioiden esiintymiseen on käsitelty yksittäisten materiaalien kohdalla.



## 4 Verkostomateriaalien vaurioituminen

### 4.1 Jakeluverkostot

#### Yleistä

Suomessa käytetään useita eri materiaaleja jakeluverkostojen uudisrakentamisessa (taulukko 4), vaikka tietyt materiaalit ovatkin monissa käyttökohteissa selvästi yleisin vaihtoehto. Tietoa Suomessa käytössä olevien jakeluverkostomateriaalien käytöstä, käyttötavoista sekä vaikutuksista veden laatuun on selvityksessä ”Talousveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa” (Kekki ym. 2007). Eri verkostomateriaalit reagoivat eri tavalla olosuhteiden muutoksiin. Jakeluverkostojen putket ja laitteet joutuvat suurempaan rasitukseen kuin kiinteistöjen ja toisaalta niihin vaikuttaa myös useampi eri muuttuja. Putkia asennetaan myös monenlaisiin ympäristöihin kuten erilaatuisiin maaperiin, vesistöihin ja kalliotunneleihin sekä haja-asutusalueelle että kaupunkien keskustoihin.

Jakeluverkostojen vaurioita tilastoitaessa on oleellista tietää, mikä on vaurioituneen putken johtotyyppi. Yleensä johtotyypit luokitellaan pää-, jakelu- ja tonttijohtoihin. Pääjohdoksi luokitellaan vedenottamolta tai käsittelylaitokselta lähtevä linja(t), jolla vesi johdetaan vesisäiliöön tai josta jakelujohdot lähtevät. Pääjohdoiksi luokiteltavat johdot kuljettavat yleensä vettä kokonaisille kaupunginosille ja ne ovat kooltaan, tyypillisesti yli 300 mm. Tonttijohdoksi luokitellaan kiinteistön liittymisjohto jakeluverkostoon. Tonttijohto on määritetty paikkakuntaakohtaisesti. Se alkaa joko liittymäkohdasta jakeluverkostoon tai tontin rajalta. Tonttijohto päättyy vesimittariin. Jakelujohdoiksi voidaan luokitella näiden kahden johtotyypin välissä olevat johdot. Omakotitalon tai rivitalon tonttijohdon halkaisija on nykyisin yleensä 32-40 mm, kun se saattoi olla ennen jopa 63 mm. Tonttijohdon koko kasvaa kiinteistön vedenkäyttötarpeen mukaan ja putken halkaisija voi olla esim. sairaalan tai teollisuuslaitoksen kohdalla satoja millimetrejä.

Vesijohtovauriot voidaan jakaa paikallisiksi, laaja-alaisiksi tai saneeraustarvetta aiheuttaviksi vaurioitumisiksi. Putkivauriot voidaan toisaalta jakaa putken rakennevaurioihin, liitosvaurioihin sekä toiminnallisiin vaurioihin. Putken rakenteellisessa vauriossa rakenteen kyky kestää kuormitusta heikkenee oleellisesti. Rakennevauriot voidaan jakaa pituushalkeamaan, poikkihalkeamaan, verkostomaiseen halkeamaan, pintavaurioon ja painumaan. Liitosvaurioissa putkien liitoksissa tai liittymäkohdassa on vikoja, jotka voidaan jaotella poikki- ja pituussiirtymään, tiivistevaurioihin ja virheellisesti tehtyyn liittymään. Toiminnallisia vaurioita voivat aiheuttaa mm. saostumat. Toiminnalliset häiriöt ovat lähinnä viemäriverkostojen ongelmia, mutta niitä esiintyy myös vesijohtoverkostoissa. Vesijohtoputkien sisäpinnalle syntyvät kerrostumat aiheuttavat hydraulisen kapasiteetin eli vedenjohtokyvyn, veden laadun ja kuormituksen keston oleellista heikkenemistä. (Nikulainen 1993)

**Taulukko 4.** Suomessa talousveden jakeluverkostojen uudisrakentamisessa käytettävät materiaalit tuoteryhmittäin. Pinnoitteet ja tiivisteet on esitetty taulukossa 16.

Materiaali	Tuote			
	putket	liittimet	venttiilit	muut tuotteet
<b>Metallit</b>				
Harmaa valurauta		x	x	
Pallografiittirauta	x*	x	x	
Teräs	x*			vesisäiliöt
Ruostumaton ja haponkestävä teräs	x	x		pumput, venttiilien osat
Alumiini		x		
Messinki		x	x	
Punametalli		x		
<b>Muovit</b>				
Kova polyeteeni (PEH)	x	x		
Keskikova polyeteeni (PEM)	x			
Pehmeä polyeteeni (PEL)	x			
Ristisilloitettu polyeteeni (PEX)	x			
Polyvinyylidikloridi (PVC)	x	x		
Polyamidi (PA)				pinnoitteet (liittimet, venttiilit), liittimien osat
Polyasettaali (POM)		x	x	
Polypropeeni (PP)		x		

\*veden kanssa kosketuksissa olevat osat käytännössä yleensä pinnoitettuja

### Vaurioiden syiden luokittelu

Vesijohtovaurioihin johtavat tekijät voidaan luokitella kuuteen pääluokkaan: ulkopuoliset tekijät, materiaalitekijät, asennustekijät, kaivantotekijät sekä muut ja tuntemattomat tekijät. Tyypillisesti ulkopuolisten vaurioiden aiheuttajia ovat kaivutyöt, louhinta, muu rakennustyö, liikenteen aiheuttama paine ja värinä sekä muiden putkistojen vaikutus. Putkilinjojen suunnittelussa ja asennuksessa on otettava riittävästi huomioon ulkopuolinen kuormitus, joka linjaan kohdistuu. Liikenteen aiheuttama dynaaminen kuormitus on haitallisinta silloin kun kuormitus kohdistuu toispuolisesti tai vinosti putken sivuseinämiin. Liikenteen vaikutukset voivat ilmetä putkiston epätasaisena painumisena, putkien muodonmuutoksina tai jopa

rikkoontumisina. Myös muut putkistot ja jopa kaapelit voivat vaurioittaa putkistoja. (Nikulainen 1993)

Materiaalista johtuvia vaurioita voi aiheutua raaka-aineiden ja tuotteiden valmistusvirheiden vuoksi. Toisaalta materiaali voi heiketä putken vanhentuuessa. Väärät tiivisteet tai muut soveltumattomat tarvikkeet ja tiivisteiden haurastuminen voidaan laskea materiaalisyiksi. Asennustekijöitä ovat mm. asennusvirhe, puutteellinen tuenta ja asennus puukiilojen päälle. Puutteellinen tuenta aiheuttaa helposti jännityksiä verkostossa. Erityisen tärkeää on tukea vaakakulmat, t-haarat, tulpatut putkenpäät, venttiilit ja supistukset, jotta painemuutokset eivät aiheuttaisi liitosten aukeamisia. Aiemmin yleisesti käytetyt puukiilat voivat aiheuttaa jännityksiä epätasaisen painumisen vuoksi, koska petipuun kohdalta putki ei pääse painumaan samassa suhteessa ympäristönsä kanssa. (Nikulainen 1993)

Kaivantotekijöiksi luetaan putken painuminen, putken sivusiirtymä, virhe alkutäytössä, kiven ja kallion painaminen, jäätyminen, routiminen, maanpaine ja arinan painuminen. Maan painuminen tuottaa putkilinjoille suuren rasituksen, mutta vaikutukset riippuvat myös maalajista (Nikulainen 1993). Salon ja Saarikosken (1988) mukaan heikoimman kantavuuden tuottavat maalajit ovat hienorakeiset savi ja siltti sekä eloperäiset turve ja lieju. Näitä vaikutuksia estetään vahvistamalla kaivannon pohjaa sekä arinarakenteilla. Painuma aiheuttaa yleensä vaurion liitoskohtiin, ja riski on suurin pehmeillä maalajeilla yhdessä roudan ja virtaavan veden kanssa (Nikulainen 1993). Roudan syvyys ja esiintyminen riippuvat pakkasen tasosta, maalajien huokoskoosta, veden liikkeistä ja laadusta maassa. Helpoimmin routivia maalajeja ovat savi ja siltti. Hiekka ja sora ovat vähiten routivia maalajeja. Routa tunkeutuu helposti teiden alla sijaitseviin putkilinjoin suojaaavan lumipeitteen puuttumisen vuoksi (Salo ja Saarikoski 1988). Vaurioita voivat aiheuttaa myös virheet huoltotöissä, paineiskut sekä liitos- ja tulppausvauriot (Nikulainen 1993).

## 4.2 Kiinteistöverkostot

### Yleistä

Kiinteistöverkostojen uudisrakentamisessa asennettavien päämateriaalien määrä on vähemmän kuin jakeluverkostoissa. Suomessa uudisrakentamisessa kiinteistöjen vesijohdoissa käytettävät materiaalit ovat ryhmittäin taulukossa 5. Tietoa Suomessa käytössä olevien kiinteistöjen vesijohtomateriaalien käytöstä, käyttötavoista sekä vaikutuksista veden laatuun on selvityksessä ”Talousveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa” (Kekki ym. 2007). Kiinteistöverkostoissa materiaalit ovat käytännössä aina vähäisemmän mekaanisen ja ulkopuolisen kemiallisen rasituksen kohteena kuin jakeluverkostoissa, jotka joutuvat alttiiksi ulkoympäristön rasituksille. Toisaalta kiinteistöverkoston olosuhteet ovat vaativat veden virtauksen vaihdellessa paljon ja lämminvesijohtojen korkeamman lämpötilan vuoksi. Nämä olosuhteet edesauttavat aineiden liukenemista, syöpymistä ja mikrobiologista toimintaa. Voi olla myös, että tietyissä tilanteissa veden laatu ei aiheuta ongelmia jakeluverkostoissa, mutta veden lämmityksen jälkeen tuottaa esim. syöpymis- tai sakkautumisongelmia. Lämmintä vettä ei lasketa talousvedeksi Suomessa eikä sitä koske samat laatuvaatimukset kuin kylmää vettä. Kuitenkin lämmintä vettä käytetään vastoin suosituksia talousvetenä ja vuotoja esiintyy huomattava määrä vuosittain myös lämminvesijohdoissa.

**Taulukko 5.** Suomessa kiinteistöverkostojen uudisrakentamisessa käytettävät materiaalit tuoteryhmittäin. Kohta Muut tuotteet sisältää mm. suodattimet ja pumput ja niiden osat. Pinnoitteet ja tiivisteet ovat taulukossa 16.

Materiaali	Tuote			
	Putket	Liittimet	Venttiilit	Muut
<b>Metallit</b>				
Sinkitty teräs				x
Ruostumaton teräs	x	x	x	x
Kupari	x	x		
Messinki		x	x	x
Alumiini				x
Pallografiittirauta				x
Pronssi			x	x
Punametalli		x	x	
<b>Muovit</b>				
Ristisilloitettu polyeteeni (PEX)	x			
PE-RT	x			
Lasikuituvahvistettu muovi (GRP)				x
Polyamidi (PA)				x
Polyasetaali (POM)				x
Polyeteenitereftalaatti (PET)				x
Polykarbonaatti (PC)				x
Polyfenyleenioksidi (PPO)				x
Polyfenyylisulfoni (PPSU)		x		x
Polypropeeni (PP)		x		x
Styreenin ja akrylinitriilin kopolymeeri (SAN)				x

## **Vaurioiden aiheuttajia**

Oleellinen ero kiinteistö- ja jakeluverkostojen vaurioissa on niiden seurauksissa, sillä kiinteistöissä vuoto aiheuttaa yleensä aina vahinkoa muille rakenteille. Toinen ero on, että kiinteistöjen laiteasennuksia tekevät sekä koulutetut ammattiasentajat että kouluttamattomat henkilöt. Ammattitaidottomien ihmisten tekemiin asennuksiin liittyy aina riski ja vaikka tästä aiheutuisikin pieniltä tuntuvia asennusvirheitä, voi niistä lopulta seurata vuotojen myötä paljon vaivaa ja kustannuksia. Esimerkiksi messinkinen venttiili voidaan asentaa jäätyvään tilaan vaakatasoon, jolloin vesi ei pääse venttiilin kohdalta pois ja jäätyy rikkoen venttiilin. Toinen esimerkki on asennuksen ja painekokeen jälkeen tehtävä pakollinen huuhtelu. Tämä pitäisi tehdä niin, ettei hanaa ole kiinnitetty johtoon, mutta monesti hana jätetään kiinni. Putkista mahdolliset asennuksen jälkeen irtoavat jäysteet eivät saisi jäädä hanaan.

## 4.3 Metallit

### Ominaisuudet ja korroosiomekanismit

Metalleja on käytetty pitkään jakelu- ja kiinteistöverkostoissa. Käytetyimmät metallit jakeluverkostoissa ovat rautametallit ja kiinteistöverkostoissa kuparimetallit. Kupari on kiinteistön putkimateriaaleista polyeteenin ohella toinen eniten käytetyistä putkimateriaaleista. Metalleilla on yleensä hyvä mekaaninen kestävyys ja lämmönkestokyky muodon tai ominaisuuksien ratkaisevasti muuttumatta. Lämpölaajeneminen on kaikilla metalleilla vähäisempää kuin muoveilla. Lisätietoa materiaalien rakenteista ja ominaisuuksista on jokaisen materiaalin kohdalla sekä aiemmassa selvityksessä (Kekki ym. 2007).

Vesijohtoverkoston metallisten osien tyypillinen ongelma on sisä- ja ulkopuolinen korrosio. Korroosion seurauksena metallien seinämä ohenee, liukeneva metalli voi muodostaa saostumia ja putken vedenjohtokyky ja tilavuus pienenevät. Korroosion seurauksena pinnoille muodostuvat yhdisteet eli korroosiotuotteet voivat suojata rautametalleja jonkin verran, mutta pinnoittamaton teräs ja valurauta syöpyvät aina talousvesiolosuhteissa jossakin määrin. Ruostumaton teräs ja kupari ovat passivoituvia metalleja, joiden korrosio on muodostuvan suojaavan oksidikalvon seurauksena erittäin hidasta.

Metallien syöpyminen voi olla yleistä tai paikallista. Suomessa nykyisin asennettavien metallien yleinen korrosio on hyvin harvoin niin voimakasta, että sen seurauksena materiaalit eivät kestäisi suunniteltua käyttöikänsä, mutta sen seurauksena veteen voi liueta metalleja enemmän kuin talousvesiasetus sallii. Paikallisella korroosiolla on ainoastaan teknisiä vaikutuksia. Yleisin paikalliskorroosion muoto on pistesyöpyminen.

Muita jakelu- ja kiinteistöverkoston metallirakenteissa esiintyviä korroosimuotoja ovat jännitys-, piilo-/rako-, eroosikorrosio ja mikrobiologinen korrosio, ulkopuolinen korrosio ja valikoiva liukeneminen sekä korroosioväsyminen. Myös galvaanista korroosiota esiintyy. Jännityskorroosiota voi tapahtua, jos metalli on jännityksen alainen syövyttävässä ympäristössä. Jännitys voi olla ulkoisen kuormituksen tai valmistuksen seurausta. Jännityskorroosiossa kappale repeää ilman plastista muodonmuutosta eli hauraasti. Piilokorroosiota aiheuttavat metallin pinnalle muodostuvat saostumat, joiden vuoksi pinnalle syntyy korroosiota aiheuttavia happikonsentraatioeroja. Rakokorroosiota puhutaan, kun seisovan veden kohdissa esim. raoissa tapahtuu konsentraatioerojen seurauksena syöpmistä. Eroosikorroosiota taas aiheuttaa veden suuri virtausnopeus tai turbulentti eli pyörteilevä virtaus. (Kunnossapitoyhdistys 2006)

Teräksestä ja valurautoista valmistettujen putkien ja -laitteiden kestävyys kannalta pinnoitteiden suojauskyky ja kiinnipysyminen on välttämätöntä. Mikäli pinnoite irtoaa tai vaurioituu käytön aikana, on seurauksena putken korrosio. Putki voi syöpyä ulkopuolisen tai sisäpuolisen pinnoitteen vaurioitumisen seurauksena. Aiemmin metalliputkia ja muita laitteita on asennettu verkostoon pinnoittamattomina, mutta nykyisin metalliputket pinnoitetaan sekä ulko- että sisäpuolelta. Teräs- ja valurautaputkien sisäpinnoitteina Suomessa käytetään sementtillaastia, mutta aiemmin on käytetty paljon myös bitumia. Teräksisten ja valurautaisten liitoskappaleiden sisäpinnoitteina Suomessa käytetään epoksia ja sementtillaastia. Vanhojen valurautaputkien suuri seinämänpaksuus on antanut materiaalille sisäpuolisen korroosion puolesta pitkän käyttöiän. Metalliputkien ulkopinnoitteina Suomessa käytetään uudisasennuksissa sementtillaastia, epoksia yhdessä sinkkipinnoitteen ja bitumipinnoitteen

kanssa tai sinkkialumiinipinnoitetta. Useimmiten ulkopinnoitteina käytetään eri pinnoitteiden yhdistelmiä.

Kiinteistöissä lämminvesijohto on oma ympäristönsä, jossa materiaalit käyttäytyvät eri tavalla kuin kylmävesijohdoissa. Lämpötila vaikuttaa metalleihin tyypillisesti syöpymistä kiihdyttäen. Esimerkiksi lämpimän veden valmistukseen käytettävien laitteiden (lämmönvaihtimet, lämminvesivaraajat, sähkövaraajien vastukset) osalta korroosioriski on korkean lämpötilan vuoksi suurempi kuin muissa verkoston osissa. Laitteiden hyvä puhdistettavuus, suurten tai pistemäisten lämpökuormien välttäminen, pystysuorien pintojen, erityisesti lämmönsiirtopintojen käyttäminen vaakasuorien pintojen sijaan ovat kestoikää parantavia rakenteellisia seikkoja. Olenaisia näkökohtia ovat veden jatkuva tasainen liike laitteen läpi sekä hitaan virtauksen ja seisovan saostumistilanteen välttäminen (Kaskimies 1980). Käytännössä näitä tilanteita ei pystytä kokonaan välttämään.

Korroosioreaktioiden vaikutukset poikkeavat merkittävästi toisistaan jakeluverkostojen sisä- ja ulkopinnoilla. Jakeluverkostoissa ulkopuolisen korroosioaurion todennäköisyyteen vaikuttavat muuttujat ovat maaperän aggressiivisuustekijät kuten maaperän kosteus, kemiallinen ja mikrobiologinen koostumus, sähkönjohtavuus, ilmavuus, redox-potentiaali, eri metallilajien käyttö ja ympäristön tai laitteiston sähkövirrat (Rajani ja Kleiner 2004). Redox-potentiaali voi vaihdella laajoissa rajoissa ja se riippuu etäisyydestä maan pintaan tai rakennetta koskettavan maaperän rakenteellisista ominaisuuksista. Rakenteelliset erot voivat edistää ilmastuserojen syntymistä ja johtaa voimakkaaseen paikalliskorroosioon pinnoilla, joilla on alhainen redox-potentiaali. Tämän johdosta maanalaisten valurautaisten vesijohtoputkien ulkopinnan paikalliskorroosio on huomattavasti vakavampi ilmiö kuin sisäpinnan korroosio, joka yleensä esiintyy tasaisena ja korkeintaan kohtuullisella nopeudella etenevänä. Mikrobikorroosiota esiintyy mm. rikkiä pelkistävien bakteerien vaikutuksesta sulfaattipitoisissa maaperätyypeissä (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2003), joita Suomessa ovat tyypillisesti savipohjaiset maat ja erityisesti merenpohjasavikot. Myös kiinteistöverkostojen metallien ulkopinnoilla voi esiintyä ulkopuolista korroosiota, joka aiheuttaa vaurioita. Tyypillisiä esimerkkejä ovat rakenteiden sisään sijoitettu putki, jonka pintaan pääsee vettä esim. kosteuseristyksen puutteellisuuden vuoksi, tai ulkopinnalle pääsevien kemikaalien aiheuttama korroosio.

### **Asennuksen vaikutukset**

Jakeluverkostojen metallisia materiaaleja tulee käsitellä huolellisesti. Metalliputkien, -liittimien ja -venttiilien sisä- ja ulkopinnoitteet voivat vaurioitua epäasiallisesta käsittelystä ja käyttöikä lyhentyä oleellisesti. Muhviputkien muhveja ei saa rasittaa liikaa kuormattaessa tai varastoitaessa putkia. Putken päät on aina suojattava asiallisesti ja varastointialustan tasaisuus on varmistettava. Jakeluverkostojen materiaalien käyttöiän pidentämiseksi on huolehdittava putkien tukemisesta, huolellisesta asennuksesta ja oikean täyttömateriaalin käytöstä. Väärä täyttömateriaali voi lisätä metalliputkien ulkopuolisen korroosion riskiä.

### **Mikrobiologiset vaikutukset**

Mikrobien aiheuttamia vaurioita ja vauriomekanismeja on tutkittu enemmän metalleilla kuin muilla materiaaleilla, joten näistä vuorovaikutuksista on myös selvästi eniten tietoa (taulukko 1). Mikrobitoiminta voi aiheuttaa merkittäviä vaurioita metalleissa sekä sisä- että ulkopinnalla, mutta todettujen vauriotapausten määrä on pieni verrattuna muihin vauriotyyppeihin. Ulkopinnan mikrobitoiminta rajoittuu käytännössä jakeluverkostoihin.

Yleistäen voidaan sanoa, että vaurioiden kannalta merkittävintä on jakeluverkostoissa tapahtuva mikrobitoiminta, sillä todettuja mikrobiologisen korroosion tapauksia kiinteistöjen putkistoissa on ollut vähän.

Mikrobit voivat aiheuttaa metalleja syövyttävät olosuhteet. Mikrobin aiheuttamat vauriot metalleille johtuvat pitkälti siitä, että bakteerit voivat tuottaa happoja aineenvaihdunnan tuloksena. Yleensä happojen muodostumisen seurauksena pH-arvo laskee, mikä estää tai vaikeuttaa suojaavan passiivikalvon muodostumista, ja suojaavien reaktiotuotteiden kuten kalsiumkarbonaatin muodostumista (Beech ym. 2000). Osa mikrobilajeista käyttää liukenevia metalleja hyväkseen, kun taas aerobiset bakteerit (hapellisissa olosuhteissa elävät) voivat muuttaa olosuhteita materiaalin pinnalla kuluttaen kaiken hapen saostuman alta omassa aineenvaihdunnassaan (Carpen 1995). Esim. kaksiarvoisen raudan ja mangaanioksidien saostumat ovat katodisesti reaktiivisia ja hapen paikallinen kulutus lisääntyy bakteerien soluhengityksen kautta saostumassa (Beech ym. 2000). Hapettomat olosuhteet suosivat esim. sulfaattia pelkistävien bakteerien toimintaa, joka voi aiheuttaa metallien syöpymistä. Metallin hapeton kohta tulee anodisemmaksi ja metallin liukeneminen helpottuu. Lisäksi vähäinen virtaus edistää anodisten ja katodisten kohtien syntymistä metallien pinnoille (Kielemoes ym. 2002). Myös sulfaatteja tai nitraatteja pelkistävät bakteerit tuottavat hapettomassa tai niukkahappisessa ympäristössä katodisen reaktion, jolloin sulfaatti ja typpi aiheuttavat korroosiota (Aromaa 2001). Lisäksi jotkut aerobiset bakteerit voivat hapettaa rikin rikkihapoksi, jolloin pH laskee paikallisesti (Carpen 1995).

Mikrobiologista korroosiota on todettu valuraudassa, teräksessä, ruostumattomassa teräksessä, kuparimetalleissa ja alumiinissa. Beechin ym. (2000) mukaan yleisesti voidaan todeta, että rautametallien eli valuraudan, teräksen ja ruostumattoman teräksen mikrobiologiseen korroosioon tyypillisesti osallistuvat bakteeriryhmät ovat sulfaattia pelkistävät, rikkiä hapettavat, rautaa pelkistävät/hapettavat, mangaania hapettavat bakteerit sekä bakteerit, jotka tuottavat orgaanisia happoja ja solun ulkopuolista polysakkaridia (EPS) tai limaa. Syöpyneissä metallipinnoissa varsinkin rautametalleilla mikrobitoiminta yleensä lisääntyy. Biofilmiä mikrobit voivat toiminnallaan aiheuttaa esim. kloridien konsentroituista, joka puolestaan voi edistää korroosiovaurion syntymistä (Beech ym. 2000). Rautabakteerit hapettavat rautaioneja kolmenarvoisiksi ja saavat toiminnallaan aikaan sakkanystyröiden muodostumista (Aromaa 2001). Valurautojen ja teräksen mikrobiologinen korroosio käsitellään harmaan valuraudan kohdalla ja muiden metallien omilla kohdissaan.

Beechin ym. (2000) mukaan mikrobiologisen korroosion toteaminen on hankalaa. Bakteerien löytyminen vaurioalueelta ei vielä kerro siitä, ovatko ne vaurion aiheuttajia. Usein toimitaan niin, että muut mahdolliset vaurion aiheuttajat suljetaan ensin pois ja sitten katsotaan onko kyse mikrobiologisesta korroosiosta (Carpen 1995). Mikrobitoiminta voi vaurioittaa erityisesti joidenkin metallien raerajoja. Puhtaan metallin pintaan voi jäädä selviä merkkejä mikrobien aiheuttamasta korroosiosta. Kuoppasyöpymistä pidetään mikrobiologista korroosiota indikoivana, mutta jotkut aerobisista bakteereista aiheuttavat seinämän sisään pullon muotoisia onkaloita neulanreiän kokoisen aukon alle (Beech ym. 2000).

### *Sulfaattia pelkistävät bakteerit (SRB)*

Sulfaattia pelkistäviä bakteereja on tutkittu eniten jakeluverkostojen metallisten materiaalien ulko- ja sisäpinnoissa. SRB:t tarvitsevat anaerobiset olosuhteet, joita syntyy sakkujen sisään syöpyvän kohtaan ja/tai toisten aerobisten bakteerien tuottamien anaerobisten taskujen alle. Jotkut lajit sietävät myös hapetta (Seth ja Edyvean 2006). SRB:t yleensä kilpailevat muut anaerobiset lajit pois (Fang ym. 2002). SRB:t toimivat pelkistämällä rikin hapettuneita



yhdisteitä kuten sulfaattia sulfidiksi, joka puolestaan voi reagoida vedyn kanssa vetysulfidiksi. Vetysulfidi reagoi metallin liueteissa rautasulfideiksi tai suoraan rikkihapoksi, joka aiheuttaa korroosiota (Seth ja Edyvean 2006).

Teräksen pinnassa tapahtuneita SRB-toiminnan mekanismeja on kuvattu monella tavalla. Näitä ovat katodinen depolarisaatio hydrogenaasientsyymien vaikutuksesta, anodinen depolarisaatio, syövyttävien rautasulfidien tuotanto, eksopolymeerien tuotto rautaioneja sitoen, sulfidin aiheuttama jännityskorroosio ja vedyn aiheuttama vetyhaurastuminen. Yksi mekanismi ei usein riitä selitykseksi vaan vaikuttajia on useampia (Beech ym. 2000). Kuitenkin voidaan sanoa, että perusmekanismeiltaan sulfaattia pelkistävien bakteerien toiminta on paikallinen ilmiö, joka eri SRB-lajien toiminnan tuloksena synnyttää metallia syövyttävät olosuhteet biofilmissä. Yleisesti hyväksytään myös, että tietystä systeemistä löydettyjen sulfaattia pelkistävien bakteerien määrä ei korreloi välttämättä korroosion kanssa vaan metabolian nopeutta pidetään yhtenä tärkeänä tekijänä (Beech 2003).

Kanadalaisessa tutkimuksessa talousvesiverkostosta löydettyjä tyypillisiä SRB-lajeja olivat sulfiittia pelkistävät *Clostridium*-lajit sekä tiosulfaattia pelkistävät lajit kuten *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella* sp. (Emde ym. 1992). Saman bakteerisuvun sisällä vaikutukset korroosion voimakkuuteen ovat yleensä merkittävästi erilaisia.

Vesijärjestelmien mikrobiologisessa korroosiossa korostetaan usein sulfaattia pelkistävien bakteerien osuutta, mutta aerobisten bakteerien huomattavasti nopeampi kasvu sopivissa olosuhteissa tulisi myös ottaa huomioon. Erään teorian mukaan esim. rauta-, mangaani- ja SRB-bakteerien välinen yhteistoiminta voi voimistaa korroosiota moninkertaisesti verrattuna yhden ryhmän toimintaan (Kielemoes ym. 2002).

## **Veden laadun vaikutukset**

Metallien korroosioon vaikuttavista tekijöistä tärkeimmät ovat veden happipitoisuus, pH, kovuus, kloridit, sulfaatit, sähkönjohtavuus ja alkaliteetti. Muuttujan painoarvo vaihtelee metallin mukaan. Veden laatu ratkaisee, kuinka paljon mistäkin materiaalista liukenee metallia tai minkä tyyppinen korroosiomekanismi on vallitseva. Veden laatu vaikuttaa kaikissa korroosimuodoissa korroosion voimakkuuteen. Kuitenkin veden laadun lisäksi korroosionopeuteen vaikuttavat myös muut tekijät kuten pinnan laatu, lämpötila, virtausnopeus ja pinnoilla olevat epäpuhtaudet sekä asennuksen laatu. Ei voitane liikaa korostaa myös veden laadun tasaisuuden merkitystä syöpymisilmiöiden voimakkuuteen.

Veden happamuudella eli pH-arvolla on jokaiselle materiaalille käyttöiän kannalta edullisin alue. Kun veden pH on neutraalialueella (7-10), hapen diffuusio metallin pinnalle määrää korroosionopeuden. Veden pH:lla on kuitenkin suuri vaikutus pinnalle muodostuvien korroosiotuotteiden muodostumisreaktioihin, jotka ovat ratkaisevia korroosion voimakkuuden kannalta. Veden sisältämän vapaan hiilidioksidin pitoisuuden ollessa suurempi kuin kalkki-hiilidioksiditasapaino edellyttää, vesi on syövyttävää. Suojakalvojen muodostuminen edellyttää, että vesi on lähellä kalkki-hiilidioksiditasapainoa eli veden karbonaattikovuuden on oltava riittävä, vedessä on oltava riittävästi happea eikä vedessä saa olla suojakalvojen muodostumista estäviä aineita. Liian suuri kloridipitoisuus tekee muodostuvista suojakalvoista huokoisia. Jos korroosiotuotteet eivät ole suojaavia, on korroosion nopeus suoraan verrannollinen happipitoisuuteen. Kloridit aiheuttavat pistekorroosiota ja lisäävät ruostumattomien terästen ja joidenkin alumiiniseosten jännityskorroosiota. (Kunnossapitoyhdistys 2006)

Sähkönjohtavuus riippuu veden suolapitoisuudesta eli lähinnä kloridien ja sulfaattien pitoisuudesta. Pehmeässä ja vähän suoloja sisältävässä vedessä syöpyminen on tasaisempaa kuin paljon suoloja sisältävässä vedessä. Korroosioon voivat vaikuttaa myös veden sisältämät orgaaninen ja epäorgaaninen aines (Kunnossapitoyhdistys 2006). Vedessä olevan kloorin on todettu kiihdyttävän selvästi raudan korroosiota ja jonkin verran kuparin mutta vain vähän lyijyn korroosiota (Cantor ym. 2003).

## **Muut vaikutukset**

Lämpötilan noustessa myös korroosioreaktiot nopeutuvat, hapen diffuusionopeus kasvaa ja hapen liukoisuus veteen pienenee, sähkönjohtavuus kasvaa, pH laskee, metallien potentiaalit muuttuvat sekä suojaavien korroosiotuotteiden ominaisuudet ja muodostumismekanismit muuttuvat. Korroosionopeuden lisäksi lämpötila voi vaikuttaa myös korroosion luonteeseen.

Virtausnopeuden kasvu aiheuttaa eroosikorroosion riskin kasvua. Toisaalta seisova vesi edistää paikallisten konsentraatioiden muodostumista, jolloin lähekkäisten kohtien välille syntyy helposti konsentraatiopareja. Tämä aiheuttaa tyypillisesti pistesyöpymiä (Kunnossapitoyhdistys 2006). Lämpötila, veden virtausnopeus ja veden laatu ovat usein ratkaisevia metallien korroosion laadulle ja nopeudelle.

## **Metallien ulkopuolinen suojaus**

Metallisten putkien ja muiden rakenteiden ulkopuolisena suojauksena voidaan käyttää pinnoitteita ja katodista suojausta. Pinnoitteet ovat nykyään usein eri pinnoitteiden yhdistelmiä, esim. sinkin ja polyeteenin. Tavallisin ulkopuolinen metallinen suojapinnoite on sinkkipinnoite. Yleinen sinkin korroosiotuote kuivassa, hyvin happamassa moreenimaassa on sinkkihydroksikarbonaatti  $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ . Sinkin passivoitumiseen vaikuttavat vesipitoisuus, happipitoisuus, pH ja passivoivat aineet kuten  $HCO_3^-$  pohjavedessä tai maan sisältämässä vedessä (Vinka 2003b). Katodista suojausta ei kannata käyttää vesijohtoputkiston suojaamiseen vaan lähinnä rajattujen kohteiden kuten säiliöiden suojaukseen (Aromaa 2001).

### **4.3.1 Harmaa valurauta**

#### **Ominaisuudet ja suojaus**

Harmaasta valuraudasta eli suomugrafiittiraudasta valmistettuja putkia ei ole enää asennettu 1980-luvun alun jälkeen. Materiaali ei kestä yhtä hyvin lämpötilanmuutoksia kuin pallografiittirauta, sillä harmaa valurauta on kovaa, eikä se siedä iskuja tai suurta mekaanista kuormitusta. Suomugrafiittirautaputkien silloisen ohjeistuksen mukaan putkien tuli olla bitumoitu, betonoitu tai sinkkibetonoitu. Veden virtausnopeuden yläraja oli 1,0 m/s (Suomen kunnallistekninen yhdistys 1987). Harmaasta valuraudasta valmistettujen putkien seinämänpaksuudet ovat merkittävästi suurempia kuin pallografiittiraudasta valmistettujen. Syynä on pallografiittiraudan parempi mekaaninen kestävyys, jolloin ei tarvita yhtä suuria seinämänpaksuuksia. Suomessa käytetään uudisrakentamisessa esim. harmaasta valuraudasta valmistettuja venttiileitä, joista suurin osa on pinnoitettu.

## Vauriotyypit

Valurautaputkien vauriot aiheutuvat yleensä syöpymisen ja erilaisten mekaanisten rasitusten yhteisvaikutuksesta tai pelkästään syöpymisestä. Harmaan valuraudan tyypilliset syöpymismekanismit on koottu taulukkoon 6. Johanssonin (1989) mukaan valurauta muuttuu syöpymisreaktioiden kautta liukoiseksi raudan yhdisteiksi tai kiinteiksi rautasakoiksi. Sekä valurautojen että terästen korroosiotuotteista suurin osa on rautakarbonaattia. Tyypillistä valuraudan korroosiolle on nystyröiden synty (Suomen kuntaliitto 1993). Tyypillinen harmaan valuraudan korroosiomekanismi on grafitoituminen, jossa rauta syöpyy metallista pois ja hiili jää jäljelle. Grafitoituminen voi olla yleistä tai paikallista ja sen seurauksena putken koostumus muuttuu niin, että yhä suurempi osa siitä koostuu grafiitin verkostosta, korroosiotuotteista ja muista rautayhdisteistä kuten  $Fe_3C$  ja  $Fe_3P$ . Grafitoitunut putki säilyy koskemattoman näköisenä, mutta mekaaninen lujuus heikkenee merkittävästi (Johansson 1989). Valurautaputken mitat eivät muutu merkittävästi grafitoitumisen seurauksena (Ala-Peijari 1980). Toinen harmaalle valuraudalle tyypillinen syöpymistapa on yleinen korroosio.

Kanadassa tehdyssä tutkimuksessa harmaasta valuraudasta valmistettujen putkien rikkoutumisista 64 % oli poikittaisia. Rikkoutumista 20 % oli reikiä ja kuoppia. Muita rikkoutumisia aiheuttivat pitkittäiset vauriot ja liitosvauriot sekä muut syyt (Rajani ja McDonald 1995). Putkien poikittaisia rikkoutumisia ei ole tarkasti tutkittu, vaikka niiden osuus aiemmassa tutkimuksessa vuodelta 1995, on 80 % alle 200 mm:sten putkien rikkoutumisista. Poikittainen rikkoutuminen on yleisintä alle 380 mm:n putkissa. Syöpymillä ja grafitoitumisella on hyvin selvä yhteys näiden vaurioiden synnyssä, mutta arvioita syöpymän koon suhteesta putken jäljellä olevaan vahvuuteen ei ole. Aiemmin on todettu, että 90 %:ssa poikittaisista rikkoutumisista vauriokohdassa oli syöpymäkuoppia. Tutkimuksessa poikittaisiin rikkoutumisiin liittyi melkein aina paikalliskorroosiovaurioita. Monesti harmaan valuraudan rikkoutumistapauksissa on ollut mukana sekä paikalliskorroosiota että grafitoitumista. Grafitoituneiden alueiden laajuus ei ole yleensä pintaan asti näkyvissä (Makar ym. 2002).

Harmaasta valuraudasta valmistetut putket suunniteltiin alun perin kestämaan vain sisäistä painetta ja putkea pystysuorassa suunnassa kuormittavia voimia. Pystysuorassa suunnassa kuormitusta aiheuttavat maaperän ja liikenteen rasitukset, mutta myös routa ja liikkuvat maamassat. Kanadalaisten tutkimusten mukaan puristavien kuormitusten aiheuttamia vauriotapauksia ei käytännössä ole, mutta edellä mainitut ilmiöt aiheuttavat toisaalta putkiin taivutusvoimia, jotka taas ovat yleisiä vaurioiden aiheuttajia. Lisää taivutuskuormitusta putkeen voi aiheuttaa maaperän siirtyminen ja mahdollisesti lämpötilaerojen (vesi ja maa) aiheuttamat voimat. Eräs kuormitustapa voi syntyä maaperän lukkiutuessa kiinni putken pintaan. Lisäksi mainitaan 1940- ja 1950-luvuilla Kanadassa käytetty rikkihohjainen lyijyn korvike (leadite) liitoksissa, joka näyttäisi vaikuttavan vaurioiden syntyyn, koska sen lämpölaajeneminen on voimakkaampi kuin valuraudan. Varsinkin hyvin kylmät lämpötilat lisäävät vaurioriskiä. (Makar ym. 2000)

Pienissä putkissa (<380 mm) veden paine on yleensä pienempi, mutta toisaalta myös massa on pienempi tehden ne herkemäksi pitkittäiselle taivutuskuormituksesta johtuvalle vauriolle. Suuret putket (>500 mm) ovat herkempiä halkeamaan pituussuunnassa. Korroosio voi heikentää putken seinämää niin, että veden paine aiheuttaa lopulta seinämän osan irtoamisen. Muhvipään leikkautuminen on yleisempää pienissä putkissa. Isoille putkille tyypillinen pitkittäinen vaurio alkaa paikallisesti ja voi edetä koko putken pituuden. Joissain tapauksissa halkeamia on syntynyt myös putken vastakkaiselle puolelle. Myös suurilla putkilla tapahtuu muhvipään leikkautumista, jonka arvellaan johtuvan pääasiassa linjan taivutuskuormituksesta. Jotkut keskikokoiset harmaasta valuraudasta valmistetut putket (380-

500 mm) vaurioituvat spiraalimaisesti putken pituussuunnassa, minkä arvellaan johtuvan linjan taivutuskorjauksesta ja sisäisen paineen vaikutuksesta. Putkissa on esiintynyt Kanadassa myös valmistusvirheitä, joista vauriot saavat helposti alkunsa. Vanhat asennustekniikat kuten puisten arinoiden käyttö on aiheuttanut vaurioita. Joissain kaupungeissa on otettu käytännöksi asentaa korjauspintojen suojaksi korjauksen yhteydessä lisäksi uhrautuvat anodit. (Makar ym. 2000)

Yleisin putkien ulkopuolinen vauriotyyppi on pistesyöpyminen (Rajani ja Kleiner 2004). Valuraudan korroosionopeus lisääntyy selvästi maaperän ominaisvastuksen laskiessa alle 70  $\Omega$ m. Maaperän happamuuden vähäisillä muutoksilla ei ole yleensä yhtä suurta vaikutusta (Salo ja Saarikoski 1988). Pallografiittiraudan ja harmaan valuraudan korroosionkestävyyden vertailussa on oleellista ottaa huomioon harmaan valuraudan tyypillisesti paksumpi seinämä. Ruotsissa kestävyys on arvioitu vaikuttavan myös aiemmin harmaan valuraudan asentamisessa käytetty homogeeninen, käsin laitettu ja vähemmän syövyttävä maa-aines täytössä (Vinka 2003b).

Tällä hetkellä asennettavien harmaasta valuraudasta valmistettujen tuotteiden vauriot syntyvät lähinnä syöpmisen seurauksena. Tarkempaa tietoa vaurioiden ilmenemistavoista muissa kappaleissa kuin putkissa ei ole.

**Taulukko 6.** Harmaan valuraudan syöpymismekanismit. Ilmiöiden yleisyydestä tai määrästä ei voida vetää johtopäätöksiä materiaalin käyttöiästä.

<b>Korroosiotyyppi</b>	<b>Yleisyys Suomessa</b>	<b>Korroosion aiheuttajia</b>	<b>Syöpymisriskiä lisäävän veden ominaisuuksia</b>	<b>Huomioitavaa ulkopuolisessa korroosiossa</b>
Grafitoituminen (selektiivinen korroosio)	yleinen (sisä- ja ulkopuoli)	pinnoitteiden vaurioituminen tai puuttuminen, veden laatu, maaperän olosuhteet	hapan ja pehmeä vesi	-
Yleinen korroosio	yleinen (sisä- ja ulkopuoli)	pinnoitteiden vaurioituminen tai puuttuminen, veden laatu, liian suuri virtausnopeus, maaperän olosuhteet	hapan ja pehmeä vesi	-
Piste-/kuoppakorroosio	yleinen (sisä- ja ulkopuoli)	pinnoitteiden vaurioituminen tai puuttuminen, veden laatu, maaperän olosuhteet	hapan ja pehmeä vesi, kloridien ja sulfaattien määrä	piste-/kuoppakorroosio kiihtyy, kun maaperän ominaisvastus <70 Ωm, korkea kloridipitoisuus lisää riskiä
Mikrobiologinen korroosio	yleinen (sisä- ja ulkopuoli)	pinnoitteiden vaurioituminen tai puuttuminen, liian pieni veden virtausnopeus, maaperän olosuhteet	ei tietoa	ulkopuolinen korroosio voimakasta sulfaattipitoisessa maaperässä, pienempi riski ilmastetussa maaperässä

## Asennuksen vaikutukset

Paljon käytetyt lyijyliitokset ovat jäykkiä ja arkoja maan painumiselle, ja väärin tai huonosti tehdyt arinat ovat aiheuttaneet merkittävästi vaurioita. Mikäli vanhan putken kunto on riittävä, voi sisäpuolisella sementtilaastipinnoituksella lisätä sen käyttöikä.

## Veden laadun, lämpötilan ja virtausolojen vaikutukset

Korroosiotuotteista muodostuvan suojakerroksen syntymisellä ja laadulla on ratkaiseva merkitys valuraudan ja teräksen paikalliskorroosioon. Pinnoittamattomien valurautojen ja teräksen välillä ei ole suuria eroja sen suhteen, kuinka ne reagoivat vedenlaatuun. Tästä syystä näiden metallien vuorovaikutustarkastelussa voidaan käyttää harmaan valuraudan yhteydessä käsiteltyjä tutkimustuloksia. Materiaalien mekaaniset ominaisuudet ja käyttökohteet ovat kuitenkin niin erilaiset, että vauriot ilmenevät eri tavoin.

### *Veden laatu*

Vedenlaatu ratkaisee muodostuuko suojakerrosta ja millainen se on. Korroosiolta suojaavan kerroksen koostumus on käytännössä rautakarbonaattia ( $\text{FeCO}_3$ ) tai kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ ). Silloin kun veden hiilihappopitoisuus on suhteellisen korkea ja pH 6,5-8, saostuu rautakarbonaattia, jossa on korkea rauta(II)pitoisuus ja saostuma on suojaava. Kerros muodostuu helpommin, kun veden pH on alle 8 kuin arvon tästä kasvaessa eli raudan syöpmisen minimoimiseksi suhteellisen neutraali pH olisi hyvä (Johansson 1989). pH:n nousuminen lähellä metallin pintaa korroosioreaktioissa muodostuvien  $\text{OH}^-$ -ionien vuoksi voi johtaa rauta(II):n hapettumiseen rauta(III):ksi, joka puolestaan johtaa suureen rauta(III)pitoisuuteen sakassa ja tätä kautta vähemmän suojaavan sakan muodostumiseen (AWWA 1996). Kalsium edistää suojaavan  $\text{CaCO}_3$ -kerroksen muodostumista karbonaattia sisältävissä vesissä. Kuitenkin kalkin annostus pehmeään veteen voi jopa aiheuttaa rautaputkien syöpmisen lisääntymistä (Suomen kuntaliitto 1993). Kalsiumkarbonaatti reagoi hiilidioksidiksi lisäten veden syövyttävyyttä erityisesti matala-alkalisessa vedessä, jossa bikarbonaatin suojaavaa vaikutusta ei ole.

Tavoitteena on saada sakkakerroksen paksuus ja samalla veteen liukenevan raudan määrä pysymään pienenä. Suojakerros on hyvä jos siinä on tiivis, selvästi erottuva tumma kerros. Tumma väri johtuu magnetiitista (Suomen kuntaliitto 1993). Suojakerrokseen tulevat vauriot voivat korjautua mikäli veden laatu on hyvä. Äkilliset pH:n vaihtelut voivat aiheuttaa suojakerroksen vaurioitumista (Aromaa 2001), eikä suojakerrosta välttämättä enää muodostu (Ala-Peijari 1980). Mikäli korrosio on voimakasta, pH:n nosto ei välttämättä enää pysäytä sitä (Aromaa 2001). Riittävän korkea alkaliteetti estää pH-arvon muutoksia.

Kloridit ja sulfaatit voivat aiheuttaa pistekorroosiota, sillä varsinkin voimakkaassa virtauksessa ionien siirtyminen sakan läpi metallin pintaan helpottuu (Johansson 1989). Vapaa hiilidioksidi lisää raudan korroosiota erityisesti vähän bikarbonaattia sisältävissä vesissä. Sinkityn teräksen osalta on arvioitu, että sopiva vapaan hiilidioksidin pitoisuus olisi alle 30 mg/l. Samaa voitaneen soveltaa myös valurautoille ja teräkselle.

Valurautojen sisäpuolista korroosiota voidaan estää kolmella tavalla. Periaatteessa pH:ta voitaisiin nostaa niin, että valurauta passivoituu, mutta ongelmana on, että vesi ei enää kelpaisi talousvedeksi. Jäljelle jäävät kalkkikerroksen saostaminen valuraudan pinnalle eli sopiva vedenkäsittely ja erilaiset pinnoitusmenetelmät (Aromaa 2001).

Johansson (1989) mukaan valuraudan korroosionopeus oli pienin, kun pH oli 7,5 ja  $\text{HCO}_3^-$ :n pitoisuus 100 mg/l. Veden pH:n tulisi olla 6,5-8,0, bikarbonaatin pitoisuuden yli 60 mg/l, kalsiumin 20-40 mg/l, kloridin, sulfaatin ja aggressiivisen hiilidioksidin määrien mahdollisimman matalat. Suomen Kuntaliiton (1993) selvityksen mukaan veden pH:n tulisi olla yli 7,5, bikarbonaatin pitoisuuden 30-50 mg/l ja kalsiumin yli 10 mg/l.

### *Virtaus*

Veden virtausnopeus vaikuttaa valuraudan syöpymisnopeuteen. Liukeneminen lisääntyy veden virtauksen pysähtyessä, vaikka vettä olisi käsitelty erilaisilla korroosionestotekniikoilla (Maddison ym. 2001). Samoin riittävän suuri veden virtausnopeus on tarpeellinen, jotta riittävästi suojaava kerros voi muodostua (Johansson 1989). Näyttäisi myös siltä, että veden virtausnopeus vaikuttaa raudan korroosioon osittain veden laadusta riippuen. Joka tapauksessa myös liian nopea virtaus voi lisätä korroosiota tai heikentää jo muodostuneita suojaavia sakkoja. Lisäksi lämpötilan muutokset lisäävät korroosiota ja heikentävät muodostunutta suojaa (McNeill ja Edwards 2001).

Johanssonin (1989) mukaan teräsputkien syöpymisnopeus kasvaa virtausnopeuden kasvaessa arvosta 0,004 arvoon 0,3 m/s, mutta nopeudessa 0,3-0,7 m/s korroosionopeus ei enää kasva. Selitys on virtauksen muuttuminen laminaarisesta turbulenttiseksi. Hitaassa virtauksessa suojaavat kiinteät korroosiotuotteet eivät pääse saostumaan ja nopeassa virtauksessa korroosiotuotteet huuhtoutuvat pois ja päästävät hapen helposti pintaan (Johansson 1989). Tässä pienellä virtausnopeudella tarkoitetaan alle 0,3 m/s, mutta suuren virtausnopeuden arvosta ei viitteessä ole mainintaa, sillä se saavutetaan jossain vaiheessa virtausnopeuden kasvaessa yli 0,7 m/s. Suomen Kuntaliiton (1993) selvityksen mukaan sopiva virtausnopeus valuraudalle on 0,1-1 m/s.

Käytettävissä olevien tietojen perusteella harmaan valuraudan, pallografiittiraudan ja teräksen kannalta teknisesti hyvälaatuisiksi veden laaduksi voidaan arvioida sellainen, jonka pH on noin 7,5-8,0 ja bikarbonaattipitoisuus 60 mg/l tai enemmän. Kalsiumpitoisuuden olisi hyvä olla yli 10-40 mg/l. Vapaan hiilidioksidin määrä olisi hyvä olla vähäinen. Sopiva virtausnopeus olisi yli 0,3 m/s, mutta alle 1 m/s. Veden sisältämät kloridit ja sulfaatit kiihdyttävät valuraudan syöpymistä.

### **Mikrobiologiset vaikutukset**

Bakteeritoiminta vaikuttaa merkittävästi suojaamattoman valuraudan korroosioon vesijohtoverkostoissa. Mikrobiologisen toiminnan vaikutukset ilmenevät nykytiedon mukaan samantyyppisesti myös pallografiittiraudassa ja teräksessä (McNeill ja Edwards 2001). Valuraudan ja teräksen pintaan muodostuu verkoston sisäpuolisen mikrobiologisen korroosion seurauksena yleensä saostumia eli ns. tuberkkeleita, joista aiheutuu tyypillisesti paineongelmia, pienentynyt virtausnopeus ja jopa putken tukkeutuminen (Borenstein 1994). Rautametallien mikrobiologinen korroosio on yleinen ilmiö myös maaperässä ja sillä voi olla suuri vaikutus käyttöikänsä. Seuraavaksi pyritään tarkentamaan metallien mikrobiologista korroosiota rautametallien osalta.

Teräksen mikrobiologisen korroosion ajatellaan alkavan kuopissa saostumien alla tai siitä, että metallin pinta on ollut alun alkaen epätasainen (Borenstein 1994). Valurautaputkien

biofilmeissä elävät bakteerit voivat kuluttaa happea, vaikuttaa paikallisesti pH-arvoon tai tuottaa syövyttäviä aineenvaihdunnan tuotteita kuten rikkivetyä tai rautafosfidia. Mikrobiologista toimintaa pidetään yleisesti valurautaputkilla kestävyttä heikentävänä tekijänä, vaikka joskus saostumat voivat osittain suojata putkea (McNeill ja Edwards 2001).

Valurautaputkien mikrobiologiseen korroosioon vaikuttavat merkittävästi sulfaattia pelkistävät bakteerit. Tutkimuksessa vesijohtoverkoston materiaaleissa havaittiin huomattava määrä SRB:ta ja näytepalatestien perusteella valuraudan pintaan muodostui jo kuukauden käytön jälkeen selvä SRB-kasvusto (Seth ja Edyvean 2006). Tutkimuksessa, jossa verrattiin pallografiittiraudasta, PVC:sta ja epoksista valmistettujen sekä sementtilaastilla pinnoitettujen koekappaleiden heterotrofista pesäkelukua, valurautamateriaalin pesäkeluvut olivat selvästi korkeampia kuin muilla materiaaleilla. Samoin kloorin tehon biofilmien kasvun ehkäisemiseksi todettiin olevan heikointa rautaa sisältävässä vedessä (Camper ym. 2003). SRB:n toiminnasta on tietoa myös kohdassa metallit ja mikrobitoiminta.

Suomessa fosforin määrä vedessä on usein mikrobien kasvua rajoittava tekijä. Rautametallien syöpyminen on todettu voivan vaikuttaa veden ravinnepitoisuuksiin. Valurauta- ja teräspuutkien sisältämä fosfori voi lisätä merkittävästi mikrobikasvua tietyissä olosuhteissa putkien syöpyessä. Tutkimuksessa arvioitiin korroosion seurauksena veteen irtoavan fosforin määräksi  $10^{-10}$  g/m<sup>2</sup>s valuraudan yleisen korroosion nopeuden ollessa 0,2 mm/a ja valuraudan sisältäessä 0,2 % fosforia (Morton ym. 2005).

Batte ym. (2003) toteavat kirjallisuuskatsauksessaan raudan korroosiotuotteilla olevan merkitystä verkostojen mikrobiologisen toiminnan kannalta. Heidän mukaansa Appenzeller ym. (2002) totesivat raudan korroosiotuotteiden isoelektrisen pisteen olevan 8-9 välillä, joka edistää negatiivisesti varautuneiden bakteerien adheesiota pintaan. Tämän vuoksi korroosiotuotteet todennäköisesti lisäävät mikrobien kiinnittymistä putkien seinämiin. Biomassan tuotanto on selvästi voimakkaampaa syöpyneemmissä putkissa verrattuna vain vähän syöpyneisiin putkiin. Raudan oksihydroksidit lisäävät aerobisten gram-negatiivisten bakteerien kuten *Pseudomonas* sp. kasvua todennäköisesti toimien ravinteena (Batte ym. 2003).

### 4.3.2 Pallografiittirauta

#### Ominaisuudet ja suojaus

Pallografiittiraudasta valmistetut eli SG-putket kestävät hyvin dynaamisia rasituksia. Paineenkestävyys saavutetaan pienemmällä seinämänpaksuudella kuin harmaasta valuraudasta valmistetussa putkessa. Seinämänpaksuudet voivat olla 40 % pienempiä kuin harmaasta valuraudasta valmistettujen putkien (Aromaa 2001). Voimassaolevan standardin (SFS-EN 545) mukaiset pallografiittirautaputkien sementtilaastipinnoitteen paksuudet on esitetty taulukossa 7 yhdessä Suomen kaupunkiliiton (1979) antamien suositusten kanssa. Sementtilaastipinnoitteiden paksuudet ovat kasvaneet vuodesta 1979. Vuoden 1979 ohjeiden mukaan sisäpuolisen bitumipinnoitteen tuli olla vähintään 2 mm paksu keskipakolingottu kerros tai vastaavan suojauksen takaava muu kuumabitumikäsittely. Ulkopuolisen pinnoituksen vähimmäisvaatimuksena on ollut tuolloin tehtaalla suoritettu kuumabitumikäsittely.



**Taulukko 7.** Pallografiittirautaputkien sisäpinnan sementtilaastipinnoitteen paksuuden ohjearvoja.

	<b>Putken koko DN (mm)</b>	<b>Pinnoitteen paksuus (mm)</b>
Suomen Kaupunkiliiton suositus (1979)	80-300	(3)-3,5
	400-600	(4)-5
	700-1200	(5)-6,5
SFS-EN 545 (2003)	40-300	4
	350-600	5
	700-1200	6
	1400-2000	9

Tyypillinen ulkopinnoite uusissa pallografiittirautaputkissa on sinkki-alumiinipinnoite (85 % sinkkiä ja 15 % alumiinia) (ZnAl 400 g/m<sup>2</sup>). Lisäksi voidaan käyttää metallipinnoitteen päällä epoksi- tai polyeteenipinnoitetta (100 µm). Pinnoitteen sisältämä sinkki muodostaa maaperässä rautametallin pinnalle tiiviin ja suojaavan sinkkikerroksen. Paikallisissa vaurioissa positiiviset sinkki-ionit kulkeutuvat huokoisen epoksikerroksen läpi muodostaen vauriokohtaan kiinteän liukenemattoman sinkkikerroksen. Alumiinimatriisi hidastaa tätä prosessia sitomalla sinkin ja luovuttamalla sitä sopivalla nopeudella (Saint-Gobain Pipe Systems 2007). Myös polyuretaania käytetään ulkopinnoitteena.

## Vauriotyypit

Harmaan valuraudan yhteydessä todetut korroosioon ja mikrobiologiseen toimintaan liittyvät ilmiöt koskevat pääosin myös pallografiittirautaa. Suomessa käytetään uudisrakentamisessa sementtilaastilla pinnoitettuja pallografiittirautaputkia, joten vuorovaikutus on ehjän pinnoitteen osalta sementtilaastin ja veden vuorovaikutusta. Ratkaisevaa pallografiittirautaputkien vaurioitumisen kannalta on sementtilaastin tai ulkopuolisen pinnoitteen kiinnipysyvyys ja eheys. Pinnoitteiden vauriomekanismit on käsitelty omissa kohdissaan ja tässä käsitellään pallografiittiraudan vaurioita. Pinnoittamattomien pallografiittirautaputkien ja putkien, joissa pinnoite on vaurioitunut, syöpymismekanismit ovat pitkälti samoja kuin harmaan valuraudan (taulukko 6). Vaurioita aiheuttavat syöpymismekanismit pallografiittiraudalla ovat pistesyöpyminen, yleinen korrosio ja grafitoituminen. Pallografiittirautaputkien grafitoitumista on havaittu Kanadassa ja Isossa-Britanniassa (Makar ym. 2002). Suomessa syöpymismekanismit ovat oletettavasti samat kuin muualla havaitut.

Harmaan valuraudan ja pallografiittiraudan merkittävin ero on mekaanisessa kestävyyydessä. SITRAn (1980) tutkimuksessa todetaan, että harmaan valuraudan ja pallografiittiraudan syöpymisnopeus on samaa luokkaa, mutta pallografiittirautaputken ohuempi seinämä lyhentää suojaamattoman putken käyttöikää verrattuna harmaaseen valurautaan. Norjassa suojaamattoman pallografiittirautaputken keskimääräisen käyttöiän on arvioitu olevan jopa 30-40 vuotta lyhyempi kuin harmaan valuraudan (Lei ja Saegrov 1998). Suomessa on asennettu vielä 1980-luvulla sisältä pinnoittamattomia pallografiittiputkia. Aiemmin käytettiin paljon bitumipinnoitetta pallografiittiputkien suojana, mutta sen antama suoja on

rajallinen. Suomessa on todettu jo lyhyehkön käyttöiän aikana bitumipinnoitettuihin pallografiittirautaputkiin syntyneen ruostepilkkuja pinnoitteen huokosten kohdalle. Betonipinnoitteen todetaan pysyneen hyvin kiinni putkessa saman ajan (SITRA 1980).

Pallografiittiraudalle tyypillistä on paikallinen korrosio, jonka seurauksena syntyvät kuopat voivat aiheuttaa jopa kolminkertaisen kuormituksen vauriokohtaan normaalitilanteeseen verrattuna (Rajani ja McDonald 1995). Vinkan (2003b) mukaan vuosina 1977-1987 Göteborgissa tehdyssä tutkimuksessa pallografiittiraudan vauriotapauksista 52,4 % oli korroosion, 17,5 % katkeamisen, 16,5 % liitos- ja materiaalivirheen, 5,8 % vahingon ja varomattomuuden sekä 7,8 % tuntemattoman syyn seurausta. Tutkimuksessa 52 % vaurioista aiheutui ulkopuolisesta korroosiosta. Lisäksi todettiin, että korroosiolla oli vaikutus vaurion syntymiseen kaikkiaan 69 %:ssa tapauksista. Putken katkeaminen oli tässä tutkimuksessa erittäin tyypillinen vauriomuoto, vaikka perinteisesti tämän on ajateltu olevan harmaan valuraudan ominaispiirre.

Painohäviökokeiden mukaan pallografiittiraudan syöpymät muistuttavat teräksen syöpymiä, mutta taipumus kuoppasyöpymiin on huomattavasti terästä vähäisempi (SITRA 1980). Ulkopuolisten vaurioiden yhteydessä todetaan yleensä piste- ja kuoppasyöpymiä. Ulkopuolisen korroosiovaurion todennäköisyyteen vaikuttavat maaperän aggressiivisuustekijät kuten maaperän kosteus, kemiallinen ja mikrobiologinen koostumus, sähkönjohtavuus, ilmavuus, redox-potentiaali, eri metallityyppien yhdistäminen ja ympäristön tai laitteiston hajavirrat (Rajani ja Kleiner 2004). Tilastollisessa tutkimuksessa pallografiittiraudan ulkopuolinen korrosio todettiin hieman hitaammaksi kuin harmaan valuraudan vastaavissa olosuhteissa, mutta jossain määrin riippuvaisemmaksi maaperästä. Yleisesti korroosionopeuksia voidaan pitää vastaavina (Kroon ym. 2005). Tutkimus tehtiin pohjoisamerikkalaisissa olosuhteissa.

Ruotsalaisessa tutkimuksessa vuonna 1989 laskettiin pallografiittirautaputkien vauriotapausten perusteella myös ulkopuolisen korroosion keskimääräisiä nopeuksia Göteborgissa, jossa maaperä on laadultaan syövyttävää. Pienin pistesyöpymisnopeus oli n. 0,3 mm/a, mediaani 0,6 mm/a ja suurin pistesyöpymisnopeus 1,2 mm/a. Tulosten perusteella pallografiittiraudan arvioitiin olevan melko tasalaatuista. Pistesyöpymisnopeuden voidaan olettaa olevan keskimäärin 0,6 mm/a ja mikäli nopeuden oletetaan pysyvän tasaisena halkaisijaltaan 400 mm:n putkessa, putken puhkeamiseen kuluu 13,5 vuotta. Näin ollen 1970-luvun alussa asennetut putket todennäköisesti ovat hyvin pistesyöpyneitä Göteborgin syövyttävässä maaperässä. Näissä putkissa oli ulkopinnalla keskimäärin 40-50 µm:n paksuinen bitumipinnoite. Oikeasta asennuksesta ei tutkimuksen mukaan ollut hyötyä, sillä näiden putkien pinnoite oli aivan liian ohut. (Vinka 2003b)

Vuonna 1986 Ruotsissa ryhdyttiin käyttämään Levasin-pinnoitetta valurautaputkien ulkopinnalla. Pinnoitteen paksuus oli n. 600 µm ja se koostui eteenin ja vinyylialkoholin yhteispolymeerista (EVAL tai EVOH). Pinnoitteen käyttö loppui 1994, mutta vuosina 1986-1994 asennettiin yhteensä 102,2 km Levasin-pinnoitettua putkea aiemmin käytetyn bitumipinnoitetun putken sijaan. Näissä putkissa ei ole ollut vaurioita vuoteen 2001 mennessä. Bitumipinnoitettuihin putkiin verrattuna vauriomäärät olivat merkittävästi pienemmät. 11 vuoden käytön jälkeen Levasin-putket olivat hyvässä kunnossa. Lisäksi on todettu, että vaikka pinnoite oli paikallisesti vioittunut, ei korrosio ollut edennyt vauriokohdasta. Pallografiittirautaputkien pitkän käyttöiän takaamiseksi ulkopuolinen korrosio on estettävä ja tähän tutkimuksessa suositellaan sinkki-polyuretaani- tai sementtilaastipinnoitetta. (Vinka 2003b)

## **Asennuksen vaikutukset**

Valurautaputket liitetään nykyään käytännössä aina kumi- tai muovirengastiivisteisellä muhvilla, joka on nopea ja helppo asentaa sekä sallii putken vähäisen liikkumisen ilman, että liitos vuotaa (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004). Asennuksessa on huolehdittava siitä, että liitoksia tehdessä pinnoitteet eivät vaurioidu, kun osia työnnetään paikalleen. Pallografiittirautaputkien asennuksessa on käytetty aiemmin lyijyliitoksia, jotka voivat olla hauraita.

## **Veden laadun, lämpötilan ja virtausolojen vaikutukset**

Pallografiittiraudan käyttöikään vaikuttavat ulko- ja sisäpuolisten pinnoitteiden kestävyys ja kiinnipysyvyys. Arvioitaessa veden laadun vaikutuksia pallografiittirautaan voidaan käyttää samoja perusteita kuin harmaan valuraudan kohdalla on esitetty.

### **4.3.3 Teräs**

#### **Ominaisuudet ja suojaus**

Teräsputkia on käytössä sekä jakeluverkostossa että kiinteistöverkostossa, mutta uusia putkia asennetaan Suomessa vähäisessä määrin jakeluverkostoihin. Kotimaisen valmistajan runkovesiputkissa käytetään sisäpuolisena suojapinnoitteena betonia tai epoksia ja ulkoisena polyeteeniä tai polyuretaania. Sinkitty teräs on käsitelty omana materiaalinaan tässä teoksessa. Jakeluverkostoissa teräsputkea käytetään varsinkin jakelujohdoissa, joissa on paljon haaroituksia ja liittymiä ja erityisesti jos kohteessa on suuri dynaaminen rasitus. Dynaamista rasitusta aiheuttavat raskas liikenne ja huono rakennuspohja (Karttunen 1999). Teräkset ovat materiaaleina mekaanisesti lujempia kuin valuraudat. Teräksen seinämänpaksuus on selvästi pienempi kuin harmaan valuraudan, joten teräsputki vaurioituu syöpmisen seurauksena nopeammin. Myös teräksen käyttöiän kannalta ratkaisevia ovat putken sisä- ja ulkopuolella käytettävät pinnoitteet. Tonttivesijohtoina aiemmin asennetut teräsputket alkavat olla käyttöikänsä saavuttaneita.

Teräsputkien sisäpuolisen sementtilaastipinnoitteen ohjepaksuudet on koottu taulukkoon 8. Aiemmin käytettyjen Suomen kaupunkiliiton (1979) ohjeiden mukaan teräsputken sisäpuolisen bitumipinnoitteen tuli olla vähintään 3 mm paksu. Ulkopuoliseksi pinnoitteeksi ohjeissa suositellaan kuumabitumia, jonka päällä on kaksinkertainen kuumaan bitumiin kastettu lasikuitukangas. Pinta sivellään kalkki- tai sementtimassalla suojaamaan pinnoitetta lämmön aiheuttamalta pehmenemiseltä ja helpottamaan vaurioiden paikallistamista (Suomen kaupunkiliitto 1979). Suomen kaupunkiliiton myöhemmät ohjeet (1982) suosittelivat sisäpinnoitteeksi vähintään 3 mm:n bitumikerrosta sekä 3,5-6,5 mm:n betonivuorausta putkikoosta riippuen. Teräsputkelle on ollut viime vuosisadan alusta standardit, mutta pinnoitteissa ja niiden kerrospaksuuksissa on ollut merkittäviä eroja, mikä on todettu mm. SITRAn tutkimuksessa (1980). Sisäpinnoitteena teräsputkissa on käytetty bitumia ja myöhemmin betonin lisäksi liuotteettomia epoksimaaleja tai epoksijauhemaaleja. Bitumipinnoitus ei suojaa putkea riittävästi (SITRA 1980). Maanalaisten teräsrakenteiden suojana käytetään epäorgaanisten ja orgaanisten pinnoitteiden lisäksi katodista suojausta (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2003). Ruotsalaisessa tutkimuksessa teräsputkien pitkän käyttöiän varmistamiseksi ulkopuolisen korroosion estämiseen suositellaan kolmikerroksista polyeteenipinnoitetta (Vinka 2003b).

