



# Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa

Asko Talja, Jouko Törnqvist, Harri Kivikoski,  
Leena Carpén & Eero Nippala

ISBN 951-38-6616-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2006

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Kemistintie 3, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7007

VTT, Kemistvägen 3, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7007

VTT Technical Research Centre of Finland, Kemistintie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7007

|  |   |                               |
|--|---|-------------------------------|
| Tekijä(t)<br>Talja, Asko, Törnqvist, Jouko, Kivikoski, Harri, Carpén, Leena & Nippala, Eero  |   |                               |
| Nimeke<br><b>Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa</b>  |   |                               |
| Tiivistelmä<br>Julkaisu on esiselvitys ruostumattoman teräksen käytön mahdollisuuksista infrarakentamisen tuotteissa. Julkaisussa esitetään tuotekehityksessä tarvittavaa tietoa. Tuotekehityksessä on tunnettava soveltuvat materiaalilajit, tiedettävä materiaalin hinta ja osattava arvioida ruostumattoman teräksen käytöllä saavutettavat edut. Lisäksi on tunnettava eri korroosiomuodot ja niiden vaikutus rakenteelliseen suunnitteluun sekä hallittava materiaali- valinta erilaisiin olosuhteisiin, jotka voivat vaihdella maa- ja vesiupotuksesta ilmastolliseen rasiutukseen. Teiden läheisyydessä materiaalit ovat alttiita myös maantiesuolalle.<br><br>Ruostumattoman teräksen käyttöä tukevat ne käyttöominaisuudet, jotka ovat teräksellä parempia kuin perinteisesti käytetyillä materiaaleilla. Näitä voivat olla korroosionkestävyys, ulkonäkö, hygieenisuus, puhdistettavuus, kulutuksenkestävyys, iskunkestävyys ja ympäristöystävällisyys. Suurimpana haittana pidetään suhteellisen korkeaa raaka-aineen hintaa. Hyvien käyttöominaisuuksien lisäksi ruostumattoman teräksen valintaa investoinnissa voidaan usein perustella myös elinkaarikustannuksilla, joihin raaka-aineen hinnan lisäksi vaikuttavat voimakkaasti kunnossapidosta aiheutuvat välittömät ja välilliset kustannukset.<br><br>Ruostumattomalla teräksellä on hyvät käyttömahdollisuudet erityisesti sellaisissa infrarakentamisen pitkän käyttöiän kohteissa, joissa suhteellisen ohuilla ainepaksuuksilla saavutetaan merkittävä parannus rakenteen ominaisuuksiin ja joissa elinkaarikustannukset ovat korkeat tai kunnossapidon muut haitat ovat suuret. |   |                               |
| Avainsanat<br>stainless steel, construction materials, steel grades, material costs, prices, corrosion, soil, water, life cycle costs, applications, product development   |   |                               |
| ISBN<br>951-38-6616-5 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )  |   |                               |
| Avainnimeke ja ISSN<br>VTT Working Papers<br>1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )   |   | Projektinnumero<br>1075       |
| Julkaisu-aika<br>Joulukuu 2006   | Kieli<br>Suomi, eng. abstr.   | Sivuja<br>31 s. + liitt. 5 s. |
| Projektin nimi<br>Ruostumattoman teräksen käyttö maa- ja vesirakentamisessa  | Toimeksiantaja(t)<br>Outokumpu Stainless Oy, Tekes, Stalutube Oy, Tiehallinto, Ratahallintokeskus, Ortkivi Oy, Emeca Oy, Rumtec Oy, Kenno Tech Oy |                               |
| Yhteystiedot<br>VTT<br>PL 1000, 02044 VTT<br>Puh. 020 722 111<br>Faksi 020 722 7007  | Julkaisija<br>VTT<br>PL 1000, 02044 VTT<br>Puh. 020 722 4404<br>Faksi 020 722 4374  |                               |

Published by



Series title, number and  
report code of publication

VTT Working Papers 65  
VTT-WORK-65

|  |   |                                   |
|--|---|-----------------------------------|
| <b>Author(s)</b><br>Talja, Asko, Törnqvist, Jouko, Kivikoski, Harri, Carpén, Leena & Nippala, Eero   |   |                                   |
| <b>Title</b><br><b>Stainless steel in soil and water applications</b>  |   |                                   |
| <b>Abstract</b><br><p>The publication is a preliminary study of the possibilities of stainless steel in soil and water applications. The study gives information for product development. Material grades, material costs and benefits achieved by the use of stainless steel are presented. Also the types of corrosion and their effects on the structural design are presented. Guidance for selection of appropriate grade of steel for different environments varying from soils to sea and river waters is given. Also the structures by roads prone to salt mist are considered.</p> <p>The use of stainless steel is supported by the properties which are better than in the case of traditional materials. Such may be corrosion resistance, appearance, hygiene, cleaning, wear resistance, impact resistance and friendliness to the environment. The relative high price of the material is the major disbenefit. In addition of good usability properties the selection of stainless steel may often be argued by life cycle costs, especially when instead of initial material costs the direct and indirect costs due to the maintenance are governing in the life cycle costs.</p> <p>Stainless steel has good potential particularly in such long-life applications, where significant improvement in the product properties may be achieved by relative small material thickness, or where the life cycle costs or other disadvantages due to maintenance are high.</p> |   |                                   |
| <b>Keywords</b><br>stainless steel, construction materials, steel grades, material costs, prices, corrosion, soil, water, life cycle costs, applications, product development  |   |                                   |
| <b>ISBN</b><br>951-38-6616-5 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )   |   |                                   |
| <b>Series title and ISSN</b><br>VTT Working Papers<br>1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )  |   | <b>Project number</b><br>1075     |
| <b>Date</b><br>December 2006   | <b>Language</b><br>Finnish, English abstr.  | <b>Pages</b><br>31 p. + app. 5 p. |
| <b>Name of project</b><br>Ruostumattoman teräksen käyttö maa- ja vesirakentamisessa  | <b>Commissioned by</b><br>Outokumpu Stainless Oy, Tekes, Stalatube Oy, Finnish Road Administration, Finnish Rail Administration, Ortkivi Oy, Emeca Oy, Rumtec Oy, Kenno Tech Oy |                                   |
| <b>Contact</b><br>VTT Technical Research Centre of Finland<br>P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland<br>Phone internat. +358 20 722 111<br>Fax +358 20 722 7007  | <b>Publisher</b><br>VTT Technical Research Centre of Finland<br>P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland<br>Phone internat. +358 20 722 4404<br>Fax +358 20 722 4374                |                                   |

# Alkusanat

Ruostumattoman terästen teräksen käyttö on yleistynyt voimakkaasti rakentamisessa, mutta ruostumatonta terästä on toistaiseksi käytetty vain vähän infrarakentamisessa. Alalla on nähtävissä monia sovelluskohteita, joissa voidaan hyödyntää ruostumattoman teräksen hyvä korroosionkestävyys ja hyvät mekaaniset ominaisuudet. Lisäksi ruostumattoman teräksen käytön etuja ovat huoltovapaus, pitkä käyttöikä ja edulliset elinkaarikustannukset. Ruostumattomien terästen käytön mahdollisuudet ovat erityisen hyvät pitkän käyttöiän kohteissa tai myös kohteissa, joissa kunnossapidon suorat tai välilliset kustannukset ovat korkeat tai kunnossapidon haitat ovat muuten suuret.

Raportti liittyy Outokumpu Stainless Oy:n kehityshankkeeseen, jonka päätavoitteena on lisätä ruostumattoman teräksen käyttöä maa- ja vesirakentamisessa. Tutkimuksessa on koottu tarvittavaa taustatietoa ja etsitty toteuttamiskelpoisia tuoteideoita. Niiden tarkoituksena on poistaa ruostumattoman teräksen käytön esteitä ja aktivoida pk-yrityksiä tuotekehitykseen ja uusien liiketoimintoihin tähtäävien tuotekehityshankkeiden käynnistämiseen. Tutkimus käsitti kolme osuutta liittyen maa- ja vesirakenteiden korroosioon, tuotesovellusten kartoitukseen ja kansainvälisten markkinoiden hahmottamiseen. Tässä julkaisussa kuvataan yhteenveto tutkimustuloksista.

Tutkimus liittyy Tekesin teknologiaohjelmaan ”Uusiutuva metalliteknologia – uudet tuotteet” (NewPro, 2004–2009). Tutkimus alkoi lokakuussa 2005 ja päättyi elokuussa 2006. Sillä oli johtoryhmä, jonka työskentelyyn osallistuneet yritykset osallistuivat myös projektin rahoitukseen.

Johtoryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

|                     |  |
|---------------------|--|
| Raimo Viherma       | Outokumpu Stainless Oy                     |
| Jukka Säynäjäkangas | Outokumpu Stainless Oy                     |
| Jussi Yli-Niemi     | Outokumpu Stainless Oy (31.12.2005 asti)   |
| Eero Rättyä         | Outokumpu Stainless Oy (1.1.2006 alkaen)   |
| Marko Kivimäki      | Pohjois-Pohjanmaan TE-keskus               |
| Pekka Yrjölä        | Stalatube Oy (31.12.2005 asti)             |
| Sami Tähtinen       | Stalatube Oy (1.1.2006 alkaen)             |
| Terho Torvinen      | Outokumpu Stainless Tubular Products Oy Ab |
| Timo Tirkkonen      | Tiehallinto                                |
| Tuomo Viitala       | Ratahallintokeskus                         |
| Matti Tiikkainen    | Ortkivi Oy                                 |
| Kari Koivunen       | Emeca Oy                                   |
| Jouko Selkämaa      | Rumtec Oy                                  |
| Antti Vimpari       | Kenno Tech Oy                              |
| Jouko Lassila       | NewPro-teknologiaohjelma                   |

Tutkimuksen vastuullisena johtajana ovat toimineet Jussi Yli-Niemi ja Eero Rättyä (1.1.2006 alkaen) Outokumpu Stainless Oy:stä. Projektipäällikköinä ja johtoryhmän puheenjohtajina ovat toimineet Raimo Viherma ja Jukka Säynäjäkangas (30.3.2006 alkaen) Outokumpu Stainless Oy:stä. VTT:llä tutkimuksen vastuuhenkilönä on toiminut Asko Talja.

Raportin tuoteideoiden korroosiota koskeva osuus perustuu Harri Kivikosken, Jouko Törnqvistin ja Leena Carpénin tekemään selvitykseen. Tuotesovelluksia koskeva osuus perustuu Asko Taljan tekemään selvitykseen ja markkinoita koskeva tieto perustuu Eero Nippalan (TAMK) tekemään selvitykseen.

Kiitämme tutkimuksen johtoryhmän jäseniä, rahoittajia ja kaikkia työn suorittamiseen osallistuneita aktiivisesta ja onnistuneesta yhteistyöstä.

Espoo 20.12.2006

Tekijät

# Sisällysluettelo

|  |    |
|--|----|
| Alkusanat.....   | 5  |
| 1. Johdanto .....  | 8  |
| 2. Ruostumaton teräs materiaalina.....                       | 9  |
| 2.1 Teräslajit.....  | 9  |
| 2.2 Hintakehitys.....  | 11 |
| 2.3 Elinkaarikustannukset.....                               | 14 |
| 2.4 Markkinat .....  | 15 |
| 3. Materiaalinvalinta korroosionkestävyyden perusteella..... | 18 |
| 3.1 Metallien korroosiotyypit .....                          | 18 |
| 3.2 Maa-asennus .....  | 22 |
| 3.3 Vesiolosuhteet .....                                     | 25 |
| 3.4 Maantiesuola .....                                       | 28 |
| 4. Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet .....                  | 30 |
| 4.1 Yhteenveto.....  | 30 |
| 4.2 Jatkotutkimustarpeet.....                                | 31 |

## Liitteet

Liite A: Esimerkki elinkaarikustannusten käytöstä investoinnin kannattavuuden arvioinnissa

Liite B: Kirjallisuusluettelo

# 1. Johdanto

Tutkimus liittyy Outokumpu Stainless Oy:n kehityshankkeeseen, jonka päätavoitteena on lisätä ruostumattoman teräksen käyttöä maa- ja vesirakentamisessa. Tutkimuksella pyritään poistamaan ruostumattoman teräksen käytön esteitä ja aktivoimaan pk-yrityksiä tuotekehitykseen ja uusien liiketoimintojen käynnistämiseen. Tutkimus on suunniteltu toteutettavaksi useammassa vaiheessa. Päättyneessä ensimmäisessä esiselvitysvaiheessa on hankittu tuotekehityksessä tarvittavaa taustatietoa liittyen korroosioon, arvioitu mahdollisia ruostumattoman teräksen käyttökohteita ja joidenkin tuotteiden osalta hahmotettu kansainvälisiä markkinoita. Jatkohankkeissa on tarkoitus keskittyä tarkemmin tuotekehitykseen ja mahdolliseen liiketoiminnan käynnistämiseen.

Ruostumattomalla teräksellä on paljon hyviä ominaisuuksia, kuten korroosionkestävyys, ulkonäkö, hygieenisuus, puhdistettavuus, kulutuksenkestävyys, iskunkestävyys ja ympäristöystävällisyys. Haittana on pidetty suhteellisen korkeaa raaka-aineen hintaa.

