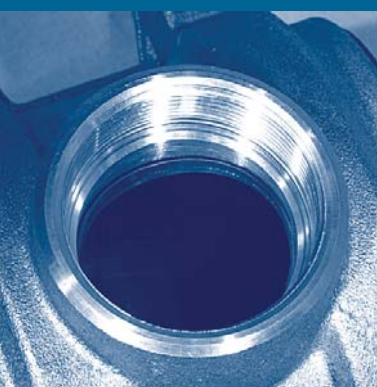


KEKKI TOMI K., KEINÄNEN-TOIVOLA MINNA M.,  
KAUNISTO TUIJA, LUNTAMO MARJA

# TALOUSVEDEN KANSSA KOSKETUKSISSA OLEVAT VERKOSTOMATERIAALIT SUOMESSA



VESI-INSTITUUTIN JULKAISUJA 1



# **TALOUSVEDEN KANSSA KOSKETUKSISSA OLEVAT VERKOSTOMATERIAALIT SUOMESSA**

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

2007

Vesi-Instituutin julkaisu 1

1. painos

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

Painopaikka: Karhukopio, Turku

Kansikuvat: Marko Mikkola, Prizztech Oy

ISBN 978-952-99840-0-8 (nid.)

ISBN 978-952-99840-1-5 (PDF)

ISSN 1796-7376



## Tiivistelmä

Jakeluverkostoissa ja kiinteistöjen putkistoissa on erilaisia materiaaleja, jotka ovat kosketuksissa talousveden kanssa. Talousveden viipymä verkostoissa saattaa olla useita vuorokausia, joskus jopa enemmänkin. Materiaalit ja talousvesi ovat monimutkaisessa vuorovaikutuksessa keskenään, minkä seurauksena veden laatu saattaa heikentyä ja/tai materiaaleissa tapahtua epätoivottuja muutoksia.

Projektin tavoitteena oli selvittää Suomessa vedenjakeluverkostoissa ja kiinteistöverkostoissa käytettävät materiaalit lähtien vedenkäsittelylaitokselta tai -ottamolta ja päätyen käyttäjän hanaan. Myös pinnoitteita ja tiivistemateriaaleja selvitettiin. Eri materiaaleista selvitettiin rakenne, koostumus, valmistus, käyttö, liitokset ja vuorovaikutukset talousveden kanssa.

Näitä tietoja tarvitaan mm. EU:ssa valmisteilla olevan uuden tuotehyväksyntäjärjestelmän (European Acceptance Scheme, EAS) työstämisessä. EAS kattaa ne rakennustuotteiden materiaalit, jotka ovat kosketuksissa talousveden kanssa kiinteistöissä ja vesihuoltolaitosten vesijohtoverkostoissa.

Selvityksen tiedot perustuvat tehtyihin kyselyihin, haastatteluihin, valmistajien internet-sivuilla olleisiin tietoihin sekä suomalaisen ja kansainväliseen kirjallisuuteen. Kyselyt talousveden kanssa kosketuksissa olevista materiaaleista tehtiin kesällä 2006 vesihuoltolaitoksille, tuotteiden valmistajille ja maahantuojille. Kyselyihin vastasi 48 vesilaitosta, joiden toimialueella on 50 % Suomen väestöstä ja jotka jakavat 56 % toimitetun veden määrästä. Selvitys kattoi 15 000 km jakeluverkostoa, joka on n. 18 % verkostojen kokonaispituudesta. Valmistajille ja maahantuojille lähetettyyn kyselyyn saatiin 10 vastausta.

Selvityksen perusteella keskisuurissa ja suurissa vesilaitoksissa Suomessa vedenjakeluverkostojen putkimateriaalien osuudet (%) ovat: kova polyeteeni 28,6; pallografiittirauta 22,5; polyvinyylidikloridi 17,2; harmaa valurauta 10,4; muovit (tyyppi ei tiedossa) 9,6; pehmeä polyeteeni 3,2; asbestisementti 2,8; muut (käytännössä suurin osa terästä) 2,8; keskikova polyeteeni 2,5; ruostumaton/haponkestävä teräs 0,2. Muovien kokonaisuus on 61 %, valuraudan 33 % ja muiden materiaalien 6 %. Suuret ja keskisuuret vesilaitokset käyttävät useampaa eri putkimateriaalia kuin pienet laitokset. Kiinteistöissä käytössä olevat päämateriaalit ovat kupari, messinki, ruostumaton teräs, sinkitty teräs sekä polyeteenit. Nykyisin asennettavat putkimateriaalit ovat lähinnä kupari ja polyeteenit. Verkostomateriaalien pinnoitteina Suomessa on käytössä mm. sementtilaastia, bitumia, emalia, epoksimuoveja, kumeja, polyestereitä ja polytetrafluorietyyleeniä.

Selvityksen avulla saatiin tietoa verkostomateriaalien koostumuksista, ominaisuuksista, valmistuksesta ja käytöstä nyt ja ennen. Selvitys osoittaa, että suomalaisissa kiinteistö- ja jakeluverkostoissa on käytössä ja asennetaan paljon erilaisia materiaaleja. Tietoa käytetyistä materiaaleista tulisi kuitenkin lisätä ja tarkentaa. Myös tieto materiaalien ja veden välisistä vuorovaikutusilmiöistä olosuhteissamme on puutteellista. Käytetyt materiaalit ovat osana verkostoja vuosikymmeniä, joten myös materiaalien pitkäaikaiskäyttämistä verkostoissa tulisi selvittää. Veden ja eri materiaalien välisen vuorovaikutuksen selvittäminen mahdollistaa verkostojen paremman hallinnan. Se antaa myös nykyistä paremmat lähtökohdat vaikuttaa tulevaan eurooppalaiseen tuotehyväksyntäjärjestelmään, EAS:ään suomalaiset olosuhteet huomioiden. Selvityksessä koottu tieto käytetyistä materiaaleista ja vuorovaikutusilmiöistä kiinteistö- ja jakeluverkostoissa mahdollistaa verkostojen tehokkaamman terveydellisten, teknisten, taloudellisten ja tutkimuksellisten näkökohtien huomioimisen.



## **Abstract**

### **(Materials in contact with drinking water in Finland)**

There are several different materials in the distribution network and water supply systems in houses that are in contact with drinking water. Drinking water spends most of its time in the networks. Materials and tap water are in a complex interaction, which can result in the deterioration of water quality and/or the deterioration of materials.

The focus of this project was to define the materials used in Finnish water distribution networks and supply systems in houses from the waterworks to the consumer's tap. Coatings and gasket materials were also identified. The structure, composition, manufacture, use, fittings and interactions between water and the materials were identified.

This data is needed among other things in the preparation of the European product acceptance system for materials in contact with tap water (European Acceptance Scheme, EAS). EAS covers the construction materials in contact with drinking water in distribution networks and water supply systems in houses.

The results in the study are based on surveys, interviews, manufacturers' websites and Finnish and foreign literature. The surveys on materials in contact with drinking water were sent out in summer 2006 to waterworks and product manufacturers and importers. 48 waterworks responded to the survey. They account for approximately 56 % of the water supply and 50 % of the population in Finland. Their networks cover approximately 15 000 km of pipelines, 18 % of the whole distribution network. 10 manufacturers and importers also responded.

The results showed that especially in large and middle size waterworks in Finland, the pipe materials used and the proportions of them (%) in distribution networks were for high density polyethylene 28.6; ductile iron 22.5; polyvinylchloride 17.2; grey cast iron 10.4; plastics (not defined) 9.6; low density polyethylene 3.2; asbestos cement 2.8; others (mostly carbon steel) 2.8; middle density polyethylene 2.5; stainless steel 0.2. Altogether the proportion of plastics was 61 %, the proportion of cast iron 33 % and other materials 6 %. Large and middle size waterworks have more different types of pipe materials in use than small waterworks. The principal materials used in supply systems in houses are copper, brass, stainless steel, galvanised steel and polyethylenes. The main pipe materials are copper and polyethylenes. Among others, cement-mortar, bitumen, epoxides, rubbers, polyesters and polytetrafluoroethylene are in use as coatings in water distribution networks and house plumbing.

Knowledge was gathered in this study of the materials used, their composition, properties, manufacture and use now and earlier in Finland. Many materials are in use in drinking water distribution networks and supply systems in houses. We still need more accurate information on materials that are in use in contact with drinking water. There is insufficient knowledge of their interaction with water in Finnish networks. These materials are part of the water systems for decades after their installation and the long-term behaviour of the materials is essential and should be studied. Understanding the interaction between water and materials will benefit us in the understanding and management of networks and influencing the forthcoming European product acceptance system, EAS. This study summarises the materials used in Finnish distribution networks and supply systems in houses and their interaction with water as currently understood and enables a more efficient consideration of health, technical, economic and scientific aspects.





## Lyhenteet

<b>ABS</b>	ABS-muovi (acrylonitrile-butadiene-styrene)
<b>AoC</b>	tuotteiden vaatimustenmukaisuuden osoittamismenettely (Attestation of Conformity)
<b>Cu-DHP</b>	fosforideoksidoitu kupari (phosphorus deoxidized copper)
<b>CIIR</b>	klooributyylilikumi (chloro butyl rubber)
<b>CR</b>	kloropreenikumi (chloroprene rubber)
<b>DN</b>	nimelliskoko
<b>EAS</b>	valmisteilla oleva EU:n tuotehyväksyntäjärjestelmä talousveden kanssa kosketuksissa oleville materiaaleille (European Acceptance Scheme)
<b>EP</b>	epoksimuovi (epoxide plastic)
<b>EPDM, EPM</b>	eteeni-propeenikumi (ethylene propylene diene monomer rubber)
<b>FBE</b>	(fusion bonded epoxy coating)
<b>FE</b>	fluorikumit (fluoro rubbers)
<b>GRP</b>	lasikuituvahvisteinen muovi (glass fiber-reinforced plastic)
<b>MIC</b>	mikrobiologinen korrosio (microbially induced corrosion / microbiologically influenced corrosion)
<b>MRS</b>	pienin vaadittu lujuus (minimum required strength)
<b>NBR</b>	nitriilikumi (nitrile rubber)
<b>NOM</b>	luonnollinen orgaaninen aine (natural organic matter)
<b>NR</b>	luonnonkumi (natural rubber)
<b>NS</b>	nimelliskoko
<b>PA</b>	polyamidi (polyamide)
<b>PB</b>	polybuteeni (polybutylene)
<b>PC</b>	polykarbonaatti (polycarbonate)
<b>PE-C / CPE</b>	kloorattu polyeteeni (chlorinated polyethylene)
<b>PEH / HDPE / PE-HD</b>	kova polyeteeni, korkeatiheyksinen polyeteeni (high density polyethylene)
<b>PEL / LDPE / PE-LD</b>	pehmeä polyeteeni (low density polyethylene)
<b>PEM / MDPE / PE-MD</b>	keskikova polyeteeni (medium density polyethylene)
<b>PE-RT</b>	(polyethylene of raised temperature resistance)
<b>PET / PETP</b>	polyteenitereftalaatti (polyethylene terephthalate)
<b>PEX</b>	ristisilloitettu polyeteeni (crosslinked polyethylene)
<b>PN</b>	nimellispaine
<b>POM</b>	polyasetaali (polyacetal, polyoxymethylene)
<b>PP</b>	polypropeeni (polypropylene)
<b>PPO</b>	polyfenyleenioksidi (polyphenylene oxide)
<b>PPS</b>	polyfenyleenisulfidi (polyphenylene sulfide)
<b>PPSU</b>	polyfenyylisulfoni (polyphenylsulfone)
<b>PSU</b>	polysulfoni (polysulfone)
<b>PTFE</b>	polytetrafluorietyleeni (polytetrafluoroethylene)
<b>PUR</b>	polyuretaani (polyurethane)
<b>PVC</b>	polyvinyylikloridi (polyvinylchloride)
<b>PVC-C / CPVC</b>	jälkikloorattu PVC (chlorinated polyvinylchloride)
<b>PVC-U</b>	pehmittämätön PVC (unplasticized PVC, uPVC)
<b>PVDC</b>	polyvinyyliideenikloridi (polyvinylidene dichloride)
<b>REACH</b>	EU:n tuleva kemikaalasetus (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals)
<b>SAN</b>	styreenin ja akrylinitriilin kopolymeeri (styrene acrylonitrile)

<b>SBR</b>	styreenibutadieenikumi (styrene butadiene rubber)
<b>SRB</b>	sulfaattia pelkistävät bakteerit (sulphate reducing bacteria)
<b>TOC</b>	kokonaisorgaaninen hiili (total organic carbon)
<b>UV</b>	ultraviolettivalo (ultraviolet light)
<b>VC / VCM</b>	vinyylikloridi / vinyylikloridimonomeeri (vinyl chloride / vinyl chloride monomer)

# Sisällysluettelo

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 SELVITYKSEN TOTEUTUS.....</b>	<b>12</b>
<b>3 LAITTEET JA MATERIAALIT .....</b>	<b>13</b>
<b>4 MATERIAALIEN JA VEDEN VÄLISET VUOROVAIKUTUSILMIÖT .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Veden laatuun vaikuttavia tekijöitä .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Korroosio ja liukeneminen.....</b>	<b>21</b>
4.2.1 Metallien korroosio .....	21
4.2.2 Veden laadun vaikutukset.....	22
4.2.3 Muiden materiaalien liukeneminen .....	23
<b>4.3 Biofilmit .....</b>	<b>24</b>
4.3.1 Koostumus ja rakenne .....	24
4.3.2 Muodostumiseen ja kasvuun vaikuttavat tekijät.....	24
4.3.3 Mikrobitoiminnan merkitys.....	26
<b>5 SÄÄDÖKSIÄ .....</b>	<b>28</b>
<b>6 RAKENNUSTUOTTEIDEN TUOTEHYVÄKSYNTÄ .....</b>	<b>30</b>
<b>6.1 Kansalliset viranomaishyväksynät.....</b>	<b>30</b>
<b>6.2 Markkinaehtoiset hyväksynät .....</b>	<b>31</b>
<b>6.3 Tuleva eurooppalainen tuotehyväksyntämenettely (European Acceptance Scheme, EAS) .....</b>	<b>32</b>
<b>7 VEDENJAKELUVERKOSTOT JA MATERIAALIT .....</b>	<b>34</b>
<b>7.1 Metallit.....</b>	<b>44</b>
7.1.1 Harmaa valurauta.....	45
7.1.2 Pallografiittirauta.....	47
7.1.3 Teräs .....	48
7.1.4 Ruostumaton teräs .....	50
7.1.5 Muut metallit .....	51
<b>7.2 Sementtipohjaiset materiaalit .....</b>	<b>52</b>
7.2.1 Asbestisementti.....	52
7.2.2 Betoni .....	54
<b>7.3 Muovit.....</b>	<b>55</b>
7.3.1 Polyeteenit .....	58
7.3.1.1 Kova polyeteeni (PEH).....	58
7.3.1.2 Keskikova polyeteeni (PEM).....	60
7.3.1.3 Pehmeä polyeteeni (PEL) .....	61
7.3.1.4 Ristisilloitettu polyeteeni (PEX).....	61
7.3.2 Polyvinyylidikloridi (PVC) .....	61
7.3.3 Muut muovit .....	63
<b>8 KIINTEISTÖVERKOSTOT JA MATERIAALIT.....</b>	<b>66</b>
<b>8.1 Metallit.....</b>	<b>69</b>
8.1.1 Sinkitty teräs.....	69
8.1.2 Ruostumaton teräs .....	70
8.1.3 Kupari.....	70
8.1.4 Messinki .....	72
8.1.5 Muut metallit .....	74

<b>8.2 Muovit</b> .....	75
8.2.1 Polyeteenit.....	76
8.2.1.1 Ristisilloitettu polyeteeni (PEX).....	76
8.2.1.2 PE-RT.....	77
8.2.1.3 Kova polyeteeni (PEH).....	77
8.2.2 Muut muovit.....	77
<b>9 PINNOITTEET JA TIIVISTEET</b> .....	<b>80</b>
<b>9.1 Kumit</b> .....	80
9.1.1 Eteenipropeenikumi (EPDM, EPM, EDM, EPT).....	81
9.1.2 Fluorikumit (FE).....	81
9.1.3 Klooributyylikumi (CIIR) .....	82
9.1.4 Kloropreenikumi (CR).....	82
9.1.5 Luonnonkumi (NR).....	82
9.1.6 Nitrilikumi (NBR).....	82
9.1.7 Polyuretaani (PUR) .....	83
9.1.8 Styreenibutadieenikumi (SBR).....	83
9.1.9 Silikonikumit .....	83
<b>9.2 Muovit</b> .....	84
9.2.1 Epoksimuovit (EP).....	84
9.2.2 Kloorattu polyeteeni.....	85
9.2.3 Polyesterit.....	86
9.2.4 Polytetrafluorietyleni (PTFE).....	86
9.2.5 PVC (pehmitetty).....	86
9.2.6 Polyvinylideenikloridi (PVDC).....	87
<b>9.3 Muut materiaalit</b> .....	87
9.3.1 Betoni/sementtilaasti .....	87
9.3.2 Bitumi.....	89
9.3.3 Emali .....	89
9.3.4 Polysulfidit .....	89
<b>10 POHDINTA</b> .....	<b>90</b>
<b>11 JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>93</b>
<b>Lähdeluettelo</b> .....	<b>94</b>

# 1 Johdanto

Talousveden valmistus ja jakelu veden käyttäjille sisältää raakaveden oton, veden käsittelyn ja jakelun verkostoja pitkin. Perinteisesti on ajateltu, että hyvälaatuisen ja turvallisen talousveden takaamiseksi riittää, kun talousvesi käsitellään huolellisesti vesilaitoksella. Todellisuudessa talousveden laatu voi muuttua huomattavasti jakeluverkostossa ja kiinteistöjen putkistoissa. Verkostoissa on useita erilaisia materiaaleja, jotka ovat kosketuksissa talousveden kanssa. Materiaalit ja talousvesi ovat monimutkaisessa vuorovaikutuksessa keskenään, minkä seurauksena putkistossa voi kasvaa terveydelle haitallisia mikrobeja tai materiaalit voivat syöpyä. Veden ja materiaalien välisen vuorovaikutuksen arviointi on haastavaa, koska jokainen jakeluverkosto on yksilöllinen, veden laatu erilainen ja verkosto sisältää useita eri-ikäisiä materiaaleja erilaisia määriä.

Veden hygieeninen laatu on Suomessa keskimäärin korkea. Vesilaitokset ovat vastuullisia veden laadusta tonttijohdon liittymäkohtaan saakka, mutta valvonta ulottuu käyttäjän hanaan. Kiinteistön omistaja on vastuussa tonttijohdosta ja kiinteistöverkostosta, ja vastaa myös mahdollisista kiinteistöverkoston materiaalien vaikutuksista veden laatuun. Veden ja materiaalien välistä vuorovaikutusta tulisi tarkastella kokonaisuutena, sillä veden laatu tai materiaalien käyttäytyminen voi muuttua kaikissa verkoston osissa. Materiaalitiedon ja veden laadun hallitseminen vaikuttavat myös materiaalien kestävyteen ja vaurioiden todennäköisyyteen sekä sitä kautta myös kustannuksiin.

EU:ssa ollaan valmistelemaan useita hyväksymisjärjestelmiä ja asetuksia, jotka vaikuttavat talousveden valmistukseen ja jakeluun. Talousveden kanssa kosketuksissa oleviin materiaaleihin tulevat vaikuttamaan EU:n kemikaaliasetus REACH ja EAS-tuotehyväksyntämenettely. REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals) tulee vaikuttamaan siihen mitä kemikaaleja (= alkuaineet, aineet jne.) voidaan käyttää talousveden käsittelyssä ja materiaalien valmistuksessa. EAS (European Acceptance Scheme) -tuotehyväksyntämenettely tulee koskemaan talousveden kanssa kosketuksissa olevia rakennustuotteita kuten putkia ja niiden materiaaleja. EAS:n valmistelutyö on vielä kesken, mutta on mahdollista, että se tulee kattamaan myös kiinteistöjen lämpimän talousveden putket ja laitteet. EAS:ssä määritellään testauskäytännöt ja vaatimukset tulevaisuudessa verkostoihin asennettaville tuotteille (materiaaleille). Tietoa verkostojen materiaaleista ja niiden ominaisuuksista tarvitaan mm. EAS-valmistelutyössä.

Työn yhtenä päätavoitteena oli selvittää suomalaisten vedenjakelu- ja kiinteistöverkostojen materiaalit. Kiinteistöistä selvitettiin sekä kylmän että lämpimän veden kanssa käytetyt materiaalit, vaikka talousvesiasetuksen mukaan lämmin vesi ei ole talousvettä. Työssä tarkasteltiin talousveden koko jakeluketjua vedenkäsittelylaitokselta käyttäjän hanaan saakka. Jatkossa tässä selvityksessä vesilaitoksella tarkoitetaan sekä vedenottoa että vedenkäsittelylaitoksia. Materiaaleista selvitettiin rakenne, koostumus, valmistus, käyttö, liitokset ja vuorovaikutukset veden kanssa. Projekti toteutettiin tekemällä kyselyt vesihuoltolaitoksille, valmistajille ja maahantuojille, haastatteluilla, sekä hyödyntämällä valmistajien internet-sivuja ja suomalaisia ja kansainvälisiä tutkimustuloksia ja kirjallisuutta.

Selvitys on rahoitettu Prizztech Oy:n kuuluvan Vesi-Instituutin perusrahoituksella. Vuosina 2006 ja 2007 Vesi-Instituutin rahoittajina olivat Satakuntaliitto (EU:n aluekehitysrahaa, EAKR), Rauman Seudun Kehitys Oy, Outokumpu Pori Tube Oy, Oras Oy ja Uponor Suomi Oy.

Vesi-Instituutti ja Prizztech Oy kiittävät kaikkia kyselyihin ja haastatteluihin osallistuneita vesilaitoksia, valmistajia ja maahantuojia.

## 2 Selvityksen toteutus

Selvityksessä on käytetty julkisesti saatavilla olevaa tietoa ja työtä varten tehtyjä kyselyitä. Lähteinä on käytetty alan kotimaista ja ulkomaista kirjallisuutta, tieteellisiä artikkeleita sekä valmistajien ja maahantuojien tuotetietoja. Yhtenä päälähteenä on ollut Vesi-Instituutin kokoama tutkimuksen tietokanta, jonka avulla aiheesta on saatu järjestelmällisesti tietoa. Lisäksi on hyödynnetty Vesi-Instituutin tekemiä materiaalikyselyjä vesilaitoksille, valmistajille ja maahantuojille. Kyselyiden avulla saatiin yleiskuva siitä, mitä materiaaleja on käytössä sekä niihin liittyvää oheistietoa.

Vesi-Instituutin toteuttama vesilaitosten materiaalikysely lähetettiin sähköpostilla 457 suomalaiselle vesilaitokselle toukokuussa 2006. Kyselyssä tiedusteltiin laitosten yleisiä tietoja, verkoston putkimateriaalien pituuksia, pinnoitettuja osuuksia, materiaalien käyttöönotto- ja mahdollisia asennuksen lopettamisvuosia, kaivamattomien menetelmien käyttöä, uudisrakentamisessa käytettyjä putkimateriaaleja sekä korjaukseen ja saneeraukseen käytettyjä materiaaleja. Lisäksi kysyttiin vaurioista ja niiden määrästä, mutta nämä tulokset julkistetaan myöhemmin. Kyselyyn vastasi yhteensä 50 laitosta. Näistä laitoksista tulosten käsittelyyn otettiin mukaan 45 vesilaitosta ja kolme tukkuvesilaitosta. Kyseiset vesilaitokset toimittavat vettä n. 2,27 miljoonalle ihmiselle ja niiden toimittaman veden kokonaismäärä on n. 231 milj. m<sup>3</sup>. Suomen Ympäristökeskuksen keräämien vesihuoltolaitostilastojen mukaan vesilaitoksien jakeluverkostoissa oli vuonna 2000 n. 4,6 milj. käyttäjää ja toimitetun veden kokonaismäärä n. 408 milj. m<sup>3</sup> (Lapinlahti ja Raassina 2002). Kysely kattoi siis n. 50 % vesilaitosten toiminta-alueella olevasta väestöstä ja n. 56 % toimitetun veden määrästä. Tukkuvesilaitoksien antamia tietoja ei laskettu mukaan edellisiin lukuihin, jotta mahdollinen päällekkäisyys asiakaslaitoksien kanssa estyisi.

Kyselyyn vastanneista laitoksista 64,6 % käytti raakavesilähteenään pintavettä, 21,6 % pohjavettä ja 13,6 % tekopohjavettä. Liittyjiä vastanneilla oli yhteensä n. 235700, joista keskimäärin 79 % oli pientaloja, 11 % kerrostaloja ja 10 % teollisuutta. Laitoksien verkostojen materiaaleja verrattiin keskenään myös erikokoisissa laitoksissa. 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 likipitäen samat kuin laitoksen asiakkaiden määrän perusteella tehty jako: yli 70000, 5000-70000 ja alle 5000 asukasta.

Suomen Ympäristökeskuksen tilastojen mukaan vesilaitoksilla oli verkostoa vuonna 2000 yhteensä 83600 km (Lapinlahti ja Raassina 2002). Selvityksen kyselyyn vastanneiden vesi- ja tukkuvesilaitosten verkostot olivat yhteensä 14980 km, joka on 18 % verkostojen pituudesta. Kyselyyn vastasivat lähinnä suuret ja keskisuuret vesilaitokset, pienten laitosten vastausten määrä oli vähäisempi.

Valmistajille ja maahantuojille lähetettiin materiaalikysely kesäkuussa 2006. Kysely toimitettiin 29:lle kiinteistö- ja/tai verkostotuotteiden toimittajalle sähköpostitse. Suurin osa kyseisistä yrityksistä toimittaa putkia tai putkijärjestelmiä, mutta mukana oli myös muita vesijohtotuotteita myyviä yrityksiä. Kyselyyn vastasi 10 yritystä. Muiden toimijoiden osalta hyödynnettiin internet-sivuilta kerättyä tietoa. Näillä menetelmillä saatiin koottua tiedossa olevat, tällä hetkellä myytävät tuotteet ja materiaalit sekä kiinteistö- että vedenjakeluverkostoissa.

### 3 Laitteet ja materiaalit

Verkostot voidaan jakaa maan alla sijaitseviin vesihuoltolaitosten vedenjakeluverkostoihin ja rakennuksissa sijaitseviin kiinteistöjen verkostoihin. Syynä jaotteluun ovat mm. lainsäädännölliset erot, vastuut, historia sekä käytetyt materiaalit. Selvityksessä tonttijohdot on sisällytetty jakeluverkostoon, koska ne ovat materiaaleiltaan jakeluverkoston kaltaisia.

Tässä selvityksen osassa jakeluverkostojen ja kiinteistöjen veden kanssa kosketuksissa olevia materiaaleja ja laitteita pyritään käsittelemään yhdessä, sillä molemmat verkostot ja niissä käytetyt materiaalit ovat yhtä merkityksellisiä veden laadun ja sen verkostossa muuttumisen kannalta. Sekä kiinteistöjen verkostoissa että vedenjakeluverkostoissa käytetään tällä hetkellä metallisia, orgaanisia ja sementtipohjaisia materiaaleja. Orgaaniset materiaalit jaetaan muoveihin ja kumeihin. Eniten erilaisia materiaaleja käytetään putkissa, pinnoitteissa ja tiivisteissä. Putkien pinnoitteilla tarkoitetaan selvityksessä ruiskutettavia, siveltäviä ja putken sisään sujutettavia materiaaleja ja tuotteita. Vanhan putken sisään sujutettavista tuotteista pinnoitteiksi ei lueta valmiita putkia. Selvityksessä jakeluverkoston polyeteeniputkimateriaalit jaotellaan aiemmin käytössä olleen, mutta nykyään standardeista poistuneen tiheyden perustuvan luokitusjärjestelmän mukaan.

Järjestetyn vesihuollon ja materiaalien historia Suomessa alkoi 1800-luvun lopussa, kun sveitsiläisen insinöörin Robert Huberin aloitteesta ryhdyttiin rakentamaan vesijohtoverkosta Helsinkiin (Karjalainen 1995). Kiinteistöjen sisällä käytettiin pitkään lähinnä kylmän veden linjoja lämpimän veden ollessa harvojen saatavilla. Kuitenkin lämpimän veden käyttö kylmän talousveden rinnalla alkoi lisääntyä voimakkaasti 1950-luvulla. Talousveden verkostojen rakentamisen alkuaikoina käytettiin lähes poikkeuksetta metallisia materiaaleja kuten terästä, messinkiä, kuparia ja harmaata valurautaa (taulukko 1). Messinkiä käytettiin lähinnä liitoksissa ja kuparia lämminvesiputkissa.

1950-luvulla Suomessa ryhdyttiin käyttämään putkissa muoveja, joiden käyttö on lisääntynyt vedenjakeluverkostoissa siitä lähtien. Muovilaatuja on tullut lisää ja käyttö laajentunut kiinteistöihin, mutta toisaalta niitä on myös poistunut käytöstä. Polyeteeni on jaoteltu selvityksessä tiheyden perustuen. 1980-luvulla uutena materiaalina Suomessa otettiin käyttöön ristosilloitettu polyeteeni eli PEX ja 2000-luvulla käyttöön tulivat monikerrosmuoviputket, joissa on käytetty alumiinikalvoa. Niistä käytetään myös nimitystä komposiittiputket. Muovit ja kumit ovat ainoat materiaalityypit, joita asennetaan erittäin yleisesti sekä kiinteistö- että jakeluverkostoihin. Muutamia aiemmin käytettyjä materiaaleja kuten asbestisementti ja pinnoittamaton hiiliteräs, ei enää asenneta Suomessa uusiin talousvesilinjoihin. Maailmanlaajuisesti tärkein terveyden vaikuttava ongelma liittyen verkostossa käytettyihin materiaaleihin on lyijy (World Health Organization 2006). Suomessa ei ole käytetty lyijyputkia kuin poikkeustapauksissa vesihuollon alkuvaiheissa, mutta messinki saattaa sisältää vähäisiä lyijymääriä (Karjalainen 1995).

Olenneimmat putken tekniset tiedot vedenjakeluverkostoissa ovat koko eli halkaisija, seinämänpaksuus ja paineluokka (muoviputket), mutta tärkeitä seikkoja ovat myös vetolujuus, kimmomoduli, venymä, taivutus- ja puristuslujuus, lämpölaajenemiskerroin, lämmönjohtokyky, tiheys ja tiiveys. Kiinteistöjen putkistoissa nämä seikat ovat periaatteessa yhtä tärkeitä, mutta sisätiloissa vallitsevien olosuhteiden vuoksi vaikuttavat ilmiöt tai voimien suhteet voivat olla erilaisia. Muoviputkissa halkaisijaan lasketaan mukaan putken seinämän paksuus eli kyseessä on ulkohalkaisija, mutta metalli-, asbestisementti- ja betoniputkissa halkaisijalla tarkoitetaan sisähalkaisijaa (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004). Kiinteistöissä käytettävissä kupariputkissa koko ilmoitetaan ulkohalkaisijan mukaan. Joitakin putkimateriaaleja on ollut ja on edelleen saatavilla vain tietynkokoisina putkina.

Sekä kiinteistö- että vedenjakeluverkostoissa käytettäviä osia ovat putket, liittimet/yhteet, säiliöt, venttiilit, hanat, mittarit ja tiivisteet. Yhteitä ja liittimiä käsitellään selvityksessä synonyymeinä. Tietystä verkoston komponentissa on yleensä käytetty yhtä tai vain muutamaa materiaalia tiettyinä ajanjaksona. Toisaalta vedenjakeluverkostoissa on käytetty yhtä aikaa useampia materiaaleja kuin kiinteistöissä. Materiaalien käyttömääristä ei ole tietoa jakeluverkoston putkimateriaaleja lukuun ottamatta. Selvitykseen on otettu mukaan myös lämminvesijärjestelmien tuotteita, vaikka lämmintä vettä ei lain mukaan luetakaan talousvedeksi. Selvityksessä ei kuitenkaan käsitellä materiaaleja, jotka joutuvat veden kanssa kosketuksiin virheellisen asennuksen tai laitteen vaurioitumisen vuoksi.

Taulukkoon 1 on kerätty Suomessa käytettyjä jakelu- ja kiinteistöverkostojen materiaaleja. Taulukkoa tulkittaessa on hyvä huomata, että materiaalin nimike on voinut olla sama viimeiset sata vuotta, mutta todellinen koostumus tai käyttökohde on saattanut muuttua merkittävästi. Esimerkiksi kuparin käyttö alkoi lämminvesikäytössä, josta se laajeni 1960-luvulla myös kylmään veteen. Lisäksi tiettyjä materiaaleja kuten esim. valurautoja on asennettu pinnoitettuna ja pinnoittamattomina, jolloin ominaisuudetkin ovat muuttuneet olennaisesti. Taulukkoon 1 koottujen Suomessa myytävien verkostomateriaalien tiedot on kerätty valmistajien ja maahantuojien materiaalikyselyistä sekä yritysten internet-sivuilta. Jakeluverkoston materiaalien käyttöaikatiedot on saatu vesilaitoksien materiaalikyselyistä ja muut yksittäiset lähteet on mainittu erikseen taulukossa. Taulukkoon on kerätty veden kanssa kosketuksissa olevat materiaalit, joita tiedetään käytettävän Suomessa, mutta myös materiaaleja, joita on käytetty muualla Euroopassa. Jälkimmäisten materiaalien käytöstä Suomessa ei ole tietoa.

Taulukon 1 tulkinnassa on otettava huomioon, että esim. tietystä materiaalista valmistettua liittintä asennetaan vain tiettyjen putkimateriaalien kanssa. Tiettyä materiaalia ei ole mahdollisesti asennettu enää vuosikymmeniin, mutta sitä on verkostoissa niin kauan kuin tekninen käyttöikä sallii. Verkostoissa on edelleen käytössä esim. sata vuotta vanhoja valurautaputkia tai 1940-luvulla asennettuja sinkittyjä teräs- ja kupariputkia. Vaikka materiaalin sanotaan olevan käytössä, se ei välttämättä tarkoita, että sitä enää asennettaisiin. Osa vesilaitosten materiaalikyselyn tuloksena saaduista käyttöajoista on arvioita. Taulukko 1 ei myöskään kerro mitään materiaalien käyttömääristä vaan mukana on monia vähäisessä määrin käytettyjä materiaaleja.

Kiinteistö- ja vedenjakeluverkostojen materiaalit poikkeavat toisistaan, mutta eroja löytyy myös maantieteellisesti läheisistä vedenjakeluverkostoista. Syinä eroihin ovat mm. historia, pitkät käyttöajat sekä asennettavien materiaalien valintaan liittyvät tekijät.

Suomessa on rakennettu lisää vesijohtoverkostoja kaupunkien kasvaessa ja haja-asutusalueiden vesihuollon laajentuessa. Samalla myös kiinteistöjohtojen pituus on kasvanut. Monien vesijohtojen kunto on heikentynyt ja saneeraus onkin yleistynyt voimakkaasti viime vuosikymmeninä verkostojen ikääntyessä. Saneeruksena pidetään uusimista, peruskorjausta ja perusparannusta. Kiinteistöissä käytetään lähes poikkeuksetta uusimista eli vanhojen putkien tilalle asennetaan uudet. Jakeluverkostoissa on pitkään käytetty erilaisia pinnoitusmenetelmiä, joiden mahdollisuudet ja käyttö ovat lisääntyneet viime vuosikymmenien aikana. Esimerkiksi erilaiset sujutustekniikat ja putkien pinnoitusmenetelmät ovat yleistyneet.



**Taulukko 1.** Asennettavia ja aiemmin asennettuja materiaaleja ja tuotteita talousveden jakelu- ja kiinteistöverkostoissa Suomessa. Materiaalien käyttöönotto- ja asennuksen lopetusaikoja vesijohtoverkostoissa.

<b>Materiaali</b>	<b>Tuotteita jakeluverkostossa</b>	<b>Tuotteita kiinteistöverkostoissa</b>	<b>Käyttöönottoaikoja</b>	<b>Asennuksen lopettamisaikoja</b>
<b>Epäorgaaniset materiaalit</b>				
<b>Metallit</b>				
Alumiini	liittimet (laippa)	hanat (osat), pumpput (osat)	ei tietoa	käytössä
Harmaa valurauta	putket, venttiilit (runko), liittimet	vesimittarit (runko)	n. 1880	käytössä (putkien asennus lopetettu n. 1980)
Kupari	putket (tonttijohdot)	liittimet, putket, lämminvesivaraajat (pinnoite)	1890-luku <sup>a</sup>	käytössä
Messinki	liittimet, venttiilit	hanat (runko), liittimet, mittarit (runko), pumpput (osat), venttiilit, vesimittarit (runko)	1900-luvun alku <sup>a</sup>	käytössä
Pallografiittirauta <sup>b</sup>	putket, venttiilit (runko), liittimet	vesimittarit (runko)	1958	käytössä
Pronssi	ei tietoa	pumpput (osat), venttiilit	ei tietoa	käytössä
Punametalli	liittimet, venttiilit	liittimet, venttiilit	ei tietoa	käytössä
Ruostumaton teräs <sup>c</sup>	liittimet, pumpput, putket, venttiilit (osat)	liittimet, lämminvesivaraajat (runko), mittarit, painevesisäiliöt (runko), pumpput, putket, suodattimet (runko), venttiilit	n. 1940	käytössä

Sinkitty teräs	putket, vesisäiliöt	putket, painevesisäiliöt (runko)	1900-luvun alku <sup>d</sup>	käytössä
Teräs	putket, vesisäiliöt	ei tietoa	n. 1910	käytössä
<b>Muut</b>				
Asbestisementti <sup>c</sup>	putket, liittimet	ei käytetä	n. 1940	1985
Betoni / sementtilaasti	pinnoitteet (putket), vesisäiliöt	ei käytetä	ei tietoa	käytössä
Emali	ei tietoa	lämminvesivaraajat (pinnoite)	ei tietoa	käytössä
<b>Orgaaniset materiaalit</b>				
<b>Muovit</b>				
ABS	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa
Epoksimuovit (EP)	pinnoitteet (SG ja teräs-liittimet, vesimittarit), tiivisteet (vesisäiliöiden saumat)	pinnoitteet (putket)	ei tietoa	käytössä
Kloorattu polyeteeni (PE-C)	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa
Lasikuituvahvisteinen muovi (GRP)	putket <sup>g</sup>	suodattimet (runko)	ei tietoa	käytössä
Polyamidi (PA)	liittimet (osat), pinnoitteet (liittimet, venttiilit)	hanat (osat)	ei tietoa	käytössä
Polyasetaali (POM)	liittimet, venttiilit (runko)	hanat (osat), liittimet (osat)	ei tietoa	käytössä
Polybuteeni (PB)	ei tietoa	putket	1980-luvun alku	1990-luvun alku
Polyesteri <sup>f</sup>	pinnoitteet (tonttijohdot)	suodattimet (osat)	ei tietoa	käytössä
Polyeteeni, kova (PEH)	putket, liittimet	painevesisäiliöt (runko)	1961	käytössä

Polyeteeni, PE-RT	ei tietoa	monikerrospotket	2000-luvun alku	käytössä
Polyeteeni, pehmeä (PEL)	putket	ei tietoa	1956	käytössä
Polyeteeni, keskikova (PEM)	putket	ei tietoa	1965	käytössä
Polyeteeni, ristosilloitettu (PEX)	putket	putket, monikerrospotket	1986	käytössä
Polyeteenitereftalaatti (PETP)	putket/pinnoitteet (tonttijohtojen sujutus)	suodattimet (osat)	ei tietoa	käytössä
Polykarbonaatti (PC)	ei tietoa	pumput (osat)	ei tietoa	käytössä
Polypropeeni (PP)	liittimet (runko)	liittimet (runko), suodattimet (osat), vesimittarit (osat)	ei tietoa	käytössä
Polysulfoni (PSU)	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa
Polytetrafluorietyyleeni (PTFE)	ei tietoa	putkien ja venttiilien tiivisteet	ei tietoa	käytössä
Polyvinyylideenikloridi (PVDC)	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa
Polyvinyylidikloridi (PVC)	putket, liittimet	ei tietoa	1961	käytössä
Polyfenyleenioksidi (PPO)	ei tietoa	pumput (osat)	ei tietoa	käytössä
Polyfenyleenisulfidi (PPS)	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa
Polyfenyylisulfoni (PPSU)	ei tietoa	liittimet (runko), hanat (osat)	ei tietoa	käytössä
Styreenin ja akrylinitriilin kopolymeeri (SAN)	ei tietoa	suodattimet (runko)	ei tietoa	käytössä

---

<b>Kumit</b>				
Eteenipropeenikumi (EPDM)	liittimien, putkien ja venttiilien tiivisteet, pinnoitteet (venttiilin osat)	hanojen, putkien ja venttiilien tiivisteet	ei tietoa	käytössä
Fluorikumit (FE)	liittimien tiivisteet, pinnoitteet (venttiilit)	venttiilien tiivisteet	ei tietoa	käytössä
Klooributylikumi (CIIR)	ei tietoa	putkiliittimien tiivisteet	ei tietoa	käytössä
Kloropreenikumi (CR)	putkien tiivisteet	ei tietoa	ei tietoa	käytössä
Luonnonkumi (NR)	pinnoitteet (venttiilien osat)	ei tietoa	ei tietoa	käytössä
Nitriilikumi (NBR)	liittimien tiivisteet, pinnoitteet (venttiilien osat)	hanojen, liittimien, suodattimien ja venttiilien tiivisteet	ei tietoa	käytössä
Polyuretaani (PUR)	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa
Silikonikumit	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa	ei tietoa
Styreenibutadieenikumi (SBR)	liittimien ja venttiilien tiivisteet	ei tietoa	ei tietoa	käytössä
<b>Muut</b>				
Bitumi	pinnoitteet (putket, säiliöt)	ei tietoa	ei tietoa	1980-luvun alku

ei käytetä = kyseistä materiaalia ei tiedetä käytettävän kyseisessä verkostossa; ei tietoa = tietoa ei ole saatu, mutta materiaalia on/on ollut käytössä muualla kuin Suomessa

Mikäli kohdassa TUOTTEITA ei tuotteen perään ole sulkuihin merkitty mitään, käytetään kyseistä materiaalia sekä rungossa että osissa

<sup>a</sup> Karjalainen 1995

<sup>b</sup> suurin osa asennettavista tuotteista pinnoitettuja tällä hetkellä

<sup>c</sup> sisältää haponkestävän teräksen

<sup>d</sup> Järvinen ym. 1987

<sup>e</sup> asbestisementtiä ei myydä enää Suomessa

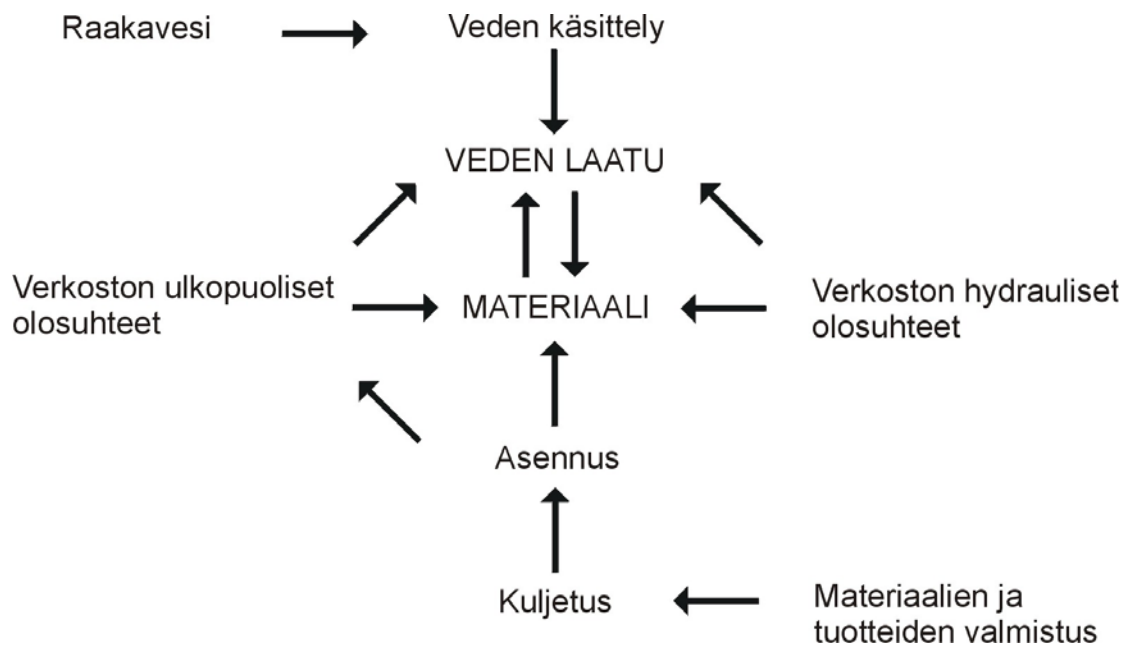
<sup>f</sup> PETP ja PC kuuluvat polyestereihin. Taulukossa polyesterin kohdalla ne tuotteet, joista ei tarkempaa jaottelua.