**Taulukko 8.** Teräsputkien sisäpinnan sementtilaastipinnoitteen paksuuden ohjearvoja.

	<b>Putken koko D (mm)</b>	<b>Pinnoitteen nimellispaksuus (mm)</b>	<b>Pinnoitteen vähimmäispaksuus (mm)</b>
Suomen Kaupunkiliiton suositus (1979) DIN 2461 mukaan	80-300		3,5-5
	400-700		6-8
	700-1200		10-14
SFS-EN 10298 (2005)	<273	4,5	3
	273-610	6	4
	610-914	8	6
	914-1220	10	8
	>1220	14	12

### Vauriotyypit

Teräkselle tyypillistä on sisä- ja ulkopinnan yleinen korroosio ja piste-/kuoppakorroosio (taulukko 9). Oletettavasti myös mikrobiologisella korroosiolla on merkitystä teräsputken vaurioitumisilmiöissä. Sekä verkoston sisä- että ulkopuolisen mikrobitoiminnan vaikutuksia voidaan arvioida pitkälti samoin perustein kuin harmaan valuraudan kohdassa on esitetty. Suojaamattomat teräsputket ovat useimmissa suomalaisissa vesissä alttiita kuoppasyöpymille. Koska putken seinämä on yleensä ohuempi kuin valurautaputkissa, on suojaamattoman teräsputken alttius korroosion aiheuttamalle vuodolle varsin suuri. Aiemmin käytettyyn bitumipinnoitteeseen kuljetuksissa ja asennuksissa syntyneet vauriot ovat johtaneet kuoppasyöpymiin putkistoissa (SITRA 1980). Myös maaperän aiheuttama korroosio suojapinnoitteen vaurioituttua on teräksen tyypillinen vaurioitumistapa. Tyypillistä on myös, että bitumi irtoaa osittain teräksestä ja korroosio voi alkaa pinnoitteen alla (Vinka 2003b). Suomalaisissa normaaliolosuhteissa bitumilla pinnoitetun teräksen käyttöikäksi on arvioitu 30-40 vuotta, mutta happamassa maaperässä vain 10-15 vuotta (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987).

**Taulukko 9.** Teräksen syöpymismekanismit. Ilmiöiden yleisyydestä ei voida vetää johtopäätöksiä materiaalin käyttöistä.

<b>Korroosiotyyppi</b>	<b>Yleisyys Suomessa</b>	<b>Korroosion aiheuttajia</b>	<b>Syöpymisriskiä lisäävän veden ominaisuuksia</b>	<b>Huomioitavaa ulkopuolisessa korroosiossa</b>
Yleinen korroosio	yleinen (sisä- ja ulkopuoli)	pinnoitteiden vaurioituminen tai puuttuminen, veden laatu, liian suuri virtausnopeus	hapan ja pehmeä vesi	-
Piste-/kuoppakorroosio	yleinen (sisä- ja ulkopuoli)	pinnoitteiden vaurioituminen tai puuttuminen, veden laatu, maaperän olosuhteet	hapan ja pehmeä vesi, kloridien ja sulfaattien määrä	korroosio kiihtyy, kun maaperän ominaisvastus <70 Ωm, korkea kloridipitoisuus lisää riskiä
Mikrobiologinen korroosio	yleinen (sisä- ja ulkopuoli)	pinnoitteiden vaurioituminen tai puuttuminen, maaperän olosuhteet	ei tietoa	ulkopuolinen korroosio voimakasta sulfaattipitoisessa maaperässä, pienempi riski ilmastetussa maaperässä

## Asennuksen vaikutukset

Teräsputkien asennuksessa on huolehdittava erityisesti siitä, että pinnoitteet säilyvät ehjänä ja mahdolliset hitsaukset suoritetaan oikein.

## Veden laadun, lämpötilan ja virtausolojen vaikutukset

Pinnoittamattomat rautametallit eli hiiliteräs ja valuraudat reagoivat yleensä samansuuntaisesti vedenlaadun muutoksiin. Kuten valuraudan, myös teräksen syöpymiseen vaikuttaa metallin pintaan muodostuvan kerroksen suojauskyky. Korroosiomekanismit ovat vastaavia, joten vedenlaadun vaikutukset on osittain käsitelty harmaan valuraudan kohdalla.

Teräksen korroosionopeus riippuu eniten pH:sta ja hapen määrästä. Liuenneet suolat kiihdyttävät korroosiota. Tavallisten hiiliterästen korroosionopeus luonnonvesissä on 0,05-0,15 mm vuodessa. Teräsputkien korrosio kiihtyy, jos vesi on hapanta (pH<7) (Aromaa 2001). Teräksen korrosio kiihtyy voimakkaasti veden virtausnopeuden kasvaessa, mikä johtuu eroosiovaikutuksesta ja hapen saannin lisääntymisestä (Kunnossapitoyhdistys 2006). Tutkimuksessa havaittiin teräksen korroosion kiihtyminen, kun vapaan kloorin määrä oli 1,0-1,5 mg/l ja virtausnopeus kasvoi 9,1 cm/s 27,4 cm/s (Pisigan ja Singley 1987). Korroosion estämiseksi on ehdotettu, että veden pH olisi yli 8,0 ja alkaliteetti yli 0,6 mmol/l (Kaunisto 1990). Kuitenkin kuten valurautojen, myös teräksen suojaaminen pelkästään nostamalla pH:ta on mahdotonta talousvedessä, joten oleellista on pinnoitteiden kestävyys (Aromaa 2001). Toisaalta jo olemassa olevan verkoston ja pinnoitteiden rajallisen käyttöiän vuoksi veden laadun olisi hyvä täyttää tietyt teknisen laadun kriteerit. Veden laadun vaikutuksissa teräkseen voidaan pitkälti soveltaa harmaan valuraudan yhteydessä esitettyjä perusteluita.

### 4.3.4 Sinkitty teräs

#### Ominaisuudet ja suojaus

Sinkityn teräsputken mekaaniset ominaisuudet ovat samat kuin teräsputken. Kiinteistöjen kylmävesiputkina käytetyt sisä- ja ulkopuolelta sinkityt teräsputket tuotiin Suomeen tiettävästi ulkomailta ja niissä oli laatuvariaatioita erityisesti hitsien, mutta myös sinkityksen osalta. Putkia on tuotettu eri halkaisijalla ja ainevahvuuksina eri aikoina (Järvinen ym. 1987; Karjalainen 1995). Putkien painehäviöiden mitoituksessa otettiin huomioon n. 2 mm:n ruostekerros (Järvinen ym. 1987). Putkien kestävyys riippuu sinkkipinnoitteen paksuudesta sekä putken ja veden laadusta. Sinkittyä teräsputkea ei ole enää asennettu kiinteistöihin 1970-luvun jälkeen.

#### Vauriotyypit

Sinkkipinnoite estää teräksen korroosiota suojaamalla sen pintaa hapelta ja kosteudelta sekä suojaamalla terästä katodisesti (Kunnossapitoyhdistys 2006). Sinkittyjen putkien korrosio alkaa sinkkikerroksen yleisenä tai paikallisena syöpymisenä. Sinkkikerroksen tuhoutumiseen vaikuttavat veden ja sinkkikerroksen laatu sekä virtausolosuhteet (Järvinen ym. 1987). Sinkki syöpyy ennen terästä epäjaloutensa takia ja vauriokohtaan muodostuu suojaava korroosiotuotekerros. Vauriokohdan ollessa liian laaja-alainen ei sinkin katodinen suojaus toimi ja teräksen syöpyminen alkaa (Kunnossapitoyhdistys 2006). Näyttäisi siltä, että tärkein

sinkin korroosiotuote on hydrozinkiitti  $[Zn_5(CO_3)_2(OH)_6]$  ja muita sinkkikarbonaatti ( $ZnCO_3$ ) sekä sinkkihydroksidi  $[Zn(OH)_2]$  (Pisigan ja Singley 1985).

Sinkityn teräksen tyypillisimmät korroosionmuodot ovat paikalliskorroosio ja yleinen syöpyminen. Paikallisen korroosion syitä ovat yleensä valmistusviat (Kaunisto 1991). Kun teräs alkaa syöpyä, voivat sen korroosiotuotteet muodostaa putken pintaan tasaisen kerroksen, jonka alla syöpyminen on yhtä tasaista kuin muissakin sinkittömissä kohdissa. Korroosiotuotteet voivat muodostaa puolipallomaisia sakkoja, jolloin teräs syöpyy paikallisesti nopeammin kuin muualla (Järvinen ym. 1987). Lisäksi kannatuksien ja maadoitusten kohdilla on havaittu galvaanista korroosiota (Karjalainen 1995). Todennäköisesti mikrobiologinen korroosio voi vaikuttaa myös sinkityn teräksen vaurioihin kiinteistöissä, mutta tutkimustietoa ei ole käytettävissä. Kuitenkin voidaan olettaa, että samankaltaisuutta harmaan valuraudan ja yleisesti metallien kohdalla esitettyihin mikrobiologisiin mekanismeihin ja mikrobiryhmiin löytyy. Merkittävimmät erot jakeluverkostojen harmaaseen valurautaan nähden ovat erilaiset olosuhteet kiinteistöissä. Sinkityn teräksen syöpymismekanismit on esitetty taulukossa 10.

Sinkityssä teräksessä voi esiintyä yleisen korroosion ja pistekorroosion lisäksi eroosikorroosiota. Järvisen ym. (1987) tutkimuksessa eroosikorroosiota havaittiin mutkakohdissa ja haaroituksissa vain pienikokoisissa putkissa (halkaisija n. 25 mm). Eroosikorroosiolle alttiimpina kohtina pidettiin halkaisijaltaan pienten putkien mutkakohtia, joissa syöpyminen voi lisääntyä virtauksen pyörteisyyden vuoksi. Halkaisijaltaan yli NS 50 olevissa putkissa ei havaittu merkittävää seinämän ohentumista edes mutkakohdissa. Lisäksi tukkeumia esiintyi vain pienissä putkissa. Ulkopuolisen korroosion osuus sinkittyjen teräsputkien vauriotapauksien aiheuttajana oli n. kymmenesosa VTT:ssä vuosina 1975-1989 tutkituissa vauriotapauksissa (Kaunisto 1991).

Korroosiovaurioiden syntyyn ovat varmasti osaltaan vaikuttaneet teräsputkien laatuvaihtelut. Suuri osa vaurioista johtuu huonosti tehdystä putken pitkittäissaumasta, jolloin sinkkipinnoite on jäänyt liian ohueksi (Kaunisto 1991). Näissä putkissa korroosiotuotteet ovat kerääntyneet epäsymmetrisesti hitsausauman kohdalle, josta ne on helppo tunnistaa. Nämä putket ovat saattaneet kestää jopa alle 20 vuotta (Karjalainen 1995). Myös 1940-luvulla on tiettävästi asennettu huonolaatuisia putkia, joissa sinkityksen laatu on vaihdellut paljon. Usein sinkittyjen teräsputkien korroosio on keskittynyt kierreosiin sekä mutkien ja muiden muotokappaleiden läheisyyteen (Järvinen ym. 1987).

**Taulukko 10.** Sinkityn teräksen syöpymismekanismit. Ilmiöiden yleisyydestä ei voida vetää johtopäätöksiä materiaalin käyttöiästä.

<b>Korroosiotyyppi</b>	<b>Yleisyys Suomessa</b>	<b>Korroosion aiheuttajia</b>	<b>Syöpymisriskiä lisäävän veden ominaisuudet</b>	<b>Putken tyyppi/kohta</b>
Yleinen korroosio	yleinen	veden laatu, putkien laadunvaihtelu, puutteelliset sinkitykset aiheuttaneet syöpymistä huonolaatuisten pitkittäishitsien kohdalta	sinkin korroosio lisääntyy pehmeässä ja happamassa vedessä, erityisesti jos siinä on aggressiivista hiilidioksidia	ei vaikuta
Piste-/kuoppakorroosio	yleinen	veden laatu, seisova vesi, virtausnopeus alle 0,5 m/s, kerrostumat lisäävät riskiä	korkea kloridi- ja/tai sulfaattipitoisuus	riski suurin kierreosissa
Eroosiokorroosio	harvinainen	asennusvirheet	ei tietoa	erityisesti pienikokoiset putket halk. 25 mm, mutkakohdat ja haaroitukset
Ulkopuolinen korroosio	ei tietoa	kosteuden tiivistyminen tai veden pääsy putken pintaan	ulkopinnalle pääsevän veden korkea kloridipitoisuus	ei vaikuta
Galvaaninen korroosio	ei tietoa	asennusvirhe: kupariputken asentaminen virtaussuunnassa ennen sinkittyä teräsputkea, suora kontakti kuparin tai ruostumattoman teräksen kanssa	ei vaikuta	ei vaikuta



## **Asennuksen vaikutukset**

Asennettuihin putkiin on saattanut tulla vaurioita 1940-luvulla ja aiemmin, jolloin kuumasinkittyä putkea kuumennettiin taivutuksen yhteydessä. Kuumennuksen seurauksena sinkki on palanut pois pinnasta ja putki on syöpynyt tällöin nopeasti palaneen ja palamattoman kohdan rajalta (Mäki-Rossi 1944). 1940-luvulla rakennetut putkistot olivat usein huonolaatuisia, sillä vesijohtoja rakennettiin pulavuosina normaalista teräsputkesta ilman sinkitystä (Mäkiö 1990; Järvinen ym. 1987).

Asennuksesta johtuvaksi vaurioksi voidaan laskea kuparin asentaminen virtaussuunnassa ennen kuumasinkittyä terästä, jolloin veteen liuennut kupari jalompana metallina aiheuttaa nopeasti sinkin korroosiota. Samoin hiiliterästä tai valurautaa ei voida korroosiota huomioon ottamatta liittää kuparin kanssa samaan rakenteeseen. Kotimaisessa tutkimuksessa havaittiin asennusongelmiksi mm. kuumasinkityn teräsputken liitoksissa käytetyt liian pitkät, suojaamattomat kierteytykset (Järvinen ym. 1987). Tavallisiksi virheiksi mainitaan myös teräksisten ja kuparisten osien liitokset lämmönsiirtimissä tai varaajissa (Savisalo 1980). Saksassa on todettu, että hitsien purseet on poistettava, sillä ne aiheuttavat merkittävän osan vauriotapauksista hitsissä tapahtuvan pistekorrosion vuoksi (Wagner 1992). Sinkityn teräksen ja kuparin käyttö kiertävän veden järjestelmissä voi aiheuttaa sinkin korroosiota. Sinkitty teräs ei kestä suoraa kontaktia kipsin kanssa (VdS 2007). Sinkittyä teräsputkea ei enää asenneta Suomessa.

## **Veden laadun, lämpötilan ja virtausolojen vaikutukset**

Sinkkikerroksen on tarkoitus suojata katodisesti alla olevaa terästä. Näin ollen eniten korroosion voimakkuuteen vaikuttavat sinkkikerroksen ominaisuudet ja erityisesti sen paksuus. Sinkin korrosio nopeutuu pehmeässä, happamassa vedessä, jossa on aggressiivista hiilidioksidia. Piste- ja kuoppakorroosiota aiheuttavat tavallisesti veden sisältämät kloridit ja sulfaatit, ja korroosioriski kasvaa seisovassa vedessä tai, mikäli pinnoilla on epäpuhtauskerrostumia (Määttä ja Kaunisto 1997). Sinkki passivoituu suojakerroksen muodostuttua, mutta kerroksen syntyyn vaikuttaa virtausnopeus. Suojakerroksen riittävän syntymisen vuoksi virtausnopeuden tulisi olla 0,5 m/s (Järvinen ym. 1987).

### *Lämpötila*

Sinkittyjä teräsputkia ei ole käytetty lämminvesilinjoissa, koska korrosio nopeutuu lämpötilan noustessa ja varsinkin yli 50 °C:n lämpötiloissa (Järvinen ym. 1987). Yli 60 °C:n lämpötilassa sinkistä tulee jalompi kuin teräs, jolloin teräs syöpyy hyvin nopeasti (Lindström 1992). Tutkimuksen mukaan raudan liukenemiseen vaikuttavat virtausnopeuden ja hapen määrän lisäksi merkittävästi saostumien mikrorakenne ja koostumus sekä pinnoitteen rakennemuutokset (Sarin ym. 2004).

### *Veden laatu*

Sinkin yleisen liukenemisen estämiseksi on esitetty, että veden pH:n tulisi olla yli 7, kalsiumpitoisuuden yli 0,5 mmol/l (20 mg/l) ja alkaliteetin yli 1 mmol/l (bikarbonaattipitoisuus yli 60 mg/l) (Määttä ja Kaunisto 1997). Toisessa lähteessä veden laatuvaioitteeksi esitetään, että pH olisi 8,0-8,8 ja alkaliteetti yli 0,6 mmol/l, sillä sinkin liukenemisnopeus pienenee logaritmisesti pH:n muuttuessa 7:stä 8:aan (Suomen kuntaliitto

1993). Veden pH-arvoksi on ehdotettu myös 8,3-10,5 (Järvinen ym. 1987). Sinkki on periaatteessa stabiili pH-alueella 6-12,5, mutta pehmeässä ja happamassa vedessä suojakerroksen muodostuminen on hankalaa, jolloin sinkkiä liukenee tasaisesti (Aromaa 2001). Aromaan (2001) mukaan Rückert ym. (1988) toteavat, että pH:n ollessa 8 ja pinnoitteen paksuuden ollessa 25-40 µm kuumasinkityn putken kestoikä oli yli 10 vuotta. Sinkki liukeni pois kahdessa vuodessa veden pH:n ollessa 7.

Saksalaisen standardin mukaan sinkityn teräksen yleisen korroosion estämiseksi vedessä ei saisi olla vapaata hiilidioksidia yli 30 mg/l, mutta bikarbonaattia pitäisi olla yli 1 mmol/l. Paikalliskorroosion riski on pieni kaikkien seuraavien arvojen täyttyessä: bikarbonaatti >2 mmol/l,  $([Cl] + 2[SO_4]) / \text{bikarbonaatti} < 1$  ja  $[Ca] > 20$  mg/l. Lisäksi sinkittyjä teräsputkia tulisi käyttää vain vedessä, jonka pH on yli 7,3 (DIN 50930-3). Veteen liuennut kupari jalompana metallina aiheuttaa sinkin syöpymistä. Jopa 0,01 mg/l kuparipitoisuudella on todettu olevan vaikutus sinkin syöpmiseen (Suomen kuntaliitto 1993).

Tutkimuksessa todetaan, että tanskalaisittain pehmeässä ja vähän bikarbonaattia sisältävässä vedessä sinkityt teräsputket kestävät yleensä 15-20 vuotta. Keskikovassa vedessä putket kestävät paremmin mikäli klorideja ja sulfaatteja ei ole liikaa. Samoin todetaan, että kuparisia putkia, messinkisiä tai punametallisia materiaaleja ei saa käyttää yhdessä sinkityn teräksen kanssa. Sinkityn teräksen käyttöikä oikein käytettynä ja optimaalisissa virtausolosuhteissa olisi luokkaa 30 vuotta (Fortenay ym. 2005). Tanskalainen veden laatu on keskimäärin kovempi ja sisältää enemmän bikarbonaattia kuin suomalainen.

Sinkitylle teräkselle hyvälaatuinen veden tekninen laatu tiedossa olevien lähteiden perusteella on: pH yli 7,3, bikarbonaatin pitoisuus vähintään 60 mg/l ja kalsiumin 20 mg/l. Myös kloridin ja sulfaatin suhde bikarbonaatin määrään tulisi ottaa huomioon.

#### 4.3.5 Ruostumaton teräs

##### Ominaisuudet ja suojaus

Ruostumattomia teräksiä käytetään jakeluverkostoissa ja kiinteistöissä putki- ja liitoskappalemateriaaleina. Kiinteistöjen putkissa käytetään eniten puristusliitoksia, mutta myös hitsausta. Kiinteistöissä putkien liittämässä suositellaan käytettäväksi puristusliittimiä, joissa on muusta materiaalista kuin metallista valmistettu sulkijarengas. Eniten käytetään austeniittisiä ruostumattomia teräksiä, joissa seosmetalleina käytetään kromia ja nikkeliä. Austeniittisen Cr-Ni-terästen eli vesihuollossa tavallisen ruostumattoman teräksen lisäksi käytetään haponkestävää Cr-Ni-Mo-terästä. Vesihuollossa käytettyjen ruostumattomien terästen ns. perustyyppit ovat EN 1.4301 ja 1.4307 ja haponkestävän teräksen EN 1.4401 ja 1.4404. Ruostumattomien terästen korroosionkestävyys perustuu metalliseoksen kromiin, jota on vähintään 11-12 %. Kromiseostuksen ansiosta pintaan muodostuu kromin ja raudan oksidien kerros, passiivikalvo, joka on paksuudeltaan 5-10 nm. Kun teräs on passivoitunut, on syöpyminen erittäin hidasta (Outokumpu Stainless Steel 2004). Passivoituneen teräksen oksidikerroksen rakenne teräksen pinnalla on kaksikerroksinen, jolloin sisempi kromioksidien kerros (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) on hapen kulkua estävä ja ulompi koostuu seosmetallien hydroksideista tai suoloista (Pehkonen 2001). Jotta pinta pysyy passiivisena, on suojakerroksen kestettävä ehjänä tai murtuessaan muodostuttava heti uudestaan (Aromaa 2001). Suojakerroksen koostumuksessa ja rakenteessa voi olla eroja riippuen olosuhteista, joissa se syntyy.

## Vauriotyypit

Ruostumattomissa teräksissä todettuja korroosimuotoja ovat piste- ja rakokorroosio, jännityskorroosio sekä mikrobiologinen ja ulkopuolinen korroosio (taulukko 11). Syöpymistä aiheuttaa yleensä kloridi. Piste- ja rakokorroosiossa kloridit rikkovat passiivikalvon ja teräkseen syntyy terävärajaisia syöpymäkuoppia, jotka kasvavat nopeasti (Kunnossapitoyhdistys 2006).

Ruostumattomat teräkset kestävät yleensä hyvin erilaatuisia vesiä. Ruostumattoman teräksen ns. perustyyppit (EN 1.4301 ja 1.4307) ovat kuitenkin suhteellisen herkkiä klorideille. Kloridien vaikutus perustuu siihen, että ne rikkovat paikoin passiivikalvon. Vesihuollossa käytetään paljon ns. haponkestäviä teräksiä (EN 1.4401 ja 1.4404), joiden sisältämä molybdeeni suojaa paremmin kloridien aiheuttamalta pistekorrosiolta.

Ruostumattoman teräksen kestävyys maaperässä vaikuttaa teräksen koostumus ja maaperän kloridipitoisuus. Maaperässä tulisi käyttää molybdeenia sisältäviä laatuja eli ns. haponkestävää terästä. Asennettaessa ruostumatonta terästä maaperään tulisi teräslaatu ja seinämänpaksuus valita huolellisesti (Vinka 2003b). Ruostumattoman teräksen perustyyppien maaperäkäytössä keskimääräiseksi painohäviöksi on suppeissa kokeissa havaittu 1/10-osa hiiliterästen painohäviöstä, kun taas haponkestävien ruostumattomien terästen osalta 1/100. Maalajien muutoskohdat voivat olla riskipaikkoja korroosiolle. Happipitoisuuksien erot eri maalajeissa aiheuttavat potentiaalieron ja lisäävät riskiä korroosiolle. Mahdollinen pohjaveden pinta voi aiheuttaa merkittävän eron happipitoisuudessa. Kuten putkessa virtaavan veden osalta, maaperän sisältämä kloridipitoisuus vaikuttaa selvästi korroosioriskiin. Tavallisen ruostumattoman teräksen keskimääräiseksi syöpymisnopeudeksi on arvioitu ei-aggressiivisessa maassa luokkaa 0,04-0,1 mm/100 vuotta ja aggressiivisessa maassa 0,4-1 mm/100 vuotta. Haponkestävien terästen osalta vastaavat luvut ovat 0,005-0,01 mm/100 vuotta ja 0,06-0,1 mm/100 vuotta. Arvio perustuu suppeaan pohja-aineistoon ja paikalliset olosuhteet vaikuttavat syöpymisnopeuteen. Lisäksi on otettava huomioon, että pistesyöpymisnopeudet voivat olla merkittäviä, mutta molybdeeniseostus pienentää nopeuksia merkittävästi (Talja ym. 2006).

**Taulukko 11.** Ruostumattomien terästen syöpymismekanismit jakelu- ja kiinteistöverkostoissa. Ilmiöiden yleisyydestä ei voida vetää johtopäätöksiä materiaalin käyttäistä.

Korroosiotyyppi	Yleisyys Suomessa	Korroosion aiheuttajia	Syöpymisriskiä lisäävän veden ominaisuuksia
<b>EN 1.4301 ja 1.4307 ("ruostumaton teräs")</b>			
Pistekorroosio	piste- ja rakokorroosio yleisimmät muodot	veden laatu (kloridit), herkistyminen väärän lämpökäsittelyn tai hitsauksen seurauksena lisää riskiä hitsisaumojen kohdalla, korkea lämpötila	seisova vesi, myös suuri virtausnopeus >15 m/s, kloridi >150 mg/l
Rakokorroosio	piste- ja rakokorroosio yleisimmät muodot	veden laatu (kloridit), korkea lämpötila, kloridia sisältävät tiivisteet, virheellinen asennus	kloridi >200 mg/l, kiinteistöissä kloridi >50 mg/l
Jännityskorroosio	harvinainen	-	lämpötila >50 °C, pH <7,0, kloridi >50 mg/l
Mikrobiologinen korroosio	ei tietoa	vähäinen virtaus lisää riskiä, päästövärialueilla suurempi riski	ei tietoa
Ulkopuolinen korroosio kiinteistöissä	ei tietoa	lämpimän veden putkissa jännityskorroosio mahdollinen jos ulkopintaan pääsee kloridipitoista vettä	johdettavan veden ominaisuudet eivät vaikuta

Ulkopuolinen korroosio maaperässä (paikalliskorroosio ja mikrobiologinen korroosio)	yleinen korroosimuoto	maaperän olosuhteet: kloridi-ionien korkea pitoisuus ja maaperän vesipitoisuus nostavat riskiä, mikrobiologinen toiminta varsinkin anaerobisissa olosuhteissa	johdettavan veden ominaisuudet eivät vaikuta
---	-----------------------	---	--

---

**EN 1.4404 ja 1.4401 ("haponkestävä teräs")**

---

Rakokorroosio	ei tietoa	lämpötila, virheellinen asennus	kloridi >500 mg/l
---------------	-----------	---------------------------------	-------------------

Mikrobiologinen korroosio	ei tietoa	vähäinen virtaus lisää riskiä, päästövärialueilla suurempi riski	ei tietoa
---------------------------	-----------	--	-----------

Ulkopuolinen korroosio maaperässä (paikalliskorroosio ja mikrobiologinen korroosio)	yleinen korroosimuoto	maaperän olosuhteet: kloridi-ionien korkea pitoisuus ja maaperän vesipitoisuus nostavat riskiä, mikrobiologinen toiminta varsinkin anaerobisissa olosuhteissa	johdettavan veden ominaisuudet eivät vaikuta
---	-----------------------	---	--

---

## Asennuksen vaikutukset

Silloin kun korroosiota esiintyy ruostumattomissa teräksissä, tyypillisin paikka on liitos ja korroosionkestävyyteen voi vaikuttaa liitostapa sekä työn laatu. Painekekeen jälkeen veden pitkä seisonta-aika lisää pistekorroosion riskiä, joten järjestelmä tulisi tällöin tyhjentää vedestä tai joko kierrättää vettä säännöllisesti tai nostaa veden pH-arvoa (9-10) (Outokumpu Stainless Steel 2004). Hitsauksessa ruostumaton teräs voi herkistyä ja sen pistekorroosion vastustuskyky heikentyä merkittävästi (Kielemoes ym. 2002). Tavallisten ruostumattomien terästen osalta hitsin hyvä laatu voidaan havaita hitsin hieman kellertävästä päästöväristä. Muiden värien ilmeneminen on merkki kyseisen kohdan merkittävästä korroosionkestävyyden alenemisesta. Jos pinnan laatu ei ole riittävä, voidaan kohta käsitellä jälkikäteen mekaanisesti tai kemiallisesti korroosionkestävyyden palauttamiseksi (Outokumpu Stainless Steel 2004). Tiivisteissä käytettävien materiaalien sisältäessä klorideja yli 0,05 % riski kuoppa- ja rakokorroosioon lisääntyy (DIN 50930-4). Kuparimetalleja ja ruostumattomia teräksiä voidaan yleensä käyttää samassa rakenteessa ilman ongelmia. Hiiliterästä ja valurautaa ei pidä liittää ruostumattomaan teräkseen, sillä vesiympäristössä ruostumaton teräs aiheuttaa voimakasta galvaanista korroosiota teräksessä ja valuraudassa (Savisalo 1980).

## Veden laadun, lämpötilan ja virtausolojen vaikutukset

Veden laatu voi vaikuttaa ruostumattoman teräksen peruslaatujen eri korroosiotyyppeihin. Tavallisen ruostumattoman teräksen pitäisi kestää rakokorroosiota hyvin, kun kloridipitoisuus on alle 200 mg/l ja haponkestävän teräksen, kun kloridipitoisuus on 200-500 mg/l. Oletuksena tällöin on, että veden pH on normaalilla talousveden tasolla (Erkkilä ym. 1984). Ruostumattoman teräksen peruslaadussa EN 1.4307 on havaittu jännityskorroosiota kloridipitoisessa vedessä ja jos vesi seisoo ja kloridit voivat saostua, myös pistekorroosiota saattaa esiintyä. Erityisesti pistekorroosio-ongelmia voivat aiheuttaa herkistyneet hitsisaumat, joiden läheisyydessä kromi on päässyt sitoutumaan karbideiksi (Aromaa 2001). Pistekorroosion riski on suurin seisovassa vedessä ja vähenee virtausnopeuden kasvaessa. Myös veden emäksisyyden nousu vähentää riskiä (Kunnossapitoyhdistys 2006). Tanskalaisen standardin (DS439) mukaan veden kloridipitoisuus ei saisi olla yli 150 mg/l (Fortenay ym. 2005). Myös Suomen kunnallisteknillinen yhdistys (1987) on antanut suosituksia veden laaduksi ja putken paksuudeksi. Veden pH:n tulisi olla 6,5-9,0, putken seinämän paksuuden yli 1,5 mm ja virtausnopeuden alle 15 m/s. Lämpötilan nousu lisää molempien terästyypin pistekorroosioriskiä (Kunnossapitoyhdistys 2006).

Teknisesti hyvälaatuinen vesi ruostumattomilla teräksillä riippuu terästyypistä. Perustyypin EN 1.4301 ja 1.4307 osalta voidaan käytössä olevan tiedon perusteella todeta, että veden kloridipitoisuus ei saisi olla yli 150 mg/l. Seisova vesi ja lämpötilan nousu lisäävät korroosioriskiä. Myös haponkestävien terästen osalta tärkein vedenlaatuparametri on kloridipitoisuus, jonka tulisi olla alle 500 mg/l.

## Mikrobiologiset vaikutukset

Ruostumattomat teräkset ovat rautametalleista ainoita passivoituvia metalleja. Ruostumattomien terästen mikrobiologia käsitellään omana kohtanaan, vaikkakin samat

mekanismit kuten hapettomien alueiden muodostuminen muissa rautametalleissa lisäävät mikrobiologisen korroosion riskiä (kts. kohdat Metallit ja Harmaa valurauta). Rautaa ja mangaania hapettavien bakteerien tuottama ferrikloridi voi aiheuttaa voimakasta kuoppasyöpymistä ruostumattomissa teräksissä (Borenstein 1994). Ruostumattoman teräksen pintaan muodostunut biofilmi lisää selvästi katodisia reaktioita eli hapen pelkistymistä, mutta vaikutusta anodisiin reaktioihin biofilmillä ei näyttäisi olevan. Biofilmin korroosiota aiheuttavasta mekanismista ei ole yleisesti hyväksyttyä mallia (Outokumpu Stainless Steel 2004).

Mikrobiologisen toiminnan aiheuttamia vaurioita ruostumattomissa teräksissä esiintyy usein päästövärialueilla (Percival ym. 1998a). Bakterisaostumia löydettiin tutkimuksessa tyypillisimmin vaakatasoisten linjojen alaosasta sekä hitseistä (Hanjangsit ym. 1995). Kuitenkaan tutkimuksessa, jossa käytettiin pintavettä koeverkostossa, ei havaittu eroja mikrobikasvussa haponkestävän teräksen EN 1.4401 perusmetallin, herkistyneen ja juotetun alueen välillä (Kielemoes ym. 2002). Samoin ruostumattoman teräksen raerajojen ei todettu vaikuttavan biofilmien kasvuerkkyyteen eikä kiillotuksen havaittu estävän mikrobikasvua (Bachmann ja Edyvean 2006).

Talovesvedessä suoritettujen pitkäaikaiskokeiden jälkeen ruostumattomien teräsputkien biofilmeistä on tunnistettu mm. bakteerit *Acinetobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Arthrobacter* sp., *Methylobacterium* sp., *Bacillus* sp. ja *Pseudomonas* spp. (Percival ym. 1998a). Ruostumattoman teräksen mikrobiologinen korroosio, jonka aiheuttajana on rautaa hapettava *Gallionella*, tuottaa yleensä suuria onkaloita, jotka ovat seinämän sisällä näkymättömissä (Borenstein 1994).

Ruostumattoman teräksen perustyyppin ja haponkestävän teräksen biofilmeissä ei hiilihydraattien ja biomassojen perusteella näytä olevan merkittäviä eroja (Percival ym. 1998a). Kuitenkin Percivalin myöhemmin tekemässä tutkimuksessa ruostumattoman teräksen perustyyppi EN 1.4301 kolonisoitui selvästi helpommin kuin haponkestävä teräs EN 1.4404 (Percival ym. 1999). Myös Skotlannissa julkisessa rakennuksessa normaaleissa käyttöolosuhteissa lämminvesiputkissa suoritettussa kokeessa ruostumattoman teräksen perustyyppin pinnassa bakteerien määrä oli selvästi suurempi kuin haponkestävän teräksen pinnassa. Kokeessa havaitut erot säilyivät 19 kk ajan (Hanjangsit ym. 1995).

Veden virtausnopeuden kasvu on aiheuttanut tutkimusten mukaan elävien solujen määrän kasvun tavallisen ja haponkestävän ruostumattoman teräksen pinnassa (Percival ym. 1999). Veden vähäinen virtaus vaikutti selvästi enemmän ruostumattoman teräksen perustyyppin bakteerimääriin kuin haponkestävän (Hanjangsit ym. 1995). Virtauksen pysäytyksen jälkeen havaittiin gram-positiivisten bakteerien määrän lisääntyneen merkittävästi, kun taas virtausta jatkettaessa havaittiin vain gram-negatiivisia bakteereja (Kielemoes ym. 2002).

### 4.3.6 Kupari

#### Ominaisuudet, suojaus ja käyttö

Passivoituvana metallina kuparin pinnalle muodostuu reaktiotuotteista vedessä kalvo, joka suojaa metallia liukenemiselta. Veden laatu voi vaikuttaa kalvon muodostumisnopeuteen. Kupariputken mekaaninen kestävyys säilyy lämpötilaan 280 °C asti. Nykyään asennettavista kupariputkista noin puolet käytetään uudisrakentamiseen ja puolet peruskorjaukseen. Uudisrakentamisessa kovajuotosten osuus liitoksista on 60-70 % ja pressfittings-tyyppisten liitosten 20-30 %. Lisäksi käytetään helmiliitoksia 2-5 % ja juotettavia messinkiosia

(kierreltiittimet) 2-5 %. Pehmeäjuotosten osuus on nykyisin hyvin pieni, enimmillään luokkaa 1-2 %. Peruskorjauksessa liitostyyppien osuudet ovat erilaiset. Pressfittings-tyyppisten liitoksien osuus on 40-50 %, kovajuotoksen 40-50 % ja muiden liitostyyppien kuten edellä. Kiinteistöjen kupariputket voidaan asentaa pinta-asennuksina tai piiloon koteloon. Rakenteiden sisään asennettavien putkien tulee olla vuotovesisuojujattuja kupariputkia. Kupariputket voivat olla ulkopinnalta kromattuja, maalattuja tai muovipäälysteisiä. Lisäksi on kokeiltu tinalla sisäpinnoitettua kupariputkea, jossa tinan tarkoitus on antaa kuparille katodinen suoja.

## Vauriotyypit

Verkostomateriaaleista kuparin korroosiomekanismit ovat selvästi eniten tutkittuja, minkä vuoksi vaurioitumiseen vaikuttavista tekijöistä tiedetään keskimäärin enemmän kuin muilla materiaaleilla. Kuten muillakin metalleilla, kupariputken vauriot johtuvat yleensä korroosiosta, johon vaikuttavat veden laatu, asennustekniikka ja -laatu, suunnittelu sekä käyttöolosuhteet (virtausnopeus, lämpötila ja niiden vaihtelu).

Selvityksen mukaan vaurio kupariputkissa johtui putkiliitoksesta 43 %:ssa vuototapauksista ja putken seinämästä 49 %:ssa. Kuparisten putkien ja niiden liitosten vauriotapauksista 30 % johtui käyttöolosuhteista sekä teknisen käyttöiän loppumisesta (juotosten sinkinkato). Vauriotapauksista 45 % oli seurausta muista tekijöistä kuten asennus, suunnittelu, rakennussuunnittelu ja -työ. Selvityksessä vuodoista kupariputkissa 40 % oli kylmävesijohdoissa ja 60 % lämminvesijohdoissa, joista kuudesosa kiertojohdoissa. Yleisin vauriosyy kupariputkessa oli sisäpuolinen pistekorroosio (kylmä vesi 14/18 kpl ja kuuma vesi 14/23 kpl). Lisäksi oli tapauksia, joissa ulkopuolinen korroosio, eroosikorroosio, korroosioväsyminen tai muut syyt (jäätyminen, asennusvirhe, mekaaninen vaurio, epäselvä) olivat aiheuttaneet vaurion. (Määttä ja Kaunisto 1997)

Tavallisimmat kupariputkien korroosiomekanismit Suomessa ovat pistekorroosio ja eroosikorroosio, jotka kattavat yli 70 % kaikista vauriotapauksista. Korroosion eri tyypeiksi voidaan luokitella piste- ja eroosikorroosion lisäksi yleinen, piilo-, jännitys-, ulkopuolinen ja mikrobiologinen korroosio (Järvinen ym. 1987; Outokumpu 1990). Kuparin korroosiotyyppien osuuksiksi Suomessa on arvioitu: pistekorroosio 45 %, eroosikorroosio 27 %, piilokorroosio 14 %, korroosioväsyminen 6 %, yleinen korroosio 6 % ja jännityskorroosio 2 % (Outokumpu 1990). Poikkeuksellisen nopean korroosion syyksi paljastuu usein virheellinen asennustapa, syövyttävä ympäristö tai käyttöolosuhteet (Kaunisto 1991). Kuparin korroosiomekanismit on koottu taulukkoon 12. Taulukon tulkinnaissa on otettava huomioon, että korroosimuotojen määrä ei kerro kuparin suhteellisesta vaurioherkkyydestä tai vauriomääristä vaan enemmän siitä, että ilmiöitä on tutkittu.

Vanhoissa kupariputkissa ongelmana on ollut juotosliitosten vaurioituminen. Messinkijuotteita ei enää käytetä asennuksissa, joten tämäntyyppisiä vaurioita esiintyy vain vanhoissa rakennuksissa (Määttä ja Kaunisto 1997). 1950-1970-lukujen messinkijuotoksissa sinkinkato on yleistä. Tarkemmin juotteista ja liitoksista on kohdassa asennuksen vaikutukset.



**Taulukko 12.** Kuparin syöpymismekanismit. Kuparia on tutkittu eniten johtuen sen laajasta käytöstä vesijohdoissa. Korroosiotyyppien lukumäärästä tai ilmiöiden keskinäisestä yleisyydestä ei voida vetää johtopäätöksiä materiaalin käyttöiästä.

Korroosiotyyppi	Yleisyys Suomessa	Kylmä / lämmin vesi	Putken tyyppi	Korroosion aiheuttajia	Korroosion estäminen
Eroosiokorroosio	n. 25-30 %	lämmin vesi	ei vaikutusta	mitoitus- ja asennusvirheiden seurauksena liian suuri virtausnopeus tai pyörteisyys, riskiä lisää korkea lämpötila, matala pH ja kloridipitoisuus, veden laatu	mitoitus- ja asennusvirheiden välttäminen, veden teknisen laadun parantaminen
Rako- ja piilokorroosio	n. 15 %	ei tietoa	ei tietoa	kohdat, joissa hidas virtaus ja kiinteä aine pääsee peittämään metallia tai liitosraot	veden teknisen laadun parantaminen, oikeanlainen asennus ja suunnittelu
Korroosioväsyminen	n. 5 %	ei riipu	yleensä kovien putkien juotosliitosalueet tai riittämättömät paisuntakaaret	asennusvirheet, riittämättömät lämpöliikevarat	oikea asennus eli putkelle jätettävä riittävä laajenemisvara
Jännityskorroosio	harvinainen	ei riipu	kovat putket	kosteus ja typpiyhdisteet (ammoniakaaliset aineet)	typpiyhdisteiden pääsyn estäminen putken pinnalle, rakenteisiin sijoitettuna putkien pinnoittaminen muovilla
Ulkopuolinen korroosio	ei tietoa	kylmä vesi	kylmävesiputket, erityisesti pinnoittamattomat putket	ulkopinnan kostuminen (esim. eristeet)	kosteissa tiloissa tai jos kosteuden tiivistyminen mahdollista, pinnoitettujen putkien käyttö

Mikrobiologinen korroosio	ei löydetty	kylmä ja lämmin vesi	useiden lähteiden perusteella ei vaikutusta	lämmivesilinjassa liian alhainen lämpötila tai kylmävesilinjassa liian korkea lämpötila, umpipäät ja pitkät horisontaaliset linjat lisäävät riskiä	riittävä puhtaus kaikissa vaiheissa, aika asennuksen ja käyttöönoton välillä lyhyeksi, veden kierron lisääminen, kiintoaineksen ja TOC:n vähentäminen, umpiperien ja pitkien vaakalinjojen välttäminen
Yleinen korroosio	ei tietoa (ei aiheuta vaurioita)	kylmä ja lämmin vesi, riski suurempi lämpimässä vedessä	ei vaikutusta	veden laatu, riskiä lisää pehmeä vesi ja matala pH, liian vähäinen tai likaisella vedellä suoritettu painekoe ja huuhtelu	veden teknisen laadun parantaminen, oikein tehty käyttöönotto
Pistekorroosio	n. 40-50 %	riippuu pistekorroosion tyypistä	riippuu osittain pistekorroosion tyypistä	veden laatu, riskiä lisää korkea sulfaatin konsentraatio, kasvavat sulfaatti/kloridi ja sulfaatti/karbonaatti suhteet	veden teknisen laadun parantaminen, oikein tehty käyttöönotto
<i>-Tyyppi 1</i>	harvinainen	kylmä vesi	hehkutetut ja puolikovat	valmistuksessa jäänyt hiilikalvo, veden laatu	standardinmukaiset tuotteet, veden teknisen laadun parantaminen
<i>-Tyyppi 2</i>	selvästi yleisin pistekorroosio muoto → n. 40-50 %	lämmin vesi	ei vaikutusta	veden laatu, riskiä lisää hapan ja pehmeä vesi, korkea sulfaatin konsentraatio, kasvavat sulfaatti/kloridi ja sulfaatti/karbonaatti suhteet	veden teknisen laadun parantaminen
<i>-Tyyppi 3</i>	ei löydetty	kylmä vesi	ei vaikutusta	osittain epäselvää, tyypillisesti pehmeä vesi, matala alkaliteetti	veden teknisen laadun parantaminen
<i>-Silikaattikalvot</i>	joitakin tapauksia	kylmä ja lämmin, riski suurempi lämpimässä vedessä	ei vaikutusta	mekanismi tuntematon, esiintyy lähinnä käsittelemättömissä hiilidioksidipitoisissa pohjavesissä	veden teknisen laadun parantaminen: vedenkäsittely, joka poistaa hiilidioksidia kuten ilmastus auttaa; putkiston huuhtelu D 1:n mukaisesti auttaa

## Asennuksen vaikutukset

Kuparin asennustekniikat ovat muuttuneet aikojen kuluessa ja niistä on olemassa paljon tietoa. Lisäksi erilaisista asennukseen liittyvistä työtavoista ja vaiheista on huomattavasti tietoa. Suunnittelu- ja asennusvirheillä on suuri vaikutus vaurioiden määriin. Suomalaisessa tutkimuksessa havaitut vauriot kuparisissa lämminvesiputkissa johtuivat yleensä vääränlaisesta asennuksesta. Ongelmallisimpia olivat messinkiset haarajuotokset ja kiertojohtoon liitokset (Järvinen ym. 1987). Liian jyrkät ja huonosti tehdyt taivutukset, joissa putki on litistynyt tai sisäpinta poimuttunut, johtavat pyörteiseen virtaukseen ja eroosiokorroosioon (Lindström 1992). Eroosiokorroosio johtuu käytännössä liian suuresta virtausnopeudesta tai keskittyy kohtiin, joissa virtaus on häiriintynyt (Kunnossapitoyhdistys 2006). Korroosioväsyminen johtuu myös väärin asennetuista putkistoista, jolloin putki ei pääse liikkumaan lämpölaajenemisen myötä.

### *Toimenpiteet käyttöönotossa*

Kupariputkille kuten kaikille muillekin putkimateriaaleille on tärkeää tehdä ennen käyttöönottoa oikeanlainen huuhtelu, joka tulisi tehdä mahdollisimman pian asennuksen jälkeen (Ympäristöministeriö 2007). Riittävä virtausnopeus (vähintään 0,5 m/s) poistaa juotoshilseet ja passiivikerros pääsee syntymään paremmin. Sekä huuhtelussa että käyttökokeessa tulee käyttää puhdasta vettä eikä vesi saa jäädä seisomaan putkistoon ennen käyttöönottoa. Kaikkia vesipisteitä tulisi käyttää huuhtelussa. Saksassa käytetään ns. sykehuuhtelumenetelmää varmistamaan puhdistuminen ja passiivikerroksen syntyminen (Lindström 1992).

### *Kovajuotto*

Kupariputkien yleisin liitostapa on kovajuotto. Kovajuotoksen tulee olla fosforikuparijuotetta Ag-Cu-P ja sen tulee sisältää vähintään 2 % hopeaa. Liitoksessa juote täyttää putkien välisen raon ja käytettävät yhteet ovat kapillaarisia. Liitoksen onnistuminen edellyttää välyksen maksimiksi 0,2 mm ja päällekkäisten liitospintojen on oltava pituudeltaan vähintään kolme kertaa ohuimman seinämän paksuus. Liitettäessä kuparia kupariin tällä juotteella ei tarvita juoksutetta, mutta jos juotteella liitetään kuparia messinkiin tai punametalliin, on käytettävä juoksutetta. Juoksute on puhdistettava pinnoilta huolellisesti sen syövyttävyyden vuoksi. Lisäksi kovajuotosliitoksissa on vaarana syntyä yli 800 °C asteen käytöstä johtuvia muutosvyöhykkeitä. Näihin vyöhykkeisiin saattaa muodostua murtumia esim. putkistojen lämpöliikkeen ja värinän seurauksena. (SCDA 2005)

Nykyään käytettävät fosforikuparijuotteet korvasivat 1970-luvulla kokonaan muut juotemateriaalit. Tavallisten fosforikuparijuotteiden lisäksi kovajuotoksiin käytettiin 1960- ja 1970-lukujen vaihteessa paljon hopeaa sisältäviä hopea-, hopeamessinki- ja hopeafosforikuparijuotteita. Erityisesti on huomattava, että verkostoja rakennettiin usein siten, että runkojohtojen ja nousulinjojen juotoksissa käytettiin eri seoksia (Karjalainen 1995). 1960-luvulla käytetyt hopea-fosfori-kuparijuotokset ovat tutkimusten mukaan yleensä pysyneet hyväkuntoisina (SITRA 1980). Juotokset eivät tavallisesti aiheuta korroosipulmia, vaikkakin kovajuotteet ovat tavallisesti jonkin verran jalompia kuin pehmeäjuotteet (Suomen Metalliteollisuuden keskusliitto 2001).

Aiemmin käytetyt messinkijuotteet ovat aiheuttaneet vaurioita niissä tapahtuneen sinkinkadon vuoksi. Sinkinkadon ja korkean työlämpötilansa takia messinkijuotteiden

käytöstä on luovuttu kiinteistöjen kylmä- ja lämminvesijohdoissa. Muhviliitosta suositellaan käytettäväksi, sillä se on korroosion kannalta parempi kuin päittäisliitos. Kapillaariliitososien käyttö on myös edullisempi, sillä virtaushäiriöt ja näin ollen eroosiokorroosion vaara ovat pienemmät (Suomen Metalliteollisuuden keskusliitto 2001). Vuonna 1997 suoritetussa vaurioselvityksessä juotosliitoksissa oli edelleen enemmän vaurioita kuin messinkiliittimissä. Juotosliitoksista vain kolmannes oli tehty kapillaariosilla (Määttä ja Kaunisto 1997). Messingin sinkinkadon ja vedenlaadun vuorovaikutuksia on käsitelty tarkemmin messingin yhteydessä.

### *Pehmeäjuotto*

Pehmeäjuotoksia ei käytännössä enää Suomessa asenneta kupariputkien liitoksiin, sillä pehmeäjuotettu liitos on heikompi kuin kovajuotettu liitos. Pehmeäjuotosliitoksessa pitäisi käyttää vain tehdasvalmisteisia kapillaariliitoksiin tarkoitettuja yhteitä. Liitoksen rako saa olla korkeintaan 0,05-0,2 mm, jotta juotesula leviää riittävästi. Sekä pehmeä- että kovajuotoksessa on tärkeää, että liitettävä pinta on puhdas (SCDA 2005). Pehmeäjuotoksessa on mahdollista käyttää kolmea juotetta: 1) tina-hopeajuote (5 % hopeaa) (SnAg5), 2) tina-kuparijuote, jossa 3 % kuparia (SnCu3) ja 3) tina-hopeajuote, joka sisältää 3 % hopeaa (Sn96Ag4). Pehmeäjuotosta tehtäessä on aina käytettävä juoksutetta. Asianmukaiset juoksutteen on esitetty standardissa SFS EN 29454-1 (Ympäristöministeriö 2007). Juoksute on metallia syövyttävää ainetta ja sen käytössä on oltava varovainen. Juoksutetta ei saa sivellä liitososien sisäpinnoille, koska tällöin osia yhdistettäessä juoksutetta työntyy liitososaan sisälle (SCDA 2005).

### *Mekaaniset liitokset*

Puristusliitosta käytetään yleisesti kupariputkien pinta-asennuksissa, korjaustöissä ja kohteissa, joissa palovaara estää juotosten käytön (SCDA 2005). Liitostapaa käytetään koviin suoriin putkiin ja pehmeisiin kieppiputkiin sekä näkyville jääviin että rakenteisiin piiloon jääviin putkiin (Lindström 1992). Puristusliittimien käyttö on yleistymässä. Puristettavat tiivisterenkaalliset putkiliittimet on kehitetty jo 1960-luvulla, mutta kupariputkille tätä liitostekniikkaa on Euroopassa käytetty noin 10 vuotta. Liittimien mittavalikoima kattaa putkikoot 12 - 54 mm (SCDA 2005). Puristusliitoksessa käytetään kartiorenkaita, jotka puristetaan putken ympärille kiristysmuttereilla. Käytännössä kaikki putken katkaisussa jääneet jäysteet tulee poistaa ja pitää huoli siitä, että putken pintaan ei jää pituussuuntaisia naarmuja. Liikakiristämistä pitäisi myös varoa. Käytettävien liittimien on oltava sinkinkadon kestäviä. Liittimen tiiviste ei joudu rasitukseen, sillä kaikki mekaaniset voimat kohdistuvat putken ja liittimen metalli-metallipintaan (Lindström 1992).

Pistoliittimiä käytetään kovien suorien ja pehmeiden kieppiputkien asennuksissa. Pistoliitos on avattavissa ja purettavissa asennuksen jälkeen. Pistoliittimet valmistetaan joko kuparista tai messingistä, mutta pinta-asennuksissa voidaan käyttää ulkopinnalta kromattuja liittimiä (SCDA 2005). Laippaliitosta voidaan joutua käyttämään liitettäessä kupariputki pumppuun, laipalliseen venttiiliin tms. (Lindström 1992).

### **Veden laadun, lämpötilan ja virtausolojen vaikutukset**

Kupariputket kestävät yleensä hyvin vesiympäristöissä, mutta ongelmia voivat aiheuttaa tietyt olosuhteet. Yleensä kyseessä on aggressiivinen vesi, joka haittaa suojakerroksen

muodostumista tai vioittaa jo muodostunutta kalvoa. Monien korroosiomuotojen ilmenemisriskiin vaikuttaa asennuksen ja käyttöönoton laatu. Joissain vauriomuodoissa kuten esim. eroosikorroosiossa ja korroosioväsymisessä selvästi suurin osa vaurioista johtuu virheellisestä asennuksesta ja käyttöönotosta.

### *Eroosikorroosio*

Kupariputki on alttiimpi vesiympäristössä eroosikorroosiolle kuin rautametallit johtuen sen pehmeystä (Kunnossapitoyhdistys 2006). Maksimisyöpymisnopeus riippuu veden laadusta ja erityisesti lämpötilasta (Wagner 1992). Eroosikorroosion riski on suurempi lämminvesilinjoissa (Määttä ja Kaunisto 1997). Riskiä lisäävät suuri happi- ja kloridipitoisuus sekä matala pH. Pehmeä vesi edistää eroosikorroosiota, kun taas kova ja neutraali vesi hidastaa sitä (Järvinen ym. 1987). Myös kiintoaineiden määrällä ja laadulla voi olla merkitys eroosikorroosioon. Pelkkä yleinen virtausnopeus ei ratkaise eroosikorroosion voimakkuutta vaan yksittäiset putkiston kohdat (esim. mutkat) saattavat olla alttiimpia vaikutuksille kuin toiset, varsinkin jos on tehty asennus- tai suunnitteluvirheitä.

Suomen rakentamismääräyksissä (D1) on asetettu rajat suurimmiksi virtausnopeuksiksi kupariputkien syöpmisen estämiseksi. Rajat ovat samat sekä jako- että kytkentäjohdoissa. Kylmän veden suurin hyväksytty nopeus on 4,0 m/s ja lämpimän 3,0 m/s. Mikäli johdossa on jatkuva virtaus, on virtausnopeuden maksimiarvo 1,0 m/s ja lämpimän veden kiertojohdossa mitoitusarvo 0,5 m/s. Lämpimän veden lämpötilan tulee olla säädetty niin, että paluuveden lämpötila on yli 55 °C (Ympäristöministeriö 2007). DIN 50930:n mukaan virtausnopeus varsinkin lämpimän veden kiertojohdoissa on oleellinen. Liian suuri virtausnopeus lämpimän veden kiertojärjestelmässä voi johtaa jopa 0,1-0,3 mm/a:n syöpmisnopeuteen jolloin vaurioita voi esiintyä 5-10 vuoden kuluessa (Wagner 1992).

### *Korroosioväsyminen*

Korroosioväsymistä on tavattu kuparisissa lämminvesijohdoissa, kun putket eivät ole pystyneet liikkumaan veden lämpötilanmuutosten aikaansaaman lämpölaajenemisen ja sen seurauksena tapahtuneiden pituusmuutoksien mukana (Suomen Kunnossapitoyhdistys 2006). Korroosioväsyminen voidaan estää kokonaan oikealla asennuksella.

### *Rako- ja piilokorroosio*

Korroosiomuodolle on tyypillistä, että se tapahtuu kohdissa, joissa veden virtaus on hyvin pieni. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi putkistojen liitosraot tai kohdat, joissa jokin kiinteä aine peittää metallin pinnan (Karjalainen 1995). Lämpimän veden linjoissa rakokorroosion riski on pieni, kun bikarbonaatin ( $\text{mol/m}^3$ ) suhde sulfaatin konsentraatioon on yli 2 (DIN 50930-5).

### *Jännityskorroosio*

Jännityskorroosio voi aiheuttaa putkien murtumista. Edellytyksenä on altistuminen korroosiota edistävillä olosuhteilla ja vetojännityksillä (Karjalainen 1995). Typpiyhdisteet (ammoniakki, amiini, nitraatti ja nitriitti) ja kosteus aiheuttavat jännityskorroosiota kuparimetalleille yleensä putken ulkopinnassa. Typpiyhdisteitä voi päästä pinnalle

valmistuksesta, pesuaineista, tiivisteistä, eristeistä tai vedenkäsittelykemikaaleista (ASM 1992). Jännityskorroosion estämiseksi kosteissa oloissa ja etenkin rakenteissa putkien pitäisi olla muovipinnoitettuja (Määttä ja Kaunisto 1997).

### *Selektiivinen korroosio*

Selektiivistä eli valikoivaa korroosiota ei esiinny itse kupariputkissa, mutta aiemmin kovajuotoksissa käytetty messinki voi vaurioitua sinkinkadon seurauksena. Seoksen komponenteista yksi syöpyy muiden säilyessä ennallaan. Sinkinkato johtaa seostetun messingin haurastumiseen, kun sinkki liukenee rakenteesta. Korroosion etenemiseen vaikuttavat materiaalin koostumus ja mikrorakenne. Sinkinkatoa on käsitelty tarkemmin messingin yhteydessä.

### *Ulkopuolinen korroosio*

Ulkopuolinen korroosio ei riipu veden laadusta. Ulkopuolista korroosiota voi aiheuttaa putkipintojen kastuminen tai kostuminen esim. kosteuden tiivistymisen vuoksi. Lisäksi joitakin yksittäisiä vauriotapauksia on tavattu 1980-luvulla kupariputkista, joiden suojaputkena käytettiin PVC-putkea. Suojaputkien päät tulee jättää avoimiksi, jotta kondenssikosteus pääsee poistumaan, eikä PVC-putkea pitäisi käyttää metalliputkien suojaputkena (Määttä ja Kaunisto 1997; Karjalainen 1995). Osa tällä hetkellä asennettavista kupariputkista on ulkopinnasta maalattuja tai muovipinnoitettuja, mikä suojaa niitä ulkopuoliselta korroosiolta pinnoitteen ollessa ehjä.

### *Yleinen korroosio*

Yleinen korroosio on tavallisinta happamissa ja pehmeissä vesissä ja sen nopeus on korkeintaan luokkaa 10 µm vuodessa. Kuparin yleinen korroosio ei yleensä aiheuta putkivuotoja tai laitteistovaurioita (Aromaa 2001). Kuparin yleinen korroosio aiheuttaa veden kuparipitoisuuden nousua ja kuparipitoinen vesi voi värjätä saniteettikalusteita. Yleisessä korroosiossa kuparin pintaan ei pääse muodostumaan suojakerrosta. Veden laadulla on suuri merkitys suojakalvon muodostumisessa ja on esitetty, että kuparilla esiintyy yleistä korroosiota, jos veden pH on alle 6,7. Samoin korroosio lisääntyy vapaan hiilidioksidin määrän ollessa yli 15 mg/l. Erittäin pehmeässä vedessä syöpyminen voi lisääntyä jopa korkeammassa pH:ssa (Järvinen ym. 1987). Mattssonin (1990) mukaan pH-arvon tulisi olla aina yli 7,0 ja mielellään yli 7,5, mutta ei yli 9,0. Yleisesti kuparin ja messingin syöpymisriskin pienentämiseksi talousveden olisi hyvä olla bikarbonaattipitoisuudeltaan 70-300 mg/l, sisältää sulfaattia alle 100 mg/l ja bikarbonaatin suhde sulfaattiin tulisi olla yli 1. Lisäksi kloridipitoisuuden pitäisi olla alle 100 mg/l ja bikarbonaatin ja kloridin suhteen mahdollisimman suuri. Fortenay ym. (2005) esittävät, että liukeneminen lisääntyy veden bikarbonaattipitoisuuden noustessa n. yli 240 mg/l. Suomessa tällaisia bikarbonaattipitoisuuksia ei yleensä esiinny. Toisaalta on esitetty, että hiilidioksidin kokonaismäärä olisi ratkaiseva eikä se kuinka paljon hiilidioksidia on ylimäärin bikarbonaattitasapainoon verrattuna (Aromaa 2001).

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa kuparin liukeneminen putkista oli selvästi voimakkaampaa jos pH oli 7,0 kuin jos se oli 9,5. Samassa kokeessa kuparin liukeneminen lisääntyi orgaanisen aineksen vaikutuksesta eri lämpötiloissa (4, 20 ja 60 °C), ja suurimmat liukoisen kuparin määrät mitattiin liukoisen luonnollisen orgaanisen aineksen (NOM) yhteydessä

(Boulay ja Edwards 2001). Ruotsalaisessa tutkimuksessa havaittiin, että vesi, jonka alkaliteetti on matala ja pH korkea, vähentävä NOM-määrä pienentää myös kuparin liukoisuutta (Elfström-Broo ym. 1998). Myös Johansson (1989) toteaa hiiliyhdisteiden lisäävän korroosiota neutraalissa vedessä, mutta että niillä ei ole vaikutusta korkeassa pH:ssa. Toisaalta Ruotsissa käsittelemättömät vedet ovat usein neutraalilla pH-alueella ja hiiliyhdisteiden konsentraatio voisi olla ratkaisevaa kuparin korroosion kannalta. Tutkimuksessa kalsium-, kloridi- ja sulfaattipitoisuuksilla oli hyvin pieni vaikutus kuparin korroosioon. Erilaisten vesien sekoittumisen vaikutuksesta kuparin yleiseen liukenemiseen ei ole tietoa. Tutkimuksien tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että suomalaiset vedet ovat keskimäärin happamia, pehmeitä ja matalan alkaliteetin omaavia.

Kun tutkittiin kloorin ja klooriamiinien vaikutuksia kuparin liukenemiseen todettiin, että kaikki klooriyhdisteet lisäävät kupariyhdisteiden korroosiota, mutta kuitenkin vapaa kloori aiheuttaa enemmän korroosiota kuin muut yhdisteet. Samalla klooriyhdisteiden todettiin vaikuttavan hyvin vähän juotoksiin. Yleisesti todettiin, että lyijyttömät, tinapohjaiset juotteet ovat immuuneja kloorin yhdisteille (AwwaRF 1993). Myös toisessa tutkimuksessa veteen liunneen kloorin määrällä on todettu olevan vaikutus kuparin liukoisuuteen. pH mainitaan tärkeimmäksi korroosioon vaikuttavaksi yksittäiseksi tekijäksi, sillä se määrittää kuparin hapettuneiden korroosiotuotteiden liukoisuuden. Vesi, jolla on matala pH, liuottaa helpommin suojaavat Cu(II)-yhdisteet, jolloin puhdasta kuparia paljastuu HOCl:n syövyttävää vaikutusta varten. Kyseinen yhdiste on kloorin yleinen reaktiotuote vedessä (Hong ja Macauley 1998). On kuitenkin otettava huomioon, että selvän vaikutuksen kuparin liukoisuuteen tässä kokeessa aiheutti 1,2 mg/l klooripitoisuus. Yleensä verkostoissa on Suomessa vapaata klooria korkeintaan luokkaa 0,5 mg/l, ja kiinteistöjen putkissa klooria on jäljellä selvästi vähemmän tai ei ollenkaan. Näin ollen tulosta ei voida suoraan soveltaa Suomessa.

### *Pistekorroosio*

Kuparin pistesyöpymät voivat johtua kiintoaineiden saostumisesta ja oksidikalvon paikallisesta vauriosta. Veden laatu vaikuttaa pistekorroosion todennäköisyyteen ja tiheyteen. Yleensä kuparin pistekorroosio jaetaan tyypeihin 1,2 ja 3, mutta Suomessa selvästi yleisin on tyyppi 2. Myös muita pistekorroosion muotoja on mainittu joissain lähteissä. Mikrobiologisella korroosiolla voi olla vaikutuksensa osaan muista pistekorroosion muodoista.

Hiilikalvot ja kaikki pinnan heterogeenisyydet lisäävät pistesyöpymistiheyttä. Muita pistesyöpymistä lisääviä tekijöitä ennen suojaavan kerroksen muodostumista kuparin pintaan ovat lika ja ehkä myös suuret kloridijäänteet (Edwards ym. 1994). Yleisesti ajatellaan, että pelkästään kloridi ei aiheuta pistekorroosiota vaan tarvitaan myös sulfaattia. Bikarbonaatin vaikutukset pistekorroosioon taas riippuvat veden pH:sta. pH:ssa 8,1 kuparin passivoituminen näyttää tehostuvan (Laitsaari 1999). Edwardsin ym. (1994) mukaan veden korkea sulfaattipitoisuus lisää pistekorroosion riskiä sekä sulfaatti/kloridi- että sulfaatti/karbonaattisuhteen kasvaessa. Myös rauta ja mangaani voivat aiheuttaa ongelmia, sillä niiden oksidit ovat kuparia jalompia ja vaarallisempia happivarjostumakohdissa kuin muut kiinteät, mutta sähköä johtamattomat aineet (Järvinen ym. 1987).

Kupariputkien pistekorroosion estämiseksi on esitetty ohjearvo, jonka mukaan veden pH:n tulisi olla >7,5 (mieluiten 8-8,5) ja bikarbonaattipitoisuuden 70-120 mg/l. Rauta- ja alumiinipitoisuuksien tulisi olla alle 0,2 mg/l ja mangaanipitoisuuden alle 0,1 mg/l (Määttä ja Kaunisto 1997). Alumiinin määrien (1 mg/l) on todettu lisäävän merkittävästi kuparin

korroosiota kylmässä vedessä, joten veden alumiinipitoisuus voi olla ratkaisevaa kuparin pistekorroosion aiheuttajana (Rushing 2002). Alumiinisulfaattia käytetään paikoin pintaveden puhdistamisessa saostuskemikaalina ja yliannostelussa kuparin pistekorroosion raja alumiinille, 0,2 mg/l on voinut aiemmin ylittyä (Määttä ja Kaunisto 1997), mutta se ei ole enää ongelma Suomessa. Jakeluverkoston betonimateriaaleista on arvioitu liukenevan joissakin olosuhteissa merkittäviä määriä alumiinia veteen. Kloorin on myös todettu vaikuttavan merkittävästi kylmässä vedessä kuparin paikalliskorroosioon (AWWA 1996). Alumiinin ja kloorin mahdollisista vaikutuksista kiinteistöjen lämpimän veden putkissa ei ole tietoa.

