

Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu

Tapio Leino, Eva Häkkä-Rönholm, Jyri Nieminen,
Heli Koukkari, Jouni Hieta & Erkki Vesikari

VTT Rakennustekniikka

Jouko Törnqvist

VTT Yhdyskuntatekniikka



ISBN 951-38-5408-6 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5409-4 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1998

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakennusmateriaalit ja -tuotteet sekä puutekniikka, Kemistintie 3, PL 1807, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7003

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsmaterial och -produkter, träteknik, Kemistvägen 3, PB 1807, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7003

VTT Building Technology, Building Materials and Products, Wood Technology,
Kemistintie 3, P.O.Box 1807, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7003

VTT Yhdyskuntatekniikka, Väylät ja ympäristö, Lämpömiehenkuja 2, PL 19031, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 463 251

VTT Samhällsbyggnad och infrastruktur, Infrastruktur och miljö, Värmemansgränden 2, PB 19031, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 463 251

VTT Communities and Infrastructure, Infrastructure and Environment,
Lämpömiehenkuja 2, P.O.Box 19031, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 463 251

Toimitus Leena Ukoski

Libella Painopalvelu Oy, Espoo 1998

Leino, Tapio, Häkkä-Rönholm, Eva, Nieminen, Jyri, Koukkari, Heli, Hieta, Jouni, Vesikari, Erkki & Törnqvist, Jouko. Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu [Service life design of steel structures]. Espoo 1998, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1937. 119 s. + liitt. 11 s.

Avainsanat steels, steel construction, steel structures, service life, steel piles, thin plate steels, composite structures, coatings

Tiivistelmä

Teräksestä valmistettujen rakenteiden ja tuotteiden käyttöikä ei ole ollut kovin merkittävä ongelma, mikä johtuu pääasiassa teräksen käytön lyhyestä historiasta talonrakennuksessa. Terästä on kuitenkin jo pitkään aikaa käytetty melko suurina ainepaksuuksina teollisuus- ja siltarakenteissa. Viime aikoina terästä on alettu käyttää yhä enemmän katto- ja ulkoseinäverhoilussa ja muissa erikoistuotteissa, kuten maa- ja vesirakenteissa, sekä ns. talorakenteissa, kuten palkeissa, pilareissa, perustuksissa, väliseinissä, parveke- ja julkisivurakenteissa, ja rakennusten välipohjissa esim. liittorakenteina.

Rakennusten ennustettava käyttöikä on nousemassa puheenaiheeksi rakenteiden suunnittelussa ja rakennustuotteiden markkinoinnissa, missä ympäristövaatimukset ja kunnossapidon ennustettavuus ovat takuiden ja rakennustuoteajattelun takia lisääntymässä. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa B7 rakenteiden pitkäaikaistoimivuutta on käsitelty lähinnä niiden kestävyiden kannalta, jolloin teräksen korroosio on mielletty lähes ainoaksi asiaan vaikuttavaksi tekijäksi. Rakenteiden toimivuus niiden käyttöiän aikana riippuu kuitenkin lähes yhtä paljon monista muista seikoista, joista pienimpiä ei suinkaan ole ihmisen oman toiminnan tai siihen mahdollisesti liittyvän huolimattomuuden muodostama uhka rakenteille.

Teräsrakennetuotteiden myyntiin liittyvän teknisen neuvonnan helpottamiseksi tässä tutkimuksessa selvitettiin teräsrakenteiden käyttöiän ennustamista ja siihen vaikuttavia seikkoja kolmen eri rakennustuoteryhmän osalta. Nämä ovat ulkoseinäverhoilutuotteet, maa- ja vesirakenteet ja liittorakenteet. Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttöiän suunnittelussa teräsrakenteiden suunnitteluohjeen B7 suojausmenettelyjen tai korroosiovaran sijasta kolmeen päästrategiaan, joita voidaan soveltaa ko. rakennustuotteelta yleisesti vaadittavan käyttöiän, käyttöympäristön ja olosuhteiden mukaan. Strategiat ovat:

- 1) **Ennakoituun käyttöikään perustuva menettely**, jota sovelletaan lähinnä ohutlevyistä tehdyille melko lyhyen käyttöiän tuotteille, kuten pinnoitetuille seinä- ja katto-paneelleille ja levyille, joille ei tehdä muuta suojausta kuin ehkä muovipinnoitus ja joiden tuleva käyttöikä tulee siksi voida arvioida luotettavasti jo niitä myytäessä ja toimitettaessa,
- 2) **Suojausmenettely** (useita suojaustapoja), jota sovelletaan lähinnä erikoisempiin olosuhteisiin toimitettaville terästuotteille, jotka saattavat olla tehtyjä joko ohutlevyistä

tai paksummasta materiaalista, mutta joilta kuitenkin odotetaan selvästi pitempiä käyttöikä,

- 3) **Käyttöikämitoitus**, jota on syytä soveltaa suunnittelumenetelmänä lähinnä paksummasta teräsmateriaalista valmistetuille tuotteille, joilta odotetaan kyseisissä tai muuttuvissa olosuhteissa pitkää käyttöikää, jota valvotaan ja tuetaan esimerkiksi kunnossapidon menetelmin.

Rakenteen tai tuotteen ennakoitu käyttöikä on laskettavissa, mikäli tunnetaan riittävän hyvin tuotteen ns. vertailukäyttöikä sekä sen tuotteen asennus- ja käyttöolosuhteista riippuvat korjauskertoimet. Laskentakaava esitettiin standardiluonnoksessa ISO/CD 15686-1, mutta siihen liittyvien kertoimien arvoista on olemassa vasta hyvin vähän tutkimustietoa. Tässä tutkimuksessa ko. menettelyä pyrittiin tarkentamaan tutkimuksessa mukana olleiden terästuoteryhmien osalta.

Leino, Tapio, Häkkä-Rönholm, Eva, Nieminen, Jyri, Koukkari, Heli, Hieta, Jouni, Vesikari, Erkki & Törnqvist, Jouko. Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu [Service life design of steel structures]. Espoo 1998, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1937. 119 p. + app. 11 p.

Keywords steels, steel construction, steel structures, service life, steel piles, thin plate steels, composite structures, coatings

Abstract

The service life of the steel structures or steel building products has not been a noticeable problem mainly due to the short history of the use of steel in Finland in the office buildings or the apartment houses. As thicker plates, however, steel has already for a long time been used in the frames of the industrial buildings and in bridge structures where the maintenance of steel has primarily been produced by the protective painting or some other types of protection. Lately, also in Finland, the use of steel has spread itself to the roof and wall covers and the other parts like the steel framing and the floor structures of the office buildings. Steel has also been widely used in earth and water structures as well as in special structures which have to endure the special atmospheric conditions.

The design life and the predicted service life of the steel products is becoming a more and more important subject in the design and marketing of steel structures and products. The environmental and maintenance issues are also becoming more important. The design codes are not considering the predicted design life but merely advice to protect the frame material or to add some thickness to it depending on the design life demand. They also consider the corrosion of steel as almost the only cause for the steel structure to lose its resistance or be damaged. The serviceability of the steel structure depends however almost as much on other things among which the neglectfulness of the user himself is not the smallest factor.

In order to have more information about the service life of steel products for the technical advisory personnel different matters affecting the design and service lives of steel were studied. The cases were chosen from the three major product lines, i.e. thin plate steel products, steel products to be used in the earth and water, composite steel and concrete steel products.

Three different design strategies were identified:

- a) the method of predicted service life, for products of relatively short service life,
- b) protective methods for protecting the surface of steel, for products used in especially wearing conditions,

c) the design method for defining the service life of a steel product, which is used in cases where relatively long service lives in changing environments are expected.

A calculation method (ISO/CD 15686-1) for calculating the predicted service life of a steel product exists, but it requires knowledge of the reference service life and the correction factors of it originating from the conditions of the installation and use. So far, there is not much information available concerning these factors.

Alkusanat

Tutkimusprojekti "Teräsrakenteiden pitkäaikaistoimivuus" suoritettiin kolmena erillisenä pääprojektina, joista ensimmäinen aloitettiin vuonna 1995. Pääprojektit jaettiin tutkimuksellisista ja terästuoteryhmäkohtaisista syistä alaprojekteihin, jotta saatiin riittävä tiedonsiirto ja sopiva vaiheistus kuhunkin osaprojektiin päällekkäisen tutkimuksen välttämiseksi. Aloituspäivä vuonna 1995 tutkittiin pääasiassa aiheeseen liittyviä ohjeita ja standardeja sekä aloitettiin ulkoseinäverhoilutuotteisiin liittyvän kokeellisen ja kohdetiedon keruu, josta oli tarkoitus saada aikaan riittävä referenssitiedosto teräksen korroosiosta ja pitkäaikaistoiminnasta ja siihen liittyvistä ongelmista rakennusten katoissa ja ulkoseinissä. Tietoa kerättiin lähes 50 eri kohteessa erilaisissa ympäristöolosuhteissa eri puolilla Suomea. Maa- ja vesirakenteiden sekä liittorakenteiden osalta tehtiin pelkästään kirjallisuustutkimusta.

Ensimmäisessä jatkoprojektissa 1/1996 - 4/1997 jatkettiin suunnitteluohjeisiin ja aiheeseen liittyviin standardeihin sekä ulkomailta kehittyviin mitoitusmenetelmiin liittyvää tutkimusta. Ohutlevyverhoilutuotteiden osalta täydennettiin kohteisiin liittyvää tietämystä, tarkennettiin tietoja ko. rakenteiden vaurioista ja ongelmista sekä tehtiin eristysmateriaalien ja ohutlevyjen yhteistoimintaan liittyviä laskelmia ja myös korroosiokokeita. Maa- ja vesirakenteiden osalta päätettiin hyödyntää VTT Yhdyskuntatekniikan keräämä laaja aineisto koskien teräsrakenteita maassa ja suoritettiin eräitä tutkimuksia teräksisille satamarakenteille. Liittorakenteiden osalta jatkettiin kirjallisuustutkimusta erityisesti uudempien betonilaatujen ja teräksen sinkkipinnoitteen välisistä reaktioista.

Toisessa jatkoprojektissa 5/1997 - 6/1998 täydennettiin ohutlevyrakenteisiin liittyviä tutkimustietoja, tehtiin jonkin verran vesi- ja liittorakenteisiin liittyviä kokeita ja analysoitiin maarakenteisiin liittyvä tutkimusaineisto sekä tilastollisin että neuroverkkomenetelmin. Kaikkien tuoteryhmien tutkimuksesta kirjoitettiin loppuraportti, ja raportin alkuun laadittiin yleinen käyttöikämitoituksen nykytilaa, ohjeita ja standardeja koskeva selvitys ja menetelmäkuvaus.

Projektissa kerättiin runsaasti kokemusperäistä ja käytännön kohteisiin liittyvää referenssitietoa, jota on mahdollisuus hyödyntää sekä teräsrakenteiden suunnittelijakoulutuksessa että terästuotteisiin liittyvässä teknisessä neuvonnassa. Käyttöikämitoituksen menetelmän osalta tutkimus on tuottanut tietoa tuotteiden käyttö- ja ympäristöolosuhteista, mutta käyttöiän mitoitusmenetelmässä tuotteiden olennaisia vertailuarvoja ei ole vielä käytettävissä, joten rakennustuotteiden kokeellista tutkimusta tarvitaan jatkossa lisää.

Tutkimusprojektin johtoryhmässä ovat koko pääprojektin ajan toimineet Petri Meller, puheenjohtaja, Rautaruukki Oy, Jouko Lehtonen, Rautaruukki Oy, Tom Warras, Tekes, Jouko Kouhi, Finnsteel-teknologiaohjelma, Pekka Roitto, Enso Oy, Pertti Rissanen,

Ilmailulaitos, Esa Martti, Teräselementti Oy ja Eva Häkkä-Rönholm, VTT Rakennustekniikka. Projektin päällikkönä toimi erikoistutkija Tapio Leino VTT Rakennustekniikasta ja sen eri osaprojektien vetäjinä toimivat Erkki Vesikari (menetelmä), Jyri Nieminen (ohutlevyt), Jouni Hieta (maa- ja vesirakenteet), Heli Koukkari (liittorakenteet). Maa- ja vesirakenneprojektista suuri osa tehtiin VTT Yhdyskuntatekniikassa, missä vastaavana projektipäällikkönä toimi Jouko Törnqvist.

Tutkijat kiittävät johtoryhmää asiantuntevasta ja käytännön tarpeita ja ongelmia tuntevasta pätevästä ohjauksesta ja kärsivällisyydestä tuloksia käsiteltäessä. Pitkän projektin aikana tutkittiin ja käsiteltiin asioita ja menetelmiä, joiden uutuus saattaa jopa vaikeuttaa niiden täyttä hyödyntämistä.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	5
Alkusanat	7
1. Johdanto	12
1.1 Soveltamisala	12
1.2 Käyttöikä virallisissa ohjeissa	12
1.3 Käyttöikäsuunnittelun käsitteitä	14
1.3.1 Määritelmiä	14
1.3.2 Käyttöikäkäsitteiden selityksiä	15
2. Käyttöikäsuunnittelun perusteet	17
2.1 Käyttöikäsuunnittelun lähtökohta ja sisältö	17
2.2 Käyttöikäsuunnittelun menettelytavat	17
2.3 Ennakoituun käyttöikään perustuva käyttöikäsuunnittelu	18
2.3.1 Suunnitteluperiaate	18
2.3.2 Suunniteltu käyttöikä	19
2.3.3 Ennakoitu käyttöikä	21
2.4 Suojausmenettely	23
2.4.1 Suunnitteluperiaate	23
2.4.2 Suojaustavat	23
2.5 Käyttöikämitoitus	24
2.5.1 Suunnitteluperiaate	24
2.5.2 Käyttöikämitoituksen menetelmät	24
2.5.3 Rakenteellinen käyttöikämitoitus	26
2.6 Ympäristön rasitusluokat	27
2.6.1 ISO 9223 "Corrosion of metals and alloys - Classification of corrosivity"	27
2.7 Kunnossapitosuunnitelma	30
3. Teräsohutlevyrakenteiden käyttöikäsuunnittelu	31
3.1 Suunnitteluperiaatteet	31
3.1.1 Tekninen toimivuus ja kestävyys	31
3.1.2 Esteettinen toimivuus ja kestävyys	35
3.1.3 Ohutlevyverhouksen riskit ja suojaustarve	36
3.2 Verhoustuotteiden ja -tarvikkeiden ennakoitu käyttöikä	39
3.2.1 Tekninen käyttöikä	39
3.2.2 Esteettinen käyttöikä	41

3.3 Kunnossapito	42
4. Paalut ja ponttiseinät	43
4.1 Soveltamisalue	43
4.2 Rakenteen varmuus ja syöpyminen	43
4.3 Korroosiotekninen maakerros	45
4.4 Mitoittava korroosio	46
4.5 Tasainen korroosio	48
4.5.1 Tasainen korroosio luonnonmaakerroksissa	48
4.5.2 Tasaisen korroosion määrittely käsikirjamenettelyllä	49
4.5.2.1 Korroosiotutkimus	49
4.5.2.2 Korroosio käsikirjoissa	51
4.5.3 Tasaisen korroosion määrittely empiiriseen aineistoon perustuen	52
4.5.3.1 Aineisto	52
4.5.3.2 Tasainen korroosio yleistettyjä vuorosuhteita käytettäessä	64
4.5.3.3 Tasaisen korroosion arviointi neurolaskentaa käyttäen	66
4.6 Kuoppakorroosio	69
4.7 Tavoitekäyttöiän määrittely	73
4.8 Käyttöikämitoitus	74
4.9 Mitoitusesimerkki	77
5. Pinnoitettujen maa- ja vesirakenteiden käyttöikäsuunnittelu	82
5.1 Suunnittelun perusteita	82
5.1.1 Pinnoite korroosionestona	82
5.1.2 Pinnoitteiden valintaperusteita	83
5.1.3 Pinnoittaminen maalaamalla	84
5.1.4 Sinkitysmenetelmät	85
5.1.5 Pinnoituksen huomioonottaminen rakenteiden suunnittelussa	86
5.1.6 Sinkkipinnoitteen syöpyminen	87
5.2 Käyttöiän määrittely pinnoitetuille rakenteille	92
5.2.1 Suojamaaliyhdistelmillä pinnoitetut rakenteet	94
5.2.2 Kuumasinkityksellä pinnoitetut rakenteet	97
5.2.3 Sekarakenne	97
5.3 Kunnossapitosuunnittelu	98
6. Liittorakenteiden käyttöikäsuunnittelu	100
6.1 Käyttöiän osatekijät	100
6.2 Liittorakenteen käyttöikämitoitus	101
6.2.1 Käyttöikämitoituksen periaate	101
6.2.2 Liittorakenteen teräsosan käyttöikämitoitus	102
6.2.3 Liittorakenteen ohutlevyn käyttöikämitoitus	104
6.2.4 Betoniosan käyttöikämitoitus	105

6.2.5 Liittimien käyttöikä	106
6.3 Liittorakenteen ennakoitu käyttöikä	106
6.3.1 Liittorakenteen käyttöiän standardiarvo	106
6.3.2 Liittorakenteen käyttöikäkertoimet	107
6.4 Käyttöikätekijät eri liittorakenteissa	107
6.4.1 Liittolaatat	107
6.4.2 Liittopilarit	108
6.4.3 Liittopalkit	108
6.4.4 Siltarakenteet	109
6.4.5 Rakenteelliset liitokset	109
7. Massiivisten teräsrakenteiden suunnittelu ohjeiden B7 ja EC3 mukaan	110
Lähdeluettelo	113
LIITE	
Liite 1: Teräspaalujen korroosio maassa, Rakentamismääräykset eri maissa	

1. Johdanto

1.1 Soveltamisala

Nämä suunnittelusuositukset koskevat teräsohutlevyistä valmistettujen ulkoverhoilutuotteiden, teräksestä ja teräsohutlevyistä valmistettujen maa- ja vesirakenteiden sekä liittorakenteiden käyttöikäsuunnittelua. Suositukset sisältävät lisä- ja taustatietoa Eurocode 3:n /1/ ja Suomen rakentamismääräyskokoelman Ohjeen B7 /2/ käyttöikää koskeviin suunnitteluohjeisiin.

Käyttöikäsuunnittelussa keskeisenä suunnittelukriteerinä on rakenteen ikä. Suunnittelijan tehtävänä ei ole ainoastaan rakenteen lujuuden ja varmuuden takaaminen vaan myös tavoitekäyttöiän saavuttamisen varmistaminen. Monissa tapauksissa perinteiset rakenteiden säilyvyyden varmistussäännöt, kuten minimisyöpymislisät ja minimisuojaerospaksuudet, eivät ole riittäviä, vaan rakenteet ja niiden suojakerrokset tulee mitoittaa siten, että rakenteiden laskennallinen käyttöikä materiaaleissa tapahtuva turmeltuminen huomioon ottaen saavuttaa tavoitekäyttöiän. Keskeisenä suunnitteluperiaatteena on, että tavoitekäyttöiän saavuttaminen tulee jotenkin osoittaa.

Edellä mainitun perusteella kaikki rakenteet luetaan periaatteessa käyttöikäsuunnittelun piiriin. Vaikka rakenteet olisivat sisätiloissa tai muuten ympäristönsä puolesta suojattuja, on tärkeää, että rakennesuunnittelija niissäkin tapauksissa toteaa riittävän suojauksen olevan voimassa ja että olosuhteet käyttöiän aikana eivät todennäköisesti muutu siten, että materiaalien nopea turmeltuminen olisi myöhemminkään mahdollista. Luonnollisesti käyttöikäsuunnittelu on tärkeintä rakenteilla, jotka joutuvat alttiiksi säälle tai muuten sellaisiin rasituksiin, joissa materiaalien nopea turmeltuminen on mahdollista.

1.2 Käyttöikä virallisissa ohjeissa

Viime aikoina ilmestyneet viralliset ohjeet painottavat entistä enemmän pitkäaikaiskestävyyden merkitystä rakenteiden suunnittelussa. Tämä näkyy selvästi mm. Eurocode 1:ssä sekä EU:n rakennustuotedirektiivissä.

Eurocode 1 osa 1 /3/ (suunnitteluperusteet) esittää rakenteiden suunnittelusta mm. seuraavaa:

- (1) Rakenne tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että se hyväksyttävällä todennäköisyydellä, kun otetaan huomioon tavoiteltava käyttöikä (intended life) ja kustannukset,
 - pysyy tarkoitukseensa nähden soveltuvana ja
 - kestää asianmukaisella luotettavuudella kaikki kuormat ja vaikutukset, jotka todennäköisesti esiintyvät toteutuksen ja käytön aikana.

(2) Kohta (1) tarkoittaa sitä, että säilyvyys otetaan huomioon rakenteen varmuuden ja käyttöönsoveltuvuuden suunnittelussa.

Mitoitustilanteet on valittava ottaen huomioon ne olosuhteet, joissa rakenne tulee olemaan käytön aikana. Valittujen mitoitustilanteiden on oltava riittävän ankaria ja moninaisia, jotta ne kattaisivat kaikki rasitukset, joiden voidaan kohtuudella odottaa esiintyvän rakenteen toteutuksen ja käytön aikana.

Eurocode 1 menee useimpien kansallisten standardien edelle siinä, että se esittää selviä ikävaatimuksia rakenteille (taulukko 1). Suunniteltu käyttöikä (design working life) on oletettu ajanjakso, jonka aikana rakennetta käytetään aiottuun tarkoitukseensa ennakoituin kunnossapitotoimenpitein ilman olennaisia korjauksia.

Taulukko 1. Suunnitellun käyttöiän luokitus (ENV 1991-1) /3/.

Luokka	Vaadittu suunniteltu käyttöikä (vuosia)	Esimerkki
1	[1 - 5]	Tilapäiset rakenteet
2	[25]	Vaihdettavat rakenneosat, esim. nosturipalkit, laakerit
3	[50]	Rakennuksen rakenteet ja muut yleiset rakenteet
4	[100]	Monumentaalisten rakennusten rakenteet, sillat ja muut maa- ja vesirakennusten rakenteet

Ikävaatimukset on esitetty hakasuluissa, koska ne ovat ohjeellisia ja voidaan korvata kansallisilla ikävaatimuksilla. EC1:n Suomen sovellusasiakirjassa todetaan, että ikävaatimuksia ei toistaiseksi sovelleta lainkaan Suomessa /9/.

EU:n rakennustuotedirektiivin /4/ mukaan rakennustuotteiden on täytettävä olennaiset vaatimukset (mekaaninen lujuus ja vakavuus, paloturvallisuus, hygienia, terveys ja ympäristö, käyttöturvallisuus, meluntorjunta sekä energiatalous ja lämmöneristys) **taloudellisesti kohtuullisen käyttöiän ajan**. Taloudellisesti kohtuullinen käyttöikä edellyttää sitä, että kaikki tuotteen kustannukset, kuten suunnittelu, valmistus, kunnossapito ja huolto sekä käytöstä poistaminen, otetaan huomioon. Lisäksi taloudellisesti kohtuullinen käyttöikä sisältää ympäristönäkökohtien huomioonottamisen. Tuotteen hyvä säilyvyys ja pitkä käyttöikä parantavat tuotteen kokonaistaloudellisuutta ja ympäristöllistä haitattomuutta, mikä on otettava tuotteiden kehittämisessä ja laadunvalvonnassa huomioon.

Rakenteellinen käyttöikäsuunnittelu on nähtävä osana yleistä elinkaarisuunnittelua rakentamisessa. Rakenteellisen käyttöikäsuunnittelun ohella elinkaarisuunnitteluun sisältyvät ekologinen suunnittelu (LCA-analyysit) ja taloudellinen pitkän tähtäyksen suunnittelu (LCC-analyysit). Rakennustuotedirektiivin määräykset edellyttävät periaatteessa elinkaarianalyysien soveltamista tuotekehityksessä ja rakentamisessa. Elinkaari-analyyseissa otetaan huomioon kaikki tuotteen valmistuksesta, käytöstä, hoidosta, kunnossapidosta ja loppusijoituksesta syntyneet taloudelliset kustannukset tai ympäristövai-
kutukset.

1.3 Käyttöikäsuunnittelun käsitteitä

1.3.1 Määritelmiä

Toimivuus (performance)

Tuotteen suoriutuminen tarkoitetussa käytössä.

Säilyvyys (durability)

Tuotteen kyky säilyttää vaadittava toimivuus rasiustekijöiden alaisena.

Kestävyys (resistance)

Rakennustuotteiden ja niissä olevien materiaalien kyky vastustaa rasituksia.

Käyttöikä (service life)

Aika, jona rakennustuote asianmukaisesti hoidettuna täyttää sille asetetut vaatimukset.

Kestoikä (life time)

Aika, jonka päätyessä rakennustuote tai materiaali on joko tuhoutunut tai turmeltunut niin pahoin, ettei sitä voida käyttää.

Rasitus (agent)

Rakennuksen tai rakennustuotteen käytöstä, ympäristöstä tai rakenteesta itsestään johtuva turmeleva tekijä.

Tavoiteikä (intended life)

Tilaaajan, rakennuttajan tai suunnittelijan määrittämä käyttöikä.

Suunniteltu käyttöikä (design life, design working life)

ks. tavoiteikä

Käyttöikävaatimus (required service life)

Hankinta-asiakirjoissa asetettu rakennustuotteen käyttöikää koskeva vaatimus.

Ennakoitu käyttöikä (predicted service life)

Palautetiedoista tai kokeellisista ja matemaattisista tiedoista johdettu käyttöikäennuste.

Käyttöiän laskenta-arvo (design value of service life)

Käyttöiän osavarmuusluvulla kerrottu tavoiteikä, jota käytetään rakenteellisessa käyttöikämitoituksessa.

Vanhanaikaistuminen (obsolescence)

Rakennuksen tai sen osan käyttöiän lyheneminen muiden kuin mekaanisten, kemiallisten tai fysikaalisten syiden vuoksi (innovaatiot, säädökset, uudet käyttötarpeet ja -tavat, käyttökustannusmuutokset, maan arvon nousu yms.).

Kunnossapitajakso (maintenance cycle)

Toistuvien kunnossapitotoimenpiteiden (esim. maalausten, kunnostusten, osittaisen uusimisen) välinen jakso.

Kestävyysmalli (durability model)

Materiaalin turmeltumista kuvaava laskennallinen kaava.

Käyttöiän laskenta-arvo (design value of service life)

Rakenteiden suunnittelussa käytettävä käyttöiän pituus, joka saadaan kertomalla tavoiteikä käyttöiän osavarmuusluvulla.

Käyttöiän osavarmuusluku (life time safety factor)

Luku, jolla tavoiteikä on kerrottava, jotta saadaan käyttöiän laskenta-arvo.

Rajatila (limit state)

Rakenteen tai materiaalin alin hyväksyttävä toimivuuden tila.

Vaurio (failure)

Toiminnallisen rajatilan alittuminen.

Vauriotodennäköisyys (probability of failure)

Todennäköisyys sille, että vaurio tapahtuu.

1.3.2 Käyttöikäkäsitteiden selityksiä

Toimivuus

Toimivuudella tarkoitetaan yleisesti rakenteen tai rakennustuotteen suoriutumista käytönaikaisissa olosuhteissa ja rasituksissa. Toimivuudella voidaan tarkoittaa kantavuutta, varmuutta, tiiviyyttä, eristyskykyä, akustisia ominaisuuksia, ulkonäköä tms. ominaisuutta, jolla on merkitystä rakenteen käytön suhteen. Jotta käyttöikä voitaisiin käytännössä määritellä toimivuuden avulla, sen tulee olla mitattavissa oleva suure.

Toimivuus on periaatteessa aina ajan funktio. Ajan mukana erilaiset rasitukset heikentävät rakenteen tai rakennustuotteen toimivuutta. Siten toimivuus kytkeytyy säilyvyyskäsitteeseen. Säilyvyydellä tarkoitetaan kykyä säilyttää vaadittava toimivuus eri rasitustekijöiden alaisena.

Toimivuuskäsitteitä voidaan soveltaa eri tasoilla: 1) rakennusten 2) rakenteiden tai 3) materiaalien tasolla. Eri tasojen välillä on useimmiten vuorovaikutuksia.

Toimivuuden pienintä sallittua arvoa kutsutaan rajatilaksi.

Käyttöikä

Käyttöikä on se aika, jona rakennustuote asianmukaisesti hoidettuna täyttää sille asetetut vaatimukset. Vaatimukset asetetaan yleensä toimivuusperiaatteella, joten rakenteen käyttöikä voidaan määrittellä myös ajanjaksona, jona kaikki rakenteen toimivuusvaatimukset ovat täytettyjä. Kuten toimivuutta, myös käyttöikää voidaan tarkastella rakennus-, rakenne- tai materiaalitasolla.

Periaatteessa rakennusten, rakenteiden tai materiaalien käyttöikään vaikuttavat sekä fyysinen turmeltuminen (degradation) että vanhanaikaistuminen (obsolescence). Erilaisia vanhanaikaistumisen muotoja ovat taloudellinen, toiminnallinen, teknologinen, sosiaalinen, paikallinen, lakisääteinen, esteettinen (muoti, imago) ja ympäristöllinen vanhanaikaistuminen. Vanhanaikaistumista ei voida yleensä ajallisesti ennakoida. Se voidaan ottaa suunnittelussa huomioon huolehtimalla siitä, että rakennukset ja rakenteet ovat muunneltavia, ts. tiloja voidaan joustavasti muuntaa tarpeen mukaan ja rakenteet ovat helposti vaihdettavissa. Jäljempänä tässä suosituksessa rakenteiden vanhanaikaistumista ei tarkastella tämän enempää, vaan keskitytään yksistään rakenteiden fyysisestä turmeltumisesta johtuvaan toimivuuden heikkenemiseen ja siitä johtuvaan käyttöiän pituuden määräytymiseen.

Fyysinen turmeltuminen vaikuttaa heikentävästi rakenteen tekniseen toimivuuteen (technical performance), ulkonäköön (appearance) ja käytettävyyteen (serviceability). Teknisiin toimivuusvaatimuksiin kuuluvat mm. vaatimukset rakennusten stabiiliudesta, rakenteiden kantokyvystä ja materiaalien lujuudesta. Yleensä nämä vaatimukset on määritelty standardeissa ja suunnitteluasiakirjoissa. Teknillinen käyttöikä päättyy, kun nämä vaatimukset eivät enää täyty.

Ulkonäköön ja käytettävyyteen liittyvät vaatimukset voidaan käsitellä samalla tavalla kuin teknilliset vaatimukset, jos ne voidaan ilmaista mitattavalla tavalla.

Käyttöiän täsmällinen määrittely edellyttää myös rakenteille tehtävien hoitotoimenpiteiden määrittelyä. Niinpä käyttöiän määrittelyyn on lisätty hieman epätarkka ilmaisu 'asianmukaisesti hoidettuna'. Asianmukaisen hoidon merkitys ja sisältö on täsmennettävä kussakin tapauksessa erikseen.

2. Käyttöikäsuunnittelun perusteet

2.1 Käyttöikäsuunnittelun lähtökohta ja sisältö

Käyttöikäsuunnittelulla tarkoitetaan suunnitteluratkaisujen, rakennetarvikkeiden ja -materiaalien valintoja, jotka perustellaan käyttöikäsuunnittelun menetelmin ottaen huomioon asetetut käyttöikä- ja kustannustavoitteet, sekä käyttöikään liittyvien vaatimusten siirtämistä suunnitteluasiakirjoihin urakoita ja hankintoja varten.