<sup>g</sup> putkia ei tiettävästi käytössä vesijohtoverkostoissa Suomessa

## 4 Materiaalien ja veden väliset vuorovaikutusilmiöt

### 4.1 Veden laatuun vaikuttavia tekijöitä

Selvityksessä tarkastellaan materiaalien ja veden laadun vuorovaikutusta. Tulevan tuotehyväksyntäjärjestelmän, EAS:n (kappale 6.3) lähtökohtana on, että materiaalit ovat turvallisia eivätkä ne vaikuta veden laatuun heikentävästi. Muutokset veden laadussa voivat aiheuttaa muutoksia materiaaleissa ja päinvastoin. Tämä vuorovaikutus ilmenee biofilmien toiminnan ja korroosion kautta. Vedenlaatuun ja materiaaleihin vaikuttavat monet eri tekijät ja ilmiöt, jotka ovat kytkeytyneet toisiinsa (kuvat 1 ja 2).

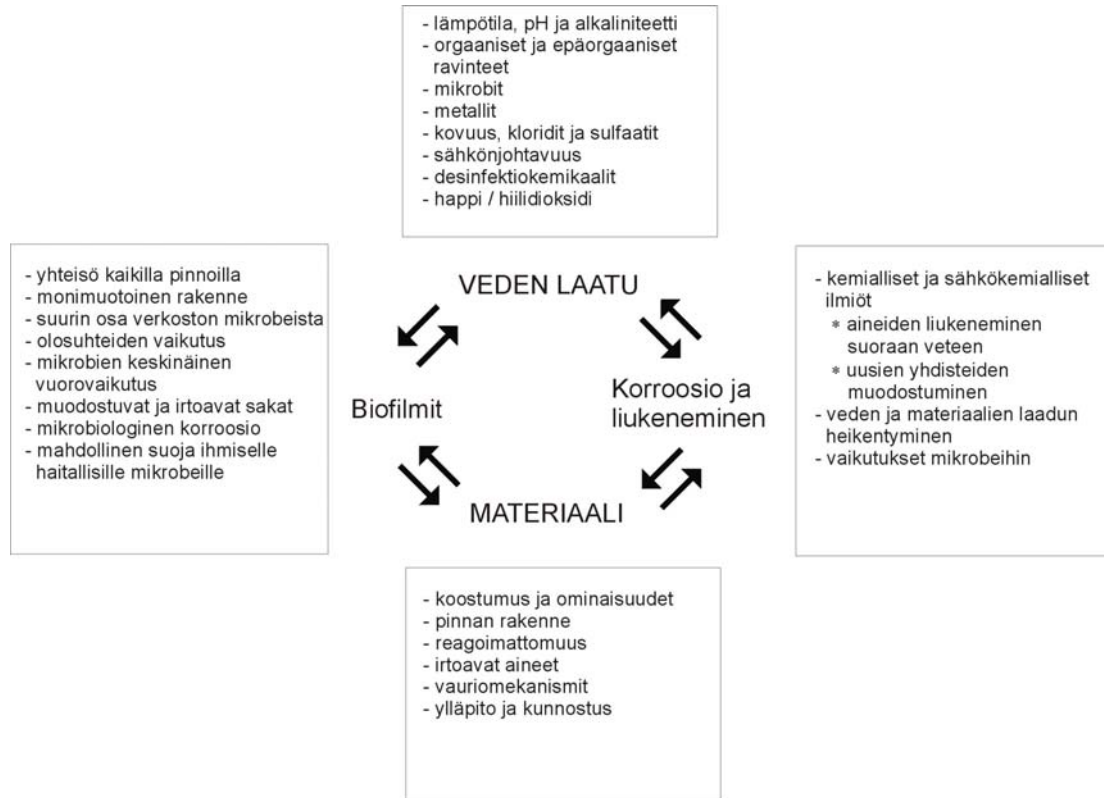


**Kuva 1.** Materiaaleihin ja veden laatuun vaikuttavia tekijöitä.

Talousveden laadun perustana on vesilaitoksen käyttämän raakaveden laatu. Suomessa raakavesinä käytetään pintavesiä ja pohjavesiä. Tyypillisesti pintavesissä on orgaanista ainesta sisältävää humusta, josta suurin osa poistuu vesilaitoksen käsittelyprosesseissa. Pohjavedet sisältävät yleensä vähemmän orgaanista ainesta kuin pintavedet. Pintavedet käsitellään aina, kun taas pohjavettä jaetaan verkostoon myös sellaisenaan. Suomen ja muidenkin pohjoismaiden talousvedet ovat tyypillisesti muuhun Eurooppaan nähden pehmeitä ja happamia.

Veden laatuun ja materiaaleihin vaikuttavia muita tekijöitä ovat verkoston hydrauliset olosuhteet (virtaus, viipymä, paineiskut) sekä verkoston ulkopuoliset olosuhteet, putkien valmistus, kuljetus ja asennus. Olosuhteet vaihtelevat usein voimakkaasti vuorokauden- ja vuodenaikojen mukaan. Hydrauliset tekijät vaikuttavat korroosioon ja mikrobien kasvuun sekä materiaalien mekaaniseen kestoan ja kerrostumien syntymiseen ja irtoamiseen pinnoilla. Verkoston ulkopuoliset olosuhteet (mm. routa, rakennustoiminta, liikenne) vaikuttavat materiaalien kestävyys- ja siten välillisesti myös veden laatuun. Asennustoiminta on välillisesti erittäin tärkeä seikka, sillä asennuksessa tapahtuneet virheet tai puutteet vaikuttavat veden laatuun ja materiaalien kestoan. Esimerkiksi vedenjakeluverkoston uudelle

linjalle tulisi asennuksen jälkeen aina suorittaa huuhtelu, painekoe ja desinfiointi, mutta käytännössä näitä kaikkia ei kaikkialla tehdä. Toisaalta asennustyöhön liittyvät pohjatyöt, käytetyt täyttömateriaalit, asennuksen huolellisuus ja oikeat työtavat osaltaan vaikuttavat kyseisen linjan laatuun. Työn puutteet voivat tulla esille välittömästi linjan mekaanisena heikkoutena, mutta pitkän aikavälin vaikutuksia esim. mikrobeihin ei voida todeta, mikäli välitöntä haittaa ei havaita. Koska laitteet ovat maassa vuosikymmeniä, lisäävät virheet merkittävästi hävikkiveden määrää. Samalla myös vesivälitteisten epidemioiden riski kasvaa. Virheiden aiheuttamat johtolinjan ennaikaiset korjaustoimenpiteet aiheuttavat yleensä aina riskejä ja haittaa kuluttajille.



**Kuva 2.** Materiaalien ja veden välinen vuorovaikutus.

Materiaalista liukenevat aineet voivat suoraan muuttaa veden kemiallista, teknistä tai terveydellistä laatua. Mikrobin toiminta biofilmeissä ja korrosio voivat heikentää veden laatua usealla eri tavalla sekä lyhentää laitteiden käyttöikä. Liukenevat aineet voivat puolestaan vaikuttaa mikrobien kasvuun ja toisaalta myös reagoida desinfiointiainesten kanssa heikentäen veden esteettistä laatua (Rogers ym. 2004). Lämpötiloilla on suuri merkitys korroosionopeuteen ja mikrobien toimintaan verkostossa. Lämpötilojen on todettu vaihtelevan voimakkaasti Suomen pintavesissä, mutta pohjavesissä lämpötila pysyy vakaana vuodenajasta riippumatta (Miettinen ym. 1996a). Verkostoon syötettävän veden lämpötila vaihtelee enemmän pintavesilaitoksissa kuin pohjavesi- ja tekopohjavesilaitoksissa. Kiinteistöissä lämpötila voi nousta turhan korkeaksi puutteellisen eristyksen vuoksi ja jakeluverkostoissa ongelmia voi aiheuttaa esim. kaukolämpöjohdon läheisyys.

Materiaalien ja veden välisessä vuorovaikutuksessa eri materiaalien pinta-alojen erot verkostoissa ovat merkittävä tekijä. Putkimateriaaleilla on ylivoimaisesti suurin pinta-ala ja

tiivisteillä pienin. Vuorovaikutusilmiöiden vaikutus pinta-alaa kohti voi kuitenkin vaihdella voimakkaasti eri materiaaleilla. Pelkkä pinta-ala ei kerro riittävästi materiaalin kokonaisvaikutuksista vaan myös vaikutusaika on merkittävä. Esimerkiksi tiivisteiden läpi voi kulkeutua merkittäviä määriä aineita ympäristöstä. Materiaaliin vaikuttavat tekijät ovat erisuuruiset, kun kyseessä on suuri pääjohto tai pieni tonttijohto. Suurin ero on olosuhteiden nopeampi ja voimakkaampi muuttuminen pienissä johdoissa. Virtaus, lämpötila sekä veden kemiallinen laatu pysyvät tasaisempina suuressa putkessa. Verkosto on siis vuorovaikutusten verkosto ja yhden ”osan” muuttaminen vaikuttaa samalla moneen muuhun asiaan. Havaittavat muutokset voivat tapahtua pienellä viiveellä tai viedä pitkän ajan ilmentyäkseen.

## 4.2 Korroosio ja liukeneminen

### 4.2.1 Metallien korroosio

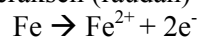
Korroosiolla tarkoitetaan materiaalin reagoimista ympäristönsä kanssa epätoivotuin seurauksin. Metallit esiintyvät luonnossa yleensä yhdisteinä, esimerkiksi oksideina, karbonaateina tai sulfideina. Metallien valmistus- ja muokkausprosesseissa niihin varastoituu huomattavasti energiaa. Korroosioreaktioiden avulla metalli tai metalliseos pyrkii muuttumaan jälleen yhdisteeksi eli termodynaamisesti stabiiliin tilaansa.

Metallin taipumus syöpyä riippuu sen jaloudesta. Jaloimpia ja siis korroosionkestävyydeltään parhaita ovat kulta ja platina, kun taas epäjalompiin metalleihin kuuluu monia yleisiä käyttömetalleja kuten rautaseokset. Metalleille on olemassa galvaanisia jännitesarjoja, joiden perusteella niiden keskinäinen jalousjärjestys tietyssä ympäristössä tunnetaan. Metallien korroosioreaktioiden termodynaamisia tasapainotiloja voidaan tarkastella pH-potentiaalipiirrosten avulla. Niissä kuvataan kussakin pH-potentiaalialueessa vallitsevat stabiilit yhdisteet tai metallien korroosio-, passiivisuus- ja immuunialueet. Passiivialueella metallin pintaan muodostuu suojaava kerrostuma. Immuunialueella metalli on termodynaamisesti pysyvä. Piirrosten avulla ei voida arvioida korroosiokinetiikkaa eli syöpymisen nopeutta.

Metalleilla on kolmiulotteinen hilarakenne, joka käytännössä sisältää aina erilaisia hilavirheitä ja epäpuhtausatomeja. Myös metallien muokkaus ja lämpökäsittelyt muuttavat pintaa heterogeeniseksi, jolloin pinnan taipumus korroosioon eri kohdissa vaihtelee.

Tavallisissa käyttöympäristöissä metallien korroosio on luonteeltaan sähkökemiallista. Sähkökemiallisen korroosion edellytyksenä on elektrolyytti eli sähköä johtava liuos. Tavallisin elektrolyytti on vesi, joka sisältää erilaisia ioneja ja liuenneita kaasuja. Metallien korroosio aiheutuu korroosioparista, joka syntyy joko saman metallipinnan potentiaaliltaan erilaisissa kohdissa tai kahden eri metallin välillä. Korroosioparin jalommasta osapuolesta tulee katodi ja epäjalommasta tulee syöpyvä osapuoli, anodi. Anodireaktiossa metalli hapettuu, jolloin metalli liukenee veteen positiivisina ioneina. Liuenneet metalli-ionit reagoivat veden sisältämien kaasujen ja yhdisteiden kanssa ja muodostavat reaktiotuotteina oksideja, hydroksideja tai reagoivista aineista riippuen muita yhdisteitä tai niiden yhdistelmiä. Katodireaktio on aina pelkistysreaktio, jossa elektronit kulutetaan. Vapautuneet elektronit reagoivat useimmiten hapen kanssa. Korroosion jatkuminen edellyttää anodi- ja katodikohtien muodostumisen lisäksi siis elektrolyyttiä, joka kuljettaa virtaa anodin ja katodin välillä.

Esimerkiksi teräksen (raudan) korroosiossa anodireaktio on



(1)

Neutraaleissa ja alkalisissa (pH-arvo > 6) vesissä katodireaktiona on hapen pelkistyminen

$$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^- \quad (2)$$

Happamissa vesissä katodireaktio on seuraava:



Anodireaktion seurauksena siis teräksestä liukenee rauta-atomeja ja katodireaktion seurauksena muodostuu joko hydroksyyli-ioneja ( $\text{OH}^-$ ) tai vetykaasua ( $\text{H}_2$ ).

Yleisesti metallien korroosioreaktioita voidaan kuvata seuraavalla kaavalla:



Kun syöpyminen on koko pinnalla tasaista, puhutaan metallin yleisestä liukenemisestä. Jos taas korrosio keskittyy vain rajattuihin kohtiin muun pinnan säilyessä syöpymättömänä, ilmiötä kutsutaan piste- tai kuoppakorrosioksi. Paikallinen korrosio voi seinämän läpi edetessään aiheuttaa vuotoja, mutta korroosion seurauksena veteen liukenevan metallin määrä on yleensä pieni. Metalliputken sisäpinnan yleinen liukeneminen ei normaalisti aiheuta vuotoja.

Metalliseoksissa voi tapahtua myös valikoivaa eli selektiivistä liukenemistä, jossa jokin metalliseoksen komponentti liukenee muuta rakennetta nopeammin. Messinkien sinkinkato ja valuraudan grafitoituminen ovat selektiivistä korrosiota. Rakenne säilyttää muotonsa, mutta menettää ajan mittaan lujuutensa ja tiiviytensä.

Korroosion aiheuttamat haitat riippuvat mm. korroosion nopeudesta ja syntyvien reaktiotuotteiden ominaisuuksista. Korroosion seurauksena veteen liukeneva rauta ja sinkki heikentävät veden teknistä laatua. Veteen liuennut kupari taas voi aiheuttaa saniteettikalusteiden värjäytymistä eli nk. sinisen veden häiriötä. Metallien yleisellä liukenemisellä voi olla terveydellistä merkitystä, mutta paikalliskorroosion tuotteilla ja niiden liukenemisellä käytännössä ei ole.

Korroosiotuotteet voivat olla tiiviitä ja pinnassa kiinni pysyviä, jolloin ne voivat estää korroosion jatkumista. Huokoiset ja pinnassa huonosti kiinni olevat kerrokset eivät suojaa pintaa korrosiolta. Esimerkiksi teräksen pinnalle muodostuva ruoste ei estä korroosion etenemistä, kun taas passivoituvien metallien pinnalle muodostuva ohut passiivikalvo suojaa monissa olosuhteissa metallipintaa yleiseltä korrosiolta. Esimerkkejä passivoituvista metalliseoksista ovat ruostumattomat ja haponkestävät teräkset, kupari ja sen seokset sekä alumiini ja titaani.

#### 4.2.2 Veden laadun vaikutukset

Talousvesien syövyttävyyden vaihtelee käytännössä huomattavasti, ja vaikutus veden kanssa kontaktissa olevaan metalliin voi olla joko korrosiota kiihdyttävä tai hidastava ja vaikuttaa joko katodiseen tai anodiseen reaktioon. Veden syövyttävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat veteen liunneen hapen pitoisuus, veden pH-arvo, suolapitoisuus (kloridit, sulfaatit), kovuus ja alkaliteetti (bikarbonaattipitoisuus).

Korroosio neutraaleissa vesiliuoksissa edellyttää siis veteen liuennutta happea, mutta luonnonvesien happipitoisuus (1 - 10 mg/l) on riittävä korroosioreaktioille. Tällöin korroosionopeus riippuu veden pH-arvosta, mutta vaikutukset riippuvat metallityypistä. Teräksen ja valuraudan liukeneminen on neutraaleissa vesissä hyvin tasaista (< 0,1 mm/a),



mutta kiihtyy pH-arvon laskiessa. Hyvin happamissa oloissa teräs syöpyy ilman happeakin vetyä kehittäen. Alkalisissa liuksissa korroosio hidastuu. Kuparin yleistä korroosiota tapahtuu pehmeissä, happamissa ja etenkin hiilidioksidipitoisissa vesissä. Sinkki ja alumiini ovat nk. amfoteerisia metalleja, joiden liukeneminen kiihtyy sekä happamalla että emäksisellä pH-alueella, ja vähäisintä liukeneminen on neutraalilla pH-alueella. (Kunnossapitoyhdistys 2006)

Vedessä olevat suolat nostavat liuksen sähkönjohtavuutta ja kiihdyttävät monien metallien syöpymistä. Suolojen kokonaismäärää voidaan arvioida sähkönjohtavuuden avulla, mutta syövyttävyyden arviointiin pelkkää sähkönjohtavuutta tulee käyttää harkiten.

Veden kovuuden ja alkaliteetin lisääminen hidastavat metallien korroosiota vesiliuksissa pinnoille muodostuvien suojaavien kerrostumien ansiosta. Veden kovuussuolat ovat peräisin maa- ja kallioperän kalsium- ja magnesiummineraaleista. Suomessa kallioperä on suureksi osaksi liukenematonta graniittia, joten kovuussuolojen määrä on pieni verrattuna vaikkapa Keski-Euroopan kalkkikivipitoisiin maaperiin. Suojaavien kerrostumien muodostumisen edellytys on, että vesi on lähellä kalkki-hiilidioksiditasapainoa ja että vedessä on riittävästi happea.

Veteen liuennut hiilidioksidi on myös merkittävä korroosioon vaikuttava tekijä. Hiilidioksidi voi pH-arvosta riippuen esiintyä joko vapaana hiilihappona, bikarbonaattina tai karbonaattina. Neutraalialueella se on suurimmaksi osaksi bikarbonaattina, happamissa oloissa vapaana hiilihappona ja alkalisessa vedessä karbonaattina. Jos vedessä on vapaata hiilidioksidia enemmän kuin kalkki-hiilidioksiditasapaino edellyttää, vesi on aggressiivista.

Lämpötilan kohoaminen vaikuttaa veden kemialliseen koostumukseen ja fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä metallin käyttäytymiseen ja kerrostumien muodostumiseen. Yleensä korroosio kiihtyy lämpötilan noustessa. Veden virtausnopeuden vaikutus korroosioon riippuu metallista, geometriasta ja korroosiomekanismista. Virtausnopeuden kasvaessa esimerkiksi teräksen syöpymisnopeus kiihtyy lisääntyvän hapentuonnin seurauksena.

Metallipinnoilla tapahtuva mikrobiologinen toiminta voi myös aiheuttaa korroosiota. Mikrobit voivat hapettaa rautaa ja mangaania tai tuottaa yhdisteitä, jotka muuttavat olosuhteita metallipinnalla. Sulfaatteja pelkistäviä bakteereita (SRB, sulfate reducing bacteria) voi esiintyä sekä happipitoisissa että hapettomissa vesissä. Happipitoisissa vesissä ne voivat toimia korroosiotuotteiden alla tai järjestelmän nk. kuolleissa kulmissa.

### **4.2.3 Muiden materiaalien liukeneminen**

Myös sementtipohjaisista ja orgaanisista materiaaleista voi liueta veteen sen laatua muuttavia aineita. Hapan ja pehmeä sekä alkaliteetiltaan matala vesi on yleensä aggressiivista sementtipohjaisille materiaaleille, ja liukenemisen seurauksena veden pH-arvo voi nousta. Sementtilaastin valmistuksessa käytetään mm. kesto-ominaisuuksia parantavia epäorgaanisia ja orgaanisia aineita, joten niistä voi liueta myös erilaisia haitallisia aineita sekä mikrobien ravinteita. Aineiden liukeneminen betonista on voimakkainta käytön alkuvaiheessa ja heikentyy tai loppuu ajan myötä.

Muoveista ja kumeista liukenevat aineet voivat heikentää veden laatua suoraan tai välillisesti. Liukenevat aineet voivat olla terveydelle haitallisia tai aiheuttaa haju- ja makuhaittoja. Tietyn polymeerin ominaisuudet vaihtelevat muovin valmistajan tekemän lisäaineistuksen mukaan. Pienimolekyylisinä aineina ne voivat hyvinkin pieninä pitoisuuksina vaikuttaa veden laatuun.

Koska lisäaineet eivät yleensä ole sitoutuneet polymeerirakenteeseen, ne liukenevat helpommin kuin perusrakenne. Liukenevat aineet voivat olla mikrobien ravinteita, jolloin bakteerit ja biofilmit voivat lisääntyä ja aiheuttaa haittoja. Liukeneminen on yleensä voimakkainta käytön alkuvaiheessa ja heikentyy tai loppuu kokonaan ajan myötä.

Muoveilla ei esiinny perinteistä korroosiota, mutta myös niillä on vanhenemisprosesseja, jotka vaikuttavat materiaalin keston. Joissain lähteissä myös näistä ilmiöistä käytetään nimitystä korrosio. Schweitzer (2000) jakaa yksittäiset ilmiöt: fysikaalinen hajoaminen (syynä absorptio, läpäisy, liuotin ym.), hapettuminen (kemialliset sidokset), hydrolyysi (esterisidokset), säteily (UV), lämpöhajoaminen (de- ja repolymerisaatio) tai edellisten yhdistelmät. Näistä esim. säteily ei enää vaikuta käytännössä asentamisen jälkeen, mutta väärä säilytys voi aiheuttaa vaurioita. Muovien ja kumien läpi voi myös diffusoitua haitallisia aineita putken sisään ja veteen.

### **4.3 Biofilmit**

#### **4.3.1 Koostumus ja rakenne**

Kaikilla pinnoilla kuten ihmisen iholla, ruoansulatuskanavassa, kasvien lehdillä ja talousvesiverkostojen putkistoissa kasvaa mikrobeja nk. biofilmeissä. Vaikka talousvesi puhdistetaan ja desinfioidaan vedenkäsittelylaitoksella, on verkostossa aina mikrobeja, jotka muodostavat nopeasti biofilmin kaikille talousveden kanssa kosketuksissa oleville materiaaleille. Biofilmejä ei välttämättä havaitse paljaalla silmällä, sillä niiden paksuus vaihtelee muutamasta mikrometristä millimetreihin. Rautaputkissa biofilmi voi olla hyvinkin silmin havaittava, sillä se on osa putken korroosiotuotteita. Vuosien kuluessa saostumat voivat kasvaa useiden senttien paksuisiksi.

Biofilmit sisältävät vettä, mikrobeja kuten bakteereja, sieniä ja alkueläimiä, ja mikrobien solusta ulos erittämiä polysakkarideja, jotka toimivat biofilmien ”liimana”. Biofilmien rakenne on kolmiulotteinen ja siinä on kanavia mm. ravinteiden kulkeutumiseen. Mikrobitoiminnan seurauksena biofilmeissä on sekä hapellisia että hapettomia kohtia. Talousvesiverkostojen biofilmien bakteerimäärien on havaittu saavuttavan maksimitason kolmen viikon ja neljän kuukauden välillä käyttöönotosta. (Watnick ja Kolter 2000)

#### **4.3.2 Muodostumiseen ja kasvuun vaikuttavat tekijät**

Biofilmien muodostumisen edellytyksenä ovat mikrobit, orgaaniset ja epäorgaaniset ravinteet, lämpö, kiinnittymispinta sekä vesi. Veden käsittelytekniikoilla pyritään tekemään talousvesi mahdollisimman epäedulliseksi mikrobien kasvulle. Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa mikrobeille käyttökelpoisen hiilen määrän on havaittu rajoittavan mikrobikasvua talousvedessä ja biofilmeissä (van der Kooij 1992; LeChevallier ym. 1987). Useissa maissa, kuten Suomessa, Latviassa ja Japanissa, joissa on paljon orgaanista hiiltä raakavesissä, mikrobikasvua rajoittaa hiilen sijasta fosfori (Lehtola ym. 2004a; Miettinen ym. 1996b; Sathasivan ym. 1997). Fosforirajoittuneisuus johtuu osittain myös siitä, että veden puhdistustekniikoista saostus (koagulaatio ja flokkulaatio) poistaa fosforia tehokkaammin kuin hiiltä. Fosfaatteja käytetään ulkomailla vesilaitostekniikassa korroosion ja putkien tukkeutumisen estämiseen (Appenzeller ym. 2001).

Desinfioinnilla kuten kloorauksella, otsonoinnilla ja UV:lla pyritään tuhoamaan talousvedessä elävät mikrobit. Otsoni ja UV vaikuttavat ainoastaan vesilaitoksella, mutta

niillä ei ole tehoa jakeluverkostoissa. Klooripohjaiset desinfiointiaineet vaikuttavat myös verkostoissa. Vapaa kloori kuluu verkostoissa nopeasti kun taas monoklooriamiini tehoa myös biofilmejä vastaan ja vaikutus säilyy pidempään (LeChevallier ym. 1988). Toisaalta klooripitoisuuden 1-1,5 mg Cl<sub>2</sub>/l on havaittu voivan aiheuttaa korroosiota teräksessä ja kuparissa (Pisigan ja Singley 1987). Kloorauksessa huolenaiheena on aiemmin ollut mutageenisten sivutuotteiden muodostuminen. Suomessa klooripitoisuudet verkostoissa ovat yleensä matalia, pohjavesilaitoksissa korkeintaan suuruusluokkaa 0,3 mg/l ja pintavesilaitoksissa 0,5 mg/l. Pohjois-Amerikassa käytetään klooria huomattavasti enemmän kuin Euroopassa, mikä vaikuttaa laitteistojen ja putkimateriaalien kestävyys kiinteistöissä saakka. Valmistajat, jotka toimivat USA:n markkinoilla, joutuvat käyttämään siellä tuotteissaan tietyn kloorinkestävyyden omaavia osia.

Verkostoissa mikrobien kasvuun vaikuttavat lämpötila ja virtausolosuhteet. Biofilmien kasvun ehkäisemiseksi kylmän veden tulisi olla mahdollisimman kylmää ja lämpimän veden mahdollisimman lämmintä. Lämminvesijärjestelmissä lämpötilan tulee olla yli 55 °C, jotta *Legionella* spp:n kasvu voidaan estää (Kusnetsov ym. 2003). Virtausnopeuden vaikutus ei ole yksiselitteinen. Alentuneilla virtausnopeuksilla mm. verkostojen ääripisteissä on havaittu biofilmeistä aiheutuneita ongelmia. Toisaalta korkeampi virtausnopeus saattaa edistää mikrobien ravinteiden saantia ja biofilmien muodostumista.

Biofilmin sisäiset happiolosuhteet voivat vaihdella pienelläkin alueella voimakkaasti. Biofilmeissä on sekä hapellisissa että hapettomissa oloissa viihtyviä bakteerilajeja. Hapettomia kohtia syntyy, koska aerobisten lajien hengitys kuluttaa happea. Sulfaattia pelkistävät bakteerit ja muut anaerobiset tai vähän happea tarvitsevat lajit kasvavat myös hapellisten olojen biofilmeissä. Hapen määrällä on suuri merkitys biofilmien toimintaan ja niissä elävään lajistoon (Keevil 2004).

Biofilmien mikrobit hyödyntävät ravinteita sekä virtaavasta vedestä että materiaalista, johon ne ovat kiinnittyneinä. Materiaalilla on siis vaikutus biofilmien syntymiseen ja säilymiseen kahdella tavalla. Niistä liukenevat aineet voivat lisätä tai vähentää mikrobien kasvua ja toisaalta pinnan mekaaninen rakenne vaikuttaa mikrobien kiinnittymiseen. Biofilmien muodostumiseen voivat vaikuttaa myös materiaalin pintarakenne ja tarkempi koostumus. Materiaalit voivat vaikuttaa desinfiaktion tehoon, sillä kupariputkissa kloorin on havaittu kuluvan nopeammin kuin muoviputkissa (Lehtola ym. 2005a). Materiaaleista voi irrota myös mikrobien kasvua rajoittavia aineita.

Maailmalla on tutkittu laajasti biofilmien muodostumista eri materiaaleilla. Useissa tutkimuksissa päätuloksena on havaittu, että uusille, puhtaille metallisille materiaaleille kertyy vähemmän biofilmiä kuin orgaanisille materiaaleille. Rogers ja kumppanit (1994b) havaitsivat heterotrofisten bakteerien kasvavan vähiten lasilla ja eniten lateksilla (materiaalien ”järjestys”: lasi < ruostumaton teräs < polypropyleeni < jälkikloorattu PVC < pehmittämätön PVC < teräs < polyetyleni < etyleeni-propyleeni < lateksi). Niquette ym. (2000) tutkimuksessa materiaalien järjestys oli PE < PVC < sementtipohjaiset (sementtipinnoitettu teräs, sementtipinnoitettu valurauta, asbestisementti) < teräs (pietty) < harmaa valurauta. Kerr ja työtoverit (1999) havaitsivat vähemmän biofilmiä valuraudalla kuin PVC- (pehmittämätön) ja PEM -materiaaleilla. Samoin PE:llä ja PVC:lla on havaittu enemmän biofilmien bakteereita kuin teräksellä tai kuparilla (Lehtola ym. 2004b; Schwartz ym. 1998). Hallam ym. (2001) tutkivat biofilmien aktiivisuutta eri materiaaleilla ja saivat järjestyksen: lasi < sementti < PEM < PVC. Eri mikrobien kiinnittyminen voi olla kuitenkin erilaista, sillä samassa Rogersin ja kumppaneiden tutkimuksessa vuodelta 1994, *L. pneumophilan* kasvu oli materiaaleilla erilaista kuin heterotrofisten bakteerien kasvu (lasi < polyetyleni < uPVC (pehmittämätön) < ruostumaton teräs < teräs < polypropyleeni < cPVC (kloorattu) < etyleeni-propyleeni < lateksi).

Materiaalien pitkäaikaiseroista biofilmien kasvualustana on toistaiseksi rajallisesti tietoa. Useat materiaalitutkimukset on tehty muutamien viikkojen tai kuukausien kokeina. Suomessa on havaittu, että kuparilla bakteerimäärät olivat 200 päivän ajan matalammat kuin polyeteenillä, minkä jälkeen määrät olivat yhtä suuret. Toisaalta virusten kaltaisia partikkeleja oli vähemmän kuparilla kuin PE:llä vielä kokeen lopussa 308 päivän jälkeen (Lehtola ym. 2004b). Martiny ym. (2003) totesivat kokeissaan biofilmin kehittymisen jatkuvan pitkään. Pysyvä solumäärä muodostui 200-300 päivän jälkeen, mutta biofilmin fyysisen rakenteen kehitys jatkui vielä tämän jälkeen. Tämä osoittaa, että muutamien kuukausien pituisten kokeiden perusteella voi olla vaativaa arvioida tapahtumia todellisissa olosuhteissa pitkällä aikavälillä. Kun verrataan mikrobien kasvua eri materiaaleilla, tulee muistaa että tutkimukset on tehty eri veden laaduilla ja erilaisissa olosuhteissa (mm. lämpötila ja virtausnopeus), mikä voi vaikuttaa biofilmien muodostumiseen ja tutkimusten loppupäätelmiin mm. arvioitaessa kasvupotentiaalia eri materiaaleilla.

### 4.3.3 Mikrobitoiminnan merkitys

Biofilmien esiintyminen ja kasvu talousvesiverkostoissa vaikuttaa terveydellisiin, esteettisiin ja teknisiin seikkoihin. Biofilmit voivat aiheuttaa korroosiota ja materiaalien huonontumista, sisältää terveydelle haitallisia mikrobeja ja heikentää veden laatua (väri, haju, maku) (Szewzyk ym. 2000). Biofilmien mikrobisto koostuu pääosin terveydelle haitattomista heterotrofisista bakteereista, jotka ovat sopeutuneet mataliin lämpötiloihin ja ravinnetasoihin. Biofilmeillä on kuitenkin suuri merkitys ihmisen terveyden kannalta, koska biofilmeissä terveydelle haitalliset eli patogeeniset mikrobit ovat suojassa desinfektiokemikaaleilta. Suomessa on tutkittu ja havaittu vesiverkostoissa mm. terveydelle haitallisia mykobakteereja (Torvinen ym. 2004) ja keuhkokuumetta aiheuttavia *Legionella* spp. bakteereja (Kusnetsov ym. 2003).

Biofilmien osia ja verkostojen saostumia irtoaa toisinaan materiaalien pinnoilta mm. paineen vaihtelujen seurauksena, mikä voi johtaa ajoittaisiin esteettisiin ongelmiin kuten haju-, maku- ja värivirheisiin talousvedessä. Esim. bakteerien toiminnan seurauksena syntyvät mangaania sisältävät saostumat voivat liueta tai irrota, jolloin mangaani aiheuttaa veteen helposti hajua ja makua sekä saa aikaan värivirheitä pestävissä tekstiileissä ja mustia saostumia verkostossa. Huono maku estää terveydellisesti liian suurten mangaaniannosten nauttimisen. Rauta alkaa maistua häiritsevästi ja värjätä pestäviä tekstiilejä alkaen 0,3 mg/l pitoisuuksista sekä muodostaa ruosteenvärisiä saostumia jo 0,05 mg/l pitoisuudessa rautabakteerien vaikutuksesta. Teknis-esteettisin perustein raja-arvo on 0,2 mg/l.

Biofilmien ja niissä elävien mikrobien toiminta liittyy usein mikrobiologiseen korroosioon (MIC, microbially induced corrosion/microbiologically influenced corrosion). Mikrobiologinen korroosio voidaan käsittää tavalliseksi korroosioksi, jota mikrobien luomat kemialliset ja fysikaaliset olosuhteet aiheuttavat tai lisäävät. Mikrobit voivat vaikuttaa monella tavalla korroosioon. Niiden aineenvaihdunta voi tuottaa korroosiota aiheuttavia happoja ja toisaalta ne voivat kuluttaa happea metallin pinnalta aiheuttaen happikonsentraatioeroja. Lisäksi biofilmien rakenne aiheuttaa ns. rako-olosuhteet metallin pinnalle. Mikrobit voivat hapettaa rauta(II)ioneja, mangaani(II)ioneja ja ammoniakkia hapettimiksi, jotka saavat aikaan metallin potentiaalın kasvamisen ja lisäävät näin rako- ja piilokorroosion todennäköisyyttä. Mikrobit voivat myös kiihdyttää korroosion osareaktioita (Carpen 1995). Tyypillisiä mikrobiologista korroosiota aiheuttavia bakteereja ovat nk. rautabakteerit, jotka voivat muodostaa kookkaitakin nystyröitä valurauta- ja hiiliteräspuutkien pintoihin. Nystyrän alle syntyy korroosion vuoksi kuoppa, joka lopulta voi puhkaista putken. Anaerobisissa oloissa sulfaattia pelkistävät bakteerit (SRB, sulfate reducing bacteria) voivat

aiheuttaa mikrobiologista korroosiota ja tuottaa ruosterakkuloita putkien pinnoille. Ne pystyvät toimimaan myös hapellisissa verkostoissa hapettomissa kohdissa esim. korroosiotuotteiden alla. Mikrobiologisessa korroosiossa on käytännössä aina kysymys usean eri lajin ja mekanismin toiminnasta (Angell 1999).

## 5 Säädöksiä

Ensimmäisen kerran Suomessa annettiin määräyksiä vesi- ja viemärijohdoista vuonna 1920 Helsingissä. Muualla maassa on otettu usein kunnallisissa määräyksissä ja suosituksissa mallia Helsingistä. Määräyksissä on käsitelty suurimmaksi osaksi verkostojen suojaamista saastumiselta, koepaineita ja materiaaleja. Asennustavat ja liitokset ovat jääneet pitkälti saksalaisten standardien varaan. Suomen kunnallisteknillinen yhdistys julkaisi vuonna 1956 kirjan Kiinteistöjen vesijohtoja ja viemäreitä koskevat määräykset. Yhdistys on julkaissut vuodesta 1960 RVV-käsikirjaa (Rakennusten vesijohdot ja viemärit), jossa on käsitelty sekä jakeluverkostojen että kiinteistöjen putkistoja (Mäkiö 1990). RVV-käsikirjaa noudatettiin erittäin tarkasti vuosina 1960-75 kunnes kiinteistöjen osalta ensimmäinen rakentamismääräyskokoelman osa D1 tuli voimaan 1975. Rakentamismääräyskokoelma perustui pitkälti pohjoismaiseen NKB:n (Nordiska komittén för byggbestämmelser) yhteistoimintaan, jonka tavoitteena oli yhtenäistä määräyksiä (Mäkiö 1994).

Talousvedeksi määritellään terveydensuojelulain mukaan kaikki vesi, joka on tarkoitettu talousvedeksi, ruoan valmistukseen tai muihin kotitaloustarkoituksiin. Toisaalta talousvetenä ei pidetä vettä, jota käytetään yksinomaan peseytymiseen, pyykinpesuun, siivoukseen, saniteettitarkoitukseen tai muuhun vastaavaan tarkoitukseen (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994). Lämmintä vettä ei lueta talousvedeksi.

Talousvesijärjestelmiin ja vesihuoltoon liittyvät hallinnolliset asiat ovat Suomessa kolmen ministeriön vastuulla. Talousveden laatu- ja valvontavaatimuksista määrää sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000 talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Pieniä laitoksia koskee asetus (401/2001). Asetus pohjautuu EU:n juomavesidirektiiviin (98/83/EY). Talousvesiasetuksen mukaan talousveden laatuvaatimukset koskevat vettä, joka otetaan kuluttajan hanasta. Koska talousveden määritelmän mukaan lämmintä vettä ei lasketa talousvedeksi, otetaan näytteet kylmästä vedestä. Talousvedessä ei saa olla mikrobeja tai haitallisia aineita sellaisina määrinä, että ihmisten terveydelle aiheutuisi vaaraa. Talousveden on oltava käyttötarkoitukseensa soveltuvaa eikä se saa aiheuttaa haitallista syöpymistä tai haitallisten saostumien syntymistä vesijohdoissa tai muissa verkostomateriaaleissa. Talousvettä toimittava laitos on vastuussa terveydellisten, mutta myös teknisten laatuvaatimusten täyttymisestä kiinteistön vesijohtoon liittämiskohtaan saakka (Sosiaali- ja terveysministeriö 2000). Suomessa oli vuonna 1999 talousvesiasetuksen mukaisia yli 10 m<sup>3</sup> tai yli 50 henkilön tarpeisiin vettä toimittavia laitoksia n. 1300 kappaletta. Tuolloin väestöstä oli n. 89 % eli 4,6 miljoonaa vesilaitosten asiakkaina (Suomen ympäristökeskus 2006). Silti taajamissa on arvioitu olevan yhä vesilaitosten verkostojen ulkopuolella noin 40000 asukasta (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2003).

Vesihuoltolaitosten toimintaa säätelee maa- ja metsätalousministeriö. Vesihuoltolain tarkoitus on turvata vesihuolto niin, että terveydellisesti ja muuten moitteetonta vettä on saatavilla kohtuullisin kustannuksin. Vesihuollolla tarkoitetaan veden johtamista, käsittelyä ja toimittamista talousvetenä käytettäväksi sekä viemärointiä. Kiinteistön omistaja tai haltija vastaa kiinteistön vesihuollosta kiinteistön sisällä tonttijohto mukaan lukien. Kiinteistön vesihuoltolaitteistoa on hoidettava niin, ettei siitä aiheudu haittaa vesihuoltolaitoksen laitteistolle tai terveydelle (Maa- ja metsätalousministeriö 2001).