Pistekorroosion aiheuttama vuoto ei yleensä ole yksittäinen. On myös useita tapauksia, joissa pistekorroosio on kiinteistökohtainen eli naapuritalouksissa ei ole minkäänlaisia pistekorroosiohavaintoja, vaikka asentaja ja putkien valmistaja olisivat samoja ja talousvesi tulee samasta vesilaitoksesta (Dunham ja Russell 1997). Tämä viittaisi kiinteistön käyttäjien toimintaan, mutta mikrobiologian mahdollista vaikutusta ei voida sulkea pois. Myös asennustyön laadussa on voinut olla eroa, vaikka suorittaja on ollut sama.

### *Pistekorroosion tyyppi 1*

Tavallisimmin tyyppin 1 pistekorroosiossa vesi on ollut kovaa, lämpötila alle 25 °C ja syöpymät ovat puolipallomaisia kuoppia. Kuoppien syntymisnopeus riippuu pH:sta, liuenneesta hiilidioksidista, kloridista, sulfaatista sekä natriumista ja nitraatista (Keevil 2004). Tyyppin 1 pistekorroosiossa veden laadulla on pienempi merkitys kuin muissa pistekorroosion tyypeissä, mutta korkea sulfaattipitoisuus edistää vaurion syntymistä varsinkin kovassa vedessä. Bikarbonaatti ja jossain määrin kloridi kylmässä vedessä voivat vähentää pistekorroosiotyyppin 1 todennäköisyyttä (Wagner 1992). Tyyppin 1 pistekorroosio on yleisintä mm. Yhdysvalloissa, Hollannissa, Britanniassa, Saksassa ja Belgiassa (Alhajji ja Reda 1996). Tämä pistekorroosiotyyppi voi aiheuttaa vuotoja jo 1-2 vuoden kuluttua käyttöönotosta.

1950- ja 1960-luvuilla hiilikalvojen todettiin aiheuttaneen kupariputkissa tyyppin 1 pistekorroosiota. Kalvot syntyivät voiteluaineiden krakkautuessa putkien hehkusprosessissa. Tästä tyyppin 1 pistekorroosio-ongelmasta päästiin eroon valmistajien muutettua prosessia siten, että hiilikalvoja ei muodostu (Wagner ja Chamberlain 1997). Tähän pistekorroosiomuotoon liittyy siis aina haitallinen kalvo, joka voi olla peräisin valmistuksesta, asennuksesta tai vedestä. Tällaisia kalvoja ovat hiilikalvot, mutta myös amorfinen kupro-oksidiokerros, hydratoitunut silikaatti- ja alumiinioksidikalvo sekä biofilmi (Laitsaari 1999). Yleensä hiilikalvoja syntyi hehkutettuihin ja puolikoviin kupariputkiin, mutta myös koviin putkiin saattoi syntyä kovajuottamisen yhteydessä vastaavia hapettumakalvoja. Suomessa tyyppi 1:n pistekorroosio on vähäistä, eikä korroosiotyyppin ole havaittu esiintyvän erityisesti liitosten läheisyydessä, joten kovajuottamisen kieltämiseen ei ole aihetta (Määttä ja Kaunisto 1997). Standardin SFS-EN 1057 mukaan kupariputkien sisäpinnan hiilimäärän maksimipitoisuus (D<54 mm) on 0,2 mg/dm<sup>2</sup> ja suuremman koon putkille 1,0 mg/dm<sup>2</sup>.

### *Pistekorroosion tyyppi 2*

Pistekorroosion tyyppiä 2 esiintyy tavallisimmin Pohjoismaissa ja Japanissa (Huttunen-Saarivirta 2001). Suomessa pistesyöpymät ovat olleet lähes poikkeuksetta lämminvesiputkistoissa, joka osoittaa lämpötilan olevan merkittävä tekijä pistekorroosion syntymisessä (Järvinen ym. 1987). Syöpymät ovat syviä ja haaroittuvia (Keevil 2004).



Syöpymät kasvavat tässä tyypissä hitaasti, eikä hiilikalvon uskota vaikuttavan korroosioon (Laitsaari 1999). Pistekorrosiotyyppiä 2 esiintyy tyypillisesti pehmeissä vesissä, joiden pH on alle 7,4 (Keevil 2004). Mattsson (1990) pitää oleellisimpina syinä tyypin 2 pistekorrosiolle pH:ta alle 7,4 sekä bikarbonaatin ja sulfaatin konsentraation suhdetta, kun se on alle 1. Korrosiotyyppin estämiseksi on tärkeää, että veden pH on yli 7, mieluummin yli 8 (Wagner 1992).

### *Pistekorrosion tyyppi 3*

Tyypin 3 pistekorrosiota voidaan pitää tyypin 1 ja 2 välimuotona ja sitä esiintyy kylmässä vedessä sekä kovissa että hehketetuissa putkissa. Ilmeisesti hiilikalvolla ei ole merkitystä (Mattsson 1990). Tyypin 3 esiintyy tyypillisesti pehmeissä vesissä, joiden bikarbonaattipitoisuus on erittäin alhainen, ja joilla on matala johtokyky sekä suhteellisen korkea pH (Laitsaari 1999). Usein myös suolojen ja orgaanisen aineksen pitoisuudet ovat matalia (Keevil 2004). Von Franque ym. (1975) toteavat tyypin 3 pistekorrosion tapahtuvan tyypillisesti pehmeässä tai puolikovassa vedessä, jossa on korkea pH (n. 8), matala alkaliteetti eli 20-40 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l ja matala sulfaatti- ja kloridipitoisuus. Pistesyöpymiä on syntynyt 3-6 vuoden kuluttua putkien asentamisesta (Vinka 2003a). Suomessa pistekorrosiotyyppin 3 tapauksia ei ole tavattu.

### *Muut pistekorrosion tyypit*

Jos pistekorrosioon liittyy mikrobiologista toimintaa, kutsutaan sitä myös tyypiksi 1½. Sitä on havaittu sekä kylmän että lämpimän veden putkissa ja siinä on piirteitä pistekorrosiotyypeistä 1 ja 2 (Vinka 2003a). Keevil (2004) mukaan sille on tyypillistä pehmeä ja heikosti puskuroitu vesi. Veden kokonaiskovuus on tyypillisesti 25-40 mg/l CaCO<sub>3</sub>, bikarbonaatin pitoisuus 10-20 mg/l, sulfaatin 10-30 mg/l ja kloridin 15-20 mg/l. Tämän tyypin korrosio on mikrobiologista ja mikrobit tarvitsevat humusaineita ravinnokseen. Kirjoittaja korostaa tämän tyypin korrosion torjunnassa lämpimän veden pitämistä yli 55 °C ja kylmän alle 20 °C. Vesi-Instituutin vedenlaatuselvityksen perusteella osa suomalaisista vesistä sopii esitettyihin vedenlaatuarvoihin (Keinänen-Toivola ym. 2007), mutta tulkinna on otettava huomioon, että ulkomaisissa olosuhteissa tehdyt tutkimukset eivät sovellu suoraan suomalaisiin olosuhteisiin.

Toinen erikoinen pistekorrosiotyyppi on ”pepper pot pitting” ja se muistuttaa tyypin 3, koska korrosiotuotteet ovat pitkälti kuparihydroksisulfaatteja. Nimi tulee kuoppien muodosta. Myös tätä tyypin 3 esiintynyt kylmän ja lämpimän veden johdoissa (Vinka 2003a). Näitä pistekorrosion muita tyyppejä ei ole tavattu Suomessa.

### *Silikaatit ja korrosio*

Tutkimustuloksien perusteella silikaatilla eli piioksidilla (SiO<sub>2</sub>) voi olla vaikutusta kuparin korroosiossa. Silikaattien vaikutusmekanismista ei ole tietoa. Kupariputken kovuudella ei ole vaikutusta silikaattien aiheuttamaan pistesyöpymiseen (Laitsaari 1999). Synteettisellä talousvedellä suoritettussa kuwaitilaistutkimuksessa veteen liunneen silikaatin todettiin lisäävän kuparin korroosiota pitoisuuksilla 4-40 mg SiO<sub>2</sub>/l. Liuennut piidioksidi aiheutti kaksivaiheisen korrosiomekanismin kuparissa, jossa alkuvaiheen jälkeen syöpymistä näyttää hallitsevan liunneen piidioksidin diffuusion kontrolloima reaktio. Liuennun piidioksidin suhde karbonaatti-ionin konsentraatioon näyttäisi indikoivan, että liunneen piidioksidin

lisääntyminen ja/tai bikarbonaatti-ionin konsentraation pieneneminen lisäävät korroosionopeutta. Samoin liuenneen piidioksidin suhde sulfaatti-ionin konsentraatioon näyttäisi indikoivan piidioksidin hallitsevaa vaikutusta syöpymisilmiössä (Alhajji ja Reda 1996).

Monet luonnonvedet sisältävät silikaatteja. Tyypillisesti pohja- ja kaivovedet sisältävät 10-15 mg/l silikaatteja, mutta kaivovesistä on havaittu myös korkeita (42, 79 mg/l) pitoisuuksia (Keinänen-Toivola ym. 2007). Vedenkäsittelyssä käytettävät saostuskemikaalit voivat sisältää silikaatteja, mutta ne poistuvat saostumistuotteina prosesseissa (Keinänen-Toivola ym. 2007). Silikaattiyhdisteitä on käytetty myös korroosion estämiseen (Becker 2002). Silikaatit ovat nk. anodisia inhibiittejä, jolloin liian pieninä pitoisuuksina ne saattavat aiheuttaa korroosion kiihtymistä. Korroosion estämiseksi silikaattien pitoisuuden tulee olla riittävä.

Kuparin osalta teknisesti hyvälaatuisen veden pH on 7,5-9,0, bikarbonaatin määrä 70-300 mg/l ja  $\frac{[\text{bikarbonaatti}]}{[\text{sulfaatti}]} > 2$  (mol/m<sup>3</sup>). Sekä sulfaatin että kloridin määrä vedessä tulisi olla alle 100 mg/l. Virtausnopeuden tulee olla kylmässä vedessä alle 4,0 m/s ja lämpimässä 3,0 m/s. Lisäksi olisi hyvä jos vesi sisältäisi vapaata hiilidioksidia alle 15 mg/l, rautaa alle 0,2 mg/l ja mangaania alle 0,1 mg/l.

## Mikrobiologiset vaikutukset

Mikrobiologinen korroosio voi aiheuttaa vaurioita yksittäisenä ilmiönä, mutta se liittyy usein myös muihin korroosionmuotoihin kuten esimerkiksi pistekorroosioon. Kuparilla on todettu ulkomailla vauriotapauksia kylmän veden linjoissa, joissa mikrobiologinen korroosio on todennäköisesti ollut suurin vaikuttaja vaurion synnyssä (Arens ym. 1996). Kuparin mikrobiologiseen korroosioon vaikuttavia yleisiä tekijöitä ovat veden lämpötila, asennus, käyttö, veden laatu ja putkistojen suunnittelu (Bremer ym. 2001). Ei ole tietoa siitä, vaikuttaako järjestelmän käyttöönotosta kulunut aika mikrobiologisen korroosion riskiin (Wagner ja Chamberlain 1997).

Mikrobiologinen korroosio aiheuttaa metalleilla usein tyypillisiä vauriomuotoja. Wagnerin ja Chamberlainin (1997) mukaan kuparin pistesyöpymäkuopat ovat suurimmassa osassa tapauksista puolipallomaisia, mutta joissakin tapauksissa on tavattu myös neulamaisia paikallissyöpymiä. Tutkitut kuparipinnat olivat yleensä biofilmin peittämiä yhdessä bakteerimassan ja kiinteiden korroosiotuotteiden kanssa, mutta osassa tapauksista löytyi myös paljaita pintoja.

Mikrobiologisen korroosion riskiä lisääviä tekijöitä ovat pehmeä vesi, matala pH, suuri kiintoainemäärä ja korkea AOC, ajoittain seisova vesi, pieni kloorin määrä sekä kohonnut lämpötila kylmävesijohdoissa (Bremer ym. 2001). Lämpötila on ratkaiseva tekijä lämpimän veden kupariputkien mikrobiologisessa korroosiossa. Tutkimuksen mukaan järjestelmissä, joissa lämpötila oli yöllä 25-50 °C, oli suuria mikrobiologisen korroosion ongelmia, kun taas korkeamman lämpötilan (55-60 °C) järjestelmissä ongelmia ei ollut (Walker ym. 1991). Suomessa rakentamismääräysten (D1) mukaan lämpimän veden lämpötilan pitää olla vähintään 55 °C (Ympäristöministeriö 2007).

Kuparin biofilmeistä löydettyjä heterotrofisia sukuja ovat *Acidovorax*, *Flavobacterium*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas* ja *Stenotrophomonas* (Critchley ym. 2002).

Meriympäristössä sulfaattia pelkistävien bakteerien on havaittu aiheuttaneen kuparimetallien paikallista syöpymistä (Borenstein 1994). Yksittäistä mikrobia tai mikrobiryhmää ei voida nykytiedon mukaan mainita kuparin mikrobiologisen korroosion aiheuttajaksi (Wagner ja Chamberlain 1997). Tietoa veden kemian ja mikrobien vuorovaikutuksen seurauksista ei ole riittävästi saatavissa.

Mikrobiologisen korroosion hallitsemiseksi ravinteiden määrä ja desinfektio ovat oleellisia (Cantor ym. 2006). Tutkimusten perusteella desinfektioon käytettyä klooria kuluu enemmän kupari- kuin polyeteeniputkessa, joten kupariputket tarvitsisivat suuremman klooripitoisuuden desinfektion varmistamiseksi (Lehtola ym. 2005). Kloorin suurempi kulutus johtuu sen voimakkaasta reagoimisesta metallipinnan kanssa. Kuitenkin Suomessa kloorin käyttö pyritään optimoimaan vedenkäsittelylaitoksella ja sen määrä on kiinteistössä useimmiten laskenut lähelle nollaa tai sitä ei ole ollenkaan.

Putkistojen suunnittelu voi vaikuttaa veden laatuun ja mikrobiologisen korroosion riskiin. Umpipäät ja pitkät vaakalinjat lisäävät mikrobiologisen korroosion riskiä. Tämä voi perustua sakkautumisen lisääntymiseen pitkissä vaakalinjoissa, jolloin myös riski anaerobiseen toimintaan kasvaa (Bremer ym. 2001). Suuret vesijärjestelmät ovat alttiimpia mikrobiologiselle korroosiolle kuin pienemmät. Pitkien vaakalinjojen lisäksi erityistä riskiä aiheuttaa haaralinjojen lukuisuus (Wagner ja Chamberlain 1997). Kupariputkien kovuuden ei ole useissa tutkimuksissa havaittu vaikuttavan mikrobiologisen korroosion todennäköisyyteen (Wagner ym. 1996). Todetut mikrobiologisen korroosion tapaukset ovat olleet ulkomailla ja tyypillisesti erilaisissa suurissa institutionaalisissa rakennuksissa kuten sairaaloissa.

Tietoa mikrobiologisen korroosion yleisyydestä tai vaikutuksista muiden korroosimuotojen yhteydessä Suomessa tai samankaltaisissa oloissa ei ole saatavissa. Nykytiedon perusteella arvioituna mikrobiologisen toiminnan merkitys kuparin käyttöiän kannalta on hyvin pieni verrattuna asentamisen ja veden teknisesti heikon laadun vaikutuksille käyttöikään.

### **4.3.7 Messinki**

#### **Ominaisuudet ja suojaus**

Messinki kuuluu kuparimetalleihin ja sen ominaisuuksissa on samoja piirteitä kuin kuparilla. Messinki on kovempi materiaali ja se kestää suurempia virtausnopeuksia kuin kupari. Messingin ominaisuuksiin ja korroosionkestävyyteen vaikuttavat messingin koostumus ja tuotteen valmistusprosessi (ASM International 1992). Vuoden 1977 jälkeen Suomessa on ollut sallittua käyttää vain sinkinkadonkestävää messinkiä vesilaitteistoissa (Sisäasiainministeriö 1975; Kaunisto 1991). Venttiilit ja liittimet, jotka ovat asennettu vuoden 1977 jälkeen, ovat valmistettu punametallista CuPb5Sn5Zn5 tai sinkinkadonkestävistä messinkilaaduista, kuten lyijymessingeistä CuZn36Pb3 ja CuZn36Pb1, joihin on seostettu pieniä määriä arseenia, antimonia tai fosforia (Järvinen ym. 1987; Kaunisto 1991; Kunnossapitoyhdistys 2006). Messinkejä käytetään kiinteistö- ja jakeluverkostojen putkien liittimissä ja venttiileissä. Aiemmin myös kupariputkien juotteissa käytettiin messinkiseoksia, mutta enää niitä ei käytetä. Pinta-asennuksiin käytetyt messinkiosat voivat olla ulkopinnaltaan kromattuja.

Punametalli kuuluu myös kuparimetalleihin ja se on korroosionkestävä ja kohtuullisen luja materiaali. Hinnaltaan punametalli on tina- ja lyijytinapronsseja halvempi, mutta messinkejä kalliimpi. Tavallisen messinkivalun asemesta punametalliarmatuuri valitaan lähinnä korroosionkestävyytensä takia (Suomen Metalliteollisuuden keskusliitto 2001). Punametallit

kestävät hyvin korkeitakin kloridipitoisuuksia ja lämpimän talousveden olosuhteita (Järvinen ym. 1987). Punametallia käytetään suurissa venttiileissä.

## Vauriotyypit

Messingin pääseosmetallit ovat kupari ja sinkki. Sen tavallisimmat vaurioihin johtavat korroosimuodot ovat sinkinkato ja jännityskorroosio (taulukko 13). Jännityskorroosiota on aiemmin kutsuttu myös varastorepeämiseksi. Sinkinkato on tyypillinen ongelma ennen 1970-luvun loppua asennetuissa messinkiventtiileissä ja -liittimissä, sillä niiden sinkinkadonkestävyys oli valmistuksessa käytetyn seostuksen vuoksi huono. Nykyään käytetyn messingin tyypillisin vauriomekanismi on jännityskorroosio. Aromaa (2001) mukaan myös punametallissa on esiintynyt korroosio-ongelmia ja sitä on korvattu ruostumattomalla teräksellä. Punametallissa ei esiinny jännityskorroosiota (Fortenay ym. 2005).

Sinkinkadossa kappale säilyttää ulkoisen muotonsa, mutta on saattanut menettää lujuuttaan ja tiiviyytään sinkinkadossa syntyvän huokoisen kuparirakenteen vuoksi. Tavallisia ilmenemistapoja ovat ulkopinnalle saostuvat vaaleansinivihreät korroosiotuotteet, venttiilien karan kiinnijuuttuminen tai lujuuden menetyksen seurauksena syntyneet murtumat ja vuotaminen. Sinkinkato voi edetä koko pinnalla tai paikallisesti (Järvinen ym. 1987). Sinkinkato voi olla kerroksellista, tulppamaista tai juomumaista. Sinkinkadon seurauksena messinki menettää keltaisen värinsä ja muuttuu kuparinpunaiseksi (Aromaa 2001). Sinkinkato oli selvästi tyypillisin vauriomuoto vanhoissa messingeissä, joita käytettiin sekä liitoksissa että venttiileissä. Messingin sinkkipitoisuus oli 30-40 % (Järvinen ym. 1987).

Yleisesti voidaan todeta, että messinki on sitä kestävämpää sinkinkatoa vastaan mitä suurempi on kuparipitoisemman  $\alpha$ -faasisen kiderakenteen osuus messingissä (Järvinen ym. 1987). Sinkinkato voidaan estää  $\alpha$ -messingeissä lähes täydellisesti As-, Sb- tai P-lisäyksellä. Kuparipitoisuuden ollessa 62 % tai alle, rakenteeseen muodostuvaa  $\beta$ -faasia ei saada estettyä (Aromaa 2001).

Jännityskorroosio voi edistää sinkinkatoa ja sinkinkato jännityskorroosiota (ASM International 1992). Paljon sinkkiä ja sen seurauksena  $\beta$ -faasia sisältävät messingit ovat herkkiä jännityskorroosiolle. Valmistuksessa tuotteeseen mahdollisesti jäävät pienetkin jännitykset ja aggressiiviset kemikaalit voivat aiheuttaa jännityskorroosiota. Jännityskorroosion todennäköisiä aloituskohtia ovat pistesyöpymät, paikallisen sinkinkadon kohdat ja naarmut. Jo käytössä olevien messinkiosien jännityskorroosiosäröjen etenemistä ei tiettävästi voida estää myöhemmillä toimenpiteillä (Suomen Metalliteollisuuden Keskusliitto 1984). Jännityskorroosiota aiheuttavia kemikaaleja ovat mm. ammoniakki, ammoniumsulfaatit, nitraatit ja fluoridit. Jännityskorroosion kannalta kriittiset kemikaalipitoisuudet ovat hyvin pieniä, ja ne riippuvat jännitystasosta. Jännityskorroosion estämiseksi tulee poistaa mahdolliset jännitykset tuotteita valmistettaessa jännitystenpoistohetimituksella ja estää kontakti tyyppiyhdisteitä sisältävien aineiden kanssa sekä suorittaa asennus oikein.

**Taulukko 13.** Messingin syöpymismekanismit. Ilmiöiden yleisyydestä ei voida vetää johtopäätöksiä materiaalin käyttöiästä.

<b>Korroosiotyyppi</b>	<b>Yleisyys Suomessa</b>	<b>Kylmä/lämmin vesi</b>	<b>Korroosion aiheuttajia</b>	<b>Korroosion estäminen</b>
Jännityskorroosio	yleisin korroosimuoto	lämmin ja kylmä vesi	liian tiukka kiristys, tyyppiyhdisteet, paikalliset sinkinkadonkohdat, kemikaalit	jännitystenpoistohehkus valmistuksessa, oikea asennus, tyyppiyhdisteiden välttäminen
Sinkinkato	melko harvinainen (yleisin muoto sinkinkadolle alttiissa messinkiseoksissa)	yleensä lämmin vesi	valmistuksen vuoksi virheellinen mikrorakenne, veden laatu (ennen vuotta 1977 käytetty sinkinkadolle alttiita messinkiseoksia)	siirrytty sinkinkadon kestäviin messinkeihin, tyyppihyväksytyt tuotteet
Eroosiokorroosio	hyvin harvinainen	lämmin ja kylmä vesi	veden liian suuri virtausnopeus tai pyörteisyys, veden laatu	oikea virtausnopeus

## Asennuksen vaikutukset

Jännityskorroosio on nykyään käytettävien sinkinkatota kestävien messinkien yleisin vauriomuoto. Myös Tanskassa suurin osa messinkivaurioista venttiileissä tapahtuu jännityskorroosion vuoksi. Ongelman aiheuttavat veden laatu ja mekaaninen kuormitus. Ongelma koskee eniten vanhoja, sinkinkadolle alttiita messinkejä, mutta myös sinkinkadon kestäviä venttiileitä, eikä niitä saisi kiristää liian tiukalle (Fortenay ym. 2005). Myös Suomessa on todettu, että puserrusliittimien kiristysmuttereissa jännityskorroosio-ongelmia voi aiheuttaa liika kiristäminen. Usein liitinvalmistajan ohjeet kiristämisestä joko kokonaan puuttuvat tai ovat puutteelliset (Määttä ja Kaunisto 1997).

## Veden laadun, lämpötilan ja virtausolojen vaikutukset

Käytetty messinkiseos on ratkaiseva sinkinkadon esiintymiselle, mutta myös veden laatu vaikuttaa. Järvinen ym. (1987) mukaan sinkinkato on ollut yleisintä kloridi- ja happipitoisissa lämminvesilinjoissa. Samoin sinkinkatota on esiintynyt vesissä, joiden pH on ollut korkea (yli 8,3) (Suomen kuntaliitto 1993). Suomessa on esiintynyt sinkinkadontapauksia mm. rannikkoseuduilla veden korkean kloridipitoisuuden vuoksi, mutta tapausten määrä on vähäinen (Määttä ja Kaunisto 1997). Suuri kloridipitoisuus etenkin yhdessä veden matalan bikarbonaattipitoisuuden kanssa lisää merkittävästi korroosioriskiä (Kunnossapitoyhdistys 2006). Veden laatutavoitteiksi messingin sinkinkadon estämiseksi on esitetty, että pH olisi alle 8,3 ja bikarbonaatin ja kloridin suhde yli 2 (Suomen kuntaliitto 1993). Lämpötilan nousu yleensä lisää sinkinkatota ja vaikutus ilmenee lähinnä lämpimän veden järjestelmissä (Järvinen ym. 1987).

Jester (1985) esittää, että kerroksellista sinkinkatota voi esiintyä jos kloridipitoisuus on korkea verrattuna bikarbonaattipitoisuuteen ja pH on 7,8 tai enemmän. Poikkeavaa sinkinkadossa muuhun vesijohtoverkoston syöpymiseen verrattuna on, että sitä esiintyy tietyn pH:n yläpuolella (Määttä ja Kaunisto 1997).

Veden laadun vaikutus messingin korroosioesiintyvyyteen nykyisin käytetyillä sinkinkatota kestäville seoksilla on pieni. Sinkinkatota kuitenkin esiintyy vähäisessä määrin myös sinkinkatota kestävässä messingeissä sekä mahdollisesti eroosikorroosiota, jolloin veden teknisesti hyvä laatu varmistaisi uusien ja vanhojen messinkiosien kestävyuden. Käytettävissä olevien tietojen perusteella messingin kannalta veden pH ei saisi olla yli 8,3, klorideja mahdollisimman vähän ja/tai bikarbonaattia riittävästi.

## Mikrobiologiset vaikutukset

Koska messinki kuuluu kuparimetalleihin, mikrobien toiminta voi todennäköisesti vaikuttaa siihen samansuuntaisesti kuin kupariin. Kokeessa, jossa käytettiin synteettistä talousvettä ja kasvatettua biofilmiä (*Pseudomonas fluorescens*) todettiin erityisesti messingin pistekorroosio potentiaalini nousevan moninkertaiseksi bakteerin läsnä ollessa (Valcarce ym. 2005). Mikrobien mahdollisesti tuottamalla nitraatti-ioneilla voi olla vaikutusta jännityskorroosioon (Kruse 2001).

### 4.3.8 Muut metallit

#### Alumiini

Alumiinia käytetään kiinteistöissä pumppujen osissa sekä jakeluverkostojen laippakappaleissa (silumiini). Alumiinilla on hyvä korroosionkestävyys talousvesiolosuhteissa, sillä alumiinia suojaa ympäristön vaikutuksilta oksidikalvo. Alumiinin oksidikalvo korjautuu metallin paljastuessa normaaleissa käyttöolosuhteissa, kun happea on saatavilla. Alumiinia syövyttävät maassa erityisesti täytemaana käytetyt tuhka ja hiilimurska. Se on altis piilokorroosiolle eikä alumiinia tulisi käyttää maassa ilman suojaavaa pinnoitetta. Alumiini ei juuri syövy yleisesti pH-alueella 4,5-8,5, mutta sen pistesyöpyä aiheuttavat kuparipitoiset vedet ja toisaalta kovat vedet (Kunnossapitoyhdistys 2006).

### 4.4 Sementtipohjaiset materiaalit

Sementtipohjaisia materiaaleja käytetään vain jakeluverkostoissa. Uudisasennuksissa käytettäviä sementtipohjaisia materiaaleja ovat betoni vesisäiliöissä sekä sementtilaasti pallografiittirautaputkien tehdaspinnoitteena ja valurautaputkien jälkipinnoituksessa. Teräsbetoni on yleisin vesisäiliöiden rakennusmateriaali Suomessa. Asbestisementtiputkien asennus loppui Suomessa 1980-luvulla. Vanhojen valurautaputkien kunnostukseen käytetään portland-sementtiä, mutta uusissa pallografiittirauta- ja teräspuutissa pinnoitteena käytetään yleensä sulfaatinkestäviä masuunikuonasementtejä. (Kekki ym. 2007)

Sementtipohjaisen materiaalin käyttömuoto putkena, säiliönä tai pinnoitteena vaikuttaa oleellisesti materiaalin käyttäytymiseen ja olosuhteiden vaikutuksiin materiaalissa. Samoin vaikuttavat käytetyn sementtilaastin laatu, mahdolliset lisäaineet ja valmistuksessa käytetty sekoitussuhde. Sementtipohjaisten materiaalien perusominaisuudet ja vauriomekanismit ovat kemialtaan samankaltaisia, vaikka vauriot ilmenevätkin lopulta eri tavoin. Merkittävimmät erot olosuhteissa eri käyttökohteissa ovat lämpötila, paine (säiliöt vs. putkipinnoite ja putki), virtausnopeus (säiliöt vs. putkipinnoite ja putki) ja sementtipohjaisen materiaalin ympäristö. Putkipinnoitteena sementtilaasti on koko ajan kontaktissa veden sekä teräs- tai valurautaputken kanssa ja toisaalta vesisäiliön betoni ilman, veden ja maaperän kanssa.

#### Vauriotyypit ja olosuhteiden vaikutukset

Sementtipohjaisten materiaalien tyypilliset vaurioitumisilmiöt ovat erilaisia kemiallisia prosesseja, joissa sementti liukenee tai toisaalta betonin sisään pääsee aineita, jotka reagoimalla heikentävät rakenteen kestävyyttä. Kemiallisten ilmiöiden lisäksi sementtipohjaisten materiaalien tyypillinen vaurioitumisilmiö on halkeamien syntyminen ja eteneminen, mikä heikentää materiaalin mekaanista lujuutta ja toisaalta vaikuttaa kemiallisiin ilmiöihin. Asbestisementistä ja muista sementtimateriaaleista valmistettujen putkien eniten vaurioita aiheuttava ilmiö on liukeneminen sisä- ja ulkopuolelta. Samoin sementtilaastien päävauriomekanismi on liukeneminen. Teräsbetonin vaurioihin vaikuttaa betonin liukenemisen lisäksi myös tukirakenteena käytetyn teräksen korroosio. Betonin kestävyysvaikutavat oleellisesti veden laatu ja virtausnopeus sekä materiaalin tiiviys. Vaurioita ja vauriomekanismeja sementtipohjaisten materiaalien käyttökohteen mukaan on koottu taulukkoon 14.

Betoni on huokoinen materiaali, joka koostuu toistensa kanssa kosketuksissa olevista kiinteistä aineista. Betoni liukenee ajan kuluessa ollessaan kosketuksissa veden kanssa ja

veden virtauksen kasvaessa liukeneminen lisääntyy (Lagerblad 2001). Betoni ei ole kemiallisesti täysin tasapainossa ja siinä tapahtuu hiljalleen muutoksia ajan funktiona myös ilman ulkoisia vaikuttajia. Sementtipohjaisille materiaaleille on tyypillistä, että mikäli materiaalia liuottavat olosuhteet säilyvät, liukeneminen kiihtyy ajan myötä pinnan ja sisärakenteen vaurioiden liukenemispinta-alaa lisäävän vaikutuksen seurauksena. Toisin sanoen sementtipohjaisten materiaalien merkittävä ominaisuus on, että vaurioitumisilmiö yleensä lisää saman ja muiden vaurioitumisilmiöiden voimakkuutta.

### *Liukenemistavat*

Fagerlund (2000) jakaa sementtipohjaisten materiaalien liukenemisen seuraaviin tyypeihin: 1) pintaliukeneminen, 2) pintaliukeneminen, jossa on mukana eroosiota, 3) homogeeninen liukeneminen läpi koko rakenteen, 4) osittain homogeeninen liukeneminen läpi koko rakenteen, 5) liukeneminen rakenteen vaurioissa. Tyypeissä 1 ja 2 kaikki helposti liukeneva kalkki liukenee alueelta, mutta vaikutus ei ulotu syvemmälle. Liukenemistyypeissä 3 ja 4 liukeneminen hidastuu ajan kuluessa koko rakenteessa. Tyypissä 3 liukeneminen on tasaista rakenteessa, mutta tyypissä 4 liukenemista tapahtuu enemmän rakenteen veden kanssa kosketuksissa olevalta pinnalta (eli säiliössä ja putkessa veden puolelta). Tyypissä 4 veden virtaus materiaalissa on hidasta ja veden tunkeutuessa syvemmälle materiaaliin, on se jo kyllästynyt kalkilla, joten liukeneminen on hyvin vähäistä.

Liukenemistyyppit 1-4 kuvaavat liukenemista yleisesti sementtipohjaisissa materiaaleissa, mutta tyyppi 5 on enemmän paikallinen tapahtuma, sillä se rajoittuu tiettyihin alueisiin betonissa tai halkeamiin, joista kalkki liukenee ajan kuluessa. Liukenemistyyppi 5 on mahdollista, kun materiaalin valmistuksessa tai asennuksessa on tapahtunut poikkeama tai on syntynyt mekaaninen vaurio. Betonissa on näiden vaurioiden seurauksena usein ns. virtauskanavia, joihin liukeneminen keskittyy. Paikallinen liukeneminen näiden kanavien huokosissa lisääntyy ajan kuluessa suhteessa huokoskokoon. Liukenemisen edetessä läpäisevyys kasvaa, joka puolestaan lisää liukenemista (Fagerlund 2000). Betonia heikentävät halkeamat aiheutuvat kutistumisesta, jäätymisestä, liukenemisestä ja kemiallisesti aggressiivisista aineista (Yang ym. 2006). Lisäksi betonia voivat heikentää erilaiset mekaaniset rasitukset ja ulkopuoliset satunnaiset ilmiöt kuten iskut, joiden seurauksena halkeamat ja lohkeamat voivat kiihdyttää muita turmeltumisilmiöitä.

### *Aineiden kulkeutuminen*

Vesi kuljettaa aggressiivisia aineita kuten klorideja ja sulfaatteja betonin pinnalle. Toisin sanoen veden ja aggressiivisten aineiden kulkeutuminen betonissa on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista käyttöiän kannalta. Tärkeimmät kulkeutumislmiöt betonissa ovat kapillaarinen absorptio, diffuusio, permeaatio ja konvektio. Kapillaarinen absorptio kuvaa kyllästymättömän betonin kykyä imeä vettä kapillaaristen voimien seurauksena. Diffuusio on seurausta konsentraatiogradientista. Permeaatio puolestaan kuvaa nesteiden virtaa painovoiman tai paineen seurauksena. Konvektio kuvaa liuenneiden aineiden kuten sulfaatin ja kloridin siirtymistä veden mukana. Nämä ilmiöt voimistuvat helposti halkeamien lisääntyessä ja halkeamilla onkin todettu olevan merkittäviä vaikutuksia aineiden kulkeutumiseen betonissa. (Yang ym. 2006)

Betonin hajoamismekanismi voidaan ilmaista huokosveden vaihtuvuuden tai huokosten sisältämien liuosten ionien diffuusionopeuden perusteella. Käytännössä veden vaihtuvuus riippuu diffuusiosta, joka puolestaan johtuu konsentraatiogradientista. Diffuusion rajoittama



liukeneminen on todennäköisesti betonissa vaikuttava päämekanismi. Betonin huokoisuus aiheuttaa materiaalin läpäisevyyden (Lagerblad 2001). Oleellisinta onkin rakenteen veden pitävyys ja tiivis sisärakenne, jotta liukenemista tapahtuisi vain pinnasta (Kunnossapitoyhdistys 2006). Betonin tiivisyys ja kestävyys riippuvat eniten sementtihiikkamatriisin huokoisuudesta eli tiiviyydestä. Kapillaarihuokosen tilavuus kasvaa vesi/sementti-suhdeluvun kasvaessa, joka samalla kasvattaa veden kulkeutumista läpi betonin. Kapillaarihuokososuuden kasvaessa yli 25 tilavuus-%:n kasvaa veden kulkeutuminen läpi betonin voimakkaasti (Merkl 2005).

### *Jäätyminen*

Jäätyminen aiheuttaa painetta betonin sisällä, sillä huokosissa oleva vesi pyrkii laajenemaan 9 %. Tämän voiman vaikutuksesta betoni laajenee ja siihen syntyy jännitystiloja sekä pieniä halkeamia, ja jäätymisvaiheen uusiutuessa riittävän monta kertaa betoni alkaa rapautua. Mikäli betonissa on käytetty huokoistavia lisäaineita, jotka lisäävät ilmaa sisältävien huokosten määrää, pääsee laajeneva vesi purkautumaan niihin aiheuttamatta vaurioita (Suomen Betoniyhdistys 1976). Toisaalta kuten aiemmin todettiin, voivat liukenemisilmiöt olla voimakkaampia jos betoni on huokoista. On havaittu myös, että jäätyminen aiheuttamat sisäiset halkeamat betonissa lisäävät kloridin kulkeutumista betonin sisään 2,5-8 kertaiseksi. (Yang ym. 2006)

Betonin jäätyminen ja liukeneminen vaikuttavat yhdessä sen kestävyysasteeseen. Fagerlundin (2000) mukaan liukeneminen heikentää betonin pakkaskestävyyttä, sillä jäätyvän veden määrä lisääntyy huokosten suurentuessa. Betonin pakkaskestävyyttä ekstrapoloimalla on arvioitu, että määrässä ympäristössä vaurioituminen kasvaa lineaarisesti ajan myötä. Toisessa tutkimuksessa on todettu, että jäätyminen ja sitä seuraavan pehmenemisen aiheuttamat halkeamat kattavat betonin koko rakenteen. Vaurioiden myötä myös veden kulkeutuminen materiaalissa ja sähkönjohtavuus lisääntyvät selvästi. Lisääntyvät vauriot aiheuttavat yleensä betonin ominaisuuksien merkittävän huonontumisen (Yang ym. 2006).

### *Itsekorjautuminen*

Sementtisten materiaalien perusominaisuus on jonkinasteinen itsekorjautuminen. Sementistä peräisin oleva CaO reagoi veden kanssa muodostaen geelimäistä kalsiumhydroksidia,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , joka liukenee  $\text{Ca}^{2+}$  ja  $\text{OH}^-$  -ioneiksi. Kalkkia eli  $\text{CaCO}_3$ :a muodostuu kahdella reaktiolla:

- 1)  $\text{CaO} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{OH}^-$
- 2)  $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3$

Mekanismissa oleellista on  $\text{CaCO}_3$ :n muodostumispaikka. Mikäli reaktioon tarvittavaa bikarbonaattia tulee halkeamaan liian vähän, kalkkia muodostuu särön tai halkeaman sijaan vedessä eikä rakennetta paikkaavaa kalsiumkarbonaattia muodostu. Tämä on todennäköisempää pehmeissä vesissä. Sementtilaastin itsekorjautuvuusmekanismi ei ole riippuvainen sementtilaastin laadusta vaan veden laadusta eivätkä kaikki vedet tuota itsekorjautumista (Buchholz 2001). Pehmeä vesi ei siis merkittävästi edesauta itsekorjautumismekanismien reaktioita, joten mekanismin merkitys keskiverrossa suomalaisessa talousvedessä on pieni. Toisaalta (Edvardsen 1999) mukaan itsekorjautumismekanismi johtuu kalsiumkarbonaattikiteiden muodostumisesta särössä, mutta kiteiden kasvunopeus riippuisikin lähinnä särön leveydestä ja veden paineesta, kun taas

sementin tyypillä ja veden laadulla olisi pienempi merkitys tähän mekanismiin. Pienet halkeamat korjautuvat nopeammin kuin isot ja korkeampi lämpötila edesauttaa korjautumista. Suurin itsekorjautumismekanismien vaikutus tapahtuu ensimmäisten päivien aikana. Itsekorjautumisen mekanismeja ei vielä tunneta riittävästi.

## Veden laadun vaikutukset

Myös veden laadulla on ratkaiseva vaikutus sementtipohjaisen materiaalin kestävyysasteeseen. Betoni (portland-sementti) sisältää vesiliukoisia aineita, joista liukoisin on portlandiitti (kalsiumhydroksidi) ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), joka on muodostunut veden reagoidessa sementin kanssa. Toinen liukoinen aine on kalsium-silikaatti-hydraatti (C-S-H geeli) (Ekström 2003). Masuunikuonasementistä muodostuu vain vähän kalsiumhydroksidia, joten sen liukoisuus tässä suhteessa on portlandsementtiä vähäisempi. Vastaavasti masuunikuonasementistä valmistetun betonin pH-taso on alhaisempi. Masuunikuonasementistä muodostuvan C-S-H -geelin koostumus poikkeaa myös portlandsementtigeelin vastaavasta, mikä vaikuttaa myös sen kestävyysominaisuuksiin. Perinteinen sulfaatinkestävä sementti ei sen sijaan hydroksiditasoltaan juurikaan poikkea portlandsementistä.

Betonin oma pH on 12-14, mutta joutuessaan kosketuksiin vesijohtoveden kanssa (pH 6-8), se joutuu hakeutumaan kemialliseen tasapainoon (Lagerblad 2001). Betonin korroosiota yleisesti lisää hapan vesi, mutta myös aggressiivisen hiilidioksidin määrä vaikuttaa. Aggressiivinen hiilidioksidi tarkoittaa erityisesti kalkille aggressiivista hiilidioksidia. Kalkille aggressiivisen hiilidioksidin pitoisuus riippuu vapaan hiilidioksidin ja bikarbonaatin pitoisuudesta sekä veden pH:sta. Pieni määrä vapaata hiilidioksidia vedessä on tarpeen, sillä esim. pH-arvolla 8,05 tarvitaan 2,45 mg/l vapaata hiilidioksidia bikarbonaatin tasapainottamiseksi. Luvut koskevat portland-sementtiä (Lea 1970). Vesi liuottaa sementin kalsiumhydroksidin pois betonista ja veden hiilidioksidi reagoi kalsiumhydroksidin kanssa kalsiumkarbonaatiksi ja samalla vesijohtoveden pH nousee betonin kalkin liuettessa. Kun tämä reaktio etenee riittävän pitkälle, alkaa betoni rapautua (Aromaa 2001; Kunnossapitoyhdistys 2006). Mitä tiiviimpää sementti on, sitä paremmin se kestää ympäristön rasitusta, mutta korkea vesi/sementtisuhde tai epäedullinen aineen rakeisuus tekee betonista harvaa (Aromaa 2001).

Veden liuottavuuteen vaikuttavat (Biczok 1972):

- veden kovuus
- veden virtausolosuhteet
- veden kulkeutuminen betonin sisään
- veden lämpötila
- sementtityyppi
- betonin tiheys
- rakenteiden dimensiot ja ikä

Veden Langelier-indeksillä ja asbestisementtiputken sisäpinnan liukenemisella on todettu selvä yhteys (Slaats ym. 2004). Slaats ja Mesman viittaavat Van den Hoven ja Eekeren (1988) tekemään tutkimukseen, jonka mukaan veden aggressiivisuuden aiheuttaman sementin liukenemisen estämiseksi indeksin tulisi olla suurempi kuin -0,2 ja kokonaiskarbonaatin määrän yli 2 mmol/l (kts. kohta Veden laatu/Veden syövyttävyys). Hollannissa veden laatu on keskimäärin kovempi kuin Suomessa, mikä parantaa sementtipohjaisten materiaalien kestävyttä putken sisäpuolisen liukenemisen suhteen. Oletettavasti sementtipohjaisten materiaalien liukeneminen on keskimäärin Suomessa voimakkaampaa kuin Keski-Euroopassa.

## **Maaperän ominaisuuksien vaikutukset**

Maaperän ominaisuudet sekä mahdollisen pohjaveden ominaisuudet vaikuttavat maaperän kanssa kosketuksissa olevan betonin ja asbestisementtiputkien vaurioitumisilmiöihin. Ympäristön rasittavuutta betonimateriaaleille voidaan arvioida kemiallisen rasittavuuden mukaisilla luokitteluperusteilla. Ympäristö luokitellaan kemiallisesti hieman/jonkin verran aggressiiviseksi, kun pohjaveden sulfaattipitoisuus on 200-600 mg/l, pH 5,5-6,5, aggressiivisen hiilidioksidin pitoisuus 15-40 mg/l, ammoniumin pitoisuus 15-30 mg/l ja magnesiumin pitoisuus 300-1000 mg/l. Ympäristö on hieman/jonkin verran rasittava jos maaperän sulfaattipitoisuus on 2000-3000 mg/kg (kokonaismäärä) ja happamuus enemmän kuin 20 ml/kg. Ympäristön rasittavuusluokka määräytyy korkeimman yksittäisen ominaisuuden arvon mukaan. Suomessa Etelä- ja Länsi-Suomen rannikkoseuduilla havaitaan usein aggressiiviseksi luokiteltavia sulfaattipitoisuuksia (Suomen Betoniyhdistys 2004). Liukenemista lisää betonin huono laatu, pohjaveden liike, toispuoleinen vedenpaine rakenteessa ja toistuvat kostumis- ja kuivumisjaksot (Kunnossapitoyhdistys 2006).

Myös tiesuolasta peräisin oleva kloridi voi aiheuttaa betonimateriaalien syöpymistä (Kunnossapitoyhdistys 2006). Hollantilaisessa tutkimuksessa yhteys ulkopuolisen liukenemisen ja maaperän välillä oli epäselvä. Kuitenkaan tutkimuksessa ei todettu ulkopuolista liukenemista, kun maaperän pH oli 6-7, mutta pH-arvoissa 4,5 ja 5,5 liukeneminen oli voimakasta (Slaats ym. 2004). Ympäristötekijöiden rasitus tulisi ottaa huomioon betonin valmistuksessa, mistä on annettu ohjeita Betoninormeissa (Suomen Betoniyhdistys 2004).

## **Mikrobiologiset vaikutukset**

Betonia voivat vaurioittaa hapot, sulfaatit, ammoniakki ja muut mikrobien tuottamat aineet (Dexter 2003). Mikrobiologinen toiminta sementtipohjaisissa materiaaleissa maaperässä rajoittuu asbestisementtiputkiin ja maanvaraisten betonisäiliöiden maaperää koskettaviin osiin. Tunnetuin mikrobiryhmä on sulfaattia pelkistävät bakteerit. Mikrobiologista korroosiota on havaittu betonisissa jätevesiviemäreissä ja aiheuttajina ovat olleet sulfaattia hapettavat bakteerit, jotka muuttavat SRB:n tuottamaa rikkivetyä rikkihapoksi (Borenstein 1994). Viemäreissä havaittu rikkivety aiheuttaa myös betonin mahdollisesti sisältämän teräksen voimakasta korroosiota (Dexter 2003). Mikrobiologinen korroosio voi todennäköisesti vaikuttaa myös verkoston sisäpintojen sementtipohjaisiin materiaaleihin, mutta tutkimustuloksia asiasta ei ole.

**Taulukko 14.** Sementtipohjaisten materiaalien vauriomekanismeja. Ilmiöiden yleisyydestä ei voida vetää johtopäätöksiä materiaalin käyttäjästä.

<b>Vauriomekanismi*</b>	<b>Yleisyys Suomessa</b>	<b>Syy</b>	<b>Vaurioitumisen estäminen</b>
<b>Kaikki sementtipohjaiset materiaalit</b>			
Liukeneminen	yleinen ilmiö	virtausnopeus, materiaalin epätiiviys, veden laatu	veden teknisen laadun parantaminen, oikea virtausnopeus, oikea valmistus, oikein tehty pinnoitus, oikea reseptivalinta
Halkeamien synty	yleinen ilmiö	kutistuminen, liukeneminen, kemiallisesti aggressiiviset aineet, kuljetuksen tai asennuksen aiheuttamat hiushalkeamat, jäätyminen	oikea valmistus ja resepti, oikein tehty pinnoitus, materiaalien huolellinen käsittely ja asennus
Halkeamien eteneminen	yleinen ilmiö	liukeneminen, jäätyminen, liian suuri virtausnopeus	veden teknisen laadun parantaminen, oikea suunnittelu
Mikrobiologinen korroosio	ei tietoa	hidas virtaus, saostumien syntyminen	ei tietoa
<b>Sementtilaasti</b>			
Laastin irtoaminen	yleinen ilmiö	halkeilu, virtausnopeus, kiinnittyminen alun perin vajaa (vanhan putken kunto liian heikko ja/tai mekaaninen toimenpide huonolaatuinen), jälkipinnoituksessa myös väärä resepti, jäätyminen	oikea käsittely kaikissa vaiheissa, jälkipinnoituksessa laastin koostumus ja pinnoitussuoritus oikein

## Teräsbetoni

---

Halkeamien synty ja eteneminen jäätymisen seurauksena	melko yleinen ilmiö	jäätyminen: liian hidas veden kierto ja vaihtuvuus säiliössä, riittämätön eristys	riittävän vaihtuvuuden varmistaminen säiliössä, oikea suunnittelu
Teräksen korroosio	yleinen ilmiö	ympäröivän betonin vaurioituminen, veden tekninen laatu vaikuttaa sekä suojaavan betonin kestävyYTEEN että teräkseen	betonin tiiviiden varmistaminen ja veden teknisen laadun parantaminen

---

## Asbestisementti

---

Ulkopuolinen liukeneminen ja halkeilu	ei tietoa, oletettavasti yleinen ilmiö	maaperän syövyttävyys (erityisesti sulfaatti ja pH), pohjaveden laatu ja liikkeet, jäätyminen	(asbestisementtiä ei enää asenneta)
Ulkopuolinen mikrobiologinen korroosio	ei tietoa	maaperän ominaisuudet, sulfaattipitoisuus	(asbestisementtiä ei enää asenneta)

---

\*Merkittävää sementtipohjaisissa materiaaleissa: yleensä vaurioitumisilmiö vahvistaa muita vaurioitumisilmiötä

#### 4.4.1 Asbestisementti

##### Ominaisuudet ja suojaus

Sementtipohjaisista putkimateriaaleista vain asbestisementti on vuorovaikutuksessa maaperän kanssa. Materiaalin asennus lopetettiin 1980-luvulla. Asbestisementin alhainen kimmomoduli vaimentaa paineiskujen vaikutuksia. Huonon lämmönjohtavuuden seurauksena jäätymisvaara on pieni. Asbestisementtiä on käytetty lähinnä pää- ja jakelujohtojen materiaalina (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987).

##### Vauriotyypit

Kanadalaisessa kaksi vuotta kestäneessä tutkimuksessa asbestisementin tyypillisin rikkoutumismuoto, 63 %, oli poikittainen rikkoutuminen, mutta myös suuri osa eli 13 % rikkoutumisista jäi tutkimuksessa luokittelematta. Pitkittäisiä vaurioita rikkoutumisista oli 10 %, reikiä ja kuoppia 9 % ja liitoksesta johtuvia 6 % (Rajani ja McDonald 1995). Vesilaitoksille tehdyssä Vesi-Instituutin haastattelussa asbestisementillä todettuja vauriotapauksia tai muita ongelmia olivat lasittuminen iän myötä ja liitokset muiden materiaalien kanssa. Karttunen (1999) mainitsee mahdolliseksi ongelmaksi lämpötilan muutoksen tai materiaalin kyllästymisen vedellä, sillä vesi voi aiheuttaa jännityksiä ja rikkoutumisen asbestisementtiputkien päiden koskettaessa toisiaan. Hollannissa selkeästi merkittävin ilmiö asbestisementtiputkien rikkoutumisen aiheuttajana on sisä- ja ulkopuolinen liukeneminen ja sen aiheuttama materiaalin heikkeneminen (Slaats ym. 2004).

Asbestisementin vauriomekanismeissa on pitkälti kyse samoista ilmiöistä kuin sementtipohjaisten materiaalien kohdalla on yleisesti esitetty (taulukko 14). Virtaavan talousveden laatu vaikuttaa kemiallisesti asbestisementtiputken sisäpinnan kestävyyyteen, mutta toisaalta maaperän sisältämät orgaaniset tai epäorgaaniset hapot, emäkset tai sulfaatit voivat aiheuttaa korroosiota ulkopinnassa (Rajani ja Kleiner 2004).

#### 4.4.2 Teräsbetoni

##### Ominaisuudet ja suojaus

Vesisäiliöiden käytetyin materiaali Suomessa on teräsbetoni. Tässä tarkoituksessa käytettävä betoni on yleensä portland-sementistä valmistettua ja rakennetta tukee betonimassan sisäinen teräksinen tukiranka. Teräksen kestävyys on oleellisen tärkeää koko rakenteen kestävyydelle. Betonimassan suojaavuus eli tiiviys ja koostumus ovat oleelliset sekä teräksen että betonin kestävyydelle.

Suomessa jätetään yleensä raudoituksen päälle 15-35 mm:n paksuinen betonikerros, joka suojaa terästä syöpymiseltä. Teräksen syöpyminen riippuu pitkälti hapen ja veden kulkeutumisesta metallin pintaan asti eli toisin sanoen betonin tiiviyydestä. Kuten kaikkien sementtipohjaisten materiaalien kohdalla, läpäisevyys riippuu betonin huokosten koosta, jakaumasta ja jatkuvuudesta. Betonin oma pH on korkea ja sen pysyessä korkeana teräs passivoituu ja suojautuu siten korroosiolta. Kun betoni karbonatisoituu hiilidioksidin vaikutuksesta, sen pH laskee ja kyky suojata terästä korroosiolta heikkenee. (Kunnossapitoyhdistys 2006)

## Vauriotyypit

Vaurioitumisilmiöt voivat tapahtua betonissa tai metallissa, mutta käytännössä betonin on ensin vaurioituttava tai oltava huonolaatuista, jotta teräksen vaurioituminen olisi mahdollista. Betonin vauriomekanismeissa on pitkälti kyse samoista ilmiöistä kuin sementtipohjaisten materiaalien kohdassa on esitetty (taulukko 14).

On todettu, että vaurioiden aiheutumistapa on ratkaisevaa vaurioiden laajuuden kannalta. Paineen aiheuttamat vauriot voivat aiheuttaa epäyhtenäisiä halkeamia betoniin. Yli 90 %:n voima rakenteen kestävästä suurimmasta mahdollisesta voimasta aiheutti samantapaisia vaurioita kuin jäätyminen, mutta vaurioista aiheutunut veden läpäisevyys ei ollut kovin merkittävää. Läpäisevyyden pieni kasvu johtui halkeamien epäyhtenäisyydestä. Mekaanisen kuormituksen aiheuttamat vauriot betonissa eivät siis näytä vaikuttavan läheskään yhtä paljon veden kulkeutumiseen ja sähkönjohtokykyyn kuin jäätyminen aiheuttamat. (Yang ym. 2006)

Teräksen tyypillisimmät vauriot alkavat suojaavan korroosiotuotekalvon vaurioituessa karbonaation tai kloridimäärän nousun seurauksena. Suojakalvo on mahdollinen, koska betonin sisäinen pH on n. 13. Karbonaatiota tapahtuu, kun hiilidioksidi tunkeutuu betoniin ja reagoi hydroksidien kanssa muodostaen karbonaatteja. Reaktio laskee paikallisesti pH:ta edesauttaen teräksen passivaation loppumista. Lisäksi teräsbetonin teräs aiheuttaa syöpyessään sisäisiä paineita ja rasituksia betoniin, sillä syöpymistuotteiden vaatima tilavuus voi olla moninkertainen verrattuna alkuperäiseen metallin tilavuuteen (Baccay ym. 2006). Teräksen korroosiotuotteet vaativat niin suuren tilavuuden, että lopulta ne aiheuttavat murtumia (Aromaa 2001). Sementtityyppi vaikutti tutkimuksessa ratkaisevasti betoniin upotettujen teräslevyjen korroosionopeuteen. Huokoisempi betonimateriaali lisäsi korroosionopeutta. Kloridit voivat kulkeutua helpommin säröjen kautta teräksen pintaan, mutta sementin laatu vaikuttaa myös tähän. Korroosion todelliseksi estämiseksi teräsbetoneissa säröt tulisi tukkia tukirakenteeseen saakka (Marcotte ja Hanson 2007).

## Veden laadun, lämpötilan ja virtausolojen vaikutukset

Betonin liukeneminen on käsitelty aiemmin sementtipohjaisten materiaalien ja sementtilaastin yhteydessä. Teräksen korroosion on laboratoriokokeissa todettu olevan hitaampaa portland-sementistä valmistetun betonin sisässä, kuin masuunikuonaseimentistä valmistetun. Koe tehtiin 20 °C:n lämpötilassa. Korkeammassa lämpötiloissa järjestys oli päinvastainen, mutta jakeluverkostojen lämpötila vastaa käytettyä 20 °C (Baccay ym. 2006). Betonin ja veden teknisen laadun kannalta oleelliset muuttujat on esitetty kohdassa sementtilaasti ja veden laadun vaikutukset.

### 4.4.3 Sementtilaasti

#### Ominaisuudet ja suojaus

Uudet pallografiittirautaputket pinnoitetaan sisäpuolelta tehtaalla yleensä sulfaatinkestävällä sementtilaastipinnoitteella. Uusissa teräsputkissa käytettävän sisäpinnan sementtilaastipinnoitteen koostumuksesta ei ole tietoa. Putken kestävyys kannalta sementtilaastin tiiviys on olennainen asia, mutta yhtä tärkeää on, että pinnoite pysyy kiinni metallissa. Toisaalta näitä putkia käytetään vain maaperässä, joten myös ulkopinnoitteiden kestävyys on ratkaisevaa putken käyttöiän kannalta. Vanhojen valurautaputkien sementtilaastipinnoitukseen käytetään aina paikallisen tuottajan valmistamaa portland-

sementtiä. Kun vanhoja valurautaputkia pinnoitetaan, on sisäpinnan kunto olennaista sementtilaastin kiinnittävyydessä ja kiinnipysyvyydessä. Vanhojen putkien saneerausessa käytettävän portland-sementin koostumus ja betonin sekoitussuhde on ensiarvoisen tärkeää vaativan käyttötarkoituksen ja paikalla tehtävän pinnoituksen vuoksi.

Sulfaatinkestävän sementin aluminaattipitoisuus on alhainen. Sementti on valmistettu klinkkeristä, jonka trikalsiumaluminaattipitoisuus ( $C_3A$ ) on enintään 3,9 % ja aluminaattipitoisuus laskettuna alumiinitrioksidina ( $Al_2O_3$ ) enintään 5,0 %. Masuunisementti on sulfaatinkestävää, mikäli masuunikuonasegmentin osuus on vähintään 70 % portlandklinkkerin ja kuonan yhteisestä määrästä (Kunnossapitoyhdistys 2006). Standardinmukaiset paksuudet sisäpinnoitteena käytetyille sementtilaastille tehdasvalmistetuissa pallografiittiputkissa on esitetty pallografiittiraudan yhteydessä. Lisäksi standardissa on määritelty uuden putken pinnoitteen suurimmat sallitut hiushalkeamat kuivumisen jälkeen, jotka ovat: 0,4 mm (DN 40-300); 0,5 mm (DN 350-600); 0,6 mm (DN 700-1200) ja 0,8 mm (DN 1400-2000). Teräsputken sementtilaastipinnoitteen halkeamat eivät saa olla yli 1,5 mm:n levyisiä. Kokemuksen mukaan yksittäiset halkeamat yleensä umpeutuvat laastin turpoamisen tai kemiallisen tukkeutumisen seurauksena, mutta tämä itsekorjaava ominaisuus heikkenee jos betonia varastoidaan pitkään kosteassa ympäristössä. Toisaalta jos putkia varastoidaan pitkään kuivassa tai lämpimässä ympäristössä, on suositeltavaa tukkia putkien päät laastin kutistumisesta johtuvien halkeamien syntymisen estämiseksi (SFS-EN 10298). Sisäpinnoitteena pallografiittirautaputkessa käytettävän sementtilaastin hiekka/sementti-suhteen on oltava alle 3,5 (SFS-EN 545). Teräsputkissa betonisen sisäpinnoitteen hiekka/sementti-suhteen tuoreessa laastissa on oltava 1,0-2,5. Linkoamalla levitettävän pinnoitteen veden määrän suhteessa sementtiin on oltava yhtä suuri tai pienempi kuin 0,42 (SFS-EN 10298).

Materiaalien erilainen lämpölaajeneminen voisi vaikuttaa niiden kiinnipysymiseen toisissaan, mutta masuunikuonasegmentin ja pallografiittiraudan lämpölaajenemiskertoimet ovat samat, joten ne käyttäytyvät lineaarisesti eri lämpötiloissa.

## Vauriotyypit

Sementtilaastille kuten muillekin sementtipohjaisille materiaaleille tyypillisiä vauriomekanismeja ovat liukeneminen ja halkeilu. Vaurioilmiöitä on käsitelty kohdassa sementtipohjaiset materiaalit (taulukko 14). Vauriot ilmenevät esim. sementtilaastipinnoitteen irtoamisena.

## Veden laadun, lämpötilan ja virtausolojen vaikutukset

Veden laatu vaikuttaa sementtilaasteihin keskimäärin samoin kuin muihinkin sementtipohjaisiin materiaaleihin. Tämä koskee erityisesti portland-sementtipohjaisia sementtilaasteja. Aggressiivisimpia sementtilaastipinnoitteille ovat vedet, joiden pH, alkaliteetti ja kalsiumpitoisuus ovat alhaiset (Douglas ym. 1996). Sementtilaastille veden teknisesti hyvä laatu on määritetty niin, että hiilidioksidin määrä on alle  $0,15 \text{ mol/m}^3$ , joka vastaa n. 7 mg/l hiilihappopitoisuutta. Portland-sementin osalta veden pH:n tulisi olla yli 6 ja aggressiivisen hiilidioksidin pitoisuuden alle 7 mg/l. Sulfaatinkestävälle sementille vastaavat arvot ovat 5,5 ja 15 mg/l. Teräs- ja valurautaputkien kanssa käytettynä portland-sementille annetaan DIN:n perusteella sopivaksi pH-arvoksi 6,5-12, kalsiumin määräksi vähintään 1 mg/l ja sulfaatin määräksi korkeintaan 3000 mg/l. Portland-sementille valurautaputkissa standardin SFS-EN 545 mukaan vedessä tulisi olla magnesiumia alle 100 mg/l ja



ammoniumia alle 30 mg/l. Uusi sementtilaasti voi alkalisoida talousveden, lyhyeksi ajaksi varsinkin pehmeän sellaisen, ja nostaa pH-arvon jopa yli 9,5:n. Vaikutus on suurempi jos veden pH:n lähtöarvo on korkeampi (Buchholz 2001). Lisäksi tutkimuksessa ehdotetaan matalan virtauksen kohtien huuhtelua säännöllisesti pinnoitteen kestävyuden parantamiseksi (Douglas ym. 1996).

Teräsputkien sementtilaastin pinnoitteen kestävyuden takaamiseksi olisi veden kalsiumin määrän oltava vähintään 0,8 mg/l ( $0,02 \text{ mol/m}^3$ ) ja hiilidioksidien anionien ( $c(\text{CO}_2) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{CO}_3^{2-})$ ) vähintään  $0,25 \text{ mol/m}^3$ . Kokemus on osoittanut, että yli 7,8:n pH-arvoissa vedessä ei ole kriittisiä määriä kalkkia liuottavia happoja (SFS-EN 10298). Ohjeena ympäristön aggressiivisuudesta voidaan soveltaa myös kohdassa Sementtipohjaiset materiaalit, maaperän ominaisuuksien vaikutukset pohjaveden koostumukselle esitetyt kriteerit. Betoninormien mukaan ympäristö on lievästi aggressiivinen jos pH on 5,5-6,5, sulfaattipitoisuus on 200-600 mg/l, aggressiivisen hiilidioksidin pitoisuus 15-40 mg/l, ammoniumin 15-30 mg/l ja magnesiumin 300-1000 mg/l. Ympäristön aggressiivisuus tulee ottaa huomioon materiaalisuunnittelussa ja se tapahtuu valitsemalla oikea koostumus valmistuksessa (Suomen Betoniyhdistys 2004).

Käytettävissä olevien tietojen perusteella voidaan määrittää teknisesti hyvälaatuinen vesi sementtipohjaisille materiaaleille ja erityisesti sementtilaasteille. Portland-sementtiä käytettäessä pH:n tulisi olla yli 6 ja vapaan hiilidioksidin määrän alle 7 mg/l. Sulfaatinkestävää sementtiä käytettäessä pH:n tulisi olla yli 5,5 ja vapaan hiilidioksidin määrän alle 15 mg/l. Käytettäessä portland-sementtiä teräs- ja valurautaputkien pinnoitteena tulisi pH:n olla 6,5-12, veden sisältää kalsiumia yli 1 mg/l, magnesiumia alle 100 mg/l ja ammoniumia alle 30 mg/l. Tulokinnassa on otettava huomioon, että aggressiivisen hiilidioksidin määrään vaikuttavat pH, alkaliteetti ja kovuus sekä muuttujien vaikutukset toistensa arvoihin.

## 4.5 Muovit

### Ominaisuudet

Muovit ovat selvästi käytetyin materiaalityyppi Suomessa jakeluverkostojen putkistoissa. Suomessa jakeluverkostoissa muoveja on käytetty yli 50 vuotta. Eniten asennetaan polyeteenejä (PE), mutta myös polyvinyylidikloridia (PVC) käytetään paljon. Kiinteistöissä polyeteeniset PEX ja komposiitit (PE-RT ja PEX) ovat kuparin ohella eniten käytetyt putkimateriaalit. Komposiittiputkella tarkoitetaan tässä selvityksessä monikerrosputkea. Muovien käyttö on runsasta myös erilaisissa kiinteistö- ja jakeluverkostojen liitoskappaleissa.

Jakeluverkostojen muovilinjojen sähköhitsausosat ovat polyeteenistä valmistettuja. PVC:ia tai PEX-muovia ei voida hitsata, joten näiden liittämiseen käytetään mekaanisia liittoksia. Pienten putkien (<63 mm) venttiilit ja liitoskappaleet ovat yleensä muovisia. Kiinteistöverkostojen polyeteeni- ja komposiittiputkien liittämiseen käytetään runsaasti myös messinkisiä liittimiä. Veden laadun mahdollisia vaikutuksia muovimateriaalien vauriomekanismeihin ei ole tutkittu veden teknisten laatuparametrien osalta. Suuri klooripitoisuus erityisesti yhdistettynä liian korkeaan veden lämpötilaan voi aiheuttaa vaurioita muoveissa. Klooripitoisuuteen vaikuttaa käytettävä klooriin perustuva desinfektiokemikaali ja sen määrä. Suomessa klooripitoisuudet verkostoissa ja erityisesti kiinteistöissä ovat poikkeustilanteita lukuun ottamatta hyvin pieniä. Muoviputkissa ääni ei

etene pitkälle putkilinjassa muovien kimmoisuuden vuoksi. Muovimateriaalien kuten metallienkin keskinäiset erot ovat hyvin merkittäviä, vaikka muoveja käsitellään usein yhtenä materiaalina.

Muovin sisäisiä rakenneominaisuuksia ovat kemiallinen koostumus, moolimassajakautuma, mahdollinen ristosilloittuminen ja orientaatio, kiteisyysaste ja morfologia sekä molekulaariset liikkeet. Lisäaineet vaikuttavat kyseisiin ominaisuuksiin (Törmälä ym. 1983). Polyvinyylidikloridin ominaisuuksien kannalta oleellisia ovat molekyylien väliset vahvat polaariset sidokset, jotka antavat materiaalille sen kovuuden. Polyeteenien ominaisuuksien kannalta oleellista puolestaan on kristallisen eli kiteisen materiaalin osuus verrattuna amorfiseen. Amorfinen osa antaa mahdollisuuden muokata muovia, mutta toisaalta heikentää muovin kestävyttä. Kiteinen osa toimii päinvastoin. Polyeteeneillä molekyylien väliset sidosvoimat ovat tyypillisesti vain heikosti polaarisia (Janson 1996). Lujuus lisääntyy kiteisyysasteen kasvun myötä.