Käyttöikäsuunnittelulla osoitetaan, että rakenne etukäteen määritellyllä todennäköisyydellä saavuttaa sille asetetun tavoiteikänsä. Tapoja, jolla tämä osoitetaan, voi olla useampia. Käyttöikäsuunnitteluun liittyy systematiikka, jolla varmistetaan, että kaikki rakenteisiin kohdistuvat ympäristö- ja käyttöärsitukset, käytönaikainen hoito ja kunnossapito, materiaalit ja niiden ominaisuudet, toimivuusvaatimukset, jne. otetaan huomioon rakenteiden toimivuutta ja ikää arvioitaessa.

Rakenteiden ja materiaalien pitkäikäisyys joudutaan usein varmistamaan tuotekohtaisella hoidolla ja kunnossapidolla; ts. rakenteita joudutaan korjaamaan, kunnostamaan tai mahdollisesti vaihtamaan uuteen käyttöikänsä aikana. Käyttöikänsä saavuttamisen varmistamiseksi tarvittavat kunnossapidolliset toimenpiteet määritellään sisällöllisesti ja ajallisesti kunnossapitosuunnitelmassa.

2.2 Käyttöikäsuunnittelun menettelytavat

Käyttöikäsuunnittelun toteutuksessa on kolme valinnaista menettelytapaa:

1. ennakoituun käyttöikänsä perustuva menettely
2. suojausmenettely
3. käyttöikämitoitus.

Rakenteille ja eri tuoteryhmille on olemassa suosituksia käyttöikämitoituksen menettelytapojen käytöstä. Taulukossa 2 esitetään tämän suosituksen piiriin kuuluvat teräsrakenteet ja tuoteryhmät, niiden suositellut käyttöikäsuunnittelun menettelytavat sekä viittaukset lukuihin, joissa näitä käsitellään.

Taulukko 2. Käyttöikäsuunnittelun suositellut menettelytavat eri tuoteryhmille.

Rakenne/tuoteryhmä	Käyttöikäsuunnittelun menettelytapa	Viite/luku
Kantavat ja massiiviset rakennusten runko- ja muut teräsrakenteet	Käyttöikämitoitus tai suojausmenettely	7
Teräsohutelvyrakenteet, kuten - ei-kantavat ulkoseinät - väliseinän rakenteet - katon ja ulkoseinien verhoilulevyt - kiinnitykset, installaatiot	Ennakoituun käyttöikään perustuva menettely	3
Maassa olevat tai ilmastorasetut rakenteet, kuten - paalut ja ponttiseinät - meluaidat, kaiteet, pylvääät - geoprofiilit, aallotetut putkisillat - rumpuputket - virtaus- ja lämpöputket	Käyttöikämitoitus tai suojausmenettely	4
Vesirakenteet, kuten - kelluvat vesirakenteet - merirakenteet	Lähinnä suojausmenettely	5
Liittorakenteet, kuten - välipohjarakenteet - liittopilarit ja -palkit	Käyttöikämitoitus tai suojausmenettely	6

2.3 Ennakoituun käyttöikään perustuva käyttöikäsuunnittelu

2.3.1 Suunnitteluperiaate

Menettely perustuu ISO-standardiin, joka määrittelee rakennuksille ja rakennusosille kaksi ikää (standardiluonnos ISO/CD 15686 /6/). **Suunniteltu käyttöikä** tai **suunniteltu elämä** (design life) on suunnittelijan yhdessä rakennuksen omistajan kanssa määräämä rakennuksen tai rakennusosan käyttöikätaavoite tai -vaatimus. **Ennakoitu käyttöikä** (forecast service life) on rakennuksen tai rakennusosan kokeellisesti, kokemusperäisesti tai laskennallisesti arvioitu käyttöikäennuste.

Ennakoituun käyttöikään perustuvaa menettelyä käytetään lähinnä erilaisille tuotteille, joiden käyttöiän ennakoinnissa suunnittelija voi käyttää tuotteiden valmistajan antamaa informaatiota. Suunnittelija korjaa käyttöikäennustetta kertoimilla, jotka ottavat huomioon kohdekohtaisia tekijöitä, kuten ympäristö- ja käyttöolosuhteet, kunnossapi-

don tason jne. Esimerkiksi teräsohutellevyistä valmistetut ulkoverhoilutuotteet sopivat tämän menettelyn piiriin.

Suunnittelijan tehtävänä on huolehtia, että tuotteen ennakoitu käyttöikä on pitempi kuin rakenteen suunniteltu käyttöikä. Jos tämä ehto ei ole voimassa, suunnitelmaa voidaan muuttaa esimerkiksi valitsemalla toinen pitkäikäisempi tuote, lieventämällä rasituksia (esimerkiksi estämällä kosteuden pääsy rakenteisiin) tai parantamalla rakenteen käyttöaikaista huollon tasoa. Yhtenä vaihtoehtona on lyhyempään suunnitteluikään tyytyminen. Jos tämäkään vaihtoehto ei ole mahdollinen, voidaan tuote silti valita, mutta tuotteen lasketut uusimiskerrat on esitettävä kunnossapitosuunnitelmassa.

Ennakoituun käyttöikään perustuvan käyttöikäsuunnittelun soveltamismahdollisuudet ovat toistaiseksi vähäisiä, koska rakennustuotteista ei ole käytettävissä ennakoituja käyttöikä tietoja.

2.3.2 Suunniteltu käyttöikä

Suunnittelija yhdessä rakennuksen omistajan kanssa määrittelee koko rakennuksen (DL = design life) ja rakennuksen osien suunnitellut käyttöiät (DLC = design life of component). Määrittelyssä sovelletaan ISO-standardiluonnoksessa esitettyä ikäluokitusta. (Taulukko 3.)

Taulukko 3. Rakennusosien suunnitellun käyttöiän luokitus /5/.

Luokka	Vähimmäissuunnitteluikä (vuosina)
DLC150	150
DLC100	100
DLC60	60
DLC40	40
DLC25	25
DLC15	15
DLC10	10
DLC6	6
DLC3	3

Rakennusosat ovat joko vaihdettavia tai pysyviä. Kaikkien rakenneosien ei tarvitse kestää koko rakennuksen käyttöikää varsinkin, jos rakennuksen käyttöikä on määritelty hyvin pitkäksi. Jos rakenneosien vaihtaminen on tehty helpoksi, niiden uusiminen määrävälein saattaa olla taloudellisestikin edullisempi vaihtoehto kuin pitkäikäinen, mutta valmistus- ja hoitokustannuksiltaan hyvin kallis vaihtoehto.

Tähän sääntöön on olemassa poikkeuksia. Erityisesti kantavat rakenteet (rakennuksen perustukset ja runko), joiden kunnossapitotoimenpiteet voisivat vahingoittaa koko rakennusta, tulisi suunnitella niin pitkäikäisiksi, että niitä ei tarvitse vaihtaa tai korjata rakennuksen käyttöiän aikana.

Väliaikaisissa rakennuksissa, joiden käyttöikä on suhteellisen lyhyt, rakenneosien suunnitteluiäksi määrätään yleensä rakennuksen suunnitteluikä.

Vaikka rakennusosien suunnitteluikä olisikin sama kuin rakennuksen suunnitteluikä, tulisi rakenneosien vaihdettavuuteen kuitenkin kiinnittää huomiota.

Taulukossa 4 esitetään ohjeellisesti rakenneosien suunnitteluiät perustuen rakennuksen suunnitteluikään ja rakenneosien vaihdettavuuteen ja huollon helppouteen (ISO/CD 15686-1) /6/. Taulukko voi antaa suunnittelijalle lähtökohdan neuvotteluille, joita hän käy rakennuksen omistajan kanssa, mutta niitä ei pidä ottaa sitovina, jos on perusteltuja syitä määritellä suunnittelukäyttöikä lyhyemmäksi tai pitemmäksi.

Taulukko 4. Rakenneosien ohjeelliset vähimmäissuunnitteluiät (DLC) /6/.

Rakennuksen suunnitteluikä	Luoksepääsemättömät tai kantavat rakenneosat	Rakenneosat, joiden uusiminen on kallista tai vaikeaa (esim. pohjaveden pinnan alapuolella)	Suurehkot vaihdettavat rakenneosat	Laitteet, installaatiot ja ulkopuoliset työt
Rajoittamaton	Rajoittamaton	100	40	25
150	150	100	40	25
100	100	100	40	25
60	60	60	40	25
25	25	25	25	25
15	15	15	15	15
10	10	10	10	10
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Vähemmän tärkeiden rakenneosien suunnitteluikä voi olla 3 - 6 vuotta. ◆ Rajoittamatonta suunnitteluikää tulee käyttää harvoin ja harkiten, sillä se rajoittaa merkittävästi suunnitteluvaihtoehtoja. 				

Taulukossa 5 on esimerkkejä joidenkin rakennusosien suunnitellun käyttöiän vähimmäisluokka-arvoista.

Taulukko 5. Esimerkkejä rakennusosien suunnitellun käyttöiän vaatimuksista. DL = koko rakennuksen suunniteltu käyttöikä /5/.

KOHDE		SUUNNITELLUN KÄYTTÖIÄN VÄHIMMÄISLUOKKA
Kantavat rakenteet (perustukset mukaan lukien)		Vähintään DL
Ei-kantava ulkoseinä		DL, jos uusiminen on vaikeaa, tai DLC
Väliseinä		DL, jos uusiminen on vaikeaa, tai DLC 15
Katto	Katemateriaali	Vähintään DLC 40 tai DL
	Vedeneristyskerros	DLC 15
Ulkoseinien pintamateriaali	Pinnoite	DLC 10
	Keraaminen laatoitus	DLC 25
Kiinnitykset	Ulkoseinissä	DLC 40 tai DL
	Sisäseinissä	Vähintään DLC 40 tai DL
Laitteet, tekniset järjestelmät		DLC 40 tai DL
Ulkopuoliset installaatiot		DLC 40 tai DL

2.3.3 Ennakoitu käyttöikä

ISO/CD 15686-1:n /1/ mukaan rakennusosan ennakoitun käyttöiän perusarvo on vertailukäyttöikä RSLC (reference service life). Vertailukäyttöikä määritetään tai arvioidaan tuotekohtaisten standardien mukaisesti kokemusperäisiä, kokeellisia tai laskennallisia menetelmiä soveltaen. Joissakin tapauksissa vertailukäyttöikä saattaa jo olla tuoter ryhmäkohtaisissa standardeissa, jolloin ennakoitu käyttöikä määräytyy yksistään tuotteen laatumäärittelyn perusteella.

Suunnittelija saa tuotteen vertailukäyttöiän yleensä tuotteen valmistajalta, jos sellainen on tuotteelle määritetty. Sen jälkeen suunnittelija muuntaa vertailuikää kohdekohtaiseksi sen perusteella, mitä hän tietää ko. rakennusosan laatutekijöistä, ympäristöoloista ja käyttörasituksista jne. Tämä tapahtuu muuntokertoimilla A - G, jotka voivat olla arvoltaan suurempia tai pienempiä kuin 1. Lopullisesti ennakoitu käyttöikä lasketaan siis kaavalla /6/

$$ESLC = RSLC \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G, \quad (1)$$

missä ESLC on rakennusosan tai tuotteen ennakoitu käyttöikä ko. kohteessa,
RSLC rakennusosan tai tuotteen käyttöiän vertailuarvo.

Taulukko 6 määrittelee muuntokertoimien A - G merkityksen:

Taulukko 6. Ennakoidun käyttöiän kertoimet /6/.

Kerroin		Olosuhteet	
Laatutekijät	A	Rakenneosan laatu	Valmistus, varastointi, kuljetus
	B	Suunnittelun laatu	Liitokset, muun rakenteen suojaus
	C	Työn laatu	Valvonta, ammattitaito, ilmasto-olot työn suorituksen aikana
Ympäristöolot	D	Sisäympäristö	Ympäristön aggressiivisuus, tuuletus, mahdollinen tiivistyminen
	E	Ulkoisen ympäristö	Rakennuksen korkeus, julkisivun ilmansuunta, mikroilmasto, liikenteen päästöt, säättekijät
Käyttö	F	Käyttöolot	Mekaaninen vaikutus, käyttäjäryhmä, kuluminen
	G	Huollon taso	Huollon laatu ja tiheys

Esimerkkinä tarkastellaan muurattuun rakenteeseen asennettavaa teräksistä pinnoitettua aukkopalkkia. Teollisuusympäristön lisäksi palkkia rasittaa kosteuden tiivistymisen aiheuttama turmeltuminen. Työn laatu arvioidaan tyyppilliseksi, mutta ei parhaaksi mahdolliseksi.

Vertailuikä ja muuntokertoimet arvioidaan tässä esimerkkitapauksessa ilman perusteluja seuraavasti (esimerkki on otettu ISO-standardiluonnoksesta /6/, jossa on esitetty myös perusteluja esitetyille lukuarvoille):

- RSLC Vertailuikä: 60 vuotta.
A Rakenneosan laatu: 1
B Suunnittelun laatu: 1
C Työn laatu: 1
D Rakenteen sisäiset ympäristöolot: 0,8
E Ulkoiset ympäristöolot: 0,8
F Käyttöolot: 1
G Kunnossapito: 1

Kaavasta 1 saadaan tällöin

$$ESLC = 60 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 38,4 \text{ vuotta.}$$

Oletetaan, että paremman suunnittelun ansiosta B-kerrointa saadaan kasvatetuksi arvoon 1,5. Tällöin ennakoitu käyttöikä olisi

$$ESLC = 60 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 57,6 \text{ vuotta.}$$

2.4 Suojausmenettely

2.4.1 Suunnitteluperiaate

Suojausmenettelyn suunnitteluperiaatteena on varmistaa erilaisin suojaustoimenpitein, että rakenteen teräsosissa ei tapahdu turmeltumista käytännöllisesti katsoen lainkaan käyttöiän aikana. Suojausmenettely soveltuu mm. monille ilmatilassa oleville teräsrakenteille (siltoihin, mastoihin jne.).

Suojausmenettelyn soveltaminen muistuttaa eniten perinteistä rakenteiden kestävyys-suunnittelua. Rakenteen suunniteltu käyttöikä otetaan kuitenkin tässäkin menettelyssä entistä selkeämmin huomioon. Koko rakenteen käyttöiän sijasta arvioidaan eri pinnoitteiden ja suojausjärjestelmien käyttöikä (kestoikä), mikä antaa perustan kunnossapitajaksojen arvioimiselle. Määrittelemällä kunnossapitajakset varmistetaan, että teräs on suojattuna koko suunnitellun käyttöiän ajan. Lisäksi mahdollisia taloudellisia ja ekologisia vertailulaskelmia varten saadaan arvio siitä, kuinka monta kertaa ja millä tavoin rakenne on suojattava uudelleen käyttöikänsä aikana. Uusintasuojausten ajankohdat esitetään kunnossapitosuunnitelmassa.

Suojausmenettely on mahdollista yhdistää käyttöikämitoitusmenettelyyn. Yhdistetyn menettelyn soveltaminen on tarpeellista silloin, kun teräksen korroosiota tapahtuu suojauksesta huolimatta. Tällöin korroosionopeuden tulee olla ennakoitavissa. Käyttöikämitoituksella huolehditaan, että korrosio, jota käytetty suojausmenettely ei pysty estämään, ei aiheuta asetettujen lujuus- ym. vaatimusten alituksia tavoiteikänsä aikana. Yhdistetty suojaus- ja käyttöikämitoitusmenettely saattaa tulla kyseeseen esim. pulttiliitoksissa ja teräs-betoniliittorakenteissa, joissa teräksen ja betonin saumaa on vaikea suojata täydellisesti.

2.4.2 Suojaustavat

Teräsrakenteiden suojaustapoja ovat maalaus, kuumasinkitys, sinkki- ja alumiiniruis-kutus, sähkösinkitys, katodinen suojaus jne. Nämä suojaustavat kuvataan tarkemmin myöhemmissä luvuissa, joissa esitetään myös kunkin suojaustavan kestoikäarviot.

2.5 Käyttöikämitoitus

2.5.1 Suunnitteluperiaate

Käyttöikämitoitusta sovellettaessa lähtöoletuksena on se, että teräs syöpyy käyttöiän aikana. Teräksen syöpyminen on kuitenkin hallittua, ja siitä johtuva rakenteen toiminnallinen heikkeneminen voidaan ottaa mitoituksessa huomioon tiettyjen laskennallisten mallien avulla. Teräsrakenteiden suunnittelussa käyttöikämitoitus soveltuu mm. maa- ja vesirakenteille.

Rakenteen turmeltuminen voi tarkoittaa pintojen turmeltumista (ja siten poikkileikkausmittojen pienentymistä) tai materiaalin sisäistä heikkenemistä (mm. lujuuden pienentymistä). Toimivuusvaatimukset voivat koskettaa rakenteellista kantavuutta, muodonmuutoksia tai muita rakenteen tai tuotteen ominaisuuksia. Suunnitteluperiaatteena on se, että rakenne tai tuote vielä käyttöiän jälkeenkin täyttää kaikki sille asetetut vaatimukset.

Käyttöikämitoituksen ja perinteisen mitoituksen ero voidaan ilmaista mitoitusyhtälöillä seuraavasti:

Perinteinen mitoitus:

$$R - S > 0 \quad (2a)$$

Käyttöikämitoitus:

$$R(t_g) - S(t_g) > 0, \quad (2b)$$

joissa S on rasitus
R rakenteen vaste
t_g tavoiteikä.

Perinteisessä mitoituksessa rakenteen vasteen ja rasituksen erotuksen tulee olla suurempi kuin 0 **käyttöiän alussa**. Käyttöikämitoituksessa sovelletaan samaa vaatimusta, mutta vaatimuksen tulee täytyä vielä rakenteen **saavutettua tavoiteikänsä**.

2.5.2 Käyttöikämitoituksen menetelmät

Mitoituksessa voidaan käyttää determinististä, stokastista tai käyttöiän osavarmuuslukuun perustuvaa menetelmää /8/.

Deterministisessä mitoituksessa rasituksen tai vasteen jakaumia ei oteta huomioon mitoitusyhtälössä. Jos rasituksen ja vasteen mitoituslausekkeet tunnetaan, mitoitusyhtälö kirjoitetaan seuraavasti:

$$R(t_g) - S(t_g) > 0. \quad (3)$$

Tällöin R ja S voivat kuvata periaatteessa rasituksen ja vasteen keski-, ominais-, suunnittelu- tms. arvoa. Lausekkeisiin sisältyy yksi tai useampi materiaalien turmeltumista ajan mukana kuvaava kestävyysmalli.

Rasituksen ja vasteen lausekkeisiin sisältyvät mitoittavat suunnitteluparametrit. Nämä ovat yleensä rakenteellisia mittoja tai materiaaliominaisuuksia, jotka mitoitetaan siten, että lausekkeen (3) ehto täyttyy.

Stokastisessa suunnittelussa otetaan huomioon rasituksen ja vasteen jakaumat ja niissä turmeltumisen johdosta tapahtuvat ajalliset muutokset. Jakauman määrittelyyn tarvitaan tiedot ko. suureiden keskiarvosta, hajonnasta ja jakauman muodosta. Jakauman huomioonottamisesta seuraa, että tehtävämäärittelyyn on lisättävä todennäköisyysvaatimus lausekkeen (3) mukaiselle ehdolle.

Tehtävä määritellään siten, että todennäköisyys sille, että rakenteen rasitus ylittää vasteen tavoitekäyttöään aikana, on ennalta asetettua vaatimusta pienempi. Matemaattisesti tämä voidaan esittää muodossa

$$P\{R(t) - S(t) < 0\}_{t_g} < P_{f \max}, \quad (4)$$

missä $P\{ \}_{t_g}$ on rakenteen vauriotodennäköisyys aikana t_g ja $P_{f \max}$ suurin sallittu vauriotodennäköisyys.

Edellisessä kaavassa "vaurio" määritellään siis tapauksena, jolloin erotus R - S saa negatiivisen arvon.

Kaavalla (4) määritelty mitoitusyhtälö voidaan ratkaista, kun vasteen ja rasituksen jakaumat tunnetaan.

Jos rasituksen, vasteen tai käyttöään lausekkeet ovat mutkikkaita ja niihin sisältyy useamman turmeltumistekijän vaikutuksia kuvaavia aikafunktioita, hajonnan ja jakauman muodon arviointi saattaa olla vaikeaa. Niissä tapauksissa saattaa olla järkevää muodostaa mitoitusyhtälö nk. käyttöään varmuuslukumenettelyllä.

Käyttöiän varmuuslukumenettelyssä rasituksen ja vasteen hajonnasta johtuva epävarmuus otetaan huomioon kuten stokastisessa mitoituksessa, mutta laskentamenetely muistuttaa determinististä mitoitusta. Erona deterministiseen mitoitukseen on kuitenkin se, että mitoituksessa määräävä aika on nk. käyttöiän laskenta-arvo, joka on tavoitekäyttöikä pitempi. Pitempi laskennallinen käyttöikä tuo lisävarmuutta mitoitukseseen. Käyttöiän laskenta-arvo saadaan kertomalla tavoitekäyttöikä käyttöiän osavarmuusluvulla

$$t_d = \gamma_t \cdot t_g, \quad (5)$$

missä t_d on käyttöiän laskenta-arvo ja
 γ_t käyttöiän osavarmuusluku (>1).

Käyttöiän osavarmuusluvun suuruus riippuu suurimmasta sallittavasta käyttöiän alitustodennäköisyydestä P_{fmax} sekä jakaumien muodosta ja hajonnasta.

Mitoitusyhtälö voidaan tämän jälkeen kirjoittaa muodossa

$$R(t_d) - S(t_d) > 0. \quad (6)$$

2.5.3 Rakenteellinen käyttöikämitoitus

Rakenteellisessa mitoituksessa S tarkoittaa kuormitusta ja R kantokykyä. Sovellettaessa edellä mainittuja mitoituskaavoja rakenteelliseen mitoitukseen käytetään kuormien ja kantavuuden nimellisarvojen sijasta laskenta-arvoja; ts. kuorman ja kantavuuden lausekkeissa nimelliskuormat kerrotaan kuormien osavarmuusluvuilla ja nimellislujuuDET jaetaan materiaalien osavarmuusluvuilla. Ajallisen varmuuden huomioimiseksi sovelletaan käyttöiän varmuuslukumenettelyä. Rakenteellisessa mitoituksessa mitoituslauseke kirjoitetaan siten seuraavasti /7/:

Rakenteellinen käyttöikämitoitus:

$$R_d(t_d) - S_d(t_d) > 0, \quad (7)$$

missä S_d on kuorman laskenta-arvo
 R_d kantavuuden laskenta-arvo.

Käyttöiän lopussa vaaditun varmuuden tulee yleensä olla sama kuin EC1:n edellyttämä varmuustaso ($\beta = 3,8$).

2.6 Ympäristön rasitusluokat

Ilmastollisessa korroosiossa ovat metallien korroosionopeuteen vaikuttavat tärkeimmät tekijät pinnan märkänäoloaika ja ympäristön epäpuhtaudet. Epäpuhtauksista ovat erityisesti rikin ja kloorin yhdisteet korroosiota voimakkaasti kiihdyttäviä. Ympäristön rasitusluokkaa määritettäessä otetaan huomioon kohteen välittömässä läheisyydessä vaikuttavat tekijät, sillä saman rakennuksen rasitusluokka voi vaihdella rakenteen eri osissa. Ympäristön rasitusluokat on määritelty kansainvälisissä standardeissa ISO 9223:1992 Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification Corrosion of metals and alloys ja ISO 9224:1992 -- Corrosivity of atmospheres -- Guiding values for the corrosivity categories /11/. Kansainväliset rasitusluokat korvaa suomalaisen standardin SFS 4596 "Metallien korrosio. Ympäristöolosuhteiden luokitus".

2.6.1 ISO 9223 "Corrosion of metals and alloys - Classification of corrosivity"

Tässä kansainvälisessä standardissa luokitellaan ilmastot toisaalta pinnan märkänäoloajan ja ilman rikkidioksidi- ja kloridipitoisuuksien perusteella ja toisaalta metallien korroosionopeuksien mukaan.

Märkänäololuokkia on viisi (taulukko 7), rikkidioksidiluokkia (taulukko 8) on neljä ja kloridipitoisuusluokkia (taulukko 9) myös neljä. Standardin ISO 9223 soveltaminen Suomen olosuhteisiin on ainakin toistaiseksi ongelmallista, sillä kyseisiä ympäristöparametrejä ei koko maata kattavasti ole käytettävissä. Toisaalta Suomen ilmaston rikki- ja kloridipitoisuudet ovat niin alhaisia, että aivan paikallisia kohteita lukuun ottamatta maamme kuuluu korroosion nopeuden kannalta lievimpään luokkaan.

Pinnan märkänäoloaika

Pinnan märkänäoloaika määritellään standardissa ISO 9223 laskennallisesti siten, että metallin korroosiolle riittävät ehdot on täytetty, kun ilman suhteellinen kosteus on yli 80 % RH ja ilman lämpötila on enemmän kuin 0 °C.

Taulukko 7. Märkänäoloaikojen luokitus standardin ISO 9223 mukaan.

Märkänä- oloajan luokka	Märkänäoloaika		Esimerkkejä
	h/a	%	
τ_1	$\tau \leq 10$	$\tau \leq 0,1$	Sisäilmasto, ilmastoitu tila
τ_2	$10 < \tau \leq 250$	$0,1 < \tau \leq 3$	Sisäilmasto, ei ilmastointia
τ_3	$250 < \tau \leq 2\,500$	$3 < \tau \leq 30$	Ulkoilmasto, kuivissa kylmissä olosuhteissa, osittain myös lauhassa ilmasto; hyvin tuuletetut suojat lauhassa ilmastossa
τ_4	$2\,500 < \tau \leq 5\,500$	$30 < \tau \leq 60$	Ulkoilmasto kaikissa ilmastoissa (paitsi kuiva ja kylmä), tuuletetut suojat kosteissa olosuhteissa, tuulettamattomat suojat lauhassa ilmastossa
τ_5	$5\,500 < \tau$	$60 < \tau$	Osa kosteista ilmastoista, tuulettamattomat suojat kosteissa olosuhteissa

Ilman rikkidioksidipitoisuus

Rikkidioksidipitoisuuden luokat laskeuman ja pitoisuuden vuotuisen keskiarvon perusteella määriteltynä ovat taulukon 8 mukaiset.

Taulukko 8. Ilmaston rikkidioksidipitoisuuden luokittelu standardin ISO 9223 mukaan.

SO ₂ :n laskeuma- nopeus [mg/(m ² · d)]	SO ₂ -pitoisuus μg/m ³	Luokka
$P_d \leq 10$	$P_c \leq 12$	P ₀
$10 < P_d \leq 35$	$12 < P_c \leq 40$	P ₁
$35 < P_d \leq 80$	$40 < P_c \leq 90$	P ₂
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P ₃

Ilman kloridipitoisuus

Kloridipitoisuuksien mukaan ilmaston luokittelu on taulukon 9 mukainen.

Taulukko 9. Ilman luokittelu kloridipitoisuuden (Cl-) perusteella standardin ISO 9223 mukaan.

Kloridin laskeumanopeus [mg/(m ² · d)]	Luokka
S < 3	S ₀
3 < S ≤ 60	S ₁
60 < S ≤ 300	S ₂
300 < S ≤ 1 500	S ₃

Ilmaston syövyttävyys jaetaan viiteen luokkaan taulukon 10 mukaisesti.

Taulukko 10. Teräksen ja sinkin korroosionopeus eri rasisitusluokissa ensimmäisen vuoden aikana standardin ISO 9223 mukaan.

Rasisitus- luokka	Korroosionopeus				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa	
	Hiiliateräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	g/m ²	µm	g/m ²	µm		
C1 Hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1		Lämmitettyjen rakennusten sisällä, puhtaassa ilmassa, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit.
C2 Lievä	10 - 200	1,3 - 25	0,7 - 5	0,1 - 0,7	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä on alhainen ja ilmasto kuiva. Enimmäkseen maaseutualueita.	Lämmitämättömät rakennukset, esim. varastot, urheiluhallit.
C3 Kohtalainen	200 - 400	25 - 50	5 - 15	0,7 - 2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmastot, kohtalainen SO ₂ -kuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	Tuotantolaitokset, joissa korkea kosteuspitoisuus ja vähän epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit.
C4 Ankara	400 - 650	50 - 80	15 - 30	2,1 - 4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla kohtalainen suolapitoisuus.	Kemianteollisuuden tuotantolaitokset, uimalat, rannikolla sijaitsevat telakat
C5-I Hyvin ankara	650 - 1500	80 - 200	30 - 60	4,2 - 8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmasto on syövyttävä.	
C5-M Hyvin ankara	650 - 1500	80 - 200	30 - 60	4,2 - 8,4	Rannikkoalueet ja muut alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.	

Standardista ISO 9223 voidaan arvioida taulukon 10 korroosioluokat, kun tunnetaan märkänoloaika ja ilman rikkidioksidi- ja kloridipitoisuudet.

Teräksen korroosionopeus ei ole vakio ajan funktiona. Korroosio on yleensä huomattavasti nopeampaa ensimmäisen vuoden aikana ja vähenee sen jälkeen asteittain. Standardi ISO 9224 "Corrosion of metals and alloys - Guiding values for the corrosivity categories of atmospheres" /11/ antaa suuntaa antavat arvot metallien korroosionopeuksille kymmenen ensimmäisen vuoden aikana ja myös kymmenen vuotta vanhemmille rakenteille.

2.7 Kunnossapitosuunnitelma

Suunnittelija laatii rakennukselle kunnossapitosuunnitelman. Kunnossapitosuunnitelmassa esitetään tarvittavat rakennusosien uusimiset, korjaukset ja muut tarpeelliset toimenpiteet rakennuksen suunnitellun käyttöiän aikana samoin kuin kunnossapito- ja hoito-ohjeet kullekin rakennusosalle, jos rakennusosa sitä vaatii.

3. Teräsohutlevyrakenteiden käyttöikäsuunnittelu

Teräsohutlevyrakenteille sovelletaan ennakoituun käyttöikään perustuvaa käyttöikäsuunnittelua. Käyttöikäsuunnittelu perustuu verhoilutuotteiden käyttöiän vertailuarvoihin, jotka on saatu kokemuseräisesti palautetiedon perusteella ja laskennallisista menetelmistä. Palautetieto perustuu seuranta tutkimukseen, jossa tarkastettiin noin 50 ohutlevyverhouksen kunto 1 - 3 kertaa kolmen vuoden seurantajakson aikana.

Laskennassa tarkasteltiin verhousrakenteiden korroosioriskiä ja sen välttämiseksi tarvittavia toimenpiteitä. Laskenta perustuu rakenteiden kaksikulotteisen lämpötila-, kosteus- ja ilmavirtakentän ratkaisemiseen numeerisesti /15/ käyttäen todellisia, tunnitaisia säätietoja lähtöarvoina. Rakenteiden toimivuuden kriteereinä käytettiin kosteuden tiivistymistä pinnoille ja aikaa, jona pinnalla on vettä, sekä standardin ISO 9223 /11/ määrittelemää märkäaikaa. Tällä tarkoitetaan tunteina vuodessa sitä aikaa, jonka tarkasteltavan rakenteen osan lämpötila on suurempi kuin 0 °C samalla, kun suhteellinen kosteus on yli 80 %.

Tarkasteltavat ohutlevyrakenteet ovat muovipinnoitettuja joko tuuletettuja verhousrakenteita tukirakenteineen tai ohutlevy-sandwich-elementtien ulkokuoria. Rakennetyyppejä tarkastellaan yhdessä, ja lähinnä sandwich-rakenteita koskevat poikkeamat mainitaan erikseen.