Ympäristöministeriö on kolmas ministeriö, joka vaikuttaa vesihuoltoon maassamme. Ympäristöministeriö on laatinut Suomen rakentamismääräyskokoelman, joka sisältää osan D1: Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot, määräykset ja ohjeet (1987). Ympäristöministeriö on päivittänyt rakentamismääräyskokoelman vesi- ja viemärlaitteistojen osalta, ja uusittu D1 tulee voimaan heinäkuussa 2007. Sen määräykset ovat velvoittavia uutta kiinteistöä

rakennettaessa. Rakennusta korjattaessa tai muutettaessa määräyksiä ja ohjeita voidaan soveltaa, jos toimenpiteen laatu ja laajuus sitä edellyttävät. Toisin kuin määräyksistä, annetuista ohjeista voidaan tehdä poikkeavia ratkaisuja, jos ne täyttävät rakentamiselle asetetut vaatimukset. Valvonnasta huolehtii kunnan rakennusvalvontaviranomainen.

Kiinteistöjen ulkopuolella vesilaitosten rakenteiden ja johtojen rakentamisessa on käytetty standardeja hyväksi. Näissä tuotestandardeissa voidaan vaatia noudattamaan erityisiä säädöksiä. Muoviputkien standardeissa on aiemmin vaadittu noudattamaan elintarvikeasetusta 408/52 putkien raaka- ja apuaineiden sekä valmiiden tuotteiden osalta. Samalla vesilaitoksien tarvikkeiden laaduntarkastukseen on käytetty asetusta elintarvikkeen kanssa kosketuksiin joutuvista yleisistä käyttö- ja kulutustarvikkeista (364/85) ja vastaavaa kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä (365/85). Vuoden 1991 elintarvikeasetuksessa (539/91) vesihuolto on selkeästi rajattu pois asetuksen soveltamisalasta, vaikka päätös (365/85) jäikin vielä voimaan. Vuoden 1991 elintarvikeasetus kumottiin uudella elintarvikelailla (361/1995), mutta säännökset ja määräykset jäivät voimaan. Uusi elintarvikelaki on annettu 2006 (23/2006) (Tanhuala 1995; Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006). Suomessa kylmää talousvettä ei pidetä tai ole pidetty elintarvikkeena lain näkökulmasta, mutta tarkempien säädösten puuttuessa on käytetty elintarvikemääräyksiä.

Tällä hetkellä Suomessa kiinteistöjen laitteistoja koskevat talousvesiasetus sekä rakentamiseen liittyvät määräykset. Vesilaitosten on noudatettava talousvesiasetusta veden terveydellisen ja teknisen laadun varmistamiseksi. Vasta tuleva rakennustuotedirektiivin mukainen EAS-tuotehyväksyntäjärjestelmä yhtenäistää vedenjakeluverkoston ja kiinteistöjen tuotteet ja niissä käytetyt materiaalit, jolloin siis talousveden johtamiseen tarkoitetuille materiaaleille ja tuotteille tulee käyttöturvallisuuden kannalta yhtenäiset vaatimukset.

## 6 Rakennustuotteiden tuotehyväksyntä

EU-jäsenyyden myötä myös rakennustuotteiden tuotehyväksyntä tulee muuttumaan. Rakennustuotedirektiivin (Euroopan unionin neuvosto 1998b) tavoitteena on kaupan teknisten esteiden poistaminen rakennustuotteiden vapaan liikkumisen varmistamiseksi. Rakennustuotedirektiivin mukaan kaikille pysyvästi asennetuille rakennustuotteille on luotava tuotehyväksyntäjärjestelmä, vaikka rakennuksille ja rakennusosille esitettävät vaatimukset ja vaatimustasot päätetään edelleen kansallisesti. Vaatimusten on perustuttava eurooppalaisiin teknisiin eritelmiin, joissa määritetään tuotteiden ominaisuudet sekä esitetään testausmenetelmät, vaatimustenmukaisuuden arviointi ja ohjeet tuotteiden merkinnästä. Eurooppalaisia teknisiä eritelmiä ovat harmonisoidut (yhdenmukaistetut) tuotestandardit ja eurooppalaiset tekniset hyväksynät. (Ympäristöministeriö 2004)

Rakennustuotteille tuleva CE-merkintä on valmistajan vakuutus siitä, että tuote täyttää sitä koskevien direktiivien vaatimukset. Kansallisista tyyppihyväksyntämenettelyistä tullaan luopumaan sitä mukaa kun rakennustuotteille saadaan harmonisoituja EN-standardeja ja niiden myötä tuotteet merkitään CE-merkillä. Rakennustuotteiden tuotehyväksyntälain mukaan CE-merkintä ei kuitenkaan ole pakollinen Suomessa senkään jälkeen, kun tuotetta koskevan harmonisoidun tuotestandardin siirtymäaika on päättynyt. 21 muussa EU-maassa CE-merkintä on vastaavasti pakollinen. EAS-järjestelmän kehittämisessä on lähdetty siitä, että CE-merkintä on pakollinen.

Rakennustuotteille, jotka joutuvat kosketuksiin talousveden kanssa, on viranomaisvaatimuksia ainoastaan kiinteistössä käytetyille tuotteille.

### 6.1 Kansalliset viranomaishyväksynät

Ympäristöministeriö voi rakennuslainsäädännön perusteella antaa rakennusalan tuotteelle kansallisen tyyppihyväksynnän, jonka osoitukseksi tuote tai sen pakkaus on varustettava STF-merkillä. Tyyppihyväksyntä voidaan antaa tuotteelle, joka kuuluu Suomen Rakentamismääräyskokoelman soveltamisalueeseen eli talonrakentamisen soveltamisalueelle. Tyyppihyväksynnän tarkoituksena on ollut rakennusvalvonnan yksinkertaistaminen ja yhtenäistäminen. Tyyppihyväksyntä myönnetään pääsääntöisesti viideksi vuodeksi kerrallaan, ja siihen liittyy jonkin kolmannen osapuolen suorittama laadunvalvonta. Tyyppihyväksynnän hakeminen on vapaaehtoista, eikä rakennusluvan myöntävä viranomainen siis voi vaatia tyyppihyväksytyin tuotteen käyttämistä. Tyyppihyväksynnän ulkopuolella olevien tuotteiden käyttö selvitetään rakennuslupakohtaisesti, ja tuotteiden kelpoisuus osoitetaan tarvittaessa esim. tutkimuselostuksin. (Lindqvist ym. 2000)

Tyyppihyväksynnän hyväksyntäohjeissa on teknisten vaatimusten ja laadunvalvonnan vähimmäisvaatimusten lisäksi materiaalille asetettuja terveydellisiä vaatimuksia. Kuitenkaan esim. mikrobiologista kasvua ei Suomessa testata.

Talovesijärjestelmien tyyppihyväksynnän piirissä olevia tuotteita ovat muovi- ja kupari-putket, vesikalusteet, venttiilit ja metalliliittimet. Hyväksyntäohjeita on uusittu ja uusitaan siten, että ne tulevat sisältämään eurooppalaisten tuotestandardien testausmenetelmät. Uusittuja hyväksyntäohjeita oli vuoden 2006 lopussa kupariputkille, vesikalusteille ja sulkuventtiileille (Ympäristöministeriö 2006c,d,e).

Ympäristöministeriö on valtuuttanut VTT:n rakennusalan tyyppihyväksyntöjä antavaksi laitokseksi 1.9.2006 lähtien (Laki rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä).



Tyyppihyväksyntätoiminta siirtyy VTT:lle vaiheittain sitä mukaa kuin tuotekohtaiset tekniset hyväksyntäohjeet valmistuvat ja saatetaan voimaan ympäristöministeriön asetuksina. Tavoitteena on toiminnan siirtyminen kokonaisuudessaan VTT:lle vuoden 2008 loppuun mennessä. Tyyppihyväksyntäpäätökset julkaistaan VTT:n ja ympäristöministeriön www-sivuilla ([http://www.vtt.fi/palvelut/all/all\\_4/tyyppihyvaksynta.jsp](http://www.vtt.fi/palvelut/all/all_4/tyyppihyvaksynta.jsp); [www.ymparisto.fi/tyyppihyvaksynta](http://www.ymparisto.fi/tyyppihyvaksynta)). Tyyppihyväksyntä säilyy vapaaehtoisena.

Tyyppihyväksyntä edellyttää hyväksytyt tarkastuselimen suorittamaa tuotteen jatkuvaa ulkopuolista laadunvalvontaa. Ulkopuolinen tarkastuselin siis varmistaa tarkastuksin, tutkimuksin ja kokein, että hyväksytty tuote jatkuvasti täyttää tyyppihyväksyntäpäätöksen mukaiset laatuvaatimukset. Tuotteen valmistajan on suoritettava sisäistä oman tuotantonsa laadunvalvontaa, jota tarkastuselin valvoo. Laadunvalvonnan tarkastuselimenä on VTT. Ympäristöministeriö/VTT voivat hyväksyä muunkin esim. ulkomaisen laitoksen, viranomaisen tai yhteisön suorittamaan laadunvalvontaa tai osan siitä.

CE-merkintä on kuitenkin eduskunnan pönten mukaan ensisijainen. Ympäristöministeriö on omaksunut kannan, vaikka sitä ei ole missään selkeästi sanottu, että jos CE-merkintä on mahdollinen ja siirtymäaika päättynyt, ei tyyppihyväksyntä voi olla enää voimassa kyseiselle tuotteelle. Tällöin kuitenkin kyseistä tuotetta koskevan standardin tulee sisältää kaikki rakennustuotedirektiivin olennaiset vaatimukset.

## 6.2 Markkinaehtoiset hyväksynät

Vedenjakeluverkostojen materiaaleille ei ole vastaavaa tyyppihyväksyntää kuin kiinteistöjen vesilaitteistoille. Verkostoihin on asennettu ja asennetaan yksittäisten standardien mukaisia tuotteita, mutta kaikille tuoteryhmille ei ole ollut kotimaisia SFS-standardeja. Muuten on käytetty enimmäkseen saksalaisten, amerikkalaisten tai hollantilaisten standardien mukaisia tuotteita. Vedenjakeluverkostojen tuotteiden tarkoituksenmukaisuutta, laatua tai materiaaleja ei määrää mikään taho.

Standardisoidun tuotteen standardinmukaisuus voidaan osoittaa Inspecta Sertifiointi Oy:n (aiemmin SFS-Sertifiointi Oy) myöntämän SFS-merkin avulla. Tällöin laadunvalvonta perustuu itse tuotestandardien lisäksi Inspecta Sertifiointi Oy:n laatimiin erityisohjeisiin. SFS-merkittävät tuoteryhmiä ovat esim. kiinteistöjen kupariputket ja hanat ja sekoittajat. Jakeluverkostojen PE- ja PVC-paineputkille otettiin vuonna 2005 käyttöön myös pohjoismainen laatumerkki Nordic Poly Mark, joka korvaa kansalliset standardinmukaisuusmerkit. Sertifikaatin myöntää Insta-Cert -ryhmä, jonka muodostavat Inspecta Sertifiointi Oy ja vastaavat ruotsalaiset, norjalaiset ja tanskalaiset yhteisöt. Sertifikaateista on tietoa Insta-Certin www-sivuilla ([www.insta-cert.com](http://www.insta-cert.com)). SFS-merkki ja Nordic Poly Mark ovat täysin vapaaehtoisia, eivätkä sido viranomaisia, kuten tyyppihyväksyntä tekee.

SFS-merkin käyttöoikeus edellyttää hyväksytyt tarkastuselimen suorittamaa tuotteen jatkuvaa ulkopuolista laadunvalvontaa. Ulkopuolinen tarkastuselin siis varmistaa tarkastuksin, tutkimuksin ja kokein, että hyväksytty tuote jatkuvasti täyttää standardin ja/tai tyyppihyväksyntäpäätöksen tai erityisohjeen mukaiset laatuvaatimukset. Tuotteen valmistajan on suoritettava sisäistä oman tuotantonsa laadunvalvontaa, jota tarkastuselin valvoo. Inspecta Sertifiointi Oy voi hyväksyä pätevän laitoksen, viranomaisen tai yhteisön suorittamaan laadunvalvontaa tai osan siitä.

### 6.3 Tuleva eurooppalainen tuotehyväksyntämenettely (European Acceptance Scheme, EAS)

EU:n juomavesidirektiiviin perustuva talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annettu asetus edellyttää, että talousveden kanssa kosketuksiin tulevat materiaalit eivät aiheuta veden terveydellisen laadun heikkenemistä (Euroopan unionin neuvosto 1998a; Sosiaali- ja terveysministeriö 2000). Rakennustuotedirektiivi taas tähtää rakennustuotteiden kansallisten hyväksyntämenettelyjen luomien kaupan teknisten esteiden poistamiseen. Näihin tavoitteisiin pääsemiseksi rakennustuote- ja juomavesidirektiivien alla valmistellaan yhtenäistä tuotehyväksyntäjärjestelmää, European Acceptance Scheme (EAS), talousveden kanssa kontaktissa oleville rakennustuotteille. Juomavesijärjestelmien putkien ja komponenttien hyväksyntämenettelyt vaihtelevat merkittävästi eri maissa. Yhtenäisen tuotevalvontajärjestelmän seurauksena kaupan esteet poistuvat ja sama tuotehyväksyntä kelpaa jokaisessa maassa.

Tulevan eurooppalaisen hyväksymismenettelyn on ajateltu olevan pakollinen kaikille juomaveden kanssa kosketuksessa oleville rakennustuotteille. Jäsenmaat voivat kuitenkin päättää, vaaditaanko tuotteilta ao. maassa kaikki EAS-järjestelmän edellyttämät ominaisuudet ja mitkä mahdolliset vaatimustasot kansallisesti asetetaan. Jäsenmaat voivat myös päättää, koskeeko EAS vain jakeluverkostoa ja kiinteistölaitteita kuluttajan hanaan asti vai koskeeko se myös raakaveden jakelu- ja varastointijärjestelmiä.

EAS:n tavoite eli kuluttajan suojeleminen pyritään toteuttamaan talousveden kanssa kontaktissa oleville tuotteille asetettavilla vaatimuksilla, joista osa on Suomessa uusia. Tuotteiden vaatimustenmukaisuuden osoittaminen perustuu joko harmonisoituihin tuotestandardeihin (hEN) tai eurooppalaisiin teknisiin hyväksyntöihin (ETA). Vaatimustenmukaisuus osoitetaan CE- ja EAS-merkkien avulla. Tuotestandardien lisäksi tarvittavia testausmenetelmästandardeja tuotteiden terveydellisten vaikutusten toteamiseksi valmistellaan eurooppalaisessa standardisointijärjestössä (CEN) EU:n komission toimeksiannosta.

EAS:n lähtökohtana on turvallisiksi hyväksytyjen materiaalien käyttäminen juomaveden kanssa kosketuksiin tulevissa tuotteissa. Tuotteen valmistajan tulee ilmoittaa kaikki tuotteen valmistusaineet ja epäpuhtaudet sekä tarvittaessa niiden reaktiotuotteet. Kun materiaali on hyväksytyjen listalla, testataan varsinainen tuote. Testaukset eivät ole samanlaisia kaikille tuotteille, sillä tuotteille asetettavat vaatimukset on asetettu materiaalityypeittäin niiden aiheuttamien terveysriskien perusteella.

Pääsääntöisesti tuotteiden vaatimustenmukaisuuden osoittamismenettely (Attestation of Conformity, AoC) on rakennustuotedirektiivin luokan AoC 1+ mukainen. Tuotteen valmistajalta edellytetään kaikissa AoC-luokissa tehtaan sisäistä tuotannonvalvontajärjestelmää. Luokka AoC 1+ on tiukin ja edellyttää hyväksytyyn ilmoitetun toimielimen osallistumista tuotteen alkutestaukseen, tehtaan ja sen tuotannonvalvonnan alkutarkastukseen sekä tämän jälkeen jatkuvaan seurantaan sekä näytteiden testaukseen.

Tuotteen aiheuttaman riskin arvioinnissa tarkastellaan kontaktipinta-alan suhdetta vesitilavuuteen, tuotteen sijaintia järjestelmässä sekä kontaktiaikojen pituutta ja virtausnopeuksia. Mikäli tuotteet eivät aiheuta merkittävää riskiä talousvedelle, niille ei vaadita täyttä testausta. Tällöin riittää vähimmillään luokka AoC 4, jolloin valmistaja suorittaa laadunvalvonnan eikä ilmoitettua laitosta tarvita. Näitä rajoitetun testauksen tuotteita saattavat olla esimerkiksi venttiilit ja liittimet. Tuotteen valmistajan vastuulla on

osoittaa tuotteiden olevan teknisten spesifikaatioiden vaatimusten mukaisia, eikä tästä vastuusta vapautu edes kolmannen osapuolen käyttäminen.

Useimmissa tapauksissa tuotteiden vaatimustenmukaisuuden tutkiminen edellyttää siis jatkuvaa ulkoista laadunvalvontaa eli sertifiointia, tarkastusta ja testausta, jotka voi tehdä vain ilmoitettu laitos. Ilmoitettujen laitosten tulee olla pääsääntöisesti ETA-maassa rekisteröityjä riippumattomia ja puolueettomia oikeustoimikelpoisia tahoja, joissa on teknisesti pätevä henkilöstö. Suomessa Mittatekniikan keskus (MIKES) arvioi laitosten pätevyyden, ja ympäristöministeriö nimeää laitoksen hakemuksesta sekä valvoo arviointilaitoksen toimintaa. Arviointilaitoksia ja viranomaisia koskevat Euroopan unionin ilmoitusmenettelyt. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2000)

EAS-hanke on käynnistynyt vuonna 1999, ja yhtenäinen tuotevalvontamenettely otettaneen käyttöön vuonna 2010 tai sen jälkeen. Komissio ei ole ilmoittanut tarkkaa aikataulua, sillä testausmenetelmiin ja testaustulosten hyväksymiskriteereihin liittyy lukuisia ratkaisemattomia teknisiä ja hallinnollisia kysymyksiä. EAS toteutetaan Suomessa viranomaisten, tutkimuslaitosten ja yritysten yhteistyönä. Ympäristöministeriö vastaa rakennuslain nojalla rakennustuotedirektiivin täytäntöön panemisesta ja näin myös EAS-prosessin toteuttamisesta Suomessa yhdessä sosiaali- ja terveysministeriön kanssa. EAS-prosessia on käsitelty mm. Vesi-Instituutin vuonna 2005 järjestämässä seminaarissa (Vesi-Instituutti 2006).

## 7 Vedenjakeluverkostot ja materiaalit

Vesihuoltolakiin (Maa- ja metsätalousministeriö 2001) perustuvassa vesihuoltolaitoksen ja kiinteistönomistajan välisessä sopimuksessa on määritelty kiinteistön liittymäkohta laitoksen verkostoon. Tämä on yleensä vesihuoltolaitoksen runkojohdossa tai tontin rajalla. Liittymäkohdan ja vesimittarin välinen johto on tonttijohto. Kiinteistön omistaja tai haltija vastaa tonttijohtoon rakentamisesta ja kunnossapidosta sekä rakennuksen sisällä olevasta verkostosta ja laitteistoista. Käytännössä vesihuoltolaitos hoitaa tonttijohtoon rakentamisen taajama-alueella. Vesihuoltolaitos tuo kiinteistöön vesimittarin ja laitos myös huolehtii mittarin uusimisesta ja tarkastamisesta tai tarkastuttamisesta sen suhteen, että mittari näyttää oikein. Kiinteistön omistaja tai haltija vastaa myös kiinteistön verkoston vaikutuksesta veden laatuun. Tässä selvityksessä tonttijohtot on sisällytetty jakeluverkostoon, koska ne ovat luonteeltaan jakeluverkoston kaltaisia. Vesimittarit lasketaan tässä kiinteistöön kuuluviksi.

Verkostoon kuuluvia osia ovat putket, liittimet ja muut liitoskappaleet, venttiilit, säiliöt, pumput ja paikkasatulat sekä erilaiset tiivisteet ja pinnoitteet. Liittimiä on saatavilla moneen eri tarkoitukseen. Jakeluverkoston venttiilit voivat olla sulkuventtiilejä, yksisuuntaventtiilejä, tyhjennys- ja huuhteluventtiilejä, ilmanpoistovenntiilejä ja paineenalennusventtiilejä. Sulkuventtiileinä on käytetty paljon luistiventtiilejä, mutta myös läppäventtiilit ja palloventtiilit ovat yleisiä. Vesisäiliöt voivat olla maanalaisia, maanvaraisia tai vesitorneja. Kallioon louhittu säiliö voidaan pinnoittaa betonilla, mutta voidaan jättää pinnoittamatta kallion laadun sen salliessa. Useimmiten säiliöt rakennetaan teräsbetonista, mutta joskus säiliöosassa käytetään terästä tai muovikalvolla päällystettyä puuta (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004). Vesilaitosten materiaalikyselyyn osallistuneilla 50 laitoksella oli yhteensä noin 262200 m<sup>3</sup> yläsäiliö- ja 79500 m<sup>3</sup> alasäiliötilavuutta. Vesisäiliöiden sisäpinnan materiaalilla on vaikutuksensa veden laatuun niiden suuren kosketuspinta-alan vuoksi.

Kyselyyn osallistuneiden laitosten verkostoissa suurin putkimateriaaliosuus oli kovalla polyeteenillä (PEH) (28,6 %), toiseksi suurin pallografiittiraudalla (22,5 %) ja kolmanneksi suurin polyvinyylikloridilla (PVC) (17,2 %) (taulukko 2). Verkostoissa on myös muita muoveja kuten pehmeää polyeteeniä (PEL), keskikovaa polyeteeniä (PEM) ja ristisilloitettua polyeteeniä (PEX). PEL ja PEM ovat pitkälti pienten johtokokojen materiaaleja. Tunteuttomien muovien osuus koko verkostoista oli lähes kymmenen prosenttia. Missään laitoksessa ei ollut käytössä polypropeenaa tai polybuteeniä putkimateriaalina. Muovit on otettu käyttöön Suomessa jakeluverkostoissa 1950- ja 1960-luvuilla lukuun ottamatta PEX:iä, joka on otettu käyttöön 1980-luvulla. Metalleista verkostoissa on harmaata valurautaa, pallografiittirautaa, terästä ja ruostumatonta terästä. Harmaa valurauta on vanhin putkimateriaali ja sen käyttö on aloitettu jo 1880-luvulla. Myös terästä on käytetty pitkään. Pallografiittirautaa on käytetty Suomessa ensimmäisen kerran 1958. Asbestisementtiputkia on puolestaan ryhdytty asentamaan vuoden 1940 aikoihin. Pinnoittamatonta ja bitumoitua teräsputkea, asbestisementtiä ja harmaata valurautaa ei enää käytetä uudisrakentamisessa, mutta niitä on merkittäviä määriä verkostoissa (taulukko 2). Terästä käytetään uudisrakentamisessa sementtilaastilla päällystettynä. Muovin käyttö on lisääntynyt voimakkaasti aina 1960-luvulta lähtien (SITRA 1980). Asbestisementti on ainoa materiaali, jota on käytössä jopa 20 laitoksella, mutta sen kokonaispituusosuus on selvästi pienempi kuin muilla materiaaleilla. Kyselyn vastauksissa ilmoitettuja asentamisaikoja tulkittaessa on huomioitava, että materiaaleja ei ole asennettu tasaisesti käyttöönoton jälkeen vaan esim. muovien osuus lisääntyi aluksi hitaasti ja toisaalta asbestisementin käyttö loppui hyvin nopeasti.

**Taulukko 2.** Vesilaitoskyselyyn osallistuneiden vesi- ja tukkuvesilaitosten jakeluverkostojen putkimateriaalien pituudet ja osuudet\*.

<b>Materiaali</b>	<b>Kokonaispituus (km)</b>	<b>Materiaalin osuus verkoston pituudesta (%)</b>	<b>Materiaalin ensimmäinen ilmoitettu asennusvuosi</b>	<b>Materiaalin viimeinen ilmoitettu asennusvuosi</b>	<b>Laitosten määrä, joilla kyseistä materiaalia</b>
Asbestisementti	423	2,8	1940	1985	20
Ruostumaton/haponkestävä teräs	28	0,2	1940	käytetään	6
Polyeteeni, pehmeä (PEL)	478	3,2	1956	käytetään	11
Polyeteeni, keskikova (PEM)	379	2,5	1966	käytetään	10
Polyeteeni, kova (PEH)	4289	28,6	1961	käytetään	24
Polyvinyylikloridi (PVC)	2579	17,2	1961	käytetään	18
Polyeteeni, ristosilloitettu (PEX)	0,4	0,0	2001	käytetään	2
Muovit, tuntematon	1437	9,6	1960	käytetään	6
Harmaa valurauta	1561	10,4	1880	1980	15
Pallografiittirauta	3364	22,5	1958	käytetään	18
Tunnelit	26	0,2	pintamateriaalista ei tietoja	käytetään	1
Muut (käytännössä suurin osa terästä)	419	2,8	1910 (teräs)	käytetään	5
Verkoston pituus ilman tonttiliittymiä	14984	100			

\*Luvuissa ei ole tonttijohtoja. Osa vuosiluvuista on arvioita. Lisäksi neljän laitoksen valurautamateriaalit on kirjattu pallografiittiraudaksi, (yht. 775,8 km), josta osa on harmaata valurautaa. Osallistuneiden laitosten määrä oli 48.

Putkimateriaalit ja erityisesti niiden osuudet vaihtelevat paljon eri maissa, myös Euroopan sisällä. Esimerkiksi Hollannissa putkimateriaalien osuudet ovat: PVC (46 %), asbestisementti (29 %), harmaa valurautaa (9,0 %), polyeteeni (8,1 %), pallografiittirautaa (2,5 %), muut (2,3 %), teräs (2,3 %), betoni (0,9 %) ja lasikuituvahvisteiset synteettiset materiaalit (0,05 %) verkoston kokonaispituuden ollessa 115635 km (Association of Dutch Water Companies 2006). Tanskassa PVC:n osuus on 56 %, asbestisementin 6 %, valuraudan 19 %, polyeteenin 16 % ja 6 % muiden (Dansk Vand- og Spildevandsforening 2002). Vuonna 2001 Suomen vedenjakeluverkostojen kokonaispituus ilman tonttijohtoja oli 83614 km ja tästä selvästi suurin osuus 72206 km (86 %) oli muoviputkea. Toiseksi suurin osuus oli valuraudalla 8382 km (10 %) ja pienin muilla materiaaleilla, joita oli yhteensä 3026 km (3,6 %) (teräs, asbestisementti, tunnelit). Luvut sisältävät myös raakavesijohdot. Kaikki muovityypit ovat yhdistettyinä muoveiksi ja harmaa valurautaa sekä pallografiittirautaa valuraudaksi (Lapinlahti ja Raassina 2002).

Vesilaitosten materiaalikyselyyn osallistuneiden laitosten verkostoissa oli yhteensä 14980 km putkia, joista suurin osuus muoveilla, 9161 km (61,1 %). Harmaan valuraudan ja pallografiittiraudan yhteispituus oli 4925 km (32,9 %) ja muiden materiaalien 897 km (6,0 %) (taulukko 2). Vuonna 1976 putkimateriaalien osuudet yli 200 asukkaan vesihuoltolaitoksilla olivat: valurautaa 8243 km (27 %), teräs 1960 km (7 %), muovi 18328 km (61 %), asbestisementti 1287 km (4 %) ja muut 424 km (1 %) (Vuorinen 1976). Kyselyyn osallistuneiden laitosten ja edellisten materiaaliosuudet ovat pitkälti vastaavia muovien yhteismäärän ja valuraudan osalta. Selkeimmin tulokset eroavat teräksen ja asbestisementin kohdalla, joiden osuus on merkittävästi vähentynyt.

Jaettaessa vesilaitokset toimitetun vesimäärän mukaisiin luokkiin, muuttuvat käytettyjen materiaalien osuudet huomattavasti (taulukko 3). Tässä käytettyjen luokkien mukaan suuria laitoksia ovat yli 5 milj. m<sup>3</sup>, keskisuuria 0,5-5 milj. m<sup>3</sup> ja pieniä alle 0,5 milj. m<sup>3</sup> vettä toimittavat laitokset. Suurissa laitoksissa pallografiittirautaa on selvästi käytetyin materiaali. PEH ja PVC ovat toiseksi käytetyimmät materiaalit yhtä suurilla osuuksillaan. Myös harmaan valuraudan osuus on selvästi suurempi suurissa laitoksissa kuin muissa. PVC on ainoa materiaali, jonka osuus on lähes samaa luokkaa kaikissa ryhmissä. Keskisuurten ja pienten laitosten ryhmässä eniten käytetty materiaali on selvästi PEH. Keskisuurissa laitoksissa toiseksi käytetyin materiaali oli pallografiittirautaa, kun taas pienissä laitoksissa ei käytännössä ole lainkaan harmaata valurautaa tai pallografiittirautaa. Tunteamattomien muovien osuus oli niin suuri keskisuurilla ja pienillä laitoksilla, että sillä on merkitystä tulosten tulkinnassa. Keskisuurissa laitoksissa alle viidesosa verkostojen pituudesta oli tuntemattomia muovia. Toisaalta voidaan olettaa, että tuntemattomien muovien muovilaatujen osuudet ovat suunnilleen samat kuin tunnettujen laatujen. Myös Piikkilän (2005) tutkimuksessa suuri osa pienistä pohjavesilaitoksista, n. 40 %, jätti kertomatta tai ei tiennyt verkostomateriaalitietojaan lainkaan.

Kyselyssä suurten ja keskisuurten laitosten osuus korostuu pienten laitosten vähäisen osallistumismäärän vuoksi, joka lisää metallien osuutta ja vastaavasti pienentää muovien. Samalla laitoskokojen perusteella saadut tulokset ovat pienten vesilaitosten osalta suuntaa-antavia. Pienillä laitoksilla on kuitenkin suurin osa verkostopituudesta, joten asia on merkittävä veden ja materiaalien vuorovaikutuksia pohdittaessa. Toisaalta suuret ja keskisuuret laitokset toimittavat veden selvästi suurimmalle osalle väestöstä, joten pohdittaessa materiaalien mahdollisia terveysvaikutuksia, on huomioitava näiden laitosten materiaalien vaikutus suurempaan väestöosaan.

**Taulukko 3.** Putkimateriaalien osuudet jaettaessa vesilaitokset toimitetun vesimäärän perusteella luokkiin (%)<sup>1</sup>.

<b>Materiaali</b>	<b>Suuret laitokset</b>	<b>Keskisuuret laitokset</b>	<b>Pienet laitokset</b>
Asbestisementti	3,0	1,1	0,8
Ruostumaton/haponkestävä teräs	0,4	0,0	0,0
Polyeteeni, pehmeä (PEL)	0,5	5,5	8,4
Polyeteeni, keskikova (PEM)	0,9	4,3	7,0
Polyeteeni, kova (PEH)	20,8	32,1	54,1
Polyvinyylidikloridi (PVC)	17,8	12,4	16,9
Polyeteeni, ristosilloitettu (PEX)	0,4	0,0	0,0
Muovit, tuntematon	1,7	19,1	7,0
Harmaa valurauta	19,0	4,3	0,1
Pallografiittirauta	30,9	19,5	0,1
Tunnelit <sup>2</sup>	0,4	0,0	0,0
Muut (käytännössä teräs)	4,5	1,7	5,5
laitosten määrä	10	21	13

<sup>1</sup>suuret laitokset > 5 milj m<sup>3</sup>; keskisuuret 0,5-5 milj m<sup>3</sup>; pienet < 0,5 milj. m<sup>3</sup>

<sup>2</sup>tunnelien pintamateriaalista ei tietoa

Uudisrakentamiseen käytettiin vuonna 2005 kyselyyn osallistuneissa laitoksissa suurimmaksi osaksi PEH:iä (60,4 %), toiseksi eniten PVC:ia (17,5 %), kolmanneksi PEM:iä (15,0 %) ja neljänneksi pallografiittirautaa (9,3 %) (taulukko 4). Kyselyn mukaan kooltaan suurimmat laitokset käyttivät uudisrakentamisessa eniten PEH:iä, toiseksi eniten PVC:ia ja kolmanneksi eniten pallografiittirautaa. Keskisuuret laitokset sen sijaan käyttävät eniten PEH:iä, toiseksi eniten PEM:iä ja kolmanneksi eniten PVC:ia. Keskisuurissa laitoksissa lähes kymmenesosa uudisrakennetusta verkostopituudesta oli luokassa tuntematon muovi. Uudisrakentamisen yhteispituuden osuus koko verkostojen pituudesta oli noin 1,9 %. Uudisrakentamisen määrät vaihtelivat selvästi laitosten välillä. Samoista laitoksista saneeraukseen ja korjaukseen suurin osa oli vuonna 2005 käyttänyt PEH:iä, toiseksi eniten pallografiittirautaa ja kolmanneksi PEM:iä (taulukko 5). Osa laitoksista oli käyttänyt useampaa materiaalia. Näiden tulosten perusteella kaikilla laitoksilla ei ole riittävästi tietoja uudisrakentamisessa käytettävistä materiaaleista.

Kyselyssä ei kerätty tietoa tonttijohdoista, mutta hajanaista tietoa näidenkin materiaaleista saatiin. Materiaaleina on käytetty lähinnä teräs- ja muoviputkia (PEM ja PEL). Kyselyn tulosten tulkintaan vaikuttaa se, että joidenkin laitosten verkostomateriaaleissa on mukana myös tonttijohtojen pituudet. Tämä lisää yleisesti tonttijohtojen käytettyjen PEM:n ja PEL:n osuuksia kokonaispituuksista. Kyselyssä saadut tiedot putkien sisäpinnoitteista olivat vajaita.

**Taulukko 4.** Vesilaitoskyselyyn osallistuneiden laitosten vuonna 2005 uudisrakennettujen jakeluverkoston osien putkimateriaalit ja osuudet\*.

<b>Materiaali</b>	<b>Pituus (km)</b>	<b>Materiaalin osuus kokonaisuus- pituudesta (%)</b>
Ruostumaton/haponkestävä teräs	2,6	0,9
Polyeteeni, pehmeä (PEL)	3,4	1,2
Polyeteeni, keskikova (PEM)	43,2	15,0
Polyeteeni, kova (PEH)	173,4	60,4
Polyvinyylidikloridi (PVC)	50,3	17,5
Polyeteeni, ristosilloitettu (PEX)	0,0	0,0
Muovit, tuntematon	14,0	4,9
Harmaa valurauta	0,0	0,0
Pallografiittirauta	26,6	9,3
yhteensä	287,3	100,0

\*Mukana vesilaitokset ja tukkuvesiyhtiöt (48 kpl).

**Taulukko 5.** Vesilaitoskyselyyn osallistuneiden laitosten määrät, jotka käyttivät kyseistä materiaalia vuonna 2005 jakeluverkostonsa korjaukseen tai saneeraukseen\*.

<b>Materiaali</b>	<b>Laitosten määrä</b>
Ruostumaton/haponkestävä teräs	1
Polyeteeni, pehmeä (PEL)	3
Polyeteeni, keskikova (PEM)	9
Polyeteeni, kova (PEH)	27
Polyvinyylidikloridi (PVC)	8
Polyeteeni, ristosilloitettu (PEX)	0
Muovit, tuntematon	1
Harmaa valurauta	0
Pallografiittirauta	14

\*Mukana vesilaitokset ja tukkuvesiyhtiöt (48 kpl).

Vedenjakeluverkostossa käytettävien putkien koot riippuvat verkoston mitoituksesta kuten kiinteistöissäkin, mutta kokovaihtelu on jakeluverkostossa luonnollisesti paljon suurempi. Esimerkiksi Tampereella vedenjakelujärjestelmän putkien halkaisija on 40-800 mm. Suurin osa verkoston putkista (54 %) on halkaisijaltaan 100-150 mm (Tampereen vesi 2005). Tonttijohtojen koot vaihtelevat kiinteistön koon ja vedentarpeen mukaan omakotitalosta suureen teollisuuslaitokseen. Tonttijohtoina omakoti- tai rivitaloissa voidaan käyttää esim. 32 tai 40 mm:n muoviputkea. Aiemmin on käytetty suurempia johtokokoja. Jos tonttijohtot



lasketaan mukaan jakeluverkostoon, yleinen arvio on, että niiden pituus on noin kolmannes koko verkoston pituudesta.

Jakeluverkostoissa aiemmin ja uudisrakentamisessa käytettävät ja saatavilla olevat koot ovat vaihdelleet aikojen kuluessa useimmilla materiaaleilla. Myös seinämävahvuudet ovat muuttuneet, selkeimmin muoveilla polyeteenin eri sukupolvien myötä. Muoveilla seinämävahvuuksiin vaikuttaa myös putken paineluokka. Metallit ovat selvästi tihein materiaalityyppi, keskimmäisenä muut materiaalit kuten asbestisementti ja betoni ja selvästi keveimpinä muovit (taulukko 6). Taulukon 6 viitteettömät tiedot on saatu yritysten materiaalikyselyn ja internet-sivujen avulla.

Putkien liittimissä yleisimmin käytetyt materiaalit ovat osittain riippuvaisia käytetystä putkimateriaalista. Laajin yleisesti käytettyjen materiaalien kirjo on muoviputkillä. Yleisesti verkostojen uudisrakennuksessa käytetään liittimissä terästä, harmaata valurautaa, pallografiittirautaa, messinkiä, kevytmetalleja, PEH:iä ja PVC:ia. Aiemmin asennetuissa asbestisementtiputkien yhteissä on käytetty myös asbestisementtiä. Käytetyt liitostavat riippuvat pitkälti materiaalin ominaisuuksista (taulukko 6).

**Taulukko 6.** Vedenjakeluverkoston putkimateriaalien perusominaisuuksia sekä asentamisen aloitus- ja lopetusaikoja Suomessa.

Materiaali	Käytettyjä kokoja (mm) <sup>a</sup>	Asennettavia kokoja kyselyiden perusteella (mm)	Nykyisiä seinämävahvuuksia (mm)	Tiheys (g/cm <sup>3</sup> )	Liittimien yhteiden/materiaaleja	Liitos-tekniikoita <sup>b</sup>	Asentamisen aloitusaika	Asentamisen lopetusaika
<b>Metallit</b>								
Harmaa valurauta	80-700	ei asenneta	7,9-17,4 (80-600) <sup>c</sup>	7,08	harmaa valurauta <sup>a</sup>	muhvi, laippa <sup>d</sup>	n. 1880	putket n. 1980, yhteissä asennetaan
Pallografiittirauta*	80-1200	80-2000	6-15 (80-1000) <sup>e</sup>	7,1 <sup>f</sup>	pallografiittirauta <sup>a</sup>	muhvi	1958	käyttö jatkuu
Teräs*	60-2140	(25)-500	2,9-20,6 (DN 25-500)	7,8 <sup>a</sup>	teräs <sup>a</sup>	muhvi, hitsaus, laippa <sup>a</sup>	n. 1910	käyttö jatkuu
Ruostumaton teräs	(10)-1200 <sup>g</sup>	(10)-1200 <sup>g</sup>	1,6-12,5 (DN 10-1200) <sup>g</sup>	7,94-7,98 <sup>h</sup>	ruostumaton teräs	hitsaus, laippa <sup>i</sup>	n. 1940	käyttö jatkuu
<b>Sementtipohjaiset</b>								
Asbestisementti	50-800 (1200)	ei asenneta	11-30 (100-400) <sup>j</sup>	2,2 <sup>a</sup>	teräs, pallografiittirauta <sup>a</sup> , asbestisementti <sup>k</sup>	muhvi	n. 1940	1985
Betoni	400-3000	ei asenneta	ei tietoa	2,6-2,8 <sup>a</sup>	teräs <sup>a</sup>	muhvi <sup>l</sup> , kumitiiviste-liitos <sup>a</sup>	ei tietoa	ei tietoa

<b>Muovit</b>								
Polyeteeni, ristisilloitettu (PEX)		(12)-110	1,8-15,1 (10-110) <sup>m</sup>	0,936-0,959	ei tietoa	mekaaninen liitin	2002	käyttö jatkuu
Polyvinyylidikloridi (PVC)	63-630	90-640	PN6: 1,5-24,5 (40-1000); PN10: 1,9-30,0 (40-630); PN16: 3,0-36,8 (40-500); PN20: 3,7-18,2 (40-200) <sup>n</sup>	1,38	PVC, valurauta, messinki tai kevytmetalli <sup>a,v</sup>	muhvi, laippa	1961	käyttö jatkuu
<i>Polyeteenit MRS-arvon mukaan jaoteltuna<sup>o</sup></i>								
PE 63		(20)-630	PN 3,2: 9,7-54,0 (315-1600); PN4: 2,0-67,5 (50-1600); PN6: 2,0-65,4 (32-1000); PN10: 2,0-63,1 (20-630)	0,94-0,96				
PE 80		(25)-1600	PN10: 2,0-64,8 (25-800); PN16: 2,0-61,5 (16-500); PN20: 2,3-67,8 (16-450)	PEM: 0,926- 0,940; PEH: 0,94- 0,965				

PE 100		(16)-1200	PN10: 2,0-65,4 (32-1000); PN16: 2,0-63,1 (20-630)	0,94-0,97				
<i>Polyeteenit tiheyden mukaan jaoteltuna<sup>p</sup></i>								
Polyeteeni, kova (PEH)	(16)-1600	(16)-1600	PN3,2: 2-24,5 (63-800); PN4: 2-30,6 (40-800); PN6: 2-47,4 (25-800); PN10: 2,0-106,1 (16-630) <sup>q</sup> ; PN10: 4,7-58,8 (63-800); PN16: 2,3-55,8 (20-500); PN20: 2,2-61,5 (16-450) <sup>s</sup>	0,941-0,965 <sup>r</sup>	PEH, messinki, teräs, valurauta, muut metalli- seokset <sup>a,v</sup>	pusku- /sähkömuhvi- hitsaus, laippa, mekaaninen liitin <sup>d</sup>	1961	käyttö jatkuu
Polyeteeni, pehmeä (PEL)	(6)-200	(15)-63	PN6: 2-10 (20-110); PN10: 2,2-15,1 (16-110) <sup>t</sup>	0,910-0,925 <sup>o</sup>	PEH, messinki, teräs, valurauta, muut metalli- seokset <sup>a,v</sup>	mekaaninen liitin <sup>d</sup>	1956	käyttö jatkuu
Polyeteeni, keskikova (PEM)	(16)-200	(20)-90	PN6: 2,4-11,9 (40-200); PN10: 2-18,2 (16-200) <sup>u</sup>	0,926-0,940 <sup>f</sup>	PEH, messinki, teräs, valurauta, muut metalli- seokset <sup>a,v</sup>	pusku- /sähkömuhvi- hitsaus, mekaaninen liitin <sup>d</sup>	1965	käyttö jatkuu

<sup>a</sup> Suomen kaupunkiliitto 1980

<sup>b</sup> materiaali samaan materiaaliin

<sup>c</sup> SFS. B. VIII. 35 (poistunut käytöstä)

- <sup>d</sup> Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004
- <sup>e</sup> SFS-EN 545 (pallografiittirauta)
- <sup>f</sup> Ductile Iron Society 2006
- <sup>g</sup> SFS 4161 (poistunut käytöstä)
- <sup>h</sup> AISI 304 ja 316; EN 1.4301 ja EN 1.4404
- <sup>i</sup> Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987
- <sup>j</sup> SFS 2349 (poistunut käytöstä)
- <sup>k</sup> Paraisten kalkki 1974
- <sup>l</sup> Karttunen 1999
- <sup>m</sup> SFS-EN ISO 15875-1 ja 2, PEX
- <sup>n</sup> SFS 1452-2, PVC-U
- <sup>o</sup> Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2005
- <sup>p</sup> tiheyteen perustuva luokittelu poistunut standardeista
- <sup>q</sup> SFS 2336, PEH 50 (poistunut käytöstä)
- <sup>r</sup> Tammela 1990
- <sup>s</sup> SFS 4231, PEH 63 (poistunut käytöstä)
- <sup>t</sup> SFS 2334, PEL32 (poistunut käytöstä)
- <sup>u</sup> SFS 3421, PEM 50 (poistunut käytöstä)
- <sup>v</sup> kysely

\*käytännössä nykyään kaikki asennettavat putket pinnoitettuja (sementtilaasti)

## 7.1 Metallit

### Rakenne ja koostumus

Metallit koostuvat päämetalleista ja seosaineista, joita käytetään haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Yleisimmät päämetallit jakeluverkostoissa ovat rauta valuraudoissa ja teräksissä sekä kupari ja sinkki messingeissä. Valuraudat sisältävät myös hiiltä. Teräksissä käytetään seosmetallina kromia.