Muoviputkilla lämpötila on keskeinen ympäristömuuttaja, sillä se vaikuttaa oleellisesti muovien käyttöikään ja kestävyteen. Muovien lämpölaajeneminen on voimakkaampaa kuin muiden materiaaliryhmien. Lisäksi lämpötilan muutokset voivat vaikuttaa eri tavoin eri muovimateriaaleihin. Esimerkiksi tutkimuksessa lämpötilan aiheuttamista muutoksista todettiin, että kovan polyeteenin lujuus ei riippunut yhtä paljon lämpötilasta kuin polyvinyylidikloridin ja jälkiklooratun polyvinyylidikloridin (CPVC). Käytetyt lämpötilat olivat -10, 0, 23, 40, 50 ja 70 °C. Toisaalta lämpötilan muutoksien aiheuttamat jäykkyydenmuutokset olivat samanlaiset polyeteenillä ja CPVC:lla (Merah ym. 2006).

Muovisten putkimateriaalien suuri lämpölaajeneminen on otettava huomioon suunnittelussa ja asentamisessa. Se voi vaikuttaa osaltaan verkoston liitosten pitävyyteen. Jäykät komposiittiputket soveltuvat pinta-asennuksiin. Taipuisa muovi ei sovellu pinta-asennukseen, mutta suurena etuna voidaan pitää asennusmahdollisuutta suojaputkiin, jolloin vaihdettavuus ja vuotohavaittavuus paranevat huomattavasti (Määttä ja Kaunisto 1997). Suojaputkien käyttö vähentää myös virtausputken lämpölaajenemisen aiheuttamaa rasitusta. Lisäksi kiinteistöjen muoviputkissa veden virtausnopeuksilla ei ole yhtä paljon rajoituksia kuin metalliputkilla. Toisaalta kiinteistöjen laitteistoissa on paljon liittimiä ja venttiilejä, jotka voivat rajoittaa virtausnopeutta virtauspoikkipinta-alan pienessä.

Muoviputket suunnitellaan nopeutettujen kokeiden tuloksena saatujen vaurioregressiokäyrien perusteella haluttuun käyttöpaineeseen. Kokeissa käytetään korotettua lämpötilaa nopeuttamaan muovimateriaalin kemiallista ja mekaanista hajoamista. On arvioitu, että ekstrapolointi vallitsevassa lämpötilassa tapahtuviin virumismurtumiin kohotetuissa lämpötiloissa tehdyistä tutkimuksista ei välttämättä ole luotettava (Parsons ym. 2000). Lisäksi on otettava huomioon dynaamisten kuormitusten vaikutukset todellisissa käyttöolosuhteissa.

## **Vauriotyypit**

Muoviputkien vaurioitumiseen ja käyttöikään vaikuttavat tekijät voidaan jakaa materiaali-, ympäristö- ja kuormitustekijöihin. Tärkeimpiä materiaalitekijöitä ovat raaka-aine, lisäaineet, mahdolliset lujitteet sekä valmistusprosessit. Muoviputkien käyttöikään vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat mm. kemiallisesti aggressiiviset kaasut, nesteet, kiinteät partikkelit, UV-säteily, radioaktiivinen säteily sekä mikrobiologinen toiminta. Kuormitustekijöitä puolestaan ovat lämpötila ja sen vaihtelut, staattinen kuormitus, dynaaminen kuormitus ja sen vaihtelut, lovet ja naarmut sekä hitsaussaumojen kestävyys (Ifwarson ja Leijström 2001; Rintala 2003). Koska muoveja käytetään vesijohtoverkostoissa merkittävästi lähempänä

materiaalin sulamispistettä kuin metallisia materiaaleja, voidaan lämpötila luokitella muoveilla merkittäväksi kuormitustekijäksi paineen ohella (Ifwarson ja Leijström 2001). Muovien sisäisten ominaisuuksien lisäksi niiden mekaaniset ominaisuudet riippuvat siis myös ulkoisista tekijöistä kuten lämpötilasta ja paineesta. Sopivat lisäaineet muoveissa ja niiden säilyminen riittävässä määrin ovat välttämättömiä pitkän käyttöiän saavuttamiseksi.

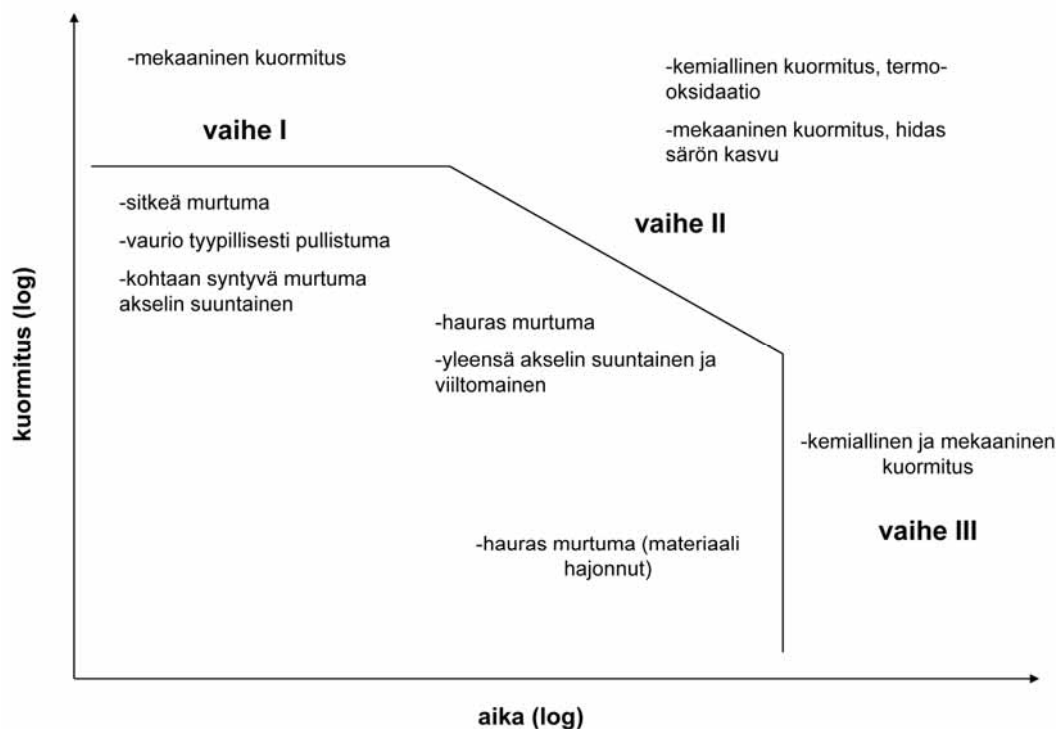
Ympäristötekijöistä käytännössä yleisimmät ilmiöt, joilla on vaikutusta käyttöikään, ovat kemikaalit ja UV-säteily. Kemikaalien mahdollisia vaikutuksia kestopuoveissa ovat pehmeneminen, turpoaminen, liukeneminen, kupliminen (pintakerrokset), syöpyminen, koveneminen ja halkeilu (Kunnossapitoyhdistys 2006). Mikrobitoiminnan mahdollisia vaikutuksia muovimateriaalien vaurioitumisilmiöihin on tutkittu niukasti. Veden laadun vaikutuksista muovimateriaalien vaurioitumiseen pitkällä aikavälillä ei ole tietoa lukuun ottamatta veden klooripitoisuutta ja lämpötilaa.

Muovien vaurioitumisilmiöt vesijohtoverkostoissa aiheutuvat ajan kuluessa materiaalin luontaisesta vanhenemisesta sekä vanhenemisesta kuormitustekijöiden vaikutuksesta. Kuormitustekijöiden ohjearvojen ylitykset lisäävät vaurioitumisen todennäköisyyttä. Maunun (1996) mukaan muovin kemiallista vanhenemista pyritään estämään reaktioita hidastavilla lisäaineilla. Fysikaalinen vanheneminen taas johtuu materiaalin valmistuksen jälkeisestä termodynaamisesta epätasapainosta.

Lisäaineiden liukeneminen voi vaikuttaa muovien vanhenemiseen, sillä lisäaineet ovat ratkaisevia muovien pitkäaikaiskestävyyden kannalta. Antioksidanttien migraatio eli liukeneminen veteen on hyvin oleellista muovimateriaalin rakenteelle ja kestävyydelle. Antioksidantin liukeneminen voidaan jakaa antioksidantin ”fyysiseen poistumiseen” ja hapettumiseen eli ”kemialliseen kulutukseen”. Antioksidantin fyysinen poistuminen riippuu joko antioksidantin diffuusiosta polymeerissä tai sen pakenemisesta materiaalien rajapinnalla (Lundbäck ym. 2006). Tutkimuksissa havaittiin, että sekä uusista että vanhoista käytössä olleista putkista liukeni antioksidantteja. Vanhoista PVC-putkista liukeni stabilisaattoreita (Nielsen ym. 2005; Nielsen ym. 2007). Lämpimän käyttöveden polyolefiinisissa putkissa hallitsevaksi ilmiöksi todettiin 70 ja 110 °C välisissä lämpötiloissa fyysinen antioksidantin poistuminen. Sen sijaan kemiallinen kuluminen oli vähäistä. Tutkimuksen mukaan lisäaineen liukenemisnopeus polyeteenistä oli suurempi vedessä, joka on kyllästetty ilmalla kuin hapettomassa vedessä, erityisesti lämpötiloissa 90 ja 95 °C (Lundbäck ym. 2006).

Kosken ja Simulan (1984) mukaan muoviputkien murtumat jaetaan hauraisiin ja sitkeisiin. Murtumat voivat olla myös näiden tyyppien välivaiheita ja riippua muovityypistä. Tyypillisesti korkeissa paineissa tai korkeimman suunnitellun käyttölämpötilan ylityksen seurauksena nopeasti syntyvät murtumat ovat sitkeitä ja pitkän ajan kuluessa syntyvät hauraita. Käyttötilanteessa syntyvät vauriot ovat siis yleensä hauraita. Sitkeän murtuman kohdalla putki usein laajenee murtuman läheisyydessä ja materiaaliin jää pysyvä muodonmuutos. Hauraassa murtumassa pysyvää muodonmuutosta ei jää.

Vesijohtoputkille voidaan erottaa kaksi hajoamismekanismia, kemiallinen ja mekaaninen. Kemiallinen hajoaminen tapahtuu lämpötilan ja ympäristötekijöiden vaikutuksesta, kun taas mekaaninen hajoaminen johtuu kuormituksesta, esim. putken sisäisestä ylipaineesta. Lämpötila ja kuormitusaika vaikuttavat näiden mekanismien suhteisiin (Ifwarson 1989). Muovin viruessa syntyvä muodonmuutos materiaaliin on pysyvä. Kuvassa 3 esitetään muoviputkien virumis/vaurioitumiskäyrän eri vaiheet ja niihin liittyvät kuormitukset. Pohjana on käytetty Leijströmin ja Ifwarsonin sekä Rintalan (2003) tutkimuksia.



**Kuva 3.** Muoviputkien virumis-/vaurioitumiskäyrä jaoteltuna vaiheisiin I, II ja III suhteessa kuormituksen ja ajan logaritmeihin. Kuvan pohjana käytetty kirjallisuus: Leijström ja Ifwarson sekä Janson (1996).

Muovin virumis-/vaurioitumiskäyrän perusteella voidaan erottaa kolme eri vaihetta, I, II ja III. Kun materiaalissa ei ole vikaa, mutta sitä kuormitetaan liikaa, on seurauksena mekaaninen vaurioituminen eli vaihe I. Vaiheissa II ja III kilpailevat kemialliset (thermal oxidation l. terminen hapettuminen) ja mekaaniset (SCG, slow crack growth l. hidas särön kasvu) ilmiöt muovia kohtuullisesti kuormitettaessa. III-tyypissä suurin osa ilmiöistä on kemiallisia. Lisäksi väsymisvaurioiden on todettu olevan mahdollisia muovin altistuessa joillekin hapoille (Andersson ja Ifwarson). Vaiheessa I syntyvä murtuma on sitkeä ja vaiheissa II ja III hauras. Vaurioitumiskäyrän vaiheessa III muoviputki on saavuttanut maksimikäyttökänsä (Leijström ja Ifwarson). Tyypillisesti vaiheessa I vaurioitunut putki on pullistunut ja sen jälkeen kohtaan on muodostunut putken akselin suuntainen murtuma. Myös vaiheessa II murtumat ovat akselin suuntaisia, mutta kuitenkin viiltomaisia ja hauraita. III-vaiheessa putki on hajonnut kemiallisesti eikä siis ole enää käyttökelpoinen (Rintala 2003). Muoviputkien vaurioitumisilmiöiden yhteydessä puhutaan usein vanhenemisestä. Sillä tarkoitetaan lähinnä vaiheita II ja III, koska sitkeän murtuman osalta ei voitane puhua vanhenemisestä. Vaiheiden II ja III ilmiöt ovat osittain muovimateriaaleille luonteenomaisia.

Törmälän (1983) mukaan polymeerien murtumisilmiöihin vaikuttavat aineen perusominaisuudet kuten atomien väliset sidokset, pintaenergia ja kiderakenteet. Merkittäviä ovat myös molekulaariset liikkeet kuten liukuminen ja transformaatiot, joita tapahtuu yleensä aina murtuman kärjessä sen edetessä muovissa. Ennen varsinaista murtumaa muodostuu usein mikroskooppinen särö rakennevirheeseen tai muuhun vaurioitettuun kohtaan.

Mekaaniset vauriot voivat aiheuttaa paikallisen vaurion suoraan, mutta lievempinä ne voivat myös olla lähtökohta myöhemmin syntyvälle ja etenevälle murtumalle. Ruotsalaisessa

tutkimuksessa todetaan, että putken loven merkitys käyttöiälle vaihtelee. Esimerkiksi polybuteeni- (PB) ja PE-putkissa 10 %:n loven syvyys seinämänpaksuuteen verrattuna ei vaikuta käyttöikään merkittävästi ja ristosilloitetuilla polyeteeniputkilla (PEX) jopa 20 %:n lovi on hyväksyttävissä. Sisäpuoliset vauriot ovat haitallisempia kuin ulkoiset (Ifwarson ja Leijström 2001). Vastaava loven syvyys PVC:ssa on noin 5 % (Janson 1996).

Tietoa muovien vanhenemiseen liittyvistä ilmiöistä on lähinnä jakeluverkostojen materiaaleista. Vesi-Instituutin vesilaitoksille suorittamassa materiaalikyselyssä vuonna 2005 laitokset arvioivat tyypillisiä muoviputkien vaurioita aiheuttaneita muutoksia, jotka olivat aiheuttaneet materiaalin mekaanista heikkenemistä. Näitä muutoksia jakeluverkoston päämuovimateriaaleissa olivat lasittuminen, kovettuminen ja haurastuminen. Muovien vaurioitumismekanismeja on koottu taulukkoon 15. Näiden syiden lisäksi vaurioitumiseen vaikuttavat merkittävästi asennuksessa tai maanrakennustöissä tehdyt virheet, joita on käsitelty tarkemmin kohdassa asennuksen vaikutukset.

**Taulukko 15.** Muovien vauriomekanismeja.

<b>Muovi</b>	<b>Vauriomekanismit</b>	<b>Vaikuttavat olosuhteet</b>
<b>Jakeluverkosto</b>		
PVC ja polyeteeni	sitkeä murtuminen	suunnittelupaineen ylitys, ulkopuolinen mekaaninen kuormitus ja naarmuuntuminen, aggressiiviset yhdisteet
	vanheneminen (hauras murtuminen)	osittain materiaaleille luontaista, mekaaninen kuormitus, aggressiiviset yhdisteet, lisäaineiden liukeneminen
<b>Kiinteistöverkosto</b>		
PEX ja komposiitti eli monikerros	sitkeä murtuminen	suunnitellun lämpötilan tai paineen ylitys, aggressiiviset yhdisteet
	vanheneminen (hauras murtuminen)	osittain materiaaleille luontaista, mekaaninen kuormitus, aggressiiviset yhdisteet, UV, lisäaineiden liukeneminen
Komposiitti eli monikerros	kerrosten irtoaminen toisistaan	suunnitellun lämpötilan tai paineen ylitys, aggressiiviset yhdisteet

Rintalan (2003) tutkimuksessa vesilaitokset arvioivat muutaman vauriotapauksen olevan kovettumisen ja lasittumisen aiheuttamia. Vaurion syyn arvioitiin muutamassa tapauksessa olevan valmistuksesta johtuva materiaalivirhe, mutta useassa tapauksessa oli raportoitu lisäksi aaltomaisia muodonmuutoksia, kiven painaminen ja petipuun käyttö. Muiksi syiksi oli raportoitu satulan murtuminen, muhvin halkeaminen, putken alapinnan halkeama, sulkuventtiilin vaurioituminen, liimamuhvin vuotaminen, liittimen vaurio, putken muodon muuttuminen soikeaksi, jolloin putki vuoti tiivisteen välistä sekä putken kutistuminen, jolloin liitoskappale oli jäänyt liian lyhyeksi.

Murtuman suunta putkimateriaalissa on olennainen tieto. Suomalaisessa jakeluverkostojen muoviputkien vauriotutkimuksessa kaikista vastauksista yli puolessa ei ilmoitettu lainkaan vaurion suuntaa. 27 %:ssa vastauksista vaurion suunta oli pitkittäinen, 11 %:ssa poikittainen, 5 %:ssa epäsymmetrinen ja 2 %:ssa suuntana oli jokin muu. Vastauksissa yleisimmin esiintyneet muut vauriot olivat pistemäinen vaurio (usein reikä), vaurio hitsausliitoksessa, halki ollut putki, satulavaurio, putken hankauma sekä tiivistevuoto. Vaiheessa II muodostuvat murtumat ovat yleensä akselin suuntaisia viiltomaisia hauraita murtumia. Murtumat johtuvat putken väsymisestä ja niiden riski kasvaa putken ollessa 30 – 40 vuoden ikäinen. III-vaiheessa putki on kemiallisesti hajonnut. Toistaiseksi tätä vaihetta ei ole saavutettu käytössä olevissa muoviputkissa normaaleissa käyttölämpötiloissa (Rintala 2003).

Muoviputkille tyypillinen vaurioitumismekanismi on myös nopea särön kasvu (RCP, rapid crack growth). Nopean särön kasvun voi aiheuttaa terävä mekaaninen muutos putken pintaan, kuten kiven isku. Putket testataan kyseisen ominaisuuden osalta valmistusstandardien mukaisesti.

Erittäin saastuneissa maaperissä polyeteeni- tai PVC-putkien kestävyys voi heiketä kemiallisten reaktioiden vuoksi. Samoin haitallisia aineita voi siirtyä putken seinämän läpi talousveteen.

### *Muoviputkien testaus*

Muoviputkia testataan tällä hetkellä ekstrapoloimalla nopeutettujen vanhenemiskokeiden tuloksia. Arvioinnissa käytetään Arrheniuksen menetelmää ja Minerin sääntöä. Arrheniuksen menetelmä ottaa huomioon vain lämpötilan, mutta Minerin säännöllä täydennettynä voidaan arvioida materiaalin vaurioitumiseen kuluva aikaa eri lämpötiloissa ja eri rasituksessa. Itse painekokeet tehdään SEM-menetelmällä eli Standard Extrapolation Method ISO/TR 9080 mukaan. SEM-menetelmää käytetään pienimmän vaaditun lujuuden (minimum required strength, MRS) määrittämiseen (Andersson). SEM-menetelmässä hydrostaattinen testaus suoritetaan kahdessa tai useammassa lämpötilassa ja tulosten perusteella suoritetaan lineaarinen regressioanalyysi (Ifwarson ja Leijström 2001). Hydrostaattinen painetestaus sopii hyvin tavallisille muoviputkille, mutta ei yhtä hyvin komposiittiputkille. Komposiittiputkien testauksen ongelmana on se, että testattaessa hapen määrä laskee putken sisäpinnassa nopeasti alumiinikalvon estäessä hapen diffuusion eivätkä olosuhteet vastaa todellisia käyttöolosuhteita. Putki kestää hyvin pitkään, koska käytännössä huononemismekanismi kuumavesiputkissa on antioksidanttien liukeneminen putken pinnasta hapettumisen seurauksena. Näin ollen komposiittiputket tulisi testata happipitoisessa vedessä (Andersson). Testauksissa käytetään korotettuja lämpötiloja, mutta toisaalta esimerkiksi PVC:n osalta olisi tärkeää tietää miten se reagoi pakkasen vaikutuksiin pitkällä aikavälillä eikä vain rasitukseen korotetussa lämpötilassa.

Tutkimuksen mukaan kovan polyeteenin sitkeän murtuman testaaminen korotetuissa lämpötiloissa (20-80 °C) johtaa todellisuutta parempiin tuloksiin, koska PEH:n valmistuksen yhteydessä mahdollisesti syntyneet jäännöskuormitukset vähenevät lämmön nousun vuoksi. Jäännöskuormitusten tiedetään vaikuttavan murtumistapahtumiin (Krishnaswamy 2005).

## Asennuksen vaikutukset

### *Jakeluverkostot*

Jakeluverkostojen asennus voidaan jakaa itse putkilinjan asennustyöhön ja maanrakennukseen. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton (1990) asennusohjeiden mukaan muoviputkia ei saisi heittää, pudottaa tai vetää maata pitkin ja niitä on kaikissa työvaiheissa kohdeltava huolellisesti pinnan vahingoittumisen estämiseksi. Putkien ollessa taivutettuna taivutussäde ei saa olla putkelle sallittua pienempi. Lisäksi taivutus ei saa kohdistua muhviin eikä sitä saa tehdä kohtaan, johon on tulossa haaraliitoksia. Muhviputkien muhveja ei saa kuormittaa liikaa ja putkien päät pitäisi suojata kuljetusta ja varastointia varten. Varastoinnissa putken alustan pitää olla tasainen ja sijainti mielellään suojassa auringolta.

Maahan asennettavan muoviputken alustan tulee olla oikein ja huolellisesti tehty. Kaivannon teko ja täyttö ovat tärkeitä kaikkien putkimateriaalien kestävyyskannalta. Uponorin (1998) kunnallisteknisten putkistojen asentajan käsikirjan mukaan yleisimpiä muoviputkien vikoja ja vikoja aiheuttavia virheitä ovat tasauskerroksessa tai alkutäytössä oleva kivi tai muu pistekuorma, käsittelystä aiheutuneet kolhut, tonttihaaran poraaminen taivutettuun putkeen, putken siirtyminen mm. alkutäyttömateriaalia kaadettaessa, mistä aiheutuu sallittua suurempi kulmamuuutos muhviin sekä pohjaolosuhteiden riittämätön huomioon ottaminen, mistä seurauksena voi putkiin muodostua painumia. Putken muodonmuutos saattaa kasvaa, kunnes putkeen kohdistuvan maanpaineen pysty- ja vaakakomponentit ovat tasapainossa. Muoviputkien muodonmuutostutkimuksissa on todettu, että tavallisesti putki saavuttaa vakioituvan muodonmuutostilan 1-2 vuoden kuluessa asennuksesta, mikäli ulkoinen kuormitus tilanne ei muutu (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1990).

Rintala (2003) viittaa tutkimukseen, jossa suositellaan PEH-putkien korjauksessa käytettävien korjausmuhvien sijaan katkaisemaan putki vauriokohdasta ja suorittamaan tarkastus mahdollisen paikallisvirheen toteamiseksi. Myös vaurioiden syistä sekä putken käyttöolosuhteista olisi pidettävä kirjaa, jolloin putken käyttökelpoisuutta jatkuvassa käytössä voitaisiin arvioida.

Rintalan (2003) tutkimuksessa raportoituja asennukseen liittyviä vaurioiden aiheuttajia olivat kuljetuksen vuoksi tapahtunut vaurio, putken asentaminen kiinni viemäriin, putken vetäminen murskeessa, korjausmuhvin peittäminen ja liittosten ja tiivisteiden vuodot. Vaurioita oli myös aiheuttanut putken liiallinen taivuttaminen ja liittäminen vetoa kestävämmällä korjausmuhvilla. Lisäksi polyeteenien hitsauksessa voi tapahtua virheitä ja on tapauksia, että PVC:ia on yritetty hitsata, vaikka se ei ole mahdollista.

Rintalan (2003) tutkimuksessa erikseen todettuja kaivantosyitä olivat mm. putken jäätyminen painumisen ja virheellisen alkutäytön seurauksena, roudan putkea vasten nostama kivi ja putken painuminen liikenteen vaikutuksesta. Tutkimuksessa oli monta tapausta, jossa virheellisen alkutäytön seurauksena kivi oli päässyt painamaan putkea. Lisäksi kiven painaminen oli aiheuttanut tiivistevuotoja ja putken ja muhvin halkeamista. Maanpaine oli aiheuttanut vaurioita mm. hitsattuihin kauluksiin ja hitsausaumoihin.

Lisäksi Rintala (2003) esittelee kaksi selvitystä erityisen kylmästä pakkastalvesta ja sen seurauksena tapahtuneista jäätymistapauksista. Ensimmäisen selvityksen mukaan erityisen kylmänä pakkastalvena 1985 käytetyin menetelmä muoviputkien sulattamiseksi oli höyrysulatus. Höyrysulatus oli kuitenkin huolimattomasti suoritettuna aiheuttanut vaurioita muoviputkille. Selvityksen mukaan pakkastalvesta voitiin vetää johtopäätöksiä, että vesijohtoverkostot olisi asennettava tie- ja aurattavien alueiden ulkopuolelle, maa-ainesten

laatuun ja erityisominaisuuksiin on kiinnitettävä huomiota ja peitesyvyyyttä olisi lisättävä nykyisestä (Suomen Kunnallisliitto ja Vesihuoltoliitto 1985). Toisessa selvityksessä Turun vesipiirin vesitoimisto kartoitti vuoden 1985 aikana tapahtuneita alueensa vesilaitosten vesijohtojen jäätymistapauksia. Selvityksessä ilmeni yhteensä 122 jäätymistapausta 25 vesilaitoksella. Suurin osa putkien jäätymistapauksista oli muoviputkissa (90 kappaletta). Putkikoko 110 mm oli selvityksen mukaan altein jäätymiselle ja kaikki tämän koon jäätyneet putket olivat muovia. Myös kokoa 63 mm olevat muoviputket olivat alttiita jäätymiselle (Turun vesipiirin vesitoimisto 1985).

### *Kiinteistöverkostot*

Kiinteistöverkostojen muovimateriaalien vaurioitumisen kannalta asennuksen huolellisuus ja laatu ovat ratkaisevia. Muoviputket tulisi asentaa yli -15 °C:n lämpötilassa (Lindström 1992). Lämpimän veden järjestelmän lämpötila on asetettava korkeintaan käytetyn materiaalin korkeimman sallitun jatkuvan käyttölämpötilan mukaisesti. Muovisten kytkentäputkien lämpöliikkeiden kohdistuminen hanan liitosputkiin on estettävä esim. käyttämällä kytkentään hanakulmarasioita. Samoin lämpölaajenemisen tuottama mekaaninen rasitus on otettava huomioon liitettäessä muovilinjoja vanhoihin metallisiin linjoihin.

Aikaisemmin muoviputkien liitoksissa käytettiin paljon kupariputkien puserrusliitintä varustettuna muoviputken tukihylsillä. Kiristysmutterin sopiva kiristäminen metallia pehmeämmällä putkimateriaalilla sekä mahdollisesti muoviputken lämpöliikkumisesta seurannut mutterin löystyminen ovat tämän liitintyyppin ongelmia (Määttä ja Kaunisto 1997). Muoviputkien liittämiseen on 2000-luvulla käytetty pitkälti suurien putkivalmistajien puserrusliittimiä, joita varten tarvitaan oma työkalu. Kuitenkin asennusvirheitä tapahtuu, kun käytetään muita kuin valmistajan ohjeistamia liittimiä tai liitoksentelejä. Tyypillisiä virheitä ovat myös käyttölämpötilan ylitykset ja naulaus putken seinämän lävitse. Jos mahdollinen suojaputki vaurioituu naukauksen seurauksena, on sen vaihtaminen ongelmallista. Muoviputket on huuhdeltava asennuksen jälkeen puhtauden varmistamiseksi.

### **Mikrobiologiset vaikutukset**

Materiaalien biohajoavuuteen vaikuttavat materiaalien koostumus, molekyylipainot, atomien järjestäytyminen ja kemialliset sidokset rakenteessa, pintojen kemialliset ja fyysiset ominaisuudet sekä mikrobilajisto ja ympäristöolosuhteet. Mikrobit voivat olla osatekijänä myös polymeerien hajoamisessa, mutta tietoa asiasta on erittäin vähän (Gu 2003). Mahdollisia mikrobiologisia vaikutustapoja muovimateriaaleilla on kolme. Vaikutus voisi perustua muovin lisäaineiden hyväksikäyttöön ja niiden diffuusioon vaikuttamiseen, aggressiivisten aineiden tuottamiseen ja konsentroituun biofilmeissä sekä teoriassa myös itse polymeerin hyväksikäyttöön. PVC:n peruspolymeeri on todennäköisesti hyvin mikrobiologista toimintaa kestävä.

Luonnonkumin ja joidenkin synteettisten kumien osalta mikrobiologista hajoamista on havaittu, tosin muualla kuin vesiympäristöissä. Yleisesti on todettu, että mitä lähempänä orgaaninen polymeeri on luonnollista orgaanista molekyyliä, sitä helpompaa mikrobien on käyttää sitä ravintona. Synteettiset polymeerit ovatkin tavallisissa ympäristöolosuhteissa hitaasti biohajoavia tai hyvin hitaasti biohajoavia (Gu 2003). Polyeteeneillä UV-valon aiheuttama foto-oksidaatio voi lisätä pienen molekyylipainon omaavan materiaalin määrää ja tämä pilkkoutunut materiaali on myös helpommin mikrobien hyödynnettävissä (Albertsson ym. 1987). Tutkimusta tarvittaisiin mikrobien tuottamien mineraalisten ja orgaanisten



happojen pitkän aikavälin vaikutuksista polymeereissa. Anaerobisten olosuhteiden syntyminen verkoston biofilmeissä lisää mikrobiologisen korroosion riskiä metalleilla, joten vastaavalla toiminnalla voi olla merkitystä myös polymeereissa. Joka tapauksessa tietoa mikrobien vaikutuksista verkostomateriaalien vaurioihin on hyvin vähän.

#### 4.5.1 Polyeteenit

##### Ominaisuudet ja suojaus

Jakeluverkostojen polyeteenimateriaalien luokittelussa käytetään voimassa olevien standardien mukaan MRS-arvoon (pienin vaadittu lujuus) perustuvaa luokitusta, jolloin PEH- tai PEM-putki voi siis kuulua joko PE100- tai PE80-luokkaan. Kiinteistöissä Suomessa käytetään lähinnä ristosilloitettua polyeteeniä eli PEX:iä ja monikerros- eli komposiittiputkia, joissa käytetään virtausputkena PEX- tai PE-RT-muovia. PEX-putkia käytetään myös jakeluverkostojen saneeraussuutuksissa niiden mekaanisen kestävyuden vuoksi. Kiinteistö- ja jakeluverkostojen polyeteenilaadut poikkeavat ominaisuuksiltaan merkittävästi toisistaan, ja ne on erotettava omiksi materiaaleikseen. Polyeteeniä käytetään myös jakeluverkostojen pallografiittirauta- ja teräspankujen ulkopinnoitteena, joka käsitellään erikseen pinnoitteiden ja tiivisteiden kohdalla.

Nykyisin on saatavilla jakeluverkostoihin PE100-putkia varustettuna ulkopuolisella polypropeenikerroksella, joka antaa mekaanisen suojan alla olevalle polyeteenille. Kerros varmistaa samalla, että sähköhitaussuutukset ovat korkealaatuisia. Lisäksi polypropeenikerros on käyttötarkoituksen mukaan värjätty ja talousvesiputket ovat sinisiä. Kiinteistöjen PEX-putkia käytetään Suomessa piiloasennuksissa erillisen suojaputken kanssa. Suojaputki antaa suojan putkelle asennusvaiheessa ja oikein asennettuna johtaa mahdollisen vuotoveden näkyville. Kiinteistöjen komposiittiputket voidaan asentaa pinta-asennuksina tai piiloon koteloon.

Polyeteenissä polymeeri koostuu kiteisestä osasta ja amorfisesta väliaineesta. Pitkät kiteet antavat materiaalille halutun lujuuden, koska ne sijoittuvat väliaineen lomaan (Janson 1996). Aiemmin käytettiin vähemmän kiteisiä eli pehmeämpiä unimodaalisia polymeereja, koska nykyisten polyeteenien työstäminen olisi ollut hankalaa tuolloisilla tekniikoilla. Näiden unimodaalisten polyeteenien kestävyysominaisuudet riippuivat lähinnä polymeerin tiheydestä, johon polyeteeniputkien standarditkin aiemmin perustuivat. Kuitenkin viimeisten 10-15 vuoden aikana tilanne on muuttunut tuotteiden ja valmistusprosessien kehittymisen myötä. Nykyään käytetään pääasiassa bimodaalisia polyeteenejä (PE80 ja 100), joiden kestävyysominaisuudet mitataan MRS-arvolla tiheyden sijaan. Myös uuden sukupolven polyeteeniputkissa tiheys antaa tietoa putken paineenkestävyydestä, mutta ei materiaalin pitkän aikavälin kestävydestä. Bimodaalisen materiaalin pitkän aikavälin kestävyys on parempi kuin unimodaalisen.

Jakeluverkostojen polyeteeniputkien valmistusmenetelmät ovat kehittyneet merkittävästi ja joistakin aiemmin esiintyneistä ongelmista on päästy eroon. Lepänkosken ja Järvelän (1998) mukaan aiemmin valmistukseen liittyvänä ongelmana on ollut PE-putken jäähtymiseen kuluva aika. Tällöin pidempään sulana pysyvistä putken sisäosan yläosasta voi virrata materiaalia putken alaosaan, jolloin putken alaosaan saattoi tulla huomattavasti paksumpi kuin yläosasta. Valuminen aiheutti materiaalihukkaa ja asennusongelmia. Nykyään sekä PE 80 että PE 100 -materiaalit ovat ns. bimodaalisia, jonka vuoksi polyeteeniin saadaan pitkiä ja lyhyitä molekyyliketjuja. Materiaalista saadaan näin entistä jäykempää sitkeyden

huonontumatta. Jansonin (1996) mukaan menetelmän myötä putken seinämän paksuudessa on voitu säästää jopa 35 %.

PE 100 on selvästi aiempia polyeteenejä kestävämpi sekä hitaan murtuman kasvun ja nopean murtuman etenemisen suhteen (Bresser ja Bergman 2000). Periaatteessa vanhoista polyeteenilaaduista voidaan sanoa, että PEM oli pitkäikäinen materiaali ja PEH taas hyvä mekaaniselta kestävyydeltään (Rintala 2003). Kuitenkin polyeteenin taipumus virumiseen estää sen käytön voimakkaasti kuormitetuissa kohteissa. Polyeteeni ei liukene mihinkään luottimeen tavallisessa lämpötilassa. Se kestää myös hyvin kemikaaleja lukuun ottamatta hapettavia happoja (Tammela 1990). Polyeteenit eivät kestä bromiyhdisteitä tai aromaattisia yhdisteitä eivätkä kloorattuja hiilivetyjä (Schweitzer 2000).

Kiinteistöissä selvästi käytetyin muoviputkimateriaali on PEX. Sen molekyylipaino on suurempi kuin PEH:llä ja se on selvästi lämmönkestävämpi materiaali verrattuna jakeluverkostojen polyeteeneihin. Ristisilloitettu polyeteeni poikkeaa jakeluverkostojen PE 100 ja PE 80 -tyypeistä niin, että sitä ei voida sulattaa uudelleen (ns. thermoset), kun taas PE 100 ja PE 80 voidaan (ns. thermoplast). Tästä johtuen PEX:n puskuhitsaus ei ole mahdollista. Kuten muillakin polyeteeneillä, PEX:n lämpölaajeneminen on verraten suurta. PEX-putkia valmistetaan useilla eri ristisilloitusmenetelmillä (a, b ja c), joista menetelmät a ja c on hyväksytty useissa maissa juomavesikäyttöön. A-menetelmä perustuu peroksidien käyttöön ja c-menetelmä säteilytykseen. B-menetelmään eli silaaniin perustuvaan valmistustapaan epäillään liittyvän ongelmia, joiden vuoksi sillä valmistetut PEX-putket eivät ole saaneet juomavesihyväksyntää joissain maissa. Suomessa käytetään yleisesti komposiittiputkissa PE-RT-muovia, jonka pitkäkestoisen hydrostaattisen lujuuden saavuttaminen ei vaadi ristisilloitusta. Ekstrapoloitu kestoikä tälle materiaalille 70 °C:n jatkuvassa lämpötilassa on n. 50 vuotta ja 80 °C:n lämpötilassa n. 19 vuotta (Damen ym.). PEX- ja PE-RT-muoveilla suurin sallittu käyttölämpötila on 70 °C.

PEX- ja komposiittiputkien liitokset tehdään nykyisin pitkälti valmistajakohtaisilla liittimillä ja erikoistyökaluilla. Yhdessä PEX-putken liitosmenetelmistä liitoksen pysyvyys perustuu putken omaan puristusvoimaan. Putken pää ja rengasosa laajennetaan, jonka jälkeen niiden annetaan puristua kiinni tukiholkkiin.

Lisätietoa materiaalien rakenteista ja ominaisuuksista on jokaisen materiaalin kohdalla sekä aiemmassa selvityksessä (Kekki ym. 2007).

## Vauriotyypit

Polyeteeneissä vaurioitumiskäyrän vaiheen I pituus kasvaa tiheyden eli kiteisen osuuden kasvaessa. Yleensä vaihe II esiintyy aiemmin käytettäessä tiheämpää polyeteeniä. II-vaiheeseen vaikuttavat lisäksi rakenteelliset tekijät kuten molekyylipainojen jakauma, ketjujen haaroittuminen ja kopolymeerit. Yleisesti voidaan todeta, että vaiheisiin I ja II vaikuttavat käytetyt muoviraaka-aineet. Vaiheen III saavuttamiseen vaikuttavat itse polymeerin sijaan polymeerin lisäaineet (Ifwarson ja Leijström 2001). Vaiheessa I tapahtuvat vauriot ovat luonteeltaan sitkeitä, jolloin polymeeri venyy pallomaisesti. Vaiheen II vauriot ovat tyypillisesti hitaasti muodostuvia ja hauraita. Vaurioitumista kuvaa tällöin hidan särön kasvu eli SCG (slow crack growth), jossa vauriot eivät ole yleensä silmin nähtäviä. Yleisesti voidaan todeta, että polyeteenin SCG-ilmiön vastustuskyky parantuu, jos molekyyli­massa kasvaa ja kristallisuus (tai tiheys) pienenee. Lisäksi on havaittu, että sopivan monomeerin lyhytketjuiset haarat pisimmissä molekyyleissä lisäävät SCG:n vastustuskykyä (Krishnaswamy 2005).

Tyypillinen matalan kuormituksen aiheuttama vauriotyyppi polyeteenillä on haurasmurtuma, joka syntyy hitaan särön kasvun kautta. Näiden säröjen kasvu alkaa yleensä putken sisäpinnalta ja ne johtuvat pinnan virheistä tai kiinteistä hiukkasista, jotka ovat peräisin katalyyttijäämistä. Hauraalla alueella vaurioon johtava aika riippuu huomattavasti vähemmän kuormituksesta kuin hyväkuntoisella alueella (Hubert ym. 2001).

Käytössä vaurioituneiden PEM-putkien vauriomekanismeja on myös tutkittu. Putkissa, joiden vauriot ilmenivät haurasmurtumina, todettiin muodostuneen paljon lyhyitä aksiaalisia säröjä murtumakohtaan. Näiden säröjen muodostuminen voitiin yhdistää putken sisäseinämän fysikaalisten ominaisuuksien muutoksiin. Lisäksi vauriomekanismi pystyttiin toistamaan nopeutetuissa kokeissa. Haurastumaprosessit aiheutuivat paikallisista haurastumamuutoksista. Useimmiten nämä muutokset tapahtuivat materiaalin kohdissa, joihin oli jäänyt pieniä määriä valmistusprosessista peräisin olevien katalyyttien ja pigmenttien sekoituksia (Dear ja Mason 2006).

Polyeteenityyppien välillä voi olla merkittäviä eroja vaurioon liittyvien huokosten koossa ja jakautumisessa. Pitkällä aikavälillä syntyvät vauriot ja lyhyellä aikavälillä syntyvät ovat sidoksissa eri vauriomekanismeihin. Lyhyen aikavälin vauriot johtuvat poimuttuneiden kalvomaisten mikrorakenteiden (fibrillien) hajoamisesta, joka johtuu yleisestä heikentymisestä. Pitkän aikavälin vauriot syntyvät haurastumisvaurion akkumuloituessa tietyillä alueilla kuten fibrillien juurissa ja kalvojen liittymäkohdissa, missä suuri huokostiheys aiheuttaa paikallista hydrostaattista kuormitusta (Duan ja Williams 1998).

Tanskalaisessa tutkimuksessa todettiin, että 1 ja 3 vuoden ikäisistä eri valmistajien polyeteeniputkista liukeni antioksidantteja. Uusista putkista antioksidantteja liukeni enemmän (Nielsen ym. 2005). Myös eri valmistajien ja eri tekniikoilla ristosilloitetuista PEX-putkista on todettu liukenevan pieniä määriä antioksidantteja. Putket olivat 1-3 vuoden ikäisiä (Nielsen ym. 2007). Lisäaineiden liukeneminen vaikuttaa polyeteenien vanhenemiseen, mutta pitkän aikavälin liukenemisestä ei ole tietoa.

Aggressiiviset aineet kuten kloori voivat vaikuttaa polyeteenin vaurioitumiseen. Erityisesti tilanteessa, jossa käyttölämpötila on valmistajan ilmoittamaa käyttölämpötilarajaa suurempi ja klooripitoisuus suuri, voi kloori aiheuttaa hauraan murtuman ilmenemistä polyeteeneissä (Hassinen ym. 2004). Kloorin vaikutuksia on tutkittu nopeutetuilla kokeilla altistamalla käytettyjä ja käyttämättömiä PEM-kappaleita kohotetulle lämpötilalle (60 °C), eri paineille (2,7-4,6 MPa) ja vapaan kloorin määriille (0, 100, 1000 ja 100000 mg/l) suljetuissa astioissa. Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että kokeissa käytetyt klooripitoisuudet olivat erittäin suuria ja selvät vaikutukset havaittiin pitoisuudella 1000 mg/l. Toisaalta myös klooriyhdisteen tyyppi voi olla ratkaiseva tekijä kloorin vaikutuksessa. Yhdessä mekanismissa kloori pystyi tunkeutumaan amorfisten kohtien läpi aiheuttaen antioksidantin vähenemistä. Samalla antioksidanttien diffuusio kohti näitä alueita lisääntyi. Kokeen edistyessä kloori eteni kolmasosan matkan putken seinämän paksuudesta. Vaikutukset lisäsivät vaurioiden kuten säröjen syntymistä materiaalissa. Kokeiden perusteella putken seinämän kontaktipinta 2 mm:n syvyydessä on ratkaisevassa asemassa vaurioiden syntymisen kannalta. Antioksidantin kuluminen oli suoraan verrannollinen kloorin määrään ja kloori siis lisäsi hidasta särön kasvua. Polymeeriketjujen hapettuminen johti molekyylipainon pienenemiseen ja aiheutti lujuuden heikkenemisen. Tämä johtaa edelleen hauraan kerroksen syntymiseen ja putken pidentyessä hauras kerros halkeaa ja hidas särön kasvu alkaa. Todetut mekanismit olivat selvimmillään vedenkäsittelylaitoksen putkistoissa johtuen suurista klooripitoisuuksista (Dear ja Mason 2006). On esitetty, että kloori kuluttaa kemiallisesti muovin antioksidantteja (Hassinen ym. 2004).

Tutkimuksessa saatujen tulosten vuoksi olisi selvitettävä, miten vesijohtoverkostojen todelliset klooripitoisuudet vaikuttavat pitkällä aikavälillä muovimateriaaleihin. Mikäli muovilla on huono hitaan särön kasvun eli SCG-ilmiön vastustuskyky, säröt etenevät muuten muuttumattomassa materiaalissa. Näissä tapauksissa peruspolymeerin ominaisuudet ovat selvästi ratkaisevampia kuin antioksidantin. Tutkimuksessa todetaan, että erilaatuisilla PEX-putkilla on selviä eroja SCG-kestävyydessä. Yhdellä PEX-laadulla vastustuskyky oli heikompi kuin tyyppillisellä PEM-putkella, mutta toisaalta toisella menetelmällä valmistetun PEX-putken SCG-ominaisuuden vastustuskyky oli huomattavasti parempi kuin PEM-putken. Polybuteenilla kestävyys oli myös erittäin hyvä (Tränkner). Suomessa ja muissa Pohjoismaissa käytetyt klooripitoisuudet ovat hyvin pieniä eikä kloorin aiheuttamia vaurioita ole tiedossa.

Putkien ominaisuudet voivat vaihdella käytännössä. Tutkimuksessa selvitettiin 1960-luvun alussa asennettujen polyeteeniputkien kuntoa. Näiden näytteiden osalta todettiin, että vaikka putkimateriaali täyttääkin valmistusstandardit, jotka putken valmistuksen aikaan olivat käytössä, voi putki olla loviherkkä. Yhden näytteen vetolujuus oli hyvä, mutta murtovenymä huono. Samoin lovi-iskusitkeystulokset olivat vaatimattomia. Toisessa näytteessä vetolujuus ja murtovenymä olivat hyvät, mutta staattinen paineenkestävyys korotetussa lämpötilassa ja lovi-iskusitkeys olivat vaatimattomia. Käyttöolosuhteiden ja niiden tasaisuuden merkitys käyttöiälle kasvaa materiaalin vanhetessa. (Rintala 2003)

Suomalaisessa tutkimuksessa PEH-putkien vaurioista 33 % oli putken pitkittäissuuntaisia, 12 % putken poikittaissuuntaisia ja noin 5 % epäsymmetrisiä. Hauraat murtumat olivat yleensä pitkittäissuuntaisia, eli vaurioituneiden PE-putkien voidaan olettaa olleen suurimmaksi osaksi elinkaarikäyränsä II-vaiheessa. Selvästi yleisin (37 %) PEH-putkien vaurioitumisen syy oli putken painuminen kiveä tai kalliota vasten. Lisäksi hyvin yleisiä syitä olivat virhe alkutäytössä (10 %), putken hitsausvirhe (7 %) sekä materiaalin väsyminen ja yleinen huonokuntoisuus (7 %). Tuntemattomaksi syy jäi 9 %:ssa tapauksista. Harvemmin esiintyneitä syitä olivat metallisten verkostonosien korroosio, vaurio liitoksissa, putken painuminen ja kaivutyö (Rintala 2003). Jo aiemmin yleisesti muoviputkia käsiteltäessä todettiin vanhojen muoviputkien ongelmaksi mm. lasittuminen ja kovettuminen. Suomalaisessa opinnäytetyössä tämä asia on havaittu myös PEH-putkissa, jotka oli valmistettu 1969-1970. Ne todettiin lasittuneiksi, koviksi ja helposti rikkoutuviksi n. 30 vuoden käyttöiän jälkeen (Kukkola 2004).

PEL-putkissa yleisin vauriosuunta oli poikittainen (26 %), sitten pitkittäinen (13 %) ja epäsymmetrinen (6 %) sekä muu suunta (4 %). PEL-putkien yleisimmäksi (34 %) vauriosyyksi on todettu metallisten verkostonosien korroosio. Toiseksi yleisin syy oli kaivuutyö (13 %). Putken painuminen, kiven tai kallion painaminen, muu ulkopuolinen syy ja muu asentamisesta johtuva syy aiheuttivat kukin noin 6 % PEL-putkien vaurioista. Putken valmistusvirhe, materiaalin väsyminen ja yleinen huonokuntoisuus sekä muu syy puolestaan aiheuttivat kukin noin 4 % PEL-putkien vaurioista. Vauriotapauksista PEL-putkilla noin 75 %:ssa putkikoko oli alle 200 mm. Vaurioituneista PEL-putkista 96 % oli alle 100 mm. PEH- ja PVC-putkien vauriotapauksista suurimmalla osalla putkikoko oli välillä 100-149 mm. Putkikoot, joilla vaurioita esiintyi, ovat yleisesti käytettyjä, joten putkikoon vaikutuksesta vaurioitumiseen ei tässä yhteydessä voida tehdä johtopäätöksiä. (Rintala 2003)

## Asennuksen vaikutukset

### *Jakeluverkostot*

Polyeteenille tyypillistä on suuri lämpölaajeneminen. Lämpölaajeneminen on lineaarista eikä riipu putken halkaisijasta, vaikkakin putken halkaisija muuttuu hieman myös lämmön vaikutuksesta. Ongelmia voi syntyä liitoksissa käytettyjen rengasmaisten mekaanisten holkkien tai satuloiden kohdalla, mikäli ne eivät joustaa riittävästi putken halkaisijan muuttuessa. Usein maaperässä lämpötilan vaihtelut ovat rajoitettuja ja maaperä pitää putken paikallaan. Mikäli on erityistä syytä epäillä liikkumista, on syytä käyttää erilaisia paino- tai ankkurointimenetelmiä. Mekaanisten liittimien pitäisi aina olla tarkoitukseen valmistettuja ja mekanismin tulisi sisältää esim. kierukan, joka puristaa liittimen putkeen kiinni. Pienemmissä putkissa tulisi käyttää riittävän pitkälle menevää putken vahviketta, jotta liitin pysyisi paremmin paikallaan. Lämpötilan muutoksissa ja maaperän liikkuaessa tämä estää liitoksen irtoamisen. Lisäksi putken sivuun tehtäviä satulaliitoksia kannattaisi välttää (Wallbom ja Peters 2003).

Yhtenäiset tai yhtenäisiksi hitsattavat polyeteenilinjat pystytään laskemaan kerrallaan kaivantoon tai vesistöön. Puskuhitsaus ja sähkömuovihitsaus vaativat huolellisuutta ja puhtautta. Liitosta tehtäessä putkien päät lämmitetään niin, että muovaines on puolijuoksevana massana liitospinnoissa, jotka sitten nopeasti puristetaan yhteen suurella paineella. Tämän jälkeen niiden annetaan jäähtyä. Näin tehdyn liitoksen lujuus on yleensä sama kuin putken lujuus muiltakin osiltaan. Liitoksen teko vaatii erikoistyökalut, mutta työsuoritus on yksinkertainen ja nopea (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004). Hitsauksessa liitettävien putkien päitä on höylättävä puhtaan pinnan saamiseksi, jotta hitsaus onnistuisi. Tämä manuaalinen toimenpide voi vaikuttaa siten, että putkien ulkomitat eivät ole täsmälliset höylättävästä kohdasta. Suomen Rakennusinsinööriliiton mukaan jakeluverkon jyrkät suunnanmuutokset ja haarat tehdään käyttäen asianmukaisia muotokappaleita, jotka ovat usein valurautaisia verkoston varsinaisesta putkimateriaalista riippumatta. Muoviputkien ulkohalkaisijat poikkeavat usein valurautaputkien halkaisijoista, jolloin tarvitaan erityiset liitososat esimerkiksi muoviputken ja valurautaisen muotokappaleen välillä (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004).

Rintalan (2003) tutkimuksessa kovan polyeteenin asennuksesta johtuviksi vaurioiksi raportoitiin liian suuri hitsauspaine ja hitsauskoneen rikkoutuminen työn aikana, mutta mukana oli ollut myös tapauksia, joissa hitsaussauman murtumisen arveltiin johtuvan materiaalin väsymisen, saamaan kohdistuvan jännityksen ja hitsausvirheen yhteisvaikutuksesta. Polyeteenejä hitsattaessa on tärkeää poistaa oksidikerros hitsattavasta kohdasta. Poistamisen varmistamiseksi on kehitetty putki, jossa on ulkokuoren pintana ohut muovikerros, joka kuoritaan pois ennen hitsausta. Näin saadaan varmasti hapettumaton liitospinta.

### *Kiinteistöverkostot*

Kiinteistöverkostojen PEX- ja komposiittiputkien liitoksissa on tärkeää suorittaa asennus valmistajan ohjeiden mukaisesti. Eri putkityyppien ja -valmistajien liittimiä tai puristimia ei saa yhdistellä ilman erillistä valmistajan valtuutusta. Mahdolliset suojaputket on asennettava ohjeiden mukaisesti, jotta vuotovesi pääsee esille. Polyeteeniä ei saa asentaa suoraan kontaktiin kuparin kanssa. Lisäksi pehmittimiä sisältäviä teippejä, maaleja tai tiivistysmassoja ei saa asentaa suoraan kosketukseen putken kanssa.

## Veden laadun vaikutukset

Kuten aiemmin todettiin, ei veden teknisten laatuparametrien vaikutuksia muovimateriaaleihin ole tutkittu. Veden sisältämän kloorin ja lämpötilan tiedetään voivan vaikuttaa polyeteenien vaurioihin. Kuten kohdassa vauriotyypit todettiin, aktiivista klooria sisältävä vesi voi aiheuttaa muoviputken pintaan hapettuneen kerroksen, johon syntyy hyvin pieniä säröjä. Suomessa talousveden klooripitoisuudet ovat kuitenkin poikkeustilanteita lukuun ottamatta erityisesti kiinteistöissä hyvin pieniä. Lisäksi Keski-Euroopan kalkkipitoisissa juomavesissä myös muoviputket ovat voineet altistua voimakkaalle kalkkeutumiselle, jolloin putket ovat tukkeutuneet. Tutkimuksessa kalsiumkarbonaatin saostuminen oli kalsiumkarbonaatilla ylikyllästetyllä vedellä yhtä suurta PEX-, PP-r (random) ja kupariputkissa. (Sanft ym. 2006). Samoin on todettu, että kalsiumkarbonaatin saostuminen polypropeeni-, nylon 6,6-, polybuteeni-, teflon- ja kupariputkiin oli yhtä voimakasta kokeessa, jossa ne olivat lämmönvaihtimessa (Wang ym. 2005). Suomessa kalkin saostuminen virtausputkiin ei ole veden pehmeystä johtuen yleensä merkittävä seikka.

Lämpötila on yksi muoviputkien kuormitustekijöistä. Kiinteistöjen sisällä on tärkeää huolehtia siitä, että lämpimän veden lämpötilojen ohjearvoja noudatetaan, sillä liian kuuma vesi nopeuttaa muovimateriaalien vanhenemista. Lämminvesivaraajan termostaatin rikkoutuminen ja selvästi liian kuumen veden johtaminen putkistoon puolestaan voi aiheuttaa putken rikkoutumisen hyvin nopeasti. Lämpimän veden korkein sallittu jatkuva käyttölämpötila PEX- ja PE-RT-putkelle on 70 °C.

Veden sisältämä kloori ja lämpötila voivat vaikuttaa muovien vaurioitumiseen. Jatkuva käyttölämpötila ei saa ylittää valmistajan antamaa raja-arvoa. Veden klooripitoisuus on Suomessa yleensä matala.

### 4.5.2 Polyvinyylidikloridi

#### Ominaisuudet ja suojaus

PVC-muovin tärkeimmät ominaisuudet ovat molekyylipaino, pehmenemispiste (Vicat-piste) ja tiheys. PVC-putken laadun kannalta yhtä oleellisia ovat sekä materiaali että putken valmistus (Janson 1996). Polyvinyylidikloridi on jakeluverkostojen putki- ja liitinmateriaali. PVC on kovempi materiaali kuin polyeteenit, sillä sen molekyyliketjut ovat liikkumattomia. Tämä tekee siitä myös vähemmän joustavan ja alhaisissa lämpötiloissa hauraan materiaalin. Liitoksissa käytetään lähinnä kumirengasmuhvia, eikä materiaalia voi hitsata.

#### Vauriotyypit

Kanadalaisessa tutkimuksessa PVC:n yleisimmät vauriotyypit olivat pituussuuntainen halkeama ja liitosvaurio (National Research Council Canada, 2002). Suomessa tehdyssä tutkimuksessa PVC-putkien vauriotapauksissa yleisin vauriosuunta oli pitkittäinen (29 %), toiseksi yleisin epäsymmetrinen suunta (13 %) sekä lisäksi muu suunta (7 %) ja poikittainen suunta (2 %). Hauraat murtumat ovat yleensä pitkittäissuuntaisia eli vaurioituneiden PVC-putkien voidaan olettaa suurimmaksi osaksi olleen elinkaarikäyränsä II-vaiheessa (Rintala 2003). Tanskassa on havaittu, että 15 vuotta vanhoista PVC-putkista liukenee

talusvesiolosuhteissa stabilisaattorina käytettyä lyijyä (Nielsen ym. 2005). PVC-putkissa käytettävät stabilisaattorit estävät vanhenemisilmiöitä.

Suomessa PVC-putkien yleisimmäksi vauriosyyksi on todettu kaivutyö (22 %). Muita yleisiä syitä ovat kiven tai kallion painaminen putkea vasten (16 %), muu asennussyy (10 %), virhe alkutäytössä (8 %), putkien väliset tiivistevuodot (6 %), vaurio liitoksissa (6 %), muu materiaalisuus (5 %) ja metallisten verkostonosien korroosio (3 %). Syy jäi tuntemattomaksi 9 %:ssa tapauksista. Johtoalueen kuormitus, puutteellinen tuenta, putken jäätyminen, putken painuminen ja muu syy olivat kukin noin 2 % PVC-putkien vauriosyistä (Rintala 2003). Vesi-Instituutin kyselyn perusteella polyvinyylikloridiin liittyviä ongelmia ovat olleet virheellinen alkutäyttö, herkkyys asennusvirheille, lasittuminen, kovettuminen ja jälkiliittymien asentaminen, joista osittain aiheutunut halkeamisia. Myös halkeamisista paineiskujen seurauksena raportoitiin.

Amerikkalaisen tutkimuksen mukaan 50 % PVC-putkien ongelmista ilmaantuu ensimmäisen vuoden kuluessa asennuksesta. Raportin mukaan materiaaliin liittyvät ongelmat vähenevät linjan ikääntyessä. Tutkimuksen mukaan vaurioiden esiintyminen liitoksissa ei riipu liittämistavasta eli siitä, onko jälkiliitos tehty satulaliitoksena tai suorana liitoksena. (AwwaRF 1994)

## **Asennuksen vaikutukset**

PVC-putket liitetään yleensä aina muhviliitoksilla. Liitoscappaleiden tiivisteet asennetaan valmiiksi tehtaalla. Tarvittaessa laippaliitosten avulla liitokset saadaan kestäväksi aksiaalivoimia. Käytettävät laipat ovat alumiinia tai valurautaa. Muut liitoscappaleet ovat PVC:sta, valuraudasta tai alumiinista valmistettuja. Metalliset osat ovat yleensä pinnoitettuja. Materiaalia ei voida vääntää tai lämmittää, joten taivutukset ja haaroitukset tehdään aina PVC-putkille tarkoitetuilla liitoscappaleilla (Lindström 1992). Myös PVC-putket tulee suojata auringonvalolta ja asennus olisi tehtävä haurauden vuoksi yli -15 °C lämpötilassa.

### **4.5.3 Muut muovit**

#### **Polyasetaaali**

Polyasetaaalia (POM) käytetään Suomessa yleisesti mm. talosulkuventtiilien materiaalina. Sen vauriomekanismeista ei ole saatavilla tietoa. Järvisen (2000) mukaan polyasetaaali ei kestä klooripitoista vettä. Pitoisuutta tosin ei ole ilmoitettu ja klooripitoisuudet talusvedessä ovat Suomessa pääasiassa hyvin matalia.

#### **Polybuteeni**

Polybuteenia (PB) on asennettu Suomessa aiemmin kiinteistöjen putkimateriaalina. Siitä valmistetaan edelleen talusvesiputkia. Polybuteenia käytettäessä veden jatkuvan käyttölämpötilan on oltava alle 70 °C (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Polybuteenin hyväksi ominaisuuksiksi on luettava, ettei sillä esiinny jännityssäröilyä ja pitkän aikavälin viruminen on huomattavasti vähäisempää kuin polypropeenikopolymeereilla tai PEX:llä. Pitkäaikaisen rasituksen kestävyys esim. putkimateriaalina sekä tavallisessa että 110 °C:n lämpötilassa on arvioitu erinomaiseksi verrattuna PEH:iin tai polypropeeniin. Materiaalin kulutuskestävyys on erinomainen myös korkeassa lämpötilassa (Tammela 1990).

Suomessa materiaalilla on todettu hauraiden murtumien alkusyiksi ilmakupla tai putken sisäpinnassa tai seinämän sisällä oleva partikkeli (Koski ja Simula 1984). Polybuteeniputkissa on todettu Yhdysvalloissa merkittäviä vaurioita, joiden aiheuttajina pidetään veden korkeaa lämpötilaa ja klooripitoisuutta. WHO:n (2006) mukaan polybuteeni on Yhdysvalloissa kielletty vesijohtojen materiaali liitoksissa esiintyneiden ongelmien vuoksi.

## **Polypropeeni**

Keski-Euroopassa kiinteistöjen kylmä- ja lämminvesiputkien materiaalina käytetään yleisesti PP-r (random) tyyppistä polypropeenia, mutta materiaali ei ole yleistynyt Suomessa. Polypropeenin ja kovan polyeteenin ominaisuuksissa on useita yhtäläisyyksiä, mutta toisaalta polypropeenisen putken joustavuus on parempi. Polypropeenin lämmönkesto on parempi kuin polyeteenin (Janson 1996). Polypropeeniin on aina lisättävä stabilisaattoreita, sillä se kestää heikosti UV-säteilyä ja hapen vaikutusta. Hapettavat hapot vaikuttavat polypropeenia hajottavasti. Jännityssäröilyn esiintyminen polypropeenissa on vähäistä verrattuna polyeteeniin (Tammela 1990). Polypropeenia ei saa asentaa virtaussuunnassa kuparin jälkeen samaan linjaan (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Suora kontakti kuparin kanssa haurastuttaa polypropeenia kuten polyeteeniäkin termo-oksidaatiosta ja vanhenemisesta johtuen. Mekanismi voimistuu lämpötilan kasvaessa.



## 4.6 Pinnoitteet ja tiivisteet

Pinnoite voi olla maalattava, sulaupotuksella tai kalvomaisena kiinnitettävä. Pinnoite voidaan tehdä suojattavaan metalliin myös sähkökemiallisesti. Suomessa uudisrakentamisessa käytettäviä pinnoitteita ja tiivisteitä on koottu taulukkoon 16. Pinta-alan perusteella suuri osa sisäpintojen pinnoitteista on sementtilaastia ja sinkkiä. Ne on käsitelty omissa kohdissaan aiemmin.

Pinnoitteet voidaan jakaa niihin, jotka tehdään tehtaalla uusiin tuotteisiin ja toisaalta niihin, jotka tehdään muissa olosuhteissa joko uusiin laitteisiin (esim. betoniset vesisäiliöt) tai vanhan materiaalin kunnostamiseksi (esim. sementtilaasti valurautalinjoissa, epoksi kiinteistöputkistoissa). Materiaalin käyttömuoto pinnoitteena sekä pinnoitemateriaalin että pinnoitettavan materiaalin koostumus ja ominaisuudet vaikuttavat ratkaisevasti reaktioihin ja mekanismeihin, jotka voivat huonontaa kestävyyttä. Pinnoitteiden vauriomekanismit ovat usein erilaiset kuin samasta materiaalista valmistetun tuotteen vauriomekanismit.

Pinnoitteilta vaaditaan mm. hyvää korroosionkestävyyttä, kulutuskestävyyttä ja tarttuvuutta. Maalipinnoitteita käytetään yleisesti talousvesiverkostoissa mm. vesisäiliöiden pinnoitteissa ja kiinteistöjen kylmä- ja lämminvesiputkien saneerauspinnoitteina. Lisäksi maaleja käytetään jakeluverkostojen putkien ulkopinnoitteina. Maali on nestemäinen tai jauhemainen tuote, joka levitetään ohueksi kerrokseksi maalattavalle alustalle ja se kuivuu tai kovettuu kiinteäksi kalvoksi alustan pinnalle. Maalikalvo koostuu sideaineesta ja siihen dispergoituista pigmenteistä ja apuaineista. Verkostomateriaalien pinnoissa käytettävät maalit voidaan ryhmitellä 1-komponenttisiin ja 2-komponenttisiin maaleihin. Tyypillinen 1-komponenttinen maali on kertamuovijauhemaali epoksi (EP) (liuotteeton). 2-komponenttisisissä maaleissa on muovi ja kovete. Tyypillisiä 2-komponenttisiä maaleja ovat epoksi (E) (vesi-, liuoteohenteiset, liuotteettomat) sekä polyuretaani (PUR) (liuoteohenteinen ja liuotteeton). (Kunnossapitoyhdistys 2006)

Suomessa eniten käytettyjen pinnoitteiden vauriomekanismit ovat taulukossa 17.

Maalien kestävyuden kannalta olennaista on maalien kiinnitystekniikka pintaan. Se vaikuttaa pinnoitteen huokoisuuteen sekä lopulta veden kulkeutumiskykyyn ja tarttumiseen pintaan (Kunnossapitoyhdistys 2006). Käyttöikää arvioitaessa oletetaan yleensä, että pinnoitteet pysyvät kiinni pohjamateriaalissa koko käyttöajan. Käytännössä näin ei kuitenkaan ole. Maalipinnoitteille tyypillisiä vaurioiden ilmenemismuotoja ovat kupliminen ja säröily. Olennaista olisikin selvittää mm. miten veden laatu vaikuttaa eri pinnoitteiden kiinni pysymiseen. Toinen selvitettävä asia on, kuinka erilaiset pinnoitteet pysyvät kiinni muiden olosuhteiden muutosten seurauksena kuten jakelulinjojen voimahuuhtelu tai possutus. Usein pinnoitteet testataan talousvesikäyttöä varten vain hygieenisten ominaisuuksien osalta, mutta myös pinnoitteiden kestävyys tulisi varmistaa.

Jakeluverkostojen metalliputkien pinnoitemateriaali on olennainen putken käyttöiän kannalta. Mahdollisia vauriomekanismeja ovat (Papavinasam ym. 2006):

- ilman tai veden permeaatio pinnoitteen läpi
- pinnoitteen irtoaminen
- koheesion menetys
- kupliminen
- katodisen suojauksen aiheuttama sidosten heikkeneminen.