Käyttöikä on jaettu tekniseen ja esteettiseen käyttöikään. Rakenne tai julkisivu voi olla teknisesti toimiva, vaikka sen esteettinen käyttöikä on jo lopussa. Verhousrakenteiden teknisen käyttöiän ennakkoinnissa päätekijöitä ovat (vrt. taulukko 6, sivu 22) suunnittelun laatu sekä ympäristöolot. Ohutlevy-sandwich-rakenteilla vastaavat tekijät ovat rakennusosan laatu, suunnittelun laatu ja työn laatu. Esteettiseen käyttöikään vaikuttavat voimakkaimmin käyttöolot ja huollon taso.

3.1 Suunnitteluperiaatteet

3.1.1 Tekninen toimivuus ja kestävyys

Tuuletus ja sateenpitävyys

Ohutlevyverhoilun tuuletustarve muodostuu kolmesta tekijästä:

- sadevesisuoja: Ulkoverhoilun tuulettaminen pienentää paine-eroa verhouksen yli ja pienentää samalla sadeveden mahdollisuutta tunkeutua verhouksen taakse.
- vastasäteilyn aiheuttamasta kosteuden tiivistymisestä: Avoimella paikalla sijaitsevan rakennuksen tai tiiviin rakentamisen alueella korkean rakennuksen ylimpien kerros-

ten julkisivut näkyvät avaruuteen. Kirkkaina öinä tapahtuva vastasäteily jäädyttää verhoilun alle ulkoilman lämpötilan. Pinnan jäähtyminen aiheuttaa ulkoilman ja tuuletusraon ilman kosteuden tiivistymistä ohutlevyverhouksen pinnoille. Ilmasta tiivistyvä vesi vastaa tislattua vettä, ja se kiihdyttää sinkin korroosiota.

- rakenteiden kosteudesta tai huoneilman kosteusrasituksesta: Rakenteista tai sisäilmasta tuuletusrakoon pääsevä kosteus on poistettava tuulettamalla.

Vastasäteilystä johtuvaan tiivistymiseen vaikuttavat taustarakenteiden lämpöhäviöt sekä rakenteen tuulettuminen ja ilman virtaus ulkopinnalla. Kosteuden tiivistyminen verhouksen ulkopintaan ei aiheuta riskiä rakenteen toimivuudelle. Sisäpinnalle tapahtuva tiivistyminen voi johtaa veden valumiseen verhouksen sisäpinnalla ja kertymiseen liitosrakenteisiin. Ilman virtaus rakenteen pinnoilla pienentää säteilylämmönsiirron vaikutusta. Vastasäteilyn aiheuttamaa tiivistymistä ei voida tuulettamalla kokonaan ehkäistä. Tuulettaminen pienentää aikaa, jona pinnalla on vettä. Samalla se pienentää teräsosien märkäaikaa, jolla tarkoitetaan korroosion etenemisen kannalta kriittisten olosuhteiden kestoaikaa tunteina. Standardi ISO 9223 /11/ määrittelee märkäajan tunteina, jolloin metallin pinnan lämpötila on suurempi kuin 0 °C samalla, kun pinnalla vaikuttava suhteellinen kosteus on yli 80 %.

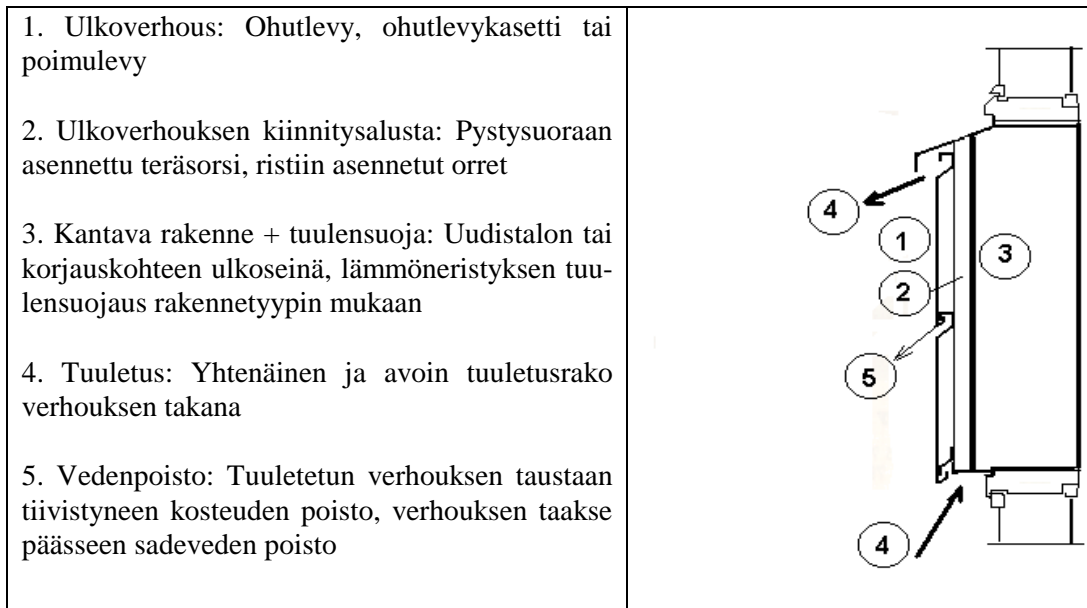
Ohutlevyverhoitus toimii täysin tuulettumattomana, jos ulkoverhoukseen ei kohdistu rakenteen sisäistä (rakennuskosteutta) tai sisäilman kosteusrasitusta. Vastasäteilyn aiheuttaman tiivistyminen on voimakkainta silloin, kun rakenne tuulettuu vain vähän. Ilmarako toimii silloin lämmöneristeenä, mikä tehostaa pinnan jäähtymistä vastasäteilyn vaikutuksesta.

Ohutlevyverhoilun tuulettuminen voi perustua kolmeen tekijään:

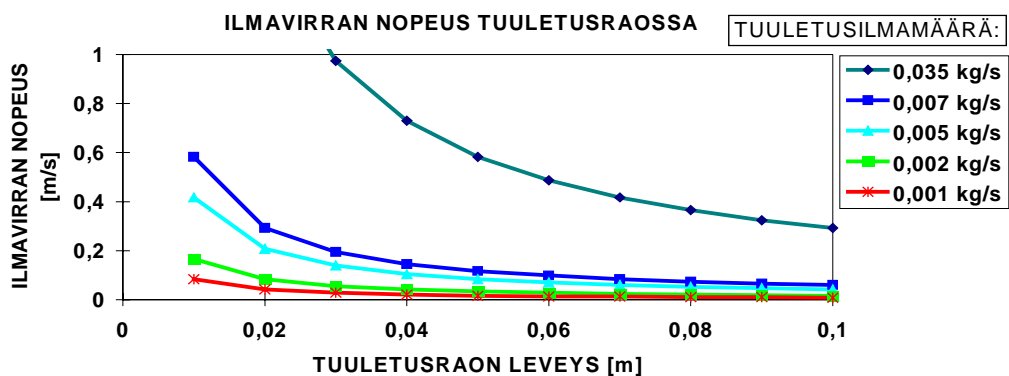
- rakennusta ympäröivän ulkoilmaston paine-eroihin, jotka johtuvat pääasiassa tuulesta ja jonkin verran rakennuksen vaipan välittömässä läheisyydessä olevan ilmakerroksen lämpötilaeroista
- vaipan lämpöhäviöistä johtuvaan ilman lämpenemiseen tuuletusraossa
- auringon säteilyn aiheuttamaan ilman lämpenemiseen tuuletusraossa.

Rakenteiden lämpöteknisen toimivuuden kannalta tulisi pyrkiä hitaaseen ilman liikkeeseen tuuletusraossa. Rakenteen tuulettumisen kannalta on kuitenkin olennaista tuuletusilmamäärä (kg/s) eikä tuuletusilmavirran nopeus (m/s). Ohutlevyverhoilun tuuletustarve on 0,01 - 0,03 kg/s (1 kg/s on noin 0,84 m³/s) tuuletusraon leveyden metriä kohden, kun ulkoverhoukseen ei kohdistu kosteusrasitusta sisäilmasta.

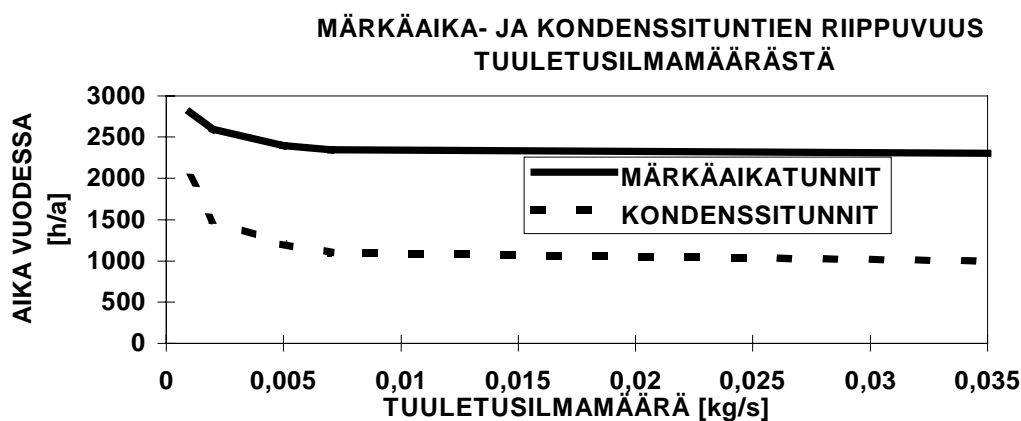
Tuuletusrako tulee jakaa tuuletusaukkojen avulla kentiin esimerkiksi kerroskorkeuden mukaan, jotta koko julkisivun tuulettuminen voidaan varmistaa (kuva 1). Tuuletusraon sisäänvirtausaukkojen pinta-alan tulee olla vähintään 20 - 30 % tuuletusraon pinta-alasta, jotta aukossa tapahtuva painehäviö ei muodosta estettä riittävälle tuulettumiselle.



a)



b)



c)

Kuva 1. Tuuletettu ohutlevyverhous (a). Tuuletusilmamäärän ja tuuletusraon leveyden vaikutus ilman virtausnopeuteen tuuletusraossa (b). Tuuletusilmamäärän vaikutus verhouksen kosteustekniseen toimivuuteen, kun verhousrakenteeseen ei kohdistu kosteusra-
situsta sisäilmasta tai ulkoseinän rakenteista (c).

Kuvassa 1 on myös tuuletustarvetta vastaavat ilmavirran nopeudet tuuletusraon aukko-pinta-alan mukaan sekä tuuletuksen vaikutus verhouksen taustan märkäaikatuntien ja kondenssituntien määrään vuodessa.

Detaljit ja liittyminen muihin materiaaleihin

Kasettijulkisivuissa kasettien sauma muodostuu päällekkäin tulevista kasettien reunoista. Kun kasetin molemmat pinnat ovat sileitä, muodostuu saumaan ohut kapillaari. Sadevesi tai kasetin sisäpinnalla valuva vesi voi imeytyä kapillaariin. Kapillaarille on tyypillistä, että sen pelkästään kosteuden kapillaariseen liikkeeseen ja haihtumiseen perustuva kuivuminen on hidasta. Siten sauma voi olla kostea lähes koko sen ajan vuodesta, jolloin ulkoilman olosuhteet ovat korroosion kannalta suotuisat. Saumat tulisi imeytymisen estämiseksi muotoilla avoimiksi siten, että pintojen väliin jää kapea rako.

Julkisivuun tehtävät läpiviennit tulee tiivistää tarkoitukseen soveltuvilla tiivisteillä tai holkeilla. Läpiviennit tulee ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, sillä jälkikäteen varsinaisen rakennussuunnittelun ulkopuolella ilmenevien tarpeiden mukaan tehdyt läpiviennit kasvattavat pinnan vaurioitumisen riskiä. Työtavat ja työmenetelmät ovat usein karkeita, ja pintaa rikotaan läpiviennin kokoon nähden tarpeettoman paljon.

Läpivientien tekeminen on vaikea toteuttaa kunnollisesti sellaisiin julkisivuihin, joiden avaaminen ilman erikoistyökaluja on hankalaa (niittikiinnitykset). Julkisivun avaaminen voi tulla kyseeseen myös muiden huoltotöiden takia, joten niittausta tai muuta vastaavaa kiinnitystapaa ei voitane pitää pitkällä aikavälillä hyvänä kiinnitysratkaisuna.

Verhoilutuotteiden kiinnittämisessä tukirakenteisiinsa ja kantaviin rakenteisiin tulee ottaa huomioon materiaalien yhteensopivuus. Ohutlevyjen kiinnikkeiden tulee olla vähintään kuumasinkittyjä ruuveja (vrt. /12, 13/). Sinkkimaalilla pinnoitettujen kiinnikkeiden kestävyys ei vastaa sinkityn ruuvin kestävyyttä. Ohutlevyn ja kantavan rakenteen liitospinta-alan on rakenteelliset tekijät huomioon ottaen oltava mahdollisimman pieni, jotta ohutlevyn ja tukirakenteen väliin ei muodostuisi kosteutta pidättävää kapillaaria. Taulukossa 11 on muutamien materiaalien ominaisuuksia terästuotteiden kannalta.

Taulukko 11. Rakennusmateriaalien ominaisuuksia ja vaikutuksia terästuotteiden toimivuuteen.

Materiaali	Ominaisuus	Vaikutus terästuotteisiin
Betoni	Alkalisuus Karbonatisoituminen	Sinkin korroosio Teräksen korroosio
Puu	Kosteus	Kostuneen puun hitaan kuivumisen vaikutuksesta ohutlevyn pinta kostea
Kyllästetty puu	Puun kyllästyksessä käytetyt kemikaalit, kosteus	Kiihdyttää kosteana sinkin korroosiota
Sellukuitueriste	Palonestokemikaalit booraksi ja boorihappo, painomuste ja sen sisältämät yhdisteet, kosteus	Kiihdyttää kosteana sinkin korroosiota

Rakennejärjestelmän asennettavuus vaikuttaa erityisesti ohutlevy-sandwich-rakenteiden sateen- ja ilmanpitävyyteen. Asennusolosuhteet asettavat käyttörajoituksia työmaalla asennettaville tiivistystarvikkeille ja -aineille. Ilman erillistä julkisivua tehtävien rakenteiden rakenteellisen ilman- ja sateenpitävyyden varmistamiseksi asennusolosuhteiden sekä työmaatoimintojen ja järjestyksen vaatimukset tulee kirjata asennusohjeisiin.

3.1.2 Esteettinen toimivuus ja kestävyys

Julkisivun likaantuminen, puhdistus ja värimuutokset

Julkisivun muotoilulla on tärkeä merkitys kosteuden liikkumiseen julkisivupinnoilla. Erilaiset katokset, pinnan arkkitehtoniset sisennykset tai muiden julkisivunosien liitokset tulisi toteuttaa siten, että vesi ei missään olosuhteissa jää seisomaan ohutlevyverhoilun päälle. Julkisivun profilointia vaakasuunnassa tulee välttää.

Julkisivu tulee puhdistaa ajoittain. Vaikka home ei kasva puhtaalla teräspinnalla, voi pintaan tarttuva lika johtaa ajan myötä pinnan homeongelmiin. Puhdistusjakso saa olla korkeintaan 15 - 20 vuotta ja julkisivu tulee tarkastaa säännöllisesti puhdistustarpeen selvittämiseksi.

Ohutlevyverhoilujen muovipinnoitteet kestävät UV-säteilyä eri tavoin. UV-säteily pyrkii turmelemaan pinnoitteen kemiallisen sidosrakenteen, jonka tyypillisenä seurauksena verhouksen pinta menettää vähitellen kiiltonsa tai jossa tapahtuu vähäisiä värimuutoksia. UV-säteilyn ja pinnan ominaisuuksien muuttumisen seurauksena pinnoite on herkempi muiden ilmastorasitusten vaikutuksille, millä voi olla merkitystä verhouksen pitkäaikaisen kestävyuden kannalta. Vanhimmat nykyisillä muovipinnoitteilla tehdyt verhoilut ovat noin 20 vuoden ikäisiä.

Julkisivuverhouksen kiinnikkeiden reikien porausjäte voi ruostuessaan värjätä julkisivua kauan. Erityisesti levysaumoihin jäävä porausjäte on hankala puhdistaa verhouksen asentamisen jälkeen. Reikien esivalmistuksella ja puhdistuksella jo tehtaalla voidaan varmistua julkisivun toimivuudesta.

Ohutlevyjen leikkausreunat ovat usein alttiina sään vaikutukselle. Leikattuun reunaan vaeltava sinkki suojaa terästä, mutta sinkin suojaava vaikutus riippuu olosuhteista ja ohutlevyn sinkityksen määrästä. Vanhoissa julkisivuverhoiluissa voidaan tapauskohtaisesti havaita merkkejä sinkin syöpyämisestä leikkausreunoissa. Sinkin korroosion edetessä myös teräksen korroosio voi alkaa ja ruosteisen veden valumat voivat värjätä julkisivua. Reunakorroosio ei ainakaan alkuvaiheessa muodosta rakenteen teknisen käyttöään riskiä.

Julkisivun kolhiintuminen

Kolhiintuminen on ohutlevyjulkisivun tyypillisin vaurio. Ohutlevy rikkoutuu harvoin siihen kohdistuvien iskujen takia, mutta sitä suojaava pinnoite voi vaurioitua suoraan iskun vaikutuksesta tai siihen voi muodostua levyn kestävyteen pitkän ajan kuluessa vaikuttava mikrohalkeama. Pinnoite voi venyä ja oheta paikallisesti ohutlevyyn muodostuvan terävän taitoksen vaikutuksesta.

Kolhiintumista voidaan ehkäistä rajoittamalla tarvittaessa liikkumista julkisivun lähellä esimerkiksi istutusten avulla. Istutusten tulee sijaita riittäväällä etäisyydellä seinästä, jotta verhouksen tuuletusrako pysyy avoimena.

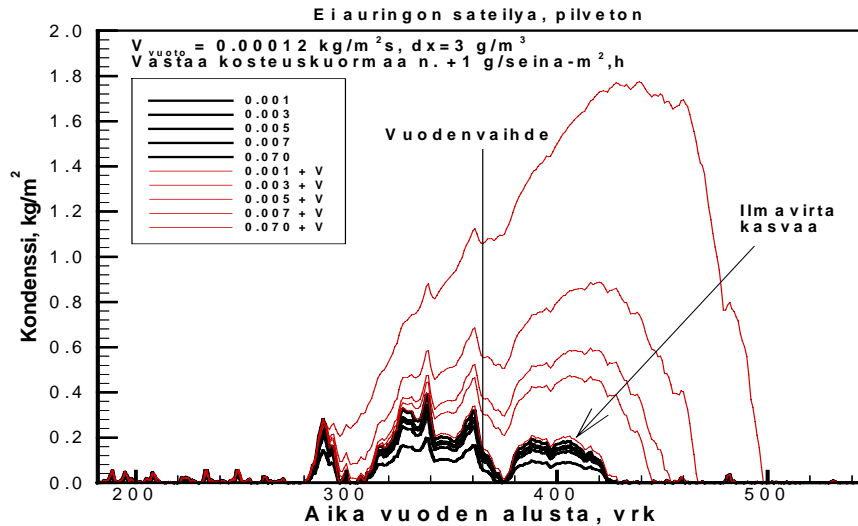
3.1.3 Ohutlevyverhouksen riskit ja suojaustarve

Kuvassa 2 näkyy julkisivun tuuletuksen vaikutus ohutlevyverhouksen taustaan vastasäteilyn vaikutuksesta tiivistyvään kosteuteen. Jos verhoukseen kohdistuu vähäinen kosteusrasitus rakenteesta tai sisäilmasta, kasvaa tiivistymisriski moninkertaiseksi verrattuna tiivistymiseen ulkoilman sisältämästä kosteudesta. Laskentaohjelmalla LATENITE /15/ saaduissa tuloksissa painovoiman aiheuttamaa veden valumista verhouksen pinnalla ei ole otettu huomioon, joten käyrästä kuvaa taustan kostumispotentialiaalia kahden vuoden jakson aikana. Tuuletuksen vaikutus riippuu paikkakunnan ilmastosta eli lähinnä ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta.

Taulukossa 12 esitetään ohutlevyverhousten kenttätutkimuksen perusteella yhteenveto rakenteiden toimivuuden ja kestävyysriskeistä ja ehdotuksia riskien välttämiseksi. Lisäksi suunnittelussa on syytä ottaa huomioon seuraavat tekijät:

- rakenteiden kuivumismahdollisuuden varmistaminen: verhouksen taakse päässeen veden poistumismahdollisuus, tuuletus

- sinkityn teräsohutlevyn tai rangan leikkausreunojen suojaus tarvittaessa
 - jos levyn tai rangan ainevahvuus on yli 1,5 mm
 - alle 1,5 mm ainevahvuuksilla ympäristön olosuhteiden mukaan.



Kuva 2. Ilmavuodon mukana huoneilmasta kulkeutuvan vesihöyryvirran (v) vaikutus ulkoverhouksen kosteustekniseen toimivuuteen. Sisäpuolinen kosteusrasitus kymmenkertaistaa huonosti tuulettuvan ulkoverhouksen taustan kosteuden. Ulkoilmastona on Helsingin normaalivuoden ilmasto ilman auringon säteilyn ja pilvisyyden vaikutusta. Sisä- ja ulkoilman vesihöyrypitoisuuden ero on 3 g/m^3 , mikä vastaa normaalin asuinhuoneen kosteutta.

Taulukko 12. Ohutlevyverhouksen toimivuuteen ja kestävyysvaikuttavia tekijöitä.

Toimivuuden tai kestävyysriskitekijä	Syy	Parannus- tai korjausehdotus
Julkisivukasettien saumassa seisova vesi	Veden imeytyminen kasettien päällekkäisten reunojen muodostamaan kapillaariin, kapillaarikondensaatio	Avoin vaakasauman rakenne
Julkisivukasettien reunan korrosio	Julkisivun sateenpitävyyden puutteista johtuva sadeveden tai kasettien taustaan tiivistyneen veden valuminen kasettien saumaan Suojaamaton reuna ulkoilmaa vasten	Avoin vaakasauman rakenne, julkisivuverhoilun tuulettumisen varmistaminen Suojapellitys, reunan käsittely valmistuksen yhteydessä tai työmaalla
Kiinnikkeiden korrosio ohutlevyjen saumassa: rakokorrosio	Veden imeytyminen ohutlevyjen väliin sateen tai tiivistymisen vaikutuksesta, kapillaarikondensaatio	Kiinnikkeen valinta, avoin saumarakenne
Ohutlevyverhouksen korrosio läpiviennin liitoksessa	Suojaamaton reuna ulkoilmaa vasten, erilaisten materiaalien kosketuskohta	Ohutlevyn leikkausreunan käsittely ja suojaaminen työmaalla
Julkisivuverhouksen taakse pääsevä sadevesi, rakenteiden kastuminen	Detaljirakenteiden puutteet	Detaljirakenteiden suunnittelu: kasettien nurkat, ikkuna-, läpivienti-, nurkkayms. liitokset Tuuletusraon yhtenäisyyden ja avoimuuden varmistaminen
Säteilyjäähdyttämisen aiheuttama kasetin taustan pitkäaikainen kosteus	Puutteellisesta tuulettamisesta johtuva hidas kuivuminen	Tuuletusraon yhtenäisyyden ja avoimuuden varmistaminen
Porausjätteen ruostumisen aiheuttama julkisivupinnan värjäytyminen	Puutteellinen puhdistus	Esivalmistuksen tehostaminen
Julkisivuverhouksen kolhiintuminen	Kuljetus tai käytön aikainen vaurioituminen	Kuljetuksen aikainen suojaus, julkisivun arkkitehtuuri, suojaetäisyydet (istutukset yms.), korkea perustus
Verhouksen kolhiintumisesta johtuva korrosio	Suojapinnoitteiden turmeltuminen	Julkisivun osan vaihto, korjauspinnoitus
Julkisivuverhouksen kiinnikkeiden vauriot	Katkeilevat tai irtoavat niitit	Ruuvikiinnitys

Standardissa ISO 9223 /11/ ilmaston aiheuttama korroosioriski on jaettu viiteen luokkaan. Kylmä ilmasto kuuluu korroosioriskin kannalta keskimääräiseen luokkaan. Märkäaikalukitus noudattaa tätä jakoa siten, että märkäajan ollessa 250 - 2 500 tuntia vuodessa pinnalle oletetaan tapahtuvan kosteuden tiivistymistä, tai pinta kastuu ajoittain sateella. Laskennallinen tarkastelun perusteella huonosti tuulettuvan tuuletusraon märkäaika on 3 000 - 4 000 tuntia vuodessa, mikä vastaa myös standardin oletusta märkäaikatuntien määrästä.

3.2 Verhoustuotteiden ja -tarvikkeiden ennakoitu käyttöikä

3.2.1 Tekninen käyttöikä

Taulukossa 13 on verhoustuotteiden ja -tarvikkeiden käyttöikäarviot ja niiden edellyttämä rakenteen toimivuuden varmistaminen. Käyttöikäarviot koskevat Suomen ilmastoa ja standardin SFS 4596 /16/ ilmaston rasitusluokkia M0 - M3.

Muovipinnoitettujen ohutlevyjen pinnoitteiden kestävydestä on palautetietoa noin 20 vuoden ajalta. Käyttöikäarviot koskevat tällä hetkellä käytössä olevilla ulkoseinien verhoilutuotteiden muovipinnoitteilla pinnoitettuja verhoustuotteita ja niiden yhteydessä käytettäviä verhoustarvikkeita.

Ulkoverhouksissa käytettävän ohutlevyn teknisen käyttöiän ennuste on saatu ottamalla huomioon pinnoitteiden ja sinkin terästä suojaava vaikutus. Lähtöoletus on, että muovipinnoite pohjusteinen suojaa sinkkikerrosta ilmaston rasituksilta 15 - 20 vuoden ajan /17/ ja sinkkikerros terästä käyttöolosuhteista riippuen standardin ISO 9223 mukaan. Teräksen kestävyys on katsottu kriittiseksi, ja siksi sen turmeltumisnopeudelle ei ole annettu arviota.

Ulkoverhouksen tukirakenteina käytettävien sinkittyjen teräsorsien käyttöikä perustuu sinkin ja teräksen vakiokorroosionopeuksiin. Vakiokorroosionopeudet saadaan tuuletusraon märkäaikojen perusteella. Lähtöoletuksena on se, että korroosionopeuden perusteella saadut sinkin ja teräksen kestoiät lasketaan yhteen.

Teräsorren sallittu korroosio riippuu suunnittelun lähtökohdista. Tavanomainen Suomessa käytettävän kuumasinkityn teräksen sinkkikerros suojaa terästä noin 50 vuotta. Ohutlevyrakenteiden suunnitteluohjeiden /67/ mukaisesti käytetyn orren poikki-pinta-alassa ei ole korroosiovaraa. Suunnittelijan tehtävänä on ottaa orsien mitoituksessa huomioon orsirakenteen korroosiovara (poikkipinta-alan pieneneminen käyttöiän aikana) ja suojaustarve.

Tuuletusraon olosuhteet voidaan laskennallisen tarkastelun perusteella jakaa seuraavasti:

- tuulettuva ulkoverhous: märkäaikatunnit vuodessa alle 2 500 h, kun verhoursrakenteseen ei kohdistu sisäilman aiheuttamaa kosteusrasitusta
- tuulettumaton ulkoverhous: märkäaikatunnit vuodessa alle 5 000 h.

Sisäilman aiheuttama kosteusrasitus nostaa tuuletusraon märkäaikatuntien määrää. Etelä-Suomen rannikkoseuduilla voi tuulettumattoman verhouksen märkäaika kasvaa noin 1 000 tunnilla vuodessa.

Sinkkikerroksen ja teräksen korroosionopeudet riippuvat pinnan kosteudesta ja lämpötilasta eli pinnan märkäajasta. Standardin ISO 9223 perusteella saadut sinkin ja teräksen vakiokorroosionopeudet ovat taulukossa 14.

Taulukko 13. Ohutlevyverhoustuotteiden ja -tarvikkeiden ennakoitu käyttöikä. Verhouksen käyttöiän vertailuarvo on 60 vuotta.

Tuote tai tarvike	Käyttöikä [a]	Vaatimukset
Ohutlevyverhous	60	Tuulettuva julkisivu Avoin ohutlevyjien välinen sauma Ehjä pinnoite Läpivientien suojaus Kiinnitys teräsorsiin Ei vaakasuoria pintoja
Ohutlevyverhous	40	Tuulettumaton julkisivu
Ohutlevyverhous	20	Tuulettumaton julkisivu, kiinnitys painekyllästettyihin puurankoihin
Ohutlevyverhous	60	Ohutlevy-sandwich Ei rakennuskosteutta Asennettavuus otettu huomioon suunnittelussa Ilmanpitävyyden varmistus prEN 12144 /14/ mukaan Sateenpitävyyden varmistus EN85 /10/ mukaan Läpiviennit suojattu
Kiinnitystarvikkeet	50	Kiinnitystarvikkeet /12, 13/ mukaan
Sinkitty teräsorsi, Zn 20 µm	100	Tuulettuva julkisivu Veden kertyminen rankaan estetty Teräksen korroosiovara 30 % poikki-pinta-alasta
Sinkitty teräsorsi, Zn 20 µm	50	Tuulettuva julkisivu Veden kertyminen rankaan estetty
Sinkitty teräsorsi, Zn 20 µm	30	Tuulettumaton julkisivu Veden kertyminen rankaan estetty

Taulukko 14. Sinkin ja teräksen korroosionopeus r_{corr} ensimmäisenä käyttövuotena ja lineaarinen korroosionopeus r_{lin} ISO 9223 mukaan.

Rakenne	Luokka	Märkä- aika h/a	Sinkin korroosionopeus		Teräksen korroosionopeus	
			1. vuosi μm	Vakio $\mu\text{m/a}$	1. vuosi μm	Vakio $\mu\text{m/a}$
Tuuletettu	C3	< 2500	$0,7 < r_{corr} < 2,1$	$0,5 < r_{lin} < 2$	$25 < r_{corr} < 50$	$1,5 < r_{lin} < 6$
Ei tuuletettu	C4	< 5500	$2,1 < r_{corr} < 4,2$	$2 < r_{lin} < 4$	$50 < r_{corr} < 80$	$6 < r_{lin} < 20$

3.2.2 Esteettinen käyttöikä

Esteettisellä käyttöiällä tarkoitetaan tässä julkisivun ulkopintaa ja siinä tapahtuvia muutoksia, jotka eivät vaikuta verhoilun tekniseen toimivuuteen tai kestävyYTEEN. Esteettisen käyttöiän vertailuarvo on sama kuin verhoilun teknisen käyttöiän vertailuarvo. Taulukossa 15 arvioidaan esteettiseen käyttöikään vaikuttavia tekijöitä sekä toimenpiteitä, joilla verhouksen esteettinen käyttöikä saadaan vastaamaan käyttöiän standardiarvoa.

Ohutlevyn leikkausreunan korroosion aiheuttama pinnan värjäytyminen on oletettu levyn sinkkikerroksen kestävyYTEEN verrannolliseksi. Käyttöikäarvio on laskettu $20 \mu\text{m}$:n sinkkikerrosta vastaavaksi.

Taulukko 15. Julkisivun ennakoituun esteettiseen käyttöikään vaikuttavia tekijöitä. Esteettisen käyttöiän standardiarvona voidaan käyttää verhouksen teknisen käyttöiän standardiarvoa.