Hyvien käyttöominaisuuksien lisäksi ruostumattoman teräksen valintaa investoinnissa voidaan perustella elinkaarikustannuksilla, joihin raaka-aineen hinnan lisäksi vaikuttavat voimakkaasti kunnossapidosta aiheutuvat välittömät ja välilliset kustannukset. Investointien apuna käytetty elinkaarisuunnittelu on voimakkaasti yleistymässä myös rakentamisessa. Lisäksi käytetty ruostumaton teräs palaa lähes täysin kierrätykseen, mikä tukee materiaalin ympäristöystävällisyyttä.

Maa- ja vesirakentamisessa ruostumattomat teräkset joutuvat kosketuksiin erilaisten olosuhteiden kanssa. Ruostumattomien terästen korroosionkestävyyteen erilaisissa olosuhteissa vaikuttavat useat eri tekijät, kuten materiaalinvalinta, käyttöympäristö ja käyttöolosuhteet. Maa- ja vesirakentamisessa olosuhteet vaihtelevat maaperä- ja vesiupotuksesta ilmastolliseen rasitukseen. Maa- ja vesirakentamisessa materiaalit ovat teiden läheisyydessä alttiina myös maantiesuolalle.

Tämän esiselvityksen tavoitteena on antaa käsitys ruostumattoman teräksen mahdollisuuksista infrarakentamisen tuotteissa. Tuotekehityksessä on tiedettävä mahdolliset teräslajit, oltava käsitys materiaalin hinnasta ja tunnettava ruostumattoman teräksen käytöllä saavutettavat edut. Lisäksi on tunnettava eri korroosionmuodot ja niiden vaikutus rakenteelliseen suunnitteluun sekä hallittava materiaalinvalinta erilaisiin sovelluksiin maassa, merivedessä ja makeassa vedessä.



## 2. Ruostumaton teräs materiaalina

### 2.1 Teräslajit

Ruostumaton teräs on määritelmän mukaan yli 10,5 % kromia sisältävä rautaseos. Ruostumattomat teräkset voidaan jakaa teräksen kiderakenteen perusteella viiteen ryhmään:

- austeniittiset ruostumattomat teräkset
- ferriittiset ruostumattomat teräkset
- austeniittis-ferriittiset (duplex-teräkset) ruostumattomat teräkset
- martensiittiset ruostumattomat teräkset
- erkautuskarkenevat ruostumattomat teräkset.

Ruostumattoman teräksen hyvä korroosionkestävyys perustuu sen sisältämään kromiin. Kromi reagoi hapen kanssa ja muodostaa teräksen pinnalle suojaavan oksidikalvon. Tämä ns. passiivikalvo on hyvin ohut ja valoa läpäisevä. Teräksen käytössä syntyvät naarmut ja rikkoutumat korjautuvat itsestään hapettavassa ympäristössä. Passiivikalvo on erittäin vastustuskykyinen myös kemiallisille rasituksille. Sen toiminta riippuu teräksen koostumuksesta, sen pinnan käsittelystä ja ympäristön aggressiivisuudesta. Passiivikalvon stabiilius kasvaa teräksen kromipitoisuuden kasvaessa. Kromin lisäksi ruostumattomien terästen tyypillisiä seosaineita ovat nikkeli, molybdeeni ja typpi, jotka parantavat edelleen teräksen korroosionkestävyyttä.

Eniten käytettyjä ruostumattomia teräksiä ovat austeniittiset teräkset. Niiden kromipitoisuus vaihtelee välillä 16–26 % ja nikkelpitoisuus välillä 7–26 %. Hiilipitoisuus on enintään 0,15 %, ja muina seosaineina voi olla molybdeeniä sekä pieniä määriä kuparia, titaania ja niobia. Austeniittisten terästen ominaisuuksiin kuuluu hyvä korroosionkestävyys, hyvä muovattavuus, hyvä hitsattavuus, hyvä sitkeys matalissa lämpötiloissa ja hyvä kuumankestävyys.

Tyypillinen ferriittinen teräs sisältää hiiltä enintään 0,12 % ja kromia yli 12 %. Ferriittiset teräkset ovat austeniittisiä teräksiä halvempia, koska niihin ei ole seostettu nikkeliä. Niillä on suhteellisen hyvä korroosionkestävyys hapettavissa olosuhteissa ja vähäinen taipumus jännityskorroosioon. Niiden kylmäsitkeys ei ole niin hyvä kuin austeniittisten terästen.

Austeniittis-ferriittisten terästen (duplex-terästen) kromipitoisuus vaihtelee yleensä välillä 21–28 %, nikkelpitoisuus välillä 3–9 % ja molybdeenipitoisuus välillä 1,5–3,5 %. Hiilipitoisuus on alle 0,10 %. Duplex-teräksellä on paremmat lujuusominaisuudet ja jännityskorroosiokestävyys kuin puhtaasti austeniittisillä teräksillä.

Tyypillinen martensiittinen teräs sisältää kromia 13–18 %, nikkeliä alle 2 % ja hiiltä 0,12–1,2 %. Martensiittiset teräkset ovat erittäin lujia, mutta usein myös kylmäauraita ja huonosti muovattavia. Korroosionkestävyys on keskinkertainen.

Ruostumattomia teräksiä merkitään monin tavoin. Eurooppalaisessa EN-standardien mukaisessa järjestelmässä jokainen tunnus koostuu viidestä numerosta. Ensimmäinen numero 1 ilmaisee, että kyseessä on teräs. Kaksi seuraavaa numeroa ilmaisee teräslajia seuraavasti:

- 40: nikkeliä alle 2,5 %, mutta ei molybdeeniä, niobia eikä titaania
- 41: nikkeliä alle 2,5 % ja molybdeeniä, mutta ei niobia eikä titaania
- 43: nikkeliä vähintään 2,5 %, mutta ei molybdeeniä, niobia eikä titaania
- 44: nikkeliä yli 2,5 % ja molybdeeniä, mutta ei niobia eikä titaania
- 45: merkitsee erikoisoseosaineita.

Kaksi viimeistä numeroa määrittelee tarkan seoksen, esim. 1.4307. Molybdeeniä sisältävää ruostumatonta terästä kutsutaan usein haponkestäväksi teräkseksi.

Eurooppalaisessa lyhennystunnusjärjestelmässä tunnus koostuu sarjasta kirjaimia ja numeroita seuraavan esimerkin tapaan:

X 2 Cr Ni 18 11

X merkitsee, että kyseessä on runsasseosteinen teräs  
2 ilmaisee hiilipitoisuuden prosentin sadasosina (C-pitoisuus 0,02 %)  
Cr merkitsee kromia, ja 18 on pitoisuus prosentteina  
Ni merkitsee nikkeliä, ja 11 ilmaisee pitoisuuden prosentteina.

Amerikkalaisessa ASTM:n mukaisessa järjestelmässä määritellään jokainen teräslaji numerolla ja tarvittaessa lisäkirjaimella. Sarjat 200 ja 300 on varattu austeniittisille teräksille, sarja 400 martensiittisille teräksille ja sarja 600 erkautuskarkaistuille teräksille. Lisäkirjaimia ovat mm:

- L, niukkahiilinen
- N, typpi
- Se, seleeni
- Ti, titaani
- C, runsashiilinen
- B, niukempihiilinen kuin C
- A, niukempihiilinen kuin B
- F, helposti työstettävä, jossa riittävä rikki-pitoisuus
- Cb, kolumbium (niobi).

Taulukossa 1 on esitetty tyypillisiä ruostumattomia teräksiä. Yleisimmin rakentamisessa käytettyjä ovat peruslaji 1.4301 ja ns. haponkestävä 1.4404. Nämä ovat austeniittisiä teräksiä, joiden myötölujuutta vastaava 0,2-raja on 230–240 N/mm<sup>2</sup>. Näiden lisäksi rakentamisessa on käytetty teräslajia 1.4318, joka vastaa korroosio-ominaisuuksiltaan peruslajia 1.4301, mutta jonka myötölujuus on korkeampi 350 N/mm<sup>2</sup>.

Peruslajin ja haponkestävän lajin hintaan vaikuttaa voimakkaasti nikkelin ja molybdeenin hinta. Viime aikoina, kun lisäainehinnat ovat olleet keskimääräistä korkeammalla, on käytetty jonkin verran myös austeniittis-ferriittistä, ns. lean duplex -terästä 1.4162. Sen yleiset korroosio-ominaisuudet ovat normaalin ja haponkestävän väliltä, mutta lujuus 450 N/mm<sup>2</sup> on huomattavasti perusteräksiä korkeampi.

Austeniittisiä teräslajeja on saatavana myös kylmämuokkaamalla lujitetussa tilassa. Rakentamisessa käytettävä materiaali tilataan tällöin yleensä muokkaustilassa CP, jolloin materiaalin toimittaja takaa myötölujuuden arvon. Yleisimmin käytössä ovat luokat CP350 ja CP500. Nimessä käytetyt numerot ilmaisevat materiaalin myötölujuuden.

## 2.2 Hintakehitys

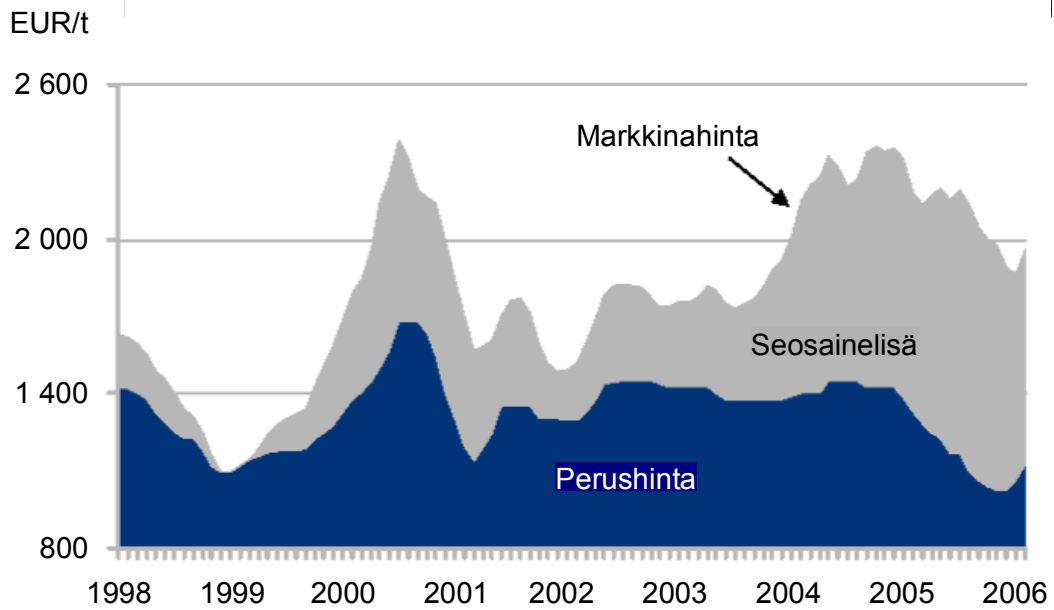
Ruostumattoman teräksen hintaan vaikuttaa voimakkaasti käytettyjen seosaineiden, erityisesti nikkelin ja molybdeenin hinta. Markkinahinta muodostuu perushinnasta ja seosainelisästä (kuvat 1 ja 2). Kymmenen viime vuoden aikana markkinahinta on vaihdellut voimakkaasti. Peruslajin 1.4301 (ASTM 304) hinta on kuuden viime vuoden aikana ollut 1,10–2,30 €/kg ja haponkestävän lajin 1.4404 (316L) hinta 1,60–4,30 €/kg. Vuosien 2004–2005 aikana oli erityisesti molybdeenin hinta korkealla, joten 1.4404:n hinta nousi kaksinkertaiseksi 1.4301:n hintaan nähden, vaikka sitä ennen 1.4404:n hintaero oli vain 30–40 %.

Teräslajin 1.4318 (301LN) hinta on noin 10–30 % korkeampi kuin lajin 1.4301. Teräslajin 1.4162 (LDX 2101) hinta on lajien 1.4301:n ja 1.4401:n hintojen välissä.