Ilman kerääntyessä pinnoitteen alle pinnoitteen sisäinen paine voi nousta ja paineen päästessä aiheuttaa pinnoitteen heikkenemistä. Veden permeaatioon liittyy suolojen mahdollinen

kerääntyminen pinnoitteen ja suojattavan rakenteen väliin. Seurauksena voi olla osmoosin voimistuminen, jota puolestaan mahdollinen katodinen suojaus voi kiihdyttää. Koheesion menetyksessä pinnoitteen sisäinen koossa pitävä voima heikkenee. Jos joko pinnoitetta suojattavaan rakenteeseen sitova adheesiovoima tai pinnoitteen sisäinen koheesio on selvästi suurentunut, on seurauksena rikkoutuminen. Kuplimisessa pinnoite turpoaa veden imeytymisen seurauksena aiheuttaen lappeellisen rikkovan voiman pinnoitteen ja suojattavan materiaalin välillä. Adheesio menetys tällä alueella aiheuttaa rakkulan muodostumisen. Katodinen suojaus voi aiheuttaa muutoksia paikallisissa kemiallisissa ja fysikaalisissa olosuhteissa kuten esim. pH tai katodipotentiali. (Papavinasam ym. 2006)

**Taulukko 16.** Suomessa jakelu- ja kiinteistöverkostojen uudisrakentamisessa käytettäviä tiiviste- ja sisäpinnan pinnoitemateriaaleja.

Materiaali	Tuote			
	Jakeluverkosto		Kiinteistöverkosto	
	Tiiviste	Pinnoite	Tiiviste	Pinnoite
<b>Kumit</b>				
Eteenipropeenikumi (EPDM)	x	x	x	
Fluorikumit	x	x	x	
Klooributylikumi (CIIR)			x	
Luonnonkumi (NR)	x			
Nitriilikumi (NBR)	x	x	x	
Styreenibutadieenikumi (SBR)	x			
<b>Muovit</b>				
Epoksi		x		x
Polyamidi (PA)		x		
Polyeteenitereftalaatti (PET)		x		
Polytetrafluorietyyleeni (PTFE)			x	
Polyuretaani (PU)	x			
<b>Muut</b>				
Betoni/sementtilaasti		x		
Emali				x

**Taulukko 17.** Käytetyimmät ulko- ja sisäpinnoitteet jakelu- ja kiinteistöverkostoissa ja niiden vauriomekanismeja.

<b>Materiaali</b>	<b>Ulko-/Sisäpinta</b>	<b>Pohjamateriaali</b>	<b>Vauriomekanismit</b>
<b>Jakeluverkosto</b>			
Sementtilaasti	sisäpinta	valurauta- ja teräsputket	irtoaminen, liukeneminen, halkeilu (kts. sementtilaasti)
Polyeteeni	ulkopinta	valurauta- ja teräsputket	irtoaminen, säröily, vanheneminen
Epoksi	sisä- ja ulkopinta	valurauta- ja teräsputket sekä liitoskappaleet ja venttiilit	irtoaminen, vanheneminen
Polyuretaani	ulkopinta	valurauta- ja teräsputket	irtoaminen, vanheneminen
Bitumi	ulko- ja sisäpinta (ei uudisasennuksissa sisäpinnoissa)	valurauta- ja teräsputket	irtoaminen
<b>Kiinteistöverkosto</b>			
Sinkki	sisäpinta	teräsputket- ja liitoskappaleet	liukeneminen (kts. sinkitty teräs)
Kromi	ulkopinta	kupariputket, messinkiset liittimet ja venttiilit	liukeneminen

#### 4.6.1 Kumit

Kumipäällysteen kestoikään vaikuttavat kemiallinen kestävyys, diffuusio-ominaisuudet, vanhenemisen kesto, turpoamisominaisuudet ja kiinnipysyvyys (Kunnossapitoyhdistys 2006). Samat ominaisuudet ovat kuitenkin kiinnipysyvyyttä lukuun ottamatta yhtä tärkeitä kumitiivisteille. Tiivisteet aiheuttavat monesti vuotoja ennen tuotteen muiden materiaalien käyttöään loppumista. Tyypillisin vaurioitumismuoto kumitiivisteelle on haurastuminen. Kumien kestävyys ja muut ominaisuudet riippuvat erittäin merkittävästi kumityypistä.

Kumien kemiallisten ja fysikaalisten muutosten summana tapahtuva vanheneminen voidaan jakaa eri tekijöihin (Lamusuo 1985):

- happi + lämpö (lämpövanheneminen)
- happi + mekaaninen jännitys
- otsoni + mekaaninen jännitys
- happi + valo tai UV-säteily
- kuuma vesi tai höyry (hydrolyysi)
- lämpö yksinään (jälkivulkanoituminen, reversio)

- radioaktiivinen säteily (lämpövanheneminen)

Tutkimuksen mukaan kloramiini voi heikentää elastomeerien kestävyyttä merkittävästi ja vaikutus on selvästi vahvempi kuin vapaata klooria käytettäessä. Mono- ja diklooriamiini mm. edesauttavat säröilyä ja elastisuuden vähenemistä elastomeereilla. Eniten kloramiinit heikentävät elastomeereja, joissa on käytetty luonnollista isopreenia (kumi) tai synteettisiä isopreenin johdoksia. Vain täysin kemiallisesti kestäviksi suunnitellut synteettiset polymeerit kestävät hyvin kloramiinialtistusta. Kaksi testattua asetaalipolymeeria (Celcon ja Delrin) ovat alttiita sekä vapaan kloorin että eri klooriyhdisteiden yhdistetylle hyökkäykselle. Testattu polysulfoni (Udel) ei reagoinut klooriyhdisteisiin. (AwwaRF 1993)

## **Luonnonkumi**

Luonnonkumin (NR) ylin käyttölämpötila on 70-80 °C seoksesta ja kohteesta riippuen. Se ei kestä öljyjä, joita voisi joutua jakeluverkostojen tiivisteisiin esimerkiksi saastuneesta maaperästä (Kunnossapitoyhdistys 2006). Luonnonkumia on käytetty Suomessa talousvesiverkostoissa aiemmin paljon, mutta sen käyttö on nykyään vähäistä. Luonnonkumin koostumus vaihtelee. Sen kuivapainosta 90 % on cis-1,4-polyisopreenia, mutta 10 % koostumuksesta on mm. proteiineja, lipidejä, hiilihydraatteja, hartseja ja epäorgaanisia suoloja. Toisaalta esim. synteettinen raaka cis-1,4-polyisopreenikumi (IR) ei sisällä ei-kumimaisia ainesosia lukuun ottamatta antioksidantteja (Berekaa ym. 2000).

Kumia hajottavia bakteereja on tunnistettu jo paljon ja hajoamisprosessi alkaa cis-1,4-polyisopreeniketjujen kaksoissidosten hapettumisella (Berekaa ym. 2000). Mikrobitoiminta voi kasvaa suureksi luonnonkumin pinnalla ja muuttaa ratkaisevasti kumin fyysistä rakennetta. Luonnonkumilla saatuja tuloksia mikrobikasvun vaikutuksista ei voi suoraan soveltaa synteettisiin kumeihin (Heisey ja Papadatos 1995). Oleellista kumien mikrobiologisesta hajoamisesta on selvittää, onko kysymyksessä lisäaineiden liukeneminen vai itse hiilivetyketjujen käyttö mikrobien energianlähteenä. Luonnonkumin osalta molempia on havaittu. Mikrobiologinen kasvu kumimateriaalilla saadaan pitkälti estettyä antioksidanteilla. Linosin ja Steinbüchelin (1998) mukaan mikrobiologinen kasvu kumilla voi johtua pienistä molekyyleistä, jotka voivat irrota kumista, otsonin käytöstä, mekaanisesta rasituksesta tai materiaalille korkeasta lämpötilasta johtuen. Myös aktinomykeettien eli sädesienten vaikutuksia pidetään yleisesti tärkeänä luonnonkumin mikrobiologisessa hajoamisessa (Linos ja Steinbüchel 1998).

## **Polyuretaani**

Polyuretaanikumi on hyvin kulutusta kestävä pinnoite (Kunnossapitoyhdistys 2006). Polyuretaanien ryhmä sisältää erilaisia rakenteita ja koostumuksia. Useiden polyuretaanien on todettu hajoavan mikrobitoiminnan vaikutuksesta. Monien polyuretaanien on todettu myös voivan toimia hiilenlähteenä mikrobeille. Yleissääntönä hajoavuutta rajoittaa ainakin polymeerien säännöllinen rakenne, joka johtaa kiteisten alueiden syntymiseen (Howard 2002). Koska polyuretaanien ryhmä on moninainen, mikrobiologisten vaikutusten arviointi olisi tehtävä seoksittain.

## Muut kumit

Styreenibutadieenikumi (SBR) ei kestä öljyä, joka rajoittaa materiaalin käyttöä saastuneissa maaperissä. Nitriilikumi (NBR) puolestaan kestä öljyä. Eteenipropeenikumi (EPDM) on melko kaasutiivis ja kestä hyvin lämpöä (Kunnossapitoyhdistys 2006). Tutkimuksessa havaittiin 3 viikon - 4 vuoden ikäisten venttiilien NBR- ja EPDM-tiivisteiden olevan paksujen biofilmien peitossa. Osa sakoista oli kovia ja osa pehmeitä (Kilb ym. 2003).

## 4.6.2 Muovit

### Epoksi

Epoksi on yleinen sisäpinnoite erilaisissa jakeluverkoston laitteissa, mutta sitä käytetään myös ulkopinnoitteena. Kiinteistöjen vesijohtojen saneerauksissa käytetään epoksinpinnoitusta.

Suomessa kiinteistöjohdoissa käytettävässä menetelmässä vanha metalliputki puhdistetaan ja kuivataan hiekkapuhallusta vastaavalla menetelmällä, jonka jälkeen suoritetaan painekoe paineilmalla. Epoksinpinnoite puhalletaan putkiin paineilmalla ja sen leviämistä säädelään paineella ja lämpötilalla. Menetelmässä epoksimassa valitaan pinnoitettavan metallimateriaalin mukaan. Menetelmää on käytetty parikymmentä vuotta Keski-Euroopassa. Suomessa menetelmää käytettäessä tulee ottaa huomioon mm. kupariputkien messinkijuotosten mekaanisen lujuuden heikentyminen. Tiettävästi Keski-Euroopassa on käytetty huomattavasti enemmän kierreosia liittämässä. Erningin (2007) mukaan erityisesti lämpimän veden linjoissa näiden pinnoitteiden pitkäaikaiskestävyys on tuntematon. Pinnoitteen kestävyys korkeassa lämpötilassa ja lämpötilanmuutoksille tulisi testata.

### Polyeteeni

Jakeluverkostojen pallografiittirauta- ja teräsputkien ulkopinnoitteina käytetään usein polyeteeniä putken syöpymisen estämiseksi. Yleisesti vaurioita voivat aiheuttaa mm. mekaaniset rasitukset ja vanhenemisilmiöt (Kocks 2006). Vanhat pinnoitteet voivat säröillä. Ulkopinnoitteena käytetään vastaavaa PE 80 -materiaalia kuin putkissa. Taulukkoon 18 on koottu polyeteenisen ulkopinnoitteen saksalaisen standardin mukaiset paksuudet teräsputken koon mukaan.

**Taulukko 18.** Teräsputken ulkopinnoitteen paksuusvaatimukset (DIN 30670).

Putken halkaisija (mm)	Pinnoitteen paksuus (tavalliset olosuhteet) (mm)
< DN 100	1,8
DN 100-250	2,0
DN 250-500	2,2
DN 500-800	2,5
> DN 800	3,0

### **4.6.3 Muut materiaalit**

#### **Bitumi**

Bitumia käytetään jakeluverkostojen putkissa pinnoitteena, mutta sen käyttö uudisasennuksissa on loppunut veden kanssa kosketuksissa olevilta osin. Bitumia voidaan käyttää sellaisenaan, mutta rakennetta voidaan myös vahvistaa useammalla kerroksella ja esim. välikankaiden avulla (Kunnossapitoyhdistys 2006).

## 5 Kunnan ja käyttöiän arviointi

Jakelu- ja kiinteistöverkostojen putkien ja laitteiden kuntoa voidaan arvioida ja selvittää erilaisilla menetelmillä. Monesti kunnonarviointia laiminlyödään ja ennalta ehkäisevät toimenpiteet jätetään suorittamatta, minkä seurauksena korjaus tai saneeraus aloitetaan vasta vuotojen ilmetessä. Tosin ennaltaehkäisevät käytännöt ovat yleistyneet sekä jakelu- että kiinteistöverkostoissa. Käytännössä jakeluverkostoissa tihkuvuotoja esiintyy yleensä aina, mutta yksittäisen vuodon vaikutus on suhteellisen pieni. Se lisää osaltaan kuitenkin koko verkoston vuotovesimäärää. Kiinteistöissä pienikin vuotava vesimäärä voi aiheuttaa lyhyessä ajassa merkittävät vahingot. Suuremmat ja pitkään kestävät vuodot lisäävät myös asiakkaalta laskutettavaa vesimäärää merkittävästi. Verkostovuodot voivat olla hitaasti syntyviä ja pieniä, tai toisaalta äkillisiä ja suuria. Monet laitevauriot havaitaan, kun huomataan, että esim. venttiili ei enää sulkeudukaan. Tällöin viallinen laite vaihdetaan tai korjataan eikä asia välttämättä liity mihinkään suurempaan ongelmaan. Putkivauriot voivat ilmentää laajempaa, koko verkostoa koskevaa ongelmaa.

Verkostomateriaalien kunnan arvioinnin menetelmät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään sekä jakelu- että kiinteistöverkostossa:

- Vuotojen havainnointi
- Ainetta rikkomattomat menetelmät
- Ainetta rikkovat menetelmät

Vuodot eivät kerro mitään materiaalin kunnosta, mutta niitä voidaan pitää indikaattorina verkoston kunnosta. Jakeluverkostojen kuntoa tarkkaillaan paljon vuotoja havainnoimalla. Kiinteistöverkostojen kuntoa selvitetään usein ainetta rikkomattomilla menetelmillä, joilla saadaan tietoa materiaalin kunnosta, mutta nämä tekniikat eivät ole yleistyneet merkittävästi jakeluverkostoissa. Vuotojen havainnoinnin ja ainetta rikkomattomien menetelmien lisäksi on ainetta rikkovia menetelmiä, joissa verkostosta otetaan näytteitä ja materiaalin kunto ja mahdollisesti vaurion syy selvitetään erilaisin laboratoriotutkimuksin.

### 5.1 Jakeluverkostot

Suurin osa talousveden jakeluverkostosta Suomessa on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla. Näiden verkostojen käyttöaika alkaa lähestyä loppuaan. Tähän aikaan sijoittuu ehkä myös voimakkain muutos käytetyissä putkimateriaaleissa, sillä muovimateriaalien laaja käyttö alkoi 1960-luvulla. Aiemmin kuntotutkimus keskittyi metalliputkiin, koska niitä on käytetty pitkään, mutta nykyisin myös monet muoviputket alkavat lähestyä arvioitua maksimikäyttöikänsä. Suomessa käytetään eurooppalaisten maiden joukossa eniten muovisia putkia jakeluverkostoissa, ja esim. Hollannissa, jossa on käytetty paljon muovisia putkia, osuus on n. puolet Suomessa käytetystä määrästä (Rajani ja Kleiner 2004). Tämä johtunee maamme suhteessa moniin maihin myöhemmin rakennetusta jakeluverkostosta sekä harvasta asutuksesta. Suomessa olisikin panostettava muovisten vesijohtojärjestelmien vauriomekanismien ja kuntotutkimusmenetelmien tutkimukseen. Muoviputkien käyttö todennäköisesti tulee lisääntymään entisestään myös muissa maissa joten menetelmillä olisi varmasti tarvetta muuallakin. Nykyisin Suomessa käytössä olevat jakeluverkostojen kunnan tarkkailuun käytettävät menetelmät ovat taulukossa 19.

**Taulukko 19.** Suomessa käytössä olevat jakeluverkostojen kunnan tarkkailumenetelmät. Taulukossa ei ole ainetta rikkovia menetelmiä.

<b>Menetelmä</b>	<b>Soveltuvuus eri materiaaleille</b>	<b>Käyttö</b>	<b>Käytön edellytykset</b>
<b>Vuotojen havainnointi</b>			
Vuotojen havaitseminen maastosta	ei riipu materiaalista	Suuret vuodot voidaan havaita suoraan maan painumisena tai veden kerääntymisenä pinnalle tai painaumaan	Putkilinja sijaitsee alueella, missä liikkuu ihmisiä
Kulutusseuranta	ei riipu materiaalista	Vuotoveden määrää seurataan verkoston eri osissa	Verkoston osien eristys ja mittaukset yöaikaan
Maamikrofoni	metalliset putket	Havaitaan vuodon aiheuttama ääniaalto maanpinnalla	Laitteistot ja niiden käyttötaito
Akustokorrelaattori	metalliset putket	Havaitaan vuodon aiheuttama ääniaalto putken pinnasta	Laitteistot ja niiden käyttötaito, anturit pitää saada kiinni putkeen
Ääniloggeri	metalliset putket	Tuottaa akustista tietoa vuodoista haluttaessa jatkuvatoimisesti	Laitteistot ja niiden käyttötaito
Paine- ja virtaamamittaukset	ei riipu materiaalista	Paineita voidaan mitata verkoston erillisissä osissa; verkoston automaattiset paineen- ja virtauksen tarkkailujärjestelmät	Verkoston osien eristys ja mittaukset yöaikaan
Merkkikaasumenetelmä	ei riipu materiaalista	Kaasua syötetään tyhjennettyyn verkostoon ja se purkautuu vuotokohdasta	Verkoston tyhjennys ja osien eristäminen
Maatutka	metalliset putket, asbestisementti	Putkien havaitseminen, vuotojen havaitseminen	Laitteistot ja niiden käyttötaito



### **Ainetta rikkomattomat menetelmät**

---

Käyttökokemus eri materiaaleista

soveltuu kaikille materiaaleille

Kokemuksesta voidaan tietää miten materiaali käyttäytyy tietyssä verkoston osassa tietyn ikäisenä ja kohdistaa toimenpiteet vastaaviin osuuksiin

Riittävän tarkat verkostokartat, kertynyt materiaalitieto

Maaperän ominaisuuksien selvittäminen

syövyttävyys koskee metalli- ja sementtipohjaisia materiaaleja

Maaperän syövyttävyuden mittaus, kertynyt tieto toiminta-alueen maaperän ominaisuuksista

Oikein suoritettu näytteenotto, maaperätietojen tallennus

---

Merkittävä ongelma jakeluverkostojen osalta varsinkin pienissä vesilaitoksissa ja osuuskunnissa on tiedon puute tai epätarkkuus verkoston sijainnista, materiaaleista ja putkikoosta. Putkilinjojen paikantaminen voi olla hyvin aikaa vievää, jos ”tieto” linjan sijainnista on jo työnsä lopettaneen asentajan muistissa. Tämä hidastaa mahdollista korjaus- ja saneeraustyötä nyt ja vuosikymmenien päästä, kun uudempiakin linjoja pitää korjata tai saneerata.

Useimmiten vesijohtolinjat joudutaan käytännössä paikallistamaan tarkemmin lähimaastossa. Paikantamiseen liittyvä suuri ongelma on se, että muoviputkia ei pystytä paikantamaan maan päältä kuten metalliputkia. Muoviputken paikantamiseen voidaan käyttää sondia, joka syötetään putken sisään ja anturi havaitsee sondin sijainnin. Metalliputkilinjoissa on mahdollista käyttää itse metalliputkea antennina.

## **Vuotojen havainnointi**

Vuotojen havainnointia hyödynnetään verkoston kunnon arvioinnissa. Yleisesti käytetyt vuotojen havainnointimenetelmät jakeluverkostojen kunnon seuraamiseksi ovat erilaiset kuuntelumenetelmät, yökulutusseuranta ja alueellinen kulutusseuranta sekä maatutka. Niitä käytetään piilovuotojen havaitsemiseen. Suuremmat vuodot havaitsee usein ohikulkija, joka ilmoittaa siitä vesihuoltolaitokselle. Haja-asutusalueilla olevien pienehköjen vuotojen havaitseminen on vaikeampaa, koska johdot sijaitsevat usein paikoissa, joissa ihmiset eivät kulje. Tyypillistä on, että näillä alueilla sijaitsevat piilovuodot havaitaan vasta sitten, kun verkoston paine on alentunut oleellisesti (Rosengren 2003). Piilovuotojen havainnoinnissa käytetään kulutusseurantaa ja kuuntelumenetelmiä.

### *Kulutusseuranta*

Kulutusseurannalla pyritään tarkastelemaan vuotoveden määrää verkoston eri osissa. Vuotojen määrittämisessä voidaan käyttää arviointimenettelyä, joka perustuu yön aikaisen vesimäärän mittaamiseen. Sen avulla saadaan arvio jakelujärjestelmän veden hukasta eli se antaa kuvan vuotopotentialista. Toisaalta menetelmä ei kerro mitään vuodon sijainnista. Menetelmä vaatii jakeluverkostojen osien eristämistä ja työn suoritusta yöllä (Makar ja Chagnon 1999). Menetelmässä joudutaan käyttämään vesimittareita sekä veden syöttöpisteissä että kulutuspisteissä (Rosengren 2003). Yö- ja aluekulutusseurantaan perustuvat menetelmät eivät ole riippuvaisia putkimateriaalista.

### *Kuuntelumenetelmät*

Yleisesti käytetty vuotojen selvitysmenetelmä on kuuntelu. Kuuntelumenetelmät perustuvat vuodon aiheuttamaan ääneen, jota havainnoidaan apuvälinein. Kuuntelu voidaan suorittaa paikan päällä mikrofonilla, akustokorrelaattorilla tai kerätä akustista tietoa pidemmältä ajalta ääniloggereiden avulla. Vuodoista aiheutuu ääni, joka voidaan havaita kuuntelijan kokemuksen tai elektronisen kuuntelulaitteen avulla. Näillä menetelmillä voidaan havaita vuotoja joiden suuruus on luokkaa 1 l/min. Vuotomenetelmiä on käytetty lähinnä metalliputkissa. Kaikkia vuotoja ei havaita ja taustamelu voi olla myös ongelmallista (Makar ja Chagnon 1999). Kuuntelumenetelmät eivät ole kovin luotettavia yli 300 mm:n kokoisissa putkissa sekä muissa kuin metallisissa putkissa (Mergelas ja Henrich 2005). Ääniloggereiden avulla näitä menetelmiä voidaan käyttää tehokkaammin hyväksi.

Menetelmät tuottavat muoviputkia tutkittaessa usein ääniä taajuuksilla <50 Hz, joita ihminen ei pysty kuulemaan, joten menetelmien käyttö on ongelmallista. Vuotoja on pystytty tutkimuksessa havaitsemaan hyvin läheltä mitattuna. Kuuntelumenetelmien toimivuutta muoviputkissa voidaan parantaa ohjelmallisia algoritmeja parantamalla, käyttämällä tarkoin säädettyjä äänisuotimia ja mittaamalla vuotosignaaleja hydrofonilla tai hyvin herkillä tärinämittareilla (Hunaidi ym. 2000).

### *Maatutka (Ground penetrating radar)*

Menetelmä perustuu joko maahan vuotavan veden seurauksena syntyneiden huokosten tai putken syvyydessä esiintyvien poikkeavuuksien havaitsemiseen. Maaperässä oleva vesi hidastaa tutka-aaltoja ja menetelmä perustuu tämän ilmiön hyödyntämiseen lähettämällä aaltoja maaperään ja sitten havaitsemalla aallot niiden heijastuessa osittain takaisin (Hunaidi ym. 2000). Maatutkaa käytetään johtojen paikantamiseen ja linjaustutkimuksissa.

### **Ainetta rikkomattomat menetelmät**

Verkostojen kuntoa voidaan arvioida erilaisilla menetelmillä. Käytännön vesilaitostyössä käytetyimmät menetelmät ovat ainetta rikkomattomia ja perustuvat paikan päällä tehtyihin havaintoihin. Tyypillisesti nämä käytetyimmät menetelmät perustuvat vuotojen havainnointiin. Suurin osa ns. kehittyneemmistä ainetta rikkomattomista menetelmistä perustuu siihen, että putken sisään tulee saada anturi, joka mittaa materiaalin ominaisuuksia (kohta Muita tekniikoita). Toistaiseksi näillä menetelmillä on vähäinen merkitys vesilaitoksille. Niille on ollut enemmän käyttöä teollisuudessa. Veden laadun muutokset ja kuluttajien valitusten määrä voi kertoa jotain myös verkoston kunnosta.

Verkostokappaleiden ulkopintaa ei pystytä tutkimaan nykyään yleisesti käytössä olevin ainetta rikkomattomin menetelmin vaan tarvitaan laboratoriotutkimuksia. Ainetta rikkomattomia tutkimusmenetelmiä on lähinnä valurauta-, teräs- ja betoniputkille, sillä ainetta rikkomattomia menetelmiä polymeeriputkille ei vielä ole. Kuitenkin aiemmasta käyttökokemuksesta on suuri hyöty kaikilla materiaaleilla.

### *Käyttökokemus eri materiaaleista*

Kokemuksen perusteella usein tiedetään, että jokin materiaali alkaa tietyssä verkostonosassa olla huonossa kunnossa tietyn ajan jälkeen. Tätä tietoa voidaan hyödyntää samasta materiaalista valmistetuissa linjoissa ja tarkkailla niitä huolellisemmin tai aloittaa saneeraus ennen ongelmien ilmenemistä. Usein vuotohavaintojen ja -tutkimusten perusteella tiedetään, mikä verkoston osa tai linja vaatii kunnostusta. Lisäksi verkoston kunnon arvioinnissa on olennaista, että verkostokarttoihin on merkitty putkimateriaalit ja niiden iät. Maaperän laatu-tietoja voidaan hyödyntää geologisista kartoista.

### *Maaperän ominaisuuksien selvittäminen*

Usein vesilaitoksella on tietoa oman toimialueensa maaperän ominaisuuksista. On yleinen tieto, että sulfaattipitoinen maaperä on syövyttävää ja laitoksella yleensä tiedetään missä kyseistä maaperää on. Maaperän syövyttävyyden mittauksella (soil corrosivity measurement) voidaan arvioida maaperän aiheuttamaa ulkopuolisen syöpymisen todennäköisyyttä

metalliputkilla. Yhdysvalloissa käytetään viiden muuttujan (sähkönjohtokyky, pH, redox-potentiaali, sulfidien määrä, kosteus) perusteella tapahtuvaa arviointia. Tällä yksinkertaisella menetelmällä saadaan selvitettyä kalliimpien menetelmien käyttöönoton tarvetta. Toinen tapa selvittää maaperän vaikutuksia metallimateriaaliin on potentiaalimittaukset (half-cell potential measurements). Kuten maaperän syövyttävyyden mittaukset, on potentiaalimittaus yksinkertainen tapa selvittää kalliimpien menetelmien tarve. Menetelmässä suoritetaan potentiaalimittaus tietyn metallin ja maaperän välillä, jolloin saadaan selville maahan upotettuihin kappaleisiin liittyvän ulkopuolisen syöpymisen todennäköisyys. Maaperän paikalliset olosuhteet vaikuttavat tuloksiin eikä pieniä paikalliskorroosion alueita pystytä tunnistamaan (Makar ja Chagnon 1999).

### *Muita tekniikoita*

Uusien ainetta rikkomattomien tekniikoiden käyttöä rajoittaa eniten vesijohtoverkoston sijainti maaperässä, sillä antureita on hankala saada putken sisään. Samoin monet tekniikat vaativat, että putki tyhjenetään vedestä tai se on puhdistettava huolellisesti tutkimuksen ajaksi, jolloin menetelmän käyttöarvo alenee merkittävästi. Huoltotöiden yhteydessä putkien kunto voidaan helposti tarkastaa ja mahdollisesti ottaa myös näytepaloja.

Metalliputkia voidaan tutkia RFEC-menetelmällä (remote field inspection, hydroscope / remote field eddy current). Menetelmässä hyödynnetään sähkömagneettista säteilyä, joka muodostaa kentän seinämän läpi putken sisällä peräkkäin olevien kahden käämin välillä. Tällä tekniikalla voidaan havaita pistesyöpyymiä, muutoksia seinämän paksuudessa sekä murtumia. Menetelmän avulla voidaan ennustaa putkilyn kunnon muutoksia. Menetelmän käyttö ei vielä ole kaupallisesti laajalle levinnyt, mutta sitä on käytetty seinämän paksuuden pienenemisen arvioinnissa. Rajoituksena on, että laite on saatava tarkastettavaan putkilyn sisään ja lisäksi pinnan puhdistus voi olla välttämätöntä. Syöpymäkuoppien koon ja käyttöikätietojen yhdistäminen on työlästä. Kanadalaisen tutkimuslaitoksen kokeessa menetelmällä ei havaittu valuraudasta alle 3,6 mm<sup>3</sup> syöpymäkuoppia. Tämä on ainoa kaupallisesti hyödynnetty menetelmä, joka pystyy havaitsemaan vauriot ennen putkien vuotamista (Makar ja Chagnon 1999).

Magneettivuoto (magnetic flux-leakage) hyödyntävän menetelmän toiminta perustuu magneettien aiheuttamaan kenttään putken seinämään valurauta- ja teräspuissa. Syöpymät tai vauriot aiheuttavat sen, että osa magneettivuosta menee putken ulkopuolelle, joka sitten havaitaan putken sisäisillä sensoreilla. Tekniikkaa käytetään laajasti öljy- ja kaasuputkien kunnon selvittämisessä. Vesijohdoissa ongelman muodostavat pinnoitteet, sillä magneetti tarttuu tiukasti putken pintaan vaurioitaen helposti pinnoitteita. Putken on oltava myös täysin puhdas (Makar ja Chagnon 1999). Ultraäänellä (ultrasound) voidaan havaita seinämän paksuus, säröt ja kuopat (Kunnossapitoyhdistys 2006). Ultraäänitekniikassa käytetään koherenttia äänienergiaa ultraäänillä ja sillä on mahdollista havaita valuraudan pistesyöpyminen (Makar ja Chagnon 1999). Harmaan valuraudan ja pallografiittiraudan vaurioita on mahdollista havaita tällä menetelmällä, mutta esim. asbestisementin osalta ongelmana on materiaalin pehmeys ja epätasaisuus, jolloin aallot eivät pääse kulkemaan halutulla tavalla. Pinnan tulee myös olla puhdas. Tekniikkaa käytetään kaasu- ja öljyteollisuudessa, mutta kaupallinen käyttö vesihuollossa ei ole alkanut ainakaan vielä (Rajani ja Kleiner 2004). Lämpösäteilyn mittaukseen perustuvassa menetelmässä hyödynnetään infrapunasäteilyä (infrared), joka muunnetaan näkyväksi ja tulkittavaksi kuvaksi. Vuoto voi aiheuttaa vuotokohdan yläpuolella olevan maaperän näkymisen ympäristöään viileämpänä tai lämpimämpänä, jolloin vuoto voidaan havaita. Myös vedellä

kyllästynyt alue voidaan havaita. Tämä menetelmä voisi soveltua tulevaisuudessa vuotojen etsintään (Hunaidi ym. 2000).

### **Ainetta rikkovat menetelmät**

Yleensä laboratorio-olosuhteissa suoritettavat ainetta rikkovat menetelmät mahdollistavat materiaalityypistä riippumatta huomattavasti tarkemman vauriomekanismien ja syiden selvittämisen kappaleen ulko- ja sisäpuolelta. Metalleilla ainetta rikkovia menetelmiä käytettäessä tutkitaan tyypillisesti mahdolliset syöpymät ja säröt silmämääräisesti tai mikroskopoimalla sekä mitataan jäljellä oleva pienin seinämänpaksuus.

Muovimateriaalien kuntoa voidaan myös selvittää erilaisten kokeiden avulla. Kunnan selvittämisessä tarvitaan sekä mekaanisia että kemiallisia menetelmiä. Mekaanisissa kokeissa muovi voidaan altistaa erilaisille mekaanisille rasituksille. Tyypillisesti määritettäviä ominaisuuksia ovat lovi-iskusitkeys, paineenkestävyys, murtovenymä ja vetolujuus. Muovin kemiallisia ominaisuuksia voidaan selvittää hapetuskestävyyden avulla. Hapetuskestävyyttä mittaava testi on esim. OIT (oxidation induction time), jossa materiaalin antioksidantin kulumista mitataan nopeutetuissa olosuhteissa korkeassa lämpötilassa ja happipitoisuudessa. Myös erilaisten reaktiotuotteiden määrää voidaan mitata. Tällä hetkellä käytännössä ainoat menetelmät tutkia muoviputkien kuntoa ovat ainetta rikkovia menetelmiä.

### **5.2 Kiinteistöverkostot**

Kiinteistöissä on pyrittävä siihen, että vuotoja ei sattuisi, sillä vuotovesi aiheuttaa muiden rakenteiden kastumista ja vaurioitumista. Finanssialan Keskusliiton vuotovahinko-ohjeiden mukaan kiinteistöjen vesiputkistot tulisi tarkastaa 10 vuoden välein ainetta rikkomattomin menetelmin ja tehdä niille kuntoarvio. Putkistot tulisi tarkastaa täydellisesti 30 vuoden välein eli tehdä niille kuntotutkimus. Putkistojen tarkastus tulisi antaa ammattiliikkeen tehtäväksi (Finanssialan Keskusliitto 2005). Kuten jakeluverkostoissa, myös kiinteistöputkistojen ja laitteiden vaurioita voidaan tutkia ainetta rikkomattomilla ja rikkovilla menetelmillä. Tyypilliset menetelmät ovat taulukossa 20. Kiinteistömateriaaleille sovelletaan vastaavia ainetta rikkovia menetelmiä kuin jakeluverkostojen materiaaleille.

**Taulukko 20.** Suomessa käytössä olevat kiinteistöjen vesijohtojen kunnan tarkkailumenetelmät.

<b>Menetelmä</b>	<b>Soveltuvuus eri materiaaleille</b>	<b>Käyttö</b>	<b>Edellytykset</b>
Vuotojen havainnointi	soveltuu kaikille materiaaleille	Vuotoveden havaitseminen, rakenteiden kostuminen; Pienikiinteistöissä ja huoneistoissa, joissa oma vesimittari, voidaan vuoto todeta yökulutusta seuraamalla	Riittävän usein tehtävä johtojen tarkastus, huoneisto- ja kiinteistökohtainen vesimittari
Röntgen-kuvaus	metalliset putkimateriaalit	Seinämän paksuuden sekä syöpymien syvyyden ja laajuuden mittaus	Laitteistot ja niiden käyttötaito
Ultraäänimittaus	metalliset putkimateriaalit	Seinämän paksuuden mittaus	Laitteistot ja niiden käyttötaito

## **Vuotojen havainnointi**

Vuodot pitäisi aina minimoida kiinteistöissä. Vuotojen havainnoinnissa voidaan hyödyntää kiinteistö- ja huoneistokohtaisia vesimittareita ja veden yökulutuksen seuranta. Veden kulumisen yön aikana varsinaisen käytön lopettamisen jälkeen merkitsee vuotoa. Vuotojen havaitsemista tällä menetelmällä ei voida hyödyntää kerrostaloissa, joiden huoneistoissa ei ole omia vesimittareita. Toinen tapa havaita vuotoja kiinteistöissä on vuotavan veden havaitseminen esim. rakenteiden kostumisena. Putkistovuotojen sijaintikohta voidaan paikallistaa rikkomatta rakenteita äänimittauksilla tai lämpökameralla, mutta joskus myös painekoe on tarpeellinen.

## **Ainetta rikkomattomat menetelmät**

Selvästi yleisin ainetta rikkomaton menetelmä kiinteistön vesijohdoille perustuu röntgenkuvaukseen, joka soveltuu vain metalliputkille. Yleistynyt digitaalinen röntgenkuvaus lisää tarkkuutta perinteisiin röntgenmenetelmiin verrattuna. Muita tekniikoita ovat erilaiset optiset tarkastelutekniikat ja ultraäänimittaukset.

Tyypillisiä optisia tarkastelulaitteita ovat endoskooppi (boreskooppi) ja fiberoskooppi. Fiberoskoopissa kuva siirretään optisten kuitujen avulla. Niitä käytetään lähinnä teollisuudessa putkimateriaalien laaduntarkkailussa. Kotimaisessa tutkimuksessa skooppimenetelmät eivät tuottaneet juurikaan lisäarvoa putkien kunnon arviointiin. Ultraäänimittauksella voidaan selvittää mm. putkien seinämäpaksuuksia (Järvinen ym. 1987).

## 6 Käyttöikä ja kustannukset

Talousveden jakelu- ja kiinteistöverkostoissa vaurioiden syyt voidaan jakaa seuraavasti:

- asennus- ja käyttöönottovirheet
- teknisen käyttöiän saavuttaminen
- vahingot
- tuotevirheet

Suurin osa vaurioista johtuu virheellisestä asennuksesta ja käyttöönotosta. Teknisen käyttöiän saavuttaminen ja vahingot aiheuttavat seuraavaksi merkittävimmän osan vaurioista. Virheelliset tuotteet aiheuttavat myös jonkin verran vaurioita. Asennus- ja käyttöönottovirheet lisäävät vauriomekanismeja ja niiden voimakkuutta.

Materiaalikohtaisen tiedon pohjalta on koottu taulukkoon 21 yleisimmät verkostomateriaalien vauriot ja vauriomekanismit Suomessa. Mahdolliset materiaalikohtaiset puutteellisesti tutkitut asiat esim. mikrobiologian osalta on pyritty jättämään pois tästä taulukosta.

Joissakin tapauksissa materiaalit voivat aiheuttaa myös vaurioitumista toisilleen. Taulukkoon 22 on koottu materiaaliparit, joilla tiedetään olevan epäsuotuisten vaikutusten riski toisiinsa. Haitallinen kontakti voidaan estää pinnat toisistaan eristävien liittimien käytöllä ja asentamalla laitteet oikein.



**Taulukko 21.** Yleisimpien verkostomateriaalien vaurioita ja vauriomekanismeja Suomessa.

Uudisrakennusmateriaali	Tyypillisiä vaurioita*	Vaikuttavat vauriomekanismit*	Syitä vaurioihin
<b>Jakeluverkosto</b>			
Teräs (pinnoitettu sisä- ja ulkopuolelta)	murtuminen [katkeaminen], syöpymäkuopat, reiät	pinnoitteiden vaurioituminen → yleinen korroosio, piste-/kuoppakorroosio, mikrobiologinen korroosio	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, maaperän syövyttävyys, pohjaveden laatu ja liikkeet, sisäinen ja ulkoinen mekaaninen rasitus
Pallografiittirauta (pinnoitettu sisä- ja ulkopuolelta)	murtuminen [katkeaminen], syöpymäkuopat, reiät	pinnoitteiden vaurioituminen → grafitoituminen, yleinen korroosio, piste-/kuoppakorroosio, mikrobiologinen korroosio	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, maaperän syövyttävyys, pohjaveden laatu ja liikkeet, sisäinen ja ulkoinen mekaaninen rasitus
Polyeteenit (PE100 ja 80)	murtuminen [halkeaminen], puskuhitsausliitosten repeämät	vanheneminen [lasittuminen, kovettuminen, haurastuminen], aineiden liukeneminen	asennusvirheet, vanheneminen osittain materiaalille ominainen ilmiö, aggressiiviset yhdisteet (vedessä kloori), auringonvalo, lämpötila, sisäinen ja ulkoinen mekaaninen rasitus
PVC	murtuminen [halkeaminen]	vanheneminen [lasittuminen, kovettuminen, haurastuminen], aineiden liukeneminen	asennusvirheet, vanheneminen osittain materiaalille ominainen ilmiö, aggressiiviset yhdisteet (vedessä kloori), auringonvalo, lämpötila, sisäinen ja ulkoinen mekaaninen rasitus
Betoni (teräsbetoni)	betonin halkeilu	betonin ja teräksen syöpyminen, halkeamien syntyminen	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, jäätyminen
Sementtilaasti	laastin irtoaminen ja halkeilu, tiiviyyden heikkeneminen	syöpyminen, halkeamien syntyminen	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, verkoston sisäpuolinen mekaaninen rasitus

### Kiinteistöverkosto

Kupari	paikalliset syöpmät	pistekorrosio, eroosikorrosio, (rako- ja piilokorrosio, korrosioväsyminen, ulkopuolinen korrosio)	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, väärin tehty käyttöönotto, liian suuri virtausnopeus
PEX	murtuminen [halkeaminen]	vanheneminen, aineiden liukeneminen	asennusvirheet, vanheneminen osittain materiaalille ominainen ilmiö, aggressiiviset yhdisteet (vedessä kloori), suunnittelulämpötilan ylitys, auringonvalo, mekaaninen rasitus
Monikerros (PEX+alumiini+ PEX tai PE-RT)	murtuminen [halkeaminen]	vanheneminen, aineiden liukeneminen	asennusvirheet, vanheneminen osittain materiaalille ominainen ilmiö, aggressiiviset yhdisteet (vedessä kloori), suunnittelulämpötilan ylitys, auringonvalo, mekaaninen rasitus
Messinki	murtuminen	jännityskorrosio	sisäinen jännitys (puserrusliittimien liikkakiristys), muut asennusvirheet

### Aiemmin asennetut materiaalit

#### Tyypillisiä vaurioita\*

#### Vaikuttavat vauriomekanismit\*

#### Syitä

### Jakeluverkosto

Harmaa valurauta	murtuminen [halkeaminen, muhvipään leikkautuminen], syöpymäkuopat, reiät	grafitoituminen, yleinen korrosio, piste-/kuoppakorrosio, mikrobiologinen korrosio, pinnoitteiden vaurioituminen → syöpyminen	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, maaperän syövyttävyys, pohjaveden liikkeet ja laatu, sisäinen ja ulkoinen mekaaninen rasitus
Teräs (bitumoitu)	murtuminen [katkeaminen], syöpymäkuopat, reiät	yleinen korrosio, piste-/kuoppakorrosio, mikrobiologinen korrosio, pinnoitteiden vaurioituminen → syöpyminen	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, maaperän syövyttävyys, pohjaveden liikkeet ja laatu, sisäinen ja ulkoinen mekaaninen rasitus

Pallografiittirauta (pinnoittamaton tai bitumoitu)	murtuminen [katkeaminen], syöpymäkuopat, reiät	grafitoituminen, yleinen korroosio, piste- /kuoppakorroosio, mikrobiologinen korroosio, pinnoitteiden vaurioituminen → syöpyminen	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, maaperän syövyttävyys, pohjaveden liikkeet ja laatu, sisäinen ja ulkoinen mekaaninen rasitus, pinnoittamattomat putket
PEL	murtuminen [halkeaminen]	vanheneminen [lasittuminen, kovettuminen, haurastuminen], aineiden liukeneminen	asennusvirheet, vanheneminen osittain materiaalille ominainen ilmiö, aggressiiviset yhdisteet (vedessä kloori), lämpötila, auringonvalo, mekaaninen rasitus
Asbestisementti	murtuminen [katkeaminen, halkeaminen], reiät, kuopat	syöpyminen	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, maaperän syövyttävyys, pohjaveden liikkeet ja laatu, sisäinen ja ulkoinen mekaaninen rasitus
<b>Kiinteistöverkosto</b>			
Sinkitty teräs	syöpymäkuopat	piste-/kuoppakorroosio, yleinen korroosio, galvaaninen korroosio, (ulkopuolinen syöpyminen)	asennusvirheet, veden laatu ja muutokset, valmistusvirheet (hitsit)
Kupariputkien messinkijuotteet	murtumat	messinkijuotosten sinkinkato	veden laatu ja muutokset, messinkiseoksesta aiheutuva sinkinkato
Messinki	murtumat	sinkinkato, jännityskorroosio, (eroosikorroosio)	veden laatu ja muutokset, asennusvirheet, messinkiseoksesta aiheutuva sinkinkato
<b>Tiivisteet</b>			
Luonnonkumi	haurastuminen	mikrobiologinen hajoaminen, liukeneminen	vanheneminen, mikrobitoiminta, saastuneen maaperän kemikaalit
SBR	haurastuminen	liukeneminen	vanheneminen, saastuneen maaperän kemikaalit

\* ilmenenemistavat hakasuluissa, harvinaisemmat ilmiöt kaarisuluissa

**Taulukko 22.** Talousveden ja lämpimän käyttöveden materiaalien yhdistämisen riskejä suoran kontaktin seurauksena. Metallien galvaanisen korroosion edellytyksenä on pinnoilla oleva kosteus tai vesi.

<b>Materiaaliyhdistelmä (vaurioituva ensimmäinen)</b>	<b>Tilanne</b>	<b>Vauriomekanismi*</b>	<b>Ratkaisu</b>
Valurauta/kupari	suora kontakti, kuparin asentaminen virtaussuunnassa ennen valurautaa	galvaaninen korroosio	suoran kontaktin estäminen, materiaalien oikea järjestys virtaussuuntaan nähden
Hiiliteräs/kupari ja sinkitty teräs/kupari	kuumasinkityn laitteen asennus kupariputkeen, metallien väliset liitokset lämmönsiirtimissä ja varaajissa, teräksen asentaminen virtaussuunnassa kuparin jälkeen	galvaaninen korroosio	suoran kontaktin estäminen, materiaalien oikea järjestys virtaussuuntaan nähden
Alumiini/kupari	suora kontakti	galvaaninen korroosio	suoran kontaktin estäminen
Valurauta/ruostumaton teräs ja hiiliteräs/ruostumaton teräs	suora kontakti, ruostumattoman teräksen asentaminen ennen valurautaa tai hiiliterästä	galvaaninen korroosio	suoran kontaktin estäminen, materiaalien oikea järjestys virtaussuuntaan nähden
Polypropeeni/kupari	polypropeeninen liitin tai putki suorassa kontaktissa kupariputkeen, polypropeenin asentaminen virtaussuunnassa kuparin jälkeen	termo-oksidatiivinen ilmiö, kupari katalyytti	suoran kontaktin estäminen, materiaalien oikea järjestys virtaussuuntaan nähden
Polyeteeni/kupari	suora kontakti (putket, liittimet)	termo-oksidatiivinen ilmiö, kupari katalyytti	suoran kontaktin estäminen

\*galvaaninen korroosio mahdollinen kylmä- ja lämminvesijohdoissa, ei esiinny hapettomissa olosuhteissa esim. vesikeskuslämmityksissä

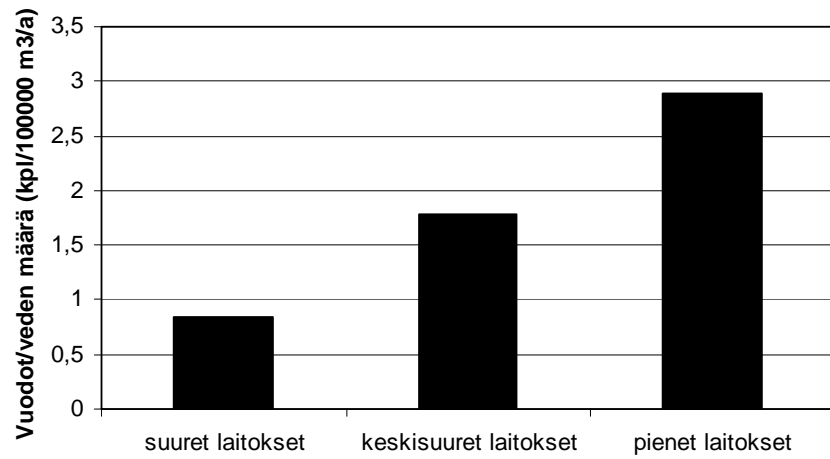
## **6.1 Jakeluverkostot**

### **6.1.1 Materiaalien vauriotutkimukset**

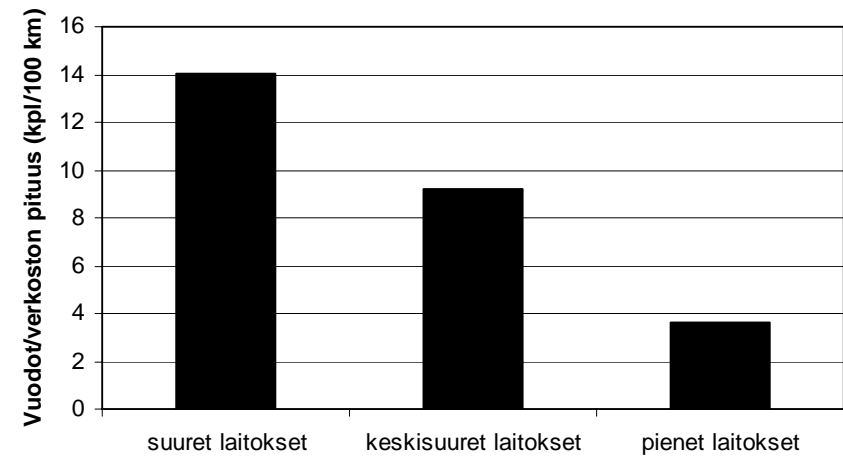
Jakeluverkostojen materiaalien vaurioselvityksiä on tehty Suomessa useita. Ulkomaisista tutkimuksista meille soveltuvat parhaiten ruotsalaiset tutkimukset samankaltaisten olosuhteiden ja käytettyjen materiaalien vuoksi. Myös Kanadassa tehdyissä tutkimuksissa olosuhteet ovat lähempänä suomalaisia kuin keskimäärin Euroopassa. Tässä selvityksessä hyödynnetään Vesi-Instituutin tekemää materiaalikyselyä sekä aiempia kotimaisia ja ulkomaisia jakeluverkostojen vaurioselvityksiä ja -tutkimuksia. Vesi-Instituutti suoritti kyselyn verkostomateriaalien käytöstä vuoden 2005 aikana vesilaitoksille. 41 vesilaitosta antoi arvionsa vuonna 2005 tapahtuneista vuotovaurioista. Vastanneet laitokset jaettiin kolmeen luokkaan verkostoon johdetun vesimäärän ja asiakasmäärän mukaan: suuri laitos: vesimäärä  $>5$  milj  $m^3/a$  ja  $>70\ 000$  asukasta; keskisuuri laitos:  $0,5-5$  milj  $m^3/a$  ja  $5000-70000$  asukasta; pieni laitos:  $<0,5$  milj  $m^3/a$  ja  $<5000$  asukasta. Hankaluutena tulosten tulkinnassa on se, että tonttivesijohtojen pituudet eivät ole mukana vesilaitosten ilmoittamissa verkostopituuksissa kun taas esimerkiksi tonttivesijohtojen vauriot sisältyvät annettuihin lukuihin. Tämä johtuu vesilaitosten tilastointikäytännöstä.

### **Vesilaitosten koko ja vuotomäärät**

Vesilaitosten antamien arvioiden perusteella vuotoja suhteessa verkostoon johdettuun vesimäärään oli selvästi vähiten suurimmilla laitoksilla, seuraavaksi vähiten keskikokoisilla ja eniten pienillä (Kuva 4). Kun verrataan vuotovaurioiden lukumäärää vuoden 2005 aikana suhteessa verkoston pituuteen, vuotovaurioita oli eniten suurissa ja vähiten pienissä laitoksissa (Kuva 5). Suhde johtuu siitä, että suurten laitosten verkostoon johtama vesimäärä suhteessa verkoston pituuteen on suurempi kuin pienillä laitoksilla. Vuotojen määrät suhteessa toimitettuun vesimäärään vaihtelivat yksittäisten laitosten välillä kokoluokkien sisälläkin suuresti. Kuvassa 5 esitettyjen vaurioiden määrässä olivat mukana tonttivesijohtojen vauriot, mutta verkostopituuksista tonttivesijohdot puuttuivat.



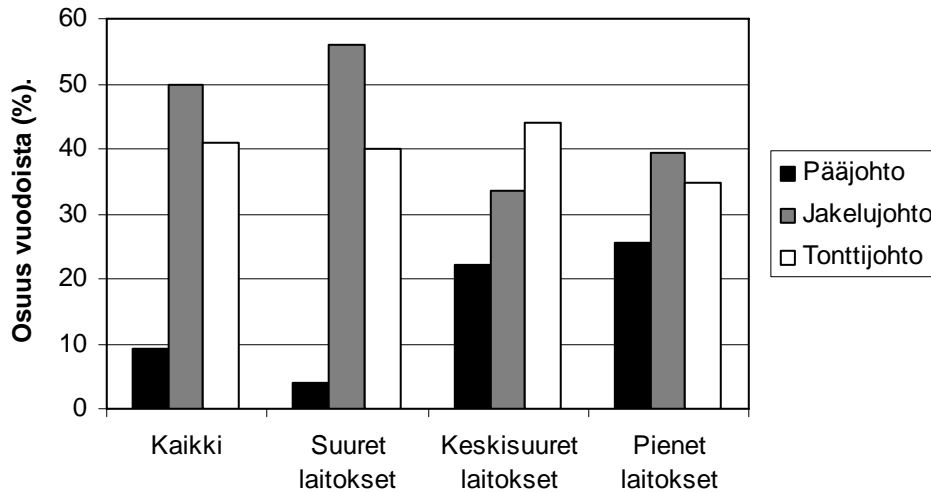
**Kuva 4.** Verkostovuotojen lukumäärä suhteessa verkostoon johdettuun vesimäärään. Tiedot perustuvat Vesi-Instituutin vuonna 2005 suorittamaan materiaalikyselyyn. Vesilaitoksilta saadut tiedot vuotojen lukumäärästä osittain arvioita.



**Kuva 5.** Verkostovuotojen lukumäärä suhteessa verkostopituuteen vuoden 2005 aikana.

## Vuotojen esiintyvyys eri johtotyypeissä

Laitokset arvioivat vuotojen lukumäärät johtotyyppin mukaan (kuva 6). Kaikissa laitoksissa selvästi suurin osa vuodoista on ollut jakelu- ja tonttivesijohdoissa. Niiden pituus on myös selvästi suurempi kuin pääjohtojen, joten tulos on odotettu. Suurissa laitoksissa pääjohtovuotojen osuus kaikista vuodoista on hyvin pieni. Johtotyyppien osuudet verkoston kokonaisuudesta vaihtelevat merkittävästi paikkakunnan yhteiskuntarakenteen mukaan.



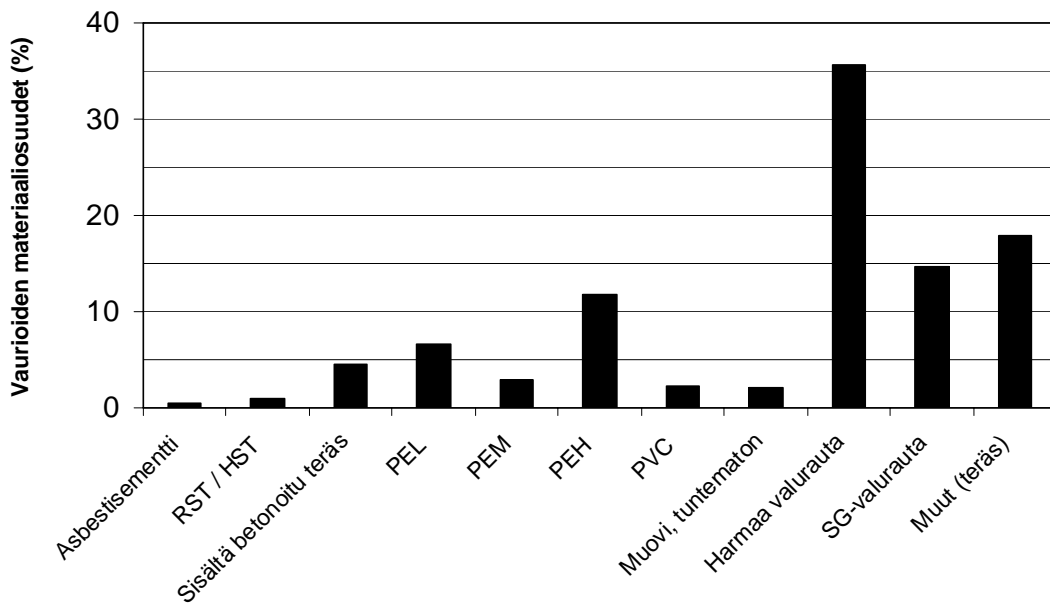
**Kuva 6.** Vuotojen määrän osuus (%) johdon tyyppin ja laitoksen koon mukaan Vesi-Instituutin materiaalikyselyssä vuonna 2005.

Johtokokoja on selvitetty Nikulaisen (1993) tekemässä tutkimuksessa, jossa on käytetty aineistoa Suomen kaupungeista vuodelta 1986 (kuva 7). Selvästi eniten on 100-149 mm:n kokoisia putkia ja sen jälkeen 150-199 mm:n kokoisia putkia. Tutkimuksen perusteella näyttäisi, että putkikokoluokan 100-149 mm putket ovat vaurioalttiimpia kuin muiden kokojen. Suuret putket ( $D > 300$  mm) näyttävät kestävän paremmin. Tonttivesijohtojen vaurioitiheydeksi saatiin 1 vaurio 588 tapausta kohti. Vaurioituneista tonttivesijohdoista 37 % oli terästä, 34 % valurautaa ja 21 % muovia. Karjalaisen (1981) tutkimuksessa jakeluverkoston keskimääräinen tonttivesijohtojen vaurioitiheys oli 1 kpl/190. Nikulainen (1993) tutkimuksessa tonttivesijohtojen vaurioitiheys oli 1 kpl/320 tonttivesijohtoa. Selvityksessä oli mukana 67 kaupungin vesilaitokset.





paljon käytössä olevista putkimateriaaleista ainoa, jota ei ole enää pariinkymmeneen vuoteen asennettu. Harmaata valurautaa asennettiin 1880-luvulta n. vuoteen 1980 asti.



**Kuva 8.** Vesilaitosten antamien materiaali-kohtaisten vauriomäärien yhteenveto. Tiedot perustuvat Vesi-Instituutin vuonna 2005 suorittamaan materiaalikyselyyn. Vesilaitoksilta saadut tiedot vuotojen lukumäärästä osittain arvioita.

Taulukon 23 mukaan päämateriaaleista eniten vuotoja aiheuttaneita vaurioita vuonna 2005 ilmeni myös materiaali-olosuhteiden nähden teräksessä ja harmaassa valuraudassa. On kuitenkin otettava huomioon, että vaurioiden lukumäärissä on mukana tonttivesijohdot, kun taas materiaali-olosuhteissa ei ole. Näin ollen varsinkin PEL:n ja PEM:n suhdeluku on todellisuudessa selvästi pienempi. Samoin luku pieneni materiaali-ryhmässä ”muut”, joka on käytännössä teräsputkea. Koska tietoa materiaalien asennusajoista ei ole käytettävissä, tämä tarkastelutapa ei kerro mitään materiaalien suhteellisesta käyttöikästä tai niiden pääasiallisen käyttökohteen aiheuttamasta rasituksesta. Esimerkiksi ruostumatonta terästä käytetään erikoiskohteissa, joten se joutunee myös keskimääräistä suurempaan mekaaniseen ja kemialliseen rasitukseen. Jakeluverkostomateriaalien vaurioitilastojen vertailua eri maiden välillä vaikeuttaa maaperän ja käytettyjen materiaalien erilaisuudet Suomessa ja muissa maissa. Vaurioitilastoissa on vaihtelua hyvin paljon Suomen eri paikkakuntien ja toisaalta eri maiden välillä ja materiaalien keskinäinen vertailu on vaikeaa.

Vaurioituneen putken käyttöaika tulisi tietää ennen kuin materiaalien kestävyyttä olisi mahdollista näillä menetelmillä vertailla. Lisäksi käytetyt muovimateriaalit ja pinnoitteet sekä ulko- että sisäpinnoilla ovat muuttuneet merkittävästi vuosikymmenien aikana. Materiaaleja verrattaessa on myös muistettava, että toisia on käytetty lähinnä tonttivesijohdoissa ja toisia taas lähinnä pää- ja jakelujohdoissa. Kaikkia vaurioitilastoja tulkittaessa on tiedettävä ovatko tonttivesijohdot mukana luvuissa vai eivät niiden suuren vauriomäärän vuoksi tai onko esimerkiksi eri materiaalista valmistetun liitoskappaleen vaurio tulkittu itse putkimateriaalin viaksi.

**Taulukko 23.** Vesilaitosten materiaalikohtaisten vaurioarvioiden määrä / 100 km verkostoa Vesi-Instituutin suorittamassa materiaalikyselyssä vuoden 2005 aikana eri putkimateriaaleilla.

<b>Materiaali</b>	<b>Vaurioita / 100 km/ a</b>
Asbestisementti	1,2
RST / HST	35,5
PEL	14,4
PEM	8,2
PEH	2,9
PVC	0,9
Muovit, tuntematon	1,5
Harmaa valurauta	23,8
SG-valurauta	4,5
Muut (teräs)	43,6
Verkosto yhteensä ilman tonttiliittymiä	6,9

Nikulainen (1993) kokosi neljästä eri tutkimuksesta keskimääräiset vaurioitiheydet 100 km verkostopituutta kohti vuoden aikana (kpl/100 km/a). Tutkimusten tulokset olivat: 10 kpl/100 km/a vuonna 1975, 17 kpl vuonna 1981, 12 kpl ja 11 kpl vuonna 1991 tehdyssä kahdessa selvityksessä. Vesi-Instituutin vuonna 2005 suorittamassa kyselyssä keskimääräiseksi vauriomääräksi saatiin 6,9 vaurioita/100 km. Osallistuneiden laitosten ryhmissä on eroja eri tutkimusten välillä, mikä tulisi ottaa huomioon tutkimuksia verrattaessa.

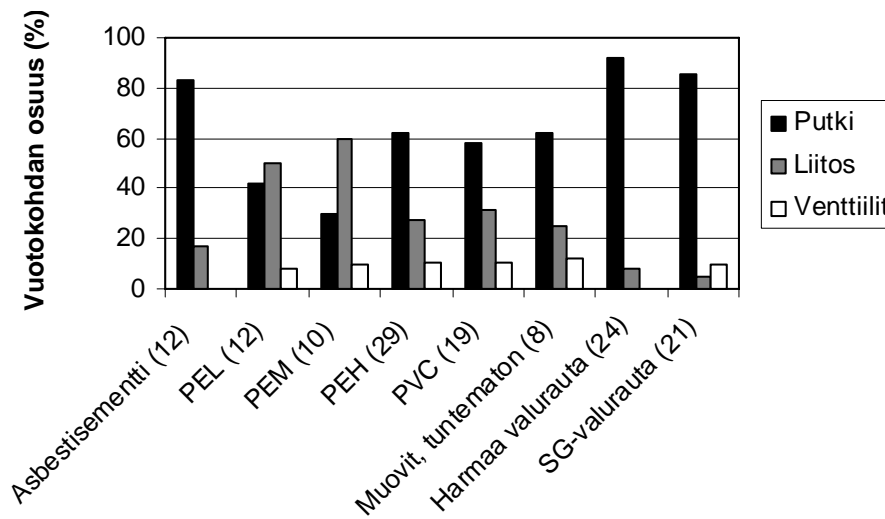
Rintala (2003) selvitti työssään seitsemän vesilaitoksen muoviputkien vaurioita niiden asennusajan perusteella. Laitokset ilmoittivat arvionsa rakennetuista putkipituuksista. Keskiarvona suurin vaurioitiheys (50 kpl/100 km) oli 1960-luvulla asennetuilla putkilla ja toiseksi suurin 1970-luvulla (36 kpl/100 km). 1990-luvulla asennettujen putkien vaurioitiheys oli 8 kpl/100 km ja 1980-luvulla 7 kpl/100 km. Odotetusti 1960- ja 1970-luvuilla asennettujen muoviputkien vaurioitumisriski oli suurempi kuin 1980- ja 1990-luvuilla asennettujen.

Ruotsissa lähes 80 % vesijohtoverkostojen pituudesta on nykyisin polyeteenistä valmistettua putkea (Bresser ja Tauber 2000). Osuus on melko lähelle sama kuin Suomessa. Lisäksi voidaan olettaa, että muoviputkien käytössä on ollut suurin piirtein samoja vaiheita kuin meillä, joten ruotsalaisia materiaalikohtaisia vaurioitilastoja voidaan pitää vertailukelpoisina suomalaisten kanssa.

### **Vuotokohdat eri putkimateriaaleissa**

Vesilaitokset antoivat Vesi-Instituutin kyselyssä arvion myös vuotokohdista tietystä putkimateriaalista tehdyssä linjassa (kuva 9). Tämän perusteella itse putki oli vuotanut yleisemmin jos materiaalina oli käytetty harmaata valurautaa, pallografiittirautaa tai asbestisementtiä. Yli puolet vuodoista oli putkessa myös PEH:ssä ja PVC:ssä. PEL:ssä ja

PEM:ssä liitoksien osuus vuotokohtana oli merkittävästi muita materiaaleja suurempi. Myös tässä kohdin on otettava huomioon materiaalien kehittyminen ja ennen kaikkea valurautaputkien pinnoitteiden kehittyminen. Toisaalta näiden arvioiden perusteella voitaneen päätellä, että muovimateriaalien liitoksiin liittyy suhteessa enemmän riskejä kuin valurautaputkien. Toisaalta vaurioiden määrä suhteessa muovimateriaalien verkostopituuteen on pieni. Tampereella vuosina 1997-2001 tehdyssä tutkimuksessa suurin osa vuodoista oli putkissa. Ajanjaksona esiintyi 554 vuotoa (jakelu- ja tonttijohdot), joista 64,1 %:ssa vaurio ilmeni putken katkeamisena ja 16,4 %:ssa putken halkeamisena (Jokinen 2004).

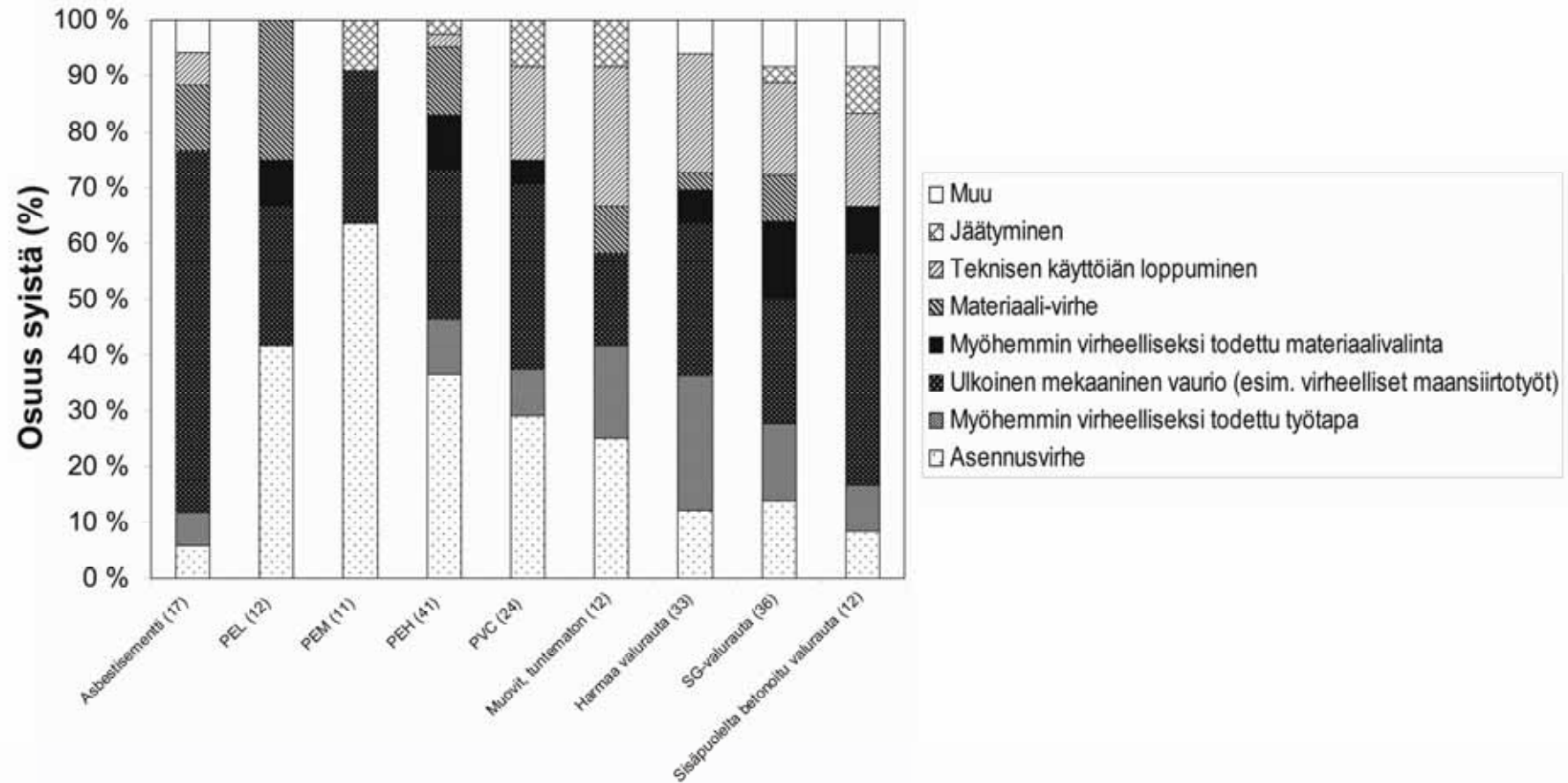


**Kuva 9.** Vesilaitosten arvioita verkostojen vuotokohdista eri materiaaleilla. Suluissa kyseiselle materiaalille arvion antaneiden laitosten määrä.