### Valmistus

Metalliputkia valmistetaan joko valamalla, muokkaamalla tai hitsaamalla. Valamisessa kuumennettu metalliseos saa oikean muodon muotissa, jossa se jäähdytetään. Muokkauksessa metallitankoa käsitellään mekaanisesti putken muodon ja lujuusominaisuuksien saavuttamiseksi. Hitsattu putki valmistetaan metallisesta nauhasta tai levystä.

### Käyttö ja liitokset

Metalleja käytetään sekä jakeluverkostojen että kiinteistöjen putkissa ja liittimissä. Jakeluverkostoihin tällä hetkellä asennettavat metalliset putkimateriaalit ovat teräs, pallografiittirauta ja ruostumaton teräs. Yleisesti käytössä on edelleen harmaasta valuraudasta valmistettuja putkia. Tällä hetkellä jakeluverkostoihin asennettavissa metalliputkissa käytetään käytännössä aina sementtilaastipinnoitteita. Käytössä on myös bitumi- ja epoksinnoitettuja metalliputkia. Kupariputkia käytetään yleisesti kiinteistöjen sisällä.

### Vuorovaikutukset

Metallit ovat tiiviitä eivätkä läpäise kaasuja ja nesteitä. Metallinen pinta pyrkii muodostamaan esim. ruostumattomilla teräksillä, kuparilla ja alumiinilla tyypillisesti tiiviin oksidikerroksen eli passiivikalvon, joka suojelee metallia veden vaikutukselta. Teräs- ja valurautaputkiin ei muodostu vastaavaa passiivikalvoa, joten jakeluverkostoihin asennettavat putket ovat nykyisin käytännössä aina pinnoitettuja. Ehjät ja riittävän paksut pinnoitteet suojaavat metallista materiaalia vuorovaikutukselta veden kanssa ja paljas metalli joutuu kosketuksiin veden kanssa pinnoitteen mahdollisissa vauriokohdissa. Käytössä on kuitenkin edelleen merkittäviä määriä pinnoittamattomia teräs- ja valurautaputkia. Olosuhteet jakeluverkostoissa ovat yleensä tasaisemmat kuin kiinteistöissä, joka vaikuttaa osaltaan vuorovaikutusilmiöiden suhteisiin. Pääsääntöisesti jakeluverkostojen kylmä vesi hidastaa vuorovaikutusilmiöitä verrattuna kiinteistöjen lämminvesiverkostojen putkiin.

### *Korroosio ja liukeneminen*

Metalliseosten sisältämiä metalleja voi liueta epäsuotuisissa olosuhteissa veteen. Metallien yleinen korroosio voi aiheuttaa ongelmia riippuen liukenevan metallin laadusta. Liuenneet metallit voivat aiheuttaa hajua ja makua veteen, mutta monessa Keski-Euroopan maassa ja Yhdysvalloissa on ilmennyt myös terveydellisiä ongelmia lyijyn liukenemisen vuoksi. Lyijyä ei ole käytetty käytännössä Suomessa putkimateriaalina. Metallit voivat syöpyä myös paikallisesti, joka yleisimmin ilmenee pistekorrosiona. Pistekorrosion seurauksena veteen

vapautuva metallimäärä on käytännössä vähäinen. Liukenevat metallit voivat vaikuttaa osaltaan mikrobien kasvuun.

### *Mikrobiologinen toiminta*

Liuennut metalli voi mikrobien toiminnan seurauksena kerääntyä verkoston pintojen biofilmeihin, jolloin seurauksena voi olla esteettisiä haittoja. Myös terveydelliset riskit ovat mahdollisia. Toisaalta joillain metalleilla kuten kuparilla tiedetään yleisesti olevan mikrobien kasvua heikentävä vaikutus. Metallipintojen biofilmit voivat joissakin tilanteissa kiihdyttää korroosiota.

## **7.1.1 Harmaa valurauta**

### **Rakenne ja koostumus**

Valuraudaksi luokitellaan raudan ja hiilen seokset, joissa on hiiltä yli 2,1 %. Harmaa valurauta (grey cast iron) eli suomugrafiittirauta sisältää raudan lisäksi usein myös piitä. Pääosa hiilestä on pieninä grafiittisuomuina perusrakenteessa, joka sisältää perliittiä. Perliitti on kaksifaasista rakennetta, joka koostuu ferriitti- (88 %) ja sementiittikerroksista (12 %). Ferriitti on koostumukseltaan puhdasta rautaa. Sementiitin eli rautakarbidiin kemiallinen koostumus on  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Suomet muistuttavat epäsäännöllisiä teräväkärkisiä säikeitä. Grafiittisuomet tekevät harmaasta valuraudasta kovan, mutta niiden muoto ja yhdensuuntainen kuvio samalla hauraana. Materiaali on kovaa eikä kestä voimakkaita iskuja tai suurta mekaanista kuormitusta (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Harmaa valurauta kestää veden lämpötilanvaihdoksia heikommin kuin pallografiittirauta.

Hiili voi olla valuraudassa sitoutuneena sementiittiin ja muihin karbideihin tai vapaana grafiittina. Valuraudan sisältämä pii (1-3 %) vaikuttaa lähinnä siihen, että hiili on rakenteessa grafiittina eikä karbideina kuten teräksessä. Valuraudat sisältävät usein myös valuominaisuuksia parantavaa fosforia (0,1-1 %) enemmän kuin teräkset. Epäpuhtautena ne voivat sisältää rikkiä korkeintaan 0,15 %. Seostetuissa valurauoissa voi olla samoja seosaineita kuin teräksissä eli esimerkiksi mangaania, nikkeliä, kromia, molybdeenia ja kuparia. (Lindroos ym. 1986)

### **Valmistus**

Valurautaputkia valmistetaan harkkoraudasta keskipako- ja hiekkavalumenetelmillä. Keskipakovaluiset ovat tiiviimpiä ja kestävämpiä, ja hiekkavaluiset heikompia ja kiderakenteeltaan epätasaisempia (Lindström 1992). Liitoskappaleet valmistetaan muottiin valamalla. Suomen kaupunkiliiton (1982) ohjeiden mukaan vesijohtoputkien tulee olla keskipakovalettuja sekä suojattu bitumi- tai betonivuorauksella tai muulla vastaavalla materiaalilla sisäpinnalta. Bitumikerroksen paksuuden tulisi olla vähintään 2 mm. Betonia käytettäessä kerroksen paksuus riippuu putken nimelliskoosta seuraavasti: NS 80-300, minimi 3,5 mm ja maksimi 8 mm; NS 400-600, 5-9 mm; NS 700-1200, 6,5-15 mm. Vesilaitosten materiaalikyselyn mukaan putkien sisäpinnoitteena on käytetty bitumia ja betonia.

## Käyttö ja liitokset

Harmaasta valuraudasta valmistettuja putkia ei enää asenneta Suomessa, mutta materiaalia on edelleen runsaasti vedenjakeluverkostojen putkissa ja liittimissä. Vesilaitosten materiaalikyselyn mukaan putkia asennettiin 1880-luvulta 1980-luvun alkuun (taulukko 2). Yleisinä kokoina käytettiin vielä 1970-luvulla 80-700 mm:n putkia (taulukko 6). Harmaata valurautaa asennetaan edelleen liittimissä sekä venttiilien runkomateriaalina (taulukko 1).

Hyväksytyt liitostavat harmaalle valuraudalle ovat kumirengas- (muhvi) ja laippaliitos. Kumirengasliitosta on käytetty paljon, mutta käytetyin liitosmenetelmä on ollut lyijyliitos, jota käytettiin yleisesti vielä 1980-luvullakin. Lyijyliitoksessa käytettiin tervaamatonta tiivistyspunosta (juuttitiiviste yleisin) ja sulatettua pehmeää harkkolyijyä. Erikoistapauksissa on käytetty lyijyvillaa. Juuttitiiviste muodostaa suotuisan pohjan bakteerien leviämislle, jonka vuoksi suositeltiin käytettäväksi impregnoitua paperitiivistettä. Sen sijaan valurautaputkien kierreltiitoksissa on käytetty tiivistykseen kumia, joissa on saattanut olla lyijypintavahvistus. (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987)

## Vuorovaikutukset

### *Korroosio ja liukeneminen*

Valuraudan korroosionkestävyys on parempi kuin teräksen, mutta pitkän käyttöiän varmistamiseksi valurautaputkissa pitäisi olla kunnollinen upotusrasituksiin soveltuva pinnoite. Jos pinnoite ei suojaa riittävästi, valurauta alkaa syöpyä veden laadusta riippuvalla tavalla. Valuraudan syöpymisnopeuteen vaikuttavat mm. veden pH ja alkaliteetti sekä niiden vaihtelut. Myös veden lämpötila verkostossa voi vaihdella ja vaikuttaa osaltaan korroosioon (McNeill ja Edwards 2002). Valuraudan pinnalle voi muodostua ainakin jossain määrin suojaava korroosiotuotekerros, jos veden pH-arvo ja kovuus ovat riittävän korkeita eikä vesi sisällä suuria määriä klorideja ja sulfaatteja.

Valurautaputkissa voi tapahtua grafitoitumisen nimellä tunnettua nk. selektiivistä (valikoivaa) korroosiota. Grafitoitumisen seurauksena rauta liukenee rakenteesta ja poistuu korroosiotuotteisiin. Putki menettää lujuutensa, mutta jäljelle jäävän grafiittirakenteen ansiosta putki säilyttää muotonsa.

Harmaan valuraudan yleisen korroosion seurauksena veden rautapitoisuus voi kohota merkittävästi. Talousvesiasetuksen laatusuosituksen mukainen raudan enimmäispitoisuus vedessä on 200 µg/l.

### *Mikrobiologinen toiminta*

Vesijohtoihin syntyy rautabakteerien toiminnan seurauksena nystyröitä ja näihin kohtiin putken pintaan muodostuu tiivis oksidikerros, jossa raudan edelleen hapettuminen hidastuu ja syntyy hapettomia kohtia. Anaerobisille alueille taas keskittyvät sulfaatteja pelkistävät bakteerit. Anaerobisia kohtia on eniten saostumissa, joissa rautaa suojaava oksidikerros tuhoutuu ja korroosio voimistuu (Suomen kuntaliitto 1993). Suojaava rautasakka voi liueta pois, jos pH äkillisesti muuttuu ja suojakalvon muodostuminen ei välttämättä enää onnistu. Seurauksena on nopeutunut korroosio (Ala-Peijari 1980). Raudan mikrobiologinen korroosio voi olla sopivissa olosuhteissa voimakasta. Eräässä tutkimuksessa saostumien osuudeksi putken poikkipinta-alasta saatiin 2,7-20,6 % (Salmelainen 1989).



Rautamalmi sisältää vaihtelevasti fosforia ja sitä jää myös malmista valmistettaviin valurautatai teräsputkiin. Fosforia saatetaan myös lisätä valmistusprosessien aikana. Tyypilliset vesijohtoputkina käytetyt rauta- ja teräsputket sisältävät 0,03-0,2 % fosforia. Tämä fosfori voi siirtyä veteen korroosion ja mikrobien toiminnan seurauksena. Morton ym. (2005) toteavatkin, että rautaa sisältävistä putkista voi irrota bakteerien jälkikasvun kannalta riittävästi myös hiiltä ja typpeä. Suomalaisissa mikrobien kannalta fosforirajoitteisissa vesissä vapautuva fosfori voisi lisätä biofilmien kasvua merkittävästi. Pinnoitetuissa putkissa korroosio- ja mikrobiologiset ongelmat ovat erilaiset ja keskimäärin huomattavasti vähäisemmät niin kauan, kuin pinnoite on ehjä. Toisaalta esim. orgaanisista maalipinnoitteista voi irrota merkittäviä määriä ravinteita.

## **7.1.2 Pallografiittirauta**

### **Rakenne ja koostumus**

Pallografiitti- eli SG-rautaa (ductile iron, spheroidal graphite iron) valmistetaan lisäämällä valurautaan pieni määrä magnesiumia tai ceriumia (0,05 %), jolloin harmaan valuraudan suomujen kiilamainen grafiitti korvautuu pallomaisilla grafiittisuomuilla. Materiaalista tulee näin paljon sitkeämpää ja lujempaa kuin harmaat valurautalajit, koska grafiitin kuvio on epäsäännöllisempi. Pallografiittirauta koostuu harmaan valuraudan tavoin perliittistä.

### **Valmistus**

Valmistus on pääosin sama kuin harmaan valuraudan yhteydessä on esitetty, lukuun ottamatta magnesiumin lisäystä. Materiaalikyselyn mukaan Suomessa valmistetaan pallografiittista ainakin venttiilejä. Nykyisin selvästi yleisin sisäpuolinen pinnoite putkissa on sementtilaasti. Ulkopinnalla käytetään mm. sinkin ja alumiinin sekoitetta, jonka päällä on epoksimaalikerros, sinkkikerrosta, jonka päällä on bitumikerros tai pelkkää polyeteenipinnoitetta. Sementtinä on käytetty yleisesti portland-sementtiä, mutta nykyisin masuunikuonasementtiä käytetään paljon. Sementtilaastipinnoitteen paksuus vaihtelee uusissa putkissa välillä 4-9 mm (SFS-EN 545). Pinnoitteet on käsitelty tarkemmin pinnoitteiden ja tiivisteiden yhteydessä. Ulkopuoliset pinnoitteet eivät ole muhviitoksen sisään tulevaa putken päätä lukuun ottamatta kosketuksissa veden kanssa, joten niitä ei tässä selvityksessä käsitellä. Uusien pallografiittirautaputkien ulkopuolisten pinnoitteiden on oltava keskimäärin vähintään 70 µm:n paksuisia ja synteettisten hartsien 35 µm (SFS-EN 545).

### **Käyttö ja liitokset**

Pallografiittiraudasta tehdyt putket ovat sitkeämpiä ja kestävämpiä iskuja vastaan kuin harmaasta valuraudasta valmistetut. Ne säilyttävät hyvin muotonsa, kestävät suuria paineita ja roudan rasituksia. Pallografiittirauta on siis käytännöllinen materiaali raskaasti liikennöidyillä alueilla, joissa on paljon liittymiä. Maahan asennettavina täyspitkinä, suorina putkina käytetään ainoastaan muhviputkia, joissa liitoksena on muhwillinen kumitiivisteliitos (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Toisaalta myös laipallisia osia joudutaan käyttämään. Aiemmin putkissa on käytetty myös lyijyliitosta (Suomen kaupunkiliitto 1982). Pallografiittiputkien mm. valmistusta ja liittämistä koskeva standardi on SFS-EN 545. Muhviliitoksia asennettaessa käytetään liukuaineita, jotka voivat joutua kosketuksiin talousveden kanssa.

Suomessa asennetaan pallografiittiraudasta valmistettuja putkia (kokoluokissa 80-2000 mm) sekä liittimiä ja materiaalia käytetään venttiilien runkomateriaalina. Vesilaitoskyselyn perusteella pallografiittirautaputkia asennettiin ensimmäisen kerran vuonna 1958 (taulukko 1). Nykyisin putket toimitetaan käytännössä poikkeuksetta sisäpinnaltaan pinnoitettuina. Pinnoitteista yleisin oli aiemmin bitumi, mutta nykyisin sementtilaasti. Suomen kaupunkiliiton (1982) ohjeiden mukaan pallografiittirautaputkien tulee olla keskipakovalettuja ja pinnoitettuja samalla tavalla kuin harmaasta valuraudasta valmistetut putket. Suomessa on asennettu 1980-luvulla myös pinnoittamattomia putkia. Ulkopinta on käytännössä aina pinnoitettu korroosion estämiseksi.

## **Vuorovaikutukset**

### *Korroosio ja liukeneminen*

Harmaan valuraudan yhteydessä todetut korroosioon ja mikrobiologiseen toimintaan liittyvät ilmiöt koskevat pääosin myös pallografiittirautaa. Harmaan valuraudan ja pallografiittiraudan suurimmat erot ovat niiden mekaanisissa ja käyttöön liittyvissä ominaisuuksissa. Pallografiittiraudasta voidaan sen hyvien lujuusominaisuuksien ansiosta valmistaa ohuempiseinäisiä putkia kuin harmaasta valuraudasta. Kun harmaan valuraudan ja pallografiittiraudan syöpymisnopeudet ovat samaa luokkaa, suojaamattoman pallografiittirautaputken käyttöikä saattaa epäedullisissa olosuhteissa olla lyhyempi kuin harmaasta valuraudasta valmistetun putken (SITRA 1980).

Pallografiittiputkien ja veden vuorovaikutus on uudemmissa asennuksissa käytännössä betonin ja veden vuorovaikutusta. Betoni suojaa pallografiittirautaa aiheuttamalla emäksisyytensä vuoksi materiaalien väliin hyvin emäksisen alueen. Rauta passivoituu mikäli pH on yli 9. Toisaalta betoni päästää aluksi vettä lävitseen, jolloin muodostuu metallia suojaava kerros (Kulo 1982). Betonin pintaa suojelee myös toinen mekanismi, jonka avulla rautaan saakka ulottuva vaurio voi korjautua. Hiilihapon, raudan ja betonin alkaliyhdisteiden reaktiotuotteet tiivistävät muodostuneen halkeaman (Wagner 1974).

### **7.1.3 Teräs**

#### **Rakenne ja koostumus**

Seostamaton teräs, josta käytetään myös nimitystä hiiliteräs (carbon steel) koostuu raudasta ja hiilestä. Teräsputket valmistetaan niukkahiilisestä teräksestä, jonka hiilipitoisuus on 0,05-0,25 %. Teräs voi sisältää myös mangaania, piitä, kromia ja kuparia sekä epäpuhtautena mm. fosforia ja rikkiä.

#### **Valmistus**

Teräsputkia voidaan valmistaa eri menetelmillä. Saumalliset putket valmistetaan hitsaamalla teräsnauhoista. Pituussaumahitsatuissa putkissa liittäminen tehdään induktiohitsauksella, kierresaumaputkissa taas jauhekaarimenetelmällä. Kierresaumaputket ovat suuria putkia, kooltaan 100-1200 mm (Lindström 1992). Putkien pituus on yleensä 12 m. Eräs valmistaja tarjoaa pituussaumahitsattuja putkia kokoon DN 500 asti. Suomen kaupunkiliiton (1982) ohjeiden mukaan teräsputkien on oltava pinnoitettuja vähintään 3 mm:n paksuisella bitumikerroksella tai betonilla. Betonipinnoitteen minimipaksuudet ovat samaa luokkaa kuin

harmaasta valuraudasta valmistettujen putkien. Putkikoosta riippuen vähimmäispaksuutena on käytetty 4-8 mm:n pinnoitetta.

## Käyttö ja liitokset

Aiemmin vedenjakeluverkostossa on käytetty saumattomia, pitkittäissaumahitsattuja ja kierresaumahitsattuja teräsputkia (Suomen kaupunkiliitto 1982). Teräsputkien hyvänä ominaisuutena voidaan pitää kestävyyttä mekaanista rasitusta vastaan. Lisäksi putket ovat tasa-aineisia ja valmistusviat ovat harvinaisia (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Teräsputkien dynaamisten rasitusten sietokyky on hyvä, samoin paineenkestävyys jo ohutseinämaisilläkin putkilla. Teräs sopii erityisesti isokokoisten päävesijohtojen materiaaliksi (Suomen kaupunkiliitto 1980). Käytännössä nykyisin kaikki vesijohdoiksi toimitettavat teräsputket ovat sekä sisä- että ulkopinnalta pinnoitettuja korroosionkestävyyden saavuttamiseksi. Tällä hetkellä jakeluverkostoihin asennetaan tiettävästi sisäpuolelta vain betonilla pinnoitettuja teräsputkia. Teräsputkien asennus on Suomessa vähäistä. Aiemmin putkia on asennettu kokoon 2140 mm asti (taulukko 6).

Teräsputkien liitoksissa käytetään hitsausliitoksia ja erityistapauksissa myös kumitiivisteliitoksia tai laippaliitoksia (taulukko 6). Aiemmin on käytetty myös lyijyliitosta (Suomen kaupunkiliitto 1982). Teräsputkia on käytetty suomalaisissa jakeluverkostoissa ainakin vuodesta 1910 lähtien (taulukko 6). Niitä on myös käytetty paljon tonttijohtoina. Teräsputkesta on käytetty vesilaitoksilla termiä ”Mannessmann-putki” suuren valmistajan nimen mukaan.

Aiemmin teräsputket voitiin toimittaa pinnoittamattomina (mustina), sinkittyinä tai tietyllä epämetallisella pinnoituksella, joka määriteltiin tilauksen yhteydessä (SFS 3314). Tiettävästi bitumia käytettiin teräsputkien sisäpinnoitteena vielä 1980-luvulla. Myös epoksia käytettiin tuolloin. SITRAn (1980) suorittamassa laajassa korroosiotutkimuksessa selvitettiin mm. eri materiaalien ja valmistajien käyttämiä pinnoitteita. Kokeissa näytteiden liuotteettomien epoksinpinnoitemaalien todettiin olevan 0,3-0,62 mm:n paksuisia. Valmistajien ilmoittama paksuus oli 0,5 mm. Samassa kokeessa epoksijauhepinnoituksen paksuus oli valmistajan mukaan 0,5 mm, mutta vaihteli käytännössä paljon (0,08-0,45 mm). Kaikki pinnoitteet olivat pysyneet kiinni hyvin tai erittäin hyvin kokeiden aikana. Kokeessa tutkittujen bitumipinnoitteiden paksuudet olivat keskimäärin 0,1 mm. Tutkimuksessa todetaan, että ohut bitumikerros ei suojaa putken pintaa riittävästi.

Epoksin ja bitumin käytöstä siirryttiin 1980-luvun lopulla sementtilaastin käyttöön. Sisältä sinkityn teräsputken käytöstä jakeluverkostossa ei ole tietoa. Tarvittaessa voidaan käyttää katodista suojausta (Suomen kaupunkiliitto 1980). Katodista suojausta on käytetty vähän ja vain erikoistilanteissa. Pinnoitteet on käsitelty tarkemmin pinnoitteiden ja tiivisteen yhteydessä. Terästä on Suomessa käytetty myös ylävesisäiliöiden ja pienten painesäiliöiden runkomateriaalina (Ruohomaa 1974). Myös sinkittyä terästä on käytetty pienissä painevesisäiliöissä (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004). Pienten pohjavesilaitosten tutkimuksessa teräksisiä ylä- ja alavesisäiliöitä oli noin neljäsosa kaikista säiliöistä (Piikkilä 2005).

## **Vuorovaikutukset**

### *Korroosio ja liukeneminen*

Teräs syöpyy happipitoisen kosteuden vaikutuksesta, ja korroosion seurauksena syntyy punaruskeita tai ruskeita rautaoksiedeja ja -hydroksiedeja ((Fe)<sub>n</sub>(O)<sub>n</sub> ja (Fe)<sub>n</sub>(OH)<sub>n</sub>). Korroosiotuotteet muodostavat putken pintaan tasaisia tai puolipallonmuotoisia sakkoja. Putkista liukeneva rauta voi muuttaa veden ruskeaksi ja korroosiotuotteet voivat lopulta tukkia putken (SITRA 1980; Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987; Kaunisto 1991; Järvinen ym. 1987; Määttä ja Kaunisto 1997). Yleinen liukeneminen voi lisätä raudan pitoisuutta vedessä. Talousvesiasetuksen laatusuosituksen mukainen raudan enimmäispitoisuus vedessä on 200 µg/l.

Korroosion voimakkuus riippuu olennaisesti veden tai kosteuskalvon ominaisuuksista (pH-arvo, liuenneet aineet), mutta myös käyttöolosuhteet kuten lämpötila ja virtausolosuhteet vaikuttavat. Kovissa vesissä teräsputkien pinnalle voi muodostua suojaava kalkkipitoinen kerros, joka voi jossain määrin estää tai hidastaa korroosiota. Tavallisen teräksen korroosio happipitoisissa vesissä on niin nopeaa, että terästä ei voida käyttää vesijohdoissa ilman pinnoitteita. Teräsputkien korroosionkestävyys riippuu siis ratkaisevasti pinnoitteen suojauskyvystä ja kiinnipysyvyydestä. Nykyisin asennettavien putkien ja veden välinen vuorovaikutus on sementtilaastin ja veden välistä silloin kun pinnoite on ehjä. Sementtilaastilla päällystettyä teräsputkea suojaavat pitkälti samat mekanismit kuin sementtilaastilla päällystettyä pallografiittiputkea.

### *Mikrobiologinen toiminta*

Teräksen sisältämä fosfori ja muut ravinteet voivat vaikuttaa mikrobiologiseen jälkikasvuun verkostossa, josta kerrotaan kohdassa harmaa valurauta.

## **7.1.4 Ruostumaton teräs**

### **Rakenne ja koostumus**

Ruostumaton teräs ("stainless steel") poikkeaa seostamattomasta teräksestä eli hiiliteräksestä siten, että se sisältää vähintään 10,5 % kromia. Austeniittiset ruostumattomat teräkset sisältävät kromia ja nikkeliä. Hiili on ruostumattomassa teräksessä epäpuhtaus. Tavallisin ruostumaton terästyyppe EN 1.4301 (SFS-EN 10088-1) tunnetaan paremmin AISI 304 -teräksenä. Se sisältää 17-19 % kromia ja 8-10 % nikkeliä. Molybdeeniseosteinen ruostumaton teräs EN 1.4404 tunnetaan AISI 316L -teräksenä ja puhekielessä siitä käytetään usein nimitystä haponkestävä teräs. Se sisältää kromin (16-18 %) ja nikkelin (10-14 %) lisäksi molybdeeniä (2-3 %).

Kromi on tärkeä ruostumattoman teräksen kestävyden kannalta. Se muodostaa passiivikerroksen kromi(III)oksidista (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) välittömästi ollessaan kosketuksissa hapen kanssa. Kerros ei päästä ilmaa tai vettä lävitseen ja pinnan vaurioituaessa passivoituminen tapahtuu uudelleen. Molybdeeniseostus parantaa teräksen pistekorroosionkestävyyttä. Tässä selvityksessä käytetään yleistermiä ruostumaton teräs molemmista laaduista muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta.

## **Valmistus**

Putket valmistetaan hitsaamalla kuten muutkin teräspuutket, ja standardin SFS-EN 10312 mukaan 4-12 metrin pituisina ilman poikittaishitsejä.

## **Käyttö ja liitokset**

Ruostumatonta terästä (mukaan lukien haponkestävä) käytetään jakeluverkostojen putkissa, liittimissä, pumpuissa sekä venttiilien osissa. Vesilaitoskyselyn perusteella materiaalia on käytetty putkimateriaalina ensimmäisen kerran noin vuonna 1940 (taulukko 1). Ruostumattoman ja haponkestävän teräksen suositellut liitostavat ovat samoja. Suositellut liitostavat vedenjakeluverkostossa (kylmä vesi) ovat hitsaus- ja laippaliitos. Juotos-, kierre- ja puristusliitos eivät ole hyväksytyjä (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Ruostumatonta terästä käytetään tällä hetkellä vain erityisolosuhteissa, esim. kun putkea ei kaivetakaan maahan sijoituspaikasta johtuen ja materiaaalilta tarvitaan erityistä kestävyyttä.

## **Vuorovaikutukset**

### *Korroosio ja liukeneminen*

Muihin metallisiin verkostomateriaaleihin verrattuna ruostumaton teräs on erittäin kestävä korroosiota vastaan myös huonolaatuisessa vedessä. Ruostumaton teräs ja haponkestävä teräs esitetään useimmissa käyttökohteissa samanarvoisina. Tätä voidaan pitää ohjeellisena vain jos vedessä ei ole liikaa esim. klorideja. Kloridit aiheuttavat ruostumattomien terästen pistekorroosiota. Jos kloridin määrä ylittää 150-200 mg/l, suositellaan käytettäväksi haponkestävää terästä (Laakso 1980). Talousvesiasetuksen mukainen laatusuositus raudan enimmäispitoisuudelle vedessä on 200 µg/l. Nikkelin enimmäispitoisuus talousvedessä on talousvesiasetuksen kemiallisten laatuvaatimusten mukaan 20 µg/l ja kromin 50 µg/l.

### *Mikrobiologinen toiminta*

Joidenkin tutkimusten mukaan ruostumattoman teräksen (AISI 304) ja haponkestävän teräksen (AISI 316) välillä on eroja biofilmien mikrobien määrissä. Ensimmäisten viiden kuukauden aikana haponkestävän teräksen biofilmeissä oli vähemmän eläviä bakteereja kuin ruostumattoman teräksen. Tästä eteenpäin (24 kk) määrät pysyivät samalla tasolla. Tulosta on selitetty haponkestävässä teräksessä käytetyn molybdeenin liukenemisella, joka voisi hillitä biofilmien kasvua (Percival ym. 1998b; Percival 1999; Percival ym. 1999). Myös pinnan tasaisuudella on havaittu olevan vaikutusta mikrobien määrään. Mattapintainen teräs vaikuttaisi keräävän mikrobeja enemmän kuin kiillotettu teräs (Pedersen 1990; Percival ym. 1998a).

## **7.1.5 Muut metallit**

### **Alumiini**

Alumiini on kevyt metalli. Suomessa alumiinia käytetään jakeluverkostossa ainakin laippayhteissä tietyssä kokoluokassa (taulukko 1). Alumiinin seoksista jakeluverkostoissa

käytetään silumiinia, joka on alumiinin ja piin seos. Siitä valmistetut laipat ovat yleisiä. Näitä kutsutaan myös kevytmetallilaipoiksi, mutta myös muut aineyhdistelmät ovat mahdollisia. Puhdas alumiini on kestävämpi korroosiota vastaan kuin alumiinin seokset, mutta sitä seostetaan lujuusominaisuuksien parantamiseksi. Alumiinin pintaan muodostuu hapen vaikutuksesta suojaava oksidikerros. Talousvesiasetuksen mukainen laatusuositus alumiinin enimmäispitoisuudeksi on 200 µg/l.

## **Kupari**

Kupari on lähinnä kiinteistöverkostojen materiaali ja sen ominaisuudet on käsitelty kiinteistöjen yhteydessä. Suomessa kupariputkia on käytössä kaupungeissa tonttijohtoina.

## **Lyijy**

Lyijyä on käytetty Suomessa putkimateriaalina hyvin vähän, mutta sen sijaan yleisesti 1980-luvulle asti valurautaputkien lyijyliitoksissa. Paksuseinäisiä lyijyputkia valmistettiin 1920-luvulla painejohdoiksi (Karjalainen 1995). Lyijyn käyttö on ollut Suomessa vähäistä moniin muihin teollisuusmaihin verrattuna.

## **Messinki**

Messinkiä käytetään jakeluverkostojen liittimissä ja venttiileissä (taulukko 1). Suomessa valmistetaan messinkisiä venttiilejä jakeluverkostoihin. Messinki materiaalina on käsitelty kiinteistöverkostojen yhteydessä.

## **Punametalli**

Punametallia käytetään jakeluverkostojen liittimissä ja mahdollisesti myös venttiileissä (taulukko 1). Punametalli on käsitelty kiinteistöverkostojen yhteydessä.

## **7.2 Sementtipohjaiset materiaalit**

### **7.2.1 Asbestisementti**

#### **Rakenne ja koostumus**

Asbesti on yleisnimi silikaattikuitujen ryhmälle, joiden kuiturakenne on kiteinen. Asbestisementin (asbestos cement) raaka-aineita ovat asbesti, portland-sementti ja vesi. Vesijohtoina käytettyjen asbestisementtiputkien materiaalina on käytetty lähinnä kahta asbestimineraalia, krysotiilia (80 %) ja krokidoliittia (20 %) (Suomen kaupunkiliitto 1987). Asbestimineraalin osuus putkimateriaalista on noin 17 % kokonaispainosta. Asbestimineraalit sisältävät vaihtelevia määriä magnesiumia, kalsiumia, rautaa ja natriumia. Asbestimateriaalin tarkka kemiallinen analyysi on vaikeaa sen suuren rakennevaihtelun vuoksi (Suomen kaupunkiliitto 1987) ja lisäksi eri valmistajien käyttämät sekoitussuhteet aineille vaihtelevat. Portland-sementtiä on käsitelty tarkemmin pinnoitteiden ja tiivisteiden yhteydessä.

## **Valmistus**

Suomessa valmistettiin asbestisementtiputkia vuoteen 1978 asti ja raaka-aineina käytettiin asbestia, portland-sementtiä ja vettä, joista tehtiin massaa. Suomessa putkien valmistuksessa käytettiin konetta, jossa massa nostettiin kerroksena viirasynterillä huovalle. Kerroksen paksuutta pystyttiin säätämään. Ylimääräinen vesi poistettiin, jonka jälkeen putket lämpökäsiteltiin ja upotettiin veteen kovettumaan (Suomen kaupunkiliitto 1987). Kuiva-aineesta n. 15 % on asbestia ja 85 % sementtiä (Paraisten Kalkki Oy 1974). Asbestisementtiputki tunnetaan myös kauppanimillä Himanit ja Eternit.

## **Käyttö ja liitokset**

Suomen vedenjakeluverkostoissa asbestisementtiä on käytetty pelkästään putkimateriaalina ja liitokappaleissa. Asbestisementtisiä vesijohtoputkia ja liittimiä (DN 50-800) asennettiin noin vuosien 1940 ja 1985 välisenä aikana (taulukko 1). Liittimien materiaalina käytettiin paljon myös SG-rautaa ja terästä (taulukko 6). Asbestisementtiputket sopivat hyvin pääjohdoiksi ja erityisesti pitkiin ja haarattomiin johtolinjoihin. Putkea on käytetty myös liikenneväylien alituksiin (Suomen kaupunkiliitto 1980). Liitokset tehtiin muhviliihtoksin, jolloin liitos sallii pienet poikkeamat. Vesistöasennuksissa käytettiin erikoismuhveja (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987; Suomen kaupunkiliitto 1980).

## **Vuorovaikutukset**

### *Korroosio ja liukeneminen*

Korroosionkestävyys ja pitkä kestoikä neutraalilla vedenlaatualueella ovat asbestisementtiputkien hyviä ominaisuuksia. Myös vedenjohtokyky on hyvä ja se myös säilyy hyvänä (Suomen kaupunkiliitto 1980). Veden pH:n ollessa liian matala sementtiä liukenee ja samalla alumiinin sekä asbestikuitujen määrä vedessä kasvaa (Suomen kaupunkiliitto 1987). Asbestisementtiputkesta, kuten muistakin sementtipohjaisista materiaaleista voi liueta merkittäviä määriä kalsiumhydroksidia (Slaats ym. 2004). Liukenemisen voimakkuus riippuu lähinnä veden laadusta.

Asbestisementtiputkien ongelmaksi muodostui asennuksen ja valmistuksen työhygienian sekä osaltaan myös maine. Asbestia kuitenkin irtoaa putkista erittäin vähäisiä määriä ja hiukkasten tulisi päätyä ihmisten keuhkoihin, jotta voisi aiheutua terveydellisiä ongelmia. WHO (World Health Organization 2002) toteaa, että syytä ohjeiston tai raja-arvojen luomiseksi asbestille talousveden yhteydessä ei ole. Asbestin käyttö Suomessa rakennusmateriaaleissa lopetettiin 1988. Nykyään asbestin käyttö on kiellettyä ja sen käsittely rajoittuu lähinnä korjausrakentamiseen ja kiinteistöalan töihin (Työsuojelupiirit 2006). Asbestin valmistus, maahantuonti, myyminen ja käyttäminen on ollut kiellettyä vuodesta 1992, mutta voimassa oleva säädös on vuodelta 2004 (Valtioneuvosto 2004).

### *Mikrobiologinen toiminta*

Mikrobien toiminnasta asbestisementtiputkilla ei ole tietoa, mutta mahdollinen mikrobiaktiivisuus on todennäköisesti samankaltaista kuin betonilla.

## 7.2.2 Betoni

### Rakenne ja koostumus

Betonin raaka-aineina käytetään sementtiä, hiekkaa ja vettä. Betoniputkissa (concrete pressure pipe) käytetään tyypillisesti sementtinä portland-sementtiä, joka on käsitelty tarkemmin pinnoitteiden ja tiivisteiden yhteydessä.

### Valmistus

Betoni muodostuu, kun sementti reagoi veden kanssa ja sitoo muun aineen itseensä. Sekoitus on sementtilaastia kunnes kuivuu betoniksi. Esimerkiksi Yhdysvalloissa talousveden johtamiseen tarkoitettuja betoniputkia valmistetaan hitsatun terässylinterin ympärille, joka pinnoitetaan sisä- ja ulkopuolelta sementtilaastilla (Hanson Pipe & Precast 2006). Toisaalta nämä tuotteet ovat hyvin samankaltaisia kuin teräsputket, joissa on sementtilaastipinnoite. Veden ja materiaalin välinen vuorovaikutus on käytännössä samaa eli kyse on ehjässä putkessa betonin ja veden vuorovaikutuksesta.

### Käyttö ja liitokset

Betonia käytetään Suomessa verkostomateriaalina lähinnä putkien pinnoitteissa ja säiliöissä. Betonia käytetään suurten johtolinjojen putkimateriaalina useissa maissa. Pinnoitteena betonista käytetään myös termiä sementtilaasti. Vesisäiliöissä käytetty betoni on teräsbetonia eli siihen lisätty tueksi harjaterästä. Teräksen on tarkoitus olla betonimassan sisällä, suojassa ympäristövaikutuksilta. Suomessa betoniputkia ei tiettävästi asenneta vesijohtoverkostoihin (taulukko 1).

Betonista valmistettuja putkia voidaan käyttää syöttöjohdoissa eli suuremmissa putkikokoluokissa. Liitokset tehdään muhvilla tai uurteella kumirengastiivistein. Jos kumia koskettavat pinnat ovat betonia, käytetään usein tasoitteena epoksimuovilakkaa (Karttunen 1999). Betoniputkia on ollut saatavilla 400-3000 mm:n kokoisina ja niiden liitoskappaleissa on käytetty terästä (taulukko 6). Nykyisten putkien vedenjohtokyky ja sen säilyvyys on hyvä (Suomen kaupunkiliitto 1980; Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004). Betonipaineputkien on Suomen kaupunkiliiton (1982) ohjeiden mukaan oltava raudoitettuja tai teräsvaippavahvisteisia ja noudatettava soveltuvilta osin betoniputkinormeja. Betoni on alaja ylävesisäiliöissä tavallisimmin käytetty ja kunnossa pysymisen kannalta edullisin materiaali, joka ei vaadi pintakäsittelyä (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2004). Pienten pohjavesilaitosten tutkimuksessa yli puolet vesisäiliöistä oli tehty betonista (Piikkilä 2005).

### Vuorovaikutukset

Betonin ja veden välinen vuorovaikutus on käsitelty pinnoitteiden ja tiivisteiden yhteydessä.



## 7.3 Muovit

### Rakenne ja koostumus

Muovit ovat orgaanisia yhdisteitä. Ne koostuvat polymeereistä ja lisäaineista. Polymeeri koostuu pienistä molekyyleistä, monomeereista, jotka liittyvät yhteen ketjuiksi kemiallisilla reaktioilla. Muovit voidaan jakaa kesto- ja kertamuoveihin. Vain kestumuoveja voidaan muokata uudelleen lämmön avulla. Hartsit ovat tavallisesti amorfisia ja verkkomaisia polymeerejä ja ne voivat olla kerta- tai kestumuoveja (Lindberg ym. 1985). Hartsiksi kutsutaan yleisesti polymeeriä, joka voidaan lujittaa. Esim. polyeteeniputkiin käytetään tiettyä polyeteenimuovia raaka-aineena. Polyeteenejä, polypropeenaa ja polybuteenia kutsutaan polyolefiineiksi. Olefiinissa on lineaarisia tai haaroittuneita hiilivetyjä ja vähintään yksi kaksoissidos (Tammela 1990). Selvityksessä polyeteenit on jaoteltu tiheyden mukaan. Polyeteenien kovuuserot johtuvat niiden tiheyseroista ja molekyyliarakenteesta. Muoveista käytetään peruspolymeerin yleismaailmallisia lyhenteitä (Lindberg ym. 1985).

Lisäaineiden osuus muovista voi olla 1-80 % tilanteesta riippuen (Törmälä 1983). Tietoa vesijohtoputkien ja muiden verkostojen muovituotteiden sisältämien lisäaineiden osuuksista ei ole. Kyseisten lisäaineiden kirjo on laaja ja niistä on tietyn tuotteen kohdalla vaikea saada tietoa, jolloin joudutaan tyytymään yleisimpien lisäaineryhmien esittelyyn. Muoviputkissa mahdollisesti käytetyt lisäaineet voidaan luokitella seuraavasti: täyteaineet ("filler"), lujitteet ("reinforcements"), stabilisaattorit, väriaineet, iskusitkisteet, adheesioedistäjät, mikrobiestoaineet ja prosessoinnin edistäjät (Javanainen ym. 1997). Muoviputkien yleisimmät lisäaineryhmät ovat stabilisaattorit, väriaineet, voiteluaineet, täyteaineet ja iskusitkeyden parantamisaineet (Muoviteollisuus 2003). Muoveissa yleensä voidaan käyttää runsaasti täyteaineita, mutta vesijohtoputkissa niitä ei käytännössä käytetä. Vesijohtoputkissa käytetään kuitenkin käytännössä aina stabilisaattoreita.