Esteettisen käyttöiän peruste	Esteettinen käyttöikä ilman toimenpiteitä	Käyttöiän kasvattaminen standardiarvoon
Porausjätteen ruostuminen julkisivupinnalla	2 - 10	Huolellinen puhdistus
Pinnan likaantuminen	15 - 20	Säännöllinen tarkastus, säännöllinen puhdistus
Värimuutokset: UV- ja muu säärasisitus	10 - 15	Pinnoitteen tyyppin ja värin valinta
Ohutlevyn reunan korroosio ja pinnan värjäytyminen	40	Reunan suojaaminen erityisesti rannikon läheisyydessä

3.3 Kunnossapito

Kaikissa rakenteisiin ja tarvikkeisiin kohdistuvissa huolto- ja kunnossapitotoimenpiteissä tulee noudattaa valmistajan antamia ohjeita ja suosituksia. Muovipinnoitettujen ohutlevyjen korjauspinnoitukseen ei kuitenkaan ole olemassa mitään yleispätevää ohjetta. Huoltomaalausten ja niissä käytettävien maalien kestävyydestä ja toimivuudesta ei vielä ole riittävästi tietoa. Pääperiaatteena voidaan noudattaa sitä, että mahdolliset pinnoitevauriot korjataan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Ohutlevyrakenteiden kunnonarviointi perustuu pääsääntöisesti silmämääräisiin tarkastuksiin. Kunnonarvioinnissa on varauduttava avaamaan tuuletetun julkisivun rakenteita paikoin tausta- ja tukirakenteiden kunnon selvittämiseksi. Tarkastukset on syytä toistaa säännöllisesti esimerkiksi seuraavaksi:

- 1 - 5 vuoden välein toistuva silmämääräinen tarkastus:
 - tuuletusraon avoimuus: istutusten kasvaminen kiinni verhoiluun
 - rakennuksen seinän vierustojen siivoaminen seinää vasten olevasta tavarasta
 - julkisivun värimuutokset: pinnoitteen ominaisuuksien muutokset
 - julkisivupinnan ruostevalumat: paikallinen puhdistaminen
 - julkisivupinnan likaantuminen: puhdistustarve
 - vedenpoistojen, räystäskourujen ja syöksytörröjen tarkastus, vuotokohtien paikantaminen
- 5 - 10 vuoden välein toistuva silmämääräinen tarkastus ja rakenteiden kunnon tarkastus
 - julkisivun avaaminen ja taustarakenteiden tarkastukset
 - vähäisten pinnoitevaurioiden korjaus tarvittaessa
 - kiinnitysten tarkastus: kiristys tai uusiminen tarvittaessa
 - julkisivupintaan liittyvien osien kiinnityskohtien tarkastus: julkisivun kunto kiinnityskohdissa.

4. Paalut ja ponttiseinät

4.1 Soveltamisalue

Tässä kuvattua käyttöikäsuunnittelun menettelyä sovelletaan maahan kaivamalla tai lyömällä asennettaviin, pääasiassa pystysuuntaisiin ja kantaviin teräsrakenteisiin. Tällaisia rakenteita ovat mm. teräspaalut sekä -pontit.

Seuraavassa kuvattavan, maahan asennettujen teräsrakenteiden käyttöikämitoituksen tarkoituksena on olla kuvaus siitä, miten käyttöikämitoitusta voidaan soveltaa näihin rakenteisiin. Menettelytapaa ja ennen kaikkea kuoppakorroosion kertoimien sekä olosuhdekertoimien jatkossa esitettäviä kertoimia voidaan pitää näkemyksellisinä. Annetut numeroarvot eivät kaikilta osin perustu harhattomiin tutkimustuloksiin. Lisäksi olosuhdekertoimien osalta voidaan todeta, että niiden käyttöön vahvistaminen edellyttää vähintäänkin rakennuttajien, suunnittelijoiden, materiaalivalmistajien sekä hyväksyntä-viranomaisten välisiä keskusteluja ja hyväksyntää.

4.2 Rakenteen varmuus ja syöpyminen

Käyttöikäsuunnittelussa keskeisenä lähtökohtana on osoittaa, että rakenteen lujuus ja varmuus asetetun tavoitekäyttöajan täyttävät Suomessa voimassa olevat vaatimukset hyväksyttävällä todennäköisyydellä.

Hyväksyttävä todennäköisyys on esitetty po. rakenteille yleensä epäsuoraan käyttäen rakenteiden varmuuden ilmaisemiseen ns. kokonaisvarmuuslukumenettelyä, ks. muun muassa Pohjarakennusohjeet /19/, Lyöntipaalutusohjeet LPO-87 /18/ ja Rakennuskäivanto-ohjeet /20/. Pysyvien ja kantavien rakenteiden kokonaisvarmuusluvulle F sovelletaan yleisesti minimiarvoa 1,8 (8)

$$\frac{R}{S} \geq 1,8 \Leftrightarrow R - 1,8S \geq 0, \quad (8)$$

missä S on rasitus, esimerkiksi rakenteeseen syntyvä jännitys
R rakenteen kapasiteetti, esimerkiksi rakenteen myötöraja.

Kokonaisvarmuuslukumenetelmä voidaan käsittää rajatilamenetelmäksi, jossa rakenne murtuu, kun ulkoinen kuormitus ylittää kuormakertoimella suurennettun arvon. Kokonaisvarmuuslukumenetelmä ei sinällään pidä sisällään täsmällistä tietoa siitä todennäköisyydestä, jolla kuormituksen aikaansaama rasitus ylittää kapasiteetin.

Käyttöikämitoituksessa rakenteen mitoitus tehdään voimassa olevien ohjeiden ja määräysten perusteella ottaen huomioon tavoitekäyttöön aikana tapahtuva rakenteen mitoittavan poikkileikkauksen turmeltumisen määrä. Kantavissa teräsrakenteissa turmeltuminen on rakenteen pinnalta rakenteen paksuutta vastaan kohtisuoraan suuntaan etenevää syöpymistä, joka pienentää rakenteen mitoituksessa huomioitavia dimensioita. Turmeltumattomaksi määritetään se osa rakenteesta, jonka lujuusominaisuudet vastaavat alkuperäisen materiaalin ominaisuuksia enintään 10 %:n poikkeamalla.

Stokastisessa suunnittelussa otetaan tällöin huomioon rasituksen ja vasteen jakaumat ja niissä turmeltumisen johdosta tapahtuvat ajalliset muutokset, (9).

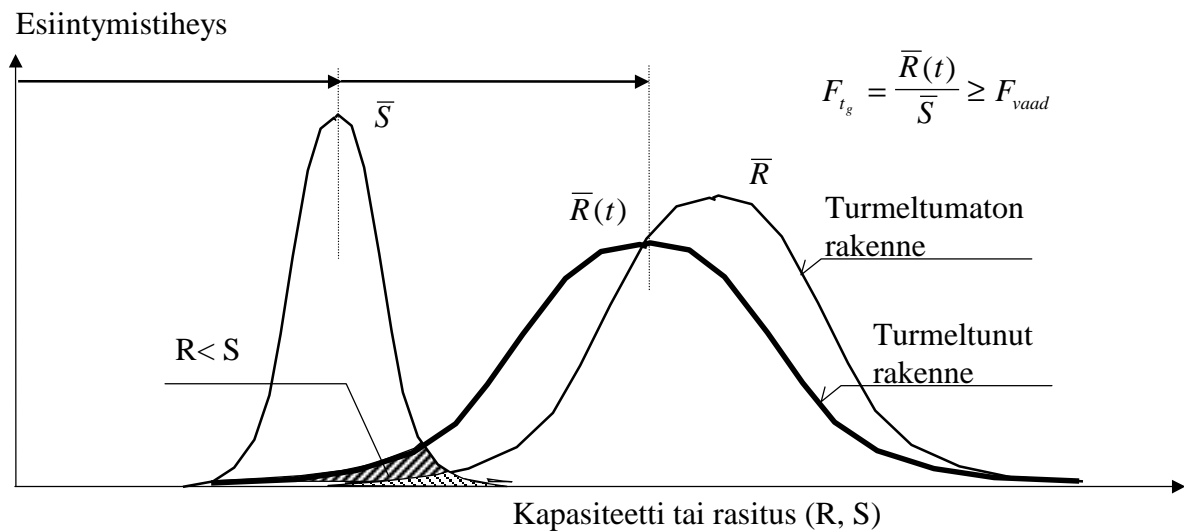
$$P\left\{R(t_g) - F_{t_g} \cdot S(t_g) < 0\right\}_{t_g} < P_{f_{\max}}, \quad (9)$$

missä $P\left\{\right\}_{t_g}$ on rakenteen vauriotodennäköisyys aikana t_g ja

$S(t_g)$	rasitus ajankohtana t_g
$R(t_g)$	kapasiteetti ajankohtana t_g
F_{t_g}	kokonaisvarmuusluku sovellettaessa käyttöikämitoitusta
R	rakenteen kapasiteetti, esimerkiksi rakenteen myötöraja
$P_{f_{\max}}$	suurin sallittu vauriotodennäköisyys.

Lausekkeessa (9) on kaksi periaatteessa toisistaan riippumatonta, rakenteen varmuutta tai rakenteen kapasiteetin ylittymisen todennäköisyyttä kuvaavaa lukua F_{t_g} ja $P_{f_{\max}}$. Näistä ensiksi mainittu ottaa huomioon sen epävarmuuden, joka sisältyy kuormitukseen tai alkuperäisen rakennusmateriaalin ominaisuuksiin ja rakenteen valmistamiseen. Jälkimmäinen termi $P_{f_{\max}}$ sisältää tällöin ainoastaan sen epävarmuuden, joka sisältyy rakenteen turmeltumiseen ajassa. Periaatteessa ja myös käytännössä termit F_{t_g} ja $P_{f_{\max}}$ voidaan yhdistää yhdeksi termiksi. Koska tällä hetkellä käyttöikämitoituksen suhteen ei Suomessa ole käyttöön vahvistettuja määräyksiä tai ohjeita, voidaan luvuille F_{t_g} ja $P_{f_{\max}}$ esittää käyttöikämitoituksen osalta ainoastaan suositeltavia arvoja. Ei-kantavien rakenteiden käyttöikämitoituksessa, esimerkiksi virtausputkissa, joissa rakenteen toiminnallinen funktio ei edellytä erillisen varmuuden huomioimista, termille F_{t_g} voidaan asettaa arvo yksi.

Todellisen turmeltumisen määrän tulee 95 %:n todennäköisyydellä alittaa mitoituksessa sovellettavan syöpymisen määrä eli $P_{f_{\max}} \leq 0,05$. Tällöin varmuuslukuna F_{t_g} suositellaan käytettäväksi ao. rakenteen mitoitusohjeessa esitettyä kokonaisvarmuuslukua, esimerkiksi arvoa $F_{t_g} = 1,8$. Mikäli ao. rakenteelle ei ole määritetty kokonaisvarmuuslukua (ts. $F_{t_g} = 1$), tulee kantavan rakenteen suurimpana vuosittaisena vauriotodennäköisyytenä soveltaa arvoa $P_{f_{\max}} \leq 5 \times 10^{-5}$. Tällöin esimerkiksi 100 vuoden tavoitekäyttöikään pyrittäessä rakenteen elinikäisen vauriotodennäköisyyden vaatimukseksi asetetaan $P_{f_{\max}} \leq 5 \times 10^{-3}$. Varmuuden käsitteistöä havainnollistetaan kuvassa 3.



Kuva 3. Rakenteen alkuperäisen kapasiteetin R ja rasituksen S jakautuminen sekä turmeltuneen rakenteen kapasiteetin $R(t)$ jakauma. Turmeltuminen huomioonotettuna kokonaisvarmuuden tulee säilyä asetetun kokonaisvarmuusluokuvaatimuksen F mukaisena.

Käytännössä ja yksinkertaisimmin teräksen käyttöikämitoitus tehdään siten, että teräksen alkuperäisistä mitoitusvoimien kannalta määräävistä mitoista vähennetään se turmeltumisen määrä, jota tavoitekäyttöajan aikana ei 95 %:n todennäköisyydellä ylitetä. Näin redusoiduilla rakenteen mitoilla tehdään ao. rakenteen mitoitusohjeiden mukainen mitoitus, jossa osoitetaan, että vaadittu kokonaisvarmuus myös turmeltumisen jälkeen on riittävä.

4.3 Korroosiotekninen maakerros

Standardissa SFS-EN ISO 12944-2 /21/ kuvattu ympäristöluokittelu ei ole maahan asennettujen kantavien teräsrakenteiden osalta tarkoituksenmukainen. Maaperän vaikutus otetaan huomioon suojaamattoman teräsrakenteen tapauksessa luokittelemalla maapohja sen korroosioteknisten ominaisuuksien ja geologisen rakenteen perusteella.

Syöpymisen oletetaan tapahtuvan yhtä suurena kaikissa maa-teräskontakteissa aina tietyllä syvyydellä ja samassa maakerroksessa - korroosiotekninen maakerros. Korroosiotekniseksi maakerrokseksi luokitellaan maakerros, jonka alueella sähkökemiallisten olosuhteiden voidaan olettaa olevan korroosion tapahtumisen suhteen yhtäläisiä. Maalajin muuttumisraja on pääsääntöisesti aina myös korroosiotekninen kerrosraja. Poikkeuksena tästä säännöstä on sora- ja hiekkakerroksen välinen raja, jota ei tarvitse tarkastella korroosioteknisenä kerrosrajana. Ihmisen toimesta rakennettujen maakerroskerrosten rajat sekä niiden ja luonnonmaakerrosten rajat ovat pääsääntöisesti aina myös korroosioteknisiä kerrosrajoja. Karkearakeisista luonnonmateriaaleista tai kalliosta murskaamalla

tehdyt ja hyvin vettä läpäisevät (vedenläpäisevyyskerroin $k > 1 \cdot 10^{-6}$ m/s) kerrokset ja täytöt voidaan olettaa kuuluvaksi samaan korroosiotekniseen kerrokseen.

Pohja- ja orsivedenpinnat muodostavat myös korroosioteknisen rajan. Korroosiotekniseksi pohjavesipinnaksi määritetään se taso, jossa huokostilasta vähintään 98 % on vedellä kyllästynyt ja jonka alapuolella kyllästysaste ei laske tämän tason alapuolelle. Samassa maakerroksessa vaihtelevan pohjavesi- ja orsivesipinnan vaihteluvyöhyke on oma korroosiotekninen kerroksensa. Ko. vaihtelualueen oletetaan ulottuvan 0,8 m alaveden (NW) alapuolelle, ellei vesipintamittausten perusteella muuta voida päätellä.

Korroosiotekninen kerros määritetään pohjatutkimusten ja sitä mahdollisesti täydentävien korroosioteknisten tutkimusten avulla.

Murtotilamitoitus tehdään, tapauksesta riippuen, joko määrittämällä korroosioteknisesti mitoittavin maakerros eli kerros, jossa korroosion voidaan olettaa olevan suurin tavoitekäyttöään aikana, ja redusoimalla nimellispoikkileikkaus tässä kerroksessa tapahtuvaksi arvioidun turmeltumisen määrällä. Tyypillinen tällainen rakenne on kärjestään kantava paalu, joka ei ole nurjahdusvaaran alainen. Sellaisten rakenteiden, joissa rasitusten jakautuminen riippuu rakenteen eri osien jäykkyyksistä, redusoiminen tulee tarvittaessa tehdä kussakin korroosioteknisessä kerroksessa erikseen ja kutakin kerrosta vastaavalla määrällä. Esimerkkinä tällaisesta rakenteesta ovat mm. taivutetut ja tuetut teräsponttiseinät. Korroosiovähennysperiaatteella tehdyn käyttöikämitoituksen lisäksi on usein tarpeen tehdä tavanomainen rakenteen mitoitus myös ilman korroosiovähennystä. Käyttötilamitoitus mm. rakenteen siirtymien laskemiseksi tehdään sekä korroosioittomattoman rakenteen poikkileikkausarvoilla että huomioimalla rakenteen poikkileikkausmittojen pienentyminen turmeltumisen ominaisarvon verran.

Perusteita maakerrosten jakamiseksi korroosioteknisiin maakerroksiin esitetään kohdassa 4.5.3.1 (taulukko 18 ja kuvat 11 - 19).

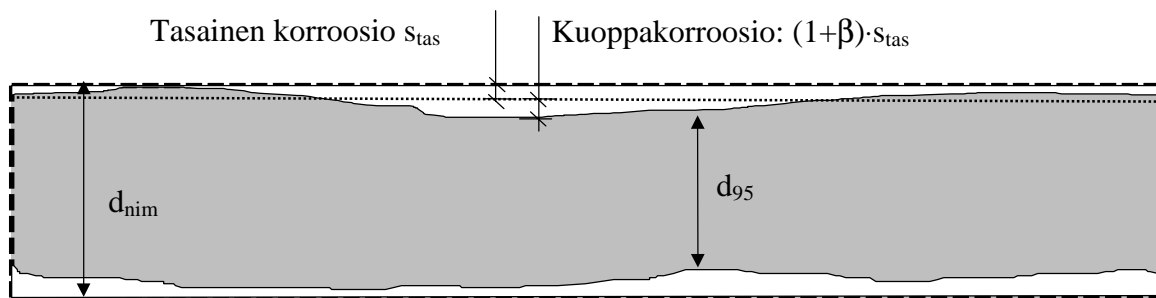
4.4 Mitoittava korrosio

Mitoittava korrosio muodostuu tasaisesta korroosiosta ja kuoppakorroosiosta. Kantavan rakenteen mitoitusikää vastaavan korroosion ominaisarvo $s_0(t)$ määritetään kaavalla

$$s_0(t) = (1 + \beta) \cdot s_{tas}(t), \quad (10)$$

missä β on kuoppakorroosion huomioiva kerroin, joka riippuu rakenteen käyttötarkoituksesta, mitoista sekä mitoitusilanteesta
 $s_{tas}(t)$ tasaisen korroosion ominaisarvo tavoitekäyttöiässä.

Tasaisella korroosiolla ymmärretään käyttöikämitoituksessa teräskappaleen keskimääräistä korroosiota. Se on kokeellisesti määritettävissä esimerkiksi painon menetyksenä, jos korrosio on yhtäläinen teräksen molemmiin puolin, ja muunnettavissa tasaisen syöpyymisen määräksi s_{tas} . Kuoppakorrosio on se osa kuoppamaisesta korroosiosta, joka ylittää tasaisen korroosion syvyyden, kuva 4. Kuoppakorrosio siis itse asiassa sisältyy tasaisen korroosion määrään. Tavoitteena on ennustaa rakenteellisessa mitoituksessa tietyn käyttöikänsä aikana tapahtuva turmeltuminen siten, että rakenteen mitoittavat dimensiot ovat ennustettavissa 95 %:n luottamusvälillä. Kuvassa 4 mitoittavan dimension esimerkkinä on levyn paksuus d_{95} .



Kuva 4. Tasainen korrosio ja kuoppakorrosio. $d_{95} = d_{nim} - 2 \cdot (1 + \beta) \cdot s_{tas}$, jos korrosio on yhtäläinen levyn molemmilla puolin.

Tasaisen korroosion ominaisarvo määritetään kussakin korroosioteknisessä maakerroksessa joko

- "käsikirjamenettelyllä" - kohta 4.5.2.2
- empiiriseen aineistoon perustuen - kohdat 4.5.3.2, 4.5.3.3, 4.6 ja 4.8.
- empiiriseen aineistoon sekä kohdekohtaiseen korroosiotutkimukseen perustuen.

Mitoittava korrosio $s_d(t)$ saadaan korroosion ominaisarvosta $s_0(t)$ huomioimalla kohdassa 4.8 esitetyt olosuhdetekijät k_i :

$$s_d(t) = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot s_0(t). \quad (11)$$

Poikkileikkauksen mitoittava dimensio määritetään vähentämällä rakenteen nimellisdimensiosta mitoittava korrosio. Kaksipuoleisesti turmeltuvassa rakenteessa, esimerkiksi kuvan 4 tapauksessa, mitoittava levyn paksuus d_d saadaan kaavasta

$$d_d = d_{nim} - 2 \cdot s_d(t). \quad (12)$$

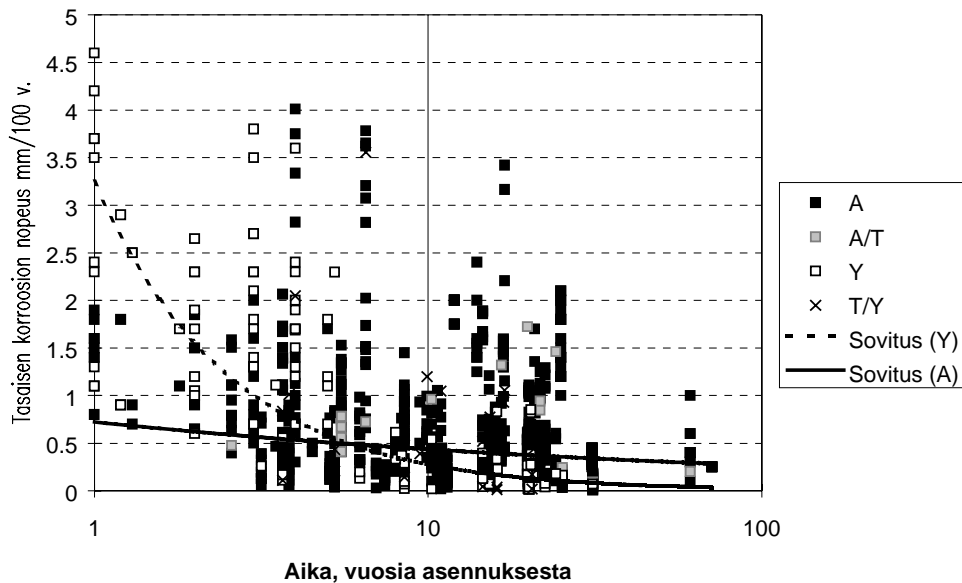
4.5 Tasainen korroosio

4.5.1 Tasainen korroosio luonnonmaakerroksissa

Tasaisen syöymisen oletetaan tapahtuvan symmetrisesti rakenteen kaikilta pinnoilta, jos rakenteen maata vastaan olevan piirin pituus on alle 3 m. Olosuhteiden spatiaalinen vaihtelu, esimerkiksi korroosioteknisen maakerroksen vaihtelu vaakasuunnassa, otetaan huomioon levymäisissä rakenteissa tarvittaessa. Mikäli teräsrakenteen eri puolilla olosuhteiden tiedetään poikkeavan toisistaan, syöymistä tarkastellaan eri pinnoille erikseen, esimerkiksi putkipaalun maanvastaisen puolen ja sisäpuolen korroosio arvioidaan erikseen. Tässäkin tapauksessa korroosion oletetaan vaikuttavan symmetrisesti rakenteen eri puolilla, jos paalun halkaisija on alle 1 000 mm (piirin pituus n. 3 m).

Tasaisen korroosion **ominaisarvo** arvioidaan kokemusperäiseen aineistoon perustuen käyttäen kohdassa 4.5.3.2. esitettyä menettelyä. Erityisolosuhteissa tasaisen korroosion ominaisarvon arviointiin voidaan käyttää kuvasarjassa 7 - 19 esitettyjä kokemusperäisiä riippuvuuksia.

Luonnonmaakerroksessa merkittävin korroosion määrään vaikuttava tekijä on pohjavesipinnan tai orsivesipinnan sijainti. Yleisenä huomiona voidaan todeta, että pysyvän pohjavedenpinnan yläpuolella korroosio on aluksi voimakasta ja hidastuu nopeasti ensimmäisten vuosien jälkeen. Kyllästyneessä tilassa olevassa maassa korroosio on sitä vastoin alussa vedenpinnan yläpuolisia alueita hitaampaa mutta hidastuu suhteellisen hitaasti, jolloin pitkällä aikavälillä korroosio voi olla vedenpinnan alapuolella absoluuttisesti suurempaa kuin pohjavedenpinnan yläpuolella. Kuvassa 5 esitetään kansainvälisessä kirjallisuudessa esitettyjä havaintoja teräkselle pohjavedenpinnan ylä- ja alapuolella sekä vaihteluvyöhykkeessä (ks. myös lähdeluettelo).



Kuva 5. Tasaisen korroosion nopeuden arvot pohjavedenpinnan ylä- (Y) ja alapuolella (A) sekä pohjavedenpinnan tasalla (T) ajan funktiona.

Vaikka kuvassa 5 havaittavissa oleva korroosion hidastuminen alkuvaiheen jälkeen on sähkökemiallisin korroosiotutkimuksin havaittavissa ja muutenkin yleisesti tunnustettu, ei ilmiön käytännön huomioiminen ole aikaisemmin juurikaan ollut mahdollista. Useiden yksittäisten korroosiotutkimusten mittausaineistot ovat keskittyneet yleensä ajallisesti rajattuihin havaintosarjoihin, jolloin on ollut mahdollista, että niissä tehdyt johtopäätökset korroosion nopeudesta pohjaveden yläpuolella tai alapuolella ovat riippuneet siitä, minkä ikäisistä teräsrakenteista tutkimuksissa on kulloinkin ollut kyse. Yleisesti ottaen havaintoaineisto, jossa rakenne on ollut maan sisällä yli 30 vuotta, on kansainvälisestikin äärimmäisen niukka. Tarkasteltaessa korroosionopeuden muutoksia ajassa mittausaineiston pohjalta on huomioitava, että pitkällä aikajaksolla on mahdollisesti tapahtunut myös trendinomaisia muutoksia esimerkiksi teräksen koostumuksissa, ilmansaasteiden lisääntymisessä jne.

4.5.2 Tasaisen korroosion määrittely käsikirjamenettelyllä

4.5.2.1 Korroosiotutkimus

Muun muassa Ruotsissa, Norjassa, Yhdysvalloissa ja Japanissa on tehty varsin mittavia ja perusteellisia korroosiotutkimuksia, vrt. /22 - 31/. Muutamia tutkimuksia on tehty myös Suomessa, mutta nämä tutkimukset ovat olleet melko suppeita tai johonkin erityisongelmaan paneutuvia.

Taulukossa 16 vertaillaan muutamia laajimpia tutkimuksia. Yleensä on mitattu sekä tasaista korroosiota että maksimikuoppakorroosiota. Tasainen korrosio on useimmiten mitattu noin metrin mittaisista tangon tai paalun palasista joko punnitsemalla tai mittamalla mikrometrillä. Kaikissa näissä tutkimuksissa häiriintymättömään maahan asennettujen pystysuuntaisten tankojen tai paalujen mitatut tasaisen korroosion nopeudet olivat selvästi odotettua pienempiä.

Taulukko 16. Korroosiotutkimusten /23/ - /31/ vertailua.

Tutkimus	Maa	Maaperä	Tutkittuja teräskappaleita	Korroosionopeuteen vaikuttava tekijä			
				pH	Omin.vast.	Maalaji	Aika
Sandegren 1988 [23]	Ruotsi	htön	75 tankoa	o	o	–	o
Tungesvik et al. 1975 [24]	Norja	htön	16 paalua*, 15 tankoa	–	–	–	–
Ohsaki 1982 [25]	Japani	htön	126 tankoa	o	o	o	x
Romanoff 1962, 1969 [26, 27]	USA	htön	54 paalua*	o	o	o	–
Rönholm et al. 1987 [28]	Suomi	htön	tankoja	o	o	o	–
Leppänen 1992 [29]	Suomi	htön, häir.	7 kohdetta	(x)	(x)	–	–
Korhonen et al. 1987 [30]	Suomi	häir.	tuhansia haruksia	o	(x)	–	–
Camitz & Vinka 1989 [31]	Ruotsi	häir.	180 levyä ja tankoa	x	–	x	o

x = on vaikutusta, o = ei vaikutusta, – = ei tehty johtopäätöksiä tämän tekijän suhteen, tyhjä solu = ei tutkittu.

* tarkoittaa todellista, käytössä ollutta teräspaalua tai teräsponttia, jonka alkuperäisiä dimensioita ei tunneta tarkasti. Muut yllä mainitut paalut tai tangot on asennettu maahan nimenomaan korroosiotutkimusta varten.

htön = häiriintymätön, häir. = häiritty.

Mitään yleispätevää selittäjää maassa tapahtuvalle korroosiolle ei ole löydetty, vaan eri tutkimuksissa on saatu osittain hieman ristiriitaisiakin tuloksia. Taulukossa 16 esitettyjen korroosionopeuteen vaikuttavien tekijöiden lisäksi tutkimuksissa on selvitetty monia muitakin tekijöitä – eri tutkimuksissa vielä useimmiten eri tekijöitä. Joidenkin tutkimusten mukaan maaperän olosuhteet vaikuttavat korroosioon: mitä alhaisempi pH ja ominaisvastus, sitä suurempi korrosio; jotkut maalajit ovat syövyttävämpiä kuin toiset. Toisten tutkimusten mukaan taas näillä maaperän ominaisuuksilla ei ole mitään vaikutusta korroosioon. Myös korroosionopeuden pienenemisestä ajan suhteen ollaan eri mieltä.

Yhtä mieltä ollaan siitä, että maan happipitoisuus vaikuttaa korroosionopeuteen ratkaisevasti. Tästä johtuu muun muassa se, että häirityssä maassa (esimerkiksi putkijohtokavannoissa yms.) korrosio on yleensä selvästi nopeampaa kuin häiriintymättömässä maassa (esimerkiksi paalut). Kaivantoa tehtäessä maa ilmastuu, ja häirityssä maassa hapen liikkuminen on helpompaa kuin häiriintymättömässä. Hapen kulku aiheuttaa myös sen, että maan pintaosissa - pohjavedenpinnan alimmalle tasolle saakka ja hieman sen allekin - korrosio on suurempaa kuin syvemmillä.

Joissakin tapauksissa myös syvällä maassa on tavattu suuria korroosionopeuksia. Tällöin katsotaan, että rikkiä pelkistävät anaerobiset bakteerit (SRB, sulfate-reducing bacteria) ovat syyä syöpymiseen. Bakteerien vaikutusmekanismeja ei vielä tunneta kunnolla /32/.

Nämä ulkomaisten korroosiotutkimusten tuloksia on yhtenäisessä muodossa tallennettu taulukkolaskentaohjelmaan. Korroosiodataa on olemassa paljon, mutta aineiston käsittelyä vaikeuttaa mm. se, että eri tutkimuksissa on keskitytty osin erilaisiin maaparametrien selvittämiseen. Kaikista tutkimuksista mm. maaperätietoja ei ole edes julkaistu.

4.5.2.2 Korroosio käsikirjoissa

Suomessa teräspaalujen korroosion huomioonottamisesta annetaan ohjeita lähteissä Teräspalkkipaalut /32/ ja Lyöntipaalutusohjeet /18/. Ruotsin rakentamismääräyksissä /33/ asia mainitaan lyhyesti, mutta Paalutoimikunta /34/ antaa uuden, yksityiskohtaisen ehdotuksen korroosiovaran suuruudeksi eri olosuhteissa. Norjan paalutusohjeet /22/ ohjaavat korroosiovaran suuruutta. Yhdentyvän Euroopan osalta asiaan otetaan kantaa Eurocode 3:ssa Teräsrakenteiden suunnittelu /35/. Japanissa satamalaitos, tielaitos, rautatiehallinto ja muutamat muut organisaatiot antavat omia suosituksiaan korroosiovarasta /34/.

Taulukossa 17 esitetään yhteenveto eri maiden korroosiovarakäytännöistä. Eri normien aiheeseen liittyvät kohdat on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 17. Korroosiovaran suuruus paalun yhdellä sivulla (mm/100 vuotta) eri maiden rakentamismääräysten mukaan häiriintymättömässä luonnonmaassa, joka ei ole erityisen aggressiivista. Yleensä tässä taulukossa mainittu arvo annetaan tilanteelle, jossa ilman erikoistutkimuksia korroosioriskin voidaan olettaa olevan vähäinen (ks. tarkemmin liite 1).