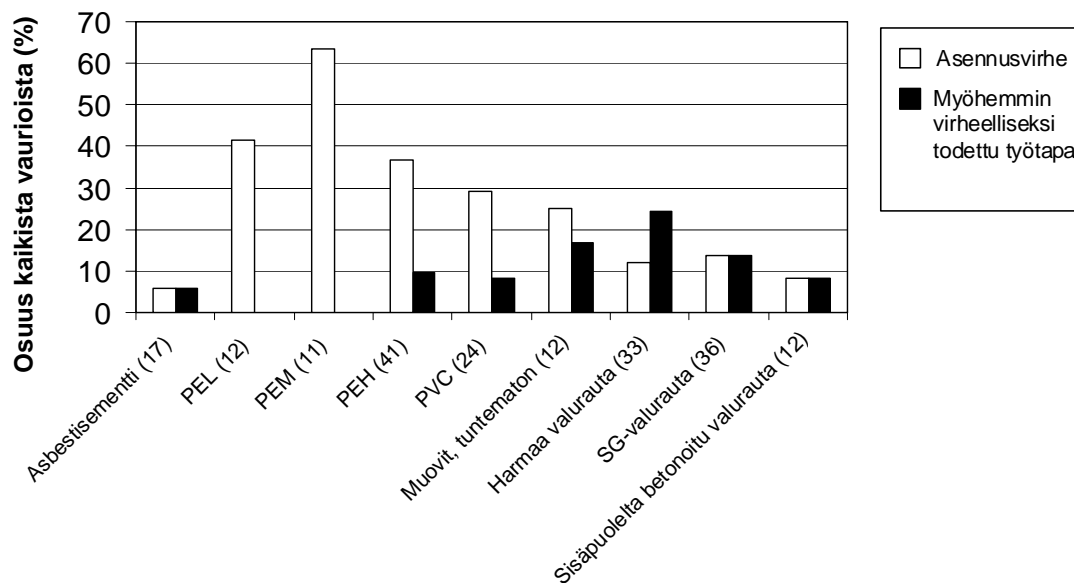
### Vuotovaurioiden syitä

Laitokset arvioivat putkessa tai liitoksessa sijaitsevien vuotojen yleisimpiä syitä materiaaleittain (kuvat 10, 11 ja 12). Tulokset ovat vesilaitosten kokemukseen perustuvia arvioita. Ulkoinen mekaaninen vaurio näytti aiheuttavan suurimman osan vaurioista pallografiittiraudassa ja asbestisementissä. PEH:llä ja PVC:lla asennusvirhe ja ulkoinen mekaaninen vaurio arvioitiin yleisimmiksi syiksi. Harmaalla valuraudalla eniten vaurioita aiheuttaviksi tekijöiksi arvioitiin ulkoinen mekaaninen vaurio, myöhemmin virheelliseksi todettu työtapo sekä teknisen käyttöiän loppuminen. Materiaalivirheitä arvioitiin esiintyneen asbestisementti-, PEL-, PEH-, harmaa valurauta- ja pallografiittirautaputkissa.

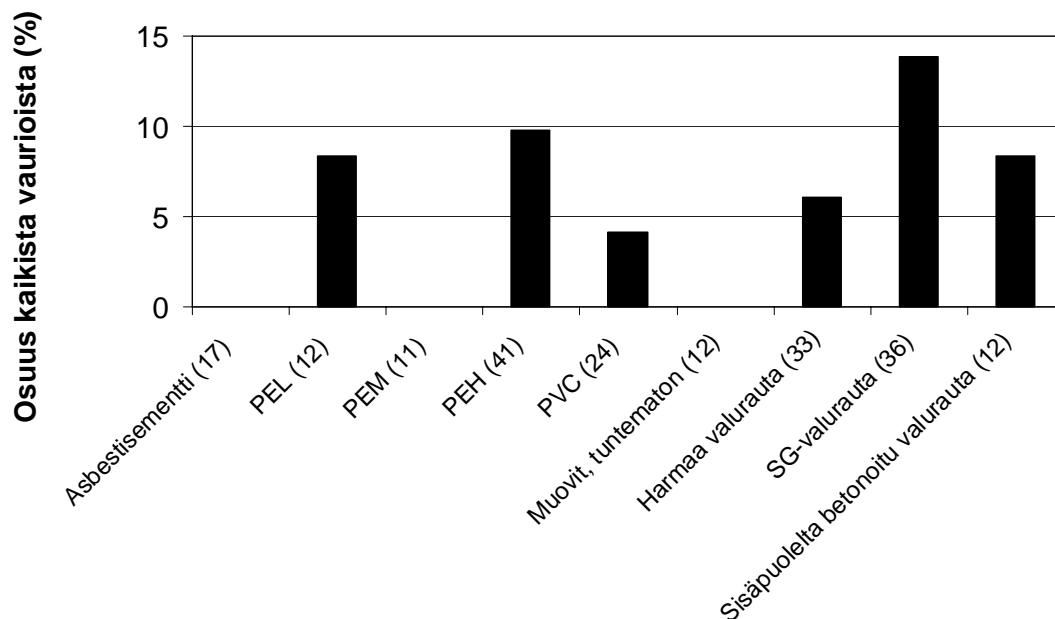
Muovimateriaalien vuotovaurioiden syyksi vesilaitokset eivät yksilöineet syytä kohdassa ”muu vaurio”, kun taas kaikilla metallisilla materiaaleilla ja asbestisementillä niitä esitettiin. Jäätymisen oli todettu monella materiaalilla vauriosyyksi. Teknisen käyttöiän loppuminen oli tyypillisesti merkittävä syy pitkään käytössä olleiden materiaalien eli valurautojen ryhmässä. Toisaalta PVC:lla ja muoveilla, joiden laatua ei ollut eritelty, se oli myös huomattava. Polyeteenipohjaisilla putkilla materiaalin teknisen käyttöiän loppuminen oli harvinaisempi syy. Myöhemmin virheelliseksi todettu materiaalivalinta oli arvioitu vaihtelevasti vaurioiden syyksi usealla materiaalilla (kuva 12). Merkittävin osuus myöhemmin virheelliseksi todetuista työtavoista oli harmaalla valuraudalla, mutta kaikilla muilla materiaaleilla se oli merkittävä syy paitsi PEL- ja PEM-materiaaleilla. Polyeteenimateriaalien yleisimmäksi vauriosyyksi arvioitiin asennusvirheet, joiden osuus varsinkin PEM:llä oli suuri. Asennusvirheitä ei arvioitu kovin yleisiksi syiksi valurautamateriaaleilla ja asbestisementillä (kuva11)



**Kuva 10.** Vesilaitosten arvioita vuodon aiheuttaneista syistä materiaaleittain. Suluissa kyseiselle materiaalille arvion antaneiden laitosten määrä.



**Kuva 11.** Vesilaitosten arviot asennusvirheistä ja myöhemmin virheellisiksi todetuista työtavoista materiaaleittain. Suluissa kyseiselle materiaalille arvion antaneiden laitosten määrä.



**Kuva 12.** Vesilaitosten arviot myöhemmin virheelliseksi todetuista materiaalivalinnoista. Suluissa kyseiselle materiaalille arvion antaneiden laitosten määrä.

Tampereella koko verkostossa vuosien 1997-2001 aikana tapahtuneiden vuotojen syyt ilmoitettiin 85 %:lle vuodoista. Vuotojen syyt olivat: putki poikki 64,1 %, putki halki 16,4 %, putkessa reikiä 7,6 %, liitosvika 4,9 %, muu vika 3,8 %, venttiilivika 2,6 %, putki poikki rakennuksen alla 0,2 % ja palopostissa vika 0,4 %. Lisäksi mainitaan, että tyypillisesti PEH-putkiin muodostui reikiä ja valurautaputket menivät poikki. Vian aiheuttajat ilmoitettiin 79

%:lle kaikista vuodoista. Aiheuttajia olivat putken painuminen (28,1 % tapauksista), petipuu (20,1 %), syöpyminen (9,7 %), pohjanvahvistus (8,1 %), täyttö (7,9 %), ulkoinen syy (4,1 %), viemäriputki painanut (3,2 %), muu syy (3,2 %), liitos (1,8 %), materiaalivika (1,6 %), laitevika (1,6 %), asennusvirhe (1,4 %), kulmien tuenta (0,45 %), routa nostanut (0,23 %) ja tuntematon syy (8,6 %). (Jokinen 2003)

Painumat aiheuttivat 27,3 % vesijohtojen vaurioista Nikulaisen (1993) selvityksessä. Painumista suurin osa johtui putken painumisesta (48 %). Johtoalueen kuormitus (liikenne) aiheutti 28 % painumista, asennus puukiilojen päälle 13 %, arinan painuminen 10 % ja maanpaine (jos ei liikenne) 1 %. Vaurioselvityksessä todetaan, että venttiilien vaurioitumisen aiheutti yleisimmin kuluminen, pulttien löystyminen ja tiivistevauriot. Yleisinä syinä mainitaan myös kansiruuvien, pulttien, sankaraudan ja sokan syöpyminen. Yksittäisistä syistä johtuvia vauriotapauksia oli paljon (Nikulainen 1993).

Tonttivesijohtojen ja muun jakeluverkoston vaurioiden syyt vastaavat osuuksiltaan melko hyvin toisiaan. Muovisten tonttivesijohtojen vaurioista 25 % aiheutui kaivutöistä ja 36 % kaivantosyistä. Vesijohtojen vaurioista tulkittiin korroosion aiheuttamiksi 30 %, joista ulkopuolisen korroosion osuus oli 47 %. Kaikista vaurioista ulkopuolisen korroosion osuus oli 14 % ja sisäpuolisen korroosion 6 %. Yksilöimättömiä korroosiovaurioita todettiin 9 % vauriotapauksista. (Nikulainen 1993)

Rintalan (2003) tutkimuksessa muoviputkien suurimmaksi vauriosyyksi arvioitiin kaivantosyyt (52 %). Kaivantosyyksi luetaan putken painuminen, putken sivusiirtymä, virhe alkutäytössä, kiven ja kallion painaminen, jäätyminen, routiminen, maanpaine ja arinan painuminen (Nikulainen 1993). Muista syistä ja materiaaleista johtuvat seikat aiheuttivat kumpikin n. 15 % vaurioista. Virheellinen asentaminen ja ulkopuoliset syyt aiheuttivat vauriot noin 10 %:ssa tapauksista (Rintala 2003). Tyypillisesti ulkopuolisen syyn aiheuttajia ovat kaivutyöt, louhinta, muu rakennustyö, liikenteen aiheuttama paine ja värinä sekä muiden putkistojen vaikutus (Nikulainen 1993). Rintalan (2003) tutkimuksessa arvioitiin vaurioiden syitä myös tarkemmin. Kaikkien muoviputkivaurioiden yleisin syy oli kiven tai kallion aiheuttama painauma (36 %). Muut yleisimmät syyt olivat virhe alkutäytössä (11 %), tuntematon syy (8 %), kaivutyö (7 %), metallisten verkostonosien korroosio (5 %), putken hitsausvirhe (5 %), materiaalin väsyminen ja yleinen huonokuntoisuus (5 %), vaurio liitoksissa (4 %), muu asennussyys (3 %), muu syy (3 %) ja putken painuminen (3 %). 1-2 % vaurioista aiheuttivat putkien väliset tiivistevuodot, soveltumaton tarvike tai muu materiaalisuus sekä asennus puukiilojen päälle. Tutkimuksessa mainitaan, että kaivutyössä eniten yksittäistapauksia aiheutti kaivinkoneen toiminta. Muita ulkopuolisia syitä olivat puutavaran uiton yhteydessä tapahtunut putken sivusuuntainen siirtymä, asennusvirhe, sulatuskaapelin aiheuttama vaurio, jäiden lähdon aiheuttama putken katkeaminen, putken vaurioituminen kairaamalla, paalutuskoneen aiheuttama vaurio ja mekaaninen isku.

Muoviputkien paineluokkien suhdetta vaurioihin on selvitetty Rintalan (2003) tutkimuksessa, jossa 45 % vaurioituneista muoviputkista oli paineluokaltaan PN 10. Toiseksi eniten vaurioituneita putkia oli paineluokassa PN 6, joka oli aiemmin yleinen paineluokka. Nykyään käytetään pitkälti PN 10 -luokan putkia. Verkoston käyttöpaineet olivat 4-6 bar, joka on yleisin paine jakeluverkostossa. Noin 33 %:ssa muoviputkien vauriotapauksista putken paineluokkaa ei ilmoitettu. Samassa tutkimuksessa todettiin, että suurin osa vaurioituneista muoviputkista oli asennettu 2-3 metrin syvyyteen, mikä on yleisesti käytetty asennussyvyys. Maassa sijaitsevien putkien vauriotapauksista 40 %:ssa putki sijaitti suoja-alueella, 24 %:ssa liikennealueella ja 36 %:ssa vauriotapauksista tarkkaa sijaintia ei ilmoitettu. Suoja-alueeksi oli luokiteltu mm. oja, piha-alue, viheralue, turvesuo, joutomaa ja joen alitus. Vaurioituneet muoviputket sijaitsivat yleisimmin savisessa maaperässä tai moreenissa.

Kaikkien edellä esitettyjen tutkimusten perusteella voidaan arvioida, että Suomessa materiaalivirheiden osuus jakeluverkostojen vuotovaurioista on vähäinen. Putkien asennusvirheet ja putkikaivantoon ja sen täyttöön liittyvät työt ovat näissä aineistoissa selvästi merkittävien vaurioiden aiheuttaja kaikilla materiaaleilla.

## **Lämpötilan vaikutus vaurioiden esiintyvyyteen**

Lämpötilan vaikutus on suuri kaikissa verkostoissa tapahtuvissa ilmiöissä sekä materiaalien että veden laadun kannalta. Kotimaisessa tutkimuksessa esitetään veden lämpötilan ja roudan vaikuttavan putkilinjojen kestävyysasteen selvästi eniten eri muuttujista. Materiaalien lämpölaajeneminen ja jännitykset ovat merkittäviä ilmiöitä varsinkin pintavettä käyttävissä laitoksissa (Jokinen 2004). Rintalan (2003) tutkimuksessa eniten muoviputkien vaurioita oli heinä-syyskuun välisenä aikana ja vähiten helmi-huhtikuun aikana. Rintala myös viittaa Nikulaisen (1993) tutkimukseen, jonka tulos oli selvästi erilainen ja vähiten vaurioita esiintyi toukokuusta syyskuuhun ja eniten joulukuun ja helmikuun välisenä aikana.

Erilaiset jakeluverkostojen materiaalit reagoivat olosuhteiden muutoksiin eri tavoin. Lämpölaajenemisen aiheuttamasta venymästä johtuvat vauriot ovat selvästi vähäisempiä harmaalla valuraudalla ja asbestisementillä kuin pallografiittiraudalla ja muoviputkillä. PVC- ja PE-putkien lämpölaajenemiskerroin on 7-20 kertaa suurempi kuin valurautojen eli lämpölaajeneminen voi olla suurta etenkin pitkissä putkilinjoissa. (Rajani ja Kleiner 2004)

## **Materiaalien käyttöikä**

Tieto verkostomateriaalien käyttöiästä olisi tärkeää materiaalivalinta tehtäessä. Käyttöiän arviointi erilaisissa kuormitus- ja maaperäolosuhteissa on vaikeaa, ellei mahdollista, koska käyttöikä vaikuttavat lukuisat eri tekijät yksin ja yhdessä. Käyttöikä oikein asennetuilla materiaaleilla on vähintään kymmeniä vuosia. Välisalon (2007) mukaan vesihuoltoverkostojen tekninen käyttöikä Suomessa on tyypillisesti 40-60 vuotta. Todellisissa olosuhteissa käyttöikä saattaa poiketa siitä, mitä tuotteelle sellaisenaan esitetään. Kaikkia vaikuttavia ilmiöitä ei pystytä arvioimaan tai mallintamaan.

Esimerkiksi 1960- ja 1970-luvuilla asennettujen muoviputkien uusimisajankohtaa on vaikea määrittää, sillä putkimateriaalin vauriot johtuvat pääasiassa paikallisvirheistä, joista ei ole tietoa. Putkien asennus- ja käyttöolosuhteet vaihtelevat. Tapauksissa, joissa putkien paineluokka on alhainen ja niitä on käytetty lähellä sallittua käyttöpainetta, putkien käyttöikä on luultavasti keskimäärin lyhyempi kuin muualla. Tällaisille putkille kannattaa ryhtyä suunnittelemaan järjestelmällistä uusimista, kun niissä alkaa esiintyä viitteitä materiaalin haurastumisesta (Rintala 2003). Suomessa on arvioitu käyttöikäksi valurautaisille ja kestävyydeltään siihen verrattavasta materiaalista rakennetuille johtolinjoille 20-40 vuotta. Sinkityille teräsputkille on arvioitu käyttöikäksi 20 vuotta, erillisille alavesisäiliöille 20 vuotta, ylavesisäiliöille (vesitornit) 40 vuotta ja maanvaraisille ylavesisäiliöille 20-40 vuotta (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004). Yllätyksiä voi tuottaa pinnoittamattoman asennettu pallografiittirautaputki, sillä sen seinämä on merkittävästi ohuempi kuin harmaan valuraudan ja molemmissa valurautatyypeissä syöpyminen on merkittävin putkien käyttöikä vaikuttava tekijä. Norjassa pinnoittamattoman pallografiittiraudan keskimääräisen käyttöiän on arvioitu olevan jopa 30-40 vuotta lyhyempi kuin harmaan valuraudan, kun putkien seinämäpaksuudet ovat samaa luokkaa (Lei ja Saegrov 1998).

## 6.1.2 Materiaalivalinta

Putkimateriaalin valinta jakeluverkostoissa perustuu käyttökokemuksiin ja hintaan. Yksittäisellä vesihuoltolaitoksella käytössä olevien materiaalien lukumäärä halutaan pitää suhteellisen pienenä, koska kukin materiaali vaatii oman asennusosaamisensa ja varastoitavien varaosien määrän tulisi pysyä kohtuullisena. Lisäksi esimerkiksi maaperäolosuhteet ja liikenteen määrä ja laatu vaihtelevat, myös laitoksen verkoston eri osissa. Tämäkin on otettava huomioon materiaalivalinnassa.

Putkimateriaalia ja liitosmenetelmiä valittaessa tulisi ottaa huomioon (Suomen kaupunkiliitto 1979):

- putken arvioitu käyttöikä
- paineen, alipaineen ja paineiskujen kestävyys valitun paineluokan mukaisesti
- korroosionkestävyys
- tiiviyys (materiaali ja liitokset)
- kuljetus- ja varastointikestävyys
- kestävyys liikenteen ja maaperän aiheuttamia kuormituksia vastaan
- läpäisevyys (saastuneet maat)
- sulatusmahdollisuus jäätymistapauksissa
- vedenjohtokyvyn pysyvyys tai muuttumisnopeus ja sen vaikutus pumppauskustannuksiin
- kokovalikoima ja valittavissa olevat paineluokat
- muotokappaleiden tarve ja valikoiman suuruus
- toimitusaika ja varmuusvarastointi
- putkipituudet ja -painot
- vaatimukset perustamistölle ja sijoituspaikalle
- asennettavuusnäkökohdat kuten talvityömahdollisuudet
- ankkuroinnin tarve,
- tarvittavan kaivannon laatu ja työkoneiden tarve.

Lisäksi listaan voidaan lisätä:

- hintaa
- käytettävyys käyttökohteessa
- tarvittava asennustaito
- paikallinen veden laatu
- materiaalin kemiallinen kestävyys
- kulumiskestävyys
- iskunkestävyys

Tyypillisesti valurauta- ja teräsputkia käytetään raskaasti liikennöidyillä ja asutuilla alueilla, joissa on paljon tonttiliittymiä. Varsinkin polyeteenin taipumus virumiseen rajoittaa sen käyttöä erittäin raskaasti kuormitetuissa kohteissa. Kuitenkin suurin osa kaupunkeihin ja taajamiin asennettavista putkista on nykyisin muovia, lähinnä polyeteenejä. Haja-asutusalueella ja maaseutumaisissa kunnissa muovien käyttö on pääsääntöinen tapa toimia. Putkikoko voi rajoittaa merkittävästi materiaalivaihtoehtoja tai muuttaa metrikohtaisia kustannuksia.

Suomen Rakennusinsinöörien liiton (2004) mukaan esim. PEH-putkien rakentamiskustannukset (€/m) nousevat merkittävämmiin kuin muilla materiaaleilla putken halkaisijan ollessa yli n. 400 mm. Suurissa kaupungeissa paljon käytettyjen valurauta- ja teräsputkien hinta oli selvästi korkeampi (noin kaksinkertainen) muoveihin verrattuna.



Materiaalikustannusten osuus on monesti luokkaa 30-40 % kokonaiskustannuksista, mutta erittäin tiheästi asutuilla alueilla vähemmänkin. Materiaalien kustannuksia vertailtaessa on myös otettava huomioon, että jotkut hinnat ovat hyvin suhdanneherkkiä.

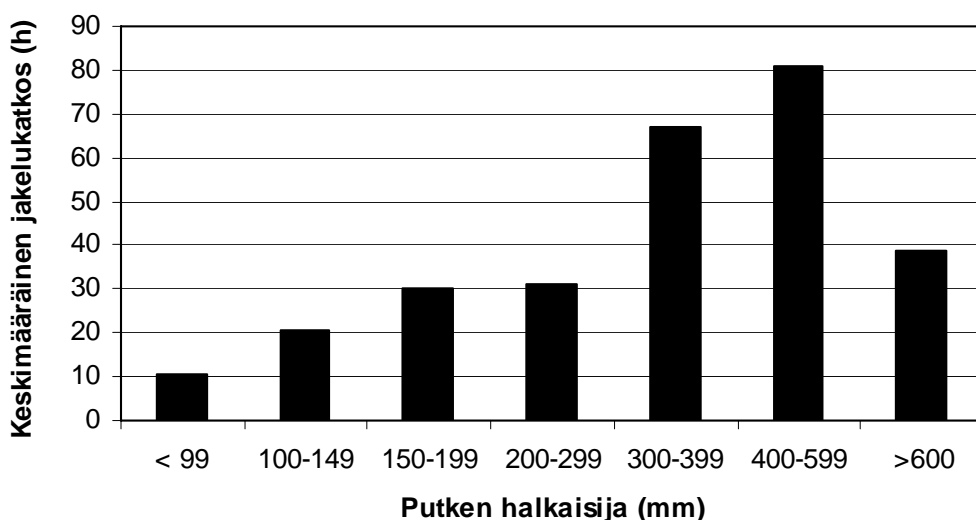
Harmaa valurautaputkia ei ole asennettu Suomessa enää vuosikymmeniin. Fischerin (2006) mukaan materiaalien perusominaisuuksien seurauksena putket harmaasta valuraudasta ovat alttiimpia halkeamille kuin teräspotket. Toisaalta teknisiä rajoitteita kompensoi teräkseen ja pallografiittirautaan verrattuna suuri seinämäpaksuus. Pallografiittiraudan ja teräksen mekaanisen kestävyuden erot ovat selvästi pienemmät kuin teräksen ja harmaan valuraudan. Todennäköisesti eniten näiden materiaalien käyttöikään vaikuttavat sisä- ja ulkopinnoitteiden kestävyys ja kiinni pysyminen. Näillä putkimateriaaleilla on siis oleellista valita kestävä pinnointeet sisä- ja ulkopinnoille. Pinnoitteiden pitkäaikaiskestävyydestä erilaisissa vedenlaatu- ja maaperäolosuhteissa on vähän tutkittua tietoa.

Tilastollista ja julkista pitkäaikaistietoa eri materiaalien käyttöiästä tietyissä olosuhteissa ei ole, ja materiaalin valinta perustuu hinnan lisäksi pitkälti laitoksen omiin kokemuksiin eri materiaaleista. Englannissa tehdyssä tutkimuksessa todettiin, että putkimateriaalien valinta vesilaitoksilla perustui yleensä tapaan tehdä niin kuin ennenkin. Usein valintoja ei pystytty perustelemaan teknisillä tiedoilla (De Rosa ja McBride 1994).

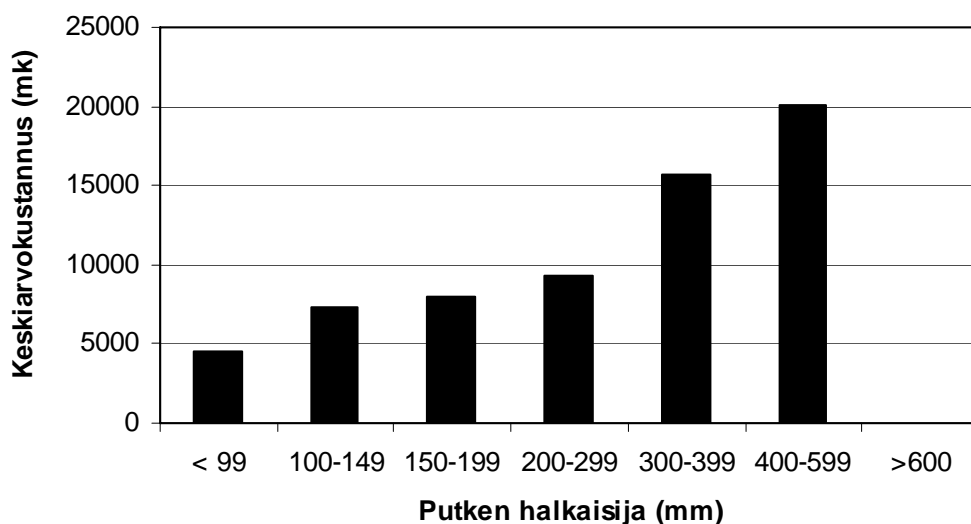
Materiaalivalinnoissa on kyse myös muista verkoston osista kuin putkista. Yksittäisten laitteiden käyttöikää voivat rajoittaa merkittävästi käytetyt materiaalit tai laitteiden rakenne. Pienenkin osan virheellinen materiaalivalinta voi aiheuttaa suuria kustannuksia ja paljon työtä. Tyypillinen esimerkki on venttiilien karassa käytetyt materiaalit, joiden syöpymisen seurauksena koko laite on vaihdettava. Vesihuollon rakentamisen laatuvaatimuksissa (Rakennustieto 2006) todetaan, että sulkuventtiilien karan on oltava ruostumatonta terästä. Samoin todetaan, että olisi hyvä käyttää kumiluistiventtiilejä, kun vesijohdon halkaisija on alle 300 mm ja läppäventtiilejä, kun halkaisija on yli 300 mm.

### **6.1.3 Vuotovaurioiden kustannukset**

Jakeluverkostojen vuodot aiheuttavat korjauskustannuksia vesihuoltolaitoksille, mutta sen lisäksi myös jakelukatkoksia ja näistä johtuvia välillisiä kustannuksia asiakkaille sekä mahdollisesti vesivahinkoja kiinteistöille. Kustannukset syntyvät vuotovedestä, uusien laitteiden/korjausosien hankinnasta, työ- ja kaivukustannuksista, mahdollisista muille rakenteille aiheutuneista vahingoista tai vedenjakelun keskeytyskorvauksista. Suomessa vuotoveden osuus vuotojen kustannuksista on keskimäärin pieni. Lisäksi on otettava huomioon, että kaikkia vuotojen aiheuttamia haittoja ei voida arvioida kustannuksien perusteella. Esimerkiksi vedenjakelun katkojen ja veden laadun heikkenemisen aiheuttamat ongelmat eivät välttämättä ole mitattavissa rahallisesti. Nikulaisen (1993) tutkimuksessa todettiin erikokoisten johtojen korjausajassa olevan eroja (kuva 13). Samassa tutkimuksessa selvitettiin vesijohtojen vaurioiden kustannuksia putkikoon mukaan (kuva 14). Näyttäisi siltä, että suuremman putken korjaaminen kestää yleensä pidempään ja on kalliimpaa kuin pienemmän.



**Kuva 13.** Keskimääräisen jakelukatkoksen pituus (h) vesijohtovaurion sattuessa putkikoon mukaan (Nikulainen 1993).



**Kuva 14.** Keskimääräiset vesijohtojen vauriokustannukset eri putkikoilla (Nikulainen 1993).

Usein laitokset ilmoittavat laskuttamattoman veden määrän, johon sisältyvät vuotojen lisäksi palosammutusvesi, mittarivirheet, juoksutukset ja huuhtelut. Esimerkiksi Helsingissä laskuttamattomasta vedestä on todettu 15 % olevan hyödynnettyä, mutta mittaamatonta vettä, jolloin varsinaista vuotovettä on 85 % laskuttamattomasta vedestä. Tonttivesijohtotiheyden ollessa vähintään 20 kpl/km yli 50 % vuotovedestä on tonttivesijohtovuotojen aiheuttamaa (Kopra 2007). Helsingin lukuja ei voitane suoraan soveltaa muihin laitoksiin. Laskuttamattoman veden määrät vaihtelevat laitoksittain.

Vuonna 1999 VVY:n keräämien tietojen perusteella keskimääräinen laskuttamattoman veden määrä oli 16,7 %, suurimman arvon ollessa 55,3 % ja pienimmän 0,4 %. Vuotovesien määrän vähentäminen on tärkeää ja lisäpainetta tähän tuo myös rajoitettu veden saatavuus tai käsittelyn aiheuttamat kustannukset. Uudelta rakenteelta on oikeus vaatia pienempää

vuotovesiprosenttia kuin vanhalta (Rosengren 2003). Vesijohtoverkoston vuotoja kuvaavista luvuista IWA (International Water Association) suosittelee käytettäväksi vuotavuusindeksiä (ILI, Infrastructure Leakage Index). Vuotavuusindeksin käytöllä saadaan selville kuinka suuri on liiallisen eli tehokkaalla vuotohallinnalla poistettavissa olevan vuotoveden määrä. ILI lasketaan UARL-luvun (Unavoidable Annual Real Losses) avulla (Kopra 2007):

$$\text{UARL (l/d)} = (18 \cdot L_m + 0,8 \cdot N_c + 25 \cdot L_p) \cdot P$$

$L_m$  = vesijohtoverkoston kokonaispituus (km)

$N_c$  = tonttivesijohtojen lukumäärä

$L_p$  = tonttivesijohtojen yhteispituus (km)

$P$  = keskimääräinen verkostopaine (m)

$$\text{ILI} = \text{CARL} / \text{UARL}$$

CARL = todellinen vuotovesimäärä (Current Annual Real Losses)

Vesi-Instituutin materiaalikyselyyn osallistuneiden laitosten vuotovesiprosentit selvitettiin vuodelta 2005. Vuotovesiprosentteja ei ollut saatavilla kaikista laitoksista ja joidenkin laitosten osalta jouduttiin käyttämään laskuttamattoman veden määrää. Vertailun vuoksi laskuttamattoman veden määrästä vähennettiin jokaiselta sen ilmoittaneelta laitokselta 15 % vuotoveden arvioimiseksi. Pienistä laitoksista vain yhdeltä laitokselta tieto oli saatavilla internetin välityksellä, joten lukua pienten laitosten osalta ei ole. Kaikkien suurten laitosten laskuttamaton tai vuotovesimäärä oli saatavilla ja niiden keskimääräinen vuotovesiprosentti oli n. 16,0 %, pienimmän ollessa 8,7 % ja suurimman 25,7 %. Keskiuurissa laitoksissa vajaan puolen kyselyyn osallistuneista vuotovesiprosentit saatiin selville. Keskiarvo oli 17,9 %, pienin 9,4 % ja suurin 27,7 %. Lisäksi laskettiin suurten laitosten luokassa vuotoveden ( $\text{m}^3$ ) ja verkostovuotojen lukumäärän suhde, jonka vaihteluväli oli n. 2400-87700  $\text{m}^3/\text{vuoto}$ . Tämä luku kuvaa vuotojen suuruutta. Eri laitosten välillä on selviä eroja. Oleellista on myös se, että vuotojen kustannukset tulevat pääasiassa muualta kuin hukkaan menneestä vedestä. Vuotojen määrä kertoo verkostojen kunnosta.

Suomessa haastetta jakeluverkostojen vaurioiden ehkäisyyn tuovat routa ja pitkät putkiyhteydet ja tämä näkynee myös verrattaessa suomalaisia vuotovesimääriä ulkomaisiin. Vuonna 1991 IWSA:n tekemän maailmanlaajuisen kyselyn mukaan tyypillinen laskuttamattoman veden määrä oli 20-30 %. Hollannissa toimii 16 vesilaitosta, jotka myivät vuonna 2005 yhteensä 1087 milj.  $\text{m}^3$  vettä ja laskuttamatonta vettä oli 54 milj.  $\text{m}^3$ . Vuodot sisältyvät laskuttamattomaan veteen ja silti keskimääräiseksi koko maan vuotovesiprosentiksi saadaan 5 %. Suomen ja Hollannin vuotomääriä voidaan vertailla, mutta tulkinnassa on otettava huomioon luonnon olosuhteiden ja yhdyskunta- ja vesilaitosrakenteen suuret erot. Hollantilaiset itse selittävät hyvää tulosta mm. alhaisella paineella, stabiililla maaperällä ja verkoston iällä, joka on keskimäärin 40 vuotta.

## 6.2 Kiinteistöverkostot

### 6.2.1 Materiaalien vauriotutkimukset

Kiinteistöjen vesijohtoputkien päämateriaalit ovat kupari, PEX, komposiittiputket (PE-RT ja PEX) ja sinkitty teräs. Lisäksi käytetään pieniä määriä ruostumatonta terästä. Sinkittyä terästä ei enää asenneta ja sitä on käytetty vain kylmän veden linjoissa. Liittimissä käytetään lähinnä messinkiä ja muoveja. Kiinteistön metallisten materiaalien vauriomekanismeista on enemmän tai ainakin tutkitumpaa tietoa kuin jakeluverkostojen materiaalien vauriomekanismeista.

Kiinteistömateriaalien käyttömääristä puolestaan ei ole julkista tilastotietoa kuten jakeluverkostojen materiaaleista. Erona jakeluverkostoon on myös se, että kiinteistöissä putkimateriaalin valinta on yleensä vähemmän sidottu aiemmin käytettyyn materiaaliin.

Suomen Isännöintiliiton vuonna 2007 tekemän kyselyn mukaan uusituissa vesijohdoissa uusien putkien materiaalijakauma oli:

- Kupari 56,1 %
- Ruostumaton teräs 4,5 %
- Muovikomposiitti 34,8 %
- Muu 1,3 %
- Putkia ei uusittu 3,2 %

Nämä luvut todennäköisesti poikkeavat uudisrakentamisessa käytettävien putkimateriaalien jakaumasta, mutta tutkimustietoa siitä ei ole. Kuitenkin voidaan todeta, että edellä mainittujen materiaalien lisäksi merkittävä materiaali pienkiinteistöjen osalta uudisrakentamisessa on PEX.

Saman kyselyn mukaan putkistojen sijoituksen jakauma oli:

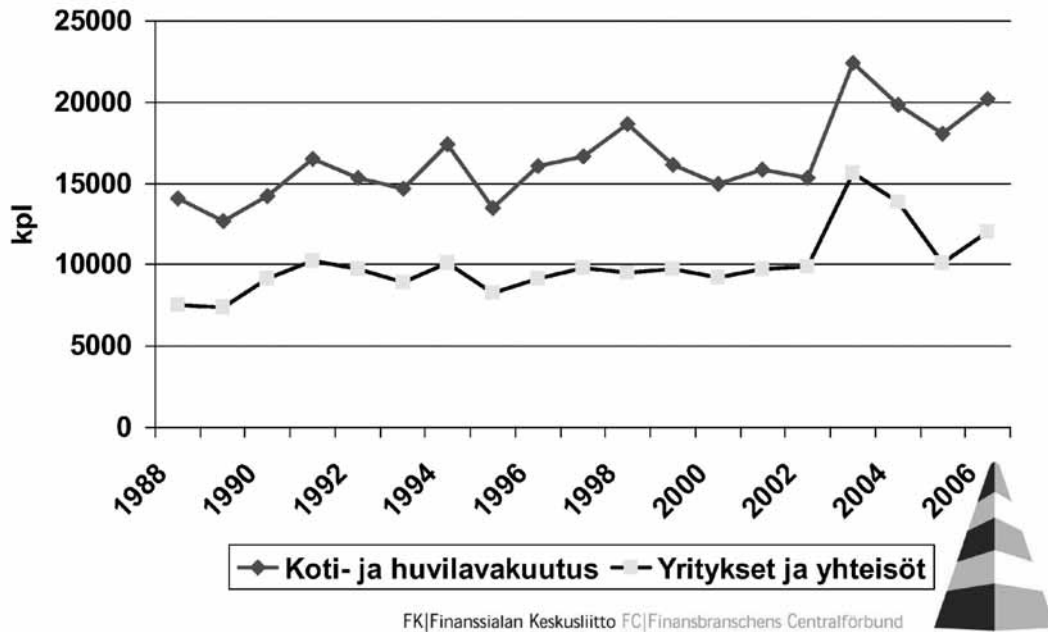
- Putkistot uusittiin entisille paikoilleen 31,3 %
- Putkistoille haettiin kokonaan tai osittain uudet reitit 66,0 %
- Putkistoja ei uusittu 2,7 %

## **Vuotovahinkojen kehitys Suomessa**

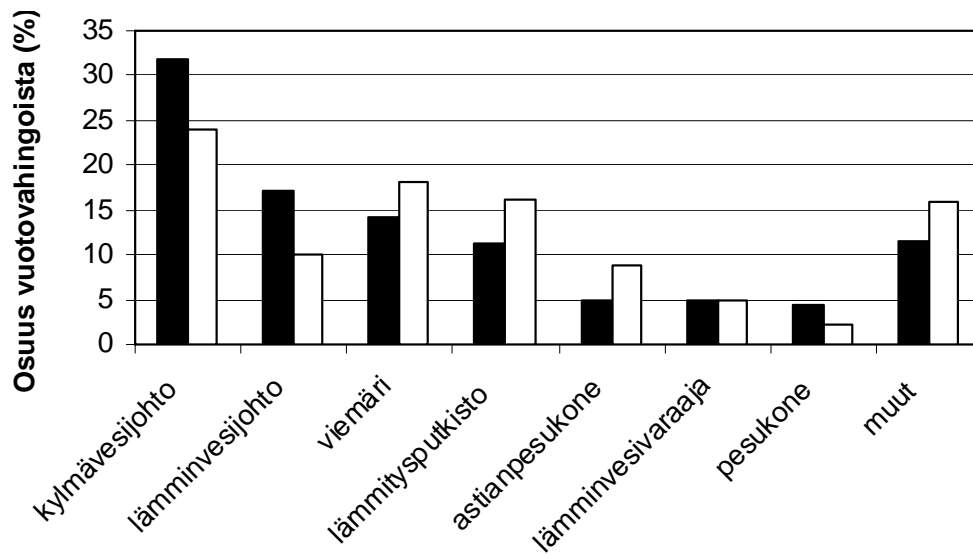
Vakuutusyhtiöiden tilastojen mukaan vuonna 1988 koti- ja huvilavakuutuksen kautta maksettuja vuotovahinkoja oli noin 14000 kpl ja vuonna 2006 yli 20000 (kuva 15). Suomessa rakennettiin voimakkaasti 1960- ja 1970-luvuilla, ja tämän ikäiset rakennukset alkavat lähestyä elinkaarensa loppupäätä. Tämä selittää osan vuotovahinkojen määrän kasvusta.

Vakuutusyhtiöt laskevat Suomessa vuotovahingoiksi muutakin kuin kylmä- ja lämminvesijohtojen ja niiden laitteistojen vuodot. Kuvassa 16 on jaettu vuotovahingot kohteen mukaan vuosina 1988 ja 2002. Ryhmä muut sisältää muiden kotitalouslaitteiden vuodot, rakenteisiin ulkoa päässeeseen veteen ja rakenteiden puutteet sekä virheet. Näiden tietojen perusteella lämmin- ja kylmävesilinjojen vaurioiden osuus kaikista vuotovahingoista on pienentynyt n. 50 %:sta 35 %:iin. Toisaalta mukaan tulisi laskea myös lämminvesivaraajat, joiden osuus on 5 %.

## Vuotovahingot



Kuva 15. Vuotovahingot (kpl) vuosina 1988-2006 (Finanssialan Keskusliitto 2007).



Kuva 16. Vuotovahinkojen jakauma kohteen mukaan Suomessa vuosina 1988 ja 2002. Musta palkki on vuoden 1988 ja valkoinen 2002 tilanne (Lounela 1989; Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto 2004).

## **Rakennustyyppin ja -iän vaikutus vuotovahinkojen esiintyvyyteen**

Vuonna 1988 kiinteistöjen vuotovahingoista 62 % tapahtui omakotitalossa, ja useimmiten kyseessä oli 1960-1980-luvuilla rakennettu talo (Lounela 1989). Vuonna 2002 Vakuutusyhtiöiden Keskusliiton (nykyisin Finanssialan Keskusliitto) selvityksessä 42 % vahingoista tapahtui omakotitalossa. Rivitalossa tapahtuneiden vuotovaurioiden osuus oli vuonna 1988 8 % ja vuonna 2002 23 %. Rivitalojen yleistyvät vuotovahingot vuoden 2002 selvityksessä tuottivat kysymyksen syistä, sillä suurin osa rivitalokannasta on rakennettu vasta 1980- ja 1990-luvuilla. Rivitalojen osuuden voimakas kasvu rakennuskannasta selittänee osan kasvusta, mutta toisaalta oletus on, että käytetyt materiaalit ja asennustekniikat parantuvat aiemmista. Kerrostaloissa vahingot ovat hieman vähentyneet vuodesta 1988. Vuoden 2002 tutkimuksessa noin puolet vuotovahingoista oli yksittäisiä kyseisessä kohteessa. Tyypillisesti omakotitalojen vahingot olivat yksittäisiä vahinkoja ja kerrostaloissa oli selvästi useammin toistuvia vahinkoja (Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto 2004). Asunto-osakeyhtiöiden asukkaiden ja isännöitsijöiden tulisi huolehtia, että omaisuuden tekninen kunto pysyy hyvänä ennen kuin ongelmat vaativat välittömiä toimenpiteitä.

## **Vuotovahingot kylmä- ja lämminvesiputkissa**

Verrattaessa vuosien 1988 ja 2002 tutkimustuloksia näyttäisi siltä, että kylmä- ja lämminvesijohtojen osuus kaikista vuotovahingoista olisi laskenut (kuva 16). Kylmävesijohtojen osuus oli aiemmin 32 % ja vuonna 2002 25 %. Lämminvesijohtojen osuus oli aiemmin 17 % ja myöhemmin 10 %. Vuonna 2002 omakoti- ja rivitalojen vuotovahingoista kylmävesijohtojen vaurioilla oli selvästi suurin osuus, kun taas viemäreiden vuodot olivat selvästi suurempi ongelma kerrostaloissa. Merkittävimmät vauriotyypit kylmävesijohdoissa olivat rikkoutuminen ja korroosio, jotka yhdessä muodostivat 60 % osuuden vaurioista. Kylmävesijohdoissa niiden osuus oli vielä selvempi, n. 80 %. (Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto 2004)

Korroosiovaurioiden osuus oli vuoden 2002 selvityksessä suurin 1970-luvulla rakennetuissa taloissa, mutta kääntyi laskuun 1990-luvulla rakennetuissa taloissa. Vesijohtojen vahingot keskittyivät selvityksessä 1970- ja 1980-lukujen kohteisiin. Rakennusvirheitä on esiintynyt eniten 1970-, 1980- ja 1990-lukujen kohteissa. Kielteisissä korvauspäätöksissä lämminvesijohtojen vauriot erottuivat muista kohteista selvästi suuremmalla osuudella. (Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto 2004)

Selvityksessä tutkittujen vuotovahinkojen määrä oli yhteensä 1902 kpl. Tapauksia, joissa putki oli vahingoittunut, oli yhteensä 1507 kpl. Vahingoittuneista putkista suurin osa sijaitsi seinällä/kaapistossa (28 %), pinta-asennettuna (26 %) tai alapohjassa (26 %). Korroosion osuus vuonna 2002 alapohjavahingoissa oli yli 50 % ja pinta- ja kaapistoasennuksissa 20 %. Vuotava putki oli rakenteiden sisällä 74 %:ssa vahinkotapauksista (Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto 2004)

Ruotsalaisessa vahinkoselvityksessä kaikissa rakennuksissa putkistojen aiheuttamien vuotovahinkojen yleisimmät syyt olivat korroosio ja jäätyminen. Tässä selvityksessä korostuivat pientalojen vuotovahingot. Pientalojen vuotovahingoista 60 % aiheutui johtojärjestelmistä (kylmä- ja lämminvesijohto, viemäri ja vesikiertoinen lämmitys), 27 % vesieristyksen ongelmista ja 13 % varusteista (VVS-Installatörerna 2002). Selvityksen perusteella noin 50 % vuotovahingoista tapahtui ennen kuin järjestelmä on 38 vuoden ikäinen

(VVS-Installatörerna 2002 ja 2005). 71 % kaikista jäätymisvahingoista johtui kylmän veden linjojen vaurioista (VVS-Installatörerna 2002).

Ruotsalaisen selvityksen mukaan johtojärjestelmien vahingoista 61 % oli putkissa. Verrattuna kahteen aiempaan tutkimukseen vuosilta 1977 ja 1987 putkien osuus on selvästi kasvanut. Johtojärjestelmien vahingoista suurin osa (41 %) tapahtui kylmävesijohdoissa. Kylmävesijohtojen osuus vuotovahingoista nousi edellisestä tutkimuksesta vuodelta 1987, kun taas lämminvesijohtojen osuus laski 9 %:iin. Mekaanisten liitosten osuus johtojen vuotovahingoista oli 87 %. Kylmä- ja lämminvesiputkien mekaaniset liitokset aiheuttivat selvästi suuremman osan vuotovahingoista kuin juotetut liitokset, vaikka mekaanisten liitosten osuus on kaikista liitoksista noin 20 %. Aiemmin mekaanisten liitosten osuus oli 5-10 % kaikista liitoksista. Kylmävesijärjestelmien vahingoista korroosion aiheuttamiksi todettiin 23 %, mekaanisen vaurion 11 %, jäätymisen 35 % ja muun syyn aiheuttamiksi 21 %. Lämminvesijärjestelmissä vastaavat osuudet olivat 33 %, 11 %, 21 % ja 20 %. Kupariputken yleisin vauriosyy selvityksessä oli jäätyminen (VVS-Installatörerna 2002).

Toinen ruotsalainen selvitys vuodelta 2005 käsitteli kerrostalojen vuotovahinkoja. Korkeintaan 20 vuotta vanhojen kerrostalojen kylmävesijohtojen osuus vahingoista oli selvästi suurempi kuin muiden järjestelmien. Tämä tulos oli samansuuntainen kuin suomalaisissa tutkimuksissa. Ruotsissa lämminvesijohtojen ja lämmitysjärjestelmien osuudet kerrostalojen vahingoista ovat suuremmat kuin kylmävesijohtojen osuus 31-40 ja etenkin 41-50 vuoden ikäisissä järjestelmissä. Korroosion aiheuttamat vahingot lisääntyvät hyvin selvästi yli 30 vuoden ikäisissä järjestelmissä. Yhtään korroosiovauriota ei todettu alle 10 vuoden ikäisissä järjestelmissä. Kylmävesijohtojen mekaaninen vika oli aiheuttanut vuotovahingon neljäsosassa tapauksista, kun taas lämminvesijohtojen ei ollenkaan (VVS-Installatörerna 2005).

On otettava huomioon, että kylmä- ja lämminvesiputkien vauriotutkimuksissa korostuvat metalliset putket, joita on käytetty paljon 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuissa kiinteistöissä ja joiden tekninen suunniteltu käyttöikä on monessa tapauksessa täyttynyt.

## **Materiaalin vaikutus vuotojen esiintyvyyteen**

Koska tilastoja eri materiaalien vauriomääristä ei ole käytettävissä, on käytettävä arvioita ja kotimaisten tutkimusten tuloksia. VTT:n vuosina 1975-1989 suorittamissa vauriotutkimuksissa n. puolet kaikista kylmä- ja lämminvesijohtojen vauriotapauksista oli kuparisissa lämminvesijohdoissa, kolmannes sinkityissä teräksisissä kylmävesijohdoissa ja kymmenes kuparisissa kylmävesijohdoissa (Kaunisto 1991). Sinkityn putken osuus putkistopituuksista on tällä hetkellä paljon pienempi kuin vuoden 1991 selvityksessä. Suomalaisessa vaurioselvityksessä kuparin osuus putkimateriaaleista oli 79 %, kuumasinkityn teräksen 13 % ja muovin 8 %. 47 % kaikista vaurioista oli putkien liitoskohdissa. Materiaalien asennusvuosista ei ollut tietoa. Metalliputkien vaurioiden syiksi arvioitiin teknisen käyttöiän loppuminen 13 %:ssa, putkiston sisäpuolinen korroosio käyttöolosuhteista johtuen (veden tekninen laatu, käyttöönottoa edeltävät toimenpiteet) 28 %:ssa sekä erilaiset virheet ja puutteet suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä 59 %:ssa vauriotapauksista (Määttä ja Kaunisto 1997).

Suomessa on selvä tarve kattavalle ja julkiselle kiinteistöjen putkimateriaalien vaurioselvitykselle, jossa myös vauriomekanismit kartoitettaisiin. Tutkimuspuutteiden vuoksi PEX- ja komposiittiputkien osalta tällaista tutkimustietoa ei ole käytettävissä, mutta muutamia yleisesti tiedossa olevia ominaisuuksia voidaan mainita. Muoviputkien eli PEX- ja

komposiittiputkien osalta veden teknisten laatuparametrien mahdollista vaikutusta vaurioitumiseen ei ole tutkittu, mutta kloori ja veden lämpötila voivat vaikuttaa vaurioitumiseen. Muoviputkissa käytetään metallisia liittimiä, joiden vaurioitumiseen veden laatu voi vaikuttaa. Kiinteistöjen muoviputkien etuna on se, että ne voidaan asentaa suojaputkien sisään ja oikein asennettuna vuodot tulevat ilmi ja varsinainen virtausputki voidaan vaihtaa pienellä vaivalla. Asennus on tehtävä oikein, jotta nämä ominaisuudet toimivat. Saatavilla on myös vuotovesisuojuilla varustettuja kupariputkia.

Vaihdettavat muoviputkijärjestelmät ovat tuottaneet Norjassa ongelmia, sillä putkia on asennettu usein väärin. Vuotovettä ei olekaan johdettu pois rakenteista tai putkia ei pysty vaihtamaan. Ongelmia ovat aiheuttaneet puutteellinen suunnittelu, huolimattomuus ja vähäinen tai heikko asentajan ammattitaito. Yleisiä asennusvirheitä on ollut monia. Asennuksessa on saatettu käyttää eri järjestelmien komponentteja eikä liittimiä ole kiristetty riittävän huolellisesti. Putket ovat olleet liian lyhyitä, jolloin niihin on jäänyt jännityksiä. Suojaputkia on jätetty kiinnittämättä hanakulmakoteloon ja jakotukkikaapin kiinnitys seinään ei ole ollut vesitiivis. Lisäksi jakotukkeja on asennettu seinään ilman kaappia (Heikkinen 2007). Mahdollisista vastaavista ongelmista Suomessa ei ole tietoa.

Suomessa tilanne kiinteistöjen putkimateriaalien osalta on siinä mielessä ongelmallinen, että muovimateriaalien käyttäytymisestä todellisissa käyttöolosuhteissa ei ole tehty laajaa tutkimusta. Asian kansantaloudellisen merkityksen vuoksi kiinteistömateriaaleissa tapahtunut suuri muutos eli muoviputkien yleistymisen viimeisten parinkymmenen vuoden aikana tulisi ottaa huomioon julkisesti myös tutkimuspanostuksissa. Nykyinen vauriotutkimustieto koskee lähinnä metallisia putki- ja liitinmateriaaleja.

## **Materiaalien käyttöikäarvioita**

Koska kiinteistöjen materiaaleista ei ole vastaavia materiaalkohtaisia vaurioitilastoja kuin jakeluverkostojen materiaaleista, on tyydyttävä erilaisiin kokemuksiin perustuviin käyttöikäarvioihin ja vahinkoselvityksistä saatuihin tietoihin. Näiden tietojen perusteella materiaalien käyttöikäarviot jäävät epätarkoiksi. Käyttöiän arviointi on aina haastavaa, sillä olosuhteet vaihtelevat merkittävästi. Kuumasinkittyjen teräsputkien tulisi kestää keskiverto-olosuhteissa 30-50 vuotta (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys (1987), mutta toisaalta keskimääräiseksi käyttöiäksi on arvioitu myös 20-40 vuotta (Kaunisto 1991). On arvioitu, että messingin sinkinkato haurastuttaa messinkijuotokset 20-50 vuodessa (Karjalainen 1995). Sinkinkadonkestävän messingin voidaan arvioida kestävän lähemmäs 50 kuin 20 vuotta. Kiinteistöjen muovimateriaalien vanhenemiseen liittyviä ongelmia ei ole Suomessa tullut yleiseen tietoisuuteen parinkymmenen vuoden aikana. Muovimateriaalien suhteen arviota absoluuttisesta käyttöiästä ei voi tehdä niiden lyhyemmän käyttöajan vuoksi.

Kupariputken tulisi kestää suotuisissa olosuhteissa kylmävesijohdoissa 50 vuotta (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Kuparisten lämminvesijohtojen käyttöikä vaihtelee normaalisti 30-50 vuoden välillä, mutta epäsuotuisissa olosuhteissa pistekorrosio voi aiheuttaa vuotoja muutamien vuosien käytön jälkeen (Kaunisto 1991). Vaurioselvityksessä keskimääräinen kupariputkistojen käyttöikä pistesyöpymistapauksissa oli 17 vuotta (Määttä ja Kaunisto 1997). Tanskassa kupariputken käyttöiäksi on arvioitu vähintään 30 vuotta normaaleissa käyttöolosuhteissa (Fortenay ym. 2005). Saman lähteen mukaan ruostumattoman teräksen odotetaan kestävän normaaleissa käyttöoloissa 30-35 vuotta. Tosin sikäläiset olosuhteet ja käytännöt poikkeavat suomalaisista ja ruostumattomien terästen tyyppien välillä on merkittäviä eroja.



## 6.2.2 Materiaalinvalinta

Suuria kiinteistöjä suunniteltaessa materiaalit valitsee suunnittelija ja pientaloissa monesti asukas tai putkiasentaja. Käytännössä myös urakoitsija tai urakoitsijan käyttämä asentaja voi vaikuttaa materiaaleihin asennusvaiheessa, mikäli tähän on syy. Materiaalin valinnassa tulisi ottaa huomioon kustannusten lisäksi veden laatu, järjestelmäratkaisun luotettavuus ja asennustyöhön mahdollisesti liittyvät rajoitukset. Kiinteistöjen putkijärjestelmien standardoidut ja yleisessä käytössä olevat liitosratkaisut takaavat todennäköisemmin järjestelmän pitkän käyttöiän. Tulisi myös varmistaa, että asennuksesta vastaava taho osaa asentaa kyseistä materiaalia.

Käytännössä hinnan ja teknisen toteutuksen osalta putkimateriaalivaihtoehdot Suomessa kiinteistöjen kylmä- ja lämminvesijohtoihin tällä hetkellä ovat kupari, PEX, komposiitti (PERT ja PEX) sekä ruostumaton teräs. Suunnittelija valitsee materiaalin hinnan, käyttökohteen tarpeiden ja joskus tilaajan mieltymysten mukaan. Joissakin tilanteissa putkikoko ratkaisee asian tietyn materiaalin eduksi. Materiaalin hinnan osuus kokonaiskustannuksista voi olla merkittävästi erilainen sen mukaan onko kyseessä uudisrakentaminen vai korjausrakentaminen. Korjausrakentamisessa on myös tilanteita, joissa materiaalia ei voida vapaasti valita vaan muut kohteesta johtuvat esim. ulkonäkörajoitteet estävät joidenkin materiaalien käytön. Elinkaariajattelu tulisi ulottaa myös kiinteistön rakenneratkaisuihin. Olisi erittäin tärkeää verrata kustannuksia kokonaisjärjestelmien (putket, asennustarvikkeet, asennustyö) ja todennäköisen käyttöiän osalta eikä perustaa materiaalinvalintaa pelkästään putkimateriaalien hintoihin. Luotettavia tietoja asennustapojen kuten pinta-asennus vs. suojaputkiasennus, putkimateriaalien ja muiden putkistoteknisten ratkaisujen vaikutuksista käyttöikään ja vuotovahinkojen määrään ei valitettavasti toistaiseksi ole saatavissa.

## 6.2.3 Vuotovaurioiden kustannukset

Kiinteistöjen vesijohtojen ja niiden laitteiden vaurioiden aiheuttamat kustannukset koostuvat seuraavista tekijöistä:

- kostuneiden rakenteiden kuivaus
- kostuneiden rakenteiden korjaus (tuote- ja työkulut)
- putkien ja muiden laitteiden korjaus (tuote- ja työkulut)
- irtaimiston vaurioituminen
- väliaikainen asuminen

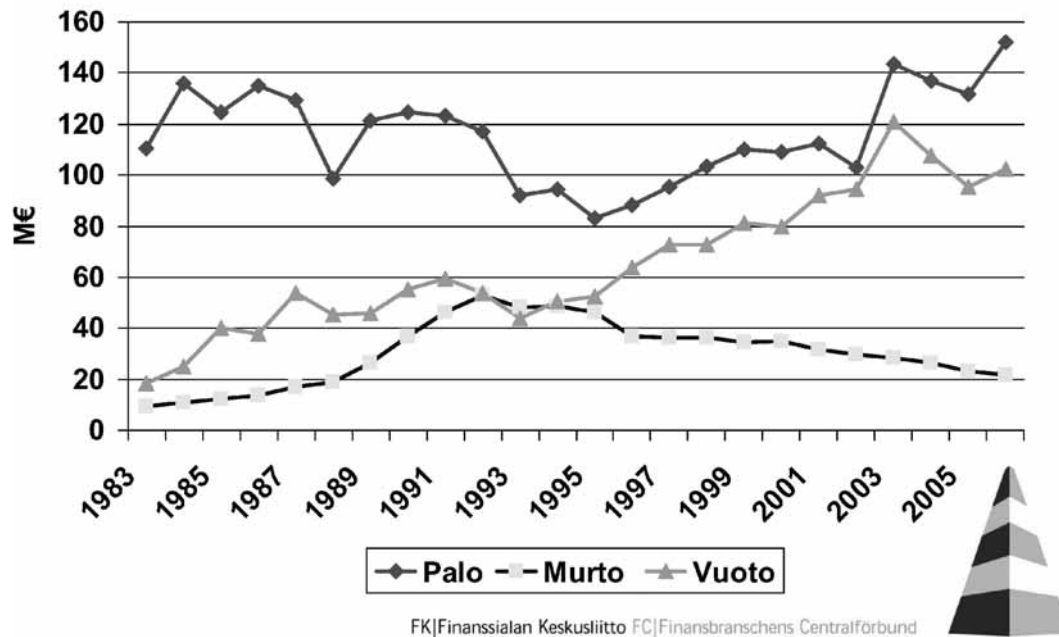
-lisäksi on otettava huomioon asunnon haltijalle koituvat ongelmat, vaikka kustannuksia ei tulisikaan

Lämmin- ja kylmävesijohtojen ja niiden laitteiden aiheuttamat vahingot luokitellaan vakuutusyhtiöiden tilastoissa vuotovahingoiksi. Yleensä haitat muulle omaisuudelle aiheuttavat selvästi suuremmat kustannukset kuin vaurioituneen vesilaitteiston uusiminen. Vahinkovakuutuksen vakuutusmaksutuloilla mitattuna vuonna 2005 osuudeltaan suurin (21,0 %) oli palo-, vuoto- ja muu omaisuusvahinko ja toisena moottoriajoneuvon vastuu (20,9 %). Vuotovahingoista maksettiin vahingonkorvauksia vuonna 2005 95,4 milj. €. Vuotovahinkojen korvaussummat ovat nousseet vuodesta 1983 vuoteen 2005 lähes viisinkertaisiksi (kuva 17). Kehitys on ollut samansuuntaista yksityistalouksien ja yritysten osalta (kuva 18). Korvausmäärät on tässä muutettu vastaamaan vuoden 2005 rahan arvoa (Finanssialan Keskusliitto 2007). Kuten aiemmin todettiin, myös vuotovahinkojen kappalemäärä on noussut huomattavasti vuodesta 1988 vuoteen 2006. Suunnilleen tällä

aikajaksolla rakennuskanta on kasvanut, mutta käytetyt materiaalit ja käytännöt parantuneet. Toisaalta 1960- ja 1970-lukujen voimakkaan rakentamisen ajan tuotanto alkaa lähestyä elinkaarensa loppupäätä.

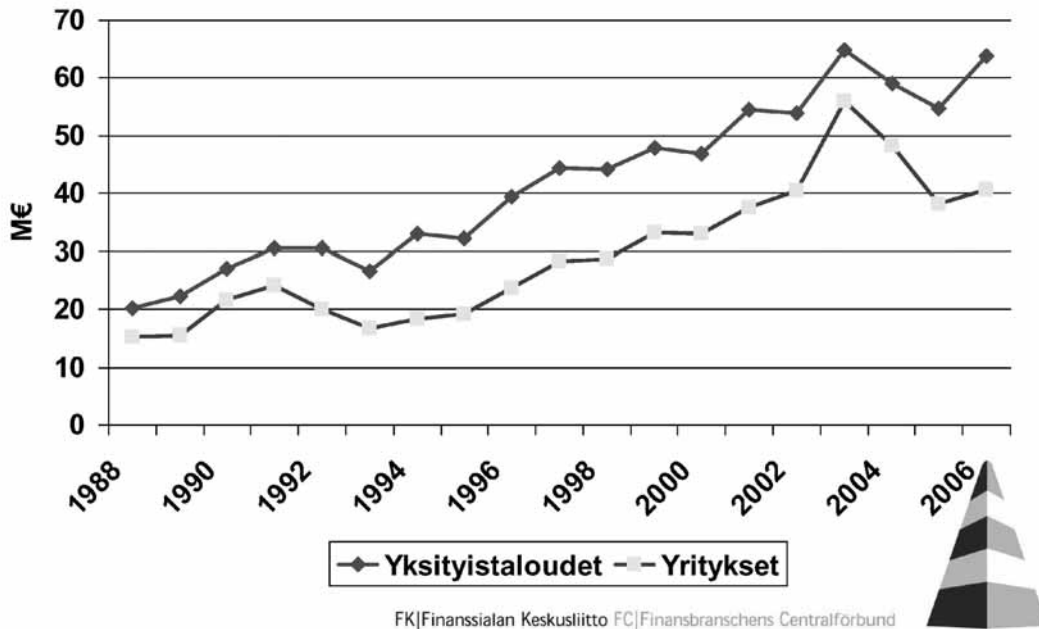
## Palo-, murto- ja vuotovahingot 1983-2006

Korvausmäärät muutettu 2005 rahan arvoa vastaaviksi



**Kuva 17.** Palo-, murto- ja vuotovahinkojen korvaussummat (M€) vuosittain 1983-2006 (Finanssialan Keskusliitto 2007).

## Vuotovahinkokorvaukset



**Kuva 18.** Vuotovahinkojen korvaussumma (ME) vuosina 1988-2006 (Finanssialan Keskusliitto 2007).

### Kustannukset kylmä- ja lämminvesijohtojen vahingoista

Edellä esitettyjen vakuutusyhtiöiden tietojen perusteella voidaan arvioida, että vuositasolla (2006) kylmä- ja lämminvesijohtojen rikkoutumisen vuoksi on maksettu vähintään 33 milj. € korvauksia. Toisaalta vain äkilliset ja ennalta-arvaamattomat vahingot korvataan eli summa ei vastaa todellista putkivaurioista johtuvaa kustannusta. Käytännössä korroosion ja rakentamisen virheet aiheuttavat summaan useamman miljoonan euron lisän. Jos arvioon otetaan mukaan lämminvesivaraajat voidaan kaikkiaan arvioida kansantalouden yhteiskustannukseksi kylmä- lämminvesijohtojen vaurioiden osalta 35-45 milj. € vuodessa. Vaikka kylmä- ja lämminvesijohtojen osuus vuotovahingoista on hieman laskenut vuodesta 1988, on niiden osuus edelleen selvästi suurin vuotovahingoista. Lisäksi yleinen kappale- ja kustannusmääräinen nousu vuotovahingoissa on huomattava.

Määttä ja Kaunisto (1997) viittaavat selvityksessään Vakuutusyhtiöiden Keskusliiton tietoihin, joiden mukaan vuotovahinkojen keskimääräinen korvaussumma oli 40 % suurempi omakoti- kuin kerrostaloissa (Määttä ja Kaunisto 1997). Ruotsissa pientalojen vuotovahinkojen kuluista 68 % aiheutui johtojärjestelmistä (kylmä- ja lämminvesijohto, viemäri ja vesikiertoinen lämmitys), 22 % vesieristysten ongelmista ja 10 % varusteista. Keskivahinkokorvaus 3800 € (35200 SEK) oli suurin johtojärjestelmistä aiheutuneissa vahingoissa. Laitteiden aiheuttaman keskivahinkokorvauksen suuruus oli 2600 € (24500 SEK) ja vesieristysten 2800 € (26100 SEK). Pientaloissa suurin keskivahinkokorvaussumma ja yhteissumma oli jäätymisen seurauksena syntyneissä vahingoissa. Jäätyminen oli selvästi kallein vahingon aiheuttaja, jossa tosin osin selittäjänä mainittiin yksittäinen ja

poikkeuksellinen luonnonilmiö. Johtojärjestelmien keskivahinkokustannuksista kalleimmat syntyivät vuosina 1993-2002 rakennetuissa rakennuksissa (VVS-Installatörerna 2002).