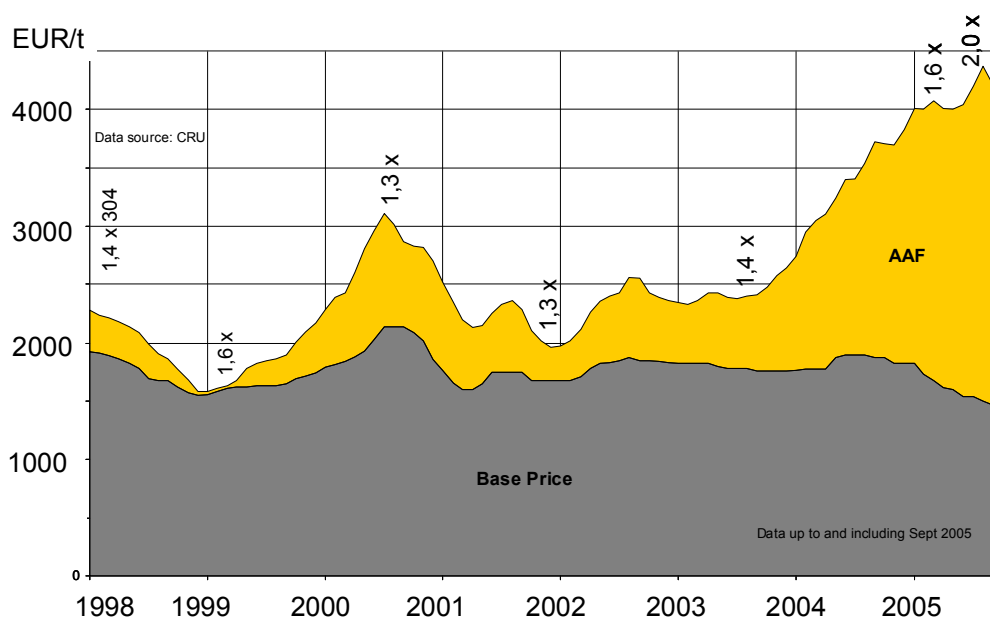
Kun verrataan ruostumattoman teräslajin 1.4301 hintaa hiiliteräksen hintaan, joka on kuuden viime vuoden aikana ollut 0,20–0,65 €/kg, ruostumattoman teräksen hinta on ollut 3,3–5,2 -kertainen hiiliteräksen hintaan nähden. Kuumasinkityksen arvonlisäveroton hinta on tyypillisesti noin 0,50–1,00 euroa/teräskilo, josta sinkin raaka-ainehinnan osuus on noin 10 % (materiaalin paksuus on 3 mm ja sinkkikerroksen paksuus levyn molemmilla puolilla on 85 µm). Sinkityn teräksen hintaan vaikuttaa merkittävästi sinkittävän erän suuruus ja käytetyn materiaalin ainevahvuus ja muoto.

Taulukko 1. Tyypillisiä ruostumattomia teräslajeja ([www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com)).

| Teräslaji                          | Luokittelu                    |        |           | Tyypillinen kemiallinen koostumus, % |      |      |      |      |       |
|------------------------------------|-------------------------------|--------|-----------|--------------------------------------|------|------|------|------|-------|
|                                    | EN                            | ASTM   | Outokumpu | C                                    | N    | Cr   | Ni   | Mo   | Muut  |
| Ferriittinen                       | 1.4003                        | S41050 | 4003      | 0,02                                 |      | 11,5 | 0,4  |      |       |
|                                    | 1.4016                        | 430    | 4016      | 0,04                                 |      | 16,5 |      |      |       |
| Martensiittiset                    | 1.4006                        | 410    | 4006      | 0,15                                 | 0,04 | 12   |      |      |       |
|                                    | 1.4005                        | 416    | 4005      | 0,10                                 | 0,04 | 13   |      |      | S     |
|                                    | 1.4021                        | 420    | 4021      | 0,20                                 |      | 13   |      |      |       |
|                                    | 1.4028                        | 420    | 4028      | 0,30                                 |      | 12,5 |      |      |       |
|                                    | 1.4418                        |        | 248 SV    | 0,03                                 |      | 16   |      |      |       |
| Austeniittis-ferriittiset (duplex) | 1.4162                        | S32101 | LDX 2101  | 0,03                                 | 0,22 | 21,5 | 1,5  | 0,3  | 5Mn   |
|                                    | 1.4362                        | S32304 | SAF 2304  | 0,02                                 | 0,10 | 23   | 4,8  | 0,3  |       |
|                                    | 1.4462                        | S32205 | 2205      | 0,02                                 | 0,17 | 22   | 5,7  | 3,1  |       |
|                                    | 1.4410                        | S32750 | SAF 2507  | 0,02                                 | 0,27 | 25   | 7    | 4    |       |
| Austeniittiset                     | 1.4310                        | 301    | 4310      | 0,10                                 |      | 17   | 7    |      |       |
|                                    | 1.4318                        | 301LN  | 4318      | 0,02                                 | 0,14 | 17,7 | 6,5  |      |       |
|                                    | 1.4372                        | 201    | 4372      | 0,05                                 | 0,15 | 17   | 5    |      | 6,5Mn |
|                                    | 1.4301                        | 304    | 4301      | 0,04                                 |      | 18,1 | 8,3  |      |       |
|                                    | 1.4307                        | 304L   | 4307      | 0,02                                 |      | 18,1 | 8,3  |      |       |
|                                    | 1.4311                        | 304LN  | 4311      | 0,02                                 | 0,14 | 18,5 | 10,5 |      |       |
|                                    | 1.4541                        | 321    | 4541      | 0,04                                 |      | 17,3 | 9,1  |      | Ti    |
|                                    | 1.4550                        | 347    | 4550      | 0,05                                 | 0,04 | 17,5 | 9,5  |      | Nb    |
|                                    | 1.4305                        | 303    | 4305      | 0,05                                 |      | 17,3 | 8,2  |      | S     |
|                                    | 1.4303                        | 305    | 4303      | 0,04                                 |      | 17,7 | 12,5 |      |       |
|                                    | 1.4306                        | 304L   | 4306      | 0,02                                 |      | 18,2 | 10,1 |      |       |
|                                    | 1.4567                        | S30430 | 4567      | 0,01                                 |      | 17,7 | 9,7  |      | 3Cu   |
|                                    | Austeniittiset, haponkestävät | 1.4401 | 316       | 4401                                 | 0,04 |      | 17,2 | 10,2 | 2,1   |
| 1.4404                             |                               | 316L   | 4404      | 0,02                                 |      | 17,2 | 10,1 | 2,1  |       |
| 1.4436                             |                               | 316    | 4436      | 0,04                                 |      | 16,9 | 10,7 | 2,6  |       |
| 1.4432                             |                               | 316L   | 4432      | 0,02                                 |      | 16,9 | 10,7 | 2,6  |       |
| 1.4406                             |                               | 316LN  | 4406      | 0,02                                 | 0,14 | 17,2 | 10,3 | 2,1  |       |
| 1.4429                             |                               | S31653 | 4429      | 0,02                                 | 0,14 | 17,3 | 12,5 | 2,6  |       |
| 1.4571                             |                               | 316Ti  | 4571      | 0,04                                 |      | 16,8 | 10,9 | 2,1  | Ti    |
| 1.4435                             |                               | 316L   | 4435      | 0,02                                 |      | 17,3 | 12,6 | 2,6  |       |
| Austeniittiset, runsasseosteiset   | 1.4438                        | 317L   | 4438      | 0,02                                 |      | 18,2 | 13,7 | 3,1  |       |
|                                    | 1.4439                        | 317LMN | 4439      | 0,02                                 | 0,14 | 17,8 | 12,7 | 4,1  |       |
|                                    | 1.4539                        | 904L   | 904L      | 0,01                                 |      | 20   | 25   | 4,3  | 1,5Cu |
|                                    | 1.4547                        | S31254 | 254 SMO   | 0,01                                 | 0,20 | 20   | 18   | 6,1  | Cu    |
|                                    | 1.4565                        | S34565 | 4565      | 0,02                                 | 0,45 | 24   | 17   | 4,5  | 5.5Mn |



Kuva 1. Ruostumattoman teräslajin 1.4301 (304, kylmävalssattu) hinnan kehitys Saksan markkinoilla (lähde: Outokumpu/CRU).



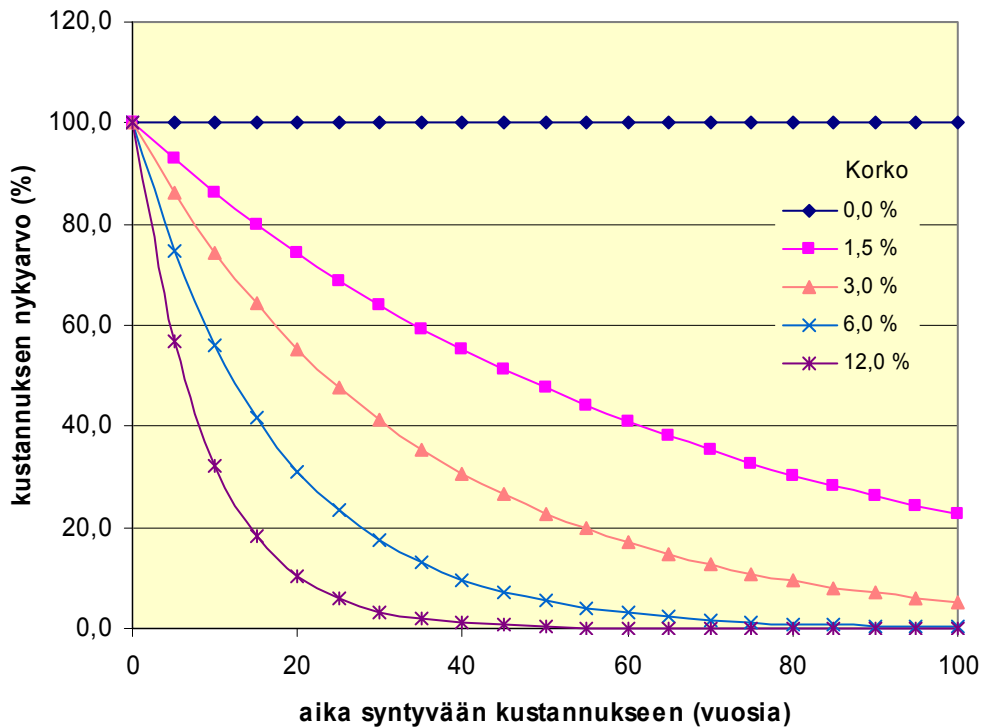
Kuva 2. Ruostumattoman teräslajin 1.4404 (316L, kylmävalssattu) hinnan kehitys Saksan markkinoilla (lähde: Outokumpu/CRU).

## 2.3 Elinkaarikustannukset

Nykyisin elinkaarikustannukset otetaan rakentamisinvestoinneissa puutteellisesti huomioon. On kuitenkin nähtävissä, että viimeistään 5–10 vuoden aikana ainakin julkisissa investoinneissa elinkaaritarkastelu yleistyy.

Investoinnin kannattavuutta arvioidaan yleensä muuntamalla kaikki tulevaisuuden kustannukset nykyarvoon. Laskennassa käytetään diskonttaus korkoa, joka kuvaa arviota siitä reaalikorosta, joka sijoitetulle pääomalle voitaisiin pitkäaikaisella sijoituksella saada. Valitulla korkotasolla on oleellinen vaikutus elinkaarilaskelmien tuloksiin. Korkea diskonttauskorko suosii myöhemmin tehtäviä korjaustoimenpiteitä ja matala korko rakennuksen pitkäikäisyyteen tähtääviä materiaali-investointeja.

Kuvasta 3 nähdään, että mitä lähempänä syntyvät kustannukset ovat tai mitä pienempi on käytetty diskonttauskorko, sitä suurempi on kustannusten nykyarvo ja sitä enemmän kannattaa kustannusten välttämiseen panostaa. Yleensä infrarakentamisessa käytetty korkotaso on 3–6 %. Kansantaloudellisessa tarkastelussa käytetty korkotaso on usein luokkaa 3 %. Yksityisissä lyhytaikaisemmissa sijoituksissa käytetään yleensä korkeampaa korkotasoa. Tällä hetkellä liikenne- ja viestintäministeriön ohje väylähankkeille on 5 %. Esimerkki elinkaarikustannusten käytöstä investoinnin kannattavuuden arvioinnissa on esitetty liitteessä A.



Kuva 3. Tulevaisuudessa syntyvän kustannuksen nykyarvo eri diskonttauskoroilla.

## 2.4 Markkinat

Ruostumattoman teräksen käyttöä tukevat ne materiaaliominaisuudet, jotka ovat sillä parempia kuin hiiliteräksellä, betonilla, puulla, alumiinilla, kuparilla tai muovilla. Tällaisia ominaisuuksia ovat mm.

- hyvä ulkonäkö (vrt. betonin karbonatisoituminen, teräksen ruostuminen, maalauksen korjaustarve)
- pienet elinkaarikustannukset (pitkäikäisyys, pienet korjauskustannukset, pienet korjauksesta aiheutuvat välilliset haittakustannukset)
- hyvä hygieenisuus ja helppo puhdistettavuus (myös töhryt)
- suuri kestävyys mekaaniselle kulutukselle (portaot, kaiteet, lattiat jne.)
- suuri lujuus, jäykkyys ja virumattomuus (vrt. muovit, alumiini, kupari)
- hyvä kestävyys iskuille (vrt. muovituotteet, asennus pakkasilla)
- hyvä pinnan säilyvyys työmaakäsittelyssä (leikkauspinnat, liitoskohdat, betoniterästen taivutus, kuljetusvauriot jne.)
- hyvä kestävyys UV-säteilylle (vrt. muovituotteet, maalit)
- hyvä lujuuden säilyminen suurissa muodonmuutoksissa (energian absorptio törmäyksissä ja räjähdyksissä, suuret maan painumat esim. geoverkoissa)
- kevyt käsitellä ja kuljettaa (vrt. betonielementit)
- hyvin ympäristöystävällinen (suuri kierrätysaste, ei korjaustoimenpiteiden ympäristöhaittoja, ei ympäristöön liukenevia haitta-aineita).

Käytön suurimpina esteinä voivat olla

- materiaalin korkea hankintahinta ja sen vaihtelu
- joidenkin tuotteiden ja puolivalmisteiden vaikea saatavuus sekä
- mahdollinen piste- ja rakokorroosion vaara erityisesti tiiviyttä vaativissa rakenteissa.