Stabilisaattoreiden tärkeä alaryhmä on antioksidantit, joista kaikissa muoveissa käytetyimpiä ovat fenolit, fosfiitit sekä tioesterit. Tavallinen käyttömäärä on 0,03-0,3 paino-% (joskus yli 1 paino-%). Toinen alaryhmä on UV-stabilisaattorit, joita käytetään yleisesti esim. polyolefiineissa, styreenimuoveissa ja PVC:ssä. Yleisesti kaikissa muoveissa käytetyimpiä stabilisaattoreita (v. 1994) olivat steerisesti estyneet amiinit (HALS), bentsotriatsolit ja bentsofenolit. Muita ovat noki, pigmentit (rautaoksidit, TiO<sub>2</sub>), eräät aromaattiset yhdisteet (bentsofenoni, fenyylialisylaatti, kinnamaatti ja bentsotriatsoli), nikkelikelaatit sekä rikkiyhdisteiden metallikompleksit (Javanainen ym. 1997). Rautaoksideja ei käytetä muoviputkissa.

Vaikka muoveista käytetään peruspolymeerien nimiä, vaihtelevat putkien raaka-aineiden yhdistelmät, suhteet ja lisäaineet valmistajan mukaan, jolloin myös mekaaniset, liukenemis- ja vanhenemisominaisuudet vaihtelevat. Muovien peruspolymeerien lisäksi raaka-aineina käytetyt lisäaineet vaihtelevat valmistajien mukaan ja tarkkaa yleistä koostumusta tietyn muovityypin materiaalille ei voi antaa (Schweitzer ym. 2000).

### Valmistus

Muoviputket valmistetaan jatkuvana tuotantona suulakepuristuksella. Muovin raaka-ainemassa lämmitetään sylinterissä. Raaka-aine puristetaan lämmityksen jälkeen ulos sylinterin suukappaleesta, ja putki menee kalibrintilaitteeseen. Tässä putken läpimitta säädetään ja esijäähdytetään. Kalibrintia seuraa jäähdytysallas, josta putki siirtyy mittaus- ja/tai merkkuslaitteeseen ja vetolaitteen kautta putken katkaisuun (Suomen

Rakennusinsinöörien liitto 1986; Tammela 1990). Muovien peruspolymeerien joukkoon laitetaan tuotannossa erilaisia lisäaineita, joilla säädetään haluttuja ominaisuuksia. Vasta syntyvää yhdistelmää voidaan kutsua muoviksi (Törmälä 1983). Muoviputkien liittimet valmistetaan muoveista, joista tyypillisimpiä ovat PEH ja PVC, sekä metalleista, joista yleisimpiä ovat valurauta, messinki ja kevytmetallit (taulukko 6).

PVC-, PE-, PS/ABS- ja PP-muovien valmistusprosesseissa käytetään voiteluaineita. Sisäisiä voiteluaineita tarvitaan erityisesti PVC-putkien työstössä ja tiivisterenkaiden asennuksessa. PVC:n tyypillisiä voiteluaineita ovat erilaiset paraffiinit, rasvahappoesterit, rasvahappoamidit, rasvahapot ja rasvahappoalkoholit. PVC on tärkein voitelua tarvitseva muovi työstöominaisuuksiensa vuoksi (Javanainen ym. 1997). Muovien ulkoisina voiteluaineina käytetään myös amideja, metallisaippuota ja suurimolekyylisiä vahoja (Törmälä ym. 1992).

## **Käyttö ja liitokset**

Materiaalikyselyn mukaan muovien käyttö putkimateriaalina suomalaisissa vedenjakeluverkostoissa alkoi vuonna 1956 ja talojohdoissa 1960-luvun puolessa välissä. Tällä hetkellä Suomessa jakeluverkostoihin asennettavat muoviputket ovat polyeteeniä tai polyvinyylidikloridia. Muoveja käytetään yleisesti putkien lisäksi liittimissä ja pinnoitteissa. Vedenjakeluverkostoissa muoviputkia käytetään melkein kaikissa kokoluokissa pääjohdoista jakelujohtoihin. Kuitenkin tietyt muoveja käytetään vain tietyissä kokoluokissa, kun taas toisia melkein kaikissa (taulukko 6). Käytännössä kaikki vesistöasennukset suoritetaan muoviputkillä. Muoviputkien myötä 1980-luvun aikana uudet saneeraustekniikat kuten sujutus ovat tulleet mahdollisiksi. Sujutuksessa vanhan putken sisään asennetaan uusi putki jollain tietyllä sujutusmenetelmällä. Suomessa sujutuksiin käytetään polyesterikuitu- tai polyeteeniputkia. Muoveja käytetään myös vesisäiliöiden materiaalina. Pienten pohjavesilaitosten tutkimuksessa n. kymmenesosa säiliöistä oli muovisia ja kaikki niistä alavesisäiliöitä (Piikkilä 2005). Muhviliitoksia asennettaessa joudutaan käyttämään liukuaineita, jotka voivat joutua kosketuksiin talousveden kanssa.

## **Vuorovaikutukset**

Muovien yleiset vuorovaikutukset ympäristön kanssa sekä eri muoveja vertailevat tutkimukset käsitellään selvityksen tässä kohdassa sen lisäksi, mitä on jo ollut biofilmien ja korroosion yhteydessä. Polyeteenien vuorovaikutukset on käsitelty kovan polyeteenin kohdalla ja PVC:n omassaan, sillä vuorovaikutukset ovat erilaisia eri muovityypeillä. Myös kiinteistöverkostojen muovien ja veden välinen vuorovaikutus on pyritty kattamaan tässä.

Monien muovien ja etenkin polyeteenien perusominaisuuksiin kuuluu materiaalin läpäisevyys orgaanisille molekyyleille. Erilaiset liuottimet, hajut ja maut voivat siirtyä helposti putken seinämän läpi sisällä virtaavaan veteen. Tällöin aineen kulkeutumiseen vaikuttavat ainakin putken ulkopuolella olevan aineen ominaisuudet ja pitoisuus, putkimateriaali, putken rakenne ja seinämän paksuus, ulkopuolisen tilan lämpötila ja laatu. Veden viipymä vaikuttaa luonnollisesti myös imeytyneen aineen konsentraatioon ja haitan määrään (Tanhuala 1995). Haitta-aineita voi siirtyä maaperästä veteen myös tiivisteiden tai materiaalin vaurioituneen kohdan kautta kuten kaikilla muillakin materiaaleilla. Yleensä orgaanisten kemikaalien aiheuttamat ongelmat muoviputkillä ovat johtuneet maaperän merkittävästä saastumisesta (Holsen ym. 1991b). Suomessa ongelmia on ollut mm. huoltoasemien tonttijohdoissa.

Orgaanisten kemikaalien siirtymistä maaperästä putken sisään on tutkittu myös kokeellisesti. Esim. polybuteeniputkia testattiin tolueenilla, trikloorieteenillä, 1,2-diklooribentseenillä ja o-kloorifenolilla. Kemikaalien siirtyminen putkeen oli nopeampaa vähän orgaanista hiiltä sisältävässä maaperässä kuin paljon sisältäneessä (Holsen ym. 1991a). PVC kestää suuremman tiheydensä vuoksi paremmin orgaanisten molekyylien diffuusiota kuin polyeteeni. Liian suuri ainemäärä saattaa kuitenkin aiheuttaa äkillisen heikentymisen PVC:n kyvyssä estää molekyylien kulkeutumista. PVC:n läpäisykyky on voimakkaasti riippuvainen orgaanisen haittamolekyylin pitoisuudesta. Alhaiset pitoisuudet, kuten 10-25 % kyllästysprosentista, eivät ole tutkimuksessa aiheuttaneet imeytymistä (van der Kooij ym. 1988). Toisaalta USA:ssa on todettu imeytymistä tonttijohtoihin myös alhaisissa pitoisuuksissa (Holsen ym. 1991b). PVC:n on todettu olevan tehokas suoja orgaanisilta liuottimilta verrattaessa PVC:ia, asbestisementtiä ja valurautaa keskenään ja tutkimuksen mukaan ratkaiseva tekijä imeytymisessä on termodynaaminen aktiivisuus liuottimen pitoisuuden sijaan (Olson ym. 1987). Suurimmat ongelmat aineiden imeytymisestä aiheutuvat helpoimmin tonttijohtoihin, joissa virtaus vaihtelee paljon ja tilavuus on pieni.

### *Korroosio ja liukeneminen*

Muoviputkien on todettu aiheuttaneen hajua- ja makuongelmia, vaikka irtoavien aineiden pitoisuudet ovat yleensä hyvin pieniä. Muovien ominaisuuksia parantavien lisäaineiden aiheuttamia hajua- ja makuhaittoja on todettu mm. polyeteeneillä. Tyypillisiä tällaisia aineita ovat ketonit, esterit ja aldehydit, joiden lähteenä pidetään mm. antioksidanteja, stabilisaattoreita ja väriaineita. Toisaalta myös itse peruspolymeerin hapettuminen ja polaaristen yhdisteiden liukeneminen voi aiheuttaa hajua- tai makuongelmia (Anselme ym. 1985; Skjevraak ym. 2003; Villberg ym. 1997). Osa materiaaleista aiheuttaa hajua- ja makuhaittoja vain klooratussa vedessä (Rigal 1992). Mikäli jakeluverkoston putket on hyväksytty muoviputkistandardien mukaisesti, on niille tehty standardin mukaiset hajua- ja makutestaukset.

Muoveilla ei esiinny perinteistä korroosiotta, mutta niillä on muita heikkenemisprosesseja. Ympäristöolosuhteiden aikaansaama vanhenemisprosessi on erilainen riippuen polymeeristä ja käytetyistä lisäaineista. Polymeerien vanheneminen voi aiheuttaa muutoksia kemiallisessa reaktiivisuudessa, värinmuutoksia, lujuuden heikkenemistä, pehmenemistä, kovettumista, haurastumista, muutoksia liukoisuusominaisuuksiin sekä lisäaineiden poistumista (migratoitumista) muovista (Javanainen ym. 1997). Pienet muutokset tuotantoprosessissa voivat olla ratkaisevia muovin ominaisuuksille pitkällä aikavälillä. Muovien ominaisuudet voivat muuttua ajan kuluessa (Rintala 2003). Koska aineiden liukoisuudet voivat muuttua vanhenemisen ja muiden heikkenemisprosessien seurauksena, voivat nämä ilmiöt vaikuttaa myös veden laatuun. Myös muovien välisiä liukoisuseroja on tutkittu. Esimerkiksi Rogers ym. (1994b) havaitsivat, että eteeni-propeenista, polyeteenistä, tai lateksista liukeni kokonaisorgaanista hiiltä (TOC) paljon enemmän (157, 179 ja 320 mg/l), kuin lasista, kuparista, polybuteenista, cPVC:sta (kloorattu), uPVC:sta (kova) tai polypropeenista (vaihteluväli 2,8-6 mg/l). Suomessa ei käytetä lateksia kosketuksessa talousveden kanssa. Muovien lisäaineiden liukoisuudesta veteen on tehty muitakin tutkimuksia, mutta irtoavien aineiden laadusta, mekanismeista ja määrästä ei vielä ole riittävästi tietoa.

### *Mikrobiologinen toiminta*

Mikrobien kasvuun tietyllä materiaalilla vaikuttavat pinnan tasaisuus ja siitä liukenevat lisäaineet. Uuden muovipinnan tasaisuus riippuu pitkälti käytetystä valmistustekniikasta.

Samanlaiset fyysiset ominaisuudet kuten huokoisuus ja pinnan karheus muoveissa näyttivät kokeessa tukevan samaa mikrobien määrää biofilmeissä PE:llä ja PVC:lla verrattuna metallisiin materiaaleihin (Niquette ym. 2000).

Mikrobit vaikuttavat lähes kaikkien polymeerien hajoamiseen, mutta synteettisten polymeerien hajoaminen on hidasta ja tietoa mekanismeista on vähän. Yleisesti polymeerien biohajoavuus riippuu molekyyllipainosta, kiteisyydestä ja fyysisistä muodoista. Suurempi molekyyli on mikrobeille vaikeampi käsitellä, mutta myös vaikeammin veteen liukeneva. Hajoamisprosesseihin vaikuttaa vahvasti myös hapen määrä, sillä aerobisen kohdan mikrobien metaboliareitit ovat erilaiset kuin anaerobisen kohdan mikrobien (Gu 2003). Muoveista mahdollisesti irtoavia mikrobien kasvua edistäviä yhdisteitä ovat mm. orgaaniset tinayhdisteet, bromisalisyylianiilidi, merkaptaanit ja orgaaniset kupariyhdisteet riippuen kyseisten aineiden käytöstä tietyssä muovimateriaalissa (Törmälä ym. 1992). Myös irtoavalla hiilellä voi olla vaikutusta kasvuun hiilirajoitteisissa vesissä. Muoveista liukenevien aineiden vaikutuksista mikrobien kasvuun on enemmän kunkin muovin kohdalla. Käsitellyistä ilmiöistä ei ole vielä tarpeeksi tietoa.

### **7.3.1 Polyeteenit**

#### **7.3.1.1 Kova polyeteeni (PEH)**

##### **Rakenne ja koostumus**

Kovasta polyeteenistä käytetään lyhennettä PEH, HDPE tai PE-HD (high density polyethene/polyethylene). Polyeteeni koostuu monomeereista, jotka ovat liittyneet yhteen. Monomeeri on eteeni ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ), joita liitetään yhteen katalyysireaktioiden avulla  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$  polymeeriksi. Käytännössä valmistusprosessissa pääketjuun liittyy haaroiksi myös etyyli- tai butyyli-ryhmiä (Tammela 1990). Käyttölämpötila-alue on paineellisissa olosuhteissa  $-51/60\text{ }^\circ\text{C}$  (Schweitzer 2000). Polyeteeneissä käytetään yleensä aina nokimustaa UV-suojan ja jännityssäröilyn estämisen vuoksi (Laine 1989). Polyeteenistä valmistetuissa jakelu- tai kiinteistöverkostojen vesijohtoputkissa ei käytetä täyteaineita.

##### **Valmistus**

Muoviputkien valmistusprosessi on käsitelty yleisesti muovien valmistuksen yhteydessä. Suomessa valmistetaan materiaalikyselyn perusteella kovasta polyeteenistä putkia ja liittimiä jakeluverkostoon.

##### **Käyttö ja liitokset**

Kovaa polyeteeniä (PEH) on käytetty vedenjakeluverkostojen putkimateriaalina vuodesta 1961 lähtien. PEH:stä valmistettuja putkia käytetään kokoluokissa 16-1600 mm sekä liittimissä (taulukko 1). Käyttö Suomessa on lisääntynyt kaiken aikaa ja se on ylivoimaisesti eniten asennettu putkistomateriaali tällä hetkellä. PE 63 oli ensimmäisen sukupolven PEH ja se tuli markkinoille (kaikki käyttökohteet) 1950-luvulla. Tämä luokittelutapa perustuu käytetyn polyeteeniraaka-aineen MRS-arvoon (pienin vaadittu lujuus, minimum required strength), joka oli tällä materiaalilla 6,3 MPa. Näiden putkien mitoitusjännitys oli 5,0 MPa. Toinen sukupolvi PEH-putkissa tuli markkinoille 1970-luvun lopulla, ja luokaksi tuli PE 80. Putkien mitoitusjännitys oli 6,3 MPa, mutta monissa Euroopan maissa käytettiin

mitoitusjännityksenä edelleen 5,0 MPa:ia (Bresser ja Bergman 2000). Luokitus on epäselvä, sillä myös toisen sukupolven keskikovat polyeteeniputket luokitellaan PE 80:ksi (Twort ym. 2000). PEH-putkien kolmas sukupolvi, PE 100, tuli markkinoille 1990-luvun alussa. Sen mitoitusjännitys on 8,0 MPa (Lepänkoski ja Järvelä 1998). MRS-arvoon perustuva luokitus on muuttunut putkimateriaalien mikrorakenteen parantuessa. Rakenteen vahvistuessa putken seinämää voidaan ohentaa tai paineluokkaa nostaa.

Nykyisten standardien mukaan virallinen ja yleistävä tapa ilmoittaa jakeluverkoston polyeteeniputken laatu on MRS-arvoon perustuva. Suomessa käytetään paineluokkien 3,2, 4, 6, 10 ja 20 polyeteeniputkia (SFS-EN 12201-2). Yleisesti käytettyjä putkia ovat PE 100-putket, jotka ovat siis aina kovaa polyeteeniä ja PE 80-putket, jotka voivat olla joko kovaa tai keskikovaa polyeteeniä. Monet alan toimijat käyttävät vielä tiheyteen perustuvaa putkimateriaalien jaottelua. Putket toimitetaan usein suorina putkina eli salkoina, mutta pienempiä kokoja myös kiepillä ja kelalla. Liittämiseen käytetään vedenjakeluverkostossa pitkälti hitsausta, joita on kahta tyyppiä, pusku eli peilihitsaus ja sähkömuhvihitsaus. Myös laippaliitos on mahdollinen. Toisaalta alle 63 mm:n putkille käytetään yleisesti puristusliittimiä, jotka ovat kovaa polyeteeniä, valurautaa, terästä tai muita metalliseoksia (taulukko 6). Suurikokoiset putket ( $\geq 630$  mm) liitetään puskuhitsauksella tai laippaliitoksella. PE 100 on kova materiaali ja mekaanisten liittimien käyttö voi olla vaativaa. Yleisesti polyeteenien korkeimmaksi jatkuvaksi käyttölämpötilaksi suositellaan 50 °C (Muoviteollisuus 2003).

Materiaalikyselyn perusteella PEH on käytetyin ja vanhin saneerausmateriaali jakeluverkostojen putkistoissa. Eniten sitä on käytetty pitkäsujutuksessa, mutta myös pakkosujutuksessa. Putki on sama, jota käytetään myös uudisrakentamisessa standardin SFS-EN 12201 mukaan. Monikerros- eli komposiittiputkia käytetään lähinnä tonttijohdoissa ja asennettaessa putkia saastuneisiin tai saastumiselle riskialttiisiin maaperiin. Monikerrosputkissa käytetään eri muovien yhdistelmiä, esim. polyeteenistä (PE100) virtausputkea, jonka päällä on alumiinikalvo ja ulkopuolella polypropeeninen suojaputki. Osat on liimattu toisiinsa.

## **Vuorovaikutukset**

Polyeteenien vuorovaikutukset veden kanssa käsitellään pitkälti tässä kaikkien polyeteenien osalta sekä jakelu- että kiinteistöverkostoissa. Jakelu- ja kiinteistöverkostojen polyeteenien raaka-aineissa on eroja, jolla on suuri merkitys vuorovaikutusten arvioinnissa, mutta tarkkoja koostumustietoja ei ole saatavilla. Tulkinnassa on myös huomioitava, että putken sijainti vaikuttaa huomattavasti polyeteenimateriaaleista irtoavien aineiden määrään ja laatuun. Jakeluverkoston kylmää vettä siirtävistä putkista irtoaa aineita hitaammin kuin kiinteistöjen sisällä olevista kylmän ja lämpimän veden polyeteeniputkista.

### *Korroosio ja liukeneminen*

Norjalaisessa tutkimuksessa seitsemän eri valmistajan PEH-putkesta havaittiin liukenevan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joista eniten todettiin irtoavan antioksidanttina käytettyjen aineiden hajoamistuotteita, mm. 2,4-di-tert-butyylifenolia (2,4-DTBP). Samalla materiaalista todettiin irtoavan erilaisia estereitä, ketoneita, aromaattisia hiilivetyjä ja terpenoideja (Skjevraak ym. 2003). Osa näistä aineista voi olla peräisin polyeteenien valmistusprosessista, josta on jäänyt aineita muovin pintaan (Villberg ym. 1997). PEX-putkista puolestaan irtosi merkittäviä määriä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joista suurta osaa ei tunnistettu.

Tunnistetuista yhdisteistä yleisimpiä olivat oksygenaatit, jotka ovat happea sisältäviä alkoholeja ja eettereitä. Yksittäisistä aineista eniten löytyi MTBE:tä (metyyli tert-butyylieetteri), joka on aistittavissa juomavedestä hyvin pieninä pitoisuuksina. Terveyshaittojen ilmeneminen vaatisi merkittävästi tätä suurempia pitoisuuksia. Sekä PEH-että PEX-putket aiheuttivat hajuhaittoja (Skjevraak ym. 2003). Villberg ja Veijanen (1998) totesivat polyeteenien hajuongelmien johtuvan lähinnä karbonyyliyhdisteistä, joiden määrä saatiin tutkimuksessa testattavilla lisäaineilla hyvin alhaiseksi (Villberg ja Veijanen 1998).

Polyeteeneistä talousveteen liukenevia aineita määritettiin eräissä tutkimuksissa sekä kokeellisesti että uudessa käyttönotetussa verkostossa. Tutkitut materiaalit olivat PEM, PEL ja PEX. Koejärjestelyssä löydettiin tyypillisesti fenolisia renkaita, joissa oli kiinni suojattuja alkyyliryhmiä aromaattisen renkaan paikoissa 2 ja 6. Myös itse polyeteenipolymeeriä analysoitiin ja verrattaessa sitä vedessä olleisiin yhdisteisiin, todettiin osa löydetyistä aineista antioksidanteiksi, joita käytetään putkien tuotannossa. Käyttönotetusta verkostosta, jossa oli käytetty PEX-putkea, löydettiin kolmea samaa yhdistettä kuin aiemmissa kokeissa PEL:stä ja PEM:stä (Brocca ym. 2002). Useissa tutkimuksissa on löydetty polyeteenien antioksidanteista (esim. BHT, butyloitu hydroksitolueeni ja muut karbonyyliyhdisteet) peräisin olevia fenoliaineita veteen liuenneena (Skjevraak ym. 2003).

### *Mikrobiologinen toiminta*

Polyeteenien mikrobiologisia hajoamisprosesseja on tutkittu eri olosuhteissa. Polyeteeni voi huonontua ajan kuluessa, mutta tietyissä olosuhteissa tapahtuvia muutoksia on vaikea arvioida ja tulkintoja niistä pitäisi tehdä varoen (Gu 2003). Polyeteeneistä mahdollisesti liukenevat aineet voivat lisätä mikrobien kasvua. Esimerkiksi useita antioksidanttien hajoamistuotteita on havaittu biofilmeistä (Skjevraak ym. 2005).

## **7.3.1.2 Keskikova polyeteeni (PEM)**

### **Rakenne ja koostumus**

Materiaalista käytetään myös lyhennettä MDPE tai PE-MD (medium density polyethylene). Suurin rakenteellinen ero PEH:iin nähden on pienempi tiheys ja kovuus.

### **Valmistus**

Materiaalikyselyn perusteella Suomessa valmistetaan keskikovaa polyeteeniputkea. Muoviputkien valmistusprosessin perusteet on käsitelty yleisesti muovien valmistuksen yhteydessä.

### **Käyttö ja liitokset**

Ensimmäisen sukupolven PEM-putket otettiin käyttöön 1980-luvun vaihteessa. Niistä on aiemmin käytetty termiä PEM 50 mitoitusjännityksen (5,0 MPa) mukaan. Nykyään materiaalista käytetään merkintää PE 63 MRS-arvon 6,3 MPa mukaan (Bresser ja Bergman 2000; SFS-EN 12201-2). Toisen sukupolven PEM tuli käyttöön 1980-luvun alkupuolella, ja se luokiteltiin PE 80:ksi. Ongelmana on termien päällekkäisyys, sillä myös toisen sukupolven PEH-putkia luokitellaan PE 80:ksi (Twort ym. 2000). Suomessa PEM on otettu käyttöön

jakeluverkostoissa noin vuonna 1965. Nykyään yleisesti käytetty keskikova polyeteeni PE 80 (PEM), on lähinnä pienissä johtokokoluokissa kuten tonttijohdoissa käytetty putkimateriaali (20-90 mm). Aiemmin PEM-putkea on käytetty myös suurempien putkien materiaalina 200 mm:iin asti. PEM-putkea käytetään myös sujutuksissa. PEM-putket toimitetaan usein kelalla tai kieppinä. Liitoksissa käytetään hitsausta tai mekaanisia liittimiä, joiden materiaalit ovat samoja kuin PEH:llä (taulukko 6).

### **7.3.1.3 Pehmeä polyeteeni (PEL)**

#### **Rakenne ja koostumus**

Pehmeä polyeteeni, PEL, on pehmein polyeteeni. Myös nimitystä LDPE tai PE-LD (low density polyethylene) käytetään.

#### **Valmistus**

Muoviputkien valmistusprosessin perusteet on käsitelty yleisesti muovien valmistuksen yhteydessä.

#### **Käyttö ja liitokset**

Pehmeästä polyeteenistä käytetään nykyisin termiä PE 40, joka tarkoittaa standardin mukaista MRS-arvoa 4,0 MPa (SFS-EN 12201-2). Aiemmin on käytetty merkintää PEL 32 mitoitusjännityksen 3,2 MPa mukaan. Materiaalikyselyn mukaan PEL:n käyttö jakeluverkostoissa on aloitettu Suomessa noin vuonna 1956. Käyttökohteena ovat olleet lähinnä pienet putket (15-63 mm) helpon mekaanisen liitettävyyden vuoksi (taulukko 1). Materiaalin käyttö on selvästi vähentynyt viime vuosina mm. vähäisen valmistuksen ja alhaisen paineenkeston takia. PEL-putket liitetään mekaanisilla liittimillä (taulukko 6). PEL-putkea käytetään myös sujutuksissa.

### **7.3.1.4 Ristisilloitettu polyeteeni (PEX)**

Ristisilloitettu polyeteeni (crosslinked polyethylene) on tuorein jakeluverkostoissa vesijohtokäyttöön Suomessa otettu muovilaatu. PEX:iä käytetään yleensä jakeluverkostossa vain pienissä johtokokoluokissa ((12)-75 mm) ja lähinnä erikoistilanteissa, esim. lämpöeristettyä johto-osuutta varten (taulukko 1). Materiaalikyselyn mukaan vedenjakeluverkostossa on käytetty ensimmäisen kerran PEX:iä vuonna 2002. Putkien liittämiseen käytetään mekaanisia liittimiä (taulukko 6). PEX:n pääkäyttökohde on kiinteistöjen sisäiset putket ja se on käsitelty tarkemmin kiinteistöjen yhteydessä.

### **7.3.2 Polyvinyylikloridi (PVC)**

#### **Rakenne ja koostumus**

Polyvinyylikloridin (polyvinylchloride) raaka-aineena käytetään vinyylkloridia. Vesijohtoputkissa käytettävä PVC on tyypiltään kovaa eli pehmittämätöntä PVC-U:ia

(unplasticized PVC, uPVC) ja siihen ei ole lisätty pehmittimiä (Janson 1996). Tässä selvityksessä pehmittämättömästä PVC:sta käytetään termiä PVC. Se on lujempaa, kovempaa ja painavampaa kuin kova polyeteeni. Putkien väri on tyypillisesti tummanharmaa. Käyttölämpötila-alue on -18/60 °C (Schweitzer 2000). Yleisesti PVC-muovien stabilisaattoreina käytetään tai on käytetty seuraavia aineita: 1. orgaaniset tinastabilisaattorit: rikkitinat, organotinakarboksylaattit, 2. barium/kadmium-stabilisaattorit, 3. kalsium/sinkki- ja barium/sinkki-stabilisaattorit, 4. lyijystabilisaattorit: kolmiemäksinen lyijysulfaatti, kaksiemäksinen lyijyfosfiitti, kaksiemäksinen lyijyftalaatti, neutraali lyijystearaatti, kaksiemäksinen lyijykarbonaatti, 5. metallivapaat stabilisaattorit: aminokrotonihappoesterit, fenyyliindoli, ureajohdannaiset, 6. apustabilisaattorit: orgaaniset fosfiitit, epoksiyhdisteet, polyolit. Bariumia, kadmiumia ja niiden yhdisteitä ei käytetä vesijohtoputkissa (Javanainen ym. 1997).

Tyypillisesti PVC:ssa käytetty epäfunktionaalinen täyteaine on kalsiumkarbonaatti, mutta vesijohtojen PVC-putkissa ei nykyään käytetä täyteaineita. PVC-putkien valmistuksessa tarvitaan liukuaineita, jotka usein sisältävät pieniä määriä kalsiumkarbonaattia (Laine 1989). PVC-putkien lämpöstabilisaattoreina käytetään Pohjois-Amerikassa tyypillisesti metyyliitinan yhdisteitä ja muualla taas pitkälti lyijyä (Al-Malack 2001; Sadiki ym. 1996). Eurooppalaisten valmistajien ilmoittamien tietojen mukaan PVC-putkissa metallistabilisaattoreina käytetään pelkästään lyijyn sekä kalsiumin ja sinkin yhdisteitä (European Council of Vinyl Manufacturers 2006). Toisaalta esim. Britanniassa käyttöön hyväksytyissä putkissa ei ole käytetty lyijyä sisältäviä stabilisaattoreita (Drinking Water Inspectorate 2006). Kalsiumia ja sinkkiä käytetään yhdessä ja niiden käyttö on lisääntymässä. Toisaalta liitoskappaleissa käytetään sekä lyijyn että tinan yhdisteitä. Eurooppalaiset valmistajat ilmoittavat luopuneensa kadmiumin käytöstä PVC-materiaaleissa Euroopan Unionin alueella vapaaehtoisesti (European Council of Vinyl Manufacturers 2006).

## Valmistus

PVC:n valmistuksessa vinyylidikloridista polymeroidaan suspensio-, emulsio- ja massamenetelmillä polyvinyylidikloridia  $(-CH_2-CH-Cl)_n$  (Tammela 1990). Vinyylidikloridin valmistuksessa käytetään mm. 1,2-dikloorietaania. PVC-putket valmistetaan pursottamalla ja liitoskappaleet valamalla (The European Plastic Pipes and Fittings Association 2006). Materiaalikyseleyn perusteella Suomessa valmistetaan PVC-putkia ja liitoskappaleita. Putket toimitetaan yleensä 6 m pituisina salkoina (Muoviteollisuus 2003).

## Käyttö ja liitokset

Polyvinyylidikloridi on toiseksi yleisin vedenjakeluverkostojen johtolinjoissa käytetty muovi. Käyttökohteena ovat PVC-putket (90-640 mm) ja niiden liittimet (taulukot 1 ja 6). PVC-putkia on käytetty aiemmin jo 63 mm:stä suurempiin kokoihin (taulukko 6). Standardinmukaisia putkia voi käyttää 1000 mm:n kokoluokkaan asti (SFS 1452-2). Suomessa materiaalia saa käyttää vain kylmään veteen (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Suurin jatkuva käyttölämpötila on 45 °C (Lindström 1992). PVC:sta käytetään Pohjois-Amerikassa yleisesti kaupanimeä Vinyl.

Suomessa ensimmäinen PVC-paineputki asennettiin jakeluverkkoon vuonna 1961 ja materiaalia käytetään edelleen yleisesti, vaikka käyttö onkin vähentynyt. PVC-putkia käytetään pää- ja jakelujohtoina. Liitoksissa käytetään lähinnä kumirengasmuhvia, mutta myös laippaliitokset ovat mahdollisia.



## **Vuorovaikutukset**

### *Korroosio ja liukeneminen*

Polyvinyylidikloridista voi liueta fenoleita, joita käytetään antioksidantteina tai akryyleja, joita käytetään valmistusprosessin apuaineina. Lisäksi mahdollisia liukenevia aineita ovat aromaattiset amiinit, lyijy, kadmium ja orgaanisen tinan yhdisteet, joita käytetään tai on käytetty lämmön stabiloijina. PVC:sta voi liueta myös epäpuhtautena olevia vinyylidikloridimonomeeriä (VCM) ja elohopeaa (World Health Organization 2000). Joidenkin lisäaineiden käyttö on vähentynyt verrattuna vanhempiin PVC-putkiin, mutta myös useat käytetyt aineet on korvattu toisilla. Suomessa talousvesiasetuksen kemiallisten laatuvaatimusten mukaiset enimmäispitoisuudet ovat lyijylle 10 µg/l, vinyylidikloridille 0,50 µg/l ja kadmiumille 5,0 µg/l. Myös elohopealle on laatuvaatimus 1,0 µg/l. Vinyylidikloridin määrää ei tutkita vedestä suoraan (Sosiaali- ja terveysministeriö 2000). PVC-putkien voimassaoleva standardi edellyttää, että putki ei saa sisältää tiettyä määrää enempää vinyylidikloridimonomeeriä (SFS-EN 1452-2).

Orgaanisen tinan yhdisteitä voi liueta merkittävässä määrin talousveteen verkoston PVC-komponenteista. Tutkimuksessa suurimmat pitoisuudet on havaittu linjoista, joissa oli uusimmat PVC-putket (Sadiki ym. 1996). Veden pH:n, lämpötilan, liuennon kiintoaineen ja veden virtauksen on todettu vaikuttavan metallisten stabilisaattoreiden liukenemiseen (Al-Malack 2001). Tutkimuksessa veteen liukenevan lyijyn määrään vaikutti merkittävästi PVC-putken pursotuslämpötila valmistusvaiheessa. Kokeessa käytettiin kolmen lämpötilan putkia: 170, 180 ja 190 °C. Korkeimman lämpötilan putkesta liukeni vähiten lyijyä. Myös vedessä olevien metalli-ioneja kompleksoivien yhdisteiden todetaan voivan lisätä liukenemistä (Wong ym. 1990). PVC-putkista on todettu irtoavan myös muutamia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, mutta hajuhaittoja tutkimuksessa ei todettu (Skjevraak ym. 2003).

### *Mikrobiologinen toiminta*

On arvioitu, että PVC:n perusmonomeeri vinyylidikloridi ei ole mikrobien hyödynnettävissä, mutta erilaiset emulsio- tai suspensioaineet voisivat edistää mikrobitoimintaa. Mikrobikasvun estäjiksi puolestaan arvioidaan lyijy- tai muut metallipohjaiset stabilisaattorit. PVC-putkien asennuksessa käytetään muhviilitosten vuoksi liukastusaineita. Nämä asennuksessa voiteluaineina käytettävät vahat ja myrkyttömät stearaatit arvioidaan potentiaalisiksi kasvun estäjiksi (Lindberg ym. 1985).

## **7.3.3 Muut muovit**

### **ABS**

ABS-muovi on akrylinitriilin, butadieenin ja styreenin kopolymeeri tai niiden seos ja kuuluu styreenimuoveihin (Tammela 1990). ABS-muovissa täyteaineena voidaan käyttää lasikuitua (Javanainen ym. 1997). Alin käyttölämpötila on -40 °C ja korkein 85 °C (Schweitzer 2000). ABS-muovia (acrylonitrile-butadiene-styrene) on USA:ssa käytetty tonttijohdoissa ja muissa linjoissa (Holsen ym. 1991). Sitä on käytetty myös Britanniassa kylmän veden johtamiseen pienemmissä linjoissa. Suomessa ABS-muovia sisältävien tuotteiden käytöstä jakeluverkostoissa ei ole tietoa, mutta Euroopassa materiaalia ei ole yleisesti käytetty talousveden johtamiseen (The European Plastic Pipes and Fittings Association 2006).

Joissakin vesikalusteissa kuten suihkuissa käytetään ABS-muovia, mutta talousvesiasetuksen mukaan peseytymistarkoitukseen käytettävä vesi ei ole talousvettä.

### **Lasikuituvahvisteinen muovi (GRP)**

Lasikuituvahvisteisten muoviputkien ja yhteiden (GRP, glass fiber-reinforced plastic) raaka-aineina voidaan käyttää esim. epoksia tai polyesteriä, lasikuitua ja hiekkaa. Myös termiä lujitemuovi voidaan käyttää ja muut lujitteet ovat mahdollisia. Suomessa putkea on saatavilla kokoluokissa 300-2400 mm. Lasikuituvahvistettua muoviputkea käytetään vesijohtoverkostoissa monissa maissa, mutta lähinnä suurten linjojen materiaalina. Materiaalikeselyn perusteella Suomessa materiaalia ei ole käytössä jakeluverkostossa, mutta teollisuudessa on.

### **Polyamidi (PA)**

Polyamidien lähtöaineiden rakenneyksiköt on liitetty toisiinsa amidiryhmillä (-CO-NH-). Lähtöaineet voivat olla alifaattisia, alisyklisiä tai aromaattisia. Yhdysvalloissa materiaalista käytetään nimeä Nylon, joka oli ensimmäinen kaupp nimi. Käytettyjen laatu- ja kauppanimenä käytetään esim. Rilsan A / B-, Grilamid- ja Vestamid-merkkejä. Polyamidit sisältävät hiiltä, typpeä, happea ja vetyä. Polyamidit ovat kovia, sitkeitä, joustavia ja kulutusta kestäviä materiaaleja. PA-putket valmistetaan valumenetelmällä (Tammela 1990). Polyamidit luokitellaan toistuvan jakson hiiliatomien määrän perusteella. Putkissa käytetään PA12:ta kemikaalien kesto-nsa vuoksi (Järvinen 2000). Käyttölämpötila-alue tyypille PA-12 on -40/82-121 °C ja yleisesti polyamideille -40/149 °C. Polyamidit kestävät hyvin iskuja (Schweitzer 2000). Suomessa ei ole käytetty polyamidiputkia vesijohdoissa, mutta esim. Australiassa niitä on käytössä. Polyamidia käytetään kuitenkin vedenjakeluverkostojen liittimien ja venttiilien pinnoitteissa sekä liittimien osissa (taulukko 1). Britanniassa käytetään ainakin PA11:ta pinnoitteena.

### **Polyasetaaali (POM)**

Asetaalimuovien perusmonomeeri on formaldehydi. Mikäli polymeeri sisältää vain formaldehydistä peräisin olevia rakenneyksiköitä (-CH<sub>2</sub>-O-), on nimitys tällöin polyoksimetyyleeni/polyoksimeteeni. Asetaalimuovit ovat väriltään valkeita, kovia, jäykkiä sekä iskunkestäviä. Valmistuksessa käytetään ruiskupuristusta (Tammela 1990). Polyasetaalaa (polyacetal, polyoxymethylene) on myös saatavana erilaisilla täyteaineilla kuten lasikuiduilla ja/tai talkilla (Javanainen ym. 1997). Tunnettuja kaupp nimiä ovat Delrin ja Hostaform (Tammela 1990). Polyasetaalaa käytetään Suomessa jakeluverkostojen liittimissä ja venttiilien rungoissa (taulukko 1). Pysyvä maksimikäyttölämpötila homopolymeerillä on 60 °C (Uponor 2000). Kopolymeerityypin lämpimän veden kesto-kyky on hyvä (Järvinen 2000).

### **Polybuteeni (PB)**

Polybuteenin ominaisuudet on käsitelty kiinteistöverkostojen yhteydessä. Polybuteenin käytöstä suomalaisissa vedenjakeluverkostoissa ei ole tietoa. Käyttö on tiettävästi rajoittunut kiinteistöjen sisälle.

## **Polypropeeni (PP)**

Polypropeenien (polypropylene) polymerointiprosessit ovat teknisesti lähellä polyeteenien prosesseja (Tammela 1990). Polypropeeniputkia käytetään maailmalla sekä homopolymeerisina että kopolymeerisina, jossa mukana on polyeteeniä. Homopolymeerin käyttölämpötila-alue on 4/82 °C ja kopolymeerin -29/93 °C (Schweitzer 2000). Talousveden johtamiseen käytetään lähinnä kopolymeerityyppiä PP-R (PP random). Materiaalin tiheys on noin 0,9 g/cm<sup>3</sup>. Polypropeenia on valmistettu jakeluverkostojen paineputkissa käytettäväksi, mutta käytön laajuudesta Suomessa ei ole tietoa (Laine 1990). Vesilaitoskyselyn perusteella materiaalia ei ole käytetty putkimateriaalina. Mahdollisesti käytettyjä putkikokoja ovat (16)-1600 mm ja liitostapoja muhvi-, puskuhitsaus- ja laippaliitos (SFS 3425). Jakeluverkostoissa käytetään polypropeenirunkoisia liittimiä (taulukko 1).

## 8 Kiinteistöverkostot ja materiaalit

Kiinteistöissä talousveden kanssa kosketuksessa olevia materiaaleja on putkissa, liittimissä, venttiileissä, hanoissa, vesimittareissa, säiliöissä ja lämminvesivaraajissa. Liittimiä on moneen tarkoitukseen. Niitä käytetään putkien välisten suorien liitosten lisäksi mm. hanajatkoihin, kulma- ja t-yhteisiin, erilaisiin nippoihin, tulppiin, hanamuhveihin ja -kulmiin. Venttiilejä käytetään mm. varo-, tyhjennys-, sekoitus- ja sulkuventtiileinä. Tällä hetkellä Suomessa asennetaan käytännössä vain muovi- ja kupariputkia kiinteistöjen talousvesijohdoiksi. Muoviputket ovat suurimmaksi osaksi ristisilloitettua polyeteeniä (PEX) ja monikerros- eli komposiittiputkia (taulukko 7). Taulukon 7 tiedot on saatu yksittäisten lähteiden lisäksi materiaalikyselyn ja yritysten internet-sivujen avulla. Haja-asutusalueen kaivojen materiaaleja ei ole käsitelty tässä selvityksessä.

Kiinteistöjen vesijohtojen historia alkoi Suomessa n. vuonna 1890, mutta lämminvesijohdot alkoivat yleistyä vasta 1930-luvulla (Karjalainen 1995). Aiemmin putkimateriaaleina on käytetty lähinnä kuumasinkittyä terästä ja kuparia. Kuumasinkitty teräs oli hallitseva materiaali kylmävesijohdoissa vielä 1960-luvulla. Kuparia oli käytetty lämminvesijohdoissa alusta asti eli 1890-luvulta lähtien, mutta kylmävesijohdoissa se syrjäytti lopullisesti sinkityn teräksen vasta 1970-luvun puolessavälissä. Sinkitty teräs on ainoa yleinen putkimateriaali, jota ei käytännössä enää asenneta kiinteistöjen talousvesiputkistoihin. Lyijyputkia ei Suomessa ole asennettu talousvesiputkiksi kuin muutamia 1920-luvulla (Karjalainen 1995; Järvinen ym. 1987). Muoviputkien käyttö yleistyi erityisesti pientalorakentamisessa 1980-luvulla ja niiden käyttö lisääntyy edelleen. Kiinteistöissä on käytetty vähäisessä määrin myös ruostumattomasta teräksestä valmistettuja putkia (taulukko 7). Tällä hetkellä kupari on valtamateriaali kiinteistön vesijohtoputkissa monissa Euroopan maissa ja Pohjois-Amerikassa (Scandinavian Copper Development Association 2005).