### **Korjauskustannusten jakautuminen**

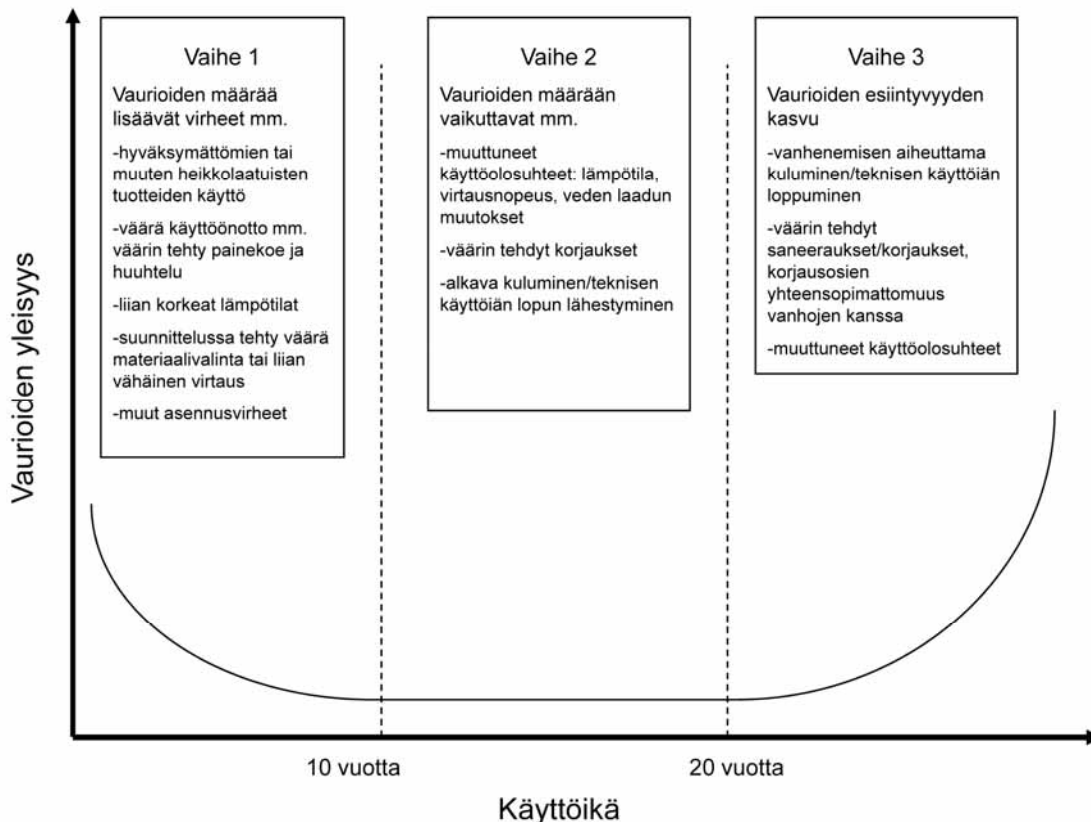
Korjauskustannuksien jakautumiseen vaikuttaa korjauksien laajuus. On arvioitu, että tyypillisessä korjaustapauksessa, jossa uusitaan kaikki vesi- ja viemäriputket, vesikalusteet, sekoittajat sekä säädetään vanha toimintaan jäävä lämmönjakojärjestelmä, materiaalin osuus kustannuksista olisi n. 60 %, työn 30 % ja alihankinnan 10 %. Toisaalta korjauksessa, jossa uusitaan vain vesi- ja viemäriputket sekä sekoittajat, kustannuksista n. 30 % johtuisi materiaaleista, 60 % työstä ja 10 % alihankinnasta. Työn osuus on suuri korjattaessa putkilinjoja. Tämä johtuu LVI-alan hinnoitteluperusteista, joissa putkien metrimäärällä on suuri vaikutus (Heikkilä ja Päckilä 1990).

### **6.3 Materiaalien käyttöiän pidentäminen Suomessa**

Jakelu- ja kiinteistöverkostojen putkien ja laitteiden mahdollisimman pitkä käyttöikä, helppo huollettavuus, korjattavuus ja vaihdettavuus ovat tärkeimpiä asioita materiaalien turvallisuuden jälkeen. Materiaalien on oltava terveydelle haitattomia eli ne eivät saa huonontaa veden laatua ja niiden olisi kestävä mahdollisimman pitkään.

Yleensä verkostojen komponenteissa on käytetty useita eri materiaaleja. Päämääränä tulisi olla, että kaikki samassa kohteessa käytettävät tuotteet kestäisivät suunnitellun käyttöiän eikä vain putkimateriaali, josta useimmiten puhutaan käyttöiästä keskustellessa. Käytännössä monesti ”heikoin lenkki” eli lyhyimmän käyttöiän omaava komponentti ratkaisee koko tuotteen käyttöiän. Esimerkiksi jakeluverkostossa heikoin kohta voi olla venttiilin karanjatko, joka vaurioituessaan aiheuttaa muuten hyväkuntoisen venttiilin vaihtamisen. Tuotteeseen vauriosta aiheutuva haitta ei kuitenkaan välttämättä jakeluverkostossa esim. tiivisteessä ole niin suuri, että se havaittaisiin tai tuote vaihdettaisiin. Pienikin vika voi kuitenkin aiheuttaa pitkällä aikavälillä suuria vuotomääriä. Kiinteistöissä pienikin vuoto voi aiheuttaa moninkertaisia vahinkoja ja kustannuksia. Kiinteistöissä vuotojen havaittavuus sekä laitteiden vaihtaminen ja korjaaminen on helpottunut mm. pinta-asennuksen ja suojaputkien käytön ansiosta.

Kiinteistöjen vesijohtojen materiaaleissa esiintyvien vuotojen määrä ja vuotojen syyt muuttuvat ajan suhteen (kuva 19). Kuvaa voidaan soveltaa myös jakeluverkostoissa.

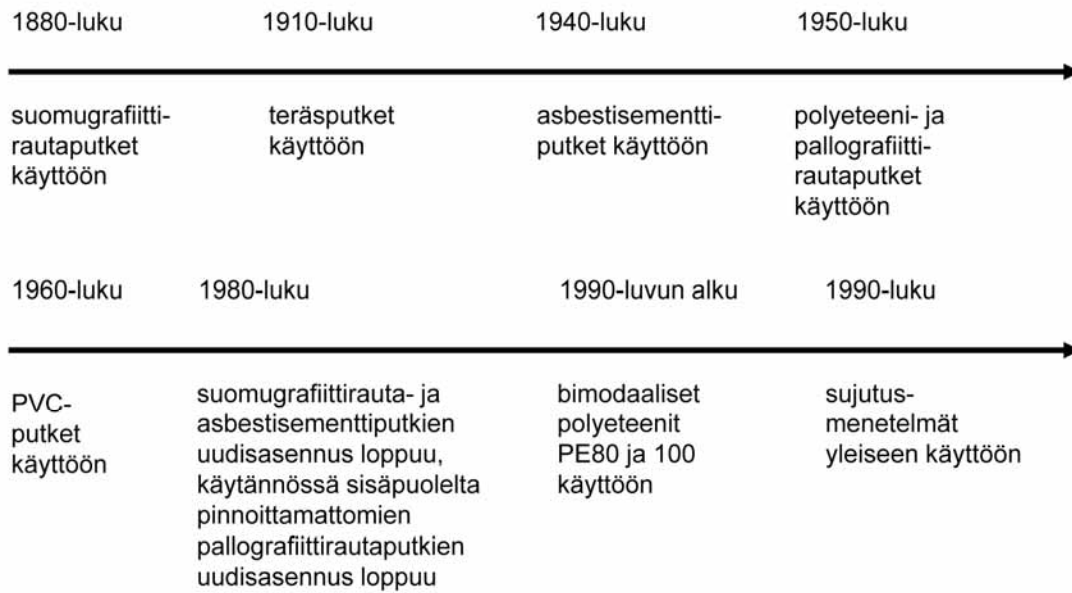


**Kuva 19.** Mallikuvaa kiinteistömateriaalien vuotojen esiintyvyyden suhteesta ajan kulumiseen asennuksesta ja käyttöönotosta. Mukailen alkuperäislähteestä (Vds 2007).

### 6.3.1 Muutokset verkostojen materiaaleissa ja säädöksissä

#### Vedenjakeluverkostot

Jakeluverkostojen materiaaleissa ja käytännössä on tapahtunut useita muutoksia, jotka vaikuttavat käyttöikäen (kuva 20). Selkeimmät muutokset ovat tapahtuneet käytetyissä materiaaleissa, metalliputkien ulko- ja sisäpinnoitteissa sekä saneeraus- ja korjausmateriaaleissa ja -menetelmissä. Jakeluverkostojen rakentamiselle tai käytölle ei Suomessa ole viranomaismääräyksiä vastaavasti kuin Suomen rakentamismääräyskokoelmassa säädetään kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistosta.



**Kuva 20.** Asennetut jakeluverkostomateriaalit Suomessa eri aikakausina (Kekki ym. 2007).

### Kiinteistöjen kylmä- ja lämminvesijohdot

Kiinteistöjen kylmä- ja lämminvesijärjestelmien ratkaisut ja käytännöt ovat muuttuneet ajan kuluessa (kuva 21). Rakennustavat ja -määräykset ovat ratkaisevia vesijohtojen käyttöään kannalta. Kiinteistöissä vesijohtoputket asennettiin piiloon rakenteisiin käytännössä aina vielä 1950-luvulle asti. Toisaalta tätä aiemmin rakennettuihin rakennuksiin lämminvesiputket on asennettu jälkikäteen lähinnä näkyviin tai koteloituina. Näissä rakennuksissa esim. wc:n tai pesuallasekoittajan kylmän veden kytkentäjohto voi olla kokonaan seinän sisässä. Putkistojen sijoittaminen seinän tai lattian sisään aiheuttaa suuret kustannukset korjausvaiheessa, sillä työ on kallista ja vaivalloista ja se hankaloittaa asumista (Järvinen ym. 1987). Putkien pinta-asennuksen ja suojaputkien käyttöönotto on parantanut tilannetta huomattavasti aiempaan verrattuna.

1960-luku	1976	1970-luku	1979	1987
siirtyminen pääosin putkien pinta-asennukseen	D1 voimaan: sinkinkadonkestävän messingin käyttö, tyyppihyväksyntä alkaa	sinkityn teräksen käyttö putkistojen uudisrakentamisessa loppuu, messinkijuotteiden käyttö loppuu	muoviputket käyttöön	uusittu D1: vesijohtojen uusittavuus ja korjattavuus, vuotohavaittavuus, asuntokohtaiset sulkuventtiilit
1990-luku	1998	2000	2000-luku	2007
suoja-putket käyttöön, jakotukit	C2: kosteuden ja vuotojen havaitseminen, mm. suoja-putket	monikerros- eli komposiittiputkien käyttöönotto	sisäpuolisen pinnoituksen käyttöönotto saneerauksessa	uusittu D1: vuotohavaittavuus, käyttöönoton dokumentointi, tarkennuksia mm. lämpötiloihin

**Kuva 21.** Asennetut kiinteistövesijohtojen materiaalit ja lainsäädäntö Suomessa eri aikakausina.

Ensimmäisen kerran annettiin viranomaismääräykset vuonna 1975 kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteista Suomen Rakentamismääräyksien osassa ”**D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistot Määräykset ja ohjeet 1975**” silloisen sisäasianministeriön toimesta (Sisäasianministeriö 1975). Nämä määräykset ja ohjeet uusittiin 1987 (Ympäristöministeriö 1987). Uudistettu versio D1:stä tuli voimaan 1.7.2007 (Ympäristöministeriö 2007). Näissä esitetty määräys on velvoittava ja ohje yleisesti hyväksytty tapa täyttää määräys.

Rakentamismääräysten osassa C2, Kosteus (Ympäristöministeriö 1999) on asetettu vaatimuksia putkille ja laitteille sekä niiden asentamiselle. C2:ssa määrätään, että vesilaitteistot on suunniteltava siten, että vesivuoto voidaan havaita mahdollisimman aikaisin, jotta laajaa vahinkoa ei pääsisi syntymään. Putket ja laitteet on määräyksissä velvoitettu sijoitettavaksi tai eristettäväksi siten, että jäätymistä ei pääse tapahtumaan tai tiivistyvä vesi tuottamaan haittaa. Tämä määräys edisti suoja-putkien käyttöä. Asia on esitetty vastaavasti osassa ”**D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistot Määräykset ja ohjeet 2007**”. Aiemmassa osassa ”**D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistot Määräykset ja ohjeet 1987**” määrättiin sijoittamaan vesijohto siten, että se voidaan ilman suurehkoja toimenpiteitä ja rakenteita särkemättä korjata tai vaihtaa.

”**D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistot Määräykset ja ohjeet 2007**” ohjeistaa, että vesijohto tulisi asentaa esimerkiksi seuraavasti:

- 1) näkyville
- 2) suoja-putkeen siten, että johdon vaihtaminen on mahdollista
- 3) pystyjakojohtot märkätilan ulkopuolelle helposti avattavaan tilaan, esimerkiksi kerroskohtaiset huolto-ovet tai helposti avattavat putkielementit
- 4) helposti irrotettavan rakenneosan, kuten esimerkiksi alaslasketun katon, verhokotelon tai kaappien ala- tai yläpeitelevyjen taakse

- 5) vesikalusteiden kytkentäjohdot seinärakenteeseen siten, että mahdollinen vesivuoto ei tunkeudu rakenteeseen ja siten, että vuoto voidaan helposti havaita
- 6) ryömintätilaan, jonka korkeus on vähintään 1,2 metriä tai
- 7) maahan

Lisäksi ohjeistetaan käyttämään rakenteellisia ratkaisuja, joissa vuotovesi ohjautuu näkyville. Pystyjakojohtojen yhteydessä vuodonilmaisimia sijoitetaan jokaisen kerroksen kohdalle niin, että vuotovettä ei pääse laattaan ja sen läpivientiin.

”**D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet 2007**” määräyksissä veloitetaan, että putkiston kannatus on toteutettava siten, etteivät lämpölaajeneminen eivätkä veden virtauksesta syntyvät voimat aiheuta haittaa. Vesilaitteistot on tehtävä sellaiseksi, ettei siinä oleva vesi jäädy. Ohjeena sanotaan, että kylmään tilaan sijoitettavat vesijohdot lämpöeristetään ja johdot, joita ei käytetä kylmänä vuodenaikana, asennetaan niin, että ne on helppo tyhjentää. Rakentamismääräyksissä on esitetty hyväksyttävät putkimateriaalit ja liitostavat eri olosuhteissa sekä suurin hyväksytty veden virtausnopeus kuparijohdoissa. Lisäksi todetaan, että putkistovarusteiden kuten venttiilien, putkiliittimien, pumppujen ja vesimittareiden materiaalien on oltava syöpymistä kestäviä. (Ympäristöministeriö 2007)

”**D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet 2007**” määräyksissä veloitetaan, että vesilaitteiston tiiviys on varmistettava painekokeella ja vesilaitteisto on ennen käyttöön ottamista huuhdeltava talousvedellä. Määräyksissä on annettu ohjeet tiiviyskokeen ja huuhtelun suorittamisesta. Vesilaitteiston paine ja vesikalusteiden virtaamat on mitattava, säädettävä ja todettava suunnitelman mukaisiksi ennen rakennuksen käyttöönottoa. Samoin lämpimän käyttöveden lämpötila ja kiertojohdon virtaama säädetään ennen rakennuksen käyttöönottoa. Ohjeen mukaan vesikalusteista saatavan veden lämpötilan tulee olla yli 55 °C odotusajan jälkeen ja virtausnopeus kiertojohdon missään osassa ei saa ylittää arvoa 1,0 m/s. Lämminvesijärjestelmä määrätään tehtäväksi sellaiseksi, että vältetään liian korkean veden lämpötilan aiheuttamilta tapaturmilta. Lämpötila ei saa olla yli 65 °C. Määräyksissä veloitetaan, että selvitys käyttöönottoa koskevista toimenpiteistä on liitettävä rakennustyön tarkastusasiakirjaan. (Ympäristöministeriö 2007)

### 6.3.2 Käyttöiän pidentämisen keinot

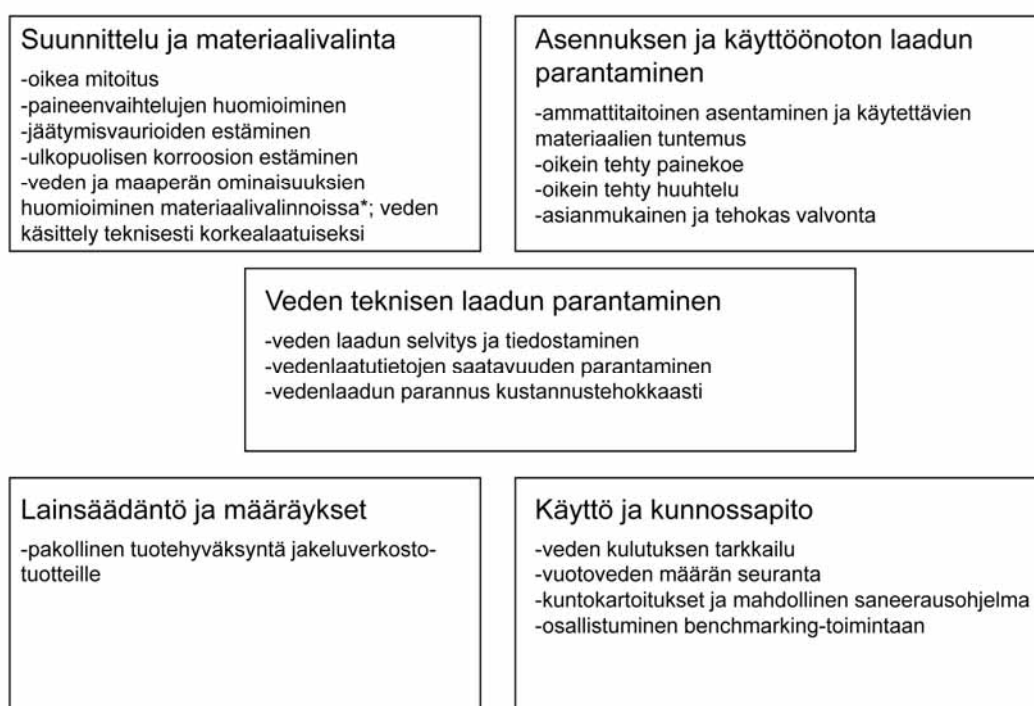
Tässä selvityksessä keskitytään teknisen käyttöiän pidentämisen keinoihin sekä aiemmin asennettujen verkostomateriaalien että uudisrakennusmateriaalien osalta Suomessa. Materiaalien mahdollisimman tarkoituksenmukaisen käytön varmistamiseksi tarkastelussa on keskityttävä uudisrakentamisessa käytettäviin materiaaleihin, mutta verkostojen vuosikymmeniä kestävä uudistumissyklin vuoksi myös aiemmin asennetut materiaalit on otettava huomioon. Keinot materiaalien käyttöiän pidentämiseksi ovat rajalliset. Materiaalien ja veden tulisi sopia yhteen.

Käyttöikään voidaan vaikuttaa parantamalla seuraavia:

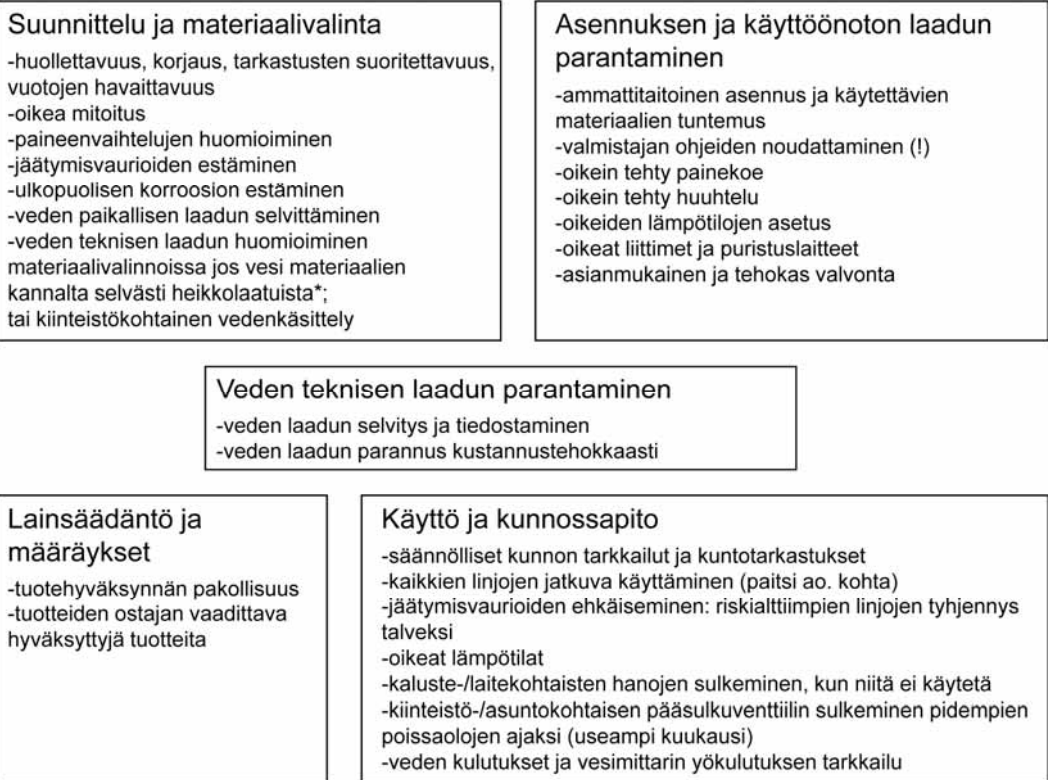
- Lainsäädäntö ja määräykset
- Asennuksen ja käyttöönoton laatu
- Veden tekninen laatu
- Suunnittelu ja materiaalivalinta
- Käyttö ja kunnossapito



Jakelu- ja kiinteistöverkostojen tarkastelu yhdessä on perusteltua, sillä yksi oleellinen materiaalien käyttöikäen vaikuttava muuttuja eli veden tekninen laatu, ei vaihdu verkostosta toiseen siirryttäessä. Veden teknisen laadun tulee pääsääntöisesti olla sellainen, että se ei ratkaisevasti lyhennä aiemmin asennettujen ja uudisrakentamisessa käytettävien materiaalien käyttöikää. Materiaalivalinnassa tulisikin ottaa huomioon veden laatu. Huolimatta käytännön toteutuksen eroista, molemmissa verkostoissa on huolehdittava siitä, että suunnittelu, materiaalivalinta, asennus, käyttöönotto, käyttö ja kunnossapito on hoidettu ammattitaitoisesti ja käytettävät tuotteet ovat hyvälaatuisia ja säädösten mukaisia. Asennuksen huolellisuus ja laatu kaikissa vaiheissa korostuvat nykyisin käytettävillä materiaaleilla sekä jakelu- että kiinteistöverkostoissa. Suhdanteilla voi olla vaikutus saatavilla olevan työvoiman ammattitaitoon ja määrään. Sekä aiemmin asennettujen että uudisasennettavien jakeluvesijohtojen ja kiinteistöjen vesijohtojen mahdollisimman pitkän käyttöiän saavuttamiseksi tarvitaan joukko toimenpiteitä (kuvat 22 ja 23).



**Kuva 22.** Jakeluverkostomateriaalien käyttöiän pidentämisen ja vuotoveden määrän vähentämisen keinot. \*Tässä selvityksessä aiemmin esitetyt materiaalikohtaiset raja-arvot kuvaavat materiaalien kannalta hyvää veden laatua, mutta näitä raja-arvoja ei voi käyttää materiaalin valinnan perusteena. Sama koskee lopuksi esitettäviä kaikkien materiaalien kannalta hyvälaatuisen veden laatuparametreja.



**Kuva 23.** Kiinteistön vesijohtomateriaalien käyttöiän pidentämisen ja vuotovahinkojen ehkäisemisen keinot. \*Tässä selvityksessä aiemmin esitetyt materiaaliikohtaiset raja-arvot kuvaavat materiaalien kannalta hyvää veden laatua eikä arvoja voi käyttää materiaalin valinnan perusteena. Sama koskee lopuksi esitettäviä kaikkien materiaalien kannalta hyvälaatuisen veden laatuparametreja.

### 6.3.3 Suunnittelu ja materiaalinvalinta

#### Jakeluverkosto

Jakeluverkostojen materiaaleista tai rakentamisesta ei Suomessa ole säädöksiä tai viranomaismääräyksiä kuten on vastaavasti kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteista. Jakeluverkostojen putkimateriaalien valinnassa vesilaitokset tuntevat kokemuksesta materiaalien ominaisuudet, paikalliset olosuhteet ja käytön asettamat vaatimukset. Käytännössä vesilaitosten edustajat myös valitsevat aina käytettävät materiaalit, vaikka suunnittelutyön tekisi ulkopuolinen taho. Metallisten putkien sisä- ja ulkopinnoitteiden laadun ja paksuuden merkitystä valintaprosesseissa ei voitane liikaa korostaa. Samoin muoviputkia hankittaessa tulee harkita, toisiko sitkeämpi muovilaatu tai suurempi seinämänpaksuus myös lisää käyttöikää erityisesti vaativissa kohteissa. Saastuneen maaperän kohteissa tulisi harkita tarkkaan käytettävä putkimateriaali ja liitoksien materiaali sekä tiiviys, jotta välttyttäisiin veden hygieenisen tai esteettisen laadun heikkenemiseltä. Oikeiden paineluokkien valinta on tärkeää, sillä jos putkia ylikuormitetaan, se nopeuttaa materiaalin vaurioitumista. Tuoteselosteissa valmistajien tulisi esittää arviot tuotteidensa käyttöiästä perusteluineen eri olosuhteissa.

Kattavaa ja riittävän tarkkaa tutkimustietoa valinnan pohjaksi tarvitaan ja sitä tulisi hankkia, jotta valinta voitaisiin toteuttaa mahdollisimman paljon tutkitun tiedon perusteella. Saneerauksen osuus kasvaa kaiken aikaa, mikä lisää tutkimustiedon tarvetta käytettävistä materiaaleista ja menetelmistä. Pinnoitteiden kestävyys erilaisissa olosuhteissa ja erilaisina materiaaliyhdistelminä tulisi selvittää.

## **Kiinteistöverkosto**

Kiinteistöjen vesi- ja viemäriverkostoista säädetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa ”**D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet 2007**”. Rakentamismääräykset koskevat uudisrakentamista ja niitä voidaan käyttää soveltaen korjausrakentamisessa, jos määräyksissä ei toisin sanota.

Järjestelmien oikeat materiaalivalinnat, helppo huolto, kontrollointi ja korjaus ovat oleellisia tekijöitä mahdollisimman pitkän käyttöiän saavuttamiseksi. Hyvällä suunnittelulla voidaan estää ainakin osittain mm. liian vähäinen veden virtaus, paineenvaihtelut, eroosiokorroosio sekä jäätymisvauriot. Peruskorjauskohteessa ei pystytä aina vaikuttamaan materiaalivalintaan. Menetelmät on valittava oikein saneerauskohteessa, jotta ei jouduta toteamaan, että saneeratussa kohteessa on saman tien uusi vuoto toisessa kohdassa. Saneerauksen osuus rakentamisesta kasvaa kaiken aikaa ja tiedon tarve on hyvin suuri sekä materiaalien että menetelmien osalta.

”**D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet 2007**” velvoittaa, että vesilaitteisto on tehtävä sellaiseksi, että veden kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ei irtoa tai liukene veteen haitallisessa määrin terveydelle haitallisia tai vaarallisia aineita. Veden on säilyttävä jatkuvasti laatuvaatimukset täyttävänä. Vesilaitteiston materiaaleina on käytettävä käyttötarkoitukseen sopivia laadultaan testattuja ja tarkastettuja materiaaleja. Ohjeena annetaan, että materiaalien kelpoisuus voidaan osoittaa CE-merkinnällä, tyyppihyväksynnällä tai muulla luotettavalla tavalla. D1:n liitteessä 3 annetaan vesilaitteiston putkimateriaalit, liitostavat ja kupariputkien nimellismat (liite 1) (Ympäristöministeriö 2007). Vuoden 1987 D1:ssä on lueteltu vesilaitteistoon hyväksytyt materiaalit (liite 2) (Ympäristöministeriö 1987), mutta joidenkin materiaalien ja huomautusten kohdalla annettua tietoa voidaan pitää vanhentuneena.

Rakentamismääräyksissä annetaan ohjeena, että kiinteistöverkostojen suunnittelussa tulee aina ottaa huomioon paikallinen veden laatu (Ympäristöministeriö 2007). Tieto vesilaitoksen jakaman veden laadusta on julkista, ja sitä on saatavilla vesilaitosten kotisivuilta ja tiedustelemalla puhelimitse vesilaitokselta. Varsinkin pienten vesilaitosten tiedot veden teknisestä laadusta voivat olla puutteelliset, sillä talousvesiasetus ei edellytä mittaamaan syövyttävyyteen vaikuttavia vedenlaatumuuttujia. Vesi-Instituutin kattavan vedenlaatuselvityksen (Ahonen ym. 2008) perusteella selkeät teknisen veden laadun ongelmat koskevat erityisesti hyvin pieniä vesilaitoksia (<10m<sup>3</sup>/d). Monet laboratoriot tarjoavat ostopalveluna määrityspaketteja veden syövyttävyyden selvittämiseksi.

Hyvällä suunnittelulla pyritään parantamaan myös huollettavuutta ja vähentämään vahinkoja. Suunnittelijoiden olisi huolehdittava, että kiinteistöjen vesi- ja viemärijärjestelmät sekä ilmanvaihto-, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät niihin liittyvine laitteineen on suunniteltu, rakennettu ja varustettu siten, että mahdollinen vesivuoto voidaan havaita niin aikaisin, ettei se ehdi aiheuttaa laajaa vesi- tai kosteusvahinkoa. Putket, kanavat ja laitteet on sijoitettava, eristettävä ja varustettava siten, ettei vesi putkistoissa jäädy ja ettei putkien, kanavien ja laitteiden pinnoille tiivisty haitallisesti vettä tai tiivistyvä vesi on johdettavissa pois haittaa

aiheuttamatta. Putket ja liitokset sijoitetaan ja asennetaan vaihdettaviksi siten, että ne on helppo rakenteita rikkomatta tarkastaa ja korjata tai vaihtaa sekä siten, että mahdollinen vesivuoto ohjataan rakenteellisin keinoin näkyville ja täten estetään veden huomaamaton ja haitallinen tunkeutuminen rakenteisiin. Yhtenäiset, putkia varten rakennetut hormistot pitää varustaa riittävällä määrällä tarkastus- ja huoltoluukkuja. Putkien tulee olla helposti korjattavissa tai vaihdettavissa (Finanssialan Keskusliitto 2005). Erityisesti puserrusliitosten on oltava näkyvissä tai tarkastusluukun on oltava liitoksen kohdalla.

”D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet 2007” velvoittavat varustamaan vesilaitteiston sulkemismahdollisuuksilla siten, että laitteisto on helppo huoltaa ja korjata. Määräyksissä ohjeistetaan asentamaan sulkuventtiilit tonttivesijohdon ja päävesimittarin ja huoneistokohtaisen vesimittarin molemmin puolin. Sulkuventtiilit on asennettava joka tapauksessa huoneistokohtaisesti. Rakentamismääräyksissä ohjeistetaan varautumaan asuntokohtaiseen vedenmittaukseen ja mittareille on varattava riittävä tila. (Ympäristöministeriö 2007). Rakentamismääräyksiä käsitellään myös kohdassa 6.3.1 Muutokset verkostojen materiaaleissa ja säädöksissä.

Tuoteselosteissa valmistajien tulisi esittää arviot tuotteidensa käyttöiästä perusteluineen eri olosuhteissa. Tulevaisuudessa suunnittelussa tulisi löytää ja hyödyntää tekniset ja taloudelliset ratkaisut mahdollisimman nopealle vuotojen havaitsemiselle.

### 6.3.4 Lainsäädännön ja määräysten kehittäminen

#### Jakeluverkostot

Vuonna 1977 rakennuslaista poistettiin vesi- ja viemärlaitoksia koskevat säädökset, jotka tulivat samana vuonna annettuun **lakiin yleisistä vesi- ja viemärlaitoksista** (Eduskunta 1977).

Laissa vesi- ja viemärlaitoksista ei annettu tarkempia määräyksiä laitosten suunnittelusta ja rakentamisesta. Lain soveltamisalasta oli poissuljettu kiinteistöjen laitteistot, joita varten oli ilmestynyt Rakentamismääräyskokoelman osa D1.

Laki yleisistä vesi- ja viemärlaitoksista kumottiin vuonna 2001, jolloin sen korvasi **vesihuoltolaki** (119/2001). Vesihuoltolakia sovelletaan asutuksen vesihuoltoon sekä, jollei toisin säädetä, asutukseen rinnastuvan elinkeino- ja vapaa-ajantoiminnan vesihuoltoon.

Vesihuoltolaissa säädetään muun muassa vesihuollon järjestämistä, liittymisehdoista vesihuoltolaitokseen, vesihuollon maksuista ja kustannuksista, sopimuksista vesihuollosta, vesihuoltolaitoksen velvollisuudesta huolehtia talousveden laadusta ja kunnan valvontavelvollisuudesta. Tämän lain pohjalta vesihuoltolaitokset tekevät kiinteistönomistajan kanssa liittymis- ja käyttösopimuksen, jonka liitteenä on yleiset vesihuollon toimitusehdot.

Vesihuoltolain 13. pykälän mukaan vesihuoltolaitoksen verkostoon liitettävän kiinteistön omistaja tai haltija vastaa kiinteistön vesihuoltolaitteistosta liittämiskohtaan saakka. Laitteisto tulee suunnitella, sijoittaa ja rakentaa niin, että se on yhteensopiva vesihuoltolaitoksen laitteiston kanssa. Kiinteistön vesihuoltolaitteisto tulee pitää sellaisessa kunnossa ja sitä tulee käyttää siten, että siitä ei aiheudu vaaraa tai haittaa vesihuoltolaitoksen laitteiston käytölle eikä terveydelle tai ympäristölle. Edelleen 13. pykälän mukaan vesihuoltolaitoksen verkostoon liitetyn kiinteistön omistajan ja haltijan tulee sallia, että vesihuoltolaitoksen

edustaja tarkastaa laitoksen laitteistoon liitetyn tai liitettävän laitteiston laadun, kunnon ja toiminnan.

Lain 16. pykälän mukaan vesihuoltolaitoksen ja asiakkaan on pyydettäessä annettava toisilleen vesihuoltolaitoksen verkostoon liittämisen sekä vesihuollon hoitamisen kannalta tarpeelliset tiedot.

**Terveydensuojelulaki (763/1994)** sisältää talousvettä koskevan luvun 5. Laki määrittää kunnan terveydensuojeluviranomaisen valvontavelvollisuudet ja toimintaoikeudet koskien myös epidemioita.

Terveydensuojelulain 21. pykälän perusteella on annettu sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (STM 461/2000). Asetus sisältää muun muassa talousveden laatuvaatimukset ja -suositukset, näytteenottomenettelyt, mahdollisuudet poiketa laatuvaatimuksista, valvontamenettelyt, kunnan terveydensuojeluviranomaisen velvoitteet, veden käsittelyn, laitteiden ja materiaalien laadun varmistamisen sekä tiedottamisvelvoitteen. Asetus ei anna vesilaitosten ja jakeluverkoston suunnittelua ja rakentamista koskevia yksityiskohtaisia säädöksiä.

**Vesilaki (264/1961)** säätelee pohjavedenottamista ja veden johtamista nesteenä käytettäväksi lähinnä luvussa 9. **Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999)** säädetään muun muassa kaavoituksesta, katujen ja muiden yleisten alueiden rakentamisesta ja käytöstä sekä talonrakentamisesta, rakennusvalvonnasta ja rakennusten käytöstä. Tuotteiden soveltuvuus käyttökohteeseen on tärkeää varmistaa sekä terveyden että materiaalien kestävyys ja tarkoituksenmukaisuuden kannalta. Koska jakeluverkostolle ei ole olemassa viranomaismääräyksiä, niiden komponenteille ei myöskään ole mitään virallista tuotehyväksyntää. Jakeluverkostoissa ohjeistetaan (Rakennustieto 2006) käyttämään CE-merkittyjä tuotteita, kun kansalliset vaatimustasot tuotteessa täytetään. Mikäli CE-merkintää ei ole, voidaan tarkoituksenmukaisuus osoittaa tuotehyväksynnällä tai rakennuspaikkakohtaisilla kokeilla, mutta asia voidaan näyttää toteen myös vapaaehtoisella tuotesertifioinnilla. Rakennustieto (2006) on koekäyttöön tarkoitettu ennakkoversio.

Jakeluverkostoille ei ole edellä kuvatun mukaisesti suunnittelua ja rakentamista koskevia viranomaismääräyksiä eikä myöskään mitään käytetyille rakennustuotteille viranomaismääräyksiin perustuvaa tuotehyväksyntää.

Vesilaitokset käytännössä päättävät itse mitä tuotteita jakeluverkostoihin asennetaan, koska hallinnollisia määräyksiä ei ole. Monesti tuotteen kelpoisuus joudutaan arvioimaan ulkomaisten hyväksyntöjä myöntävien organisaatioiden arvioiden perusteella. Näitä ei välttämättä ole saatavilla suomeksi.

Vesilaitokset ovat julkisia hankintayksiköitä. Laki julkisista hankinnoista (Eduskunta 2007) ohjaa käyttämään EN-standardeja, jos sellaisia on. Standardeja ei kuitenkaan ole kaikille tuotteille. Sekä jakelu- että kiinteistöverkostojen pinnoite- ja tiivistetuotteiden standardisoinnilla on suuri tarve. Tuotteiden standarditilanne tulisi selvittää myös EAS-järjestelmään liittyen. Standardisoinnin tarve tulisi kartoittaa erityisesti niiden rakennustuotteiden osalta, joille ei ole vielä tekeillä harmonisoitua tuotestandardia.

## Kiinteistöverkostot

Kiinteistöverkostoja koskevat **maankäyttö- ja rakennuslaki** (132/1999), **rakennustuotteiden tuotehyväksyntälaki** (230/2003) sekä **Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet 2007** (Ympäristöministeriö 2007).

Kiinteistöverkostojen tuotteille on jo pitkään sovellettu kansallista tyyppihyväksyntää. Näiden pohjana on usein ollut pohjoismaisella yhteistyöllä luodut tuotesäännöt. Suomessa on siten ollut mahdollista antaa tyyppihyväksyntä, jos vastaava hyväksyntä on jo annettu toisessa pohjoismaassa.

Lähtökohtaisesti tuotehyväksyntä Suomessa on vapaaehtoista, mutta määräyksillä se voidaan vaatia velvoittavaksi. Lisäksi kunnalliset rakennustarkastajat ovat voineet vaikuttaa siihen, että monilla tuotteilla on jokin hyväksyntä, usein lähinnä tyyppihyväksyntä.

Eduskunnan lausuman mukaan CE-merkintä on ensisijainen, mutta on epäselvää, kuinka sitä sovelletaan juomaveden kanssa kosketuksiin joutuviin tuotteisiin. Periaatteessa juomaveden kanssa kosketuksiin joutuville tuotteille voi olla oma kansallinen järjestelmä tai sitten voidaan soveltaa jo hyväksytyjä harmonisoituja standardeja tuotteille, joissa kulkee muuta vettä kuin juomavettä.

Tyyppihyväksyntä on ollut ympäristöministeriön harjoittamaa toimintaa, jonka pohjana on voinut olla edellä mainitut pohjoismaiset tuotehyväksyntäsäännöt. Vuodesta 2006 lähtien tyyppihyväksyntää on alettu siirtää VTT:lle. VTT:lle siirron ehtona on, että kyseisiä tuotteita koskeva tyyppihyväksyntäasetus on annettu. Asetuksissa on selkeä maininta, että tyyppihyväksyntä voidaan antaa vain, jos tuotteen kelpoisuutta ei voida osoittaa harmonisoituun tuotestandardiin tai eurooppalaiseen tekniseen hyväksyntään perustuvalla CE-merkinnällä. Tyyppihyväksyntä on voimassa yleensä 5 vuotta, jonka jälkeen se tulee uusia. Jos asetusta ei ole, niin silloin tyyppihyväksynnän voi antaa ympäristöministeriö. Tyyppihyväksyntä on kuitenkin tarkoitus vuoden 2008 loppuun mennessä siirtää kokonaan VTT:lle.

Seuraavat vesijohtoverkostoja koskevia tuotteita koskevat tyyppihyväksyntäasetukset on annettu:

- Kupariputkien tyyppihyväksyntä 2006
- Vesikalusteet 2006 (hanat)
- Sulkuventtiilit 2006
- PEX-putket 2007
- Kupariputkien puserrusliittimet 2007

Vesikalusteiden ja sulkuventtiilien tyyppihyväksynnät perustuvat kyseisten tuotteiden EN-standardeihin, mutta standardien vaatimusten lisäksi tuotteille tehdään raskasmetallien liukenemistesti. Kupariputken tyyppihyväksyntä pohjautuu täysin standardiin SFS-EN 1057 vuodelta 1996. Tämä standardi ei ole enää voimassa, koska uudempi revisioitu standardi on olemassa.

Kupariputkien puserrusliittimien asetus perustuu täysin EN-standardeihin lukuun ottamatta raskasmetallien liukenemistestiä. PEX-putkien tyyppihyväksyntäasetus perustuu täysin EN-standardiin.

Näitä asetuksia ei ole notifioitu komissiolle ja muille jäsenvaltioille direktiivin 98/34 mukaisesti.

Tyyppihyväksyntäasetuksissa ei ole mainintaa siitä, että tyyppihyväksyntä koskee juoma(talous)veden kanssa kosketuksiin joutuvia tuotteita, mutta näin voitaneen olettaa. Lähtökohtaisesti voidaan kansallisesti päättää, riittääkö näiden tuotteiden CE-merkintä myös juoma(talous)vesikäyttöön. Jos ei riitä, niin silloin kansallisesti tulee vaatia tarvittaville lisäominaisuuksille testausta.

Kupariputkelle CE-merkinnän siirtymäaika alkoi 1.3.2007 ja päättyy 1.3.2009. Kupariputkien puserrusliittimiä koskeva standardin muutos harmonisoiduiksi on menossa. CE-merkintä on mahdollinen vuonna 2009. Muiden asetusten pohjana olevien EN-standardien muuttamisesta harmonisoiduiksi tuotestandardeiksi ei ole tietoa.

Kiinteistön rakennuttajan ja/tai omistajan tulisi vaatia vain hyväksytyjen tuotteiden käyttämistä kohteessaan. Hyväksyntämenettelyistä ja hyväksytyistä tuotteista tarvittaisiin selkeät luettelot koottuna yhteen paikkaan. Selkeitä hyväksyntäjärjestelmiä käytettäessä esim. vakuutusyhtiöt voisivat vaatia vain hyväksytyjen tuotteiden käyttämistä. CE-merkintä ja tuotehyväksyntä eivät ole pakollisia Suomessa, mutta rakennusvalvontaviranomainen voi halutessaan vaatia tuotteiden kelpoisuuden osoittamista. Alalla pidetään tuotehyväksynnän ja lähinnä CE-merkinnän pakollisuutta tavoiteltavana.

Rakennustuotteiden tuotehyväksyntälakia ja sitä tarkentavia määräyksiä tulisi muuttaa siten, että rakennustuotedirektiivin alaisten tuotteiden CE-merkintä tulisi pakolliseksi sen jälkeen, kun kyseisen tuotteen tuotestandardin siirtymäaika on päättynyt. Rakentamismääräysten osa D1 olisi tarpeen uusilla mainitun tuotehyväksyntälain muutoksen seurauksena ja myös osan C2 muutostarpeet olisi selvitettävä.

Kiinteistöverkostojen tuotteiden standarditilanne liittyen EAS-järjestelmään sekä käytettyjen saneerausmenetelmien tuotehyväksynnän perusteet ja vaatimukset tulisi selvittää kattavasti. Tulisi myös tutkia, kuinka paljon asennetaan uudis- ja korjausrakentamisessa tuotteita, joilla ei ole mitään kansallista hyväksyntää tai CE-merkintää.

### **6.3.5 Asennuksen ja käyttöönnoton laadun parantaminen**

Vaikka käytettävät materiaalit ovat parantuneet sekä jakelu- että kiinteistöverkostoissa, vauriot eivät ole merkittävästi vähentyneet. Asentamisen laatuun on kiinnitetty huomiota myös aiemmissa verkostomateriaalien vaurioita käsitellessä tutkimuksissa mm. (SITRA 1980; Määttä ja Kaunisto 1997). Vaikka osa vaurioiden määrän kasvusta johtuu jakeluverkostojen ja rakennusten luonnollisesta elinkaaresta niin on ilmeistä, että asennuksen laatuun ja laadun varmistamiseen tulisi panostaa nykyistä enemmän.

#### **Jakeluverkosto**

Putkien ja muiden verkosto-osien käsittelyn on oltava asianmukaista kaikissa vaiheissa sekä varastoitessa, kuljettaessa että asennettaessa. Pinnoitteet voivat irrota tai vaurioitua huolimattoman käsittelyn ja kuljetuksen seurauksena. Esimerkiksi sementtilaastin halkeilu huolimattoman käsittelyn seurauksena voi lyhentää käyttöikä merkittävästi. Naarmut putkissa tai pinnoitteissa saattavat lisätä vaurioriskiä. Jo ennen käyttöönnottoa vaurioituneet putket tai muut verkosto-osat eivät kestä suunniteltua käyttöikänsä. Putkien käsittelyssä olisi

oltava huolellinen ja käytettävä nostettaessa pehmustettuja liinoja. Putkiin tehtaalla asennettuja tulppia ei saa poistaa ennen asentamista ja tarvittaessa putket on tulpattava asianmukaisesti. Tulpat estävät myös putken sisäpuolisen likaantumisen. Liitoksien tekeminen oikein on välttämätöntä ja esim. hitsattaessa pintojen puhtaus on varmistettava.

Asennuksen huolellisuus on ratkaisevaa. Jakeluverkostojen asennuksen laadun varmistuksessa vesilaitoksen sisäiset käytännöt, kokemus sekä asenteet ovat ratkaisevassa asemassa. Toisaalta eri selvitysten perusteella kaivutöiden ja asennusympäristön vaikutus materiaalien käyttöikä on suuri. Töiden valvonta ja tuotteiden oikean käsittelyn huomioon ottaminen valvonnassa on olennaista käyttöiän kannalta. Myös urakoitsijoiden ammattitaito on syytä varmistaa.

## Kiinteistöverkosto

Tuotteiden asianmukainen käsittely on tärkeää myös kaikissa kiinteistöverkostojen tuotteissa. Putkien tulppauksella ja asianmukaisella varastoinnilla vähennetään hygieenisten ongelmien ja vaurioiden syntymisen riskiä. Kaikki putket pitää asentaa ja käyttöönotto suorittaa oikein, jotta suunniteltu käyttöikä voidaan saavuttaa. ”D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet 2007” velvoittaa, että selvitys käyttöönottoa koskevista toimenpiteistä on liitettävä rakennustyön tarkastusasiakirjaan. Vesilaitteistolle veloitetaan suorittamaan painekoe tiiviyn varmistamiseksi, huuhtelu talousvedellä sekä säätäminen lämpimän käyttöveden lämpötilalle ja kiertojohdon virtaamalle. Määräyksissä on annettu ohjeita painekokeen ja huuhtelun suorittamisesta (Ympäristöministeriö 2007). Putkien painekoe ja huuhtelu on suoritettava riittävällä ja puhtaalla vedellä eikä vettä saa jättää seisomaan putkistoon pitkäksi ajaksi ennen varsinaista käyttöönottoa. Saksassa on suoritettava painekoe standardin mukaisesti ja huuhtelun oikea suorittaminen on myös ohjeistettu tarkasti. Huuhtelussa on käytettävä vain puhdasta vettä ja jokainen putkilinja huuhdeltava erikseen. Huuhtelua tulisi jatkaa yhtäjaksoisesti vähintään 15 minuutin ajan (VdS 2007). Saksassa on käytössä myös asiakirjatarkastukset eli esim. vakuutus ei korvaa mikäli todistusta asianmukaisesti suoritetusta painekokeesta ei ole. Suomessa tällaisten tarkastusten mahdollinen hyväksyjä olisi rakennusvalvontaviranomainen, mutta ongelmana on resurssien puute. Yksi vaihtoehto olisi tarkastustoiminnan yksityistäminen ja kytkeminen vakuutuksiin, mikä varmistaisi tarkastuksen laadun ja ylipäättään niiden suorittamisen.

Putkien liittämisen on noudatettava valmistajan antamia ohjeita siitä, mitä puristinta käytetään tai miten liitokset tehdään, sillä muuten liitoksen kestävyys voi olla suunniteltua heikompi. Samoin käytettävien puristusliittimien on oltava valmistajan hyväksymät asennettavaa putkityyppiä varten. Suojaputken käytössä on noudatettava valmistajan ohjeita siitä, käytetäänkö suojaputkea ja miten se asennetaan. Mahdollisten liukuaineiden osalta on varmistettava valmistajalta, että liukuaine ja materiaalit ovat yhteensopivia. Valmistajien antamien ohjeiden merkitystä materiaalien käsittelystä, liitoskappaleista ja menetelmistä ei voida liikaa korostaa, sillä yleensä valmistajilla on paras tieto tuotteisiinsa liittyen. Lisäksi tietoa on yleensä saatavissa maksutta ja helposti. Materiaalit ja liitostekniikat ovat kehittyneet ja oikeilla asennustavoilla varmistetaan, että ne myös pidentävät putkistojen käyttöikää.

Suhdanteet voivat vaikuttaa merkittävästi työvoiman saatavuuteen ja ammattitaitoon. Suomen Isännöintiliiton ”Putkiremontti 2006” -kyselytutkimuksessa tuli esille useita tyypillisiä ongelmia putkiremonttien yhteydessä. Muutamia mainittuja seikkoja olivat suunnittelun puutteellisuus, ylimalkaisuus, epätarkkuudet sekä suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden kokemattomuus. Erittäin vahvasti tulivat esille erilaiset aikatauluongelmat, jotka eivät voi



olla vaikuttamatta myös työn laatuun. Hyvä valvoja mainittiin usein onnistuneen putkiremontin taustavoimana.

### **6.3.6 Käyttö ja kunnossapito**

#### **Jakeluverkosto**

Markkinat ovat avoinna uusille kustannustehokkaille ratkaisuille, jotka helpottavat vuotojen havaitsemista ja paikantamista, verkostojen kunnan tarkkailua ja korjaustoimenpiteiden suorittamista sekä jakelu- että kiinteistöverkostoissa. Jakeluverkoston kunnan seurantamahdollisuuksia olisi tarpeellista kehittää, jolloin seuranta kohdentuisi erikseen eri komponentteihin, joista tärkeimmät ovat putket ja venttiilit. Menetelmiä tarvittaisiin mm. muoviputkien kunnan tutkimiseen.

Vesilaitokset tarvitsevat tilastollista tietoa materiaaleista eri olosuhteissa ennakoidakseen verkoston eri osien uusimistarvetta. Vauriotapauksen sattuessa pitäisi kirjata ylös putkimateriaali, valmistusvuosi, asennusvuosi, putken koko ja paineluokka, verkoston käyttöpaine, putken sijainti verkostossa ja toisaalta tieto onko paine tai muut käyttöolosuhteet muuttuneet lähiaikoina sekä arvio vaurion syystä. Koska jakeluverkostojen saneeraustarve lisääntyy, olisi kaikkien vesilaitosten syytä laatia kuntokartoitus omasta verkostostaan ja sen perusteella saneerausohjelma kohteiden kiireellisyyden ja painoarvon mukaan painotettuna. Venttiilien toimivuus tulisi järjestelmällisesti tarkastaa. Kunkin vesilaitoksen/kunnan tulisi omata riittävä tietotaito ja resurssit, jotta hyvälaatuinen vesi ja omaisuuden hallinta varmistetaan.

Jakeluverkostojen aiemmin asennetuista valurautalinjoista suuri osa on pinnoitettu sisäpuolelta alun perin tehtaalla tai asennuksen ja jonkin ajan käytön jälkeen. Kuitenkin osa linjoista on vielä pinnoittamatta. Kaikki riittävän hyvässä kunnossa olevat linjat olisi syytä pinnoittaa. Erityisesti tämä koskee sisäpuolelta pinnoittamattomia pallografiittirautaputkia, joita asennettiin vielä 1980-luvulla.

Merkittävä osa vedenjakeluverkostojen vuodoista sattuu tonttijohdoissa. Käytön ja kunnossapidon osalta jakeluverkoston ja kiinteistöverkoston rajapinta eli tonttijohto ja vesimittari ovat tärkeitä. Tonttivesijohdoista huolehtiminen kuuluu kiinteistön omistajalle, mutta vastuu riippuu paikkakunnasta. Vastuuraja voi olla tontin rajalla tai tonttijohdon liittymäkohdassa runkoverkostoon tai sopimuksen mukaan muussa kohdassa. Asiantuntemus tonttivesijohtojen kunnosta ja keinot sen selvittämiseksi ovat vesilaitoksella, mutta vesilaitos ei voi päättää johtoon liittyvistä toimenpiteistä muuten kuin pakottavissa poikkeustilanteissa. Vanhenevat verkostot aiheuttavat merkittävän saneeraustarpeen myös tonttijohdoille ja monet vesilaitokset ovatkin tehneet saneerausohjelmia, jonka mukaan tietyn alueen runko- ja tonttijohdot uusitaan kerralla, jolloin kiinteistönomistaja osallistuu tonttijohdon uusimiskustannuksiin vesilaitoksen yleisten määräysten mukaisesti. Tulisi selvittää aiheuttavatko tonttivesijohdot vahinkoja kiinteistörakenteille.

#### **Kiinteistöverkosto**

Asukkailla on oma tärkeä osuutensa ja vastuunsa vuotovahinkojen vähentämisessä. Vakuutusyhtiöiden Keskusliiton vuotovahinkoselvityksessä (2004) todettiin, että omakotitalojen ongelmat ovat tyypillisesti yksittäisiä, kun taas rivij- ja kerrostaloissa ongelmat olivat usein toistuvia. Omakotiasujat kokevat suurempaa vastuuta omien

kiinteistöjensä kunnosta, mutta myös kerros- ja rivitaloissa tai vuokralla asuvien tulisi huolehtia kiinteistön kunnosta. Yksinkertaisilla toimenpiteillä asukkaat voivat vähentää vuotovahinkoriskiä sekä pidentää materiaalien käyttöikä. Kaikkien vesipisteiden säännöllinen käyttö on suositeltavaa materiaalien ja linjojen hygieenisen laadun parantamiseksi. Jäätymisvaurioiden ehkäisemiseksi jäätymiselle alttiit linjat tulisi tyhjentää talveksi. Kaluste- ja laitekohtaiset hanat tulee sulkea, kun laitetta ei käytetä. Useamman kuukauden kestävien poissaolojen ajaksi kannattaa sulkea kiinteistö- tai huoneistokohtaiset sulkuventtiilit. Saksassa suositellaan yli puoli vuotta kestävä käyttämättömän ajan ratkaisuksi veden poistamista linjoista. Tyhjennykseen tarvitaan lvi-asentaja. Muutaman päivänkin kestäneen poissaolon jälkeen tulisi suorittaa vähintään 5 minuutin huuhtelu ja pidemmän poissaolon jälkeen perusteellisempi huuhtelu (VdS 2007).

Kiinteistöjen lämpimän veden lämpötilan on legionella-riskin vuoksi oltava rakentamismääräysten mukaan vähintään 55 °C, mistä on joko isännöitsijän tai kiinteistön omistajan huolehdittava. Itse tehdyt asennukset ovat monen vahingon takana, joten niiden tekemistä kannattanee harkita myös omassa kiinteistössä. Omakotiasujan olisi syytä tarkkailla säännöllisesti veden kulutusta ja vesimittarin yölukemia mahdollisten piilovuotojen havaitsemiseksi.

Taloyhtiöissä huoltoliikkeiden ylläpitämät huoltokirjat tulee aina luovuttaa taloyhtiölle, mikäli huoltoyhtiö vaihtuu, sillä muuten paljon perustietoa järjestelmien kunnosta ja ongelmista katoaa. Isännöitsijän tehtävä on huolehtia siitä, että asukkaat saavat riittävästi tietoa siitä, miten vuotovahinkoja estetään. Isännöitsijän tulee hoitaa määräaikaistarkastukset ja kertoa osakkaille milloin tulisi ryhtyä kuntokartoitukseen tai saneeraustoimenpiteisiin, joihin usein ryhdytään vasta usean vuotovahingon jälkeen. Taloyhtiön hallituksen on huolehdittava, että isännöintisopimus kattaa myös ennaltaehkäisevää työtä riittävässä määrin. Hallituksen ja isännöitsijän on huolehdittava siitä, että kaikki asukkaat tietävät ja ymmärtävät putkistojen kunnan mahdolliset vaikutukset vakuutuksiin sekä asuntojen luokitukseen tulevassa taloyhtiöiden kuntotodistusjärjestelmässä.

Asukkaita tulisi valistaa ja ohjeistaa niin, että esim. määräajoin suoritettaisiin pintapuolinen tarkastus laitteille ja putkistoille, jotka ovat näkyvissä. Kiinteistöjen putkistoille voitaisiin tehdä viiden vuoden välein tarkastus, johon kuuluisivat mm. hanojen virtausmittaukset, painemittaukset, venttiilien toimivuuden tarkastus, putkien sisäpuolinen puhdistaminen ja silmämääräistarkastukset (Järvinen ym. 1987). LVI- ja KH-korttiehdotuksissa on käyttöikäarviot rasittavuusluokan mukaan putkille ja muille laitteille sekä ehdotukset tarkastus- ja huoltoväleille.

Tanskassa on käytössä julkisten ja julkisella tuella rakennettujen rakennusten viisivuotistakuu, johon liittyy mm. vesi- ja viemärlaitteiden jälkitarkastus viiden ensimmäisen käyttövuoden jälkeen. Ruotsissa ja Norjassa varustevahinkoja (pesukoneet ja lämminvesivaraajat) on saatu vähenemään vakuutusyhtiöiden antamalla informaatioilla asukkaille ja putkiasentajille, tarkastustoiminnalla ja siihen liittyvillä alennuksilla vakuutusmaksuihin. Asukaskohtaiset vesimittarit kannustavat veden kulutuksen seuraamiseen ja täten vuotojen aikaiseen havaitsemiseen. Suomessa on saatu merkittäviä tuloksia palovahinkojen torjunnassa palontorjuntaohjeiden avulla. Vastaavat ohjeistot tulisi laatia myös vuotovahinkojen torjumiseksi.

### 6.3.7 Veden teknisen laadun parantaminen

Epäsuotuisa veden laatu lisää syöpymisvaurioriskiä metallisissa ja sementtipohjaisissa materiaaleissa niin jakelu- kuin kiinteistöverkostoissa. Epäsuotuisan veden laatu on todettavissa tiettyjen kemiallisten muuttujien arvoista, ja myös niiden vaihtelusta ajan suhteen. Merkittävä osa syöpymisvaurioista johtuu muista syistä, kuten esimerkiksi asennuksen laadusta, mutta veden laadun merkitys vaurioiden aiheuttajana tai osaiheuttajana on keskimäärin suuri. Vuosittaiset kustannukset vuotovahingoista ja jakeluverkostojen vaurioista ovat kansantaloudellisesti erittäin merkittäviä ja aiheuttavat runsaasti työtä. Veden teknisellä laadulla on keskimäärin suurempi merkitys kiinteistöverkostojen käyttöikään, sillä jakeluverkostoissa maaperässä tapahtuvat materiaalia heikentäviä ilmiöt ovat myös hyvin voimakkaita ja monesti aiheuttavat jo yksinään materiaalin vaurioitumisen. Kuitenkin verkostossa johdettavan veden laadulla on ratkaiseva merkitys myös jakeluverkostoissa.

Kiinteistöissä käytetään runsaasti metallisia materiaaleja. Metall- ja sementtipohjaiset materiaalit ovat yleisiä jakeluverkostoissa. Jakeluverkostojen putkimateriaalit ovat nykyisin valtaosin polyeteeniä tai PVC:ia, mutta putkimateriaaleista huolimatta suuret mekaaniset liittimet ovat aina valurautaa tai terästä ja venttiilit valurautaa. Osa pienten putkien (<63 mm) venttiileistä ja liittimistä on valurautaa tai messinkiä. Metallisia ja sementtipohjaisia materiaaleja tullaan käyttämään erilaisissa jakelu- ja kiinteistöverkostojen laitteissa tulevaisuudessakin. Jo olemassa olevien verkostojen osana näiden materiaalien arvo on mittava ja myös aiemmin asennettujen materiaalien käyttöikä tulisi varmistaa tuleviksi vuosikymmeniksi.

Voidaan olettaa, että monessa tapauksessa veden teknisen laadun parantamisella saataisiin kustannustehokkaasti vähennettyä syöpymisestä aiheutuvia kuluja. Veden teknistä laatua on esitetty parannettavaksi myös aiemmissa verkostomateriaalien vaurioita käsitelleissä tutkimuksissa (SITRA 1980; Määttä ja Kaunisto 1997).

Useissa teollisuusmaissa on säädöksissä vaatimukset tai suositukset myös veden tekniselle laadulle, esim. Saksassa muuttujat ovat vaatimuksina (taulukko 24). Saksalaisia arvoja ei voida suoraan soveltaa pohjoismaisiin vesiin veden laadun erilaisuuden vuoksi. Kalsiumin ja bikarbonaatin määrät ovat hyvin tärkeät muuttujat materiaalien syöpymisen kannalta, mutta niiden määrä on hyvin harvoin Keski-Euroopassa liian pieni, pikemminkin päinvastoin. Hollannissa myös bikarbonaatin pitoisuudelle on annettu ohjearvo (WeKnow 2005). Suomessa on annettu ainoastaan suositukset joillekin teknisesti tärkeille talousveden laatuparametreille (taulukko 25). Suomen keskimäärin pehmeä ja heikosti puskuroitu vesi kaipaisi bikarbonaatin puskuroivaa vaikutusta sekä kovuutta, jotka ovat luontaisesti Keski-Euroopan juomavesissä selvästi korkeammalla tasolla.

Vesi-Instituutin vedenlaatuselvityksessä kerättiin ja analysoitiin tietoa suomalaisen talousveden laadusta kattavasti (Ahonen ym. 2008). Selvityksen perusteella Suomessa suurten vesilaitosten veden tekninen laatu oli keskimäärin hyvä. Parhain veden tekninen laatu oli pinta- ja tekopohjavesilaitosten tuottamassa vedessä. Selvästi matalimmat pH-arvot ja suurin vaihteluväli oli pienissä alle 10 m<sup>3</sup>/d vettä tuottavissa vesilaitoksissa. Myös alkaliteetti ja kokonaiskovuus olivat alhaisimmat sekä hiilidioksidin määrä suurin näissä pienimmissä laitoksissa. Tulkinnessa on huomioitava myös se, että laitosten koko kyseisessä selvityksessä vastaa talousvesiasetuksen laitoskokomääritelmää ja on täysin eri kuin mitä jakeluverkostojen vaurioiden luokittelun yhteydessä on käytetty. Vaurioiden yhteydessä pienen vesilaitoksen toimittama vesimäärä on alle n. 1370 m<sup>3</sup>/d, joka vastaa noin 5000 kuluttajan määrää. Alle 10

m<sup>3</sup>/d vettä tuottavat laitokset ovat siis hyvin pieniä. Suomalaisen talousveden tekninen laatu on keskimäärin hyvä ja selvät teknisen vedenlaadun ongelmat ovat paikallisia.

Talousvesiasetuksen mukaan vesilaitoksen ei tarvitse seurata veden alkaliteettia, kovuutta, bikarbonaatti- ja hiilidioksidipitoisuutta. Veden tekniseen laatuun vaikuttavat muuttujat olisi syytä saada vaatimuksiksi lainsäädäntöön sekä mittausten että raja-arvojen osalta ja mahdollisuudet viranomaisvaatimuksiksi veden syövyttävyyden vähentämiseksi olisi selvitettävä. Tässä on tosin otettava huomioon kustannustehokkuus ja paikalliset olosuhteet. Talousveden tulisi olla hygieenisesti moitteetonta, mutta samalla tulisi varmistaa lämpimän veden ja kylmän talousveden mahdollisimman hyvä tekninen laatu. Vaikka lämmin vesi ei Suomessa ole säädösten mukaisesti talousvettä, sitä kuitenkin johdetaan samoista materiaaleista valmistetuissa putkissa ja laitteissa kuin kylmääkin vettä. Teknisesti hyvälaatuinen vesi on koostumukseltaan sellaista, että se ottaa huomioon myös verkostomateriaalit, joiden syöpymisalttiudelle veden laadulla on merkitystä. Näitä ovat mm. teräs, sinkitty teräs, ruostumaton teräs, kupari, messinki, valuraudat, sementtilaasti ja betoni. Näiden materiaalien mahdollisimman pitkän käyttöiän varmistamiseksi talousvesi tulisi käsitellä hyvälaatuisesti kaikissa vesilaitoksissa, joissa se on kustannustehokasta. Kustannustehokkuus voi yksinkertaisimmillaan tarkoittaa sitä, että kustannukset veden ominaisuuksien muuttamisesta keskimäärin asukasta kohti ovat pienemmät kuin teknisesti heikkolaatuisen veden aiheuttamien vaurioiden kustannukset keskimäärin asukasta kohti.

**Taulukko 24.** Veden teknisen laadun vaatimuksia Saksassa (DVGW 2001).

pH	Kloridi	Sulfaatti	Sähkönjohtavuus
6,5-9,5	<250 mg/l	<240 mg/l	<2500 µS/cm

**Taulukko 25.** Talousvesiasetuksen mukaiset teknisen veden laadun suositukset (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus 2000).

pH	Kloridi	Sulfaatti	Sähkönjohtavuus
6,5-9,5	<25 mg/l	<150 mg/l	<2500 µS/cm

Tässä raportissa on esitetty kunkin materiaalin kohdalla ehdotus teknisesti hyvälaatuisen veden laatumuuttujiksi. Nämä tiedot on koottu yhteen taulukkoon 26. Taulukkoon 27 on koottu ehdotus teknisesti hyvälaatuiseksi vedeksi kaikkien materiaalien kannalta. Tästä taulukosta on jätetty muovimateriaalit pois, sillä perinteisten vedenlaatuparametrien vaikutuksia niiden vaurioitumiseen ei ole tutkittu. Kloori ja lämpötila voivat vaikuttaa muovien vaurioitumiseen. Kloorin pitoisuus on Suomessa erityisesti kiinteistöverkostoissa poikkeustilanteita lukuun ottamatta kuitenkin pieni.