Liite 1	Maa/normi	Vähintään 1 m alimman pohjavedenpinnan tason alapuolella (= minimi)	Pohjavedenpinnan tason ympäristössä tai yläpuolella (= maksimi)	Huomautuksia
A	Suomi /18/, /32/	2	4	
B	Ruotsi /33/		1	
B	Ruotsi /34/	2 - 3 (riippuu maalajista)	2 - 4 (riippuu maalajista)	Paalutoimikunnan ehdotus
C	Norja /22/		1	Norjassa varsin tavallisissa suolaisissa savissa 4
D	Eurocode 3, luonnos /35/		1.2	
E	Japani /34/	2 - 3 (riippuu rakennuttajaviranomaisesta)	2 - 5 (riippuu rakennuttajaviranomaisesta)	

Täytöissä, saastuneissa maissa ja aggressiivisissa luonnollisissa maapohjissa korroosiovaran täytyy olla yllä esitettyjä huomattavastikin suurempi, ks. liite 1.

4.5.3 Tasaisen korroosion määrittely empiiriseen aineistoon perustuen

4.5.3.1 Aineisto

Tasaisen korroosion määrä määritetään käyttäen hyväksi empiiristä aineistoa, joka on koottu kansainvälisestä kirjallisuudesta. Kirjallisuudesta tietokantaan poimittu aineisto kattaa tällä hetkellä n. 1 600 havaintoa. Aineiston muuttujat esitetään taulukossa 18. Aineistoon kerättiin yleisimmät eri korroosiotutkimuksissa esitetyt muuttujat. Taulukoon lisättiin suojaamattoman terästuotteen osalta arvio eri tekijöiden merkitsevyydestä korroosion suuruuteen. Pienessä osassa tutkimuksia on esitetty myös yksityiskohtaisia maapohjan ominaisuuksia - lähinnä maan kemiallisia tai sähkökemiallisia ominaisuuksia - taulukossa 18 mainittujen 13 muuttujan lisäksi. Näiden määrä on kuitenkin riittämätön yleistettyjen yhteyksien laatimiseen. Kunkin muuttujan vaikutus suojaamattoman teräksen korroosioon esitetään kuvissa 7 - 19. Kuvasarjassa on ainoastaan ne vajaat 500 havaintoa, joiden osalta kaikki em. muuttujat on määritetty. Vaakasuuntainen viiva kuvissa on keskiarvon tasolla.

Muuttujat eivät ole toisistaan riippumattomia. Tästä syystä korroosion arviointia ei voi tehdä supernoimalla eri tekijöiden vaikutuksia yhteen. Kuvissa 7 - 19 voidaan kuitenkin käyttää tietyn yksittäisen tekijän aiheuttaman turmeltumisriskin suhteellisen merkityksen estimointiin. Kuvien 7 - 19 korroosion määrä normalisoitiin laskemalla odotettavissa olevan korroosion määrä 100 vuoden iässä huomioimatta mahdollista korroosionopeuden hidastumista. Kuten kuvasta 7 ja edellä kohdasta 4.5.1 ilmenee, korroosionopeus hidastuu ajan suhteen. Eri tekijöiden keskinäiset ristikorrelaatiot ovat taulukossa 19.

Taulukko 18. Empiirisen aineiston muuttujat ja niiden neuroverkko-sovelluksessa käytetyt numeroarvot. Kunkin tekijän erillismerkitystä korroosion määrään arvioitiin piste-tyksellä (), (+) ja (++).

Muuttuja	Numeroarvo neuroverkko- sovelluksessa	Merkitsevyys ++ vaikuttaa korroosioon merkittävästi + jonkin verran
1. Teräskappaleen asento maassa: ++		
Pysty	1	
Vaaka	2	
Ei suuntaa; palamainen kappale	3	
Muu tai tuntematon	4	
2. Maapohjan tila teräskappaleen vierellä ++		
Häiriintymätön /luonnontilainen	1	
Häiritty (ml. täyttö)	2	
3. Eloperäisen aineksen olemassaolo		
Ei sisällä eloperäistä materiaalia	0	
Sisältää liejua (esim. ljSa)	2	
Sisältää turvetta, humusmaata	3	
Sisältää hiiltä	4	
4. Maapohjan kerrallisuus		
Kerrallinen/voimakk. kerroksellinen	1	
Ei kerrallinen	0	
5. Maalaji/raekoon #d₃₀ mukaan ++		
Ilma	0	
Kuivakuorisavi	0.0015	
Lihava savi	0.001	
Savi sekä liejusavi	0.002	
Laiha savi ja silttinen savi	0.0025	
Savinen siltti	0.003	
Hiekkainen savi	0.005	
Siltti	0.006	
Hiekkainen siltti ja karkea siltti (hieta)	0.05	
Savinen hiekka	0.08	
Silttinen hiekka	0.1	
Hiekka	0.2	
Sorainen hiekka	0.6	
Sora/Hiekka	2	
Hiekkainen sora	4	
Sora	6	
Sepeli	8	
Savinen moreeni	9	
Hiekkainen moreeni	10	

Taulukko 18, jatkoa

Sekalainen mm. määrittämätön täyttö	15	
Muta/turve	20	
Tuntematon	50	
6. Erityismateriaalien olemassaolo		
Ei mainintaa/tietoa	0	
Kalkkipitoinen	1	
Sulfidipitoinen	5	
Muu poikkeava materiaali	10	
Merenpohjaa (suuri suolapitoisuus)	20	
7. Paikka suhteessa pohjavesipintaan		++
Yläpuolella	5	
Yläpuolella tai pohjavesipinnalla	4	
Pohjavesipinnan tasalla	3	
Pohjavesipinnan tasalla tai alapuolella	2	
Alapuolella	1	
Ei tietoa	0	
8. Materiaali		++
Sinkitty	5	
Hiiliteräs	1.5	
Teräs tai ei tietoa	1	
Sintrattu teräs	0.5	
9. Rakennetyyppi		
Paalu	6	
X-paalu	5	
Tanko	4	
Kulmateräs	3	
Koekappale	2	
Levy/Pelti	1	
Ei mainintaa	0	
10. Rakenteen ikä maassa, vuosia		++
Ikä	n	
11. Maan vesipitoisuus		+
w, paino-%	w	
12. Maan happamuus		+ (++ jos pH <4.5)
pH	pH	
13. Maan ominaisvastus		+
R, Ωm	R	

Taulukko 19. Muuttujien keskinäiset riippuvuudet. Ristikorrelaatioltaan $R > 0.0$ arvot on merkitty vahvennuksella.

Ominaisuus/muuttuja nro	Korroosio 10 vuodessa -0	Asento -1	Häiriintyneisyys -2	Eloperäisyys -3	Kerrallisuus -4	Raekoko -5	Pohjaveden sijainti -7	Materiaali -8	Rakenne -9	Maasaoloaika -10	Vesipitoisuus -11	pH -12	Ominaisuusvastus -13
0	1.00	0.64	0.46	0.09	-0.10	0.10	0.48	0.60	0.51	-0.34	-0.03	-0.39	0.06
1	0.64	1.00	0.69	0.11	-0.16	0.15	0.50	0.83	0.61	-0.39	-0.08	-0.36	0.28
2	0.46	0.69	1.00	0.07	-0.22	0.10	0.40	0.66	0.61	-0.22	-0.08	-0.27	0.23
3	0.09	0.11	0.07	1.00	-0.07	0.44	-0.02	0.00	0.08	0.03	0.32	-0.49	-0.08
4	-0.10	-0.16	-0.22	-0.07	1.00	0.05	-0.06	-0.20	-0.14	0.09	-0.09	-0.25	-0.07
5	0.10	0.15	0.10	0.44	0.05	1.00	0.06	0.08	0.09	0.14	0.52	-0.36	0.01
7	0.48	0.50	0.40	-0.02	-0.06	0.06	1.00	0.42	0.44	-0.12	-0.11	-0.44	0.34
8	0.60	0.83	0.66	0.00	-0.20	0.08	0.42	1.00	0.74	-0.40	-0.04	-0.19	0.27
9	0.51	0.61	0.61	0.08	-0.14	0.09	0.44	0.74	1.00	-0.33	-0.08	-0.30	0.26
10	-0.34	-0.39	-0.22	0.03	0.09	0.14	-0.12	-0.40	-0.33	1.00	0.33	0.01	-0.11
11	-0.03	-0.08	-0.08	0.32	-0.09	0.52	-0.11	-0.04	-0.08	0.33	1.00	-0.07	-0.10
12	-0.39	-0.36	-0.27	-0.49	-0.25	-0.36	-0.44	-0.19	-0.30	0.01	-0.07	1.00	-0.10
13	0.06	0.28	0.23	-0.08	-0.07	0.01	0.34	0.27	0.26	-0.11	-0.10	-0.10	1.00

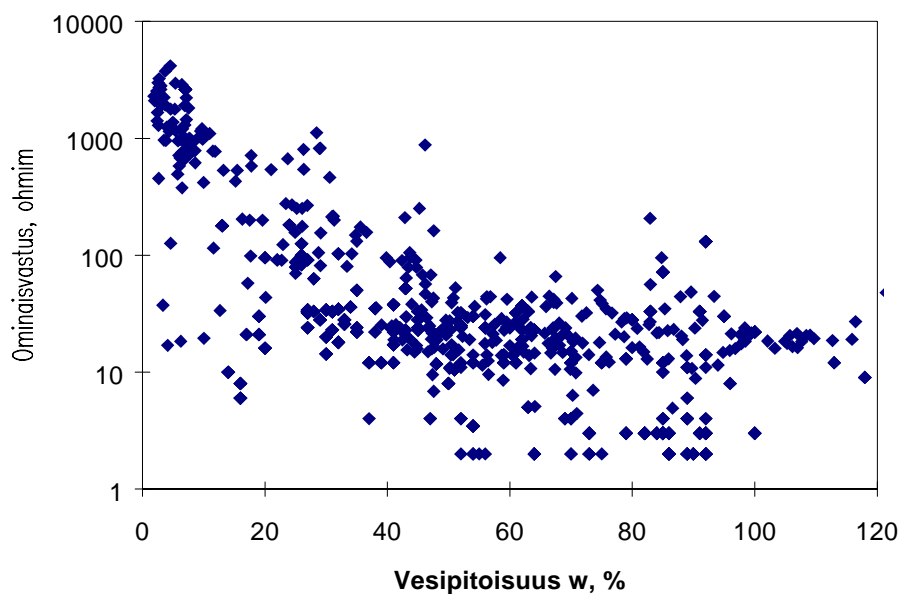
Kuvien 7 - 19 perusteella voidaan tehdä seuraavia yleisiä huomioita:

- Teräksen hiilipitoisuuden lisäys kasvattaa korroosion määrää (kuva 8).
- Teräksen vaakasuuntaisuus näyttää kasvattavan korroosiota suhteessa pystysuuntaiseen rakenteeseen (kuva 10). Teräksen vaakasuuntaisuus ei liene itsessään varsinainen selittäjä, koska vaakasuuntaisista teräksistä merkittävä osa sijaitsee häirityssä maakerroksessa tai pohjavedenpinnan yläpuolella.
- Korroosio on täydyissä tai häirityissä maapohjissa keskimäärin kaksinkertainen verrattuna esimerkiksi luonnontilaiseen maapohjaan lyömällä asennettuihin teräksiin (kuva 11).
- Pääosa havainnoista sijaitsee pohjavedenpinnan alapuolella (kuva 12). Näyttäisi siltä, että korroosio pohjavedenpinnan yläpuolella olisi pohjavedenpinnan alapuolelta korroosiota merkittävämpi. Tässä johtopäätöksessä lienee kuitenkin ainakin kaksi virhemahdollisuutta:
 1. Sataan vuoteen asti lineaarisella ekstrapoloinnilla ajan suhteen tehty korroosiomäärän estimointi johtaa virheeseen, jos pohjaveden ylä- ja alapuolella korroosion ajallinen nopeus on erilainen. Kuvan 5 perusteella pohjavedenpinnan yläpuolella korroosio näyttää olevan alkuvaiheessa nopeampi kuin pohjavedenpinnan alapuolella mutta hidastuu alkuvaiheen jälkeen hitaammaksi, kuin mitä se on pohjavedenpinnan alapuolella. Koska pääosa havainnoista on peräisin suhteellisen lyhytaikaisista havainnoista, korostuu pohjavedenpinnan yläpuolen korroosio. On hyvinkin mahdollista, että kansainvälisessä kirjallisuudessa yleisesti siteerattu

"tieto", että korroosio on merkityksellisempää pohjavedenpinnan ylä- kuin alapuolella, on itse asiassa tulkittu puutteellisen aineiston johdosta väärin.

2. Pohjavedenpinnan yläpuoliset rakenteet on sijoitettu keskimäärin yleisemmin täyttöihin tai ne ovat keskimääräistä yleisemmin häiriintyneissä maakerroksissa kuin pohjavedenpinnan alapuolisiin kerroksiin asennetut teräskoekappaleet.

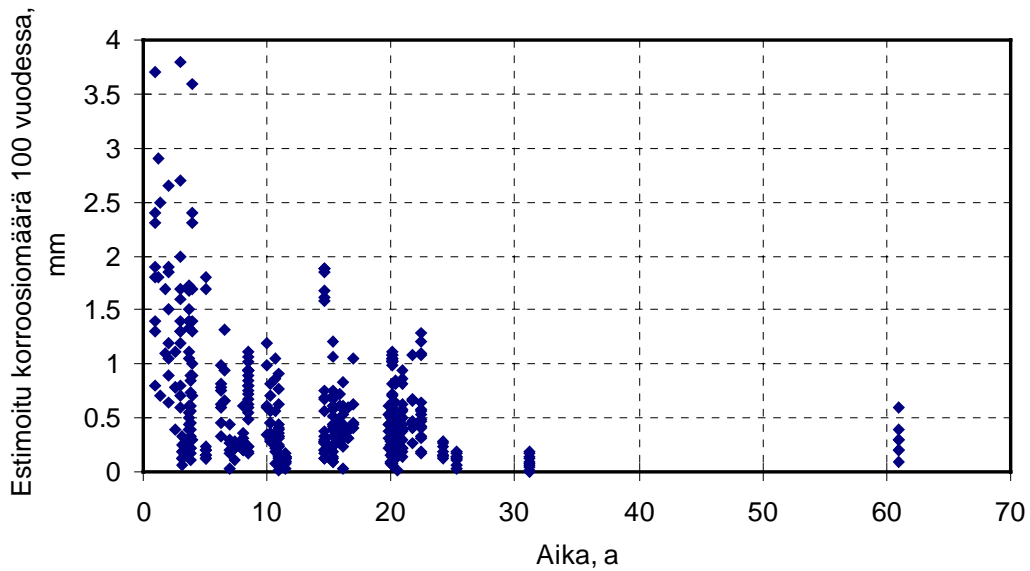
- Maapohjan rakeisuudella ja sitä kautta maalajilla ei näyttäisi olevan selvää vaikutusta tasaiseen korroosioon (kuva 13).
- Eloperäisen aineksen mukanaolo kasvattaa lievästi korroosion määrää (kuva 14).
- Maapohjan kerrallisuudella tai kerroksellisuudella ei voida osoittaa olevan vaikutusta korroosioon (kuva 15).
- Kun vesipitoisuus on 40 - 60 %, korroosio näyttäisi olevan merkityksellisempää kuin sitä kuivemmissa tai sitä kosteammassa olosuhteissa (kuva 16). Selityksenä tässä voi olla se, että alle 40 %:n vesipitoisuudessa maapohjan elektrolyytinä toimiva huokosvesi alkaa muuttua epäjatkovaksi. Tämä heikentää galvaanisen korroosion tarvitseman virran voimakkuutta, kun maan ominaisvastus kasvaa. Äärimmillään, kuivassa materiaalissa, ei korroosiolle enää ole edellytyksiä. Vesipitoisuuden kasvaessa yli 60 % ominaisvastuksen pieneneminen ei vastaavasti enää laske suoraan vesipitoisuuden mukaan, kuva 6. Toisaalta yli 60 %:n vesipitoisuudet edustanevat pääosin lihavia savia, joissa korroosiotuotteiden kulkeutuminen pois turmeltuvan teräksen pinnalta on suhteellisen hyvin estetty.



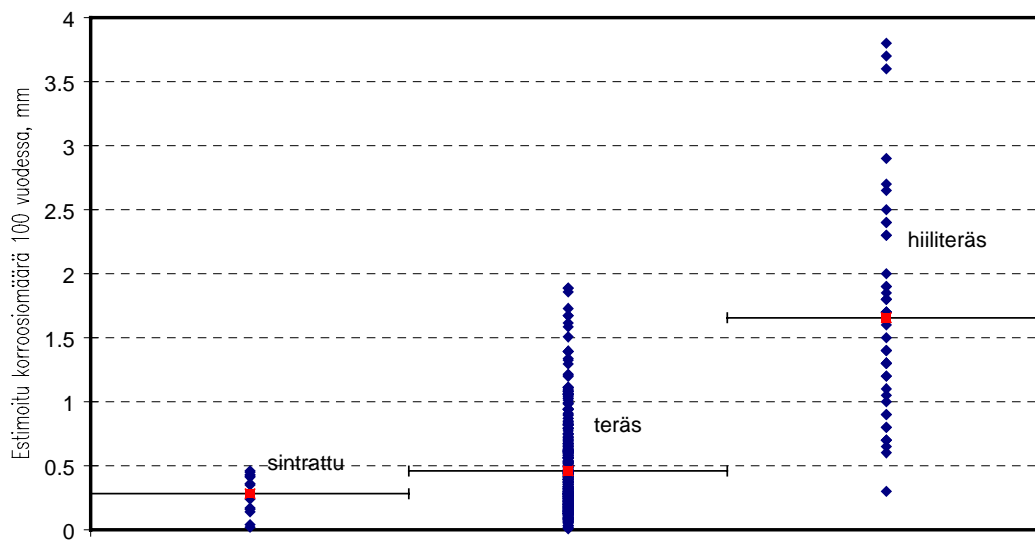
Kuva 6. Vesipitoisuuden ja ominaisvastuksen välinen vuorosuhde kivennäismaamateriaaleissa. Havainnot ovat VTT Yhdyskuntatekniikan kokoamaa julkaisematonta mitausaineistoa sekä tämän tutkimuksen yhteydessä eri kansainvälisistä korroosiotutkimusaineistoista koottua aineistoa ($N = 1017$).

- Maapohjan ominaisvastuksella on sanottu olevan merkittävä vaikutus korroosion suuruuteen. Kuvan 17 perusteella näin ei kuitenkaan näyttäisi olevan. Toisaalta kuva 17 myös osaltaan kumoaa edellä vesipitoisuuden osalta esitettyjä johtopäätöksiä.
- Maapohjan pH:lla ei neutraaleissa olosuhteissa ($6 < \text{pH} < 8$) näyttäisi yleisesti ottaen olevan suurta merkitystä tasaiseen korroosioon (kuva 18). Aineisto jossakin määrin vahvistaa yleisesti tunnettua havaintoa, että happamissa ($\text{pH} < 5$) olosuhteissa korroosio voi olla runsasta. Aineisto tältä osin on kuitenkin niukkaa. Koko aineiston sisältävässä kuvassa 19 ilmiö on sitä vastoin selkeämmin havaittavissa.

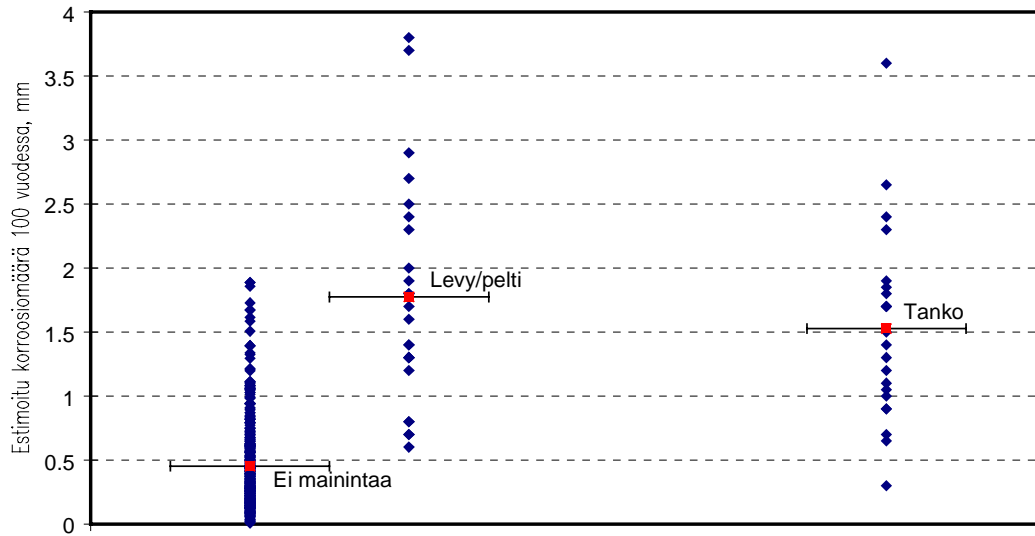
Kuvasarja 7 - 19. Yksittäisten tekijöiden merkitys suojaamattoman teräksen korroosioon.



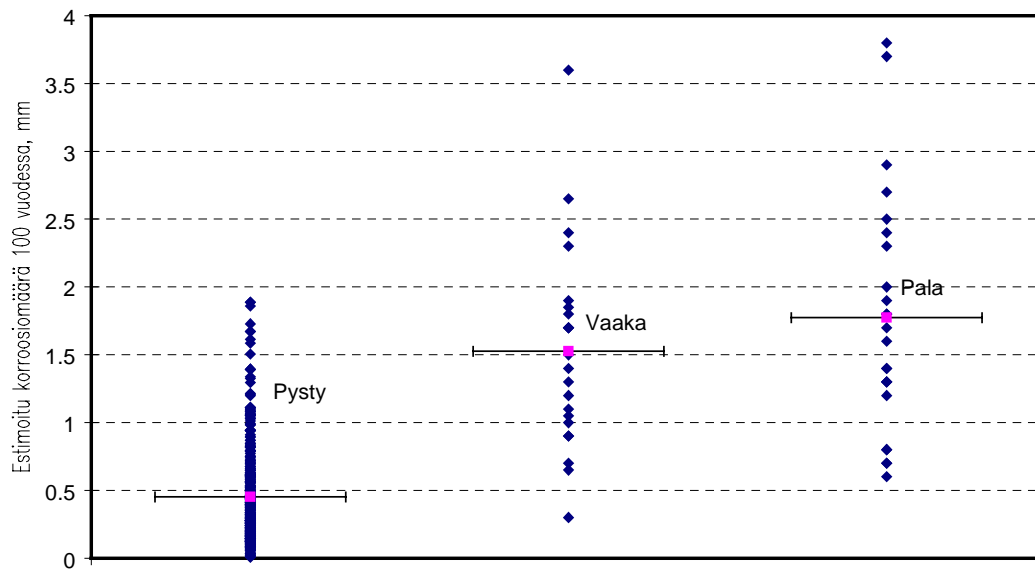
Kuva 7. Maassaoloajan vaikutus tasaisen korroosion määrään.



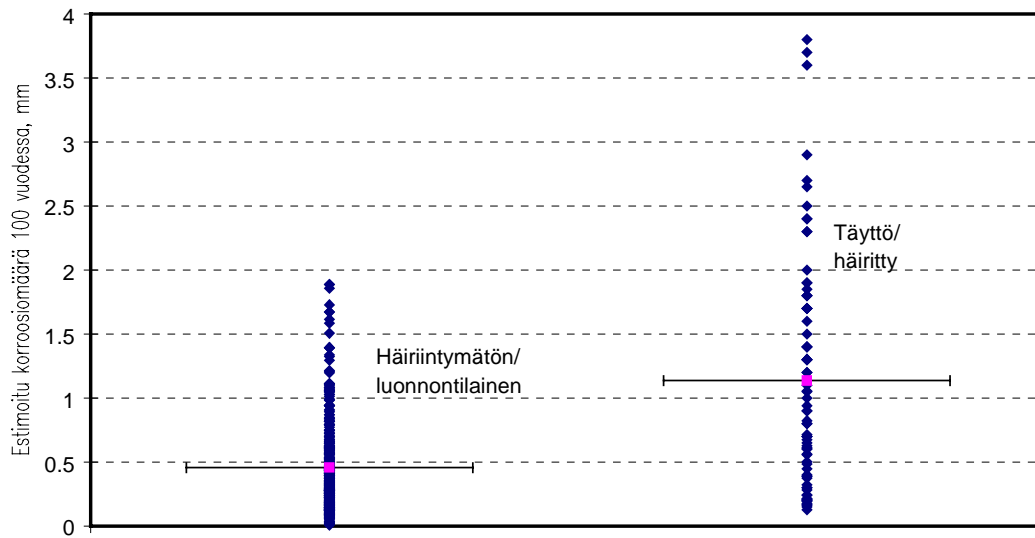
Kuva 8. Teräslaadun vaikutus korroosion määrään. Kategoriaan "teräs" kuuluvat myös tarkemmin erittelemättömät terästuotteet.



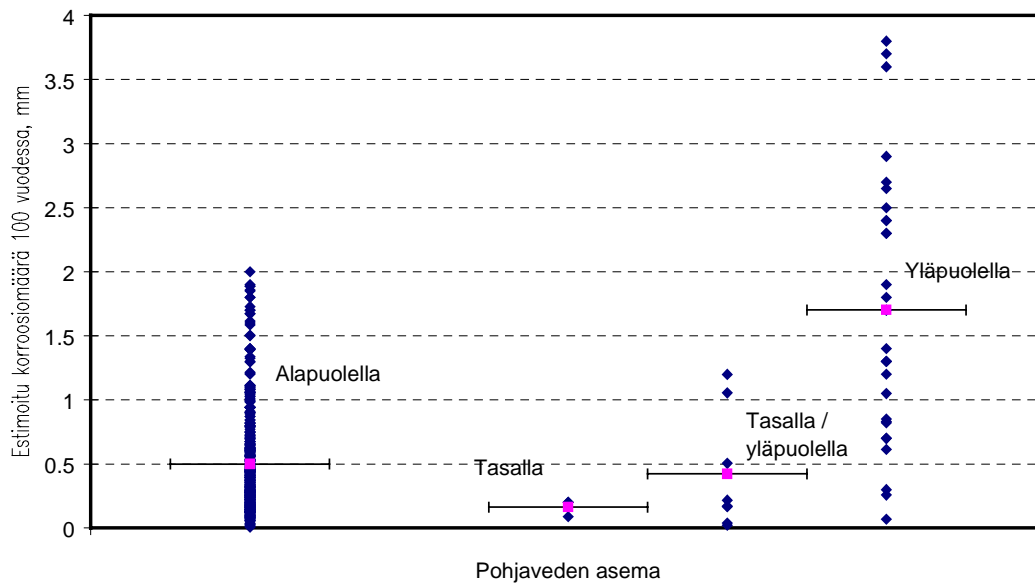
Kuva 9. Teräsesineen muodon vaikutus korroosioon.



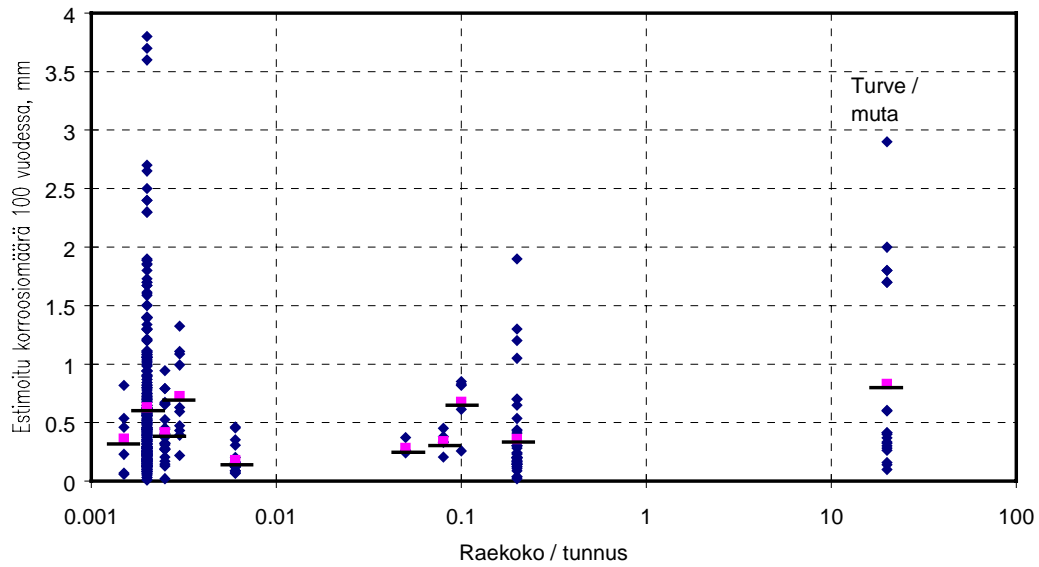
Kuva 10. Teräsesineen asennon vaikutus tasaiseen korroosioon.



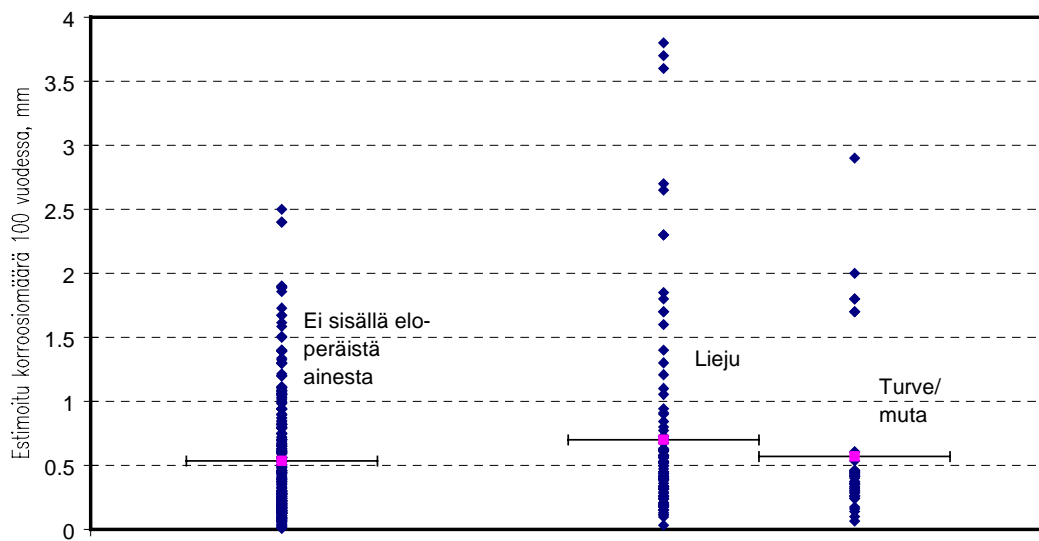
Kuva 11. Maapohjan häiriintymättömyyden tai häiriintyneisyyden vaikutus tasaiseen korroosioon.