Kiinteistöjen sisäiset putket voidaan jakaa tonttijohdon ja vesimittarin jälkeen jako- ja kytkentäjohtoihin. Jakojohdot kuljettavat vettä kahdelle tai useammalle vesipisteelle ja kytkentäjohtoilta liitetään vesikalusteet jakojohdon. Kytkentäjohtojen kokoluokat ovat 10-22 mm kupari- ja muoviputkillla. Kiinteistöissä käytetään yleisesti putkikokoluokkia 10-110 mm. Muovi- ja kupariputkien nimelliskoot tarkoittavat ulkohalkaisijaa (taulukko 7). Käytetyt liitostekniikat riippuvat paljon käytetystä putkimateriaalista, mutta erilaiset mekaaniset liittimet ovat lisänneet suosiotaan myös metalliputkissa. Venttiilien materiaalina on käytännössä aina sinkinkadonkestävä messinki ja liittimissä useimmiten muovi tai sinkinkadonkestävä messinki. Suuremmissa venttiileissä materiaalina on käytetty myös punametallia, valurautaa ja ruostumatonta terästä. Hanojen runko on usein sinkinkadonkestävää messinkiä. Tiivistemateriaaleista yleisin on polytetrafluorietyyleeni eli Teflon. Putkivarusteet ja monet liitoskappaleet ovat olleet kuumasinkittyjä teräksisiä kierreosia tai messinkiä. Kuparista rakennettujen putkistojen varusteet ovat yleensä messinkiä. Vesikalusteet, sekoittimet ja vastaavat ovat yleensä messinkiä (osittain myös muovia). Vesimittarit ovat koosta riippuen olleet joko valurautaa, punametallia tai messinkiä. Nykyään käytetyin materiaali on pallografiittirautaa.

**Taulukko 7.** Kiinteistöverkostojen putkimateriaalien perusominaisuuksia sekä asentamisen alkamis- ja lopetusaikoja\*.

<b>Materiaali</b>	<b>Asennettavia kokoja (mm)</b>	<b>Seinäma- vahvuuksia (mm)</b>	<b>Tiheys (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Liittimien/ yhteiden materiaaleja</b>	<b>Liitostekniikoita<sup>a</sup></b>	<b>Asentamisen alkaminen</b>	<b>Asentamisen loppuminen</b>
<b>Metallit</b>							
Sinkitty teräs	NS 15-65 (v. 1952-1976) <sup>b</sup>	2,75-3,75 (NS 15-65) <sup>b</sup>	7,85	kuumasinkitty teräs, kuumasinkitty valurauta <sup>b</sup>	muhvikierre	1900-luvun alku <sup>c,d</sup> (vain kylmä vesi)	n. 1975 <sup>c</sup>
Ruostumaton teräs	DN 10-(1200) <sup>e</sup>	1,6-12,5 (DN10-1200)	7,94-7,98 <sup>f</sup>	ruostumaton teräs	hitsaus, kierre, liitin (puristus)	ei tietoa	käyttö jatkuu
Kupari	10-108 <sup>g</sup>	0,8 (6-10); 1,0 (12-22); 1,2 (28); 1,5 (35-54); 2,0 (64-88,9); 2,5 (108) <sup>g</sup>	8,94	kupari, messinki, punametalli	juotokset (kova/pehmeä), liitin (puristus/pisto)	lämmin vesi 1890; kylmä vesi 1950-luvun loppu <sup>c</sup>	käyttö jatkuu
<b>Muovit</b>							
Polyeteeni, ristisilloitettu (PEX), komposiitit	16-110	2-10 (16-110)	0,936-0,959	messinki, punametalli, muovi	liitin (puristus)	ei tietoa	käyttö jatkuu
PE-RT, komposiitit	16-110	2-10	0,933-0,941	messinki, punametalli, muovi	liitin (puristus)	2000 <sup>h</sup>	käyttö jatkuu

Polyeteeni, ristisilloitettu (PEX)	10-110	1,8-15,1 (10-110) <sup>i</sup>	liitin (puristus), kierre	n. 1986 <sup>j</sup>	käyttö jatkuu
--	--------	--------------------------------	------------------------------	----------------------	---------------

---

<sup>a</sup> materiaali samaan materiaaliin

<sup>b</sup> Kapanen 1995

<sup>c</sup> Karjalainen 1995

<sup>d</sup> Järvinen ym. 1987

<sup>e</sup> SFS-EN 10312

<sup>f</sup> EN 1.4401; AISI 304 ja 316

<sup>g</sup> SFS-EN 1057

<sup>h</sup> ensimmäinen tyyppihyväksyntä komposiittiputkelle

<sup>i</sup> SFS-EN ISO 15875-1 ja 2

<sup>j</sup> ensimmäinen tyyppihyväksyntä

\*taulukosta puuttuu polybuteeni, jota valmistettiin Suomessa 1981-1990, tietävästi myös polypropeenina on käytetty kiinteistöjen putkimateriaalina

## 8.1 Metallit

Kiinteistöjen talousvesiputkistoissa käytetyt metallit ovat kupariseoksia ja sinkittyä terästä, mutta sinkityn teräksen asennus uusiin verkostoihin pinnoitteita lukuun ottamatta on loppunut jo 1970-luvulla. Kiinteistöjen metalliset putket ovatkin melkein poikkeuksetta kuparisia ja liittimet ja venttiilit messinkisiä. Messinki on edelleen käytetyin materiaali liittimissä ja venttiileissä.

Kiinteistöjen vesijohtojen metallituotteet ovat yleensä sisäpuolelta pinnoittamattomia, mutta erityisesti kosteissa tiloissa käytetään ulkopuolelta pinnoitettuja kupariputkia. Vuorovaikutukset ovat aina tuotteissa käytettyjen metalliseosten ja veden välisiä. Metalliset materiaalit voivat syöpyä, jos veden laatu on epäsuotuisa. Myös kiinteistöjen metalliputkien pintojen biofilmit voivat vaikuttaa veden laatuun ja vaurioiden syntymiseen. Kiinteistöjen lämminvesijohdoissa vallitsevat lämpimät olosuhteet voivat kiihdyttää veden ja metallien vuorovaikutuksia.

### 8.1.1 Sinkitty teräs

#### Rakenne ja koostumus

Käsittelemätön teräs on hiiliterästä, jonka koostumus ja ominaisuudet on käsitelty jakeluverkostojen yhteydessä. Hiiliteräs voidaan pinnoittaa mm. sinkillä. Sinkkipinnoitteita käytetään kahdesta syystä. Sinkin korroosio on huomattavasti hitaampaa kuin teräksen ja sinkkipinnoite suojaa terästä katodisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että pinnoitteen vaurioituessa sinkkiä liukenee vauriokohtaan ja teräksen korroosio estyy.

#### Valmistus

Kiinteistöissä on käytetty pituussaumallisia teräsputkia ja niiden valmistustekniikka on vastaava kuin jakeluverkostojen teräsputkissa. Teräsputket pinnoitetaan kuumasinkityksellä sisä- ja ulkopuolelta (zinc-coated steel, hot-dip galvanised steel). Puhdistetut happokylvyssä peitatut putket upotetaan kuumaan sinkkiin, ja sinkkikerroksen paksuudeksi saadaan noin 0,07 mm (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Tätä paksuutta on käytetty vuoden 1965 jälkeen alle DN50 kokoisissa putkissa minimipaksuutena ja suuremmissa putkikokoluokissa 0,14 mm:ä (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1965). Tällä hetkellä talousvesikäyttöön tarkoitettujen teräsputkien sinkitys määritellään SFS-EN 10240:en ja SFS 3314 mukaan. Kiinteistöjen painevesisäiliöitä pinnoitetaan sinkkikerroksella (SFS-EN ISO 1461). Tyypillisesti käytetään paksuuksia 100-150 µm.

#### Käyttö ja liitokset

Kuumasinkittyjä teräsputkia on Suomessa asennettu kiinteistöjen kylmävesijohdoiksi (NS 3-90) ja niiden yhteiksi. Se oli valtamateriaali 1900-luvun alusta 1970-luvun puoliväliin, jolloin siirryttiin pitkälti käyttämään kuparia myös kylmävesijohdoissa (Karjalainen 1995). Nämä putket ovat olleet pituussaumallisia kuumasinkittyjä keskiraskaita teräsputkia (Lindström 1992). Mahdolliset kupariosat on pitänyt ehdottomasti asentaa virtaussuunnassa teräksen jälkeen, sillä veteen liuennut kupari saattaa aiheuttaa sinkityssä teräksessä nopeaa syöpymistä (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Sinkittyjen teräsputkien liittämiseen käytettiin yleisesti muhvikierrelitoksia (Järvinen ym. 1987). Putkien liitoskappaleet ovat olleet

kuumasinkittyä pehmitettyä (adusoitua) valurautaa tai kuumasinkittyä terästä (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987). Kuumasinkittyä terästä käytetään nykyään kiinteistöissä ainakin painevesisäiliöiden rungoissa (taulukko 1).

## **Vuorovaikutukset**

### *Korroosio ja liukeneminen*

Sinkin korroosionkestävyys on hyvä kovassa vedessä, jonka pH-arvo on yli 7. Sinkki voi liueta happamassa ja pehmeässä vedessä etenkin, jos vesi sisältää aggressiivista hiilidioksidia. Sinkin liukeneminen voi aiheuttaa veteen mm. makuhaittoja, ja liukenemisen jatkuessa pinnon alta paljastuva teräs alkaa jossain vaiheessa myös syöpyä. Teräksen korroosio on huomattavasti nopeampaa kuin sinkin, ja tällöin voimakas korroosiotuotteiden muodostuminen voi aiheuttaa virtauspoikkipinta-alan pienenemistä ja jopa putkien tukkeutumista. Hiiliteräksen ja veden vuorovaikutuksesta on enemmän jakeluverkostojen yhteydessä. Sinkin enimmäispitoisuudelle ei ole asetettu raja-arvoa talousvesiasetuksessa.

### *Mikrobiologinen toiminta*

Mikrobien toimintaan kiinteistöverkoston teräsputkella liittyy oletettavasti samoja piirteitä kuin jakeluverkostossakin. Sinkkipinnoitteen vaikutuksesta mikrobeihin ei ole tietoa.

## **8.1.2 Ruostumaton teräs**

Ruostumattoman teräksen yleiset ominaisuudet ja valmistus on käsitelty jakeluverkostojen yhteydessä. Liittäminen voidaan toteuttaa sekä kylmän että lämpimän veden johdoille hitsaus-, kierre- ja puristusliitoksella (taulukko 7). Materiaalia käytetään kiinteistöjen putkissa, liitoskappaleissa, pumpuissa, venttiileissä, mittareissa sekä lämminvesivaraajien, painevesisäiliöiden ja suodattimien rungoissa (taulukot 1 ja 7). Ruostumatonta terästä on käytetty Suomessa toistaiseksi kiinteistöverkostojen putkimateriaalina lähinnä erikoistapauksissa (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1987).

## **8.1.3 Kupari**

### **Rakenne ja koostumus**

Kiinteistöjen kupariputkien raaka-aineena käytetään tällä hetkellä fosforideoksidoitua Cu-DHP-kuparia (phosphorus deoxidized copper), joka sisältää kuparia min. 99,9 % ja fosforia 0,015-0,040 % (SFS-EN 1057). Kuparin lämpölaajeneminen on huomattavasti vähäisempää kuin muovin.

### **Valmistus**

Kupariputken valmistukseen Suomessa käytettiin kotimaisen valmistuksen alkaessa 1940-luvulla puhdasta hapetonta elektrolyyttikuparia. Juotosominaisuuksia parannettiin vuonna 1959 kotimaisissa kupariputkissa, kun elektrolyyttikupariin ryhdyttiin seostamaan pieniä



määriä fosforia. Vuonna 1979 Outokumpu Oy siirtyi fosforiseostuksesta yleisempään fosforideoksidointiin: Cu-DHP Cu + Ag min. 99,90 %; 0,015 % < P < 0,040 %. (Järvinen ym. 1987; Scandinavian Copper Development Association 2005). Kupariputken valmistus aloitetaan umpinaisesta suorasta ympyrälieriöstä. Se sahataan paloiksi, jotka sitten kuumennetaan ja pursotetaan puristimella putkiaihioksi. Putkiaihiota vedetään (kylmämuokataan) vetorenkaiden lävitse useita kertoja, kunnes saavutetaan halutut mitat ja ominaisuudet. Kupariputkia toimitetaan määrämittäisinä suorina ja näitä pidempinä kieppeinä. Suorat putket ovat yleensä kylmänä vedettyjä jäykkiä putkia ja kiepit pehmeäksi hehkutettuja (Lindström 1992; Outokumpu Poricopper 1996).

## **Käyttö ja liitokset**

Kupari on yleisimpiä materiaaleja kiinteistöjen vesijohdoissa. Sen käyttö Suomessa on tietävästi alkanut 1890-luvulla ja jatkuu edelleen. Kupariputkia käytettiin aluksi vain lämpimän käyttöveden asennuksissa, mutta 1950-60-lukujen vaihteessa alkoi siirtyminen kuumasinkitystä teräsputkesta kupariin kylmävesiputkissa ja lopullinen siirtyminen tapahtui 1970-luvun puolessa välissä (Järvinen ym. 1987; Määttä ja Kaunisto 1997). Lämpimän käyttöveden putket on tehty kuparista ennen muovia (Scandinavian Copper Development Association 2005). Kupari oli selvä valtamateriaali 1980-luvulle saakka, jolloin muovin laajamittainen käyttö alkoi pienissä kiinteistöissä (taulukko 1). Isoissa kiinteistöissä kupari on edelleen hallitseva materiaali. Kupariputkia käytetään yleisesti ulkohalkaisijaltaan 10-108 mm:n kokoisina (taulukko 7). Vuosina 1906-64 nimellissuuruuksissa Ds 10-76, seinämävahvuudet ovat vaihdelleet eri aikoina 1-2,5 mm:n välillä (Karjalainen 1995). Tällä hetkellä seinämävahvuudet ovat kokoluokissa 6-108 0,8-2,5 mm (taulukko 7).

Kupariputkien liitostavat voidaan karkeasti jakaa kovajuottoon, pehmeäjuottoon ja mekaanisiin liittimiin. Mekaanisia liittimiä ovat irrotettavat puristusliittimet, tiivisteelliset puristusliittimet (pressfittings) sekä pistoliittimet. Puristusliitokset ovat yleistymässä entisestään, mutta kovajuotokset ovat edelleen yleisiä. Pistoliittimet ovat messinkiä tai kuparia, kun taas puristusliittimissä kierrelittimet ovat messinkiä ja kuparissa kiinni olevat kuparia. Oikein tehdyissä juotoksissa juote ei ole kosketuksissa veden kanssa. Suomessa juotoksiin on käytetty pelkästään fosforikuparijuotteita 1970-luvulta asti. Näiden tavallisten fosforikuparijuotteiden lisäksi tiedetään 1960-70-lukujen vaihteessa käytetyn jopa 40 % hopeaa sisältäneitä hopea-, hopeamessinki- ja hopeafosforikuparijuotteita. Käytöstä poistuneissa pehmeäjuotoksissa on käytetty tinapohjaisia juotteita (Karjalainen 1995). Pehmeäjuotteiden tinajuotteissa on käytetty mm. lyijy-tinaseoksia. Eri messinkiliittimistä ja -juotteista on lisää tietoa kohdassa messinki. Kuparia käytetään pinnoitteena lämminvesivaraajissa (taulukko 1).

## **Vuorovaikutukset**

### *Korroosio ja liukeneminen*

Liukeneminen kupariputkesta ei ole merkittävää normaalissa hyvälaatuisessa vedessä, mutta erittäin pehmeissä ja aggressiivisissa vesissä kuparia voi liueta merkittäviä määriä. Veden esteettinen ja poikkeustapauksissa terveydellinen laatu voivat heiketä. Talousvesiasetuksen kemiallisen laatuvaatimuksen mukaan kuparin enimmäispitoisuus vedessä on 2,0 mg/l. Makuvirheitä voi aiheutua myös selvästi pienemmillä pitoisuuksilla. Veden metallimainen maku on yksi yleisimmistä veden laatuvirheistä (Dietrich ym. 2004). Kupariputkien liittämässä käytetyistä pehmeäjuotteista voi liueta tinaa, lyijyä tai antimonia.

Talovesiasetuksessa on annettu laatuvaatimukset enimmäispitoisuuksista kuparin lisäksi antimonille (5,0 µg/l) ja lyijylle (10 µg/l). Suomessa pehmeäjuotteiden käyttö talovesiputkissa on ollut vähäistä. Pehmeäjuotteet ovat olleet 1990-luvun alusta alkaen tina-hopea- ja tina-kupari-juotteita.

Tärkeimpiä vedenlaatutekijöitä korroosiossa ovat pH, aggressiivisen hiilidioksidin määrä, kovuus, kloridin ja sulfaatin määrät sekä lämpötila (Järvinen ym. 1987). Kuparin korroosion seurauksena syntyvän liukoisen kuparin määrään vaikuttaa mm. orgaanisen aineen määrä vedessä. Orgaanisen aineen määrän lisääntyessä korroosiotuotteiden määrä vedessä kasvoi tutkimuksen aikana (Boylay ja Edwards 2001). Toisaalta suurempi orgaanisen aineen määrä vedessä pienentää itse korroosiota, vaikka korroosiotuotteiden liukoisuus kasvaakin. Luonnollisen orgaanisen aineen (NOM) määrällä todetaan olevan erityisen suuri merkitys vesissä, joissa on matala alkaliteetti ja korkea pH (Broo ym. 1998). Korroosiotuotteet ovat oksideja, fosfaatteja, klorideja ja sulfaatteja (Kaunisto 1991). Normaaleissa käyttöolosuhteissa kuparia liukenee korkeintaan muutamia milligramman sadasosia litrassa myös lämpimän veden putkissa. Happamassa vedessä, joka on seisonut, pitoisuus voi olla muutamia milligrammoja litrassa (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001).

### *Mikrobiologinen toiminta*

Kuparin on todettu ehkäisevän mikrobikasvua yleisesti lyhyellä aikavälillä (Schwartz ym. 1998; Lehtola ym. 2004b). Kuparin on todettu materiaalina vähentäneen ihmisen terveydelle vaarallisten lajien kuten *Legionella* spp:n kasvua (Rogers ym. 1994a). Biofilmien muodostuminen koeverkosto-olosuhteissa on ollut hitaampaa kupariputkilla kuin PE-putkilla. Kahdensadan koepäivän jälkeen kummallakin materiaalilla oli sama määrä bakteereita, mutta virusten kaltaisten partikkelien osuus oli pienempi kupariputkilla kuin muoviputkilla kokeen loppuun saakka (308 päivää) (Lehtola ym. 2004b). Eri materiaalit reagoivat eri tavoin desinfektiokemikaalien kanssa. Koeverkosto-olosuhteissa kupariputkesta ulostulleessa vedessä on ollut vähemmän klooria kuin PE-putkista tulleessa, joten käytettäessä kuparia tarvitaan mahdollisesti suurempia klooripitoisuuksia desinfektion varmistamiseksi (Lehtola ym. 2005a). Käytännössä suomalaisten kiinteistöjen verkostoissa ei ole kloorijäämiä, joten kloorin kulumisen merkityksen voidaan arvioida olevan pienehkö.

Veteen syötettyjen kupari- ja hopeaionien on todettu hillitsevän *Legionella* spp:n kasvua suomalaisessa lämminvesijärjestelmässä, mutta heterotrofisten bakteerien määrää ne eivät vähentäneet (Kusnetsov ym. 2001). Humusaineet voivat vaikuttaa mikrobien toimintaan kuparin biofilmillä. Ne kelatoivat irtoavaa kuparia, joka toisaalta voisi hillitä bakteerien kasvua. Sulfaattia pelkistävillä bakteereilla voi olla osansa kuparin pistekorroosiossa (Keevil 2004).

## **8.1.4 Messinki**

### **Rakenne ja koostumus**

Messinki (brass) on yleisnimitys kuparin ja sinkin seoksille. Eri messinkilaatuja on useita ja niissä on eri osuudet kahta pääalkuainetta, mutta lisäksi eri määriä muita alkuaineita kuten nikkeliä, alumiinia, lyijyä tai rautaa. Verkostomateriaalien messingit ovat lyijymessinkejä eli ne sisältävät lyijyä. SFS-ISO 1190-1 mukaan kupariseosten nimikkeet sisältävät perusaineen kemiallisen merkin (Cu) lisäksi seosaineiden kemialliset merkit ja vastaavat nimellispitoisuudet (seosaineet, joiden nimellispitoisuus on vähintään 1 %). Aiemmin

vesijohtomateriaalien käytetyin messinkityyppi sisälsi 3 % Pb, 58 % Cu ja 39 % Zn. Tästä on myös käytetty nykyisin vanhentunutta merkintätapaa Ms 358 (Karjalainen 1995).

Messingin mikrorakenne voi sisältää kahta erilaista kiderakennetta eli  $\alpha$ - ja  $\beta$ -faaseja, joiden keskinäiset osuudet riippuvat sinkkipitoisuudesta ja valmistustavasta.  $\alpha$ -messinki on sitä korroosionkestävämpi mitä korkeampi sen kuparipitoisuus on. Sinkinkatoa voidaan estää  $\alpha$ -messingissä arseeni- tai antimoniseostuksella. Herkimpiä sinkinkadolle ovatkin kaksifaasiset  $\alpha$ + $\beta$ -messingit, joissa  $\beta$ -faasi on epäjalompi ja näin myös syöpyvä osapuoli.

Sinkinkadon kestävä messingin tyyppiä on useita ja eräs tavallinen tyyppi on CuZn36Pb2As (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001). Sinkinkadon kestävä messingin käyttöä vesilaitteistoissa on edellytetty vuodesta 1977 (Ympäristöministeriö 1976; Kaunisto 1991).

## **Valmistus**

Materiaalikeskustelun perusteella Suomessa valmistetaan messinkisiä liittimiä ja venttiilejä sekä hanojen runkoja ja osia.

## **Käyttö ja liitokset**

Messingin käyttö verkostoissa on tietävästi alkanut 1900-luvun alussa. Messingit olivat selvästi yleisin kupariputkien liitosmateriaali 1970-luvulle asti juotoksissa ja liittimissä. Käytetyimmän messingin ongelmana oli sinkinkato. Venttiileissä ja liittimissä on käytetty pitkälti sinkinkadonkestävää messinkiä 1980-luvulta lähtien (Määttä ja Kaunisto 1997). Messinkejä ei enää käytetä juotomateriaaleina vaan on siirrytty lähinnä fosforikuparijuotteisiin (Järvinen ym. 1987). Suoraan kupariputkeen asennettavat liittimet valmistetaan kuparista, kun taas kierrelittimet ovat messinkiä. Pistoliittimien raaka-aineina käytetään kuparia tai messinkiä. Messinkiä käytetään myös hanoissa, venttiileissä, vesi- ja muiden mittareiden runkomateriaalina sekä pumppujen osissa. Osa hanavalmistajista käyttää sinkinkadonkestävää messinkiä laitteen sisärungossa (taulukko 1).

## **Vuorovaikutukset**

### *Korroosio ja liukeneminen*

Messingin sisältämät metallit voivat liueta veteen epäedullisissa olosuhteissa. Eniten huomiota on kiinnitetty messingeistä liukenevaan lyijyyn. Esimerkiksi Yhdysvalloissa arvioidaan veden sisältämän lyijyn aiheuttavan keskimäärin 40 % veren lyijypitoisuudesta, josta suuri osa on peräisin messinkiosista verkostoissa (Korshin ym. 2000). Samassa tutkimuksessa todettiin veden sisältämän luonnollisen orgaanisen aineen lisäävän lyijyn liukenemista messingistä. Myös kuparin, nikkelin, alumiinin ja sinkin liukeneminen voi olla merkittävää. Talousvesiasetuksen kemiallisten laatuvaatimusten mukaiset enimmäispitoisuudet ovat 10  $\mu\text{g/l}$  lyijylle, 2,0  $\text{mg/l}$  kuparille, 20  $\mu\text{g/l}$  nikkelille, 10  $\mu\text{g/l}$  arseenille ja 5,0  $\mu\text{g/l}$  antimonille. Laatusuosituksen mukaiset raudan ja alumiinin enimmäispitoisuudet ovat 200  $\mu\text{g/l}$ .

Messingin tavallisin korroosimuoto on sinkinkato (Suomen kuntaliitto 1993). Sinkinkato on nk. selektiivistä korroosiota, jossa messingistä liukenee sinkkiä ja huokoinen kupari jää

jäljelle. Kappale säilyttää ulkoisen muotonsa, mutta on saattanut menettää lujuuttaan ja tiiviyytään. Messinkien sinkinkato on yleisempää lämpimässä vedessä, mutta sitä voi tapahtua myös kylmässä vedessä. Veden suuri kloridipitoisuus ja pehmeys lisäävät sinkinkatoriskiä. Veden pH-arvo vaikuttaa normaaleissa vaihtelurajoissa lähinnä sinkinkatotuotteiden saostuvuuteen. Monissa maissa suositellaankin veden pH-arvolle ylärajaa (8,3), jolloin saostumat eivät pääse tukkimaan venttiileitä (Kunnossapitoyhdistys 2006).

### *Mikrobiologinen toiminta*

Mikrobien toiminta voi vaikuttaa messingin korroosioon talousvedessä, mutta asiaa on tutkittu enemmän muihin ympäristöihin liittyen kuin talousveteen (Valcarce ym. 2005). Messingistä mahdollisesti liukenevilla metalleilla voi olla vaikutusta mikrobien toimintaan.

## **8.1.5 Muut metallit**

### **Alumiini**

Puhdas alumiini reagoi ilman ja veden hapen kanssa ja pintaan muodostuu alumiinioksidikerros. Kiinteistöverkostoissa alumiinia käytetään hanojen ja pumppujen osissa.

### **Harmaa valurauta**

Harmaata valurautaa käytetään vesimittareiden runkomateriaalina (taulukko 1).

### **Lyijy**

Suomessa lyijyä on käytetty aikoinaan vain lyhyitä osia esim. venttiilien liitosyhteinä. Sotien välisenä aikana on rakennettu myös kylmävesiputkia lyijystä. Vähäisestä käytöstä johtuen lyijy ei ole ongelma Suomessa, kun taas Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa se on käytetty putkimateriaali ja suuri terveysriski (Tanhuala 1995; Wagner 1994).

### **Pallografiittirauta**

Kiinteistöverkostoissa pallografiittirautaa käytetään vesimittareiden runkomateriaalina (taulukko 1).

### **Pronssi**

Pronssi (bronze) voi olla tinapronssia (esim. CuSn10) tai alumiinipronssia (aluminum bronze) (esim. CuAl10Fe3) pääseosaineen mukaan. Pronssi voi sisältää myös pieniä määriä rautaa, nikkeliä, mangaania tai piitä. Pronssia käytetään kiinteistöjen venttiileissä sekä pumppujen osissa (taulukko 1).

## **Punametalli**

Punametalli (red brass, gunmetal) on kuparin, sinkin ja tinan seos (esim. CuSn5Zn5Pb5). Punametallin korroosionkesto on parempi kuin messingin, mutta se on kalliimpi materiaali (Metalliteollisuuden keskusliitto 2001). Punametallia on käytetty venttiileissä ainakin jo 1960-luvulla (Mäkiö 1990). Nykyisin punametallia käytetään liittimissä ja venttiileissä (taulukko 1). Suomessa valmistetaan punametallisia liittimiä ja venttiileitä.

## **8.2 Muovit**

Yleisesti polymeereihin lisättäviä lisäaineita ovat stabilisaattorit, pehmittimet, lujite- ja täyteaineet, väriaineet, palonestoaineet sekä voiteluaineet. Kiinteistöjen talousvesiputkissa ei käytetä täyte- tai palonestoaineita. Asennuksessa ei käytetä myöskään liukasteita. Muovien yleisistä ominaisuuksista ja koostumuksista on tarkemmin jakeluverkostojen yhteydessä. Suomessa käytetään yleisesti kiinteistöjen lämpimän ja kylmän veden jakeluun PEX- ja PERT-putkia. Ilmeisesti jo 1950-luvulla on asennettu PEH- ja PEL-putkia kiinteistöjen sisälle kylmävesijohdoiksi, mutta niiden käyttö on ollut vähäistä. Kuten jakeluverkostoissa, myöskään kiinteistöverkostojen muoviputkissa käytetyistä lisäaineista ei ole tarkempaa tietoa.

Ennen 1980-lukua käytetyimmät muovit vesijohdoissa olivat lähinnä jakeluverkostoissa käytetyt polyeteenit ja PVC. Nämä materiaalit eivät sopineet lämpimän veden johtamiseen heikon lämmönkestokyvyn vuoksi. Se rajoitti muovin käyttöä kiinteistöjen lämpimän veden putkissa. Eniten kiinteistöissä on käytetty PEX:iä, mutta myös polybuteenia ja polypropeenia on käytetty jossain määrin (Ström 1985). Muovien käyttö kiinteistöissä lisääntyi voimakkaasti 1980-luvulla etenkin pienissä kiinteistöissä. Toisin kuin metalliputket, muoviputket eivät ole tiiviitä vaan niiden läpi diffusoituu hitaasti kaasuja ja nesteitä. Tämä ominaisuus ei kuitenkaan yleensä aiheuta ongelmia rakennusten sisällä. Lisäksi erilaisten komposiitti- eli monikerrosputkien käyttö on lisääntynyt, joissa on useimmiten alumiinikalvo suojaten kaasujen diffuusiolta. Muoviputkien lämpölaajenemiskerroin on moninkertainen verrattuna metalliputkiin, esim. PEX:illä n. 10-kertainen kupariin verrattuna. Toisaalta taipuisuuden vuoksi laajeneminen on helpommin hallittavissa (Määttä ja Kaunisto 1997).

Aluksi muoviputkien liitoksissa käytettiin yleisesti kupariputkien puserrusliitintä varustettuna muoviputken tukihylsällä. Myöhemmin markkinoille on tullut pantatyypisiä puristusliittimiä, joilla liitosten teko edellyttää erikoistyökalua. Kaikki muoviputkien kiinteistöasennukset tehdään tällä hetkellä erilaisilla puristusliittimillä. Etuna on asennus suojaputkiin, jolloin vaihdettavuus ja vuotohavaittavuus paranevat huomattavasti metalliputkiin verrattuna.

## **Veden ja muovien vuorovaikutus**

Muoviputkien ja veden vuorovaikutusta on käsitelty myös jakeluverkostojen yhteydessä. Muoveilla ei esiinny perinteistä korroosiota, mutta muoviputkia vanhentavat mikrobiologinen toiminta, lämpö ja hapettuminen. Liian nopea vanheneminen voi aiheuttaa mm. putken seinämän jännityssäröilyä ja lujuuden heikkenemistä (Määttä ja Kaunisto 1997). Muovit saattavat myös kovettua ajan myötä. Suurin ero jakelu- ja kiinteistöverkostojen muoviputkistojen olosuhteissa on lämpötila. Myös kylmän veden putket ovat kiinteistöissä usein korkeammassa lämpötilassa kuin jakeluverkostojen putket. Korkeampi lämpötila

yleensä nopeuttaa mikrobien toimintaa ja aineiden liukenemista materiaaleista. Muovien pitkäaikaiskestävyydestä ja tarkoista koostumuksista tarvitaan lisää tietoa.

Skjevrak ja muut (2003) toteavat, että PEX-putkista irtoavien orgaanisten yhdisteiden määrällä voi olla kiinteistöjen sisällä merkitystä mikrobikasvuun, mutta tulokset eivät ole yksiselitteisiä ja lisätutkimusta tarvittaisiin. Suomessa on havaittu, että fosforin liukeneminen on suurinta putkien käytön alussa ja määrät pienenevät ajan kuluessa. Kokeessa käytettiin PE-RT-monikerrosputkia (Lehtola ym. 2005b). Suomalaiset vedet ovat usein mikrobien kasvun osalta fosforirajoittuneita, joten pienelläkin fosforilisäyksellä vedessä voi olla kasvua lisäävä vaikutus. Kiinteistöjen polyeteeniputkista irtoavan fosforin alkuperä on epävarma, mutta se voi olla esim. stabilisaattori. Putkista irtoaa myös orgaanisen hiilen yhdisteitä, joista osa voi olla mikrobeille käyttökelpoisessa muodossa ja lisätä hiilirajoitteisissa vesissä mikrobien kasvua biofilmeissä (LeChevallier ym. 1991).

## **8.2.1 Polyeteenit**

### **8.2.1.1 Ristisilloitettu polyeteeni (PEX)**

#### **Rakenne ja koostumus**

Ristisilloitetussa polyeteenissä (PEX) (crosslinked polyethylene) polyeteeniketjujen välillä on ristisilloja. PEX:n ominaisuudet ovat riippuvaisia käytetyistä lähtöaineista ja silloitusmenetelmistä ja siksi eri valmistajien ilmoittamat putkien ominaisuudet poikkeavat toisistaan. PEX:n tärkein ominaisuus on lujuus korkeissakin lämpötiloissa, joka on tärkeä ominaisuus kiinteistötekniikassa (Laine 1989). Raaka-ainehartsit ovat yleensä tiheydeltään PEH:n luokkaa, mutta myös PEM-hartsit on mahdollinen (taulukko 2).

#### **Valmistus**

Polyeteeniketjuja ristisilloitetaan kemiallisella käsittelyllä joko peroksideja (PEX-a) tai silaania (PEX-b) käyttämällä tai säteilytyksellä (PEX-c). Silloitetun polyeteenin verkkomainen rakenne parantaa polyeteenin mekaanisia, termisiä ja kemiallisia ominaisuuksia (Tammela 1990).

#### **Käyttö ja liitokset**

Ristisilloitetuista polyeteeniputkista PEX-a ja PEX-c on hyväksytty käyttöön kosketuksissa juomaveden kanssa. PEX on ollut vallitseva putkimateriaali kiinteistöjen muoviputkissa ennen komposiitti- eli monikerrosputkien käyttöönottoa (Laine 1990). Komposiitti on kahden tai useamman eri materiaalin yhdistelmä, jossa materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole lienneet tai sulautuneet toisiinsa (Airasmaa ym. 1991). Tyypillisesti monikerrosputkissa on kaksi polyeteenikerrosta (PEX tai PE-RT), joiden välissä on alumiinikerros. Osat on liitetty erikoisliimalla toisiinsa. Alumiinikerroksen ansiosta hapen ja muiden kaasujen diffuusio putken sisälle estyy. Materiaalikyselyn perusteella monikerrosputkien käyttö lisääntyy, mutta myös pelkän PEX:n käyttö jatkuu. Monikerrosputken virtausputkena käytetään PEX:iä tai PE-RT:tä. PEX-putkien käytetyt koot kyselyjen perusteella ovat 12-75 mm. Toisaalta standardin mukaiset kokoluokat ovat 16-110 mm, joiden seinämänpaksuudet ovat 1,8-15,1 mm (SFS-EN ISO 15875-2). Komposiittiputkissa, joissa virtausputkena on PEX, käytetyt koot ovat 12-63 mm. Standardin mukaiset kokoluokat ovat myös 16-110 mm, joissa seinämänpaksuus on 2-10 mm (taulukko 7).

PEX sai Ruotsissa tyyppihyväksynnän vuonna 1973 (Uponor 2004). Suomessa käyttö kiinteistöissä aloitettiin 1980-luvulla ja tyyppihyväksyntä tuli voimaan n. vuonna 1986. PEX-putkien liittämiseen käytetään puristus- ja kierreltymiä (taulukko 7). Monikerros-PEX-putket liitetään puristusliittimillä. PEX-putken asennus lämpimässä vedessä on aloitettava kuumavesivaraajan venttiilin jälkeen, ja ennen sitä on käytettävä metalliputkia (Uponor 2004). PEX:n korkein sallittu jatkuva käyttölämpötila on 70 °C (Muoviteollisuus 2003).

### **8.2.1.2 PE-RT**

Suomessa käytetään monikerrosputkia, joiden materiaalina on PE-RT (Polyethylene of Raised Temperature Resistance) ja joissa on alumiinikalvo PE-RT -kerrosten välissä. Valmistuksessa käytetään eteeni-okteenia kopolymeerina, jotta riittävän lämmönkeston saamiseksi ei tarvita ristisilloitusta (Damen ym. 2003). PE-RT-hartsia on saatavilla sekä keskikovana että kovana polyeteenihartsina. Materiaalikyselyn perusteella käytetyt putkikoot ovat 16-110 mm (taulukko 7). Liittämiseen käytetään puristusliittimiä. Metallisen välikalvon sisältävä monikerrosputki sai ensimmäisen kerran tyyppihyväksynnän Suomessa vuonna 2000.

### **8.2.1.3 Kova polyeteeni (PEH)**

PEH:iä käytetään kiinteistöjen painevesisäiliöiden runkojen materiaalina (taulukko 1). PEH:iä on tiettävästi käytetty myös vähäisessä määrin kiinteistöjen sisäputkistoissa kylmän veden johtamiseen ennen PEX:n käyttöönottoa.

## **8.2.2 Muut muovit**

### **Aromaattiset polyeetterisulfonit**

#### *Polysulfoni (PSU, PSF)*

Polysulfonin (polysulfone) valmistus tapahtuu polykondensaatiolla ja työstö ruiskupuristuksella. Pääraaka-aineet ovat bisfenoli-A ja bis(4-kloorifenyylisulfoni. Valmis rakenne sisältää rikkiä (Tammela 1990). Se on amorfinen kestävä muovi ja kestää lyhytaikaisesti 180 °C:n lämpötilaa (Järvinen 2000). Käyttölämpötila-alue on -101/149 °C (Schweitzer 2000). Materiaali on tiettävästi käytössä ainakin elintarviketeollisuudessa. Käytöstä suomalaisissa vesijohtoverkostoissa ei ole tietoa.

### **Lasikuituvahvisteinen muovi (GRP)**

Lasikuituvahvisteisen muovin yleisiä ominaisuuksia on käsitelty jakeluverkostojen yhteydessä. Sitä käytetään kiinteistöissä suodattimien runkojen materiaalina (taulukko 1).

### **Polyamidi (PA)**

Polyamidit on käsitelty jakeluverkostojen yhteydessä. Niitä käytetään kiinteistöissä hanojen osissa (taulukko 1).

## **Polyasetaali (POM)**

Polyasetaalin ominaisuudet, valmistus ja koostumus on käsitelty jakeluverkostojen yhteydessä. Kiinteistöissä polyasetaalia käytetään hanojen ja liittimien osissa (taulukko 1).

## **Polybuteeni (PB)**

Polybuteenilla (polybutylene) on monia edullisia ominaisuuksia verrattuna polyeteeneihin ja polypropeeniin, mutta sen raaka-aineilla on korkea hinta ja valmistuksessa joudutaan käyttämään erikoismenetelmiä (Tammela 1990). Korkein hetkellinen käyttölämpötila polybuteenille on 93 °C (Schweitzer 2000). Materiaali on hyväksytty kiinteistöissä käytettäväksi sekä kylmälle että lämpimälle vedelle (Ympäristöministeriö 1987). Polybuteenia käytetään monissa maissa vesijohdoissa, mutta käyttö on kielletty esim. USA:ssa liitosvuotojen vuoksi. Polybuteeniputkia voidaan liittää hitsaamalla tai mekaanisella liittimellä (World Health Organization 2006). Suomessa ei ole käytetty hitsausliitoksia (Laine 1990). Suomessa kiinteistöjen lämmin- ja kylmävesiputkina polybuteenia on käytetty vähän, mutta se oli käytössä ainakin vielä vuonna 1990. Polybuteeniputkia on valmistettu Suomessa vuosina 1981-1990 (Laine 1990). Euroopassa polybuteenia on asennettu talousvesijohdoiksi 1980- ja 90-luvuilla (The European Plastic Pipes and Fittings Association 2006).

## **Polyesterit**

Polyestereiden yleiset ominaisuudet on käsitelty tarkemmin pinnoitteiden ja tiivisteiden yhteydessä. Polyestereitä käytetään kiinteistöissä suodattimien ja pumppujen osissa (taulukko 1).

### *Polyeteenitereftalaatti (PET / PETP)*

PET (polyethene terephthalate/terephthalate polyester) kuuluu polyesteri-muoveihin. Sitä käytetään kiinteistöjen vedensuodattimien osissa. Yleiset ominaisuudet on käsitelty pinnoitteiden ja tiivisteiden yhteydessä.

### *Polykarbonaatti (PC)*

Polykarbonaatin (polycarbonate) lähtöaineet ovat bisfenoli A ja hiilihapon johdannainen fosfogeeni (Tammela 1990). Polykarbonaatti on lasinkirkasta ja amorfista. Kuuma vesi hajottaa polykarbonaatin polymeerirakennetta ja se läpäisee helposti hiilidioksidia (Järvinen 2000). Käyttölämpötila-alue on -129/120-135 °C. Tunnetuin tuotemerkki on Lexan (Schweitzer 2000). Sitä käytetään kiinteistöjen pumppujen osissa (taulukko 1).

## **Polyfenyleenioksidi (PPO)**

Polyfenyleenioksidin (polyphenylene oxide) eli poly-2,6-dimetyyli-1,4-fenyleenieetterin muunneltuja muotoja käytetään materiaalikyselyn perusteella vesipumppujen osissa (esim. juoksupyörät ja ohjaimet). Näitä modifioituja muotoja kutsutaan Noryl-muoveiksi (Tammela 1990; taulukko 1). Käyttölämpötila-alue on -40/149 °C (Schweitzer 2000).



### **Polyfenyylisulfidi (PPS)**

Polyfenyylisulfidi (polyphenylene sulfide) koostuu vuorottelevista bentseenirenkaista ja rikistä. Tunnettuja kauppanimiä ovat Ryton ja Tedur. Polymeeri soveltuu hyvin pinnoitteeksi (Tammela 1990). Se on lämmön- ja kemikaalinkestävä muovi, joka ruiskuvaletaan (Järvinen 2000). Korkein käyttölämpötila on 50-110 °C (Schweitzer 2000). Tietoja käytöstä verkostomateriaalina Suomessa ei ole.