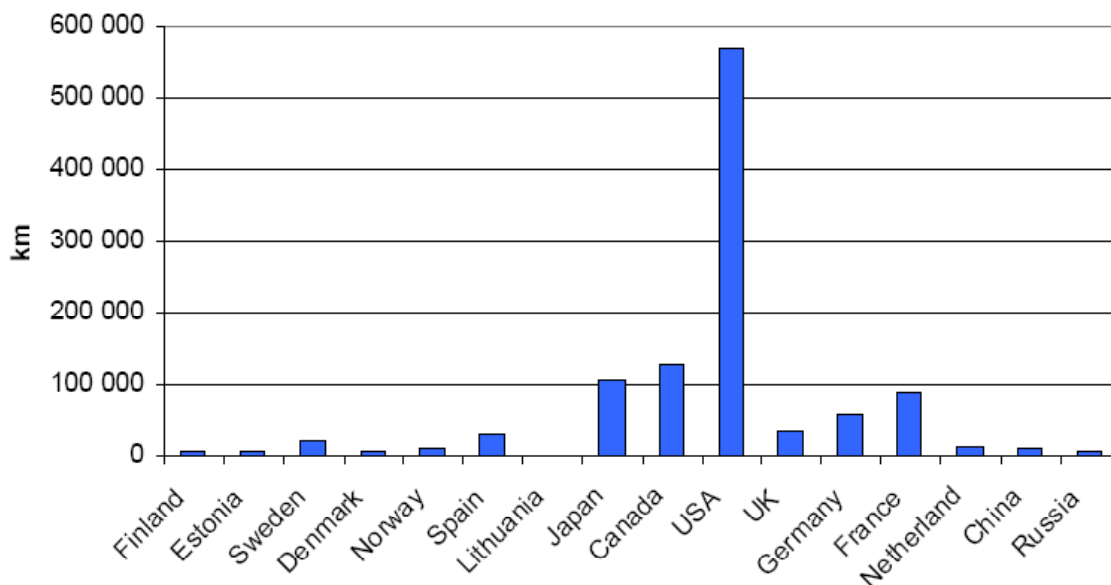
Taulukossa 2 on esitetty eräitä potentiaalisia ruostumattoman teräksen käyttökohteita. Erityisesti ruostumattomilla ohutlevyillä on mahdollisuuksia rakenteiden suojaamisessa ympäristövaikutuksilta perinteisiä suojaustapoja korvaavina etenkin, jos suojauksella saavutetaan myös muita etuja. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi ruostumattoman teräksen käyttö liittolevyinä, betonin muottikuorena tai siltapalkkien suojauksena käytettävät ilmastoidut kotelorakenteet. Säiliöissä ja putkistoissa muovituotteilla on vakiintunut asema, mutta myös siellä ruostumattomalla teräksellä voisi olla mahdollisuuksia, erityisesti hyvää hygieenisyyttä vaativissa kohteissa.

Ruostumattoman teräksen sovellusalueet ovat laajat, mutta markkinat ohuet. Siksi vienti on usein edellytys valmistuksen käynnistämiseksi. Sitä varten tulee hahmottaa myös kansainvälisten markkinoiden volyyymi. Esimerkkinä on kuvissa 4 ja 5 esitetty arvio meluseinien määrästä ja eri materiaalien käytöstä eri maissa.

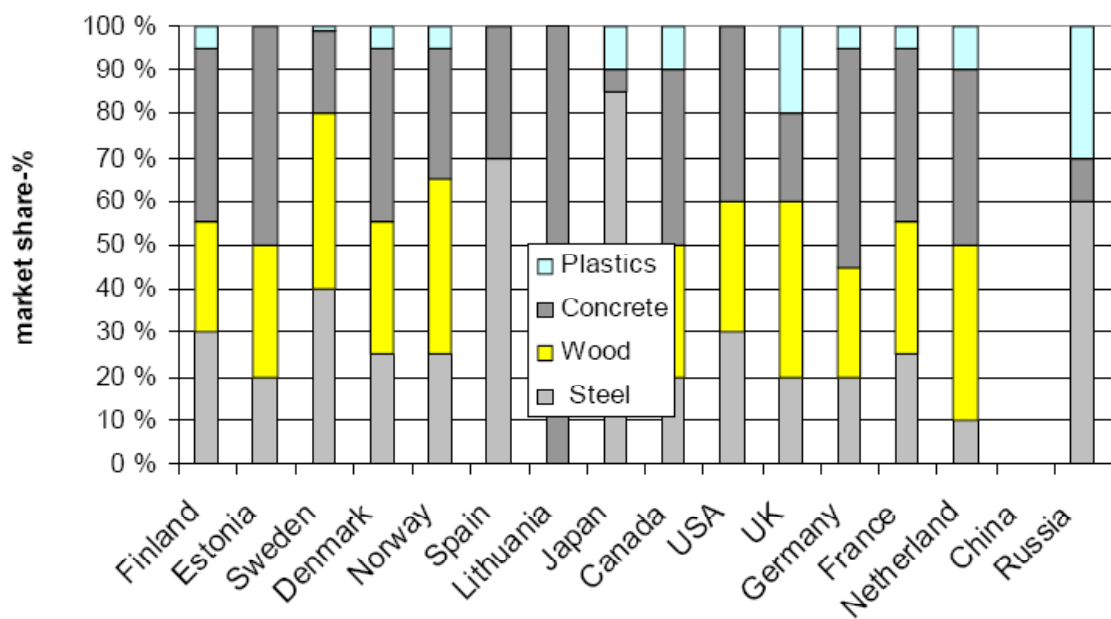
*Taulukko 2. Esimerkkejä käyttökohteista, joissa ruostumattoman teräksen hyviä materiaaliominaisuuksia voitaisiin hyödyntää.*

| Ominaisuus   | hyvä ulkonäkö | pienet elinkaarikustannukset | hygieenisuus ja helppo puhdistettavuus | hyvä kestävyys mekaaniselle kulutukselle | lujuus, jäykkyys ja viirumattomuus | kestävyys iskuille | pinnan säilyvyys työmaakäsittelyssä | kestävyys UV-säteilylle | lujuuden säilyminen muodonmuutoksissa | keveys |
|--|---------------|------------------------------|--|--|------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------|
| Teiden ja katujen varusteet kaupunkiolosuhteissa                           | X             | X                            | X                                      | X  | X                                  |                    |                                     |                         |                                       |        |
| Meluseinät   | X             | X                            | X                                      |  | X                                  | X                  |                                     | X                       |                                       | X      |
| Sadevesi-järjestelmät  | X             | X                            |  | X  | X                                  | X                  |                                     |                         |                                       | X      |
| Siltojen betoniteräksiset valikoidusti                                     |               | X                            |  |  | X                                  |                    | X                                   |                         | X                                     |        |
| Siltarummut vesistöissä ja alikuluissa                                     | X             | X                            | X                                      | X  | X                                  | X                  |                                     | X                       |                                       | X      |
| Muottikuoret siltojen ja rakennusten betonipilareissa ja -palkeissa        | X             | X                            | X                                      | X  | X                                  |                    |                                     |                         |                                       |        |
| Ohutlevyliittorakenteet silloissa, maanpaineeseinissä, parkkitaloissa jne. | (X)           | X                            |  |  | X                                  |                    |                                     |                         |                                       | X      |
| Geoverkot teissä, tukiseinissä jne.  |               | X                            |  |  | X                                  |                    | X                                   |                         | X                                     |        |
| Teräspaalut aggressiivisissa korrosioolosuhteissa                          | (X)           | X                            |  | X  | X                                  |                    | X                                   |                         |                                       | X      |
| Tukiseinät vedessä ja maassa   | (X)           | X                            |  | X  | X                                  |                    | X                                   |                         |                                       |        |
| Laiturit   | X             | X                            |  | X  | X                                  |                    |                                     |                         |                                       | X      |
| Kotelosuojuukset siltarakenteissa  | X             | X                            |  |  |                                    |                    |                                     |                         |                                       |        |





Kuva 4. Arvio meluseinien määrästä eri maissa.



Kuva 5. Arvio eri materiaalista valmistettujen meluseinien markkinaosuuksista eri maissa.

### **3. Materiaalinvalinta korroosionkestävyyden perusteella**

Tässä korroosioselvityksessä keskitytään yleisimpiin tai yleistymässä olevien ruostumattomiin teräslajeihin. Näitä ovat austeniittiset lajit 1.4301 (ASTM 304), 1.4318 (301LN) ja 1.4404 (316L) sekä austeniittis-ferriittiset lajit 1.4162 (LDX 2101) ja 1.4462 (Duplex 2205). Austeniittisiä lajeja on saatavilla myös kylmämuovatussa tilassa. Kylmämuovatussa tilassa korroosionkestävyyttä voidaan pitää samantasoisena kuin hehkutetussa tilassa olevalla materiaalilla.

Esitetyt materiaalinvalintaa koskevat suositukset perustuvat kirjallisuudesta (liite B) löydettyihin tuloksiin. Suosituksia käytettäessä on huomioitava, että löydetty aineisto on monilta osin ollut hyvin suppea sekä paikallisten olosuhteiden määrittämä. Erityisesti puutetta on kokemukseräisestä tiedosta liittyen liitosalueiden piste- ja rakokorroosioriskiä eri käyttöympäristöissä.

#### **3.1 Metallien korroosiotyypit**

Ruostumattomat teräkset ovat yleensä hyvin korroosiota kestäviä. Korroosiokestävyys riippuu kuitenkin ruostumattoman teräksen seosaineista ja niiden määrästä, joten eri lajien korroosiokestävyyksissä on merkittäviä eroja.

Metalleilla esiintyvät korroosiotyyppejä ovat:

- yleinen korroosio (tasainen)
- pistekorroosio
- rakokorroosio
- metalliparikorroosio (galvaaninen korroosio)
- jännityskorroosio ja
- raerajakorroosio.

Muita mahdollisia korroosiotyyppejä ovat hajavirtakorroosio (ulkoisen virran aiheuttama korroosio) ja eroosiokorroosio (suuren virtausnopeuden aiheuttama).

Yleinen korroosio (keskimääräinen tai tasainen korroosio) on tyyppillistä hiiliteräksille. Tällöin syöpmistä mitataan usein painon muutoksella. Ruostumattomilla austeniittisilla ja austeniittis-ferriittisillä teräksillä korroosio on pääosin piste- ja rakokorroosiota. Tällöin korroosio ilmenee useimmiten vuotoina, esteettisinä vaurioina jne. Korroosiosta aiheutuva kantavuuden menetys tulee ruostumattomilla teräksillä harvoin kyseeseen. Poikkeuksina ovat niukkaseosteiset ferriittiset ja martensiittiset ruostumattomat teräkset,

joilla korroosiokäyttäytyminen lähestyy seostamattomien hiiliterästen korroosiokäyttäytymistä. Vesiasennuksessa ruostumattomilla teräksillä yleinen korrosio voi eräillä teräslajeilla olla huomionarvoista vesipinnan vaihtelualueella.

Pistekorroosioriski (kuva 6) on ruostumattomilla teräksillä suurin olosuhteissa, joissa esiintyy klorideja. Pistekorroosio alkaa pinnan passiivikalvon paikallisesta rikkoutumisesta samalla, kun olosuhteet estävät passiivikalvon korjautumisen (uudelleenpassivoituminen). Kloridit ovat yleisin pistekorroosion aiheuttaja. Kloridi-ionit tunkeutuvat passiivikalvon läpi heikoissa kohdissa, jolloin syntyy paikallinen sähköpari. Rikkoutunut alue toimii anodina ja ympäröivä alue katodina. Molybdeeni, kromi ja typpi ruostumattoman teräksen seosaineina parantavat pistekorroosiokestävyyttä.



*Kuva 6. Yläkuvassa ruostumattoman teräksen hitsissä olevia paikallisia pistesyöpymiä (lähde: VTT). Alakuvissa laajempialaista pistekorroosiota (lähde: <http://www.outokumpu.com>).*

Rakokorroosiota esiintyy aggressiivisten, kloridia sisältävien vesien yhteydessä ahtaissa raoissa, joihin hapen pääsy on estynyt. Rakoja voi muodostua kahden metallin välisen liitoksen, tiivisteiden, saostuman ja biologisen kerrostuman (biofilmin) vuoksi (kuva 7). Myös hitsiliitoksen reunahaavat ja juurivirheet voivat olla rakokorroosion ydintymispaikkoja. Korroosion syynä ovat yleensä liuoksen happipitoisuuserot, jotka muodostavat

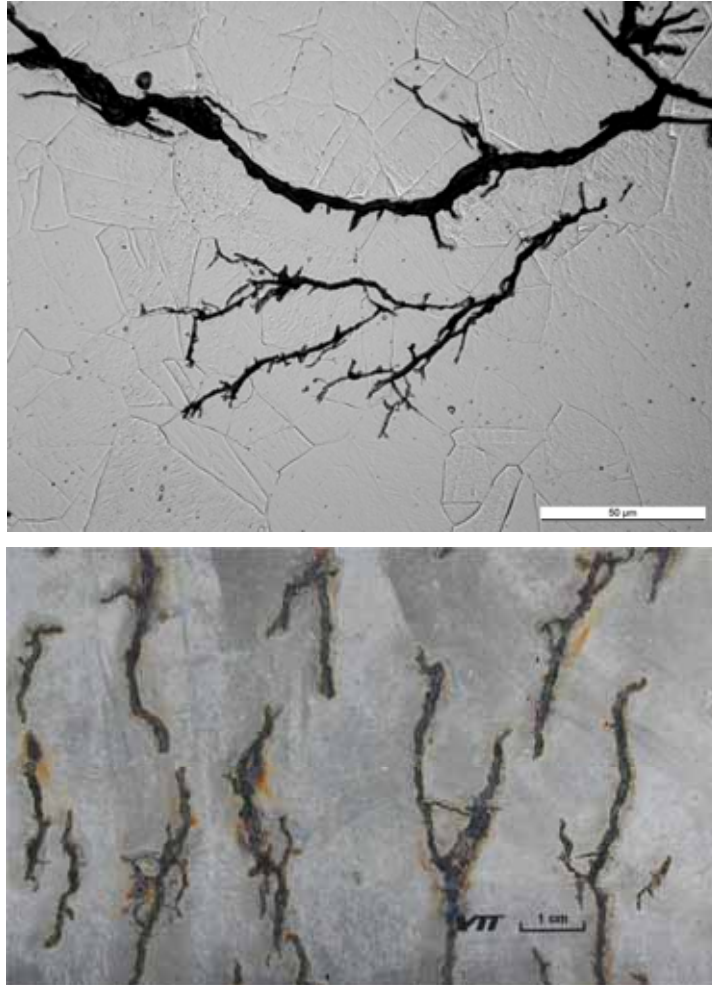
korroosioparin. Happiköyhemmästä alueesta eli raosta syntyy anodi, ja ympäröivästä happipitoisesta alueesta katodi.