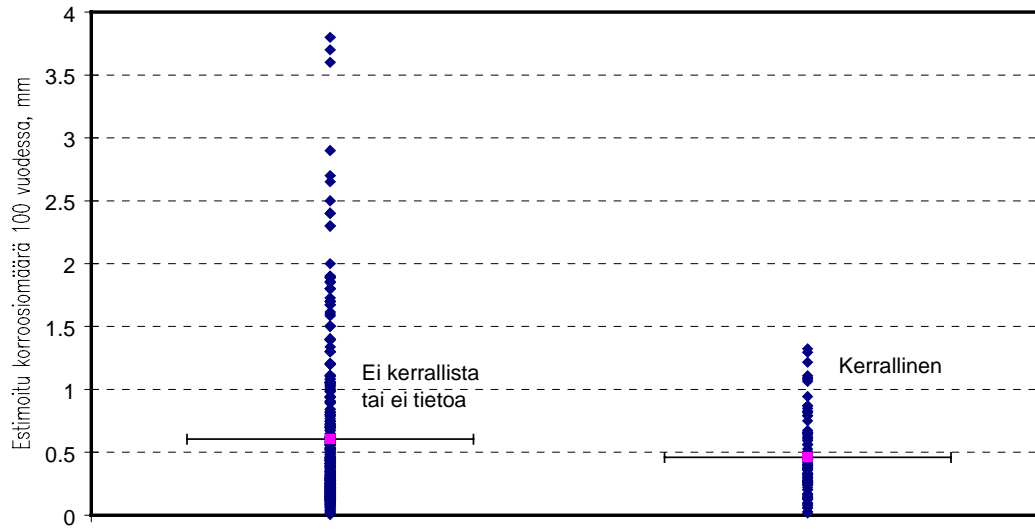
Kuva 12. Pohjavedenpinnan vaikutus; tarkasteltavan teräsojan asema suhteessa pohjaveden pintaan.



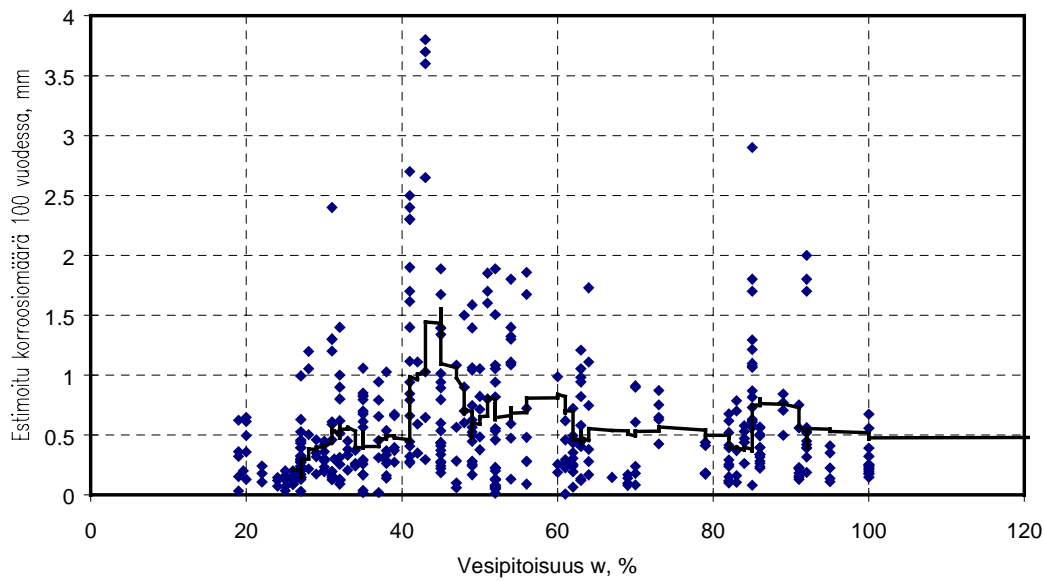
Kuva 13. Maalajin vaikutus. Turvetta tai mutaa lukuun ottamatta vaak-akselilla on maamateriaalin rakeisuuden 30 %:n läpäisyä vastaava, arvioitu raekoko [mm].



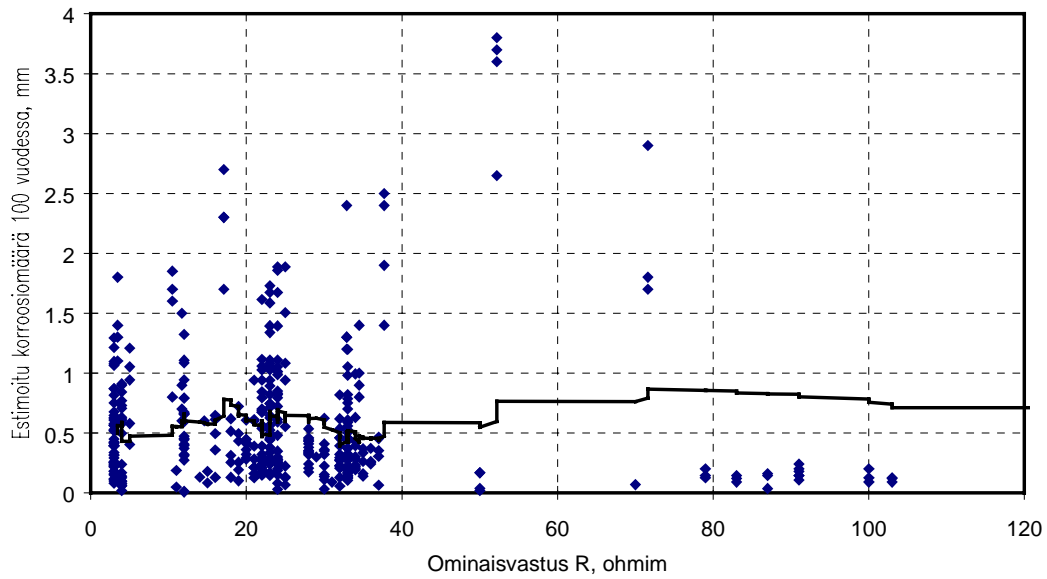
Kuva 14. Maan sisältämän eloperäisen aineksen vaikutus tasaiseen korroosioon.



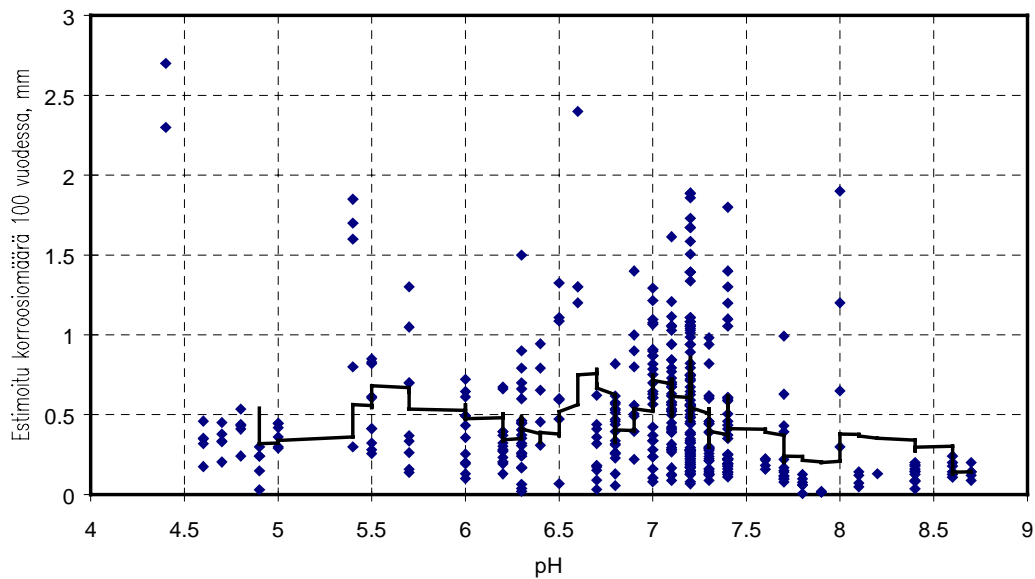
Kuva 15. Maapohjan kerrallisuuden vaikutus tasaiseen korroosioon.



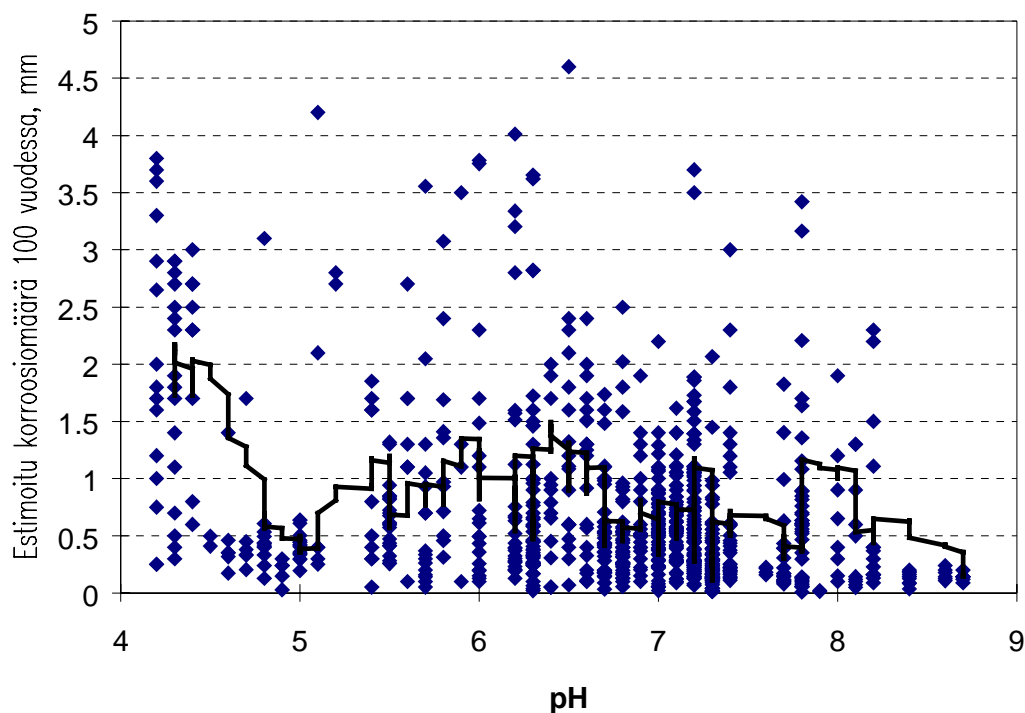
Kuva 16. Maapohjan vesipitoisuuden (paino-%) vaikutus tasaiseen korroosioon. Kuvaan on piirretty yhtenäisellä viivalla 30 havainnon jatkuva keskiarvo.



Kuva 17. Maapohjan ominaisvastuksen vaikutus tasaiseen korroosioon. Kuvaan on piirretty yhtenäisellä viivalla 50 havainnon jatkuva keskiarvo.



Kuva 18. Maapohjan pH:n vaikutus tasaiseen korroosioon. Kuvaan on piirretty yhtenäisellä viivalla 20 havainnon jatkuva keskiarvo. Rajoitettu aineisto.



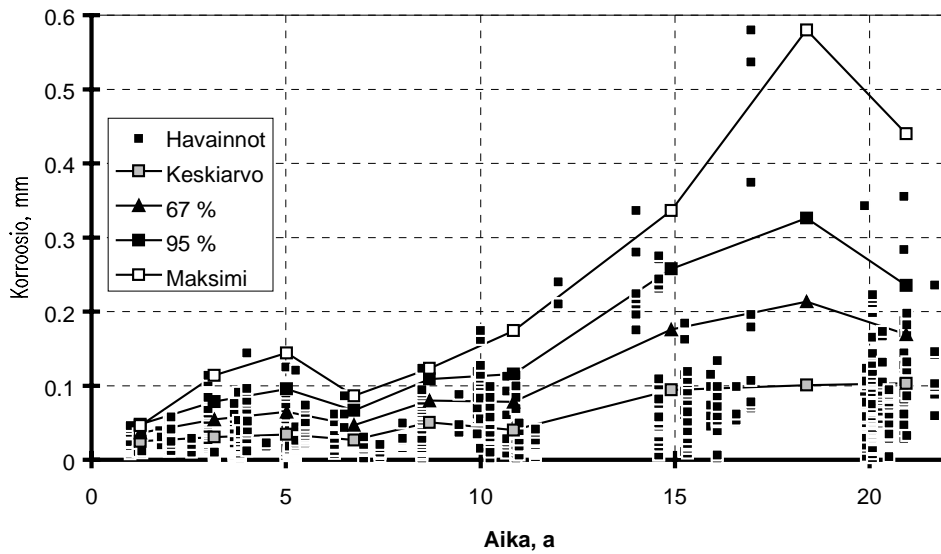
Kuva 19. Maapohjan pH:n vaikutus tasaiseen korroosioon. Kuvaan on piirretty yhtenäisellä viivalla 20 havainnon jatkuva keskiarvo. Laaja aineisto.

Empiiristä aineistoa voidaan käyttää hyväksi tasaisen korroosion arviointiin soveltamalla joko yleistettyjä vuorosuhteita, kohta 4.5.3.2, tai käyttäen neuroverkkolaskentaa, kohta 4.5.3.3. Neuroverkkolaskenta tuottaa yleistettyyn ratkaisuun verrattuna luotettavamman lähestymistavan. Tällöin tasaisen korroosion ominaisarvo on laskettavissa VTT:n neuroverkkosovellusta käyttäen.

4.5.3.2 Tasainen korroosio yleistettyjä vuorosuhteita käytettäessä

Maahan asennettavan teräsrakenteen tasaisen korroosion s_{tas} määrittäminen perustuu empiiriseen aineistoon. Pitkäikäisyysmitoituksessa teräksen maassaoloaika on tärkein muuttuja, ks. kohta 4.5.1. Kuvassa 20 ovat tämän selvityksen yhteydessä kootut suojaamattoman teräksen korroosiohavainnot ajan funktiona. Aineisto kattaa 811 havaintoa ajalta, jossa aika t on pienempi kuin 22 v. Tätä pitkäaikaisempien havaintojen lukumäärä on niin suppea, ettei sitä voida luotettavasti käyttää tilastolliseen tarkasteluun.

Kuvaan 20 on laskettu eri-ikäisten teräsesineiden tasaisen korroosion määrä (mm) sekä havaintojen keskiarvo, 67 %:n sekä 95 %:n luottamusväliä vastaavat arvot sekä havaintojen maksimiarvot.



Kuva 20. Teräksen syöpyminen kokemusperäisen aineiston perusteella - ajan vaikutus korroosioon.

Aineistoon on sovitettu muotoa (13) oleva sovitusfunktio, taulukko 20. Sovitusfunktioiden kuvaajat 200 vuoteen asti laskettuna esitetään kuvassa 21.

$$s_{tas}(t) = a \cdot t^b, \quad (13)$$

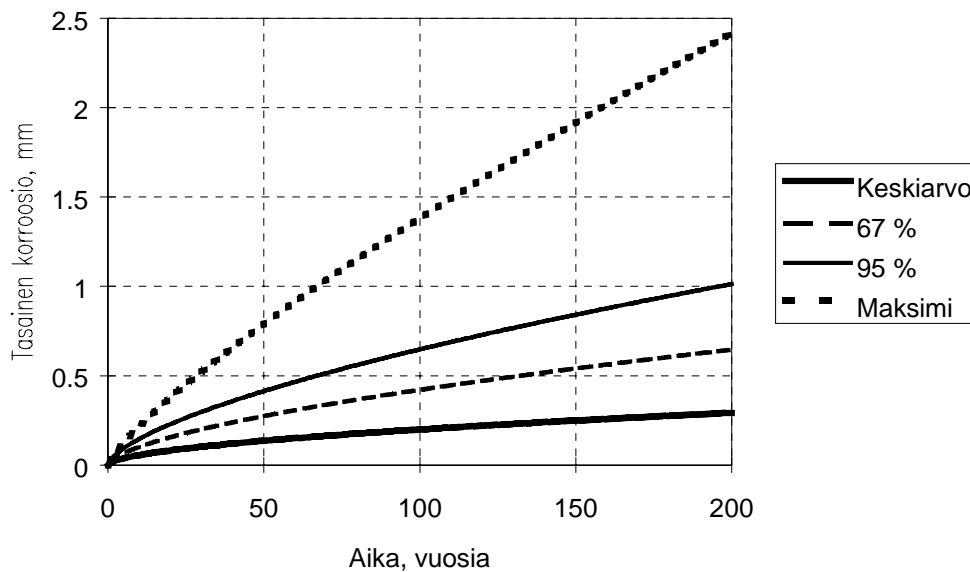
missä $s_{tas}(t)$ on tasaisen korroosion määrä, mm
 a, b ovat sovitusfunktion parametreja, taulukko 20.
 t on aika, vuosia.

Taulukko 20. Tasaisen korroosion laskentaparametrit a ja b.

	Parametri a	Parametri b
$s_{tas,ka}$	0.0158	0.5509
$s_{tas,67}$	0.0245	0.6176
$s_{tas,95}$	0.0332	0.6452
$s_{tas,max}$	0.0335	0.8076

Rakenteen käyttöikämitoituksessa tasaisen korroosion ominaisarvona sovelletaan 95 %:n luottamusvälin mukaan määritettyä tasaisen korroosion arvoa, $s_{tas,95}$, siinä tapauksessa, ettei maapohjan korroosioympäristöön vaikuttavia ominaisuuksia erikseen määritetä. Tällöin käyttöikämitoituksessa käytetään kaavalle (10) seuraavaa muotoilua:

$$s_0(t) = (1 + \beta) \cdot s_{tas,95}(t) \quad (14)$$



Kuva 21. Tasaisen korroosion s_{tas} ominaisarvo $s_{tas,ka}$, 67 %:n luottamusväliä edustava arvo $s_{tas,67}$, 95 %:n luottamusväliä edustava arvo $s_{tas,95}$ sekä maksimiarvo $s_{tas,max}$.

4.5.3.3 Tasaisen korroosion arviointi neurolaskentaa käyttäen

Kuten edellä on käynyt ilmi, maaperässä esiintyvään korroosioon vaikuttaa lukuisia tekijöitä, joiden keskinäisiä yhteyksiä ei tilastollisten menetelmien käyttämiseksi vielä riittävästi tunneta. Kansainvälisissä julkaisuissa eri tutkijoiden johtopäätökset ovat keskenään usein ristiriitaisia ja useat tutkijat ovat päätyneet oman tutkimusaineistonsa analysoinnin jälkeen siihen johtopäätökseen, ettei selviä yhteyksiä heidän mittaamiensa tekijöiden ja korroosion välillä ole. Näin on mainittu mm. maapohjan ominaisuuden, maalajin, pH:n sekä pohjavedenpinnan aseman osalta.

Kerätyn aineiston epähomogeenisuuden johdosta tämän selvityksen yhteydessä päätettiin soveltaa neurolaskentaa tasaisen korroosion arviointiin. Neuroverkkoalustasta toteaa Erkki Oja /<http://www.tsv.fi/ttapaht/397/Oja.html/>:

"Neurolaskenta ja sumea logiikka ovat käyttökelpoisia menetelmiä sellaisissa ongelmissa, joita perinteisillä menetelmillä on vaikea tai mahdoton ratkaista. Ne soveltuvat erinomaisesti esimerkiksi suurten tietomassojen luokitteluun, riippuvuuksien hakuun eri ilmiöiden välillä sekä epätäsmällisen tiedon käsittelyyn.

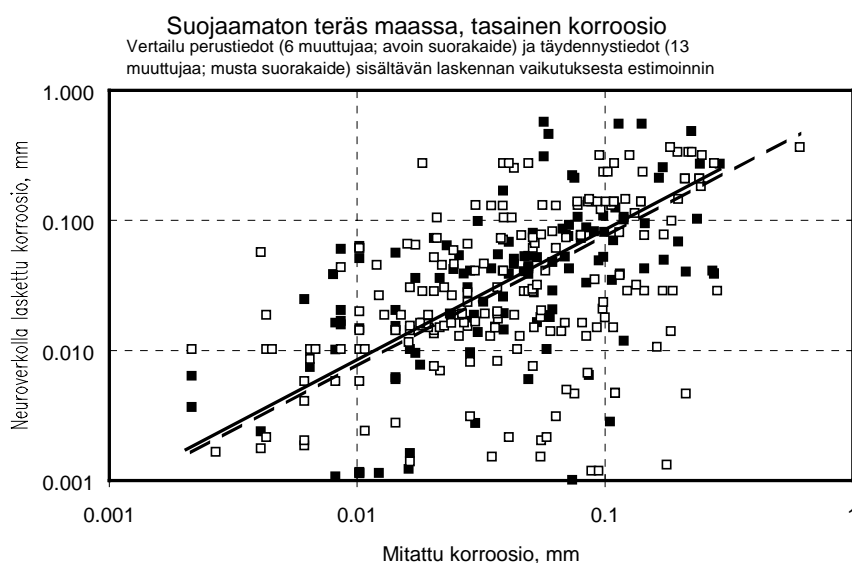
Usein on hyvin vaikeaa rakentaa edes summittaista matemaattista mallia järjestelmän käyttäytymiselle, vaikka voitaisiinkin eristää ne tekijät, jotka ilmiöön vaikuttavat. Neurolaskenta tarjoaa työkalun, jolla voi monessa tapauksessa saada hyvinkin tyydyttäviä

tuloksia. Neuroverkko ei edellytäkään mitään tunnettua mallia ilmiöstä tai järjestelmäs-
tä, jota se ennustaa; neuroverkko viritetään tilanteeseen käyttäen suurta opetusjoukkoa
ilmiön aikaisemmin mitatusta käyttäytymisestä.

Neuroverkon kaltainen oppiva järjestelmä on varsin herkkä opetusdatan laadulle:
huonolla datalla opetettu verkko myös käyttäytyy huonosti. Tyypillisessä neurolaskenta-
sovelluksessa opetusdatan keruu ja puhdistaminen vie valtaosan työstä. Itse verkon
opetus sujuu kyllä tehokkailla ja helppokäyttöisillä valmishohjelmilla, joita on saatavilla
sekä ilmaisjakelussa että kaupallisina tuotteina. Esimerkkejä neurolaskennan käytöstä
järjestelmän tilojen tai arvojen ennustamisesta ovat kotitalouksien sähkönkulutuksen
ennustaminen, paperin laadun ennustaminen prosessimittauksista ja pörssikurssien
ennustaminen."

Koottu korroosiohavaintoaineisto luokiteltiin ja systematisoitiin. Aineistona käytettiin
sellaista suojaamatonta terästä koskevaa aineistoa, josta kaikki taulukossa 18 esitetyt
parametrit olivat tunnettuja. Opetusaineistona käytettiin puolta tästä aineistosta satun-
naisesti valittua osuutta. Vertailuaineistona, jolle tasaisen korroosion määrä opetetulla
aineistolla laskettiin, oli loppuosa n. 300 havainnosta. Opetus tehtiin siten, että käytettiin
kuutta selittäjää, jotka ovat arvioitavissa suhteellisen vähäisillä tutkimuksilla: häiritty tai
häiriintymätön maapohja, tarkastelevan tason asema suhteessa pohjavedenpintaan,
rakeisuus (maalaji), eloperäisen aineksen olemassaolo, maapohjan kerrallisuus tai ker-
roksellisuus sekä tarkasteltava aika. Toinen opetus tehtiin käyttäen selittäjinä kaikkia
taulukossa 18 mainittuja 13 selittäjää. Näiden lisäselittäjien määrittäminen vaatii yksi-
tyiskohtaisia kohdekohtaisia selvityksiä.

Laskentojen vertailu on kuvassa 22.



Kuva 22. Neurolaskennalla laskettujen ja todellisen, tasaisen korroosion vertailu.

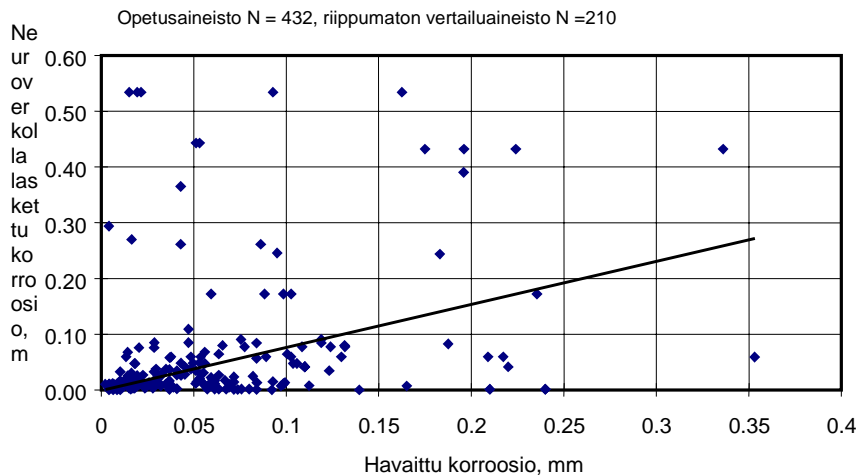
Kuvasta 22 voidaan tehdä neljä johtopäätöstä:

1. Neurolaskennalla voidaan arvioida tasaisen korroosion määrää - eli lasketun ja mitatun välillä on olemassa vuorosuhde.
2. Lasketun korroosiomäärän arviointivirhe on suuri; korrelaatiokerroin $R = 0,37$ kun käytetään kuutta selittäjää, ja $R = 0,51$, kun selittäjiä on 13.
3. Selittäjien nostaminen kuudesta 13:een pienentää suhteellista virhettä n. 40 %.
4. Tilastollisin menetelmin ei kyseisestä aineistosta kyetä luomaan selittävyydeltään käyttökelpoisia korroosion laskenta-algoritmeja. Muuttujat eivät yksinään, mutta eivät ryhminäkään selitä korroosion määrää; vrt. myös taulukko 19.

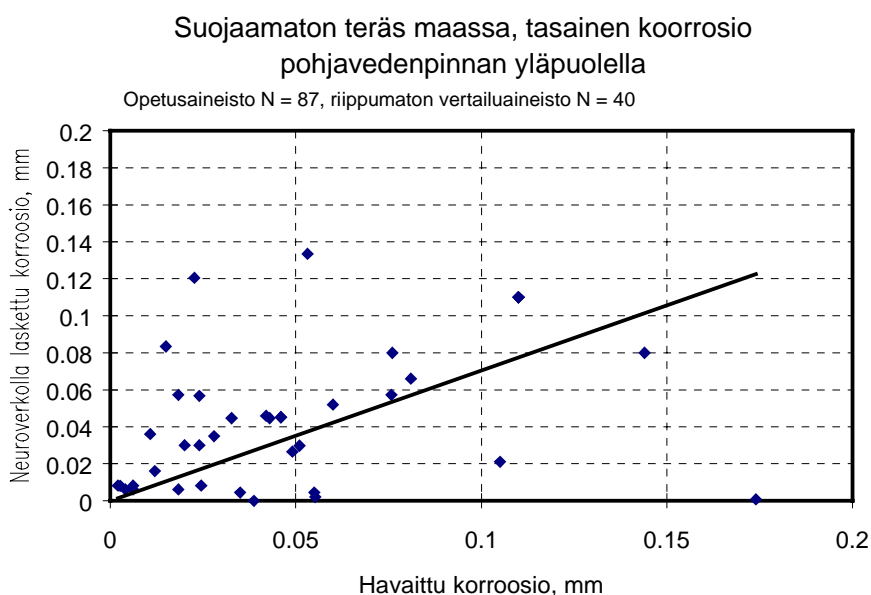
Kuvan 22 laadinnassa opetusaineiston laajuus on ollut yksi selittävyysastetta laskeva tekijä. Opetusaineisto, n. 300 havaintoa, on ollut riittämätön kattamaan koko selittäjien vaihtelualueen. Opetusaineisto on laajennettavissa ja luotettavuus siten parannettavissa, jos käyttöön valitaan koko käytettävissä oleva aineisto, n. 1 600 havaintoa. Tällöin laskennan luotettavuutta ei luonnollisestikaan kyetä testaamaan.

Kuviin 23 ja 24 on eroteltu aineisto suhteessa pohjavedenpinnan tasoon. Kuvassa 23 vertaillaan aineistolla, jossa teräs on ollut pohjavedenpinnan alapuolella, ja kuvassa 24 pohjavedenpinnan yläpuolella. Opetusaineistoksi on otettu 2/3 havaintoaineistosta lopun 1/3:n toimiessa vertailuaineistona. Kuten kuvista havaitaan, yksittäiset ja merkittävät poikkeamat laskevat laskennan luotettavuutta: opetusaineisto ei ole kattanut vertailuaineiston muuttujien vaihteluvälejä.

Suojaamaton teräs maassa, tasainen korroosio pohjavedenpinnan alapuolella



Kuva 23. Neurolaskennan tuloksen ja vertailuaineiston havaintojen välinen vuorosuhde. Teräs pohjavedenpinnan alapuolella. $R = 0,17$.



Kuva 24. Neurolaskennan tuloksen ja vertailuaineiston havaintojen välinen vuorosuhde. Teräs pohjavedenpinnan alapuolella. $R = 0,42$.

Neurolaskennalla saadaan joko kuuden tai 13 selittäjän avulla määritettyä tasaisen korroosion ominaisarvon keskiarvo $S_{tas,ka,neuro}$. Käyttöikämitoituksessa laskettu ominaisarvo muunnetaan 95 % luottamusvälin mukaiseksi tasaisen korroosion arvoksi $s_{tas,95}$ kertomalla se kaavan (13) ja taulukon 20 avulla laskettujen yleistettyjen korroosiomäärien suhteella, kaava (15).

$$S_{tas,95(neuro)} = \frac{S_{tas,95(yleistetty)}}{S_{tas,ka(yleistetty)}} \cdot S_{tas,ka,neuro} \quad (15)$$

Neurolaskennalla saadaan, toisin kuin yleistettyjen korroosiokaavojen avulla, huomioitua maapohjasta tiettyjä erityispiirteitä, jos ne esiintyvät neurolaskennan 13 selittäjän joukossa. Laskennan etuna on silloin se, ettei korroosiomäärän arviointi sisällä yleisiä maapohjan ominaisuuksista johtuvia epävarmuustekijöitä, jotka eksplisiittisesti sisältyvät kuvan 22 informaatioon ja taulukon 20 parametreihin. Toisin sanoen $s_{tas,ka,yleistetty}$ on yleensä suurempi kuin $S_{tas,ka,neuro}$.

4.6 Kuoppakorroosio

Kuoppakorroosio on kantavan rakenteen toiminnan kannalta merkittävin osa korroosiosta. Tällä hetkellä käytössä oleva kokeellinen aineisto valitettavasti ei mahdollista kuoppakorroosion suuruuden arviointia empiirisesti vastaavalla tavalla kuin tasaisen korroosion osalta on edellä esitetty. Tähän julkaistu kansainvälinen aineisto on liian suppea ja vain yksittäisiä havaintoja sisältävä. Kuitenkin kuoppakorroosion aikaansaa-

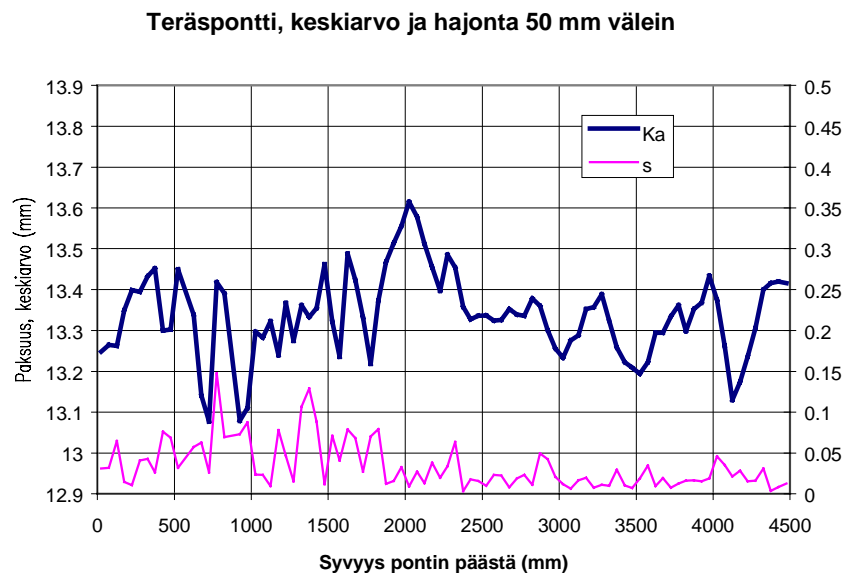
ma turmeltuminen on eräissä yksittäistapauksissa ollut monikymmenkertainen tasaiseen korroosioon verrattuna. Sitä, mitkä tekijät ovat näissä yksittäistapauksissa aikaansaaneet merkittävää syöpymistä, ei voida vielä varmuudella mainita. Tilanteita, joissa merkittävämpää kuoppakorroosiota on esiintynyt, kuvaa yleensä jokin seuraavista tekijöistä:

- Maassa on erittäin suuria orgaanisen aineksen määriä.
- Pohjavedenpinnan alapuolella on kerroksia, joissa on mikrobiologista toimintaa; esimerkiksi Suomessa merkittävää korroosiota on havaittu ns. sulfidisavikerroksissa.
- Rakenne on pohjavedenpinnan tasolla tai sen vaihteluvyöhykkeessä.
- Pohjavedenpinnan yläpuolella on hiekkakerrostumia.