### **Polyfenyylisulfoni (PPSU)**

Polyfenyylisulfoni (polyphenylsulfone) -runkoisia liittimiä käytetään kiinteistöjen monikerrosputkissa. Sitä käytetään myös hanojen osissa (taulukko 1).

### **Polypropeeni (PP)**

Useissa Euroopan maissa PP:ia (esim. Ruotsi) käytetään sekä lämpimän että kylmän veden johtamiseen. Suomessa polypropeenia käytetään kiinteistöjen liittimien rungoissa sekä suodattimien ja vesimittareiden osissa (taulukko 1). Tiettävästi sitä on vähäisessä määrin käytössä myös putkimateriaalina. Materiaalin ominaisuudet on käsitelty jakeluverkostojen yhteydessä.

### **Jälkikloorattu PVC (PVCC / CPVC)**

Maailmalla, mm. Yhdysvalloissa kiinteistöjen kylmän ja lämpimän veden johtamiseen käytetään CPVC:tä (chlorinated PVC, PVC-C, cPVC). Korkein käyttölämpötila on 100 °C (Schweitzer 2000). Erona tavalliseen PVC:iin on suurempi kloorimäärä. CPVC-putkia valmistetaan 6,35-305 mm kokoluokissa. Suomessa materiaalia ei käytetä vesijohtoputkissa.

### **Styreenin ja akrylonitriilin kopolymeeri (SAN)**

SAN (styrene acrylonitrile) kuuluu styreenimuoveihin kuten ABS-muovikin. Valmistus tapahtuu lisäämällä polystyreeniin akrylonitriiliä ja sen osuus on yleensä 20-35 %. SAN-muovi on läpinäkyvää (Tammela 1990). Sitä käytetään kiinteistökohtaisten suodattimien rungoissa (taulukko 1).

## 9 Pinnoitteet ja tiivisteet

Sekä kiinteistö- että jakeluverkostoissa käytetään useita eri tiiviste- ja pinnoitemateriaaleja. Nämä materiaalit käsitellään molempien verkostojen osalta yhdessä. Puhuttaessa pinnoitteista tarkoitetaan veden kanssa kosketuksissa olevaa pintaa, ellei erikseen toisin mainita. Vedenjakeluverkostoissa on paljon erilaisia materiaaleja tiivisteissä ja pinnoitteissa. Esim. vesisäiliöiden liikuntasaumojen tiivistämiseen käytetään yleensä epoksihartseja, polysulfideja tai silikoneja (Tanhuala 1995). Tiivisteitä tarvitaan aina esim. tehtäessä muhviiliitoksia. Tiivisteiden materiaalit ovat muuttuneet eri aikoina. Vesijohtojen liitostäytteinä oli aiemmin yleensä juuttitiiviste, joka kiristettiin lyijysaumalla. Sittenkin täytteenä käytettiin bitumilla kyllästettyä kaapelipaperiköyttä tai tarkoitukseen valmistettuja muovirenkaita. Nykyisin kumitiivisteliitokset ovat yleisiä (Tanhuala 1995). Jakeluverkostojen monissa putkiliitoksissa käytetään erilaisia liukuaineita asennusvaiheessa. Tyypillisimmin niitä käytetään muhviiliitoksissa. Muhviiliitoksia käytetään yleisimmin PVC- ja valurautaputkien liitoksissa. Liukuaineilla on monia eri valmistajia, jolloin myös koostumukset vaihtelevat. Tarkempaa tietoa liukuaineiden koostumuksista tai sen vaihtelusta putkimateriaalin perusteella ei ole. Liukuaine voi aiheuttaa haju- ja makuhaittoja veteen etenkin paljon klooria sisältävissä vesissä Tutkimuksessa käytetty liukuaine oli saippuapohjainen (Wiesenthal ym. 2004).

Putkipinnoitteiden pinta-ala on verrattavissa putkien pinta-alaan, joten niiden ominaisuudet ovat erittäin tärkeitä veden laadun kannalta. Tiivisteiden pinta-ala verkostossa on pieni, mutta toisaalta kemiallisten ominaisuuksien vuoksi tiivisteet voivat tuottaa veteen moninkertaisesti liuenneita aineita alaansa nähden. Samoin tiivisteiden kautta voi kulkeutua putken sisään huomattavia määriä ympäristöstä peräisin olevia orgaanisia kemikaaleja materiaalin pinta-alasta riippumatta.

### 9.1 Kumit

Kumit (rubber) ovat orgaanisia materiaaleja. Kumin kaltaisista materiaaleista käytetään usein myös termiä elastomeerit. Osa elastomeereistä on käsitelty omissa kohdissaan toisaalla. Toisaalta kumin voidaan ajatella koostuvan elastomeeristä ja lisäaineista. Kumilajeja on useita, mutta kaikkien raaka-aineena käytetään kautsua, josta mastisoinnin, mekaanisen käsittelyn ja vulkanoinnin kautta saadaan lopullinen tuote. Lisäaineita tarvitaan mastisoinnin ja vulkanoinnin yhteydessä, mutta lisäksi tarvitaan pehmitin- ja jatke-aineita, prosessoinnin apuaineita, tarttumista edistäviä aineita, antioksidantteja, antiotsonantteja sekä täyteaineita ja pigmenttejä. Täyteaineet jaetaan lujittaviin ja passiivisiin täyteaineisiin (Tammela 1990).

Luonnonkumissa yleisesti käytetään aktiivisina täyteaineina ominaisuuksien parantamiseen hiilimustaa, pigmenttejä ja vulkanisoinnin kiihdyttäjiä. Passiivisina täyteaineina voidaan käyttää kalsiumkarbonaattia, bariumsulfaattia, talkkia, piidioksidia, silikaatteja tai kuitumaisia aineita. Talkkimineraali sisältää puhtaana magnesiumia ja silikaattia. Bitumipohjaisia aineita, hiilitervaa, kasvi- ja mineraaliöljyjä, paraffiinia, vaseliinia, raakaöljyä ja asfalttia voidaan käyttää pehmentiminä prosessin tai lopputuotteen haluttujen ominaisuuksien vuoksi. Amiineja ja vahoja käytetään suojana vanhenemista, auringonvaloa, lämpöä ja taipumista vastaan (Schweitzer 2000). Osaa näistä lisäaineista käytetään myös synteettisten kumien valmistuksessa, joita selvästi suurin osa vesilaitteissa käytettävistä kumeista on. Lisäaineiden käytöstä vesijohtotuotteiden kumimateriaaleissa ei ole tietoa. Todennäköisesti kaikkia edellä mainittuja lisäaineita ei käytetä vesijohtojen kumimateriaaleissa jo pelkästään siksi, että edellä mainitut aineet liittyvät erityisesti luonnonkumiin. Kumit ovat yleisin tiivistemateriaalien ryhmä vedenjakeluverkostossa. Kumeja käytetään mm. pinnoitteissa, liittimien, putkien ja venttiilien tiivisteissä sekä jakelu-

että kiinteistöverkostoissa (taulukko 1). Betonielementtisäiliöissä on käytetty kangasvahvisteisia kumipusseja ainakin 1970-luvulla (Ruohomaa 1974).

Kumien huononemisen on todettu voivan johtua mikrobiologisesta toiminnasta. Tutkimuksessa 1960-luvulta todettiin muutaman *Streptomyces*-lajin voivan olla vastuussa kumin mikrobiologisesta hajoamisesta. Samoin on todettu, että eri maissa tyypillisesti käytettyjen kumimateriaalien mikrobiologisten ominaisuuksien välillä on eroja (Schoenen ja Schöler 1985). Kumeissa kasvua aiheuttavat yleensä käytetyt lisäaineet, jotka voivat vaihdella valmistajan mukaan. Kumeja käytetään paljon tiivistemateriaalina, joten niiden kyky eristää ympäristön mahdolliset haitta-aineet ja vesi toisistaan on tärkeää.

### 9.1.1 Eteenipropeenikumi (EPDM, EPM, EDM, EPT)

EPDM-kumien (ethylene propylene diene monomer rubber) valmistuksessa käytetään joko eteeni- ja propeeni dieenimonomeereja tai eteeni-propeeni terpolymeeriä. Eteeni-propeeni terpolymeeri lyhennetään EPT:ksi ja sen ominaisuudet ovat vastaavat kuin EPDM:n (Schweitzer 2000). Valmistuksessa käytettävät dieenit ovat 1,4-heksadieeni, disyklopentadieeni ja etylideeninorborneeni. Materiaalilla on mm. hyvä auringonvalon-, otsonin- ja kulumiskestävyys. (Tammela 1990). Käyttölämpötila-alue on -54/149 °C. Tunnettuja kauppanimiä ovat Nordel, Royalene ja Dutral (Schweitzer 2000). Koliformisten bakteerien on todettu voivan elää biofilmeissä venttiilien EPDM-kumisilla pinnoilla ja vaikuttaa veden laatuun (Kilb ym. 2003). EPDM-kumia käytetään jakeluverkostojen liittimien, putkien ja venttiilien tiivisteinä sekä venttiilien osien pinnoitteina. Kiinteistöverkostoissa EPDM-kumia käytetään hanojen, putkien ja venttiilien tiivisteissä (taulukko 1).

### 9.1.2 Fluorikumit (FE)

Fluorikumit (fluoro rubbers) ovat fluoripitoisten monomeerien di- ja terpolymeereja. Fluorikautsuissa käytetään täyteaineina hiilimustaa ja magnesiumoksidia, joiden yhteismäärä on 20-40 % kautsun määrästä. Monomeereina on käytetty seitsemää eri yhdistettä eli klooritrifluorieteeni (CTFE), vinylideenifluoridi (HFP/PVDF/VF<sub>2</sub>), tetrafluorieteeni (TFE), heksafluoripropeeni (HFP), 1-hydropentafluoripropeeni (HPTFP), perfluorimetyylivinyylieetteri (FMVE) ja heptafluoributyylakrylaatti. Edellisten monomeerien sekoitukset luokitellaan fluorielastomeereiksi (FKM). Ne kestävät jopa -23/200 °C:n käyttölämpötiloja, mutta tarkempi lämpötila riippuu käytetystä koostumuksesta.

Fluorielastomeerit on hyväksytty Yhdysvalloissa elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa käytettäväksi (Schweitzer 2000). Yleisiä fluorielastomeerien kauppanimiä ovat Viton, Fluorel ja Technoflon. Viton-kumien monomeereina käytetään VF<sub>2</sub>+HFP:tä tai VF<sub>2</sub>+HFP+TFE:tä (Tammela 1990). Eteeni-tetrafluorieteeni (ETFE) on yli 75 %:sti TFE:tä ja sitä valmistetaan tuotenimellä Tefzel. Sen korkein käyttölämpötila on 149 °C ja se on kemiallisesti hyvin kestävä materiaali. Eteeni-klooritrifluorieteeni (ECTFE) on 1:1 eteenin ja CTFE:n kopolymeeri. Korkein käyttölämpötila ECTFE:lle on 171 °C ja myös se on kemiallisesti kestävä materiaali (Schweitzer 2000).

Vinyylideenifluoridin kauppanimiä ovat Kynar ja Forafon. Se on 1,1-difluorieteenin homopolymeeri. Käyttölämpötila-alue on -62/150 °C ja se on hyväksytty Yhdysvalloissa elintarvikkeiden kanssa kosketuksessa käytettäväksi. Mekaaniset ominaisuudet eivät käytännössä muutu lämpötilan vaihdella (Schweitzer 2000). Fluorikumeja käytetään

jakeluverkostojen liittimien tiivisteinä sekä venttiilien pinnoitteina. Kiinteistöissä niitä käytetään venttiilien tiivisteinä (taulukko 1).

### **9.1.3 Klooributylikumi (CIIR)**

Klooributylikumin (chlorobutyl rubber) peruselastomeeri on polyisobuteeni, jonka seassa on 0,5-2,5 mol-% isopreenia. Klooributylikumia valmistetaan lisäämällä klooria butyylikautsuun, jolloin lopullisen tuotteen klooripitoisuus on 1,1-1,3 paino-% (Tammela 1990). Käyttölämpötila-alue on -34/149 °C. Sillä on hyvä kaasujen diffuusion estokyky ja lämpövanhenemisen kesto verrattuna moniin muihin kumeihin. Huoneenlämpötilassa sen sitkeys on huono, mutta paranee lämpötilan noustessa. Klooributylikumin joustavuus on erinomainen (Schweitzer 2000). CIIR-kumia käytetään kiinteistöjen putkiliittimien tiivisteinä (taulukko 1).

### **9.1.4 Kloropreenikumi (CR)**

Kloropreeni (chloroprene rubber) tunnetaan Pohjois-Amerikassa Neopren-tuotenimellä. Sen perusmonomeerin rakenne on 2-kloori-1,3-butadieeni. Kloropreenikumin käyttölämpötila-alue on -40/120 °C. Perusmonomeeri ei ole mikrobeille käyttökelpoista, mutta käytetyt lisäaineet voivat olla (Schweitzer 2000). Kloropreenikumia on käytetty Suomessa ainakin 1980-luvulla pallografiittiputkien tiivisteissä. Tutkimuksessa klooratusta kumista on irronnut mikrobikasvua edistäviä aineita. Tässä tapauksessa aine oli liuotin (Schoenen ja Schöler 1985). Kloropreenikumin käytöstä suomalaisissa verkostoissa ei ole tietoa.

### **9.1.5 Luonnonkumi (NR)**

Luonnonkumien (natural rubber) valmistukseen käytetään tavallisia kautsulaatuja, joissa polyisopreenin osuus on 89-95 %, proteiinien 2,5-3,5 %, asetoniin liukoisen osan 2,5-4,5 %, tuhkan <1,5 % ja veden <3,5 % (Tammela 1990). Luonnonkumin käyttölämpötila-alue on -50/80 °C. Luonnonkumi kestää hyvin kylmässä vedessä, mutta ilma ja auringonvalo haurastuttavat sitä (Schweitzer 2000). Luonnonkumia on käytetty vielä 1980-luvulla vesihuollossa paljon mm. pallografiittiputkien tiivisteissä, ja sitä asennetaan tällä hetkellä ainakin pinnoitteena jakeluverkostojen venttiilien osissa (taulukko 1).

### **9.1.6 Nitriilikumi (NBR)**

Nitriilikumi (nitrile rubber/butadiene-acrylonitrile) on butadieenin ja akrylinitriilin kopolymeri. Akrylinitriilipitoisuus voi vaihdella laadusta riippuen 10-51 %:n välillä. Valmistuksessa saatetaan lisätä lämmönkestävyyden parantamiseksi stabilisaattoreja, piidioksidi- ja nokimustatäyteaineita sekä suojaavia polymeereja kuten epikloorihydriniterpolymeeria (Tammela 1990). Materiaalia voidaan käyttää pehmitetyssä PVC:ssä. Käyttölämpötila-alue on -40/105 °C. Tunnettuja kauppanimiä ovat Buna-N, Perbunan ja Nytek (Schweitzer 2000). NBR-kumilla päällystetyssä venttiilissä elävän biofilmin on havaittu tutkimuksessa voivan lisätä koliformisten bakteerien määrää (Kilb ym. 2003). NBR-kumia käytetään jakeluverkostojen liittimien tiivisteissä sekä venttiilien osien pinnoitteina. Kiinteistöissä sitä käytetään hanojen, liittimien, suodattimien ja venttiilien tiivisteissä (taulukko 1).

### 9.1.7 Polyuretaani (PUR)

Polyuretaanit (polyurethane) kuuluvat elastomeereihin ja niitä käytetään kalvoina ja pinnoitteina. Polyuretaanien perusrakenne koostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen on kova diisosyanaatin ja glykolin yhdistelmä ja toinen polyesteri tai polyeetterin johdannainen. Peruspolyuretaanin korkein käyttölämpötila on 121 °C. Polyeetteriin perustuvat polyuretaanit ovat kestävämpiä kuin polyesteriin perustuvat. Polyuretaanit kestävät hyvin kulumista (Schweitzer 2000). Polyuretaanipinnoiteaineet jaetaan neljään tyyppiin: uretaaniöljyt, kosteuden vaikutuksesta kovettuvat uretaanilakat, kuumassa kovettuvat uretaanilakat ja kahden reagoivan aineen seokset (Tammela 1990). Schoenen ja Schölerin (1985) mukaan juomaveden kanssa kosketuksissa käytetään pääasiassa kahden reagoivan aineen seoksia. PUR:ia voidaan käyttää PVC:n pehmittimenä (Javanainen 1997). Polyuretaanin käytöstä Suomessa kosketuksessa talousveden kanssa ei ole tietoa (taulukko 1). Sveitsissä on käytetty polyuretaanilla päällystettyjä pallografiittirautaputkia (Wagner 1994). Myös mm. Britanniassa käytetään polyuretaanipohjaisia pinnoitteita vesijohtotuotteissa.

Polyuretaani soveltuu sileytensä ja joustavuutensa vuoksi säiliöiden pinnoittamiseen, mutta materiaalilla on voimakas taipumus hydrolyysiin, jonka seurauksena veteen on todettu siirtyvän liuottimen ja pehmittimen makua (Rigal 1992). Toisessa tutkimuksessa polyuretaanipinnoite aiheutti vähäistä mikrobikasvua ja sen todettiin olevan sopimaton talousvesisovelluksiin (Schoenen ja Schöler 1985). Myös polyesterin ja polyuretaanin yhdistelmän on todettu monissa tutkimuksissa tietyissä olosuhteissa olevan helposti biohajoavaa materiaalia (Morton ja Surman 1994). Esim. Britanniassa käytetään kahden komponentin liuotteettomia polyuretaanipinnoitteita.

### 9.1.8 Styreenibutadienikumi (SBR)

SBR-kumi (styrene butadiene rubber/butadiene-styrene) on käytetyin kumi luonnonkumin jälkeen ja samalla eniten valmistettu synteettinen kumi. Valmistuksessa polymeroidaan styreeniä ja butadieeniä painosuhteessa 25:75. SBR:n kulutuskestävyys on parempi kuin luonnonkumin, mutta sillä on huonompi tarttumiskyky muihin materiaaleihin kuin luonnonkumilla (Tammela 1990). SBR:n käyttölämpötila-alue on -56/80 °C. Tunnettuja kauppanimiä ovat Buna-S ja GR-S (Schweitzer 2000). SBR-kumia käytetään Suomessa putkien tiivistämateriaalina. Yhdysvalloissa yli 90 % putkiliitoksista tiivistetään SBR:lla. Laboratoriokokeissa on todettu, että SBR-tiiviste läpäisee tutkimuksessa käytettyjä orgaanisia kemikaaleja 8-6000 kertaa helpommin kuin PB-putki (Park ym. 1991). SBR-kumia käytetään jakeluverkostojen liittimien ja venttiilien tiivisteissä (taulukko 1).

### 9.1.9 Silikonikumit

Silikonit ovat piin (Si) yhdisteitä. Silikonikumit (silicone rubber) jaetaan ryhmiin sivuryhmän mukaan. Silikonikumeja voidaan kutsua myös polysiloksaaneiksi. Niiden perusrakenne on  $[R_2SiO_2]_n$ . Mahdolliset sivuryhmät ovat metyyli, fenyyl, vinyyl ja trifluoripropyyl. Silikonikumeihin lisätään tai valmistuksessa käytetään myös vulkanointikemikaaleja, lämpöstabilisaattoreita, pigmenttejä ja työstöä helpottavia aineita (Tammela 1990). Tunnettuja kauppanimiä ovat Parshield ja Baysilone. Fluorisilikonin (FSI) käyttölämpötila-alue on -73/190 °C (Schweitzer 2000). Silikonikumit ovat yleisesti laajin tiivisteaineryhmä. Liikuntasauvojen tiivistämiseen käytetään yksikomponenttisiä silikonikumeja.

Silikonin perusaines ei tiettävästi ole mikrobiologisesti hajoavaa, mutta silikonikumien sisältämät lisäaineet voivat aiheuttaa kasvua. Tutkittaessa 16:ta eri silikonimateriaalia, joita valmistajat suosittelevat talousvesikäyttöön havaittiin, että kaikki mahdollistivat mikrobikasvun. Eri materiaaleista vapautuvien orgaanisten aineiden määrät vaihtelivat huomattavasti (Schoenen ja Schöler 1985). Ranskassa silikonien todettiin haju- ja makutesteissä kestävän hyvin klooria (Rigal 1992). Silikonikumien käytöstä talousvesisovelluksissa Suomessa ei ole tietoa.

## 9.2 Muovit

### 9.2.1 Epoksimuovit (EP)

#### Rakenne ja koostumus

Epoksimuovit ovat rakenteeltaan polyeettereitä. Tavallisesti lähtöaineet ovat bisfenoli-A (difenylolipropani) ja epikloorihydriini. Nimensä epoksimuovit (epoxyde) ovat saaneet lähtöaineessa ja välituotehartsissa esiintyvän epoksiryhmän mukaan. Niiden hyviä ominaisuuksia ovat mm. suuri sitkeys sekä lämmön ja veden kestävyys. Lisäksi epoksihartsit tarttuu tiukasti metalleihin ja keraamisiin aineisiin (Tammela 1990). Käyttölämpötila-alue on -252/150 °C (Schweitzer 2000). Epoksimuovit eivät myöskään kutistu merkittävästi kuivuessaan (Järvinen 2000).

#### Valmistus

Epoksihartsit yleisesti valmistetaan liuottamalla bisfenoli-A epikloorihydriiniin kattilareaktorissa. Hartsit kovetetaan kertamuovirakenteeseen katalyyttireaktioilla tai silloittavilla aineilla. Silloitusaineista tavallisia ovat amiinit (m-fenyleenidiamiini, dietyleenitriamiini ja trietyleenitetra-amiini), happoanhydritit (maleiini-, ftaali- ja pyromelliittihappoanhydritit) ja hapot. Anhydridikovetusta käytetään erityisesti valutuotteiden ja laminaattien valmistuksessa. Lisäksi kovetukseen voidaan käyttää amiiniryhmiä sisältäviä polyamideja, fenoleja tai BF<sub>3</sub>-monoetyyliamiiniyhdistelmää. Lopputuotteessa ei ole klooria.

Epoksihartseihin käytetään jonkin verran myös eri lähtöaineita kuin bisfenoli-A ja epikloorihydriini. Yksi tällainen on esim. Novo-lakka-epikloorihydriiniyhdistelmä. Epoksimuoveissa käytetään myös muita lisäaineita kuin kovettimet. Tyypillisimpiä lisäaineita ovat polymeerit kuten polyamidi tai polyesteri, sekä täyteaineet, kuten lasikuidut ja piidioksidi (Tammela 1990). Epokseissa käytetään myös reaktiivisia ohenteita viskositeetin pienentämiseen. Toisen lähteen mukaan epokseissa käytetyimmät kovettimet ovat bentsyylialkoholi, fenolit ja salisylihapo. Liuottimena käytetään yleisimmin tolueenia, metyylietyyliketonia, asetyasetonia ja metyyli sykloheksanonia. Liuotinta käytettäessä kovettimelle ei ole tarvetta. Myös pigmenttejä voidaan käyttää (Schoenen ja Schöler 1985). Tarkempaa tietoa nimenomaan vesijohtoverkoston materiaalina käytettyjen epoksien koostumuksista ei ole. Epoksia käytetään ainakin ulkopinnoilla jauheena esim. pallografiittirautaputkissa ja liittimissä, jolloin se voidaan kiinnittää FBE-menetelmällä (Fusion Bonded Epoxy Powder Coatings). Myös jauhemaisen epoksin valmistuksessa tarvitaan aine, joka reagoi hartsin kanssa ja kovettaa sen ja antaa halutut ominaisuudet lopputuotteelle. Käytettyjä kovettimia ovat mm. disyandiamidi, aromaattiset amiinit sekä alifaattiset diamiinit.

## Käyttö

Epoksihartseja käytetään jakeluverkostossa teräs- ja pallografiittiliittimien ja vesimittareiden pinnoitteina, vesisäiliöiden liikuntasuomien tiivistämiseen sekä muovibetonien ja laastien sidosaineena (taulukko 1; Tanhuala 1995). Kiinteistöverkostoissa epoksihartseja käytetään kiinteistöputkien kunnostukseen. Kunnostettavat putkikoot ovat 5-150 mm (taulukko 1). Materiaalikyselyn perusteella epoksimuoveja on käytetty myös 1980-luvulla jakeluverkoston teräsputkien sisäpinnoituksessa.

## Vuorovaikutukset

### *Korroosio ja liukeneminen*

Epoksimuoveilla ei esiinny perinteistä korroosiota. Epoksimuovien pääraaka-aineita epikloorihydriiniä ja bisfenoli A:ta voi liueta veteen. Talusvesiasetuksen mukainen enimmäispitoisuus epikloorihydriinille on 0,10 µg/l.

### *Mikrobiologinen toiminta*

Saksalaisissa 1960-luvulla tehdyissä tutkimuksissa epoksilla päällystetyn vesivaraston seinämä aiheutti sienten kasvua materiaalin pinnassa (Schoenen ja Schöler 1985). Tutkimuksissa ei todettu haitallista mikrobien lisääntymistä, kun epoksipinnoitteen bentsyylialkoholipitoisuus oli alle 5 %, mutta kasvu lisääntyi selvästi yli 15 % pitoisuuksissa. Liuotteettomia, mutta kovettumista nopeuttavia aineita sisältäviä epoksihartseja voidaan pitää sopivina käytettäviksi talusveden kanssa, jos pinnoite valmistetaan tarkoin määräysten mukaisesti. Tällöin voidaan varmistaa se, että sekoitussuhde ja lämpötila ovat oikeat ja polymerisaatio tapahtuu täydellisesti. Ellei valmistuksessa noudateta riittävää huolellisuutta, saattavat testiolosuhteissa moitteettomiksi havaitut materiaalit aiheuttaa mikrobikasvua käytännön olosuhteissa. Liuottimia sisältävät epoksihartsipinnoitteet eivät sovellu kirjoittajien mukaan vesijohtoveden kanssa käytettäviksi ja sama koskee tiivistämiseen käytettäviä epoksihartseja. (Schoenen ja Schöler 1985). Ranskalaisessa tutkimuksessa makuhaittoja syntyi, kun liuotteeton materiaali reagoi kloorin kanssa. Tutkimuslaitos toteaa haju- ja makuhaittojen epoksihartseissa vähentyneen (Rigal 1992). Näiden tutkimusten perusteella epoksien käyttöön kosketuksissa talusveden kanssa liittyy tai on liittynyt ongelmia, jotka kuitenkin ovat pitkälti riippuvaisia käytetystä raaka-ainekoostumuksesta ja/tai asennuksen huolellisuudesta.

### **9.2.2 Kloorattu polyeteeni**

Kloorattu polyeteeni (CPE/PE-C/CM, chlorinated polyethene) on elastomeeri. Valmistuksessa polyeteeniliuosta kloorataan ja lopullisesta tuotteesta 30-50 % on klooria (Tammela 1990). Kloorattu polyeteeni on kestonuovi. Tutkimusten mukaan PEC-kalvoa voidaan käyttää talusvesisovelluksissa (Schoenen ja Schöler 1985). Sitä voidaan käyttää joissain tapauksissa PVC:n iskulujuutta parantamaan. Tietoa klooratun polyeteenin käytöstä vesijohtomateriaalina ei ole, mutta se ei sovi sellaisenaan putkistomateriaaliksi.

### 9.2.3 Polyesterit

Polyesterit (polyester) voidaan lukea elastomeereihin muovien sijaan. Polyesterit valmistetaan polykondensoimalla alkoholeja dikarboksylihappojen kanssa. Niihin kuuluvat tyydyttymättömät polyesterit, jotka ovat kertamuoveja, alkydihartsit, pienimolekyyliset tyydytetyt polyesterit sekä suurimolekyyliset polyesterit. Tärkeimmät suurimolekyyliset polyesterit ovat polyeteenitereftalaatti (PET), polybuteenitereftalaatti (PBTP), aromaattiset polyesterit ja polykarbonaatti (Tammela 1990). Polyesterit voidaan myös jakaa kolmeen päätyyppiin, isoftaali-, bisfenoli- ja halogeenipohjaisiin. Bisfenolipohjainen polykarbonaatti on käsitelty kohdassa kiinteistöjen muut muovit. Isoftaalisilla polyestereillä on Yhdysvalloissa hyväksyntä käyttää niitä kosketuksissa elintarvikkeiden ja juomaveden kanssa. Polyestereissä ei käytetä pehmitteitä (Schweitzer 2000). Saksassa oli käytetty vesisäiliön seinämää, joka koostui kahdesta betonikerroksesta, ja joiden välissä oli polyesterinen eristekerros. Kyseinen säiliö oli aiheuttanut selvästi havaittavaa mikrobikasvua pitkään ja syyksi epäiltiin polyesteristä hajoamisen seurauksena irtoavia aineita. Syynä materiaalin hajoamiseen oli ilmeisesti betonin ja veden aiheuttama korkea pH kerroksien väliin, joka aiheutti polyesterin hydrolyysireaktion. Kyseistä polyesteriä ei valmisteta enää (Schoenen ja Schöler 1985).

#### *Polyeteenitereftalaatti (PET / PETP)*

Polyeteenitereftalaatti (polyethene terephthalate) kuuluu polyestereihin. Sitä käytetään eniten kalvomateriaalina. Tunnettuja kalvovalmisteiden kaupp nimiä ovat Mylar, Melinex ja Hostaphan (Tammela 1990). Korkein käyttölämpötila on 110 °C (Schweitzer 2000). Polyesterikuituja käytetään tonttijohtojen kunnostuksessa, jolloin kovetus voidaan tehdä epoksihartsilla (taulukko 1). Polyesterit eivät sovellu verkoston pinnoitemateriaaliksi emäksisissä olosuhteissa. Kemiallisesta hajoamisesta syntyvät polymeerin osat voivat aiheuttaa mikrobien kasvua (Schoenen ja Schöler 1985).

### 9.2.4 Polytetrafluorietyleni (PTFE)

Polytetrafluorietyleenin (PTFE, polytetrafluoroethylene) valmistus perustuu jauhemaisen polymeerin työstämiseen ahto- tai suulakepuristuksella. Polymeeri sisältää vain hiiltä ja fluoria. Sen hyvinä ominaisuuksina muihin muoveihin nähden voidaan pitää kemiallista kestävyyttä, vähäistä kitkaa ja tarttumattomuutta muihin aineisiin. Kiinteistöissä PTFE:tä käytetään putkien ja venttiilien tiivisteissä, ja se tunnetaan paremmin ensimmäisen valmistajan tuotemerkinimellä Teflon (Dupont) (Tammela 1990; taulukko 1). Toinen tuotemerkki on Halon. Käyttölämpötila-alue on -29/212 °C (Schweitzer 2000).

### 9.2.5 PVC (pehmitetty)

Eniten pehmitteitä käytetään pehmitetyn PVC:n (plasticized PVC) valmistuksessa, ja ylivoimaisesti käytetyimpiä ovat erilaiset ftalaattipehmitteet. Myös fosfaatit ovat yleisiä (Javanainen 1997). Käytetyimmät PVC:n ftalaattipohjaiset pehmitteet ovat di-2-etyyliheksyyliftalaatti (DEHP/DOP), di-isodekyyliftalaatti (DIDP) ja di-isononyyliftalaatti (DINP) (European Council of Vinyl Manufacturers 2006). Pehmitteistä mikrobien toimintaa häiritseviksi luetaan tavallisesti fosfaatit ja ftalaatit, mutta alifaattiset esterit taas eivät estä kasvua. Pehmitetyssä PVC:ssa voi olla kahta eri pehmitintä. Vaikka toinen pehmittimistä olisikin mikrobien kasvua estävä, ei vaikutus ole riittävä. Pehmitetyn PVC:n arvioidaan



voivan huonontua ominaisuuksiltaan mikrobin toiminnan seurauksena (Lindberg ym. 1985). Valmistajien mukaan talousveden ja elintarvikkeiden kanssa käyttöön soveltuvia materiaaleja tutkittiin ja tuloksien mukaan runsaasti pehmitintä sisältävät materiaalit (n. 30 %) eivät sovi talousvesisovelluksiin. Lisäksi on havaittu, että pintakasvu ei käynnistynyt heti vaan vasta pitkän ajan kuluttua. Testausajan on oltava riittävän pitkä, jotta tämä viipymä saadaan näkymään tuloksissa (Schoenen ja Schöler 1985). Sopivilla lisäaineilla mikrobin kasvua voidaan estää. Kalvoista voi vapautua kloorifenolin ja pehmittimen makua veteen (Rigal 1992). Pehmitetyn PVC:n käytöstä Suomessa ei ole tietoa, mutta mahdollinen käyttö rajoittuu pinnoitteisiin.

## 9.2.6 Polyvinyylidienikloridi (PVDC)

PVDC (polyvinylidene dichloride) on erittäin kova, veden- ja kulutuksenkestävä kestopuovi, joka lisäksi kestää erittäin hyvin kemikaaleja ja on kaasunpitävä. Käyttölämpötila-alue on -18/80 °C. Tunnettu tuotemerkki on Saran ja se on hyväksytty Yhdysvalloissa elintarvikkeiden ja juomaveden kanssa kosketuksessa olevaan käyttöön (Schweitzer 2000). PVDC/PVC-kopolymeeriä on käytetty vedenkäsittelyprosessissa otsonia sisältävän veden kanssa kosketukseen joutuvien putkien ja säiliöiden pinnoittamiseen (Schoenen ja Schöler 1985). Materiaalin käytöstä Suomessa ei ole tietoa (taulukko 1).

## 9.3 Muut materiaalit

### 9.3.1 Betoni/sementtilaasti

#### Rakenne ja koostumus

Vesijohtoputkien sementtilaasti (cement mortar, concrete lined) on valmistettu yleensä portland-sementistä, hiekasta (raekoko 0-0,3 mm) ja vedestä. Portland-sementistä valmistetaan eri variaatioita käyttötarkoituksen mukaan. Portland-sementin raaka-aineet sisältävät tyypillisesti trikalsiumsilikaattia  $[(CaO)_3 \cdot SiO_2]$ , dikalsiumsilikaattia  $[(CaO)_2 \cdot SiO_2]$ , trikalsiumalumiinaattia  $[(CaO)_3 \cdot Al_2O_3]$ , tetrakalsiumaluminoferritiä  $[(CaO)_4 \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3]$  ja kipsiä  $[CaSO_4]$ . Niiden tyypilliset massaprosenttiosuudet ovat vastaavasti 45-75 %, 7-32 %, 0-13 %, 0-18 % ja 2-10 %. Portland-sementti on perinteinen ja ylivoimaisesti käytetyin sementtityyppi kaikessa rakentamisessa, mutta putkien pinnoitteissa käytetään nykyään enemmän muita sementtejä, joiden tarkemmasta koostumuksesta ei ole tietoa. Rakentamisessa käytettyjä muita sementtityyppejä ovat masuunikuona-, sulfaatinkestävä ja aluminaattisementti, joista masuunikuonasementtiä käytetään hyvin yleisesti talousvesiputkien pinnoitteena. Myös erilaisia lisäaineita käytetään, mutta niistä ei ole tietoa.

#### Valmistus

Portland-sementin, hiekan ja veden seoksessa tapahtuvien reaktioiden seurauksena rakenne kovettuu ja muuttuu betoniksi. Uudet pallografiitti- tai teräspuutet pinnoitetaan sementtilaastilla tehtaalla joko keskipakoisesti ruiskuttamalla tai pyörittämällä. Hiekan ja sementin suhde ei saa olla yli 3,5. Valmistuksessa käytettävän veden tulee olla standardin mukaan juomavettä tai laadultaan vastaavaa. Hiekka ei saa sisältää orgaanisia epäpuhtauksia. Uusien pallografiittiputkien sementtilaastivuorauksen paksuus on 4-9 mm riippuen putken halkaisijasta (SFS-EN 545).

## Käyttö

Sementtilaasti on ollut 1900-luvun alusta lähtien yleinen putkipinnoite vedenjakeluverkostoissa sekä Suomessa että muualla Euroopassa (taulukko 1). Sitä on käytetty sekä teräksisten että harmaa- ja pallografiittirautaisten putkien pinnoitteena sekä uusissa putkissa että saneerattaessa. Portland-sementtiä ja ns. masuunikuonasementtiä käytetään uusien pallografiittirautaputkien pinnoitteina. Tietyissä tilanteissa, esim. raakavesilinjoissa voidaan käyttää myös alumiinisulfaattisementtiä. On mahdollista, että eri valmistajat käyttävät edellä mainittujen lisäksi muita aineita, esim. kuivussa tapahtuvan betonin supistumisen estämiseen. Sementtilaastivuoraus ruiskubetonoimalla on vanhin ja yleisin valurautaisten ja teräksisten vesijohtojen pinnoitusmenetelmä. Tyypillinen vanhojen putkien pinnalle ruiskutettava sementtilaastikerros on 3-6 mm paksu. Portland-sementtiä on käytetty myös asbestisementtiputkien ja yhteiden pääraaka-aineena. Suomessa selvästi yleisin ylä- ja alavesisäiliöiden rakennusmateriaali on ollut betoni. Kallion sisään rakennetuissa säiliöissä on käytetty kallion ruiskubetonointia tai teräsbetonirakenteita (Ruohomaa 1974). Sementtilaastin, muovin ja selluloosaeetterin seosta on käytetty ainakin ulkomailla vesisäiliöiden laattasaumoissa. Myös pelkästään sementtilaastin ja muovin sekoitusta on käytetty (Schoenen ja Schöler 1985).

## Vuorovaikutukset

### *Korroosio ja liukeneminen*

Uuden tai saneeratun putken pinnasta voi liueta kalkkia ja alkaalisuoloja, jotka nostavat voimakkaasti veden pH:ta (Rintala 1976). Riittävällä huuhtelulla ongelmasta päästään eroon. Vesi voi suorastaan liuottaa joitain betonin aineksia kuten kalsiumhydroksidia pois. Tätä voi tapahtua esim. voimakkaasti happamissa vesissä. Toinen hyvin tavallinen vaikutustapa on, että betonin sisältämä kalsium muuttuu vedessä olevien rikki- ja klooripitoisten yhdisteiden vaikutuksesta uusiksi yhdisteiksi, lähinnä kipsiksi. Tässä muodossa kalsium vaatii huomattavasti suuremman tilavuuden kuin sementin ainesosana, mistä syystä betoni alkaa paisua pinnasta käsin ja rakenne hajoaa (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2003). Betonista voi liueta veden laadusta riippuen myös alumiinia. Alumiinin talousvesiasetuksen mukainen enimmäispitoisuus vedessä on 200 µg/l.

Ranskalaisessa tutkimuksessa haju- ja makutesteissä betonin lisäaineiden todettiin olevan melko reagoimattomia vedessä ja kestävästi tyydyttävästi ikääntymistä. Joistakin lisäaineista todettiin irtoavan kumin ja muovin hajua veteen (Rigal 1992). Saksassa havaittiin mikrobien kasvua erityisesti niissä kohdissa betonisia vesijohtoja, joissa oli asennettu käsin muovin ja betonin sekoitusta. Olennaista tapauksessa oli havainto, että materiaali voi vaikuttaa mikrobikasvuun myös vaikka se ei olisikaan suoraan kosketuksissa veden kanssa (Schoenen ja Schöler 1985).

### *Mikrobiologinen toiminta*

Sementtilaastin pinta voi toimia alustana mikrobien kasvuille, joka voi puolestaan vaikuttaa materiaalin kestävyys (Haudidier ym. 1988; Herb ym. 1995). Sementtilaastin pinnan tasaisuus voi vaikuttaa mikrobien kiinnittymiseen ja kasvuun materiaalilla. Pinnan rakenteeseen vaikuttavat käytetyn sementtilaastin koostumus ja valmistus-/levitysprosessi. Lisätietoa tarvittaisiin putkien pinnoitteissa käytettyjen sementtien koostumuksista ja lisäaineista sekä biofilmeistä putkien pinnoilla.

### 9.3.2 Bitumi

Bitumi (bitumen) on raskaista hiilivedyistä koostuva orgaaninen seos. Sitä saadaan luonnosta sellaisenaan tai maaöljyä tislattaessa. Bitumi sisältää perushiilivetyjen lisäksi rikkiä, typpeä, vanadiinia, nikkeliä ja pieniä määriä muita metalleja. Tarkkaa kemiallista rakennetta bitumilla ei ole. Liuotteeton bitumi levitetään kuumana (180-200 °C) kohdepinoille, jonka jälkeen se kuivuu jäähtymällä. Tärkein käyttökohde on ollut jakeluverkoston putket. Pinnoittamismenetelminä on käytetty ruiskutusta ja kastamista. Paksukalvobitumia on käytetty myös säiliöihin, joihin on haluttu lisäsuojaa kuumasinkityksen lisäksi. Liuotinta sisältävä bitumi kuivuu liuottimen haihtuessa. Materiaalikeselyn perusteella bitumia on käytetty yleisesti vielä 1980-luvulla jakeluverkoston metalliputkien pinnoitteena, mutta sitä ei siis enää käytetä uusissa tuotteissa. Tietävästi pinnoitteiden paksuus ja tasaisuus on vaihdellut paljon varsinkin 1900-luvun alkupuolella. Suomen kaupunkiliiton (1982) ohjeiden mukaan bitumi ei saisi sisältää tuhkaa enemmän kuin 0,2 % eikä paraffiinia enemmän kuin 0,5 %.

Liuotteettoman bitumin ei ole todettu aiheuttavan mikrobikasvua. Liuotinta sisältävän bitumin on todettu lisänsäen laboratoriokeissa ja käytännössä mikrobien kasvua vesialtaiden pinnoitteena käytettäessä. Liuotin aiheuttaa mikrobikasvua, mutta liuottimen irtoaminen vähenee ajan kuluessa. Ilman esikäsitteilyä ei näitä putkia saisi ottaa vesijohtokäyttöön. Esim. riittävän pitkä varastointi korkeassa lämpötilassa voisi olla sopiva liuottimen vaikutuksen vähentämiseksi (Schoenen ja Schöler 1985). Bitumipinnoite voi aiheuttaa klooratussa vedessä kloorifenolin makua veteen. Suomessa tuoreen bitumin on todettu aiheuttaneen öljyn makua veteen. Vesilaitokset ovat raportoineet bitumin irtoamisesta, jolloin se on kulkeutunut vesimittareihin ja -kalusteisiin. Irronnut bitumi on sotkenut pyykkiä ja tarttunut ihoon suihkussa. Irtoamisen syytä ovat olleet virtauksen muuttuminen, sijainti kaukolämpöjohdon lähellä ja valmistusvirhe, jossa putki oli tulpattu tehtaalla liian nopeasti (Tanhuala 1995).