*Kuva 7. Itämeressä Helsingin edustalla 15 m:n syvyydessä 7 kuukautta olleet materiaalista EN 1.4301 valmistetut näytekappaleet altistuksen jälkeen. Näytteen ja näytteenpiittimen liitoskohdassa on todettavissa voimakasta rakokorroosiota ja näytteessä silminnähtäviä pistesyöpyymiä (lähde: VTT).*

Metalliparikorroosio (galvaaninen korroosio) on mahdollista, kun jalousasteeltaan erilaiset metallit ovat kosketuksissa keskenään. Tällöin epäjalommasta metallista muodostuu anodi, jalommasta katodi ja epäjalomman metallin korroosio kiihtyy. Korroosionopeus riippuu metallien suhteellisista pinta-aloista, elektrolyytin koostumuksesta ja lämpötilasta. Ruostumattomien terästen eri lajien välillä ei ole tavallisesti vaaraa galvaanisesta korroosiosta. Ruostumattoman ja hiiliteräksen välillä sen sijaan materiaalien jalousero on niin suuri, että galvaaninen korroosio on todennäköistä. Tällöin korroosio kohdistuu hiiliteräkseen. Liitettäessä seostettuja teräksiä hiiliteräkseen tulee liitoskohta joko suojata hapen saannilta tiivisteillä ja pinnoitteilla tai sijoittamalla liitosalue tiiviiseen, ilmaa heikosti läpäisevään maakerrokseen.

Jännityskorroosion kehittyminen (kuva 8) edellyttää vetojännitysten olemassaoloa samanaikaisesti tiettyjen ympäristöolosuhteiden kanssa. Jännityskorroosion riski kasvaa, kun vetojännitys ja lämpötila kasvavat. Vetojännitykset voivat aiheutua ulkoisesta jännityksestä tai sisäisistä jäännösjännityksistä. Tavallisin jännityskorroosion muoto on austeniittisilla teräksillä kuumissa (yli 50–60 °C) kloridipitoisissa liuksissa tapahtuva hausrasmurtuminen. Ferriittiset ruostumattomat teräkset, jotka sisältävät hyvin vähän hiiltä ja tyyppeä, ovat kestäviä jännityskorroosiota vastaan. Austeniittisissa teräksissä nikkelin lisääminen vähentää herkkyyttä jännityskorroosiolle.



*Kuva 8. Austeniittisessä ruostumattomassa teräksessä todettua jännityskorroosiota. Yläkuvassa poikkileikkaushieestä tehty mikrorakennekuva ja alhaalla ruostumattoman teräksen pinnalta otettu kuva (lähde: VTT).*

Raerajakorroosiota esiintyy austeniittisten ja ferriittisten terästen yhteydessä hitsauksen lämpövaikutusvyöhykkeessä. Korkeassa lämpötilassa hiili diffundoituu raerajoille, jonne erkautuu kromikarbida. Tällöin kromia poistuu ja raerajan viereisille vyöhykkeille jää pienempi kromipitoisuus. Raerajakorroosionkestävyyttä parantaa mm. teräksen hiilipitoisuuden pienentäminen alle 0,03 prosenttiin. Lisäksi teräkseen voidaan lisätä stabiilointiaineita (Ti, Nb), jotka sitovat teräksen hiilen omiksi karbideikseen ja siten estävät kromikarbidiin muodostumisen ja herkistymisen.

Hajavirtakorroosiota aiheuttavat sähkölaitteiden hajavirrat, joita voi maaperässä esiintyä etenkin tasavirtalähteiden (muuntajat, sähköjunien ja raitiotievaunujen raiteet, katodisesti suojatut putkistot, sähköradat ja kaapelit, sähkökoneen huono maadoitus) lähistöllä kohdissa, missä virta jättää metallipinnan. Hajavirtakorroosiossa maaperään vuotava virta hakeutuu maassa oleviin metalleihin, koska metallissa on pienempi sähkönvastus kuin maaperässä.

## 3.2 Maa-asennus

### Korroosio-olosuhteet

Maaperän ominaisuuksista merkittävimmin ruostumattoman teräksen mahdolliseen korroosioriskiin vaikuttavat maan ominaisvastus, vesi- ja happipitoisuus, pH, mikrobitoiminta, hapen läpäisykyky, redox-potentiaali, hajavirrat sekä syövyttävät yhdisteet, kuten veteen liuenneet suolat ja happea muodostavat aineet.

Maalajien muutoskohdat voivat olla riskipaikkoja mahdolliselle korroosiolle. Korroosioriskiä lisää eri maalajien välinen happipitoisuusero, jolloin maalajien välillä on potentiaaliero. Happipitoisuusero voi olla huomattava esim. putkilinjalla, jossa korroosioriski muodostuu kaivannon pohjalla häirityn ja häiriintymättömän maan rajapintaan. Korroosioriskiä voidaan pienentää perustamalla putkilinja esim. riittävän paksun hiekkakerroksen päälle. Hapensaannin kannalta selvä kerrosraja on pohja- tai orsiveden rajapinta, jolloin vesipinnan alapuolinen metallipinta toimii anodina ja yläpuolinen metallipinta katodina. Syvemmillä maaperässä korroosiota rajoittaa pieni happipitoisuus. Näissä olosuhteissa saattaa korroosiota tapahtua anaerobisten bakteerien toiminnan johdosta. Parhaiten tunnettuja ja korroosion kannalta ongelmallisimpia ovat sulfaatteja pelkistävät bakteerit (SRB = sulphate reducing bacteria). Nämä rikkiä pelkistävät bakteerit pelkistävät sulfaatin sulfidiksi, joka edelleen reagoi vedyn kanssa rikkivedyksi tai raudan läsnä ollessa ferrosulfidiksi. Päästessään kosketuksiin ilman kanssa sulfidit voivat hapettua tuottaen pieniä määriä tiosulfaattia.

Ruostumattomien terästen yhteydessä tärkein tekijä maa-asennuksissa on maaperän kloridi-ionien pitoisuus ja maaperän vesipitoisuus. Kloridi-ionit saavat alulle ruostumattoman teräksen pistekorroosion, ja niiden olemassaolo pienentää maaperän ominaisvastusta. Kloridi-ioneja esiintyy myös Suomen rannikkoalueiden hienorakeisilla maapohjilla. Paikallisesti maaperän kloridi-ionien määrä voi olla korkea liukkauden torjunnan yhteydessä käytetyn maantiesuolauksen vaikutuksesta.

### Materiaalinvalinta

Ruostumattoman teräksen maa-asennusten korroosiokestävyyden selvittämisessä käytetty kirjallisuudesta löydetty aineisto oli erittäin suppea (n = 82). Samoin maassaoloaika oli lyhyt (8–14 vuotta). Yhdessä tutkimuksessa maassaoloaika oli pidempi (25 vuotta), mutta korroosiohavainnoista oli käytettävissä vain pistemäisiä maksimisyöpymäärovoja. Yleisesti ottaen ruostumattomien terästen yhteydessä havaitut keskimääräiset korroosiomäärät maa-asennuksissa olivat pieniä, mutta paikallisesti havaittiin suurtakin

pistekorrosiota. Ruostumattomien teräslajien välillä oli merkittäviä eroja. Martensiittiset ja ferriittiset ruostumattomat teräkset eivät poikenneet merkittävästi hiiliteräksen yhteydessä tehdyistä havainnoista. Tavallisten austeniittisten ruostumattomien terästen korroosiomäärät (keskimääräinen painonpudotus) olivat noin 1/10-osa hiiliterästen keskimääräisestä korroosioista ja haponkestävien ja Duplex-terästen korroosiomäärät noin 1/100-osa hiiliterästen korroosioista.

Materiaalinvalintaa varten maapohjat jaetaan aggressiivisuuden perusteella kolmeen luokkaan: ei-aggressiiviset, jossakin määrin aggressiiviset ja aggressiiviset maat (taulukko 3). Suositellut ruostumattomat teräslajit pohjamaan aggressiivisuuden perusteella sekä keskimääräisen korroosion suuruusluokkatasot on esitetty taulukossa 4. Keskimääräisen korroosion suuruusluokkatasot on arvioitu tutkimusaineiston perusteella siten, että funktion muoto on sama kuin hiiliterästen yhteydessä käytetty muoto. Keskimääräisen korroosion määräksi valittiin 95 % luottamusvälin mukaan määritetty arvo.

Taulukon 4 perusteella austeniittisten, haponkestävien ja Duplex-terästen yhteydessä voidaan korrosio jättää huomioimatta tavallisilla rakennepaksuuksilla ei-aggressiivisilla pohjamailla. Suppean aineiston perusteella näyttäisi myös siltä, että haponkestävien ja Duplex-terästen yhteydessä myös aggressiivisilla pohjamailla korrosio voitaisiin jättää huomioimatta.

Taulukko 3. Maapohjien luokittelu korroosioherkkyyden perusteella.

|   |
|---|
| <p><b>1. Ei-aggressiiviset</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Häiriintymättömät luonnonmaat, joissa enintään vähäisessä määrin klorideja ja sulfaatteja (hiekkä, siltti, savi, liuske). Maalajien eloperäisen aineksen osuus on alle 2 paino-%. <i>Ellei tavanomaisin pohjatutkimuksin ja kohteen olosuhteiden tarkastelun perusteella maaperän ei-aggressiivisuutta voida riittävällä varmuudella todeta, aggressiivisuutta arvioidaan ensisijaisesti maan ja huokosveden kloridi- ja sulfaattipitoisuusmääritysten perusteella.</i></li> </ul>  |
| <p><b>2. Jossain määrin aggressiiviset</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Saastuneet luonnonmaat ja teollisuusalueiden maa-alueet (yleensä).</li> <li>Tiivistämättömät, ei-aggressiiviset täytemaat (hiekkä, siltti, savi, moreeni, murskeet).</li> </ul>   |
| <p><b>3. Aggressiiviset maat ja väylärakenteet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aggressiiviset luonnonmaat (kloridi- ja sulfaattipitoiset savet ja siltit sekä liejut, suo, räme, turve) sekä suolatut väylärakenteet, joissa sulfaattipitoisuus on &gt; 500 mg/maa-aines kg tai &gt; 100 mg/l huokosvedessä, klorideja &gt; 100 mg/maa-aines kg tai &gt; 50 mg/l vesiliuoksessa.</li> <li>Tiivistämättömät ja aggressiiviset täytemaat (tuhka, kuona, aggressiivista luonnonmaata sisältävät täytöt).</li> <li>Kaikki pilaantuneet maapohjat, ellei niiden ei-aggressiivisuutta ole todettu.</li> <li>Maa-alueet, joissa esiintyy tasavirtalähteiden aiheuttama potentiaalilentä.</li> </ul> |

Taulukko 4. Suositellut ruostumattomat teräslajit pohjamaan aggressiivisuuden perusteella sekä keskimääräisen korroosion suuruusluokkatasot.

| Teräslaji  | Ei-aggressiivinen  | Aggressiivinen   |
|--|--|--|
| Niukkaseosteiset ferriittiset teräkset   | Ei poikkeamaa hiiliteräksiin<br>Keskimääräinen korroosio:<br>1,2 mm/ 100 v | Ei poikkeamaa hiiliteräksiin<br>Keskimääräinen korroosio:<br>3...6 mm/ 100 v |
| Austeniittiset Cr-Ni-teräkset<br>1.4301 (304), 1.4307 (304L)<br>1.4318 (301LN) | Keskimääräinen korroosio:<br>0,04...0,1 mm/100 v                           | Keskimääräinen korroosio:<br>0,4...1 mm/100 v                                |
| Niukkaseosteinen duplex<br>1.4162 (LDX 2101)                                   | Ei käyttökokemuksia, oletettavasti parempi kuin yllä                       | Ei käyttökokemuksia, oletettavasti parempi kuin yllä                         |
| Haponkestävät Cr-Ni-Mo-teräkset<br>1.4401 (316 L)<br>1.4404 (316)              | Keskimääräinen korroosio:<br>0,005...0,01 mm/100 v                         | Keskimääräinen korroosio:<br>0,06...0,1 mm/100 v                             |
| Keskiseosteinen duplex<br>1.4462 (Duplex 2205)                                 | Keskimääräinen korroosio:<br>0,005...0,01 mm/100 v                         | Keskimääräinen korroosio:<br>0,06...0,1 mm/100 v                             |

Huom. On huomioitava, että taulukon pohja-aineisto on hyvin suppea sekä paikallisten olosuhteiden säätelemä.