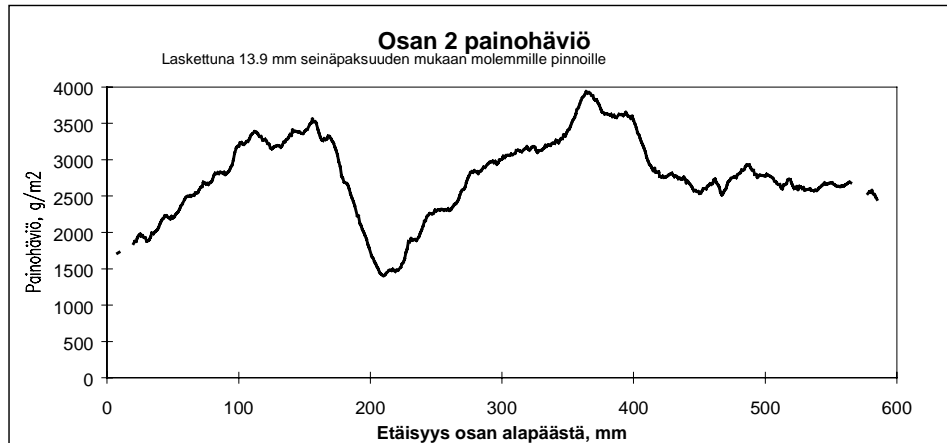
Ihmisen vaikutuksista kuoppakorroosion synnylle maapohjassa olevaan teräkseen ei ole tietoa.

Rakenteellisesti pistemäisellä kuoppakorroosiolla, jossa syöpymän dimensiot ovat vain muutamia millimetrejä, ei syöpymällä juurikaan ole merkitystä, jos teräsrakenteen poikkileikkausdimensiot vain ovat kohtuullisia - esimerkiksi halkaisija yli 100 mm. Merkittävämpiä sitä vastoin ovat tilanteet, joissa kuoppa on samalla myös leveä tai syöpymä on laaja-alainen.

Kuvassa 25 on Helsingin Kämpin sisäpihalta otetun 30 vuotta vanhan teräsponnin lasermittauksella määritetty levypaksuus ja sen vaihtelu. Kuvassa 26 on detaljisoidummin yhden levyosan painohäviö. Mittaukset on tehty 1 mm:n välein.

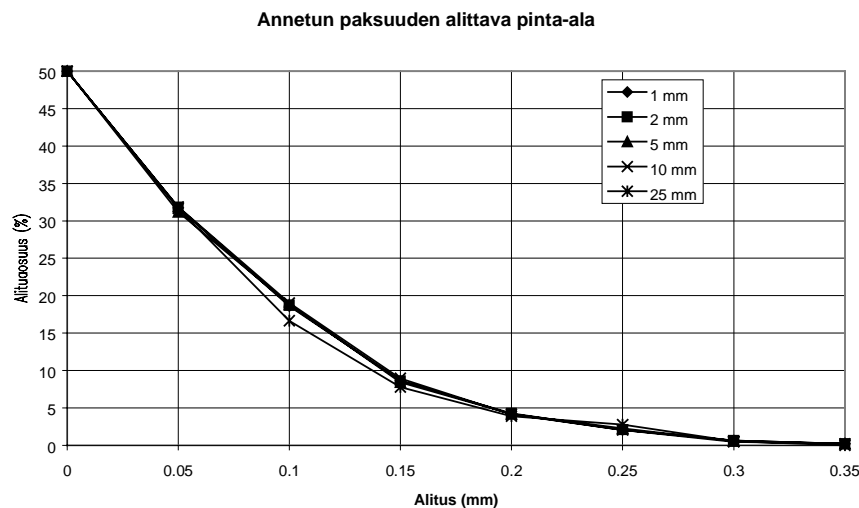


Kuva 25. Kuoppakorroosion ilmeneminen painohäviönä (paksuuden muutoksena). Levyn paksuuden juokseva keskiarvo 50 mm:n alueella keskiarvoistettuna (Ka, vasen asteikko) sekä vaihtelun hajonta edelleen 50 mm:n matkalla (s, oikea asteikko). Levyn nimellinen ainepaksuus on 13,9 mm.



Kuva 26. Kuoppakorroosion ilmeneminen painohäviönä pontin osassa 2.

Kuvaan 27 on laskettu, paljonko levyn paksuus on ohentunut keskimääräiseen paksuuteen (tasaisen korroosion syövyttämään) nähden eri tarkastelupituuksissa. Kuvan 27 informaatio kertoo oheneman epäsuoraan kuopan leveyden ja syvyyden suhteen. Kuva kertoo esimerkiksi sen, että levyn paksuus 95 %:n todennäköisyydellä alittaa tasaisen korroosion arvon 0,18 mm:llä. Koska kyseessä on ollut molemmilta puolilta syöpynyt rakenne, tarkoittaa tämä kuoppakorroosion osalta sitä, että 95 %:n todennäköisyydellä kuopan syvyys ei ole ollut syvempi kuin 0,09 mm. Tässä pontissa 100 %:n tasolla kuopan syvyys ei ole ollut suurempi kuin 0,175 mm. Kuten kuvasta 27 havaitaan, kuopan syvyyden todennäköisyys on suhteellisen riippumaton siitä, otetaanko tarkastelupituudeksi 1, 2, 5, 10 - vai 25 mm.



Kuva 27. Kuopan syvyys-todennäköisyysvuorosuhde Kämpin pontissa.

Kuvan 27 periaatetta voidaan käyttää hyväksi käyttöikämitoituksessa - jos vain yleistettäviä havaintoja eri olosuhteista olisi käytettävissä. Kuvan 27 havaintoaineisto sopii ainoastaan tarkasteltavalle pontille. Tasainen korroosio kyseisellä pontilla on määritetty 0,28 mm:ksi (oletettu yhtä suureksi molemmin puolin), jolloin 95 %:n todennäköisyy-

dellä kaavan (1) kerroin β saa arvon 0,32 ja 100 % tasolla arvon 0,62. Jotta korroosion ominaisarvo $s_0(t)$ systemaattisesti voidaan laskea luottamustasolla 95 %, tulee kerroin β valita tätä luottamustasoa vastaavasti.

Taulukossa 21 esitetään näkemykseen perustuen arvioituja kuoppakorroosion suuruuden arviointiin soveltuvia arvoja. Arvot eivät perustu tarpeelliseen tutkimukseen vaan ovat kirjoittajan näkemyksiä.

Taulukko 21. Kuoppakorroosion kerroin β .

Olosuhde	β
Homogeeniset pohjasuhteet pohjavedenpinnan alapuolella; maapohja ei sisällä sulfidisavea	0,2 - 1
Epähomogeeniset pohjasuhteet pohjavedenpinnan alapuolella; maapohja ei sisällä sulfidisavea	1 - 5
Homogeeniset pohjasuhteet pohjavedenpinnan yläpuolella; maapohja ei sisällä sulfidisavea	2 - 8
Luonnonmaakerrokset pohjavedenpinnan vaihtelu-alueella	3 - 10
Epähomogeeniset pohjasuhteet pohjavedenpinnan yläpuolella; kivennäismaata	5 - 15
Sulfidisavikerrokset, ei-kivennäismaata sisältävät kerrokset, materiaalit sisältävät runsaasti liukoisia suoloja	5 - 30

95 %:n varmuusvälillä käytetään kertoimelle β taulukon 6 alarajaa. 100 %:n varmuusvälille kerroin valitaan ylärajan mukaan.

Koska kuoppakorroosion ja vyöhykekorroosion suhteellinen merkitys on korostuneempi poikkileikkausmitoiltaan pienillä ja ohutseinäisillä profiileilla verrattuna massiivisiin teräsprofiileihin, voidaan kuoppakorroosion kerrointa pienentää suurilla profiileilla. Kertoimen pienentäminen tehdään erikseen aksiaalisen puristustarkastelun ja taivutus-tarkastelun osalta taulukon 22 kertoimia käyttäen. Mikäli pohjasuhteiden perusteella on arvioitavissa, että teräkseen voi syntyä on voimakas paikallinen syöpyminen, joka johtuu ja noudattaa korroosioteknisen maakerroksen rajaa, eli on mahdollista, että rakenteeseen syntyy rakenteen piirin suunnassa yhtäjaksoinen vyöhykekorroosio, kuoppakorroosion kerrointa β ei ole syytä redusoida pienentävään suuntaan.

Taulukko 22. Kuoppakorroosion kertoimen redusointi korroosiolle alttiin piirin pituuden suhteen. Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti.

Maata vasten olevan piirin pituus L, mm	Redusointikerroin puristustarkasteltua tehtäessä (pinta-alan redusointi)	Redusointikerroin taivutustarkasteltua tehtäessä (taivutusvastuksen ja pintahitausmomentin redusointi)
50	3	1,5
100	1,5	1,2
200	1	1
400	0,8	1
≥ 800	0,75	1

4.7 Tavoitekäyttöiän määrittely

Käyttöikä määräytyy tuotteen loppukäyttäjän tahdonilmaisun perusteella. Loppukäyttäjänä käyttöikää määritettäessä pidetään kohteen rakennuttajaa tai hänen edustajaansa, esimerkiksi suunnittelijaa. Ellei rakennuttaja ole erikseen määrittänyt sovellettavaa käyttöikää, käyttöikä määritetään oheisen taulukon 23 mukaan. Kantavien perusrakenteiden tavoitekäyttöikä on kuitenkin yleensä vähintään perustusten varaan rakennettavan rakennuksen tai muun rakenteen suunnitellun vähimmäiskäyttöiän suuruinen. MVR-rakenteille käyttöikä määritetään sen lujuusteknisen toimintakyvyn tai muun teknisen toimivuuden perusteella lähtien pääsääntöisesti siitä, ettei rakenteihin niiden asentamisen jälkeen kyetä kohdistamaan hoitotoimenpiteitä.

MVR-rakenteet voidaan suojata ennen asennusta. Tällöin rakenteen käyttöiän sijasta arvioidaan ensimmäisessä vaiheessa eri pinnoitteiden ja suojausjärjestelmien käyttöikä (kestoikä). Pinnoitteiden ja suojausjärjestelmien käyttöikä riippuu mm. teräsrakenteen asennustavasta. Rakenteen käyttöikä voidaan eräissä tapauksissa laskea pinnoitteen ja teräksen käyttöikäiden summana.

Taulukko 23. MVR-rakenteille sovellettava käyttöikä.

Tuoteryhmä	Suunniteltu käyttöikä v.
Meluidat	30
Tiekaiteet	30
Valaisinpylväät	50
Geoprofiilit	80
Paalut	100 - 200
Ponttiseinät	
- kantavan pohjarakenteen osana	100 - 200
- pitkäaikaiset rakenteet	50
- työnaikaiset rakenteet	1, 10
Kelluvat vesirakenteet	30
Merirakenteet	30 - 100
Aallotetut putkisillat	50
Rumpuputket	50
Virtaus- ja lämpöputket	70

4.8 Käyttöikämitoitus

Mitoittava korroosio $s_d(t)$ saadaan korroosion ominaisarvosta $s_0(t)$ huomioimalla olosuhdetekijät k_i :

$$s_d(t) = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot s_0(t). \quad (16)$$

Olosuhdetekijöinä on otettava huomioon

1. rakenteen asennusvaiheessa vallitsevien olosuhteiden tunnettavuus ja korroosioteknisten maakerrosten vaihtelun suuruus
2. rakenteen toimintafunktio
3. riski, joka seuraa, mikäli rakenteen toimintakyky alittuu käyttöiän aikana
4. rakenteen toimintaympäristössä tapahtuvat ennustettavissa olevat muutokset rakenteen käyttöiän aikana
5. rakenteen toimintaympäristössä tapahtuvat ennakoimattomat muutokset rakenteen käyttöiän aikana
6. rakenteen kunnan arvioinnin vaikeus
7. rakenteen parantamisen ja korvaamisen vaikeus.

Periaatteessa ja myös käytännössä olosuhdetekijät $k_1 - k_3$ voidaan ottaa huomioon sovellettavaa kokonaisvarmuuskerrointa F_{tg} valittaessa, kaava (9). Mikäli näin ei mene-

tellä, em. olosuhteet otetaan huomioon olosuhdetekijöitä $k_1 - k_3$ määritettäessä. Jos olosuhdetekijät $k_1 - k_3$ otetaan huomioon kokonaisvarmuusluvussa F_{tg} , saavat ne kaavassa (9) arvon 1.

Olosuhdetekijät arvioidaan taulukoista 24 - 30.

Taulukko 24. Olosuhteiden tunnettavuus ja pohjasuhteiden vaihtelu.

Pohjasuhteet ja niiden tunnettavuus	k_1
Pohjasuhteista ei ole tietoa	2,0
Yleispiirteinen tutkimus on tehty. Maakerroksia ja pohjavedenpinnan asemaa ei kattavasti tunneta tai korroosiotarkastelun alaisten teräsrakenteiden sijaintia ei tunneta.	1,4
Yksityiskohtainen pohjatutkimus on tehty. Pohjasuhteiden muutokset tutkimusalueella ovat suuria eikä pohjasuhteita jokaisen teräsrakenteen osalta tunneta. Asennustyötä ei valvota tai suunnitella.	1,2
Yksityiskohtainen pohjatutkimus on tehty. Jokaisen teräsrakenteen pohjasuhteet tunnetaan maalajin ja vesipinnan suhteen. Pohjasuhteiden vaihtelut tutkimusalueella ovat vähäisiä tai muuten yksiselitteisesti tulkittavissa. Rakenteiden asennustapa on suunniteltu ja valvotaan.	1,0
Pohjasuhteista on yksityiskohtaisen pohjatutkimuksen lisäksi teräsrakenteen sijaintikohtaisia orgaanisen aineksen pitoisuusmäärittäviä, sulfidipitoisuusmäärittäviä \pm jatkuvana näytteenotetuille näytteille, mahdollinen rakennettu täyte on todettu tutkimuksin saastumattomaksi ja luonnontilaista materiaalia vastaavaksi. Pohjavedenpinnan vaihtelu on seurannalla varmistettu tai muuten tarkasti määritettävissä. Rakenteiden asennuksessa on huomioitu rakenteen turmeltumisen mahdollisuudet, esimerkiksi suojaukset ja pinnoitteiden vaurioituminen.	0,5

Taulukko 25. Rakenteen toimintafunktio.

Toimintafunktio	k_2
Rakenteen varmuus mitoituksessa huomioidaan osavarmuuslukumenetelmällä tai tilastollisin varmuustarkasteluin esim. β -menetelmällä.	1,0
Kantava rakenne	1,5
Ei-kantava rakenne	0,8

Taulukko 26. Turvallisuusriskin tai haitan suuruus rakenteen toimintakyvyn menettämisen seurauksena.

Riski tai Haitta	k ₃
Rakenteen varmuus mitoituksessa huomioidaan osavarmuuslukumenetelmällä, osavarmuuslukumenetelmällä tai tilastollisin varmuustarkasteluin esim. β -menetelmällä.	1,0
Suuri turvallisuusriski ihmisen kannalta, esimerkiksi progressiivisen sortuman riski.	1,5
Tavanomainen turvallisuusriski ihmisen kannalta: kantava rakenne, paikallinen sortuma, murtuminen tai muu kapasiteetin ylittymisen riski. Merkittävä riski ympäristön kannalta.	1,2
Haittana siirtymien kasvaminen liittyvissä rakenteissa tai ympäristössä tai muu vastaava sekundaarinen vaikutus.	1,0
Esteettinen tai muu vähäinen haitta.	0,8
Toimintakyvyn menetyksestä ei ole haittaa.	05

Taulukko 27. Ennustettavissa olevat muutokset rakenteen tavoitekäyttöään aikana.

Olosuhdeluokka	k ₄
Rakennuskohteen maaperän tai veden saastumisvaara tai hajavirtakorroosion lisääntyminen on ilmeistä.	1,5
Maarakennustoimenpiteiden tekeminen, vesipintojen laskeminen tai niiden vaihtelun lisääntyminen on alueella ilmeistä. Perustusrakenteiden uusiminen rakennusalueella tai teräsrakenteisiin kohdistuvan kuormituksen lisääntyminen on ilmeistä.	1,2
Lähialueen käyttötarkoituksen muuttuminen on ilmeistä tai taaja-asutuksen lisääntyminen lähialueella on ilmeistä.	1,1
Ennakoitavia muutoksia rakennusalueella tai lähialueella ei ole tiedossa.	1,0

Taulukko 28. Rakenteen toimintaympäristössä tapahtuvat ennakoimattomat muutokset rakenteen käyttöään aikana.

Olosuhdeluokka	k' ₅
Tiheän rakennuskannan alue, kaupunkien satama-alueet, ratapiha yms. alueet	1,2
Taaja-asutusalue, kaava-alue, teollisuusympäristö	1,15
Taaja-asutusta ympäröivä, potentiaalisen alue kasvun alue	1,1
Harva-asutuksen alue	1

$$k_5 = \sqrt{\frac{\text{Mitoitusikä}}{50}} \cdot k_5', \quad (17)$$

missä k_5' saadaan taulukosta 28.

Taulukko 29. Rakenteen kunnan arvioinnin vaikeus.

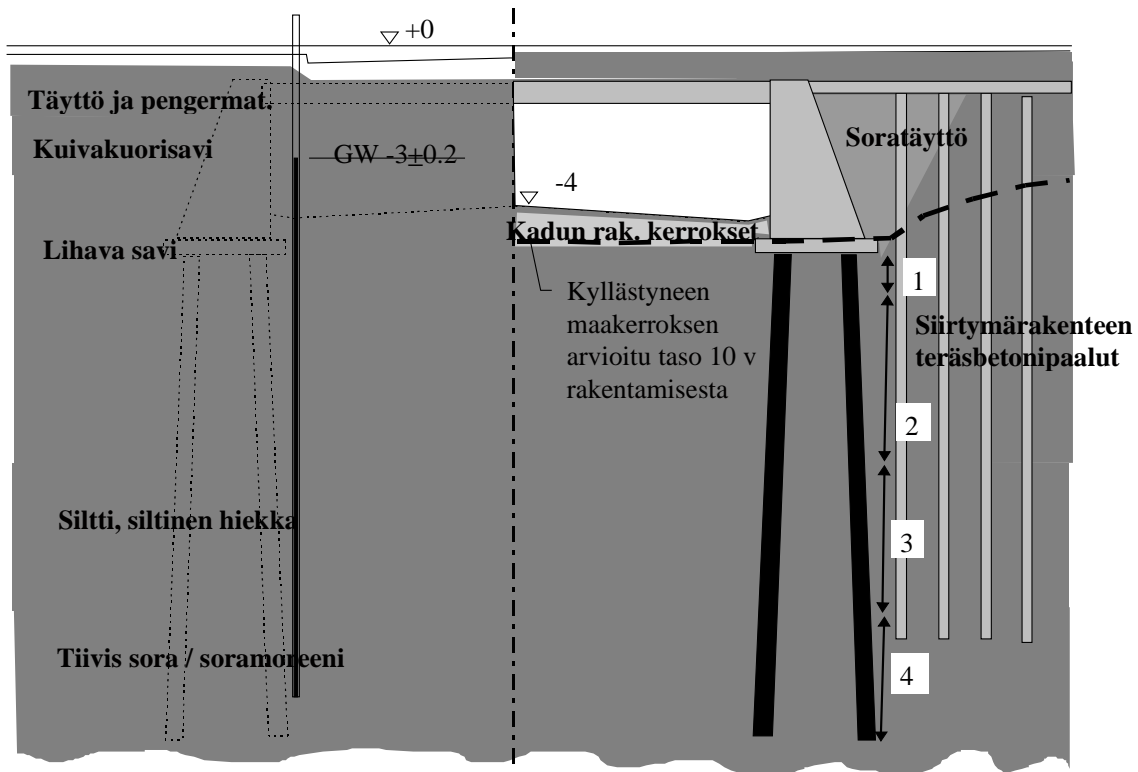
	k_6
Rakenne kaikilta pinnoiltaan silmin tarkasteltavissa	0,8
Rakenne peitetty, helposti paljastettavissa	1
Rakenne peitetty, vaikeasti paljastettavissa	1,1
Rakenne peitetty, ei ole tarkastettavissa	1,3

Taulukko 30. Rakenteen parantamisen, korvaamisen vaikeus.

Olosuhdeluokka	k_7
Rakenne on helposti korvattavissa, suojattavissa tai vahvistettavissa	0,8
Rakenne vaikeasti korvattavissa	1,0
Rakennetta ei voi korvata	1,3

4.9 Mitoitusimerkki

Kadun ja radan eritasoristeysilta on suunniteltu perustettavaksi $\varnothing 300 \times 10$ mm:n kokoisille lyömällä asennettaville teräsputkipaaluille. Paaluja tulee 8 kpl/maatuki. Paalut täytetään sisäpuolelta betonilla. Perustuskohde sijaitsee taajaman ruutukaava-alueella Varsinais-Suomessa. Kohteen ympäristössä on vanhaa puutaloasutusta ja päällystetyt kadut. Alueen hulevedet johdetaan sadevesiviemärointiin. Maan pinta (kadut ja piha-alueet) alueella on tasainen. Ratasillan alta kulkeva katu on suunniteltu 4 m sillan kannen alapuolelle. Pohjasuhteet on selvitetty paino- ja heijarikairaamalla paalujen perustusalueelta, ja maalajit (rakeisuusmääritys) on määritetty kairaus-havaintoja tukevin, epäjatkuvin ja häiriintynein näytteenotoin. Pohjavedenpinnan asema tunnetaan 1 kk:n ajan seuratun pohjavesiputken perusteella. Rakennuttaja on asettanut tavoitekäyttöikäksi 80 vuotta. Tavoitteena on määrittää suojaamattoman teräspaalun mitoituspoikkileikkaus tavoitekäyttöiän päättymisvaiheessa. Pohjasuhteet esitetään kuvassa 28. Kuvan oikeaan puoleen on hahmoteltu rakentamisen jälkeinen tilanne.



Kuva 28. Mitoituslaskennan lähtötilanne ja pohjasuhteet.

Kairausten ja maanäytteiden sekä suunnitelman perusteella teräspaalujen alueella voidaan tunnistaa neljä korroosioteknistä maakerrosta.

Kerros 1.

Alikulkukäytävän kuivanapidon ja rakennettavien hyvin vettä läpäisevien täyttöjen seurauksena pohjavedenpinnan tason voidaan olettaa laskevan sillan päätyperustuksen alueella. Koska savikerros voi lisäksi painua pohjavedenpinnan laskemisen sekä tilavuuspainoltaan aikaisempaa painavampien täyttöjen seurauksena, voi perustuksen ja saven välille syntyä vedellä täyttyvä tila. Riski sille, että vesi alueella vaihtuu ja hapettuu, on kuivatuksen vaikutuksesta mahdollista. Vyöhykkeeseen voi kulkeutua mm. alikulun sulanapidon vaikutuksesta suoloja ja siten mm. klorideja. Vyöhykkeen paksuus riippuu mahdollisten painumien suuruudesta, jotka tulisi erikseen tarkastella esimerkiksi painumalaskelmien avulla, mutta on likimäärin arvioitavissa 1 m paksuiseksi. Kuoppakorroosion kertoimeksi valitaan taulukosta 21 arvo $\beta = 5$. Turmeltuvan paalun piirin pituuden ollessa n. 1 m voidaan käyttää pinta-alan redusointiin kerrointa 0,75 ja taivutustarkastelussa arvoa 1,0. Koska syöpyminen painumasta johtuen voi kuitenkin tapahtua hyvinkin kapealla vyöhykkeellä saven ja mahdollisesti suolaisen veden rajapinnassa, kuoppakorroosion redusointia ei suoriteta.

Kerros 2.

Lihava savikerros. Savikerros voidaan olettaa pysyvän vedellä kyllästyneenä, ja veden huonosta läpäisevyydestä johtuen kerrokseen ei juurikaan suotaudu ympäristöstä hap-

pea. Olemassa olevien lähtötietojen perusteella ei voida olla varmoja mahdollisten sulfidisavikerrosten olemassaolosta. Sulfidisavikerroksia esiintyy runsaimmin Pohjanmaalla, mutta paikoitellen esimerkiksi myös Varsinais-Suomessa ja Etelä-Suomen savikkoalueilla. Tarkastellaan kahta vaihtoehtoa:

- a) Oletetaan, että kerroksessa voi olla sulfidisavijuonteita, ja valitaan kuoppakorroosion kertoimeksi $\beta = 5$.
- b) Oletetaan, ettei kerroksessa ole sulfidisavea. Mikäli tämä tarkastelu osoittautuu jatkossa teknistaloudellisesti kannattavaksi, edellytetään savikerrokselle jatkuvaa näytteenottoa, sekä rikkipitoisuuden silmämääräistä tarkastelua ja valituille näytteille sulfidipitoisuuden määrittämistä. Ilman sulfidisavimahdollisuutta valitaan kuoppakorroosion kertoimeksi $\beta = 0,2$.

Kerros 3.

Siltti, silttinen hiekkakerros. Kerros on Suomessa yleensä kerroksellista ja kerrallista. Kerros on suhteellisen huonosti vettä johtavaa. Tasaisella alueella, jossa itse vesialtaan veden vaihtuvuus on pientä ja veden liike hyvin hidasta, kerroksen tuleva uusi happi voidaan olettaa hyvin vähäiseksi. Taulukosta 21 saadaan kuoppakertoimen kertoimeksi $\beta = 1$.

Kerros 4.

Sora, soramoreenikerros. Kerroksen vedenjohtavuudesta voidaan tehdä päätelmiä rakeisuuden perusteella. Moreenikerrostuman vedenjohtavuus on yleensä pieni, jolloin siihen pätevät samat johtopäätökset kuin myös kerrokseen 3 : $\beta = 1$. Kerroksiin 2 - 4 voidaan tehdä kuoppakertoimen redusointi kertoimella 0,75 pinta-alalle.

Koska rakenne on sisäpuolelta suojattu alkaalisella betonoinnilla, johon happi ja hiilidioksidi eivät ole kosketuksissa, teräsputken sisäpinnan korroosio voidaan olettaa mitättömäksi. Betonissa tulee lisääaineiden sekä myös runkoaineen osalta välttää terästä syötäviä materiaaleja.

Tasaisen korroosion ominaisarvo 95 %:n luottamusvälillä ratkaistaan kaavalla (13) taulukon 20 parametreilla.

$$s_{tas,95}(t) = a \cdot t^b = 0,0332 \cdot 80^{0,6452} \approx 0,56$$

Rakenteen käyttöikämitoituksessa mitoittavan korroosion ominaisarvo lasketaan kaavalla (18) kullekin korroosiotekniselle maakerrokselle erikseen, taulukko 31.

$$s_0(t) = (1 + \beta) \cdot s_{tas,95}(t) \quad (18)$$

Oletetaan, että mitoitus tehdään kokonaisvarmuuslukumenetelmää käyttäen soveltaen kokonaisvarmuuslukua $F_{ig} = 1,9$. Tällöin olosuhdekertoimien k_1 , k_2 ja k_3 arvoksi voidaan valita 1.

Tavoitekäyttöään aikana on erittäin todennäköistä, että alueella joudutaan tekemään kuivatuksen muuttamista, kadun rakennekerrosten uusimista jne., jolloin kertoimelle k_4 valitaan arvo 1,2. Toimenpiteet kuitenkin kohdistuvat otaksuttavasti vain kerrokseen 1, jolloin muiden osalta voidaan soveltaa arvoa $k_4 = 1$. Kaava-alueena ja rakennettuna ympäristönä olosuhdekertoimelle k_5 saadaan arvoksi

$$k_5 = \sqrt{\frac{80}{50}} \cdot 1,15 = 1,45.$$

Koska kyseessä on yleinen, ennakoimaton riski, kertoimen k_5 vaikutus ulotetaan kaikkiin kerroksiin.

Ylimmän kerroksen osalta teräspaalujen kunnan jälkiarviointia voidaan pitää hankalasti toteutettavana, mutta kuitenkin teknisesti mahdollisena. Kerroin k_6 saa siis arvon 1,1 ylimmän kerroksen osalta. Muilta osin tarkastusta voidaan pitää käytännössä lähes mahdottomana, $k_6 = 1,3$. Rakenteen korvaaminen esimerkiksi perustuksia laajentamalla ja uusia paaluja käyttäen on mahdollista, $k_7 = 1$.

Taulukko 31. Kerroskohtaiset korroosion ominaisarvot, kuoppakorroosiokertoimet ja olosuhdekertoimet.

Korroosiotekninen maakerros	Tasaisen korroosion ominaisarvo $s_{tas,95}(80)$	Redusoitu kuoppakorroosion kerroin β puristus/taivutus	Mitoittavan korroosion ominaisarvo $s_0(t)$ puristus/taivutus, mm	Olosuhdekertoimet $k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 k_7$
1	0,56	1,0/1,0	1,12/1,12	$1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,45 \cdot 1,1 = 1,91$
2	0,56	3,75/5 (sulfidisavi) 0,15/0,2 (ei sulfidisavi)	2,66/3,36 b) 0,64/0,67	$1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,45 \cdot 1,3 \cdot 1 = 1,89$
3	0,56	0,75/1,0	0,98/1,12	$1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,45 \cdot 1,3 \cdot 1 = 1,89$
4	0,56	0,75/1,0	0,98/1,12	$1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,45 \cdot 1,3 \cdot 1 = 1,89$

Käyttöikämitoituksessa sovellettavat, paalun ulkopinnalta tehtävät vähennykset eli mitoittavat korroosiot $s_d(80)$ muodostuvat kerroskohtaisesti siten seuraaviksi:

Kerros 1: $s_d(80) = 2,14 \text{ mm}/2,14 \text{ mm}$ (puristukselle tai vedolle tai taivutukselle)

Kerros 2: $s_d(80) = 5,02/6,36$, jos saven sulfidipitoisuutta ei tutkita

$s_d(80) = 1,21/1,27$, jos savi ei ole sulfidisavea

Kerros 3: $s_d(80) = 1,85/2,11$

Kerros 4: $s_d(80) = 1,85/2,11$.