### 9.3.3 Emali

Emali (vitreous enamel, porcelain enamel) on kova lasinen materiaali. Emali on epäorgaaninen materiaali, joka sisältää aina piidioksidia, mutta muita mahdollisia yleisiä aineita ovat eri metallioksidit, boori ja fosfori. Oksidien määrät vaihtelevat tuotteen mukaan. Emalilla voidaan pinnoittaa metalliesineitä kastamalla metalli emalijauheeseen ja kuumentamalla jauhe kiinni tai käyttämällä märkää pinnoitetta. Emalia käytetään Suomessa kiinteistöjen lämminvesivaraajien pinnoitteena (taulukko 1).

### 9.3.4 Polysulfidit

Polysulfidien (polysulfide) polymeeriketjut sisältävät rikkiä ja niitä voidaan valmistaa alkalisulfidien ja dihalidien reaktioilla. Myös monet elastomeeriketjut sisältävät rikkisidoksia. Materiaalia on käytetty ulkomailla ainakin vesisäiliöiden saumoihin ja liitoksien eristämiseen. Tutkimuksessa käytetty polysulfidimateriaali aiheutti mikrobien kasvua (Schoenen ja Schöler 1985). Tietoa käytöstä Suomen vesijohtoverkostoissa ei ole.

## 10 Pohdinta

Suomalaisissa vedenjakeluverkostoissa ja kiinteistöjen vesijohtoverkostoissa on käytössä ja niihin asennetaan monia eri materiaaleja, jotka ovat kosketuksessa talousveden kanssa. Päämateriaalit jakeluverkostojen putkissa ovat kova polyeteeni, pallografiittirauta, polyvinyylikloridi ja harmaa valurauta. Harmaa valurauta -putkia ei enää asenneta. Kiinteistöjen putkimateriaaleina käytetään kuparia, sinkittyä terästä, ristosilloitettua polyeteeniä ja monikerrosmuoviputkia, joissa sisä- eli virtausputkenä on polyeteeni. Tällä hetkellä eniten asennettavat putkimateriaalit ovat kupari ja polyeteenit. Materiaalivaihtelu on suurin pinnoitteissa ja tiivisteissä. Suurin osa verkostoihin aiemmin käyttöönotetuista materiaaleista on edelleen käytössä jossain tuotteessa ja suurinta osaa myös edelleen asennetaan.

Jakeluverkostojen uudisrakentamisessa ja saneerauksessa yli 90 % asennettavista putkista on muovia. Vesistöihin asennettavista putkista lähes kaikki ovat muovia. Tällä hetkellä käytännössä kaikki asennettavat pallografiitti- ja teräsputket ovat sementtilaastilla pinnoitettuja ja useita vanhoja metallisia putkilinjoja on jälkikäteen päällystetty sementtilaastilla. Sementtilaasti onkin tosiasiaa pinta-alaltaan muovin jälkeen merkittävin veden kanssa kosketuksissa oleva materiaali jakeluverkostoissa. Vesilaitoksille tehdyn materiaalikyselyn perusteella voidaan todeta, että jakeluverkostoissa käytetyissä putkimateriaaleissa on eroja laitoksen koon mukaan. Myös maantieteellisesti vierekkäisten verkostojen materiaalit voivat poiketa materiaaleiltaan merkittävästi toisistaan. Kiinteistöverkostojen materiaaleista ei ole olemassa vastaavaa tilastotietoa. Toisaalta eniten käytettyjä materiaalilaatua on vähemmän kuin jakeluverkostoissa. Tiedoille käytetyistä materiaaleista olisi kuitenkin merkittävä tarve arvioitaessa veden ja materiaalien vuorovaikutusta kiinteistöverkostojen sisällä.

Yksittäiset materiaalit eroavat kaikki merkittävästi toisistaan, mutta myös materiaalityyppien välillä on joitakin yleisiä eroja. Metalleille on tyypillistä, että niiden koostumus ja rakenne tunnetaan tarkasti. Metalleista voi liueta aineita suoraan ja biofilmien toiminnan kautta veteen, mutta liukenevien aineiden koostumus tunnetaan ja liukenevia aineita on rajallisesti. Eräs metallien perusominaisuus on niiden tiiviys eli kyky suojata vettä ympäristössä olevilta aineilta. Muovien valmistustavoista ja halutuista ominaisuuksista johtuen valmistuksessa käytetään peruspolymeerin lisäksi useita lisäaineita. Käytettyjä lisäaineita tai niiden koostumuksia ja vaikutuksia ei kaikilta osin tunneta. Muovien ”valmistusreseptit” ovat vaihdelleet eri aikoina. Muovilaadut poikkeavat ominaisuuksiltaan merkittävästi toisistaan, ja niitä on otettu käyttöön eri aikoina. Muovien perusominaisuus on aineiden läpäisevyys, jolloin veteen voi siirtyä aineita muovin läpi. Muovien permeabiliteetti kuitenkin vaihtelee muovityypin mukaan ja osassa monikerrosmuoviputkista käytetyt alumiinikalvot estävät aineiden siirtymisen putken sisälle.

Materiaalien ja veden välistä vuorovaikutusta tapahtuu sekä vedenjakelu- että kiinteistöverkostoissa. Materiaaleihin vaikuttavat samat kemialliset, biologiset ja fysikaaliset muuttujat molemmissa verkostoissa, mutta muuttujien keskinäiset suhteet voivat olla täysin erilaiset. Materiaalin laadusta riippuu, miten aineiden liukeneminen, korroosio ja biofilmien toiminta vaikuttaa koko ajan veden laatuun ja toisaalta veden laatu materiaaleihin. Vesilaitoksen jakaman veden laatu vaikuttaa materiaaleihin kiinteistöissä ja vastaavasti kiinteistön verkostot vaikuttavat veden laatuun. Oma lukunsa ovat lämpimän veden linjat, joissa olosuhteet usein kiihdyttävät muutoksia. Lämmintä vettä ei tällä hetkellä Suomessa lueta talousvedeksi. Talousveden laadun tulee olla ihmisten terveyden kannalta haitatonta ja Suomessa vesi onkin useimmiten hygieenisesti korkealaatuista. Tulevan EAS-tuotehyväksyntäjärjestelmän tavoitteena on terveydellisten ja myös esteettisten näkökohtien

parempi huomioiminen tuotehyväksyntäprosessissa. Aineilla, jotka joutuvat veteen materiaalin liukenemisen seurauksena, voi olla vaikutusta ihmisten terveyteen. Kuitenkaan metallisten materiaalien paikalliskorroosiolla ei ole terveydellisiä vaikutuksia. Mikrobin kasvu biofilmeissä lisää veden terveydellisiä riskejä ja mikrobitoiminta voi vaikuttaa merkittävästi materiaaleista liukenevien aineiden kemiaan.

Osa käytetyistä materiaaleista, kuten tiivisteet, muodostavat pinta-alaltaan vain pienen osan verkostojen pinta-alasta, joten niiden todennäköinen vaikutus veden laatuun on myös pieni. Toisaalta joillain pienen pinta-alan materiaaleilla voi olla suuri reaktiivisuus, minkä vuoksi vaikutus veden laatuun voi olla huomattavasti suurempi kuin mitä pinta-alan perusteella voisi olettaa. Lisäksi ratkaisevaa on niiden kyky estää aineiden kulkeutuminen ympäristöstä veteen. Putkista voi hitaastikin irrota merkittäviä määriä aineita, koska niiden pinta-alan osuus on suurin. Pinta-alan huomioiminen vaikuttaa materiaalin riskinarviointiin. Usein liukenevien aineiden määrä on suurimmillaan uuden tuotteen käytön alussa, ja liukeneminen pienenee ja tasaantuu merkittävästi muutamien kuukausien aikana. Kokonaan liukeneminen ei yleensä lopu. Esimerkiksi hanojen materiaaleilla voi olla suurempi merkitys kuin ajatellaan, sillä niissäkin vesi seisoo pitkään, kuuma ja kylmä vesi sekaisin. Veden käyttäjän tulisikin juoksentaa vettä aina ennen veden käyttöä.

Tutkimuksella on keskeinen rooli materiaalien ja veden välisten vuorovaikutusten ja niihin vaikuttavien ilmiöiden kuten korroosion, liukenemisen ja mikrobitoiminnan selvittämisessä. Voidaan sanoa, että korroosion ja aineiden liukenemisen perusmekanismeista tiedetään jo yleisellä tasolla monia asioita, mutta kokonaisuuden kannalta ilmiöiden lisätutkimusta tarvitaan vielä paljon. Etenkin olosuhteiden muutoksien vaikutuksista ja biofilmien mikrobin käyttäytymisestä vesijohtoverkostoissa on rajallisesti tietoa. Lukuisia biofilmitutkimuksia on tehty laboratorio-olosuhteissa, mutta ongelmana on poikkeaminen täyden mittakaavan verkostojen olosuhteista. Tutkimukset kestävät yleensä muutamista päivästä muutama viikkoihin, vaikka merkittäviä muutoksia mikrobiyhteisöjen rakenteesta tiedetään tapahtuvan pidemmän ajan kuluessa. Lisäksi usein tutkitaan yksittäisiä mikrobeja yhteisöjen sijaan. Vielä ei tarkalleen ottaen tiedetä, mitä mikrobeja verkostoissa kaikkiaan on ja missä olosuhteissa tai kuinka ne lopulta vaikuttavat. Minkään materiaalin ja mikrobin vuorovaikutuksesta ei ole vielä riittävästi tietoa. Selvityksessä on jouduttu viittaamaan mikrobitoiminnan osalta moneen otteeseen suhteellisen vanhoihin tai samoihin tutkimuksiin tiedon puutteen vuoksi. Tutkimusten tuloksia tulkittaessa on myös huomioitava, että joidenkin materiaalityyppien tuotteiden koostumukset poikkeavat merkittävästi valmistajakohtaisesti ja tulosten soveltaminen kaikkiin tuotteisiin ei ole suoraviivaista, kun taas esim. metalleilla saatuja tuloksia voi soveltaa kaikkiin kyseisestä metallista valmistettuihin pinnoittamattomiin tuotteisiin.

Vesilaitoskyselyn vastauksien ja tehtyjen lisähaastattelujen perusteella voidaan todeta, että vesilaitosten käyttämät verkostotietojen tilastointi- ja kirjauskäytännöt eroavat merkittävästi toisistaan. Tässä käytännöillä tarkoitetaan tietojen keräämistä ja tallentamista putkimateriaalien asennuspituuksista, uusista ja poistetuista materiaaleista sekä myös erittelyjä saneeraus- ja uudisrakentamisesta. Suurimmilla laitoksilla on käytössä verkostotietojärjestelmiä, mutta tilastointikäytännöissä on keskinäisiä eroja, jotka pieniltä usein puuttuvat kokonaan. Tilastointia selittää järjestelmien pääkäyttökohde eli laitoksen sisäinen tarve. Näillä tiedoilla olisi kuitenkin käyttöä myös tutkimuksessa sekä laitosten niin halutessa - keskinäisessä vertailussa. Joillakin laitoksilla vanhemmat tiedot ovat puutteellisia tai puuttuvat kokonaan. Osaltaan tiedon puute selittää myös pienten laitosten vähäistä osallistumista kyselyyn. Suomessa jakeluverkostojen talousvesiputkien materiaalit luokitellaan yleisesti muoviksi, teräkseksi ja valuraudaksi. Virallisia materiaalityetoja kerätään vesilaitoksilta näillä termeillä, mutta ongelmana on materiaalien koostumusten ja vuorovaikutusten erilaisuus. Esimerkiksi eri muovit ja etenkin PVC suhteessa polyeteeneihin

poikkeavat huomattavasti fysikaalisilta ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan, mutta myös asennustekniikaltaan ja vaikutukseltaan mm. mikrobien kasvuun. Samoin ongelmana on, että harmaa valurauta ja pallografiittirauta käsitetään monesti samaksi materiaaliksi, vaikka niidenkin ominaisuudet ovat kokonaisuus huomioiden merkittävästi erilaiset. Materiaalilistastoja kerätessä on välttämätöntä huomioida myös käytetyt pinnoitteet.

EAS-järjestelmän valmistelutyössä on todettu monelta osin suomalaisen kootun tiedon puutetta, mikä voi haitata edunvalvontaa EAS-työssä. Tämä materiaaliselvitys ja Vesi-Instituutin talousveden laatuselvitys (Keinänen-Toivola ym. 2007) ovat pohjana suomalaiselle EAS-työlle. Ympäristöministeriölle nämä tutkimukset luovat pohjamateriaalia harkittaessa EAS-järjestelmän mukaisia säädöksiä Suomessa. EAS-järjestelmän valmistelu- ja standardisointityössä joudutaan hyväksymään ratkaisuja, joiden merkitys on etukäteen tunnettava suomalaisessa olosuhteissa. Myös vesihuoltolaitoksille näistä perustutkimuksista on hyötyä, koska niiden toiminnalle veden ja materiaalien vuorovaikutuksilla on merkityksensä.

Tässä selvityksessä keskityttiin tarkastelemaan veden ja materiaalien välistä vuorovaikutusta terveysnäkökulmasta. Materiaalien turvallisuuden takaamiseksi tulisi huomioida myös tuotteiden vaurioiden ehkäisy ja mahdollisimman pitkä käyttöaika, joita tullaan tarkastelemaan alkavassa materiaaliselvityksen jatko-osassa. Veden korkeatasoinen terveydellinen ja tekninen laatu sekä verkostojen tekninen kunto ovat yhteisiä tavoitteita kaikille toimijoille niin materiaalien ja tuotteiden valmistajille ja maahantuojille kuin vesilaitoksille, asentajille ja kiinteistöjen omistajille.

## 11 Johtopäätökset

Suomessa on käytössä paljon erilaisia materiaaleja kosketuksissa talousveden kanssa kiinteistö- ja jakeluverkostojen monissa eri tuotteissa. Eniten käytetyt materiaalit ja niiden ominaisuudet tunnetaan jossain määrin, mutta vähemmän käytetyistä materiaaleista on rajallisesti tietoa. Myös monen perusmateriaalin koostumus- ja ominaisuustiedot ovat vajaita. Eniten puutteita on tiiviste- ja pinnoitemateriaalien tiedoissa.

Materiaaleista liukenevat aineet eivät ole Suomessa todennäköinen terveysriski nykyisin asennettavissa tuotteissa, mutta erikoistilanteissa ne voivat olla terveydellinen ongelma meilläkin. Materiaaleihin liittyvät riskit pohjautuvat todennäköisesti pääasiassa mikrobien toimintaan, jonka suhteen tiedon puute on suuri.

Materiaalien ja veden laadun väliset vuorovaikutusilmiöt ovat monimutkaisia. Vuorovaikutusilmiöistä veden ja tietyn materiaalin välillä ei ole tarpeeksi tietoa, varsinkaan mikrobitoimintaan liittyen, mutta aineiden liukenemisesta materiaaleista ei myös ole riittävästi tietoa. Tuleva EAS-järjestelmä pyrkii takaamaan lainsäädännöllisesti tuotteiden soveltuvuuden tarkoitukseensa. Jotta tämä järjestelmä toimisi aukottomasti ja oikeudenmukaisesti on syytä lisätä tutkimuspanoksia perustietojen kartuttamiseksi.

## Lähdeluettelo

- Airasmaa I., Kokko J., Komppa V. ja Saarela O. (1991). Muovikomposiitit. Muoviyhdistys ry, Jyväskylä. 573 s.
- Ala-Peijari T. (1980). Veden laadun vaikutus korroosioon. Kirjassa: Vesi ja korroosio. INSKO 123-80. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus ry, Helsinki.
- Al-Malack M.H. (2001). Migration of lead from unplasticized polyvinyl chloride pipes. *Journal of Hazardous Materials* 82(3), 263-274.
- Angell P. (1999). Understanding microbially influenced corrosion as biofilm-mediated changes in surface chemistry. *Current Opinion in Biotechnology* 10(3), 269-272.
- Anselme C., N'guyen K., Bruchet A. ja Mallevalle J. (1985). Characterization of low molecular weight products desorbed from polyethylene tubings. *Science of the Total Environment* 47, 371-384.
- Appenzeller B.M.R., Batte M., Mathieu L., Block J.C., Lahoussine V., Cavard J. ja Gatel D. (2001). Effect of adding phosphate to drinking water on bacterial growth in slightly and highly corroded pipes. *Water Research* 35(4), 1100-1105.
- Association of Dutch Water Companies (2006). Dutch Water Statistics 2005. (VEWIN). Internet (3.9.2006):  
<http://www.vewin.nl/bestanden/internet/Publicaties/RappDocs/2006/WSS%20eng%202005%20web.pdf>
- Boylay 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.
- Bresser R. ja Bergman N. (2000). PE 100 opens new horizons for gas pipes. Internet (20.9.2006):  
[http://www.borealisgroup.com/public/pdf/application\\_article/APPA003.pdf](http://www.borealisgroup.com/public/pdf/application_article/APPA003.pdf)
- Brocca D., Arvin E. ja Mosbæk H. (2002). Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipelines into drinking water. *Water Research* 36(15), 3675-3680.
- Broo A.E., 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.
- Carpen L. (1995). Mikrobiologinen korroosio iskee myös ruostumattomaan teräkseen. *Kemia-Kemi* 22(3), 238-241.
- Damen J., Jeruzal M., Quack W. ja Schramm D. (2003). PE-RT, a new class of polyethylene for hot water pipes. *Polyolefins & Elastomers*, The Dow Chemical Company.
- Dansk Vand- og Spildevandsforening (2002). (DANVA): Water statistics 2002 on the Danish water sector. Internet (3.9.2006):  
<http://www.danva.dk/graphics/DANVA/forside/english/Grafik/DKWaterStatistics2002Summ.pdf>
- Dietrich A.M., Glindemann D., Pizarro F., Gidi V., Olivares M., Araya M., Camper A., Duncan S., Dwyer S., Whelton A.J., Younos T., Subramanian S., Burlingame G.A., Khiari D. ja Edwards M. (2004). Health and aesthetic impacts of copper corrosion on drinking water. *Water Science & Technology* 49(2), 55-62.
- Drinking Water Inspectorate (2006). List of approved products and processes, December 2006. Internet (25.1.2007): <http://www.dwi.gov.uk/cpp/pdf/sos2006.pdf>.
- Ductile Iron Society (2006). Engineering data: Physical properties. Internet (30.10.2006):  
<http://www.ductile.org/didata/Section3/3part2.htm>
- Eduskunta (1994). Terveystensuojelulaki. 1994/763. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö.
- Eduskunta (2001). Vesihuoltolaki. 2001/119. Maa- ja metsätalousministeriö.
- Eduskunta (2006). Elintarvikelaki 23/2006. Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- Euroopan unionin neuvosto (1998a) Euroopan unionin neuvoston direktiivi 98/83/EY, annettu 3.11.1998, ihmisten käyttöön tarkoitettun veden laadusta.



- Euroopan unionin neuvosto (1998b). Euroopan unionin neuvoston direktiivi 89/106/ETY, annettu 21.12.1998, rakennusalan tuotteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä.
- European Council of Vinyl Manufacturers (2006). (EVCVM). Internet (21.11.2006): [http://www.ecvm.org/code/page.cfm?id\\_page=98](http://www.ecvm.org/code/page.cfm?id_page=98)
- Gu J-D. (2003). Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances. *International Biodeterioration & Biodegradation* 52(2), 69-91.
- Hallam N.B., West J.R., Forster C.F. ja Simms J. (2001). The potential for biofilm growth in water distribution systems. *Water Research* 35(17), 4063-4071.
- Hanson Pipe & Precast (2006). Internet (7.11.2006): [http://www.hansonpipeandproducts.com/ghainc/technical/pipe\\_303.htm](http://www.hansonpipeandproducts.com/ghainc/technical/pipe_303.htm)
- Haudidier K., Paquin J.L., Francois T., Hartemann P., Grapin G., Colin F., Jourdain M.J., Block J.C., Cheron J., Pascal O., Levi Y., Miazga J. (1988). Biofilm growth in a drinking water network - a preliminary industrial pilot plant experiment. *Water Science & Technology* 20(11-12), 109-115.
- Herb S., Stair J.O., Ringelberg D.B., White D.C., Flemming H-C. (1995). Characterization of biofilms on corroded concrete surfaces in drinking water reservoirs. *Water Science & Technology* 32(8), 141-147.
- Holsen, T.M., Park, J.K., Bontoux, L., Jenkins, D. ja Selleck, R.E. (1991a). The effect of soils on the permeation of plastic pipes by organic chemicals. *Journal of the American Water Works Association* 83(11), 85-91.
- Holsen T.M., Park J.K., Jenkins D. ja Selleck R.E. (1991b). Contamination of potable water by permeation of plastic pipe. *Journal of the American Water Works Association* 83(8), 53-56.
- Janson L.-E. (1996). *Plastics pipes for water supply and sewage disposal*. Borealis, Tukholma. 290 s.
- Javanainen H. (1997). PVC-pohjaisen plastisol-pinnoitteen pehmittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Materiaaliopin laitos. 125 s.
- Javanainen H., Järvelä P. ja Pääkkönen E.J. (1997). *Muovien lisäaineet*. Raportti 13/97. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Materiaaliopin laitos. 48 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, Espoo. 148 s.
- Järvinen P. (2000). *Muovin suomalainen käsikirja*. Muovifakta Oy, Porvoo 2000. 173 s.
- Kapanen J. (1995). *Kiinteistön lämmitys- ja vesiputkistojen kunnossapito*. Kiinteistöalan kustannus Oy, Helsinki. 152 s.
- Karjalainen J. (1995). *Vesi- ja viemäriputkistojen kuntoarvio*. Kiinteistöalan kustannus Oy, Joutsa. 73 s.
- Karttunen E. (1999). *Vesihuoltotekniikan perusteet*. Opetushallitus, Helsinki. 207 s.
- Kaunisto T. (1991). *Rakennusten vesi- ja viemäriputkistojen vaurioiden selvitys*. VTT, Metallurgian laboratorio, Tiedotteita 1198. 36 s.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö (2000). *Arviointilaitoksia ja viranomaisia koskevat Euroopan unionin ilmoitusmenettelyt*. Kauppa- ja teollisuusministeriön monisteita 6/2000. 19 s.
- 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. ja Kaunisto T. (2007). *Talousveden laatu Suomessa vuosina 1984-2006*. Vesi-Instituutti/Prizztech Oy, Turku. 107 s.
- Kerr C.J., Osborn K.S., Robson G.D. ja Handley, P.S. (1999). The relationship between pipe material and biofilm formation in a laboratory model system. *Journal of Applied Microbiology* 85, 29S-38S.

- 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.
- van der Kooij D. (1992). Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth. *Journal American Water Works Association* 84(2), 57-65.
- van der Kooij D., van den Hoven Th J.J., Schulting F.L. ja van der Zwan J.T. (1988). Influences of materials on water quality degradation in distribution systems. *International Water Supply Congress and Exhibition, Rio de Janeiro. AIDE/IWSA, Special subject 21, 1-6.*
- Korshin G.V., Ferguson J.F. ja Lancaster A.N. (2000). Influence of natural organic matter on the corrosion of leaded brass in potable water. *Corrosion Science* 42(1), 53-66.
- Kulo E. (1982). Betoni- ja bitumipinnoitteinen vesijohtoputki. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- Kunnossapitoyhdistys (2006). Korroosiokäsikirja. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 12. Kolmas painos. Kunnossapitoyhdistys ry, Hamina. 930 s.
- Kusnetsov J., Iivanainen E., Elomaa N., Zacheus O. ja Martikainen P.J. (2001). Copper and silver ions more effective against Legionellae than against mycobacteria in a hospital warm water system. *Water Research* 35(17), 4217-4225.
- Kusnetsov J., Torvinen E., Perola O., Tapio N. ja Katila M-L. (2003). Colonization of hospital water systems by legionellae, mycobacteria and other heterotrophic bacteria potentially hazardous to risk group patients. *APMIS* 111(5), 546-556.
- Laakso P. (1980). Vesilaitosten korroosiokysymyksiä. Kirjassa: Vesi ja korrosio. INSKO 123-80. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus ry, Helsinki.
- Laine E. (1989). Erilaiset muovit vesijohtomateriaalina. Esitys. Kirjassa: Veden laatu ja korrosio vesijohdoissa, kaukolämpöjohdoissa ja kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistoissa. Julkaisu 564. Kaupunkiliiton 4.-5.12.1989. järjestämän kurssin esitelmät ja keskustelut. Suomen kaupunkiliitto, Helsinki. s. 137-144.
- Laine E. (1990). Muoviputket korkeissa ja matalissa lämpötiloissa. Esitys. Suomen kaupunkiliiton kurssi. Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistojen tarkastukset 15.2.-16.2.1990, Kaupunkiopisto, Espoo.
- Lapinlampi T. ja Raassina S. (2002). Vesihuoltolaitokset 1998-2000. Suomen ympäristö 541. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 480 s.
- LeChevallier M.W., Babcock T.M. ja Lee R.G. (1987). Examination and characterization of distribution-system biofilms. *Applied and Environmental Microbiology* 53(12), 2714-2724.
- LeChevallier M.W., Cawthon C.D. ja Lee R.G. (1988). Inactivation of biofilm bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 54(10), 2492-2499.
- 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., Juhna T., Miettinen I.T., Vartiainen T. ja Martikainen P.J. (2004a). Formation of biofilms in drinking water distribution networks, a case study in two cities in Finland and Latvia. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 31(11), 489-494.
- Lehtola M., Miettinen I., Hirvonen A., Vartiainen T. ja Martikainen P. (2005b). Putkimateriaalin vaikutukset veden laatuun. *Vesitalous* 3, 6-10.
- Lehtola M.J., Miettinen I.T., Keinänen M.M., Kekki T.K., Laine O., Hirvonen A., Vartiainen T. ja Martikainen P.J. (2004b). Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes. *Water Research* 38(17), 3769-3779.
- Lehtola M.J., Miettinen I.T., Lampola T., Hirvonen A., Vartiainen T. ja Martikainen P.J. (2005a). Pipeline materials modify the effectiveness of disinfectants in drinking water distribution systems. *Water Research* 39(10), 1962-1971.

- Lepänkoski P. ja Järvelä P. (1998). Suurihalkaisijaisen paksuseinämäisen PE-HD putken valmistaminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Materiaaliopin laitos. 45 s.
- Lindberg J.J., Törmälä P., Martinmaa J. ja Lehtinen A. (1985). Polymeeritiede ja muovitekniologia, Osa 1. 823B. Otakustantamo, Espoo. 369 s.
- Lindqvist B-G., Lilja O. ja Vastamäki J. (2000). Rakennusalan tyyppihyväksyntä. Ympäristöministeriö, Maankäyttö- ja rakennuslaki 2000 -sarja, no 69. 26 s.
- Lindroos V., Sulonen M. ja Veistinen M. (1986). Uudistettu Miekk-ojan metallioppi. Teknillisten tieteiden akatemia, Helsinki. 841 s.
- Lindström K. (1992). Vesi- ja viemäritekniikka. Opetushallitus, Helsinki. 141 s.
- Martiny A.C., Jørgensen T.M., Albrechtsen H-J., Arvin E. ja Molin S. (2003). Long-term succession of structure and diversity of a biofilm formed in a model drinking water distribution system. *Applied and Environmental Microbiology* 69(11), 6899-6907.
- 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.
- Metalliteollisuuden keskusliitto (2001). Kuparimetallit, Raaka-ainekäsikirja 3. Metalliteollisuuden keskusliitto, Tampere. 186 s.
- Miettinen I.T., Vartiainen T. ja Martikainen P.J. (1996a). Bacterial enzyme activities in ground water during bank filtration of lake water. *Water Research* 30(10), 2495-2501.
- Miettinen I. T., Vartiainen T. ja Martikainen P. J. (1996b). Contamination of drinking water. *Nature* 381, 654-655.
- Morton L.H.G. ja Surman S.B. (1994). Biofilms in biodeterioration - a review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 34(3-4), 203-221.
- 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.
- Muoviteollisuus (2003). Muoviputkijärjestelmät. Muoviteollisuus ry, Putkijaosto, Tampere. 110 s.
- Mäkiö E. (1990). Kerrostalot 1940-1960. Rakennustietosäätiö, Porvoo. 273 s.
- Mäkiö E. (1994). Kerrostalot 1960-1975. Rakennustietosäätiö, Tampere. 288 s.
- Määttä J. ja Kaunisto T. (1997). Pientalojen talousvesiverkoston vuotovahingot. VTT, Tiedotteita 1829. Espoo. 42 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.
- Olson A.J., Goodman D. ja Pfau J.P. (1987). Evaluation of permeation of organic solvents through PVC, asbestos/cement, and ductile iron pipes. *Journal of Vinyl and Additive Technology* 9(3), 114-118.
- Outokumpu Poricopper Oy (1996). Kupariputket, tuotekansio.
- Paraisten Kalkki Oy (1974). Himanit-paineputket. 114 s.
- Park J.K., Bontoux L., Holsen T.M., Jenkins D. ja Selleck R.E. (1991). Permeation of polybutylene pipe and gasket material by organic chemicals. *Journal of American Water Works Association* 83(10), 71-78.
- Pedersen K. (1990). Biofilm development on stainless-steel and PVC surfaces in drinking-water. *Water Research* 24(2), 239-243.
- Percival S.L. (1999). The effect of molybdenum on biofilm development. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 23(2), 112-117.
- 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.
- Piikkilä E. (2005). Pienten pohjavesilaitosten tekniikka, ylläpito ja valvonta. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. 82 s.
- Pisigan Jr R.A. ja Singly J.E. (1987). Influence of buffer capacity, chlorine residual, and flow rate on corrosion of mild steel and copper. *Journal American Water Works Association* 79(2), 62-70.
- Rigal S. (1992). The use of organoleptic investigations to evaluate the quality of materials in contact with drinking water. *Water Science and Technology* 25(2), 41-48.
- Rintala R. (1976). Valurautaputkien suojaus sisäpuolisella betonikerroksella. *Vesitalous* 5, 30-33.
- Rintala S. (2002). Muovisten vesijohtojen pitkäaikaiskestävyys. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Ympäristötekniikan osasto. 84 s.
- Rogers H.R., Norris M.W. ja James H.A. (2004). Effects of materials of construction on tastes and odours in drinking water. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 3(1), 23-32.
- Rogers J., Dowsett A.B., Dennis P.J., Lee J.V. ja Keevil C.W. (1994a). Influence of temperature and plumbing material selection on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in a model potable water system containing complex microbial flora. *Applied and Environmental Microbiology* 60(5), 1585-1592.
- Rogers J., Downsett A.B., Dennis P.J., Lee J.V. ja Keevil C.W. (1994b). Influence of plumbing materials on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in potable water systems. *Applied and Environmental Microbiology* 60(6), 1842-1851.
- Ruohomaa K. (1974). Teknillistaloudellinen tutkimus vesisäiliöistä. Vesihallitus, tiedotus 78.
- Salmelainen J. (1989). Vesijohtojen saostumat – mineralogia ja mikrobiologia. Esitys. Kirjassa: Veden laatu ja korrosio vesijohdoissa, kaukolämpöjohdoissa ja kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoissa. Kaupunkiliiton 4.-5.12.1989 järjestämän kurssin esitelmät ja keskustelut. Suomen kaupunkiliitto, Helsinki. s. 87-105.
- Sadiki A-I., Williams D.T., Carrier R. ja Thomas B. (1996). Pilot study on the contamination of drinking water by organotin compounds from PVC materials. *Chemosphere* 32(12), 2389-2398.
- Scandinavian Copper Development Association (2005). Kupariputkistot (CD). SCDA, Ruotsi 2005.
- Schoenen D. ja Schöler H. (1985). Drinking water materials: Field observations and methods of investigation. Ellis Horwood Limited, Chichester England. 195 s.
- Schwartz T., Hoffmann S., ja Obst U. (1998). Formation and bacterial composition of young, natural biofilms obtained from public bank-filtered drinking water systems. *Water Research* 32(9), 2787-2797.
- Schweitzer P.A. (2000). Mechanical and corrosion-resistant properties of plastics and elastomers. Marcel Decker Inc., New York. 482 s.
- SFS-EN 545:en (2003). Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water pipelines. Requirements and test methods. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 86 s.
- SFS 1452-2 (1999). Muoviputkijärjestelmät paineellisen veden johtamiseen. Pehmittämätön polyvinyylikloridi (PVC-U). Osa 2: Putket. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 59 s.
- SFS-EN ISO 1461 (1999). Teräs- ja valurautatuotteiden kuumasinkkipinnoitteet kappaletavaroille. Erittelyt ja koestusmenetelmät. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 28 s.
- SFS 2334 (1988). Muoviputket. PEL 32-paineputket. Mitat ja yleiset ominaisuudet. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 4 s. Käytöstä poistunut standardi.

- SFS 2336 (1988). Muoviputket. PEH 50-paineputket. Mitat ja yleiset ominaisuudet. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 7 s. Käytöstä poistunut standardi.
- SFS 2349 Asbestisementtiputket. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. Käytöstä poistunut standardi.
- SFS 3314 (1980). Teräsputket. Kuumasinkkipinnoitteet. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 4 s.
- SFS 3421 (1988). Muoviputket. PEM 50-paineputket. Mitat ja yleiset ominaisuudet. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 4 s. Käytöstä poistunut standardi.
- SFS 3425 (1982). Muoviputket. PP-paineputket. Laskentajännitys 5,0 N/mm<sup>2</sup>. Mitat ja yleiset ominaisuudet. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 8 s.
- SFS 4161 (1989). Hitsatut ruostumattomat teräsputket. Mitat, massat, painekertoimet ja tekniset toimitusehdot. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 6 s. Käytöstä poistunut standardi.
- SFS 4231 (1988). Muoviputket. PEH 63-paineputket. Mitat ja yleiset ominaisuudet. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 7 s. Käytöstä poistunut standardi.
- SFS-EN 1057 (2006). Kupari ja kupariseokset. Saumattomat pyöreät kupariputket LVI-käyttöön. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 63 s.
- SFS-EN 10088-1 (2005). Ruostumattomat teräkset. Osa 1: Ruostumattomien terästen luettelo. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 54 s.
- SFS-EN 10312:en (2003). Ruostumattomat teräsputket ja osat vesipitoisten nesteiden kuljetukseen, talousvesi mukaan luettuna. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 28 s.
- SFS-EN 12201-2 (2003). Muoviputkijärjestelmät talousveden johtamiseen. Polyeteeni (PE). Osa 2: Putket. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 27 s.
- SFS-EN 10240:en (1998). Teräsputkien ulkoinen ja/tai sisäinen suoja-pinnoite. Kuumasinkkipinnoitteen määrittäminen. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 20 s.
- SFS-EN ISO 15875-1 (2004). Muoviputkijärjestelmät kuuma- ja kylmävesiasennuksiin. Ristisilloitettu polyeteeni (PE-X). Osa 1: Yleistä. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 13 s.
- SFS-EN ISO 15875-2 (2004). Muoviputkijärjestelmät kuuma- ja kylmävesiasennuksiin. Ristisilloitettu polyeteeni (PE-X). Osa 2: Putket. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 28 s.
- SFS-ISO 1190-1 (1999). Kupari ja kupariseokset. Nimikejärjestelmät. Osa 1: Nimikkeet. Suomen Standardisoimisliitto ry, Helsinki. 6 s.
- SITRA (1980). Korroosio vesilaitoksilla, vesijohtoverkossa ja kiinteistöjen käyttövesilaitteistoissa. Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto, sarja B n:o 55. Helsinki. 118 s.
- Skjevrak I., Due A., Gjerstad K.O. ja Herikstad H. (2003). Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. *Water Research* 37(8), 1912-1920.
- Skjevrak I., Lund V., Ormerod K. ja Herikstad H. (2005). Volatile organic compounds in natural biofilm in polyethylene pipes supplied with lake water and treated water from the distribution network. *Water Research* 39(17), 4133-4141.
- 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). Asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. 461/2000.
- Ström K.-J. (1985). Muoviputkien käyttökohteet ja rajoitukset. *Vesitalous* 4, 19-22.
- Suomen kaupunkiliitto (1980). Vesijohtojen ja viemäreiden suunnittelu. Kaupunkiliiton julkaisu B63. Suomen kaupunkiliitto, Helsinki. 316 s.

- Suomen kaupunkiliitto (1982). Yleisten vesijohtojen ja viemäreiden aines- ja työselitys. 5. painos. Kaupunkiliiton julkaisu B 44. Suomen kaupunkiliitto, Helsinki.
- Suomen kaupunkiliitto (1987). Asbestikuidut vedessä. Kaupunkiliiton julkaisu n:o 127. Suomen kaupunkiliitto, Helsinki. 21 s.
- Suomen kunnallisteknillinen yhdistys (1965). Rakennusten vesijohdot ja viemärit. Suomen kunnallisteknillisen yhdistyksen julkaisuja, 2. painos. Helsinki. 355 s.
- Suomen kunnallisteknillinen yhdistys (1987). Rakennusten vesijohdot ja viemärit, RVV-käsikirja. Julkaisu no 7/1987. 7. painos. Helsinki. 481 s.
- Suomen kuntaliitto (1993). Vesijohtoveden laatu ja korrosio. Suomen kuntaliitto, VVY, Helsinki. 33 s.
- Suomen Rakennusinsinöörien liitto (1986). Muovit rakentamisessa. RIL 127. Helsinki. 305 s.
- Suomen Rakennusinsinöörien liitto (2003). Vesihuolto I. RIL 124-1-2003. Vammala. 314 s.
- Suomen Rakennusinsinöörien liitto (2004). Vesihuolto II. RIL 124-2-2004. Vammala. 684 s.
- Suomen Rakennusinsinöörien liitto (2005). Maahan ja veteen asennettavat kestopuoviputket, asennusohjeet. RIL 77-2005. 71 s.
- Suomen ympäristökeskus (2006). Vesihuoltolaitostilastot. Internet (13.11.2006): <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=567&lan=fi>
- Szewzyk U., Szewzyk R., Manz W. ja Schleifer K-H. (2000). Microbiological safety of drinking water. Annual Review of Microbiology 54(1), 81-127.
- Tammela V. (1990). Polymeeritiede ja muovitekniologia. Osa III. Otatiето 519. Otakustantamo, Helsinki. 431 s.
- Tanhuala T. (1995). Materiaalien ja pinnoitteiden vaikutus vesijohtoveden laatuun. Vesi- ja viemäri- ja vesihuolto-yhdistyksen jäsenkirje 8/95 26.9.1995.
- Tampereen Vesi (2005). Vuosikertomus.
- The European Plastic Pipes and Fittings Association (2006). TEPPFA, Internet (18.11.2006): <http://www.teppfa.com/>
- Torvinen E., Suomalainen S., Lehtola M.J., Miettinen I.T., Zacheus O., Paulin L., Katila M-L. ja Martikainen P.J. (2004). Mycobacteria in water and loose deposits of drinking water distribution systems in Finland. Applied and Environmental Microbiology 70(4), 1973-1981.
- Twort A.C., Ratnayaka D.D. ja Brandt M.J. (2000). Water Supply. 5<sup>th</sup> Edition. Arnold & IWA Publishing. 676 s.
- Työsuojelupiirit (2006). Asbesti. Internet (2.10.2006): <http://www.tyosuojelu.fi/fi/asbesti>
- Törmälä P., Järvelä P. ja Lindberg J.J. (1983). Polymeeritiede ja muovitekniologia. Osa II. Otatiето 823. Otatiето, Helsinki. 326 s.
- Uponor (2000). Kunnallistekniset putkistot, suunnittelijan käsikirja.
- Uponor (2004). Uponor Wirsbo-käyttövesijärjestelmä, käsikirja.
- Wagner E.F. (1974). Autogenous healing of cracks in cement-mortar linings for grey and ductile iron. Journal American Water Works Association 66.
- Wagner I. (1994). International Report: Internal corrosion of pipes in public water distribution networks. Water Supply 12(1-2), IR7-1-IR7-42.
- Valcarce M.B., de Sanchez S.R., Vazquez M. (2005) Localized attack of copper and brass in tap water: the effect of Pseudomonas. Corrosion Science 47(3), 795-803.
- Valtioneuvosto (2004). Valtioneuvoston asetus asbestia koskevista rajoituksista. 18.11.2004/975.
- Watnick P. ja Kolter R. (2000). Biofilm, city of microbes. Journal of Bacteriology 182(10), 2675-2679.
- Vesi-Instituutti (2006). EAS-asiantuntijaseminaari Raumalla 28.9.2005. 65 s. Internet (2.12.2006): [www.vesi-instituutti.fi](http://www.vesi-instituutti.fi)
- Wiesenthal K.E., Amah G., Lam T. ja Suffet I.H. (2004). The effect of applying a pipe-joint lubricant to connect ductile iron pipe on off-flavors in drinking water distribution systems. Water Science & Technology 49(9), 233-240.

- Villberg K. ja Veijanen A. (1998). Identification of off-flavor compounds in high-density polyethylene (HDPE) with different amounts of absents. *Polymer engineering and science* 38(6), 922-925.
- Villberg K., Veijanen A., Gustafsson I. ja Wickström K. (1997). Analysis of odour and taste problems in high-density polyethene. *Journal of Chromatography A* 791(1-2), 213-219.
- Wong M.K., Gan L.M., Koh L.L. ja Lum O.L. (1990). Some further studies on factors affecting the leaching of lead from unplasticized poly (vinyl chloride) pipes. *Water Research* 24(4), 415-455.
- World Health Organization (2000). WHO Seminar pack for drinking water quality, Water treatment chemicals and construction materials.
- World Health Organization (2002). Asbestos in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Internet (15.9.2006): [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/asbestos.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/asbestos.pdf)
- World Health Organization (2006). Health aspects of plumbing. WHO, Geneve. 129 s.
- Ympäristöministeriö (1976). Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa D1: Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot , määräykset ja ohjeet.
- Ympäristöministeriö (1987). Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa D1: Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot , määräykset ja ohjeet.
- Ympäristöministeriö (2004). Tyyppihyväksyntä vs. CE-merkintä. Ympäristöministeriön moniste 133. 62 s.
- Ympäristöministeriö (2006a). Tiedotteita, 23.8.2006.
- Ympäristöministeriö (2006b). Ympäristöministeriön internet-sivut (28.8.2006): [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)
- Ympäristöministeriö (2006c). Ympäristöministeriön asetus vesikalusteiden tyyppihyväksynnästä 1.9.2006.
- Ympäristöministeriö (2006d). Ympäristöministeriön asetus kupariputkien tyyppihyväksynnästä 1.9.2006.
- Ympäristöministeriö (2006e). Ympäristöministeriön asetus sulkuventtiilien tyyppihyväksynnästä 1.9.2006.







# PRIZZTECH