Ruostumattoman teräksen yhteydessä tasaista korroosiota selvästi merkittävämpi korroosimuoto on pistekorroosion esiintyminen etenkin klorideja sisältävissä maapohjissa. Teräslajien välillä on havaittu selvät erot. Esimerkiksi eräässä koesarjassa niukkaseosteisten martensiittisten ja ferriittisten teräslajien yhteydessä pistesyöpymien maksimisyvytydet olivat useita millimetrejä (25 vuoden havainnot), tavallisten austeniittisten terästen yhteydessä alle 2 mm, haponkestävän teräksen yhteydessä 0,2 mm ja duplex-teräksen 2205 yhteydessä ei havaittu pistekorroosiota lainkaan. Molybdeenin määrällä oli selvä yhteys pistekorroosion muodostumiselle. Eniten syöpyneissä ei ollut molybdeeniä, vähiten syöpyneissä molybdeeniä oli noin 2,5 %. Rakenteelliseen mitoittamiseen yksittäisillä pistesyöpymillä ei ole vaikutusta. Aggressiivisissa, klorideja sisältävissä ympäristöissä on kuitenkin otettava huomioon paikallisen korroosion mahdollisuus keskittyä maakerrosten rajapinnoille. Liitokset on lisäksi aina otettava huomioon erikseen.

### **3.3 Vesiolosuhteet**

#### **Korroosio-olosuhteet**

Korroosion esiintymiseen vesiolosuhteissa vaikuttavat ympäristötekijät ja käyttöolosuhteet. Ympäristötekijöitä ovat kloridipitoisuus, mikrobiologinen toiminta, ympäristön hapettavuus ja mahdolliset inhiboivat ionit, kuten sulfaatti. Käyttöolosuhteita ovat veden virtausolosuhteet, upotuksen kesto ja toistuvuus sekä veden lämpötila.

Kloridi-ionit ovat merkittävin ruostumattomien terästen korroosion aiheuttaja. Merivesi on erittäin aggressiivinen elektrolyytti. Valtamerien suolapitoisuus on keskimäärin noin 3,5 %. Itämeren vesi on murtovettä, jonka keskisuolapitoisuus on alle 1 %. Suolapitoisuus on suurin Tanskan salmissa ja pienenee pohjoiseen päin mentäessä. Selkämerellä suolapitoisuus on enää noin 0,65 %. Itämerelle on myös tyypillistä suolapitoisuuden kerroksellisuus, suolapitoisuus on syvemmillä korkeampi kuin pintavedessä. Suurimmillaan korrosio on roiskevesivyöhykkeessä, jossa meriveden suola konsentroituu haihtumalla vesilinjan yläpuolelle.

Veden virtausnopeuden ollessa pieni (alle 1,5 m/s) ruostumattomalla teräksellä on ole-massa piste- ja rakokorroosion riski. Virtaavassa vedessä korroosioriski on pienempi, mutta kasvaa jälleen huomattavan suurilla nopeuksilla (yli 50 m/s), kun ruostumattoman teräksen passiivikalvo alkaa murtua eroosio- ja kavitaatiokorroosion vaikutuksesta.

Ruostumattomien terästen yleisimmät korroosimuodot merivesissä ovat piste- ja rako-korroosio. Niiden esiintyminen riippuu paitsi kloridipitoisuudesta myös ympäristön hapettavuudesta, joka vaikuttaa ruostumattoman teräksen ko. liuoksessa omaksumaan le-

popotentiaaliarvoon. Kun lepopotentiaali on suurempi kuin ns. kriittinen ympäristöstä ja teräslaadusta riippuva pistesyöpymispotentiaali, pistekorrosio voi alkaa.

Lepotentiaalin kohoamista aiheuttaa myös teräksen pintaan muodostuva biofilmi. Tätä mikrobiologisen toiminnan vaikutuksesta tapahtuvaa ruostumattomien terästen lepopotentiaalin kohoamista kutsutaan jalontumiseksi (ennoblement). Paikallisen korroosion riski kasvaa, kun teräksen lepopotentiaali kohoaa useita satoja millivolteja. Puhutaan mikrobiologisesta korroosiosta (MIC, microbiologically influenced corrosion tai microbially induced corrosion). Se on mikrobien aiheuttamaa sähkökemiallista korroosiota. Mikro-organismeihin eli mikrobeihin kuuluvat levät, sienet ja bakteerit. Varsinaisen mikrobiologisen korroosion syntymiseen vaikuttavat yleensä bakteerit ja sienet. Sieniin kuuluvat taas hiivat ja homeet. Sienet muodostavat pinnan, johon lian ja epäpuh-  
tauksien on helppo tarttua. Korroosiota voi aiheuttaa myös isompien eliöiden (simpukat, näkit jne.) ja pohjakaasuvillisuuden kiinnittyminen materiaalien pintaan (ns. fouling). Joskus puhutaan mikro-foulingista, kun tarkoitetaan mikrobien muodostaman biofilmiä muodostumista ja makro-foulingista, kun tarkoitetaan silmännähtävää merivesieliöstön kiinnittymistä pintoihin (esim. rakenteet vesiuoputuksessa, veneenpohjat, jotkut jäähd-  
tyslaitteistot).

## **Materiaalinvalinta**

Käytettäessä seostamattomia hiiliteräksiä vesiasennuksissa rakenteiden kantavuuden kannalta merkittävin korroosionmuoto on tasainen korrosio. Tämä ei ole austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä ongelma normaaleissa luonnon vesiolosuhteissa. Mikäli korroosiota tapahtuu, se on yleensä paikallista piste- tai rakokorroosiota. Usein pistekorrosio aiheuttaa vain ulkonäköongelmia, ja sen vaikutus rakenteen kantavuuteen on merkityksetön. Kuitenkin, mikäli paikallinen syöpyminen keskittyy rakenteen liitoksiin tai kantavuuden kannalta merkittäviin rakoihin tai veden ja ilman rajapinnalle, paikallisesta korroosiostakin voi tulla merkittävä kantavuuteen vaikuttava tekijä. Samoin kohteissa, joissa edellytetään tiivyyttä ja vuotamattomuutta, piste- ja rakokorroosioriski on otettava huomioon ja arvioitava tapauskohtaisesti.

Hitsauksen laatuun ja jälkikäsitteilyihin, samoin kuin rakojen välttämiseen ja mahdollisen mikrobiologisen toiminnan estämiseen, on kiinnitettävä huomiota rakenteita suunniteltaessa. Ohjeita liitosten oikeaoppiseen tekemiseen, rakojen ja epäjatkuvuuskohtien välttämiseen annetaan mm. Euro Inoxin julkaisemassa käsikirjassa Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa (<http://www.euro-inox.org>).

Yhteenveto tässä selvityksessä tarkasteltavana olevien ruostumattomien terästen sovel-  
tuvuudesta eri vesiympäristöihin esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Ruostumattomien terästen korroosiokäyttäytyminen ja soveltuvuus erilaisiin olosuhteisiin maa- ja vesirakentamisessa.

|  | Itämeren vesi (murtovesi) | Makea vesi                | Fouling (kiinnittyvät eliöt, meri- ja makeavesi) | Maantie-suola        | Koirien urea |
|--|---------------------------|---------------------------|--|----------------------|--------------|
| 1.4301 (304)<br>1.4307 (304L)<br>1.4318 (301LN)  | —                         | ++ Cl < 200<br>(rk ja pk) | +<br>rk  | +<br>(pk ja rk), jk  | ++<br>(pk)   |
| 1.4162<br>(LDX 2101)   | [+]<br>(pk ja rk)         | [++]<br>(pk ja rk)        | [+]<br>rk  | [+]<br>(pk ja rk) rk | [++]<br>(pk) |
| 1.4404 (316L)<br>1.4401 (316)  | +<br>(pk ja rk)           | ++ Cl < 500<br>(pk ja rk) | +<br>rk  | ++<br>(pk ja rk)     | ++<br>(pk)   |
| 1.4462<br>(Duplex 2205)  | ++<br>(pk ja rk)          | ++                        | +<br>(rk)  | [++]                 | ++           |
| <p>— = ei soveltu käytettäväksi suojaamattomana</p> <p>+ tai ++ = soveltuu käytettäväksi</p> <p>(pk ja rk) = piste- ja rakokorroosiovaara otettava huomioon erityisesti tiiviyttä vaativissa rakenteissa tai jos on vaara, että syöpyminen keskittyy rakenteen kantavuuden kannalta epäedullisesti</p> <p>rk = rakokorroosiovaara otettava huomioon rakenteita suunniteltaessa</p> <p>(rk) = kuten rk, mutta vaara pienempi</p> <p>jk = jännityskorroosioriski, jos vetojännityksiä ja CaCl<sub>2</sub> läsnä</p> <p>[ ] = ei käyttökokemuksia</p> <p>Cl = kloridipitoisuus (mg/l)</p> |                           |                           |  |                      |              |

Valtamerien (kloridipitoisuus n. 19 000 mg/l) vesiupotusolosuhteissa ei suositella käytettäväksi mitään tarkastelun kohteena olevista ruostumattomista teräksistä ilman suojausta. Valtamerissä suositeltavia materiaaleja ovat runsaammin molybdeeniä sisältävät austeniittiset ruostumattomat teräkset ja titaani sekä hiiliteräs pinnoitettuna ja katodisesti suojattuna. Paikallisen piste- ja rakokorroosion riski on valtamerialosuhteissa erittäin suuri. Myöskään ilmasto-olosuhteissa valtamerien läheisyydessä trooppisilla alueilla ei suositella käytettäväksi haponkestävää austeniittista terästä 1.4404, vaan duplex-terästä 1.4462 tai enemmän seostettuja austeniittisia ruostumattomia teräksiä, kuten 1.4547 (254 SMO).

Murtovesiupotuksessa (kloridipitoisuus n. 1 000–5 000 mg/l) on myös odotettavissa voimakasta piste- ja rakokorroosiota materiaaleissa 1.4301 ja 1.4318, joten niitä ei suositella käytettäväksi ilman suojausta. Myös materiaalilla 1.4404 (316L) on piste- ja rakokorroosion riski. Mikäli piste- ja rakokorroosio ei aiheuta kantavuudelle ongelmia ja

rakojen ja liitosten vaikutukset on huomioitu tai niitä ei ole, voidaan materiaaleja 1.4404 ja 1.4401 käyttää murtovesiasennuksissa. Edellytyksenä on kuitenkin, että rakenteilta ei edellytetä tiiviyttä ja vuotamattomuutta. Materiaalista 1.4162 (LDX2101) ei ole käytävissä tutkimustuloksia murtovedessä. Se voi kuitenkin olla mahdollinen materiaali puhtaissa olosuhteissa, mutta vähintään samat riskit kuin materiaalilla 1.4404 on otettava huomioon. Enemmän seostetulla austeniittis-ferriitisellä teräksellä 1.4462 (Duplex 2205) on saatu ristiriitaisia tuloksia Itämeren vedessä, mutta sen piste- ja rakokorroosionkestävyys kloridiympäristössä on kuitenkin selkeästi paras tarkastelluista materiaaleista. Suomen murtovesiympäristön ilmasto-olosuhteissa suositeltavin materiaali vaihtoehto on haponkestävä ruostumaton teräs (1.4401, 1.4404, 1.4571). Lisäksi roiskevesialueilla on huomioitava mahdollinen kloridin väkevöityminen veden haihtumisen vuoksi.

Ruostumattomien terästen korrosio upotusolosuhteissa makeassa vedessä riippuu veden kloridipitoisuudesta, lämpötilasta, virtausolosuhteista ja mikrobiologisesta toiminnasta. Kun kloridipitoisuus on alle 200 mg/l, lämpötila matala ja vesi mahdollisimman puhdas mikrobeista, ns. tavallinen ruostumaton teräs (1.4301, 1.4318) soveltuu käytettäväksi. Kloridipitoisuuden ollessa välillä 200–500 mg/l soveltuu käytettäväksi ns. haponkestävä ruostumaton teräs (1.4401, 1.4404). Ilmasto-olosuhteissa, kun ilma on puhdas, makeavesiympäristössä voidaan käyttää ns. tavallisia ruostumattomia teräksiä (1.4301, 1.4318), mutta kaupunki- ja teollisuusilmastossa suositellaan käytettäväksi vähintään teräslajia 1.4404.