Kaikkia veden muuttujia ei aina pystytä kustannustehokkaasti vettä käsittelemällä muuttamaan teknisesti hyvälaatuisen veden kriteerit täyttäviksi. Kuitenkin muutaman muuttujan parantamisella veden tekninen laatu paranee hyvin merkittävästi. Alkaliteetti on hyvin tärkeä muuttuja, sillä sen nostaminen tasaa pH:n muutoksia mahdollisten veden laatumuutosten aikana. Aromaan (2001) mukaan ainoastaan pH:n nosto ei riitä valurautaa, terästä ja kuumasinkittyä terästä suojaavan kalkkikerroksen muodostamiseksi. Kuparilla pH:n nosto kuitenkin estää yleisen korroosion. Paikallisen korroosion osalta huomio tulisi

kiinnittää klorideihin ja sulfaatteihin sekä siihen, miten ne saostuvat kuparin pinnalle. Ruostumattomien terästen osalta tärkeimpiä muuttujia ovat kloridi ja lämpötila. Sementtipohjaisilla materiaaleilla olisi kiinnitettävä huomiota veden kalkkitasapainoon, kuten teräksillä kalkkikerroksen muodostamiseksi tehdään (Aromaa 2001).

Niissä tapauksissa, joissa vettä ei voida syystä tai toisesta käsitellä kustannustehokkaasti riittävän hyväksi, materiaalin rajattu valinta voisi olla ratkaisu kiinteistöverkostoissa. Toinen vaihtoehto on kiinteistökohtainen veden käsittely, joka voi joissain tapauksissa olla myös kustannustehokas ratkaisu. Suomessa on todennäköisesti merkittävä määrä kohteita, joissa suurehkojen kiinteistöjen veden laatu on heikko ja kiinteistökohtaisella vedenkäsittelyllä voitaisiin parantaa sekä veden teknistä laatua että hygieenistä laatua. Kiinteistökohtaisessa vedenkäsittelyssä on suositeltavaa käyttää menetelmiä, joiden käytöstä on pitkäaikaista kokemusta tai vaikuttavuudesta Suomen olosuhteisiin sovellettavia tieteellisiä tutkimustuloksia. Veden teknisen laadun parantaminen voi aiheuttaa myös epätoivottuja muutoksia, sillä vaikka lämmönsiirtopintojen syöpyminen vähenisi yleisesti, voi kalkin saostuminen lämpöpinnoille heikentää lämmön siirtymistä ja aiheuttaa tukkeumia.

**Taulukko 26.** Yksittäisten materiaalien kannalta teknisesti hyvälaatuisen veden laatuarvot.

Materiaali	pH	Bikarbonaatti	Kalsium	Vapaa hiilidioksidi	Kloridi	Sulfaatti	Virtausnopeus*	Lisämuuttujia
Valuraudat ja teräs	7,5-8,0	>60 mg/l	10-40 mg/l	<30 mg/l	mahdollisimman pieni, riippuu bikarbonaatista	mahdollisimman pieni, riippuu bikarbonaatista	0,3-1 m/s	-
Sinkitty teräs	>7,3	>60 mg/l	>20 mg/l	<30 mg/l	-	-	-	$\frac{([kloridi]+2[sulfaatti])}{[bikarbonaatti]} < 1$ , mmol/l
Ruostumaton teräs	-	-	-	-	<150 mg/l	-	seisova vesi voi lisätä korr.riskiä	-
Haponkestävä teräs	-	-	-	-	<500 mg/l	-	-	-
Kupari	7,5-9,0	70-300 mg/l ja bikarbonaatti / sulfaatti >2 (mol/m <sup>3</sup> )	-	<15 mg/l	<100 mg/l	<100 mg/l, bikarbonaatti / sulfaatti >2 (mol/m <sup>3</sup> )	kylmä <4,0 m/s ja kuuma <3,0 m/s	Fe <0,2 mg/l, Mn <0,1 mg/l
Messinki	<8,3	-	-	-	mahd. vähän tai riittävästi bikarb.	-	-	-
Sementtipohjaiset	>6,5	-	>1 mg/l	<15 mg/l	-	-	-	Mg <100 mg/l ja ammonium < 30 mg/l

\*riippuu verkostosta

**Taulukko 27.** Metalli- ja sementtipohjaisten vesijohtomateriaalien kannalta teknisesti hyvälaatuisen veden tavoitearvot. Tästä taulukosta on jätetty muovimateriaalit pois, sillä perinteisten teknisten vedenlaatuparametrien vaikutuksia niiden vaurioitumiseen ei ole tutkittu.

<b>pH</b>	<b>Bikarbonaatti</b>	<b>Kalsium</b>	<b>Vapaa hiilidioksidi</b>	<b>Kloridi</b>	<b>Sulfaatti</b>
7,5-8,0	>60 mg/l	>20 mg/l	<15 mg/l	<100 mg/l	<100 mg/l

### 6.3.8 Tutkimustarpeita

Suomessa ja maailmalla on vesijohtomateriaalien vaurioiden syntymiseen ja estämiseen liittyen sekä perustutkimustarpeita että soveltavan tutkimuksen tarpeita. Tutkimustarpeita on koottu taulukkoon 28. Materiaalien vauriomekanismeja tulisi tutkia lisää, sillä monen materiaalin syöpymismekanismeista Suomen olosuhteissa ei ole tarpeeksi tietoa. Kupariputkien pistesyöpymisessä on selvittävää liittyen vauriotapausten alueelliseen vaihteluun. Myös sementtipohjaisten materiaalien ja veden laadun yleisestä vuorovaikutuksesta tarvitaan lisää tietoa. Veden laadun vaihtelun merkitys liukenemisilmiöiden voimakkuuteen vaatii paljon tutkimusta.

Suomessa muoviputkien osuus jakeluverkostojen putkimateriaaleista on ollut jo pitkään suuri. Myös muissa maissa muoviputkien käyttö suhteessa muihin materiaaleihin on merkittävää ja kasvaa edelleen. Muovisten materiaalien vanhenemis- ja vaurioitumisilmiöille tarvittaisiin käytäntöön soveltuvat yhtenäiset kuvaus- ja tutkimusmenetelmät. Tilanne on sama kiinteistöjen polyeteeniputkien osalta. Kiinteistöjen polyeteeniputkien ei tiedetä saavuttaneen III-vaihetta (kts. kohta Muovit/Vauriotyyppit), mutta kun ensimmäiset putket tulevat joskus tähän vaiheeseen, olisi hyvä olla jo valmiina menetelmiä, joilla vauriot saadaan selkeästi määriteltä. Vedenlaatuparametrien mahdolliset pitkän aikavälin vaikutukset muovimateriaaleihin tulisi selvittää. Jos materiaalin kunto saataisiin määritetyksi riittävällä tarkkuudella, olisi mahdollista ehkäistä vaurioita ja niistä aiheutuvia vahinkoja.

Verkostojen yleisten olosuhteiden kuten lämpötilan muutosten vaikutuksista verkostomateriaalien vaurioitumiseen ei ole riittävästi tietoa. Mikrobin ja materiaalien välisestä vuorovaikutuksesta tarvittaisiin perustutkimusta. Oleellista olisi tietää, miten tyypilliset kiinteistö- ja jakeluverkostojen biofilmeissä elävät bakteerit vaikuttavat materiaaleihin ja toisaalta valikoivatko bakteerilajit/-ryhmät materiaaleja tai kasvaako joissain materiaaleissa keskimäärin enemmän mikrobeja kuin toisissa. Tutkimustietoa ei ole siitä, vaikuttaako mikrobien yleinen, keskimääräistä vahvempi kasvu jollain materiaalilla myös aineiden liukenemiseen ja materiaalin vaurioitumiseen pitkällä aikavälillä. Tieto biofilmin mikrobeista olisi tärkeää myös talousveden turvallisuuden kannalta, koska esimerkiksi paineiskujen ja verkostovuotojen yhteydessä biofilmiä irtoaa putken seinämästä ja kulkeutuu kuluttajalle.

Suomessa rakennettiin voimakkaasti sekä jakelu- että kiinteistöverkostoja 1960- ja 1970-luvuilla. Nämä verkostot ovat tulleet osittain jo käyttöikänsä päähän. Verkostojen vanhetessa korjaaminen ja saneeraus yleistyvät, ja Suomessa on jo monia erilaisia menetelmiä yleisessä käytössä. Korjausmenetelminä jakeluverkostoissa käytetään yleisesti sujutusta, vioittuneen osan uusimista ja korjauspantoja. Saneerausmenetelminä puolestaan käytetään sujutusta ja pinnoitusta. Lisäksi linjat voidaan rakentaa uudelleen. Jakeluverkostoissa valurautaputkien sisäpuolinen sementtilaastipinnoitus saneerausmenetelmänä on ollut käytössä jo pitkään. Tutkimustietoa tarvitaan eri menetelmillä saneerattujen verkostojen kestävydestä sekä siitä, miten vanhan putken tai verkosto-osan kunto ja veden laatu vaikuttavat lopputulokseen. Ulkoisesta korroosiosta kärsiviä jakeluverkoston metalliputkia ei kannata saneerata jälkipinnoittamalla, vaan ainoastaan ne, joissa suurin ongelma on sisäpuolinen korroosio ja kunto on kuitenkin riittävä toimenpiteen suorittamiseksi. Kiinteistöjen saneeraukseen liittyvät menetelmät vaatisivat nyt merkittäviä tutkimuspanostuksia, jotta eri saneerausvaihtoehtojen toimivuus ja lopputuloksen turvallisuus ja käyttöikä voitaisiin luotettavasti todeta. Kiinteistöissä käytetään saneerauksessa sekä kylmän että lämpimän veden linjoissa epoksinpinoitusta. Pinnoitusta ei markkinoida uuden putken veroisena, eikä pinnoitteen kiinnipysyvyydestä vanhan metallin pinnalla erikuntoisissa putkissa ja liitoksissa ole tietoa.



Oleellista on työn suoritus, pinnoitettavan pinnan puhtaus, pinnoitteen oikea koostumus, tiiviys, paksuus ja kiinnipysyvyys sekä vanhan putken ja liittimien/liitoksien kunto.

Jakeluverkostojen materiaaleista on jonkin verran tilastollista tietoa, mutta tilastojen tarkkuutta pitäisi vielä huomattavasti parantaa, jotta niitä voitaisiin hyödyntää tehokkaammin materiaalien valinnassa ja verkoston uusimisen suunnittelussa. Kiinteistöjen osalta olisi tärkeää selvittää, voitaisiinko vaurioiden tilastointia kehittää niin, että kuvaukset materiaaleista ja tiedot iästä olisivat riittävän tarkkoja materiaalien keskinäistä vertailua varten.

**Taulukko 28.** Tutkimustarpeita uudisrakentamisessa käytettyjen materiaalien käyttöön ja vaurioitumisilmiöiden näkökulmasta.

<b>Materiaalit</b>	<b>Perustutkimustarpeita</b>	<b>Välittömiä tutkimuskohteita</b>
<b>Jakeluverkosto</b>		
Teräs ja pallografiittirauta (sisä- ja ulkopuolelta pinnoitetut)	syöpymismekanismit, virtausnopeuden vaikutus, mikrobiologian vaikutus (lyhyt ja pitkä aikaväli), eri mikrobiryhmien esiintyvyys ja vaikutukset materiaalissa	erilaatuisten vesien sekoittumisen vaikutus, veden laadun ja laadun vaihtelun vaikutus, pinnoitteiden kestävyys ja kiinnipysyvyys
Polyeteenit (PE100 ja 80) ja PVC	vauriomekanismien tunnistaminen, veden laatumuuttujien pitkän aikavälin vaikutukset, mikrobiologian vaikutus (lyhyt ja pitkä aikaväli), eri mikrobiryhmien esiintyvyys ja vaikutukset materiaalissa	menetelmien kehittäminen kuntotarkastukseen
Betoni	virtausnopeuden vaikutus, mikrobiologian vaikutus (lyhyt ja pitkä aikaväli), eri mikrobiryhmien esiintyvyys ja vaikutukset materiaalissa	veden laadun ja laadun vaihtelun vaikutus
<b>Kiinteistöverkosto</b>		
Kupari	mikrobiologian vaikutus (lyhyt ja pitkä aikaväli), eri mikrobiryhmien esiintyvyys ja vaikutukset materiaalissa	erilaatuisten vesien sekoittumisen vaikutus, veden laadun ja laadun vaihtelun vaikutus, osa pistesyöpymismekanismeista
PEX ja komposiitit	vauriomekanismien tunnistaminen, vedenlaatumuuttujien pitkän aikavälin vaikutukset, mikrobiologian vaikutus (lyhyt ja pitkä aikaväli), eri mikrobiryhmien esiintyvyys ja vaikutukset materiaalissa	menetelmien kehittäminen kuntotarkastukseen, komposiittiputkilla kerrosten kiinnipysyvyys erilaisissa olosuhteissa

Messinki	mikrobiologian vaikutus (lyhyt ja pitkä aikaväli), eri mikrobiryhmien esiintyvyys ja vaikutukset materiaalissa	erilaatuisten vesien sekoittumisen vaikutus, veden laadun ja laadun vaihtelun vaikutus
Epoksi	vauriomekanismien tunnistaminen, mikrobiologian vaikutus (lyhyt ja pitkä aikaväli), eri mikrobiryhmien esiintyvyys ja vaikutukset materiaalissa	pinnoitteen kestävyys ja kiinnipysyvyyteen vaikuttavat tekijät

---

## 7 Toimenpide-ehdotukset

Jakelu- ja kiinteistöverkostojen materiaalien käyttöikä on tarkoituksenmukaista saada mahdollisimman pitkäksi unohtamatta kuitenkaan, että materiaalit eivät saa huonontaa veden laatua. Verkostojen ikääntyessä verkostoja saneerataan entistä nopeammassa tahdissa. Suomessa tulisi selvittää ja käyttää kaikki teknisesti toteuttamiskelpoiset ja kustannustehokkaat ratkaisut verkostojen käyttöiän pidentämiseksi.

### Lainsäädännön ja määräysten kehittäminen

- Rakennustuotteiden tuotehyväksyntälakia ja sitä tarkentavia määräyksiä tulee muuttaa siten, että rakennustuotedirektiivin alaisten tuotteiden CE-merkintä tulee pakolliseksi sen jälkeen, kun kyseisen tuotteen tuotestandardin siirtymäaika on päättynyt.
- Rakentamismääräysten osa D1 on tarpeen uusilla mainitun tuotehyväksyntälain muutoksen seurauksena. Myös osan C2 muutostarpeet on selvitettävä.
- Viranomaisten tulee panostaa selvityksiin ja aktiiviseen vaikuttamiseen juomaveden kanssa kosketuksiin joutuvien rakennustuotteiden eurooppalaisen tuotehyväksyntäjärjestelmän (EAS) kehittämiseksi, jotta se voidaan aikanaan ilman ongelmia ottaa Suomessa käyttöön.
- Vesilaitosten talousvesituotannossa ja -jakelussa käyttämien materiaalien hyväksyntämenettely materiaalien hygieenisen turvallisuuden suhteen tulee säätää viranomaismääräyksiin rinnan EAS-järjestelmän kanssa.
- Tulee selvittää kattavasti jakelu- ja kiinteistöverkostojen tuotteiden standarditilanne liittyen myös EAS-järjestelmään. Mille kaikille tuotteille standardit on olemassa? Standardeissa tulee olla ilmoitettu, kuinka pitkäaikaiskestävyys (durability) on niissä arvioitu. Kartoitetaan niiden rakennustuotteiden osalta standardisoinnin mahdollisuudet, joille ei ole vielä tekeillä harmonisoitua tuotestandardia. Tarvittaessa kehitetään omaa hyväksyntää näille tuotteille.
- Tulee selvittää toisiko rakennusvalvonnan teknisen tarkastuksen yksityistäminen ja mahdollinen kytkeminen vakuutuksiin parannusta asennustyön ja käyttöönoton laatuun.
- Mahdollisuudet viranomaisvaatimuksiksi veden syövyttävyyden vähentämiseksi on selvitettävä (pH, kovuus, alkaliteetti).
- Käytettyjen saneeraustoimenpiteiden tuotehyväksynnän perusteet ja vaatimukset tulee selvittää.

### Talousveden teknisen laadun parantaminen

- Vesilaitoksen tulisi laatia suunnitelma siitä, minkälaista vettä laitos toimittaa myös pitkällä tähtäimellä. Tämä tieto tulee olla julkisesti saatavilla, jotta se voidaan ottaa huomioon mm. materiaalivalinnoissa.

- Laaditaan selvitys talousveden laadun muuttamistarpeista, menetelmistä ja kustannuksista, jotta saavutettaisiin hyvä tekninen laatu mahdollisimman kattavasti.
  - Talousveden nykyinen tekninen laatu verrattuna optimaalilaatuun: Vesi-Instituutin ”Suomalaisen talousveden laatu raakavedestä kuluttajan hanaan vuosina 1999-2007”-selvitystä hyödyntäen kartoitetaan ne vesihuoltolaitokset/laitosten lukumäärä ja niiden myymä vesimäärä, joissa veden laatu poikkeaa optimaalisesta (etukäteen sopien, paljonko pitää erota, että otetaan huomioon). Lisäksi karkea kartoitus siitä, miten suurista eroista on kysymys.
  - Optimaalilaadun saavuttamisen kustannukset. Edelliseen kohtaan perustuen selvitetään, millä menetelmillä optimaalinen veden laatu olisi saavutettavissa ja lasketaan, paljonko investointi- ja käyttökustannukset Suomessa lisääntyisivät, jos kaikki talousvesi käsitellään optimaaliseksi. Erikseen tulisi sopia, miten pieniin laitoksiin selvitys ulotetaan (10 m<sup>3</sup>/d, 50 henkilöä tai vähemmän).
  - Veden laadun parantamisen vaikutus käyttöiän lisääntymiseen. Kuinka paljon veden laadun muuttamisella voitaisiin keskimäärin pidentää käyttöikää jakelu- ja kiinteistöverkostojen metalli- ja sementtipohjaisissa materiaaleissa ja vähentää vuotovahinkojen kustannuksia.
- Tiedottaminen veden laadusta ongelma-alueiden terveys- ja rakennusvalvontaviranomaisille
- Tiedottamista talousveden laadusta tulisi tehostaa niin, että tieto saavuttaa kuluttajan mahdollisimman hyvin (esim. kotisivut, paikallislehdistö, ajoittainen laatutiedote laskun mukana).
- Useiden vesilaitosten ja Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen jo aloittama benchmarking-toiminta olisi hyödyllistä laajentaa mahdollisimman kattavaksi vesilaitosten eri toimintoihin ja toisaalta mahdollisimman monta laitosta kattavaksi.
- Jokaisen vesilaitoksen tulisi tehdä kattava verkostojen kuntokartoitus ja saneeraussuunnitelma.

## Suunnittelun kehittäminen

- Kiinteistössä suunnitteluratkaisut tehdään siten, että
  - vesijohtoverkoston mahdollisten vuotojen havaitseminen on helppoa
  - vesijohtoverkoston huolto on helppoa
  - vesijohtoverkoston uusiminen tai korjaaminen on yksinkertaista, kustannustehokasta ja helppoa
- Uudet tekniset ratkaisut vuotohavaittavuuden parantamiseksi kiinteistöissä tulisi ottaa käyttöön.
- Suunnittelijan tulee selvittää paikallinen talousveden laatu sekä mahdolliset muutokset tulevaisuudessa ja mikäli laatu on selkeästi heikko, ottaa huomioon nämä materiaalivalinnoissaan. Tässä selvityksessä ei ole esitetty veden laadun raja-arvoja

materiaalin valinnan pohjaksi, vaan raja-arvot tähtäävät materiaalien kestävyuden kannalta optimaaliseen laatuun. Suurten laitosten jakama vesi Suomessa on pääsääntöisesti teknisesti hyvälaatuista.

- Rakentamismääräyksissä ohjeistetaan varautumaan asuntokohtaiseen vesimäärän mittaukseen ja vesimittareille tulisi varata riittävä tila. Vesimittareiden käytön lisääminen on suositeltava toimenpide.
- Vesilaitoksille tulisi laatia suunnittelu- ja työohjeet kuten kiinteistöpuolella on tehty, jotta myös vähäiset resurssit omaavat laitokset voisivat hoitaa rakentamisen/rakennuttamisen hyvien työtapojen mukaisesti. Nämä ohjeet voivat olla pohjana mahdollisesti myöhemmille määräyksille koskien rakennustuotedirektiivin ja EAS:n kansallista implementointia.

### **Asennuksen ja ylläpidon kehittäminen**

- Tämän ja muiden selvitysten perusteella voidaan todeta, että sekä kiinteistö- että jakeluverkostojen vaurioista hyvin suuri osa johtuu asennuksen ja käyttöönoton virheistä. Laadun parantamiseen tulisi kiinnittää huomiota kaikilla tasoilla (mm. koulutus, osaamistestaus ja laadun valvonta).
- Rakentamismääräyksen osan D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet säätävät mm. painekokeen, huuhtelun ja virtaamien säätämisen suorittamisesta. Tarkempi ohjeistus esim. huuhtelua koskevan standardin osalta on tarpeen.
- Valvojan käyttöä jakeluverkostojen putkiasennuksissa tulee lisätä.
- Työnsuorituksen tarkastusasiakirjan luomiseen, vaatimuksiin ja käyttöön liittyvät kysymykset tulee selvittää.
- D1:ssä määrätään, että selvitys käyttöönottoa koskevista toimenpiteistä on liitettävä rakennustyön tarkastusasiakirjaan. Vaadittavat toimenpiteet tulisi määritellä tarkasti määräyksissä.

### **Lisätutkimus- ja selvitystarve**

- Edellinen kattava kiinteistöjen vesijohtojen vauriotutkimus on tehty Suomessa 1990-luvulla eikä tietoa paljon käytetyistä muovimateriaaleista ole. Kattava selvitys pitäisi tehdä pian.
- Olisi tärkeää tehdä perusteellinen selvitys kiinteistöjen kylmä- ja lämminvesiputkien saneerausmenetelmistä. Kokemukset menetelmistä sekä niiden luotettavuus ja toimivuus Suomessa ja muualla Euroopassa tulisi selvittää.
- Suomessa muovimateriaalien osuus on maailman suurimpia sekä jakelu- että kiinteistöverkostoissa. Muovimateriaaleille tulisi kehittää luotettavia ainetta rikkomattomia kuvaamis- ja tutkimusmenetelmiä, joilla voidaan todentaa materiaalin kunto ja jäljellä oleva käyttöikä.

- Myös muiden materiaalien osalta on tarvetta nykyistä tehokkaammille ainetta rikkomattomille menetelmille erityisesti jakeluverkostoissa.
- Suojaputkien käyttötarpeelle, oikealle asentamiselle ja käytettävien materiaalien vaatimuksille tulisi laatia ohje tai standardi(t).

### **Muut toimenpiteet**

- Tonttijohtojen kunto tulisi ottaa entistä enemmän huomioon ja selvittää järjestelmällisesti niiden kunto, sillä tonttijohtojen merkitys vuotojen aiheuttajana on suuri.
- ”Kodinomistajan infraoppaan” laatiminen, käytännön vinkit omakotitaloihin ja kesämökeille. Voi käsittää vesijohdot tai kaikki LVI-järjestelmät. Esim. rakennustarkastuksen jakama tietopaketti.

## Lähdeluettelo

- Ahonen M.H., Kaunisto T., Mäkinen R., Hatakka T., Vesterbacka P., Zacheus O., Keinänen-Toivola M.M. (2008). Suomalaisen talousveden laatu raakavedestä kuluttajan hanaan vuosina 1999-2007. Vesi-Instituutin julkaisuja 4, Vesi-Instituutti/Prizztech Oy. 147 s.
- Ala-Peijari T. (1980). Veden laadun vaikutus korroosioon. Kirjassa: Vesi ja korrosio. INSKO 123-80.
- Albertsson A.-C., Andersson S.O. ja Karlsson S. (1987). The mechanism of biodegradation of polyethylene. *Polymer Degradation and Stability* 18, 73-87.
- Alhaji J.N. ja Reda M.R. (1996). The role of solution chemistry on the corrosion of copper in tap water: The effect of dissolved silica on uniform and localized attack. *Materials and Corrosion / Werkstoffe und Korrosion* 47(10), 559-567.
- Andersson U. ja Ifwarson M. PEX, PE, PP and PVC pipes exposed to different chemicals. Bodycote Polymer AB.
- Aromaa J. (2001). Vesijohtoverkoston korroosion estäminen kalkkikivialkaloinnilla. Teknillisen korkeakoulun materiaalitekniikan ja metallurgian julkaisuja, Otamedia Oy. 62 s.
- ASM International (1992). Corrosion of copper and copper alloys. ASM Handbook volume 13, s. 610-640.
- AwwaRF (1993). Chloramine effects on distribution system materials. Report 508. <http://www.awwarf.org/research/topicsandprojects/projectSnapshot.aspx?pn=508> (Tiivistelmä).
- AwwaRF (1994). Evaluation of polyvinyl chloride (PVC) pipe performance. Report 708. <http://www.awwarf.org/research/TopicsAndProjects/projectSnapshot.aspx?pn=708>. (Tiivistelmä).
- AWWA (1996). Internal corrosion of water distribution systems. Second edition. American Water Works Association Research Foundation, DVGW-Technologiezentrum Wasser. 593 s.
- Baccay M.A., Otsuki N., Nishida T. ja Maruyama S. (2006). Influence of cement type and temperature on the rate of corrosion of steel in concrete exposed to carbonation. *Corrosion* 62(9), 811-821.
- Bachmann R.T. ja Edyvean R.G.J. (2006). AFM study of the colonisation of stainless steel by *Aquabacterium commune*. *International Biodeterioration & Biodegradation* 58(3-4), 112-118.
- Batte M., Appenzeller B.M.R., Grandjean D., Fass S., Gauthier V., Jorand F., Mathieu L., Boualam M., Saby S. ja Block J.C. (2003). Biofilms in drinking water distribution systems. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 2(2-4), 147-168.
- Becker A. (2002). The effect of corrosion inhibitors in drinking water installations of copper. *Materials and Corrosion* 53(8), 560-567.
- Beech I., Bergel A., Mollica A., Flemming H.-C., Scotto V. ja Sand W. (2000). Simple methods for the investigation of the role of biofilms in corrosion.
- Beech I.B. (2003). Sulfate-reducing bacteria in biofilms on metallic materials and corrosion. *Microbiology Today* 30, 115-117.
- Berekaa M.M., Lino A., Reichelt R., Keller U. ja Steinbuchel A. (2000). Effect of pretreatment of rubber material on its biodegradability by various rubber degrading bacteria. *FEMS Microbiology Letters* 184, 199-206.
- Biczok I. (1972). Concrete corrosion, Concrete protection. Akademiai Kiado, Budapest. 545 s.
- Borenstein S.W. (1994). Microbiologically influenced corrosion handbook. Woodhead Publishing Ltd. England. 288 s.
- Boulay N. ja Edwards M. (2001). Role of temperature, chlorine, and organic matter in copper corrosion by-product release in soft water. *Water Research* 35(3), 683-690.



- Bremer P.J., Webster B.J. ja Wells D.B. (2001). Biocorrosion of copper in potable water. *Journal of the American Water Works Association* 93(8), 82-91.
- Bresser R. ja Tauber M. (2000). Global success stories for PE pipe systems in water transportation and distribution. Borealis group.
- Buchholz S. (2001). Zementmörtel – Auskleidung von Wasser- und Abwasserleitungen aus Stahl und duktilem Gusseisen.
- Camper A.K., Brastrup K., Sandvig A., Clement J., Spencer C. ja Capuzzi A.J. (2003). Effect of distribution system materials on bacterial regrowth. *Journal of the American Water Works Association* 95(7).
- Cantor A.F., Bushman J.B., Glodoski M.S., Kiefer E., Bersch R. ja Wallenkamp H. (2006). Copper pipe failure by microbiologically influenced corrosion. *Materials performance* 45(6), 38-41.
- Cantor A.F., Park J.K. ja Vaiyavatjamai P. (2003). Effect of chlorine on corrosion in drinking water systems. *Journal of the American Water Works Association* 95(5).
- Carpen L. (1995). Mikrobiologinen korrosio iskee myös ruostumattomaan teräkseen. *Kemia-Kemi* 22(3), 238-241.
- Charnock C. ja Kjonno O. (2000). Assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon in Norwegian raw and drinking waters. *Water Research* 34(10), 2629-2642.
- Critchley M.M., Cromar N.J., McClure N. ja Fallowfield H.J. (2002). Biofilms in copper plumbing systems: sensitivity to copper, chlorine and implications for corrosion. *Water Science and Technology: Water Supply* 2(4), 81-87.
- Damen J., Jeruzal M., Quack W. ja Schramm D. PE-RT, a new class of polyethylene for hot water pipes. DOW Chemical Company.
- Dear J.P. ja Mason N.S. (2006). Effect of chlorine on polyethylene pipes in water distribution networks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications* 220(3), 97-111.
- Dexter S.C. (2003). Microbiologically influenced corrosion. Kirjassa: *ASM Handbook* vol. 13A.
- DIN 1988-1 (1988). Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (TRWI); Allgemeines; Technische Regel des DVGW.
- DIN 30670 (1991). Umhüllung von Stahlrohren und -formstücken mit Polyethylen.
- DIN 50930-3 (1993). Korrosion der Metalle. Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser; Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit feuerverzinkter Eisenwerkstoffe.
- DIN 50930-4 (1993). Korrosion der Metalle. Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser; Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit nicrostender Stähle.
- DIN 50930-5 (1993). Korrosion der Metalle. Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser; Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit von Kupfer und Kupferwerkstoffen.
- Douglas B.D., Merrill D.T. ja Catlin J.O. (1996). Water quality deterioration from corrosion of cement-mortar linings. *Journal of the American Water Works Association* 88(7), 99-107.
- Duan D.M. ja Williams J.G. (1998). Craze testing for tough polyethylene. *Journal of Materials Science* 33(3), 625-638.
- DVGW (2001). Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001. Internet (15.12.2007): <http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/recht/trinkwvo.pdf>
- Eduskunta (1961). Vesilaki (264/1961).
- Eduskunta (1977). Laki yleisistä vesi- ja viemärlaitoksista (982/1977) (Laki kumottu ja korvattu Vesihuoltolailla 2001).
- Eduskunta (1994). Terveystensuojelulaki (763/1994).

- Eduskunta (1999). Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999).
- Eduskunta (2001). Vesihuoltolaki (119/2001).
- Eduskunta (2003). Laki rakennustuotteiden hyväksynnästä (230/2003).
- Eduskunta (2007). Laki julkisista hankinnoista (348/2007).
- Edwards M., Ferguson J.F. ja Reiber S.H. (1994). The pitting corrosion of copper. *Journal AWWA* 86(7), 74-90.
- Edwardsen C. (1999). Water permeability and autogenous healing of cracks in concrete. *ACI Materials Journal* 96(4), 448-454.
- Ekström T. (2003). Leaching of concrete. PhD, Lund Institute of Technology, Lund University. 357 s.
- Elfström-Broo A., Berghult B. ja Hedberg T. (1998). Copper corrosion in water distribution systems - the influence of natural organic matter (nom) on the solubility of copper corrosion products. *Corrosion Science* 40(9), 1479-1489.
- Emde K.M.E., Smith D.W. ja Facey R. (1992). Initial investigation of microbially influenced corrosion (Mic) in a low-temperature water distribution system. *Water Research* 26(2), 169-175.
- Erkkilä P., Roitto K. ja Kumpulainen J. (1984). Materiaalinvalinta - ruostumattomat teräkset. Suomen Metalliteollisuuden Keskusliitto, Helsinki, 66 s.
- Erning W. (2007). Zulassung fehlt noch immer. Zur Auskleidung von Trinkwasserinstallationen mit Epoxidharz. *Sanitär+Heizungstechnik* 7, 52-53.
- Fagerlund G. (2000). Leaching of concrete. The leaching process. Extrapolation of deterioration. Effect on structural stability. CONTECVET, A validated users manual for assessing the residual service life of concrete structures. Lund Institute of Technology. 62 s.
- Fang H.H.P., Xu L.C. ja Chan K.Y. (2002). Effects of toxic metals and chemicals on biofilm and biocorrosion. *Water Research* 36(19), 4709-4716.
- Finanssialan Keskusliitto (2005). Kiinteistöjen vesivuotovahinkoja ja kosteusvaurioita ennaltaehkäisevä ohje. 19 s.
- Finanssialan Keskusliitto (2007). Internet: [www.fkl.fi](http://www.fkl.fi).
- Fortenay F., Andersen A. ja Nielsen K. (2005). Force Technology; Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, 12/2005, Vejledning om metalliske materialer til vandindstillinger.
- Gu J.-D. (2003). Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances. *International Biodeterioration and Biodegradation* 52(2), 69-91.
- Hanjangsit L., Beech I.B., Edyvean R.G.J. ja Hammond C. (1995). Biofilm development on stainless steels in a potable water system. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> international EFC workshop Portugal, 1994. Julkaistu: Microbial Corrosion, European Federation of Corrosion Publications, number 15.
- Hassinen J., Lundbäck M., Ifwarson M. ja Gedde U.W. (2004). Deterioration of polyethylene pipes exposed to chlorinated water. *Polymer Degradation and Stability* 84(2), 261-267.
- Heikkilä J. ja Päckilä K. (1990). Asuinkerrostalon putkiston korjaus. Korjausrakentamisen tutkimusohjelma. VTT tiedotteita 1115. 83 s.
- Heikkonen H. (2007). Uutiset. *Rakennuslehti* 10/2007.
- Heisey R.M. ja Papadatos S. (1995). Isolation of microorganisms able to metabolize purified natural rubber. *Applied and Environmental Microbiology* 61(8), 3092-3097.
- Hong A.P.K. ja Macauley Y.-Y. (1998). Corrosion and leaching of copper tubing exposed to chlorinated drinking water. *Water, Air & Soil Pollution* 108(3-4), 457-471.
- Howard G.T. (2002). Biodegradation of polyurethane: a review. *International Biodeterioration and Biodegradation* 49(4), 245-252.
- Hubert L., David L., Séguéla R., Vigier G., Degoulet C. ja Germain Y. (2001). Physical and mechanical properties of polyethylene for pipes in relation to molecular architecture. I. Microstructure and crystallisation kinetics. *Polymer* 42(20), 8425-8434.

- Hunaidi O., Chu W., Wang A. ja Guan W. (2000). Detecting leaks in plastic pipes. *Journal AWWA* 92(2), 82-94.
- Huttunen-Saarivirta E. (2001). Microstructural and electrochemical characterisation of chemical tin coatings on copper. Ph.D, Tampere University of Technology. 134 s.
- Ifwarson M. ja Leijström H. (2001). What controls the lifetime of plastic pipes and how can the lifetime be extrapolated? *Bodycote Polymer AB*.
- Imran S.A., Dietz J.D., Asce M., Mutoti G., Taylor J.S. ja Randall A.A. (2005a). Modified Larsons ratio incorporating temperature, water age, and electroneutrality effects on red water release. *Journal of Environmental Engineering* 131(11), 1514-1520.
- Imran S.A., Dietz J.D., Mutoti G., Taylor J.S., Randall A.A. ja Cooper C.D. (2005b). Red water release in drinking water distribution systems. *Journal AWWA* 97(9), 93-100.
- Janson L.-E. (1996). *Plastics pipes for water supply and sewage disposal*. Borealis. 290 s.
- Jester T.C. (1985). Dezincification update. *Journal AWWA* 77(10), 67-9.
- Johansson E.L. (1989). Importance of water composition for prevention of internal copper and iron corrosion. *Chalmers University of Technology*. 182 s.
- Jokinen R. (2003). Vesilähteen ja veden lämpötilan vaikutus vesijohtoverkoston vuotoihin ja biofilmin kertymään. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. 149 s.
- Jokinen R. (2004). Veden lämpötilan vuodenaikaisvaihtelut lisäävät verkostovuotoja. *Tekniikka ja kunta* 5, 44-47.
- Juhna T. (2002). Aspects of drinking water supply in areas of humic water. Ph.D, Luleå University of Technology.
- Järvinen P. (2000). *Muovin suomalainen käsikirja*. Muovifakta Oy, Porvoo 2000. 173 s.
- Järvinen J., Jokinen H., Tavi M., Seppänen O. ja Forsen O. (1987). Putkilinjastojen kunto ja kunnan tutkimismenetelmät asuinkerrostaloissa, koerakentamistutkimus. Raportti B13, Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio, 148 s.
- Karjalainen J. (1995). Vesi- ja viemäriputkistojen kuntoarvio. Suomen kiinteistöliitto.
- Karttunen E. (1999). Vesihuoltotekniikan perusteet. Opetushallitus.
- Kaskimies M. (1980). Kiinteistöjen vedenkäyttölaitteiden korroosio. Kirjassa: Vesi ja korroosio. INSKO 123-80.
- Kaunisto T. (1990). Materiaalien korroosiotutkimukset vesivahinkotapauksissa. Veden laatu ja korroosio vesijohdoissa, kaukolämpöjohdoissa ja kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteissa. Suomen kaupunkiliitto, Helsinki. s. 105-110.
- Kaunisto T. (1991). Rakennusten vesi- ja viemäriputkistojen vaurioiden selvitys. VTT, metallurgian laboratorio, Tiedotteita 1198.
- Keevil C.W. (2004). The physico-chemistry of biofilm-mediated pitting corrosion of copper pipe supplying potable water. *Water Science and Technology* 49(2), 91-98.
- Keinänen-Toivola M.M., Ahonen M.H. ja Kaunisto T. (2007). Talusveden laatu Suomessa vuosina 1984-2006. Vesi-Instituutin julkaisuja 2, Vesi-Instituutti/Prizztech Oy. 107 s.
- Kekki T.K., Keinänen-Toivola M.M., Kaunisto T. ja Luntamo M. (2007). Talusveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa. Vesi-Instituutin julkaisuja 1, Vesi-Instituutti/Prizztech Oy. 101 s.
- Kielemoes J., Bultinck I., Storms H., Boon N. ja Verstraete W. (2002). Occurrence of manganese-oxidizing microorganisms and manganese deposition during biofilm formation on stainless steel in a brackish surface water. *FEMS Microbiology Ecology* 39(1), 41-55.
- Kilb B., Lange B., Schaule G., Flemming H.-C. ja Wingender J. (2003). Contamination of drinking water by coliforms from biofilms grown on rubber-coated valves. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 206(6), 563-573.
- Kopra P. (2007). Vedenjakelun vesitaseen avulla vuotovesimäärän vähentämiseen. Esitys Vesihuoltopäivillä 2007.
- Korpinen T. (1980). Korroosionestotekniikkaa: Katodinen suojaus. Kirjassa: Vesi ja korroosio. INSKO 123-80.

- Krishnaswamy R.K. (2005). Analysis of ductile and brittle failures from creep rupture testing of high-density polyethylene (HDPE) pipes. *Polymer* 46(25), 11664-11672.
- Kroon D.H., Lindemuth D., Sampson S. ja Vincenzo T. (2005). Corrosion Protection of Ductile Iron Pipe. Corpro Inc.
- Kruse C.-L. (2001). Korrosionsrisiko in Sanitärinstallationen. *Sanitär+Heizungstechnik* 9.
- Kukkola A. (2004). Ylivieskan Kantokylän vesijohtoverkoston kuntoselvitys ja mitoitus. Opinnäytetyö.
- Lagerblad B. (2001). Leaching performance of concrete based on studies of samples from old concrete constructions. Technical Report TR-01-27, Swedish Cement and Concrete Research Institute. 80 s.
- Laitsaari P.T. (1999). Kupariputkien pistekorrosio käyttövedessä. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu.
- Lamusuo E. (1985). Kumin yleisiä ominaisuuksia. Kirjassa *Tekniset kumit, ominaisuudet ja käyttö*. INSKO 231-85.
- Lapinlahti T. ja Raassina S. (2002). Vesihuoltolaitokset 1998-2000. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 541.
- Lea F.M. (1970). *The chemistry of cement and concrete*. 3<sup>rd</sup> Edition, 727 s.
- LeChevallier M.W., Schulz W. ja Lee R.G. (1991). Bacterial nutrients in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology* 57(3), 857-862.
- Lehtola M.J., Miettinen I.T., Hirvonen A., Vartiainen T. ja Martikainen P.J. (2007). Estimates of microbial quality and concentration of copper in distributed drinking water are highly dependent on sampling strategy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* (In press).
- Lehtola M.J., Miettinen I.T., Lampola T., Hirvonen A., Vartiainen T. ja Martikainen P.J. (2005). Pipeline materials modify the effectiveness of disinfectants in drinking water distribution systems. *Water Research* 39(10), 1962-1971.
- Lehtola M.J., Miettinen I.T. ja Martikainen P.J. (2002a). Biofilm formation in drinking water affected by low concentrations of phosphorus. *Canadian Journal of Microbiology* 48, 494-499.
- Lehtola M.J., Miettinen I.T., Vartiainen T. ja Martikainen P.J. (2002b). Changes in content of microbially available phosphorus, assimilable organic carbon and microbial growth potential during drinking water treatment processes. *Water Res* 36(15), 3681-3690.
- Lei J. ja Saegrov S. (1998). Statistical approach for describing failures and lifetimes of water mains. *Water Science & Technology* 38(6), 209-217.
- Leijström H. ja Ifwarson M. Long term pressure test on plastic pipes for the validation of Miner's rule. Bodycote Polymer AB.
- Lindström K. (1992). Vesi- ja viemäritekniikka. VAPK-kustannus, Opetushallitus.
- Lounela T., Santalo E. ja Takkunen P. (1989). Vuotovahingot 1988. VTT, tiedotteita 1045. 61 s.
- Lundbäck M., Strandberg C., Albertsson A.-C., Hedenqvist M.S. ja Gedde U.W. (2006). Loss of stability by migration and chemical reaction of Santonox® R in branched polyethylene under anaerobic and aerobic conditions. *Polymer Degradation and Stability* 91, 1071-1078.
- Maddison L.A., Gagnon G.A. ja Eisnor J.D. (2001). Corrosion control strategies for the Halifax regional distribution system. *Canadian Journal of Civil Engineering* 28(2), 305-314.
- Makar J. ja Chagnon N. (1999). Inspecting systems: For leaks, pits, and corrosion. *Journal American Water Works Association* 91(7), 36-46.
- Makar J.M., Desnoyers R. ja McDonald S.E. (2000). Failure modes and mechanisms in gray cast iron Pipes. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, NRCC-44218.

- Makar J.M., Rogge R. ja McDonald S.E. (2002). Circumferential failures in grey cast iron pipes. National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, NRCC-45013.
- Marcotte T.D. ja Hanson C.M. (2007). Corrosion products that form on steel within cement paste. *Materials and Structures*, 40, 325-340.
- Mattsson E. (1990). Tappvattensystem av kopparmaterial. Korrosionsinstitutet ja Svensk Byggtjänst. 31 s.
- McNeill L.S. ja Edwards M. (2001). Iron pipe corrosion in drinking water distribution systems. *Journal AWWA* 93(7), 88-100.
- McNeill L.S. ja Edwards M. (2002). The importance of temperature in assessing iron pipe corrosion in water distribution systems. *Environmental Monitoring and Assessment* 77(3), 229-242.
- Merah N., Saghir F., Khan Z. ja Bazoune A. (2006). Effect of temperature on tensile properties of HDPE pipe material. *Plastics, Rubber and Composites* 35(5), 226-230.
- Mergelas B. ja Henrich G. (2005). Leak locating methods for pre-commissioned transmission pipelines: North-American case studies. *Leakage 2005 - Conference proceedings*.
- Morton S.C., Zhang Y. ja Edwards M.A. (2005). Implications of nutrient release from iron metal for microbial regrowth in water distribution systems. *Water Research* 39(13), 2883-2892.
- Mäki-Rossi F.N. (1944). Keskuslämmittäjän ja talonmiehen käsikirja.
- Mäkiö E. (1990). Kerrostalot 1940-1960. Rakennustietosäätiö.
- Määttä J. ja Kaunisto T. (1997). Pientalojen talousvesiverkostojen vuotovahingot. *VTT tiedotteita* 1829, 42 s.
- Nielsen L.M., Falkenberg J., Fuglsang I.A., Christensen A.G. ja Fischer E.V. (2005). Feltundersøgelse af vandforsyningernes plastrør. Miljöministeriet, Miljöstyrelsen. Miljöprojekt nr. 1049.
- Nielsen L.M., Fuglsang I.A. ja Fischer E.V. (2007). Undersøgelse af PEX rør til drikkevandsbrug. Miljöministeriet, Miljöstyrelsen. Miljöprojekt nr. 1167.
- Nikulainen V. (1993). Vesijohtojen ja viemäreiden vauriot. *Suomen Kaupunkiliiton julkaisu* 736; *Suomen Kunnallisliiton ympäristöjulkaisut* 40, 84 s.
- Niquette P., Servais P. ja Savoie R. (2000). Impacts of pipe materials on densities of fixed bacterial biomass in a drinking water distribution system. *Water Research* 34(6), 1952-1956.
- Outokumpu (1990). Kupariputket. Outokumpu Poricopper Oy.
- Outokumpu Stainless Steel (2004). *Corrosion Handbook*.
- Papavinasam S., Attard M. ja Revie R.W. (2006). External polymeric pipeline coating failure modes. *Materials Performance* October 2006.
- Parsons M., Stepanov E.V., Hiltner A. ja Baer E. (2000). Correlation of fatigue and creep slow crack growth in a medium density polyethylene pipe material. *Journal of Materials Science* 35(11), 2659-2674.
- Pehkonen A. (2001). The effect of dissolved ozone on the corrosion behaviour of some stainless steels. Ph.D. Helsinki University of Technology.
- Percival S.L., Knapp J.S., Edyvean R. ja Wales D.S. (1998a). Biofilm development on stainless steel in mains water. *Water Research* 32(1), 243-253.
- Percival S.L., Knapp J.S., Edyvean R.G.J. ja Wales D.S. (1998b). Biofilms, mains water and stainless steel. *Water Research* 32(7), 2187-2201.
- Percival S.L., Knapp J.S., Wales D.S. ja Edyvean R.G.J. (1999). The effect of turbulent flow and surface roughness on biofilm formation in drinking water. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 22(3), 152-159.
- Percival S.L., Walker J.T. ja Hunter P.R. (2000). Microbiological aspects of biofilms and drinking water. Julkaistu sarjassa *The Microbiology of extreme and unusual environments*. CRC Press LLC. 229 s.

- Pisigan R.A. ja Singley J.E. (1985). Effects of water quality parameters on the corrosion of galvanized steel. *Journal of the American Water Works Association* 77(11), 76-82.
- Pisigan R.A. ja Singley J.E. (1987). Influence of buffer capacity, chlorine residual, and flow rate on corrosion of mild steel and copper. *Journal of the American Water Works Association* 79(2), 62-70.
- Rajani B. ja Kleiner Y. (2004). Non-destructive inspection techniques to determine structural distress indicators in water mains. National Research Council Canada, NRCC-47068.
- Rajani B.M. ja McDonald S. (1995). Water mains break data on different pipe materials for 1992 and 1993. Report A-7019.1.
- Rakennustieto (2006). InfraRYL 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, vesihuolto (ennakkoversio koekäyttöön). 70 s.
- Rintala S. (2003). Muovisten vesijohtojen pitkäaikaiskestävyys. VVY:n julkaisuja. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. 84 s.
- Rosengren R. (2003). Vuotavat vesijohtoverkostot ongelmana *Vesitalous* 6, 10-13.
- Rushing J.C. (2002). Advancing the understanding of water distribution system corrosion: effects of chlorine and aluminum on copper pitting, temperature gradients on copper corrosion, and silica on iron release. MSc, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. 131 s.
- Saint Gobain Pipe Systems (2007). Natural SG-valurautaputken esite.
- Salo M. ja Saarikoski K. (1988). Vesi- ja viemäriverkostojen ylläpitotarpeen määrittäminen. VTT, Tiedotteita 860.
- Sand W. (1996). Microbial Mechanisms, kirjassa *Microbially influenced corrosion of materials*. Heitz E., Flemming H.-C. ja Sand W. Springer-Verlag 1996, 475 s.
- Sanft P., Francis L.F. ja Davidson J.H. (2006). Calcium carbonate formation on cross-linked polyethylene (PEX) and polypropylene random copolymer (PP-r). *Journal of Solar Energy Engineering*, 128, 251-254.
- Sarin P., Snoeyink V.L., Bebee J., Jim K.K., Beckett M.A., Kriven W.M. ja Clement J.A. (2004). Iron release from corroded iron pipes in drinking water distribution systems: effect of dissolved oxygen. *Water Research* 38(5), 1259-1269.
- Sathasivan A., Ohgaki S., Yamamoto K. ja Kamiko N. (1997). Role of inorganic phosphorus in controlling regrowth in water distribution system. *Water Science & Technology* 35(8), 37-44.
- Savisalo H. (1980). Korroosion esiintymismuodot. Kirjassa: *Vesi ja korroosio*. INSKO 123-80.
- SCDA (2005). Scandinavian Copper Development Association, Kupariputkistot CD, SCDA Ruotsi.
- Schweitzer P.A. (2000). Mechanical and corrosion-resistant properties of plastics and elastomers. *Corrosion Technology*, CRC Press, 496 s.
- Seth A.D. ja Edyvean R.G.J. (2006). The function of sulfate-reducing bacteria in corrosion of potable water mains. *International Biodeterioration & Biodegradation* 58(3-4), 108-111.
- SFS-EN 545 (2003). Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water pipelines. Requirements and test methods.
- SFS-EN 681-1 (1996). Elastomeeriset tiivisteet. Vesi- ja viemäriputkistojen tiivisteiden materiaalivaatimukset. Osa 1: Vulkanoitu kumi.
- SFS-EN 1057 (2006). Kupari ja kupariseokset. Saumattomat pyöreät kupariputket LVI-käyttöön.
- SFS-EN 10298 (2005). Onshore- ja offshore-putkistoissa käytettävät teräsputket ja putkenosat. Sisäpuoliset sementtilaastipinnoitteet.
- SFS-EN 29454-1 (1994). Soft soldering fluxes. Classification and requirements. Part 1: Classification, labelling and packaging (ISO 9454-1:1990).
- Sisäasiainministeriö (1975). Suomen Rakentamismääräyskokoelma, D 1. Kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot, määräykset ja ohjeet.

- SITRA (1980). Korroosio vesilaitoksilla, vesijohtoverkossa ja kiinteistöjen käyttövesilaitteissa. Sarja B, nro 55, Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto. 118 s.
- Slaats P.G.G., Mesman G.A.M., Rosenthal L.P.M. ja Brink H. (2004). Tools to monitor corrosion of cement-containing water mains. *Water Science & Technology* 49(2), 33-39.
- Sosiaali- ja terveysministeriö (2000). Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista, 461/2000.
- Sosiaali- ja terveysministeriö (2001). Sosiaali- ja terveysministeriön asetus pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (401/2001).
- Suomen Betoniyhdistys (1976). Betonin säilyvyys. *Vesirakennusbetoni. Julkisivubetoni.* BY 9, 44 s.
- Suomen Betoniyhdistys (2004). Betoninormit 2004. Suomen Betoniyhdistys r.y., Jyväskylä 2004, 263 s.
- Suomen Isännöintiliitto (2007). Putkiremonttikysely 2007. Internet (12.12.2007): <http://www.isannointiliitto.fi/tutkimukset/putki2007/>
- Suomen kaupunkiliitto (1979). Vesijohtojen ja viemäreiden suunnittelu. Kaupunkiliiton julkaisu B63, Suomen kaupunkiliitto.
- Suomen kaupunkiliitto (1982). Yleisten vesijohtojen ja viemäreiden aines- ja työselitys. Kaupunkiliiton toimiston julkaisu B 44.
- Suomen kunnallisteknillinen yhdistys (1987). Rakennusten vesijohdot ja viemärit, RVV-käsikirja. Julkaisu no 7/1987.
- Suomen kuntaliitto (1993). Vesijohtoveden laatu ja korroosio. Suomen kuntaliitto, VVY.
- Suomen Metalliteollisuuden keskusliitto (1984). Kuparimetallit.
- Suomen Metalliteollisuuden keskusliitto (2001). Kuparimetallit. Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Suomen Rakennusinsinöörien liitto (2003). Vesihuolto I, RIL 124-1 Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 314 s.
- Suomen Rakennusinsinöörien liitto (2004). Vesihuolto II, RIL 124-2 Suomen Rakennusinsinöörien liitto, RIL r.y. 684 s.
- Suomen Rakennusinsinöörien liitto (2005). Maahan ja veteen asennettavat kestumuoviputket, asennusohjeet. RIL 77-2005.
- Talja A., Törnqvist J., Kivikoski H., Carpen L. ja Nippala E. (2006). Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa. VTT Working papers 65, Espoo.
- Tampereen Vesi (2005). Vuosikertomus.
- Tikkanen M.H. (1960). Korroosio ja sen estäminen. Lahden kirjapaino ja sanomalehti Oy, Lahti. 256 s.
- Tränkner T. Slow crack growth test as a ranking method. Bodycote Polymer AB.
- Törmälä P., Järvelä P. ja Lindberg J.J. (1983). Polymeeritiede ja muovitekniologia. Osa II. Otatieto 823. 326 s.
- Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto (2004). Vuotovahinkotutkimus 2002-2003.
- Valcarce M.B., de Sanchez S.R. ja Vazquez M. (2005). Localized attack of copper and brass in tap water: the effect of *Pseudomonas*. *Corrosion Science* 47(3), 795-809.
- VdS (2007). Technische Aspekte, Normen und Vorschriften - DIN, DVGW, Werkstoffauswahl. Vertrauen durch Sicherheit, Leitungswasser -Seminar. 22.-23.10.2007, Köln.
- Vesi- ja viemärlaitosyhdistys (2002). Kiinteistöjen tonttivesijohtojen ja -viemäreiden saneeraus. KTVVS-tutkimus 2001. Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen monistesarja nro 9.
- Vinka T.-G. (2003a). Genomfrätningar på kopparrör - orskaer undersökningsmetoder och motåtgärder. VA-Forsk rapport 26/2003. 24 s.
- Vinka T.-G. (2003b). Korrosion på metaller i svenska jordar - sammanställningar och praktiska erfarenheter. VA-forsk rapport 34/2003. 132 s.
- VTT (1997). Talonrakennuksen routasuojausohjeet. VTT, Yhdyskuntatekniikka.



- VVS-Installatörerna (2002). Vattenskador i byggnader, redovisning. Vattenskadeundersökningen 2002. Internet (15.10.2007): <http://www.vvsforetagen.se/download/1355/Vattenskaderapport%20komplett.pdf>.
- VVS-Installatörerna (2005). Vattenskador i flerbostadshus, redovisning. Vattenskadeundersökningen 2005. Internet (15.10.2007): <http://www.vvsforetagen.se/download/3081/Vattenskaderapport%20060117.pdf>.
- Välisalo T. (2007). Vesi- ja viemäriverkostojen kunnossapidon kehittäminen (AssetVesi). Esitys Vesihuoltopäivät 2007.
- Wagner D. ja Chamberlain A.H.L. (1997). Microbiologically influenced copper corrosion in potable water with emphasis on practical relevance. *Biodegradation* 8(3), 177-187.
- Wagner D., Fischer W.R., Paradies H.H. ja von Franque O. (1996). Microbiologically influenced corrosion in copper potable water installations. Kirjassa *Microbiologically influenced corrosion of materials*, Heitz E., Flemming H.-C. ja Sand W., Springer-Verlag, 1996.
- Wagner I. (1992). Internal corrosion in domestic drinking-water installations. *Aqua* 41(4), 219-223.
- Walker J.T., Dowsett A.B., Dennis P.J.L. ja Keevil C.W. (1991). Continuous culture studies of biofilm associated with copper corrosion. *International Biodeterioration* 27, 121-134.
- Wallbom M.R. ja Peters J.R. (2003). Polyethylene pipe in the potable water market. 2003 AWWA Annual Conference.
- Wang Y., Davidson J. ja Francis L. (2005). Scaling in polymer tubes and interpretation for use in solar water heating systems. *Journal of Solar Energy Engineering*, 127, 3-14.
- WeKnow (2005). Implementation of the drinking water directive 98/83/EC in Europe.
- World Health Organization (2006). Health aspects of plumbing. WHO, Geneve. 129 s.
- Yang Z., Weiss W.J. ja Olek J. (2006). Water transport in concrete damaged by tensile loading and freeze-thaw cycling. *Journal of Materials in Civil Engineering* 18(3), 424-434.
- Ympäristöministeriö (1987). D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistot, määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- Ympäristöministeriö (1999). C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- Ympäristöministeriö (2007). D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistot, määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma.



## Liitteet

**Liite 1.** Taulukko voimassaolevan vuoden 2007 D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet -liitteestä 3.

### LIITE 3

#### Vesilaitteiston putkimateriaalit, liitostavat ja kupariputkien nimellimitat

Vesilaitteistoissa käytetään esimerkiksi taulukon 1 mukaisia putkimateriaaleja ja liitoksia. Putkien ja liittimien tulee olla laadultaan testattuja ja tarkastettuja. Ne asennetaan valmistajan ohjeen mukaisesti.

#### TAULUKKO 1. VESILAITTEISTOSSA YLEISIMMIN KÄYTETTÄVÄT PUTKIMATERIAALIT JA LIITOKSET.

Putkimateriaali	Liitos	Huomaus
Metalli		
- kupari <sup>1)</sup>	juotos, puserrus (irroitettava) puristus (tiivisterenkaallinen) pisto, laippa	Suositus veden happamuudelle: 7,5 < pH < 9,0 Mitat taulukossa 2, juotostavat taulukossa 3
- ruostumaton teräs	hitsaus, kierre, puristus	EN 1.4401, AISI 316
Muovi		
- PE	puristus, pisto, hitsaus, laippa	Nimellispaine vähintään PN 10
- PE-X	puristus	
- PP <sup>1)</sup>	puristus, hitsaus	
- monikerrosputket <sup>2)</sup>	puristus	

<sup>1)</sup> Kupari asennetaan virtaus suunnassa PP:n jälkeen.

<sup>2)</sup> Liittäminen vain putkivalmistajan suosittelemilla liittimillä.

Kupariputkina käytetään standardin SFS-EN 1057 /1/ mukaisia putkia, joiden nimellimitat on esitetty taulukossa 2.

Kupariputkien juotostavat, juotteet ja kapillaariosat esitetään taulukossa 3. Kapillaariosien tulee täyttää standardin ISO 2016 /2/ vaatimukset.

#### TAULUKKO 2. VESILAITTEISTOSSA KÄYTETTÄVIEN KUPARIPUTKIEN NIMELLISET ULKOHALKAISIJAT JA VÄHIMMÄISSEINÄMÄNPAKSUUDET.

Suure	mm													
Nimellinen ulkohalkaisija d	10	12	15	18	22	28	35	42	54	64	76,1	88,9	108	
Nimellinen seinämänpaksuus e	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	

**TAULUKKO 3. KUPARIPUTKIEN JUOTOSTAVAT, JUOTTEET JA KAPILLAARIOSAT.**

Juotostapa <sup>1)</sup>	Juote	Kapillaariosat
Kovajuotto	Hopeapitoinen fosforikuparijuote, hopeapitoisuus vähintään 2 p-% <sup>2)</sup>	Tehdasvalmisteiset kapillaariosat tai kapillaari-liitosten teko muhvaus- ja haaroitustyökaluilla, haaraputken rajoitusnastat ja muotoleikkaus valmistajan ohjeiden mukaisesti.
Pehmeäjuotto	- tina-hopeajuote, hopeapitoisuus 5 p-%, - tinakuparijuote, kuparipitoisuus 3 p-%, - tina-hopeajuote, hopeapitoisuus 3 p-% <sup>3)</sup> Juokсутteen käyttö välttämätöntä.	Tehdasvalmisteiset kapillaariosat.

<sup>1)</sup> Jos samassa verkostossa käytetään eri juotostapoja, merkitään pehmeäjuotokset selvästi.

<sup>2)</sup> SFS-EN 1044, juotetyyppi CP 105.

<sup>3)</sup> SFS-EN 29453, juote Sn96Ag4. Juokсутetyyppi: F-SW 21, F-SW-22 tai F-SW 25 (SFS-EN 29454-1).

**TAULUKKO 4. VESILAITTEISTOSSA KÄYTETTÄVIEN PE-X PUTKIEN NIMELLISET ULKOHALKAISIJAT JA VÄHIMMÄISSEINÄMÄNPAKSUUDET.**

Nimellinen ulkohalkaisija $d_n$	mm	10	12	15	18	22	25	28	32	40	63	75	90	110
Nimellinen seinämän paksuus $e_n$	mm	1,8	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,4	5,5	8,7	10,3	12,3	15,1
Sisähalkaisija	mm	6,4	8,0	10,0	13,0	16,0	18,0	20,0	23,2	29,0	45,6	54,4	65,4	79,8

**TAULUKKO 5. VESILAITTEISTOSSA KÄYTETTÄVIEN MONIKERROSPUTKIEN NIMELLISET ULKOHALKAISIJAT JA VÄHIMMÄISSEINÄMÄNPAKSUUDET.**

Nimellinen ulkohalkaisija $d_n$	mm	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110
Nimellinen seinämän paksuus $e_n$	mm	2,0	2,0 2,25	2,5	3,0	3,5	4,0 4,0	4,5 4,5	7,5	8,5	10,0
Sisähalkaisija	mm	12,0	16,0 15,5	20,0	26,0	33,0	42,0 32,0	54,0 41,0	60,0	73,0	90,0

**VIITTEET**

1. SFS-EN 1057 Kupari ja kupariseokset. Saumattomat pyöreät kupariputket LVI-käyttöön.
2. SFS-EN 12201-1 Muoviputkijärjestelmät talousveden johtamiseen. Polyeteeni (PE). Osa 1: Yleistä.
3. SFS-EN 12201-2 Muoviputkijärjestelmät talousveden johtamiseen. Polyeteeni (PE). Osa 2: Putket.
4. SFS-EN ISO 15875-1 Muoviputkijärjestelmät kuuma- ja kylmävesiasennuksiin. Ristisilloitettu polyeteeni (PE-X). Osa 1: Yleistä.
5. SFS-EN ISO 15875-2 Muoviputkijärjestelmät kuuma- ja kylmävesiasennuksiin. Ristisilloitettu polyeteeni (PE-X). Osa 2: Putket.
6. SFS-EN ISO 15874-1:en Muoviputkijärjestelmät kuuma- ja kylmävesiasennuksiin. Polypropyleeni (PP). Osa 1: Yleistä.
7. SFS-EN ISO 15874-2:en Muoviputkijärjestelmät kuuma- ja kylmävesiasennuksiin. Polypropyleeni (PP). Osa 2: Putket.
8. ISO 2016:1981 Capillary solder fittings for copper tubes. Assembly dimensions and tests.
9. SFS-EN 1044:en Kovajuotto. Juotteet.

**Liite 2.** (Taulukko vuoden 1987 D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet -sädöksestä).

**Taulukko 9**

Vesilaitteistoon hyväksytyt putkimateriaalit, liitostavat ja käyttöalueet

MATERIAALI	LIITOKSET	HYVÄKSYTTY KÄYTTÖALUE				Huomautuksia
		Maassa Vaihd.	Ei-vaihd.	Rakennuksessa Vaihd.	Ei-vaihd.	
<b>METALLIPUTKET</b>						
VALURAUTA	Ilman	k	eh	k	eh	Bitumoitu Betonoitu Sinkitty, bitumoitu nopeus ≤ 1,0 m/s
	Kumirengas	k	eh	k	eh	
	Laippa	k	eh	k	eh	
SINKITTY TERÄS 1)	Ilman	eh	eh	k	eh	nopeus ≤ 4 m/s
	Kierre	eh	eh	k	eh	
	Laippa	eh	eh	k	eh	
RUOSTUMATON JA HAPONKESTÄVÄ TERÄS	Ilman	k	k	kl	k	6,5 < pH < 9,0 s ≥ 1,5 mm nopeus ≤ 15 m/s
	Hitsaus	k	k	kl	k	
	Juotos	eh	eh	kl	k	
	Kierre	eh	eh	kl	eh	
	Puristus 2) Laippa	eh k	eh k	kl kl	eh k	
KUPARI 3)	Ilman	kl	kl	kl	kl	6,5 < pH < 9,0 nopeus katso taulukko 10
	Juotos 5)	kl	kl	kl	kl	
	Puristus 2)	kl	eh	kl	eh	
	Laippa	kl	eh	kl	eh	
	Kierre	eh	eh	kl	eh	
<b>MUOVIPUTKET</b>						
PVC	Ilman	k	k	k	k	
	Kumirengas	k	eh	k	eh	
	Laippa	k	eh	k	eh	
PEL 4)	Ilman	k	k	k	k	
	Laippa	k	eh	k	eh	
	Puristus	k	eh	k	eh	
PEH 4), PEM 4), PP	Ilman	k	k	k	k	PP:ia ei virtaus- suunnassa kuparin jälkeen.
	Hitsaus	k	k	k	k	
	Kumirengas	k	eh	k	eh	
	Laippa	k	eh	k	eh	
	Puristus 2)	k	eh	k	eh	
PB	Ilman	kl	k	kl	k	Jatkuva lämpö- tila enint. 70°C.
	Puristus 2)	kl	eh	kl	eh	
	Laippa	kl	eh	kl	eh	
PEX	Ilman	kl	k	kl	k	Jatkuva lämpö- tila enint. 70°C.
	Puristus 2)	kl	eh	kl	eh	

1) Kupari ja teräs hyväksytään samassa järjestelmässä edellyttäen, että kaikki kupariosat asennetaan veden virtaussuunnassa teräsosien jälkeen.

2) Messinkiosien on oltava sinkinkadon kestäviä veden koskettamilta osiltaan.

3) Märkätilojen lattiarakenteisiin asennetaan kupariputki ilman liitoksia ja suojataan vedenpitävällä vaipalla.

4) Ei saa asettaa öljyperäiseen maahan.

5) Juotteen hopeapitoisuus vähintään 2 %.

kl = hyväksytty kylmään ja lämpimään veteen

eh = ei hyväksytty

k = hyväksytty kylmään veteen

s = seinämän paksuus

**Taulukko 10.**

Syöpymisen kannalta suurin hyväksytty vedennopeus kuparijohdossa

Vesijohto	Asennustapa	Suurin hyväksytty nopeus m/s, kun veden lämpötila on °C 1)				Huomautuksia
		10°	50°	70°	90°	
Jakojohto	Vaihdeettava	4,0	3,0	2,5	2,0	
	Ei vaihdettava	2,0	1,5	1,3	1,0	
Kytkenäjohto (virtaus satun- naista ja lyhyt- aikaista)	Vaihdeettava	16,0	12,0	10,0	8,0	
	Ei vaihdettava	4,0	3,0	2,5	2,0	
Johto, jossa virtaus on jat- kuvaa, esim. kierto johto	Vaihdeettava tai ei-vaihdeettava	1,0	1,0	1,0	1,0	Mitoitusarvona käytetään enintään 0,5 m/s

1) Kylmävesijohto voidaan yleensä mitoitaa lämpötilalle 10°C ja lämminvesijohto 50 °C:lle. Mitoituksessa on keskilämpötila määräävä, eivätkä yksittäiset huiput.