Uimahalliolosuhteissa sisätiloissa tulee käyttää vesiupotuksissa tai välittömästi veden läheisyydessä haponkestävää ruostumatonta terästä, mutta kattorakenteissa haponkestävän teräksen korroosionkestävyys ei ole riittävä. Tällöin on jännityskorroosion välttämiseksi käytettävä enemmän seostettuja teräslajeja, kuten 1.4547 (254 SMO) tai 1.4539 (904L). Duplex-teräkset ovat kestäviä jännityskorroosiota vastaan, mutta niiden käyttöä uimahalleissa rajoittaa taipumus pistekorrosioon konsentroituvissa olosuhteissa.

## **3.4 Maantiesuola**

### **Korroosio-olosuhteet**

Maantiesuolausta käytetään talvisin poistamaan jään aiheuttamaa liukkautta ja kesäisin sitomaan pölyä. Maantiesuola lisää ilmastollista räsitusta teiden varsilla ja alueilla, joille sitä voi kulkeutua. Suolasumu voi olla yhtä vaarallista kuin täydellinen upotusrasitus, koska kloridikonsentraatio syntyy veden höyrystymisen tai suolakiteiden syntymisen seurauksena. Esimerkiksi meluaidat, kaiteet, lyhtypylväät, liikennemerkit ja tienvarsien

aidat ovat alttiita maantiesuolan vaikutuksille. Katujen varsilla olevat varusteet ja kalusteet ovat alttiita paitsi maantiesuolan vaikutuksille, myös koirien urealle.

Maantiesuolan vaikutus perustuu niiden kykyyn alentaa veden jäätymispistettä. Yleisimmin Suomessa käytetty kemikaali on natriumkloridi (NaCl). Toinen yleisesti käytetty kemikaali on kalsiumkloridi (CaCl<sub>2</sub>), useimmiten yhdessä natriumkloridin kanssa. Haitallisimpia maantiesuoloista ovat pölyä sitovat hygroskooppiset suolat, kuten kalsium- ja magnesiumkloridi. Maantiesuolat voivat aiheuttaa ruostumattomiin teräksiin paikallista syöpymistä.

## **Materiaalinvalinta**

Maantiesuolan vaikutuksia tässä selvityksessä mukana olleisiin ruostumattomiin teräksiin on esitetty taulukossa 5. Materiaalit 1.4301 ja 1.4318 ovat alttiita piste-, rako- ja tietyissä olosuhteissa myös jännityskorroosiolle maantiesuolujen vaikutusalueilla. Myös haponkestävä teräs 1.4401 tai 1.4404 on altis jännityskorroosiolle huoneenlämpötilassa, jos kloridien konsentroituminen pinnoille on mahdollista ja ympäristössä vallitsee alhainen ilmankosteus. Jännityskorroosio ei kuitenkaan ole vaarana rakenteissa, joissa ei ole vetojännityksiä.

Maa- ja vesirakentamisessa maantiesuolan vaikutuksille alttiina olevissa rakenteissa huomioon otettavia tekijöitä ovat erityisesti liitokset ja mahdolliset raot, koska rakokorroosion riski on suuri käytettäessä vähän tai ei ollenkaan molybdeeniä sisältäviä ruostumattomia teräksiä rakenteissa, joihin kloridien konsentroituminen on mahdollista. Mikäli rakenteissa on esim. laippa- tai hitsiliitoksia, voi rakokorroosio olla alkuna myös jännityskorroosiosäröille.

Taulukossa 5 on esitetty yhteenveto myös koirien urean vaikutuksesta materiaalinvalintaan. Urea voi aiheuttaa pistesyöpymistä austeniittisiin ruostumattomissa teräksissä, mutta sen ei kuitenkaan uskota vaikuttavan niiden rakenteelliseen kestävyYTEEN. Pistesyöpymisvaaraa ei ole, mikäli paikat huuhtoutuvat tai huuhdotaan riittävän usein.

## 4. Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet

### 4.1 Yhteenveto

Ruostumattomalla teräksellä on hyvät käyttömahdollisuudet erityisesti sellaisissa infra-rakentamisen kohteissa, joissa suhteellisen ohuilla ainepaksuuksilla saavutetaan merkittävä parannus rakenteen ominaisuuksiin. Ominaisuuksien parannus voi olla

- hyvään korroosionkestävyyteen perustuva säästö elinkaarikustannuksissa
- parempi ulkonäkö, puhdistettavuus tai hygieenisuus
- parempi kestävyys mekaaniselle kulutukselle, iskuille tai UV-säteilylle
- parempi pinnan säilyvyys työmaalla tapahtuvassa työstössä
- murtumattomuus ja energiansitovuus suurissa muodonmuutoksissa tai
- pienemmät ympäristöhaitat käytön tai korjauksen aikana.

Julkaisussa on esitetty ajatuksia siitä, milloin ruostumattoman teräksen käytön mahdollisuutta kannattaa arvioida. Uudet käyttösovellukset voivat olla muiden materiaalien kanssa yhdessä toimivia täysin uudentyyppisiä innovaatioita, joiden ideointi lähtee ennakoluulottomasti tarpeesta kehittää nykyisten tuotteiden ominaisuuksia.

Merkittävin peruste ruostumattoman teräksen käytölle on paremmasta korroosionkestävyydestä aiheutuva säästö elinkaarikustannuksissa. Toisin kuin seostamattomilla hiiliteräksillä, austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä tasainen korroosio on yleensä vähäistä eikä sillä yleensä ole merkitystä rakenteiden kantavuuteen. Mikäli korroosiota tapahtuu, se on yleensä paikallista piste- tai rakokorroosiota. Usein pistekorroosio aiheuttaa vain ulkonäköongelmia, ja sen vaikutus rakenteen kantavuuteen on merkityksetön. Kuitenkin, mikäli paikallinen syöpyminen keskittyy rakenteen liitoksiin tai kantavuuden kannalta merkittäviin rakoihin tai veden ja ilman rajapinnalle, paikallisesta korroosiotakin voi tulla merkittävä kantavuuteen vaikuttava tekijä. Samoin kohteissa, joissa edellytetään tiiviyyttä ja vuotamattomuutta, piste- ja rakokorroosioriski on otettava huomioon ja arvioitava tapauskohtaisesti. Julkaisussa on annettu materiaalin valintaa koskevia suosituksia maa- ja vesirakentamisessa. Maapohjat jaetaan aggressiivisuuden perusteella ei-aggressiivisiin, jossakin määrin aggressiivisiin ja aggressiivisiin. Vesiolosuhteista tarkastellaan valtameri-, murtovesi- ja makeavesiupotuksen sekä pintaan kiinnittyvien eliöiden, maantiesuolan ja koirien urean vaikutusta materiaalinvalintaan.

Ruostumattoman teräksen käytön kannattavuutta voidaan arvioida vertaamalla aiheutuva investointikustannusten nousua elinkaarikustannuksissa saavutettaviin säästöihin. Elinkaarikustannukset arvioidaan yleensä muuntamalla kaikki tulevaisuudessa aiheutuvat suorat ja välilliset kustannukset nykyarvoon. Raportin liitteenä esitetty esimerkki, jossa verrataan ruostumattomasta teräksestä valmistetun siltapilarin muottikuoren hintaa

suojaamattoman betonipilarin elinkaarikustannuksiin, havainnollistaa erilaisten elinkaarikustannusten merkitystä.

## 4.2 Jatkotutkimustarpeet

Tutkimuksen yhteydessä havaittu seuraavat yleiset aiheet, jotka ovat tärkeitä ruostumattoman teräksen käytön lisäämiseksi infrarakentamisessa:

- 1) Ideoida ja kehittää ennakkoluulottomasti uudentyyppisiä tuotteita, joissa ruostumatonta terästä hyödynnetään tehokkaalla tavalla muiden materiaalien kanssa. Hyvä esimerkki tällaisesta sovellusalueesta ovat erilaiset betonirakenteiden muottikuoret, joissa ruostumaton teräs toimii sekä betonimuottina että suojauskasena betonille ja sen raudoitteille.
- 2) Arvioida teräksen käytön uusia mahdollisuuksia ja materiaali-investoinnin kannattavuutta (elinkaarikustannukset) eri infarakentamisen tuotteissa. Elinkaarisuunnitteluun perustuvien menetelmien kehittymistä ja käyttöönottoa suunnittelussa ja tuotekehityksessä tulisi edistää. Saatua tietoa uusien tuotteiden elinkaarikustannuksilla saavutettavista säästöistä tulisi levittää kansainvälisesti esim. Euro Inoxin kautta, sillä on nähtävissä, että 5–10 vuoden aikana ainakin julkisissa investoinneissa elinkaaritarkastelun käyttö tulee useissa maissa vakiintuneeksi tavaksi.
- 3) Aktivoida kotimaisia yrityksiä, käyttäjiä ja omistajia (valtio, kunnat, muut omistajat) tuotekehitykseen järjestämällä yritysvierailuja ja koulutusta sekä esitellä uusia mahdollisuuksia alan lehdissä. Lisäksi tulisi valmistella jatkojalostusta tekevien yritysten ja Tekesin kanssa strategiaa ruostumattoman teräksen soveltamiseen tähtäävän uuden liiketoiminnan käynnistämiseksi. Tuotteita valmistavia yrityksiä tulisi tukea uusien tuotekehityshankkeiden ja niihin liittyvien markkinaselvitysten käynnistymisessä.
- 4) Selvittää mahdollisia markkinointikanavia, joiden avulla voidaan tehdä kotimaiset uudet tuotteet kansainvälisesti tunnetuiksi ja auttaa uusien tuotteiden pääsyä kansainvälisille markkinoille. Koska ruostumattoman teräksen sovellusalueet ovat laajat, mutta markkinat ovat ohuet, vienti on usein edellytys tuotekehitykselle, laiteinvestoinneille ja kannattavan liiketoiminnan aloittamiselle.
- 5) Lisätä tietämystä liitosalueiden piste- ja rakokorroosion käyttäytymisestä eri teräslajeilla. Tulisi rakentaa täyden mittakaavan koekohteita ja käynnistää 10–50 vuoden pitkäaikaiskohteita pienemmillä mallikappaleilla. Lisäksi tulisi koota tietoa jo rakennettujen kohteiden säilymisestä (vesistösiltojen suoja-kuoret, tonttien rajamerkit yms.).





## **Liite A: Esimerkki elinkaarikustannusten käytöstä investoinnin kannattavuuden arvioinnissa**

Kuvassa 1 esitetty esimerkki havainnollistaa elinkaarikustannusten merkitystä materiaalinvalinnassa. Vesistöjä ylittävien siltojen siltapilareissa on jo tällä hetkellä käytetty haponkestävästä teräksestä valmistettua muottikuorta. Kuvassa esitetyn arvion perusteella investointi muottikuoreen on perusteltua myös maanteiden eritasoristeyksien silloissa. Itse pilarin korjauksesta aiheutuu työ- ja materiaalikustannuksia, mutta vielä suuremmat kustannukset syntyvät, jos pilari joudutaan korjauksen ajaksi tukemaan. Jos yhteiskunnalliset liikennehaitoista aiheutuvat kustannukset otetaan huomioon, niiden merkitys elinkaarikustannuksissa tulee vilkasliikenteisillä väylillä määräävimmäksi.

Vertailussa on lähdetty siitä, että pilarin halkaisija on noin 1 m, korjattavia pilareita on 4 kpl ja pilarin alapään korjattava osuus on 2 m. Jos muottikuorta ei ole, yhden korjauksen osalta puhtaan korjauksen kustannus on 864 € korjattavaa metriä kohden. Se on lähes kaksinkertainen ensiasennuksen kustannuksiin (noin 500 €/m) nähden. Jos pilari joudutaan tukemaan, korjauksen hinta nousee lähes nelinkertaiseksi. Jos kyseessä on lisäksi vilkasliikenteinen väylä ja liikennehaitat otetaan huomioon, korjauksen hinta voi kasvaa jopa yli 20-kertaiseksi.

Vertailun lähtökohtana on, että korjaus joudutaan tekemään 30 ja 60 vuoden kuluttua sillan valmistumisesta, joka tiehallinnon mukaan on yleinen korjausväli. Jos diskonttauskorko on 6 %, yhden pilarin korjauskustannusten nykyarvo ilman muotti- ja liikennehaittakustannuksia on 177 € korjattavaa metriä kohden. Jos korkona käytetään 3 prosenttia, korjauskustannusten nykyarvo on lähes kolminkertainen. Jos pilari joudutaan lisäksi tukemaan, sekä 3:n että 6 %:n korolla nykyarvot kasvavat lähes nelinkertaisiksi. Jos liikennehaitat otetaan huomioon ja väylä on vilkasliikenteinen, nykyarvot kasvavat jopa yli 20-kertaisiksi.

Jos ensirakentamisessa olisi investoitu muottikuoreen, suorien korjauskustannusten nykyarvolla olisi epäedullisimmassakin tapauksessa (korko 6 %, materiaalihinta korkealla) saatu 2–5 mm paksu haponkestävä kuori. Jos liikennehaitat otetaan huomioon ja väylä on vilkasliikenteinen, haittakustannukset muodostuvat niin suuriksi, että vuorausmateriaalin hinnan osuus elinkaarikustannuksissa jää merkityksettömäksi.

Mitkä ovat muottikuoren investoinnin kustannukset verrattuna korjauksesta aiheutuvien haittojen kustannuksiin?

**Mahdolliset kustannukset:**

- piikkaustyö 150 €/m<sup>2</sup>
- ruiskubetonointi 85 €/m<sup>2</sup>
- pinnoitus 40 €/m<sup>2</sup>
- pilarin tukeminen noin 5000 €/pilari
- liikenteen häirtäkustannukset,
  - 1000 €/vrk (vähäinen liikenne, 0,2 €/ajoneuvo)
  - 10 000 €/vrk (vilkas liikenne, 0,5 €/ajoneuvo).



Yhden korjauksen kustannukset korjattavaa pilarimetriä kohden:

| φ=1 m, 4 kpl, korjattava h=2 m          | hinta (€/m) |             |             |              |
|---|-------------|-------------|-------------|--------------|
| (1) ensiasennus                         | 500         |             |             |              |
| (2) piikkaustyöt ( syvyys 6 cm)         | 471         |             |             |              |
| (3) ruiskubetonointi                    | 267         |             |             |              |
| (4) pinnoitus                           | 126         |             |             |              |
| (5) pilarin tuenta                      |             | 2500        |             |              |
| (6) liikennehaittakustannukset (2 vkoa) |             |             |             |              |
| (a) vähäinen liikenne                   |             |             | 1750        |              |
| (b) vilkas liikenne                     |             |             |             | 17500        |
| <b>Yhteensä</b>                         | <b>1364</b> | <b>3864</b> | <b>5614</b> | <b>21364</b> |
| josta korjauskustannukset               | 864         | 3364        | 5114        | 20864        |
|   | 63 %        | 87 %        | 91 %        | 98 %         |

Korjauskustannusten nykyarvo korjattavaa pilarimetriä kohden:

| korjaus 30 v + 60 v        | hinta (€/m) |           |           |
|----------------------------|-------------|-----------|-----------|
|                            | korko 0%    | korko 3 % | korko 6 % |
| pelkkä pilarin korjaus     | 864         | 503       | 177       |
| myös pilarin tuenta mukana | 3364        | 1957      | 688       |
| myös liikennehaitat mukana |             |           |           |
| (a) vähäinen liikenne      | 5114        | 2975      | 1045      |
| (b) vilkas liikenne        | 20864       | 12137     | 4265      |

Korjauskustannusten nykyarvolla saatava materiaali (1.4401: 1,5– 4 €/kg):

| (φ=1 m, muottikuoren h=2 m) | ainepaksuus (mm) |           |           |
|-----------------------------|------------------|-----------|-----------|
|                             | korko 0%         | korko 3 % | korko 6 % |
| pelkkä pilarin korjaus      | 9–23             | 5–13      | 2–5       |
| myös pilarin tuenta mukana  | 33–89            | 19–52     | 7–18      |
| myös liikennehaitat mukana  |                  |           |           |
| (a) vähäinen liikenne       | 51–136           | 30–79     | 10–28     |
| (b) vilkas liikenne         | 208–553          | 121–322   | 42–113    |

-28

*Kuva 1. Arvio muottikuoren käytön kannattavuudesta elinkaarikustannusten perusteella. Vertailuperusteena on käytetty sitä muottikuoren ainepaksuutta, joka korjauskustannuksilla olisi voitu hankkia (materiaali 1.4401, hintavaihtelu 1,5–4 €/kg).*

## Liite B: Kirjallisuusluettelo

Baboian, R. 1978. Chemistry of the automotive environment. Proc. Soc. Automotive Engineers Conference "Designing for Automotive Corrosion Prevention". S. 14–23.

Bradford, S. 2001. Practical Handbook of Corrosion Control in Soils. 411 s.

Camitz, G. & Vinka, T.-G. 2004. Soil corrosion of stainless steel pipes, vertically installed in the ground. CeoCor 7th International Corrosion Conference. Dresden, Germany. 10 s.

Carpén, L., Ehrnstén, U., Raaska, L., Kujanpää, K. & Hakkarainen, T. 2001. Microbially induced corrosion (MIC) in austenitic stainless steel used as fire extinguishing pipes. Eurocorr 2001, the European Corrosion Congress, Riva del Garda, Italy, 30.9–4.10.2001. AIM, Associazione Italiana de Metallurgia.

Carpén, L., Hakkarainen, T., Mattila, K., Raaska, L., Alakomi, H. & Salkinoja-Salonen, M. 1997. Ruostumattomien terästen mikrobikorroosio Itämeren vedessä. Raportti VALB225.

Cunat, P.-J. 2001. Corrosion resistance of stainless steel in soils and in concrete. Ceocor, Biarritz, October 2001.

Dexter, S.C. & Gao, G.Y. 1988. Effect of seawater biofilms on corrosion potential and oxygen reduction of stainless steel. Corrosion, Vol. 44, s. 717–723.

Edelstahl Rostfrei in Erdböden. 1997. Die Werkstoffgruppe Edelstahl Rostfrei, Einsatz im Erboden. Korrosionsverhalten, Verunreinigte Böden, Umhüllungen, Erdungsanlagen, Ausblick, Literatur. 8 s.

FHWA (U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration). 1996. Manual of Practice for an Effective Anti-Icing Program: A Guide for Highway Winter Maintenance Personnel. Publication No. FHWA-RD-95-202. June 1996.

Gerhold, W., Escalante, E. & Sanderson, B. 1981. The Corrosion Behavior of Selected Stainless Steels in Soil Environment, National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, Washington.

Hakkarainen, T. 1987. Ruostumattomien terästen korroosiomuodot ja korroosion välttämisen periaatteet, Optimaalinen korroosionesto, Pohto, Oulu 15.–16.10.1987.

Hakkarainen, T. & Carpén, L. 2002. Effects of Sulphate and Thiosulphate on Pitting of Heat Tint Areas of Stainless Steel. 15th International Corrosion Congress, ICC. Frontiers in Corrosion Science and Technology. Granada, Spain, September 22 to 27, 2002. National Centre for Metallurgical Research, Spanish Council for Scientific Research.

Johnsen, R. & Bardal, E. 1985. Cathodic Properties of Different Stainless Steels in Natural Seawater. Corrosion, Vol. 41, No. 5, s. 296–302.

Kobrin, G. (toim.). 1993. A Practical Manual of Microbiologically Influenced Corrosion, NACE International, Houston, Texas. 233 s. ISBN 1-877914-56-8.

Korvala, T. 1987. Suunnittelun merkitys korroosionkestävyyteen, Optimaalinen korroosionesto, Pohto, Oulu 15.–16.10.1987.

Kovach, C. & Redmond, J. 1997. High Performance Stainless Steels and Microbiologically Influenced Corrosion. Avesta Sheffield Corrosion Management and Application Engineering. 1-1997. 6 s.

Käsikirja – Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa (Kolmas painos Euro Inoxin käsikirjasta Design manual for Structural Stainless Steel). Euro Inoxin rakennussarjan julkaisu 11. 197 s.

Leino, T., Häkkä-Rönholm, E., Nieminen, J., Koukkari, H., Hieta, J., Vesikari, E. & Törnqvist, J. 1998. Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Espoo: VTT. VTT Tiedotteita 1937. 119 s.+ liitt. 11 s. ISBN 951-38-5408-6; 951-38-5409-4.  
<http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1937.pdf>.

Linhardt, P. 1996. Pitting of stainless steel in freshwater influenced by manganese oxidizing microorganisms. DECHEMA Monographs 133. S. 77–83.

McCaul, C. & Geld, I. 1978. Long Term Corrosion Tests in Roundout Reservoir, New York. Materials Performance, 5, s. 27–33.

Motoda, S., Suzuki, Y., Shinohara, T. & Tsujikawa, S. 1990. The Effect of Marine Fouling on the Ennoblement of Electrode Potential for Stainless Steels. Corrosion Science, Vol. 31, s. 515–520.

Ohlrigschläger, T., Pohjanne, P., Taulavuori, T. & Karppi, R. 2005. Low temperature stress corrosion cracking under salt deposits of austenitic stainless steels in annealed and hard cold-rolled conditions. 5th European Stainless Steel Science and Market Congress. Sevilla, Spain, 27–30 September 2005.

Outokumpu Stainless Corrosion Handbook, 2004.

Pope, D., Duquette, D., Wayner Jr., P. & Johannes, A. 1984. Microbiologically Influenced Corrosion: A State-of-the-Art Review. MTI Publication No. 13. New York. 76 s.

Report on the Corrosion of Certain Alloys. 2001. United States Environmental Protection Agency. July 2001. 71 s.

Romanoff, M. 1989. Underground Corrosion, National Bureau of Standard Circular 579, National Association of Corrosion Engineers, Houston Texas. S. 52.

Schalin, O. 1987. Korroosiokokemusten kerääminen ja kustannusten seuranta. Optimaalinen korroosionesto. Pohto, Oulu 15.–16.10.1987.

Singha, U., Wolfram, J. & Rodgers, R. 1991. Microbially influenced corrosion of stainless steels in nuclear power plants. Teoksessa: Dowling, N., Mittleman, M. & Danko, J. (toim.). Microbially Influenced Corrosion and Biodeterioration. NACE, Houston, Tx. S. 4–51.

Stainless Steel Companies Directory, Action Stainless KwaZulu Natal (ASKzn).

Todd, B. Materials Selection for High Reliability Seawater Systems.

Tähtinen, S., Varis, P., Carpen, L. & Ruusila, J. 1993. Ruostumattomien terästen turvalliset jälkikäsittelemenetelmät. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, metallilaboratorio. METB; 227. 36 s. + liitt. 52 s.

Törnqvist, J. 1997. Teräsmaalujen korroosio. RIL K75-1987. Teräsmaalujen suunnittelu ja käyttö. S. 71–97.

## VTT Working papers

- 45 Heinonen, Jaakko. Preliminary Study of Modelling Dynamic Properties of Magnetorheological Fluid Damper. 2006. 36 p.
- 46 Häkkinen, Kai & Salmela, Erno. Logistiikkapalveluyhtiömalleja Suomen metalliteollisuudessa. Havainnot vuonna 2005. SERVIISI-projektin osaraportti. 2006. 17 s.
- 47 Kurtti, Reetta & Reiman, Teemu. Organisaatiokulttuuri logistiikkapalveluorganisaatiossa. Tutkimus viidessä palveluvarastossa. 2006. 30 s.
- 48 Soimakallio, Sampo, Perrels, Adriaan, Honkatukia, Juha, Moltmann, Sara & Höhne, Niklas. Analysis and Evaluation of Triptych 6. Case Finland. 2006. 70 p. + app. 8 p.
- 49 Saarinen, Jani, Rilla, Nina, Loikkanen, Torsti, Oksanen, Juha & Alasaarela, Jaakko. Innovation environment today and tomorrow. 2006. 32 p.
- 50 Törnqvist, Jouko & Talja, Asko. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. 2006. 46 s. + liitt. 33 s.
- 51 Aikio, Sanna, Grönqvist, Stina, Hakola, Liisa, Hurme, Eero, Jussila, Salme, Kaukoniemi, Otto-Ville, Kopola, Harri, Käsäkoski, Markku, Leinonen, Marika, Lippo, Sari, Mahlberg, Riitta, Peltonen, Soili, Qvintus-Leino, Pia, Rajamäki, Tiina, Ritschkoff, Anne-Christine, Smolander, Maria, Vartiainen, Jari, Viikari, Liisa & Vilkmann, Marja. Bioactive paper and fibre products. Patent and literary survey. 2006. 83 p.
- 52 Alanen, Raili & Hätönen, Hannu. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. State of art -selvitys. 2006. 84 s.
- 53 Pasonen, Markku & Hakkarainen, Toni. Kaukolämpölinjojen elinikä ja NDT. 2006. 27 s.
- 54 Hietaniemi, Jukka, Toratti, Tomi, Schnabl, Simon & Turk, Goran. Application of reliability analysis and fire simulation to probabilistic assessment of fire endurance of wooden structures. 2006. 97 p. + app. 23 p.
- 55 Holttinen, Hannele. Tuulivoiman tuotantotilastot. Vuosiraportti 2005. 2006. 38 s. + liitt. 7 s.
- 56 Häkkinen, Kai, Hemilä, Jukka, Salmela, Erno & Happonen, Ari. Logistiikka Belgiassa. Vierailukokemuksia keväältä 2006. 2006. 33 s.
- 57 Kulmala, Risto. Tiehallinto ja liikenteen tietopalvelut. Selvitysmiehen muistio. 2006. 29 s. + liitt. 3 s.
- 59 Graczykowski, Cezary & Heinonen, Jaakko. Adaptive Inflatable Structures for protecting wind turbines against ship collisions. 2006. 86 p. + app. 39 p.
- 60 Käsäkoski, Markku, Kurkinen, Marika, von Weymarn, Niklas, Niemelä, Pentti, Neubauer, Peter, Juuso, Esko, Eerikäinen, Tero, Turunen, Seppo, Aho, Sirkka & Suhonen, Pirkko. Process analytical technology (PAT) needs and applications in the bioprocess industry. Review. 2006. 99 p.
- 61 Välisalo, Tero, Räikkönen, Minna & Lehtinen, Erkki. Asset Management vesihuollossa. Kirjallisuustutkimus. 2006. 79 s. + liitt. 8 s.
- 62 Holt, Erika. Current trends in USA building research. 2006. 26 p. + app. 7 p.
- 65 Talja, Asko, Törnqvist, Jouko, Kivikoski, Harri, Carpén, Leena & Nippala, Eero. Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa. 2006. 31 s. + liitt. 5 s.