Jos savikerrostuman sulfidipitoisuutta ei tutkita, vaihtoehtoja ovat joko paalun suojaaminen korroosiolta savikerrostumassa tai seinämäpaksuuden kasvattaminen siten, että paalun kapasiteetti 5 mm:n aksiaalikuormille tai taivutuksen 6,4 mm:n vähennyksen jälkeen edelleen on riittävä vastaanottamaan pitkällä aikavälillä paaluun kohdistuvat kuormitukset. Mikäli savikerrostuma osoittautuu merkittävästi sulfidia sisältämättömäksi, paalu voidaan mitoittaa 2,2 mm "korroosiovähennyksellä".

5. Pinnoitettujen maa- ja vesirakenteiden käyttöikäsuunnittelu

Pinnoitettujen maa- ja vesirakenteiden käyttöikäsuunnittelu tehdään suojausmenettelyllä. Suunnittelun lähtökohtana on kohdassa 2.3. esitetty ennakoitu käyttöikä. Koko rakenteen käyttöiän sijasta arvioidaan pinnoitteen kestoikä. Kun tämä täyttyy, on rakenteen suojattava uudestaan, ellei rakenteen suunniteltu käyttöikä ole tätä pienempi.

Jos em. kestoikä ylitetään tai pinnoitekerrokset eivät pysty suojaamaan rakenteen teräksistä turmeltumiselta, on tämä otettava huomioon valmistamalla osat korroosion kestävästä materiaalista tai suunnittelemalla osat niin, että ne ovat vaihdettavissa, tai määrittelemällä teräkselle korroosiovara tai mitoittaa suojaamaton teräs sille sopivan käyttöikämitoituksen mukaisesti.

Ohessa käydään läpi lähinnä ei-kantavia rakenteita, jotka on pinnoitettu kuumasinkitsemällä ja/tai maalaamalla. Rakenteisiin kohdistuu ulkoilman räsitususten lisäksi vesistä ja maasta aiheutuvia räsituksia. Esitettävät suunnittelumenetelmät soveltuvat periaatteessa myös massiivisille teräsrakenteille.

5.1 Suunnittelun perusteita

5.1.1 Pinnoite korroosionestona

Sähkökemiallisesti tapahtuva korroosio on teräksen ruostumisen tavallinen syy. Kun rakenteen eri kohtien välille syntyy sähköinen potentiaaliero ja kun näitä kohtia yhdistää sähköä johtava liuos, elektrolyytti (yleensä vesi), muodostuu paikallinen sähköinen pari, jonka toiminta johtaa teräksen syöpymiseen. Paikallisia potentiaalieroja syntyy rakenteeseen helposti esim. rakojen kohdille, rakenteen pinnalla olevien roskien kohdille tai eri aineiden liitoskohtiin.

Korroosion ilmenemismuotoja on periaatteessa kahta tyyppiä: yleistä (tasaista) ja paikallista. Syöpymät ovat useimmiten paikallisia ja korroosio keskittyy pienille alueille levymäisinä, kuoppamaisina tai pistemäisinä syöpyminä.

Syöpymisen nopeus riippuu lähinnä elektrolyytin ominaisuuksista, sen sisältämistä aineosista: esim. kloridit ja rikkioksidit kiihdyttävät sähkökemiallista reaktiota ja siten nopeuttavat teräksen korroosiota.

Sähkökemiallisen korroosion estäminen tapahtuu estämällä paikallisparin muodostuminen tai ohjaamalla parin muodostumista niin, että rakenteen teräs on paikallisparin kato-dina.

Korroosioneston kannalta pinnoite toimii ensisijaisesti niin, että se estää rakenteen pin-nalla olevan liuoksen suoran kosketuksen teräksen kanssa, jolloin sähköistä paikallista paria ei voi muodostua.

Joillakin pinnoitteilla, esim. sinkillä, on myös toinen rakenteen suojauksen kannalta merkittävä ominaisuus. Jos pinnoitteen paikallisesti vaurioituessa paikallinen pari tässä kohdassa pääsee muodostumaan, pinnoite ohjaa parin muodostumista niin, että raken-teen teräs tulee parin katodiksi ja pinnoite anodiksi. Silloin parin toimiessa teräs ei syövy, vaan ainoastaan pinnoite syöpyy jossain määrin. Pinnoite antaa silloin teräkselle myös katodisen suojan.

Kuumasinkityksen osalta suunnittelun perusteita on käsitelty laajasti mm. Esko ja Ville Hyttisen julkaisussa Kuumasinkityn teräksen käyttö rakentamisessa /36/ ja Kuumasin-kitys-käsikirjassa /37/. Kun teräsrakenteet suojataan pinnoiteyhdistelmillä, jotka koos-tuvat maaleista ja samankaltaisista tuotteista, voidaan tukeutua standardiin ISO 12944 /21/, jossa esitetään niitä osatekijöitä, jotka ovat tärkeitä riittävän korroosioneston saa-vuttamiseksi.

5.1.2 Pinnoitteiden valintaperusteita

Pinnoitustavan valintaan ja suunnitteluun sisältyy taloudellisuusvertailujen ja käyttö-ikä-arvioinnin lisäksi mm. työtekniikka asennuksen ja huolto- ja kunnossa-pitotoimenpitei-den yhteydessä (luoksepäästävyys, sieto ongelmallisille olosuhteille, aineiden terveelli-syys ja turvallisuus) ja pinnoitteen kestävyys rakenteiden kuljetusten, varastoinnin ja asennuksen yhteydessä. Käyttökokemukset pinnoitteen soveltuvuudesta vastaavissa olo-suhteissa ovat yksi parhaita perusteita tietyn pinnoitteen valinnalle.

Sinkityksen ja maalauksen vaikutus ruostumisen estämisessä tapahtuu eri tavalla. Sink-kipinnoite syöpyy pinnasta teräkseen päin, kun maalipinnoite sitä vastoin vaurioituu usein siten, että ruostetta muodostuu maalikalvon ja teräksen rajapinnalle. Muita maali- ja sinkkipinnoitteille ominaisia piirteitä on seuraavassa.

Maalaukselle on ominaista:

- Soveltuu paikalla toteutettavaksi.
- Rakenteiden monimuotoisuus ei ole ongelma.
- Värivalikoima on laaja.
- Soveltuu kaikkiin olosuhteisiin.

Kuumasinkitykselle on ominaista:

- Syöpymiskestävyys hyvä ja lähes suoraan verrannollinen sinkkikerroksen paksuuteen.
- Nopeasti toteutettavissa (yksi työvaihe), mutta on tehtävä sinkityslaitoksessa.
- Hyvä tarttuvuus, menetelmä valvoo itse laatua, koska sinkitys tarttuu teräkseen vain, jos teräspinnan esikäsitely on tehty oikein.
- Vauriot korjautuvat helposti itsestään sinkin katodisen toiminnan ansiosta.
- Soveltuvuus maalausaloitukseksi edellyttää erityistoimenpiteitä.
- Teräksen laatu ja paksuus vaikuttavat sinkkikerroksen paksuuteen.
- Ei sovellu ilman suojamaalauksia ympäristön pH-alueille pH < 5 eikä pH > 12.

5.1.3 Pinnoittaminen maalaamalla

Standardisarja ISO 12944 /21/ Maalit ja Lakat - Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä käsittelee maaliyhdistelmien korroosionesto-ominaisuuksia. Muita suojaavia ominaisuuksia, kuten suojaa mikro-organismeilta, kemikaaleilta ja mekaanisilta vaikutuksilta, ei käsitellä standardissa. Standardisarja käsittelee rakenteita, jotka on tehty hiili- tai niukkaseosteisesta teräksestä, jonka paksuus ≥ 3 mm.

Suojamaaliyhdistelmien kestävyys on jaettu kolmeen jaksoon: alhainen (2 - 5 vuotta), kohtalainen (5 - 15 vuotta) ja korkea (yli 15 vuotta). Kestävyysjaksoa ei pidä sekoittaa takuuajaksi. Kestävyydellä tarkoitetaan "odotettua kestoajaksi ensimmäiseen huomattavaan huoltomaalaukseen".

Standardin osassa 12944-5 on taulukoitu suojamaaliyhdistelmiä erilaisiin rasisolosuhteisiin (lukuun ottamatta lievää rasisluokkaa C1), rasisluokat ks. taulukko 33. Sinkityn pinnan maalaus ei sisälly maaliyhdistelmiin.

Käytännössä kuumasinkittyjä rakenteita halutaan usein myös maalata mm. ulkonäkösyistä, tai kun halutaan pinnalle huomio- tai suojaväri tai kun halutaan saada rakenteen korroosiosuojalle maalauksen antama lisä. Tämä tulee kysymykseen esim. silloin, kun rakenne käytössä tulee hyvin syövyttäviin olosuhteisiin tai kohteisiin, joissa myöhempi käytön aikainen kunnossapito ja korjaus on hankalaa suorittaa, tai kun esim. ohutlevyjen suhteellisen ohuen sinkkipinnoitteen säilyvyyttä ja korroosionsuojauskykyä halutaan maalauksella lisätä.

Kuumasinkityistä rakenteista puhuttaessa sanotaan, että pinta on duplex-käsitelty, kun sinkitty pinta on lisäksi maalattu. Sinkkipinnoitteen päällä maali kestää yleensä pitempään kuin paljaan teräksen pinnalla. Toisaalta maali estää sinkkipinnoitteen syöpymistä. Kun sinkitys ja maalaus tällä tavalla suojaavat toisiaan, maalattu sinkkipinnoite antaa teräsrakenteille erittäin hyvän korroosiosuojan.

Duplex-menetelmällä saadaan pinnoite, jonka kestoikä on pitempi kuin kummankin pinnoitteen yhteinen kestoikä. Esim. jatkuvassa merivesiupotuksessa lisäys em. summakestoikään on n. 50 %.

Kun kuumasinkityt rakenteet maalataan, voidaan sinkityt kappaleet jälkikäsitellä esim. fosfatoimalla. Tällöin kappaleen sinkkipinta käsitellään fosfointiliuoksella (laimennettu sinkkifosfaatin ja lisäaineiden seos). Fosfoinnissa sinkkipinnassa olevat liukoiset yhdisteet muuttuvat pinnassa hyvin kiinni pysyviksi. Fosfoinnin jälkeen kappaleet puhdistetaan huolellisesti.

Maalattaessa sinkkipinta suoraan ilman pohjamaalia suositellaan käytettäväksi ruisku-maalauksessa tarkoitukseen sopivia epoksi-, polyuretaani- tai kloorikautsumaaleja ja sivellin-, tela- yms. käsinmaalauksessa tarkoitukseen sopivia uretaani- tai alkydimaaleja. Muita maalityyppejä käytettäessä on yleensä tarpeen suorittaa ensin pohjamaalaus esim. epoksipohjamaalilla.

5.1.4 Sinkitysmenetelmät

Sinkkipinnoite voidaan tehdä usealla eri menetelmällä. Suomessa käytetään tavallisimmin kuuma- ja sähkösinkitystä, jossain määrin myös ruiskusinkitystä.

Sähkösinkityksellä saadaan aikaan metallinhohtoinen, hyvin tasainen, mutta ohut (5 - 25 μm), teräkseen mekaanisesti kiinnittyvä pinnoite. Sähkösinkittyjä tuotteita käytetään rakentamisessa kohteissa, joissa korroosiovaara ei ole suuri, esim. sisätiloihin asennettavissa pienosissa.

Ruiskusinkitys soveltuu sellaisten kappaleiden sinkitykseen, joita ei voida koon, ainevahvuuden tai kiinteän asennuksen vuoksi kuumasinkitä. Sitä käytetään myös kuumasinkittyjen esineiden pinnoitteen korjaamiseen tai uudelleenpinnoittamiseen. Ruiskusinkitty pinnoite on paksuudeltaan n. 50 - 140 (- 300) μm . Pinnoite kiinnittyy teräkseen mekaanisesti.

Rakentamista ajatellen sinkitysmenetelmistä merkityksellisin on kuumasinkitys. Se tehdään käytännössä joko jatkuvatoimisesti (mm. ohutlevyjen, lankojen yms. pitkien tuotteiden sinkitseminen) tai kappalekuumasinkityksenä (mm. yksittäisten kappaleiden ja rakennelohkojen sinkitseminen). Kuumasinkityksessä teräs ja sinkki reagoivat keskenään kemiallisesti ja sinkkipinnoite kiinnittyy teräkseen tiiviisti kemiallisella sidoksella.

Kuumasinkityksellä valmistetaan sinkityslaitoksissa käytännössä kolmen eri paksuusluokan pinnoitteita, ks. taulukko 32 /37/. Pinnoiteluokka A on tarkoitettu yleiseen käyt-

töön. Luokka B on tarkoitettu kappaleille, joita käytetään syövyttävässä ympäristössä, ja kappaleille, joilta vaaditaan pitkää kestoikää. Luokka C on tarkoitettu kappaleille, joita käytetään erittäin syövyttävissä ympäristöissä, tai kappaleille, joilta vaaditaan erittäin pitkää kestoikää.

Luokan A mukainen pinnoite voidaan saada useimmille teräslajeille. Luokan B mukainen pinnoite saadaan piillä tiivistetyille kuumavalssatuille teräksille tai muillekin teräslajeille, jos sinkittävien kappaleiden pinta karhennetaan raepuhalluksella terävsärmaisillä (teräs-)rakeilla. Luokan C mukainen pinnoite saadaan kuumavalssatuille teräksille, jos niiden piipitoisuus $S_i > 0,3 \%$.

Ohutlevyn materiaalin valinnalla ei ole eroa ajatellen korroosionkesto-ominaisuuksia, kun kyse on esim. Rautaruukki Oy:n kuumasinkityistä ohutlevyistä.

Taulukko 32. Kuumasinkittyjen terästuotteiden minimikerrospaksuudet. Pinnoitusluokka A on tarkoitettu yleiseen käyttöön, B syövyttäviin ympäristöihin ja C erittäin syövyttävään ympäristöihin, joissa vaaditaan pitkää käyttöikää.

Teräksen nimelispaksuus t (mm)	Luokka A, sinkin kerrospaksuus (μm)	Luokka B, sinkin kerrospaksuus (μm)	Luokka C, sinkin kerrospaksuus (μm)
$t > 6$	85	100	190
$3 < t \leq 6$	70	85	115
$1 < t \leq 3$	50	60	Ei sovelleta

5.1.5 Pinnoituksen huomioonottaminen rakenteiden suunnittelussa

Rakenteen muoto voi vaikuttaa sen korroosioalttiuteen. Tämän takia rakenteet pitäisi suunnitella niin, ettei korroosio pääse leviämään korroosioherkistä kohdista. Rakennesuunnittelijan olisikin syytä neuvotella korroosioneston asiantuntijan kanssa jo suunnittelun hyvin varhaisessa vaiheessa.

Standardin ISO 12944 Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä osassa 3 käydään läpi Rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia. Kuumasinkittävien teräsrakenteiden suunnitteluvaatimukset on esitetty ISO-standardeissa /38 - 40/. Näitä valaisevia kuvia on esitetty myös viitteissä /36/ ja /37/.

Tarkoituksenmukaisessa suunnittelussa on otettava huomioon mm. seuraavia asioita:

- Teräsosat on suunniteltava luoksepäästäviksi silmällä pitäen suojamaaliyhdistelmien levitys, tarkastus ja huolto.
- On vältettävä kapeita rakoja, umpihalkeamia ja limiliitoksia.

- On otettava erityisesti huomioon erilaisten materiaalien liittymäkohdat.
- On vältettävä sellaisia pinnan muotoja, joihin voi keräytyä vettä ja roskia.
- Terävät reunat on pyöristettävä.
- Hitsit on toteutettava ilman pintavirheitä.
- Liitososat on suojattava korroosiolta yhtä kestävästi kuin muu rakenne.
- Käytetään mieluummin kotelo- ja onteloprofiileja kuin monimutkaisia profiilimuotoja.

Lujuus-, sitkeys- yms. aineominaisuuksien puolesta kuumasinkittyä terästä voidaan käyttää rakentamisessa samoin kuin sinkitsemätöntä terästä. Kuumasinkittyjen rakenteiden suunnittelu on lujuusteknisiltä perusteiltaan samanlaista kuin teräsrakenteiden suunnittelu yleensä.

Kuumasinkitys prosessina asettaa tietyt vaatimukset rakenteen suunnitteluun. Olennainen kuumasinkityksen asettama erityisvaatimus on rakennekokonaisuuden lohkotus, jakaminen sellaisiin rakennelohkoihin, että lohkot mahtuvat kuumasinkityslaitosten puhdistus- ja sinkitysaltaisiin.

Kappaleiden helppoa käsiteltävyyttä kuumasinkityksen yhteydessä parantaa se, että rakenne muodostuu helposti käsiteltävistä osista, jotka kootaan yhteen sinkityksen jälkeen. Pulttiliitosten käyttö on suositeltavaa. Esineet tulee varustaa nostoaukoilla tai nostokorvilla.

Jotta kuumasinkityksessä rakenteeseen ei tulisi haitallisia muodonmuutoksia, seuraavat muotoilua koskevat ohjeet on syytä ottaa huomioon:

- Samaan kappaleeseen hitsaamalla liitettyjä ainevahvuudeltaan erilaisia osia tulee välttää.
- Lämpölaajenemisen epätasaisuuden vuoksi pitkiä, hoikkia rakenteita ja ohutlevyjen jäykistämättömiä suuria tasopintoja tulee välttää.
- Hitsausjännitysten aiheuttamien muodonmuutoksien välttämiseksi hitsaus suoritetaan symmetrisesti painopisteakselin suhteen ja hitsausjärjestys suunnitellaan siten, että jännitykset tulevat mahdollisimman vähäisiksi.

5.1.6 Sinkkipinnoitteen syöpyminen

Sinkkipinnoite kestää yleisesti ottaen hyvin tavallisia ympäristövaikutuksia ja mekaanista rasitusta. Suojausvaikutuksen kestoikä on lähes suoraan verrannollinen sinkkipinnoitteen paksuuteen.

Sinkkipinnoitteen hyvä kestävyys perustuu siihen, että pinnoitteen pintaan muodostuu sinkin itsensä korroosioyhdisteistä kestävä ja tiivis pinnoitetta suojaava kerros, yleensä

sinkkikarbonaattikerros, kun sinkityksen jälkeen ympäristössä olevat hiili (hiilidioksidi) ja happi (vesi) yhtyvät sinkkiin. Aluksi kiiltävä, metallinhohtoinen pinta tulee väriltään vaaleanharmaaksi tai joissakin tapauksissa punaruskeaksi tai liki mustaksi, kun pintakerrosten rauta-sinkkiyhdisteiden rauta ruostuessaan värjää pinnoitetta. Pinnoitteen värin muuttuminen ei kuitenkaan huononna pinnoitteen suojaavaa vaikutusta.

Uusille sinkityille pinnoille voi tietyissä olosuhteissa (pinnat kosteat) syntyä jauhemaista valkoista kerrostumaa, sinkin korroosiotuotetta, jota kutsutaan valkoruosteeksi (tai sinkkihomeeksi). Tälläkään ei ole juurikaan vaikutusta sinkkipinnoitteen kykyyn suojata terästä korroosiolta. Valkoruosteen syntyminen lakkaa, kun pinnat kuivuvat ja pääsevät ilman kanssa kosketuksiin, jolloin pinnoitteen pintaan muodostuu suojaava kerros. Valkoruoste voidaan poistaa harjaamalla tai pesulla tai muulla kohtuullisella mekaanisella tai kemiallisella käsittelyllä.

Sinkkipinnoitteen kestävyys vaikuttaa olennaisesti pintakerroksen tiiviin suojakerroksen muodostuminen ja pysyvyys. Tavallisissa ympäristöolosuhteissa suojakerros kestää hyvin, mutta eräät erikoiset olosuhteet vaikuttavat sinkkipinnoitteeseen tavallista syövyttävämmiin.

Ilmatilakorrosio tapahtuu metallipinnalla olevassa kosteuskalvossa, joka voi olla niin ohut, että sitä ei erota paljaalla silmällä. Korroosion esiintyminen on todennäköistä, kun suhteellinen kosteus on yli 80 % ja lämpötila yli 0 °C (ns. märkäaika). Korroosionopeus kasvaa, kun ilman suhteellinen kosteus nousee, ja myös silloin, kun pinnalla esiintyy kondensoitumista eli pinnan lämpötila on sama tai alempi kuin kastepiste. Em. ilmiöitä on käsitelty edellä kohdassa 3.1.

Kun ilmasto-olosuhteet ovat sellaiset, että ilmassa on runsaasti rikkiyhdisteitä, ne yhdessä ilman kosteuden kanssa saattavat muuttaa rakenteiden sinkkipinnoitteen ulkokerrosta helposti pois huuhtoutuviksi sinkkisulfaateiksi tai -sulfideiksi. Sinkkipinnoite voi silloinkin syöpyä tavallista nopeammin.

Veteen upotetuissa tai maahan tai osittain niihin upotetuissa rakenteissa korrosio on tavallisesti luonteeltaan paikallista ja vaikeasti määriteltävissä.

Vedessä olevissa rakenteissa sinkkipinnoite kestää hyvin, jos vesi sisältää kalkkia ja muita suoloja (kovat vedet), jotka sinkin kanssa muodostavat karbonaatteja tai muita yhdisteitä, jotka saavat aikaan suojakerroksen muodostumisen pinnoitteen pintakerrokseen. Jos vesi ei sisällä suoloja (pehmeät vedet), ei sinkitystä suojaavaa kerrosta muodostu ja pinnoitteesta pääsee liukenemaan sinkkiä jatkuvasti. Veden mahdollinen virtaus nopeuttaa liukenemistä. Virtaavissa pehmeissä vesissä sinkitys syöpyy tavallista nopeammin.

Vedessä oleviin rakenteisiin voi syntyä myös mekaanisia rasituksia mm. hiekan ja kivien hiovasta vaikutuksesta, aalloista, jäästä jne.

Korroosio syntyy ja kehittyy nopeammin pinnoilla, jotka altistuvat samanaikaisesti sekä mekaanisille että kemiallisille rasituksille. Esimerkkinä tästä ovat rakenteet, jotka sijaitsevat lähellä teitä, joille on levitetty soraa ja suolaa. Ajoneuvot roiskuttavat suolaista vettä ja soraa ko. rakenteisiin, ja niiden pinta altistuu suolan aiheuttamille korroosiorasituksille ja soran iskuista aiheutuvalle mekaaniselle rasitukselle.

Maan sisään asetettavien rakenteiden sinkkipinnoitteen kestävyys riippuu siitä, miten sinkitystä suojaava pinnoitteen pintakerros voi muodostua ja miten suojakerros kestää ympäristörasitusta. Maaperästä aiheutuva korroosiorasitus riippuu voimakkaasti ilmastusteesta eli maan happipitoisuudesta. Maassa tapahtuvalle teräksen korroosiolle ei ole löydetty mitään yleispätevää selittäjää, kuten edellä kohdassa 4 on todettu. Sama pätee sinkitykseen. Teräksen korroosionopeus on n. 10 - 25-kertainen sinkkiin verrattuna.

Vastaavasti kuin suojamaaliyhdistelmille on eripaksuisten sinkkipinnoitteiden kestävyyksille eli kunnossapitoväleille taulukoitu CEN-ohjeluonnoksessa /41/ ratkaisuvaihtoehtoja erilaisissa ympäröivissä rasitusolosuhteissa. Kestävyydet on jaettu neljään jaksoon: alhainen (alle 5 vuotta), kohtalainen (5 - 10 vuotta), korkea (10 - 20 vuotta) ja hyvin korkea (yli 20 vuotta).

Rasitusolosuhteina on käytetty standardin ISO 9223 /11/ mukaisia rasitusluokkia. Ilmastorasitukset on jaettu kuuteen rasitusluokkaan, ks. taulukko 10, kohta 2. Lisäksi on kolme luokkaa veteen upotetuille tai maanalaisille rakenteille, jotka ovat:

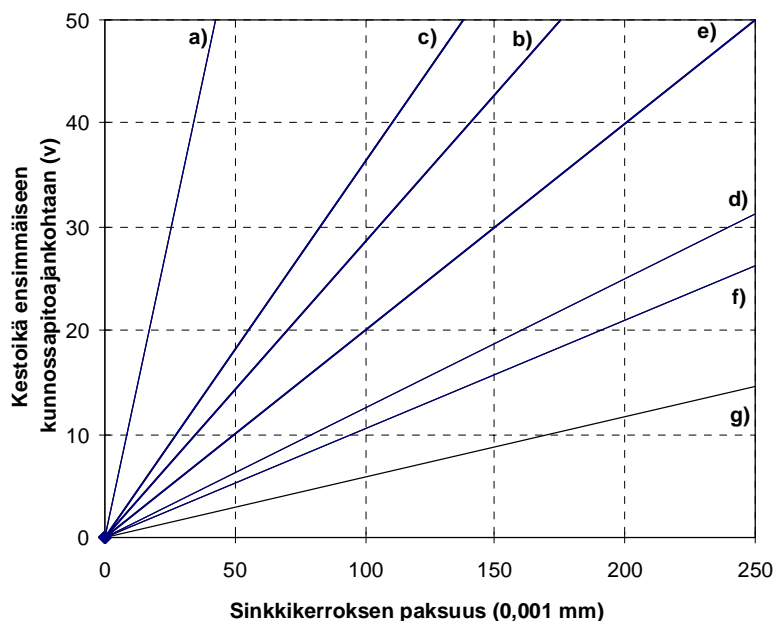
- Im1, ympäristönä makea vesi
- Im2, ympäristönä meri- tai murtovesi
- Im3, ympäristönä maaperä.

ISO 9223 ei anna korroosionopeuksille Im-luokissa minkäänlaisia lukuarvoja. Vesi-upotuksessa määritellään kolme eri aluetta: vedenalainen, vesiraja ja roiskevesialue. Maaperän eri tyyppisiä ja niiden muuttujien eroja ei luokitella.

Pinnoitteen valinnassa lähdetään ympäristöolosuhteiden määrittelystä, ks. taulukko 33. Ympäristöjä on määritetty 8 kpl, a - h. (Taulukkoon on lisätty maaupotus). Syöpymisnopeudet on annettu vaihtelurajoina, jotka poikkeavat hieman em. ISO 9223:n /11/ vastaavista. Lisäksi CEN-ohjeessa on esitetty tyypilliset kestoviikat eri rasitusolosuhteissa sinkkikerroksen paksuuden funktiona kuvan 29 mukaisesti. Ko. suorien mukaiset syöpymisnopeudet esitetään myös lukuarvoina taulukossa 33.

Taulukko 33. Ympäristöolosuhteet ja sinkin korroosionopeudet r_{corr} ja $r_{corr,a}$ (keskimääräinen, ks. kuva 29) CEN-ohjeluonnoksen mukaisesti. Suluissa esitetyt arvot ovat Suomessa käytettyjä keskimääräisiä arvoja, sisä- ja ulkoympäristöjen lukuarvot RT-ohjetiedostosta (perustuu standardiin SFS 4596) ja upotuksessa arvot Kummasinkitys-käsikirjasta.

Ympäristö		Rasitusluokka (ISO 9223) ja r_{corr} ($\mu\text{m/a}$)	$r_{corr,a}$ ($\mu\text{m/a}$) Kuva a	SO ₂ -pitoisuus $\mu\text{g/m}^3$	NaCl-laskeumanopeus $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Sisällä	a. kuiva sisätila	C1 tai C2, < 0,5	0,85 (0,5)		
	b. kostea sisätila	C3, < 2	3,5		
Ulkona	c. puhdas sisämaan ilmasto	C3 tai C4, 0,5 - 4	2,75 (1,0)	< 40	< 80
	d. saastunut sisämaan ilmasto	C5-I, 4 - 10	8,0	> 40	< 80
	e. puhdas rannikkoalueen ilmasto	C4 tai C5-M, 2 - 10	5,0 (1,5)	< 40	> 80
	f. saastunut rannikkoalueen ilmasto	\geq C5-M, 4 - 15	9,5 (3,5)	> 40	>80
Upotus	g. meri/murtovesi - valtameret - Pohjanmeri - Itämeri	Im2	17 - (18) - (13) - (10)		
	h. makea vesi - jokivesi	Im1	- (13)		
	i. maaperä	Im3	- (5)		



Kuva 29. Keskimääräiset sinkkipinnoitteiden kestoiät ensimmäiseen kunnossapitoajankohtaan eri ympäristön rasiusluokissa CEN-ohjeluonnoksen mukaisesti.

- a) kuiva sisätila
- b) kostea sisätila
- c) puhdas sisämaan ilmasto
- d) saastunut sisämaan ilmasto
- e) puhdas rannikkoalueen ilmasto
- f) saastunut rannikkoalueen ilmasto
- g) meri- tai murtovesiupotus.

Suomalaiset korroosionopeuden keskimääräiset arvot, jotka on esitetty mm. RT-kortissa 39-10260 /42/ (perustuu standardiin SFS 4596 /16/), poikkeavat selvästi CEN-ohjeen lukuarvoista. Jälkimmäiset perustuvat Keski-Euroopassa vallitseviin ympäristöolosuhteisiin, jotka ovat Suomalaisia rasittavampia.

Standardeissa ja vastaavissa ohjeissa esitettyihin korroosionopeuksiin on syytä suhtautua varauksella jo senkin takia, että paikalliset olosuhteet voivat vaihdella paljonkin. Em. makroympäristöjen ainoa oikea määrittäminen ovat paikalliset korroosiomittaukset (kosteus, rikkidioksidi ja kloridi). Paras indikaattori sinkin korroosionopeudelle on rikkidioksidipitoisuus, jonka vaikutus samanlaisissa ympäristöissä on lineaarinen. Sinkityksen kestoajan kannalta yksi kestoikää pidentävä vaikutus ovat viime aikoina pienentyneet rikkidioksidipäästöt.

5.2 Käyttöiän määrittäminen pinnoitetuille rakenteille

Kun rakenteelle tai rakennusosalle on valittu suunnitteluikä, joutuu suunnittelija rakenne- ja detaljisuunnittelussa valitsemaan ratkaisut, joiden ennakoitu käyttöikä on em. suunnitteluikää pitempi.

Ennakoidun käyttöikäarvioinnin menettelynä pinnoitetuille maa- ja vesirakenteille esitetään tässä ISO-standardiluonnoksen /16/ mukainen kerroinmenettely, jossa käyttöiän vertailuarvo muunnetaan ennakoiduksi käyttöiäksi muuntokerrointen avulla. Koko rakenteen käyttöiän sijasta arvioidaan eri pinnoitteiden ja suojausjärjestelmien käyttöikä. Käyttöikäsuunnittelun menettelytapana tätä kutsutaan suojausmenettelyksi.

Kestoiän vertailuarvo voidaan määrittää tai arvioida perustuen esim. johonkin seuraavista menettelyistä tai niiden yhdistelmiin:

- Kokemusperäinen tieto rakenteen toimivuudesta.
- Rakennustuotteen ympäristötietokortissa esitetyt tavoitekäyttöiät (kortteja ollaan tekemässä Tekesin Rakentamisen ympäristötekniikan tutkimusohjelmassa 1998 - 99; teräksisten rakenteiden osalta ympäröivä rasitus on ilmastollinen).
- Kokeellinen (ja laskennallinen) ennakoidun käyttöiän määrittäminen (menettelytapoja kehitetään CIBin, ISON ja RILEMin toimesta; ei ole olemassa käytännön esimerkkejä).
- Rakennusmääräysten, normien, ohjeiden tmv. esittämät kestoajat (esim. CEN-ohje /41/, RT-kortti /42/).
- Malliratkaisut (esim. suojamaalausstandardit /21/).
- Tuotekohtaisten standardien mukaiset käyttöikämäärittäykset (esim. meluaitojen CEN-standardi /47/).

Kerroinmenettelyssä käytettävillä muuntokertoimilla pyritään ottamaan huomioon kaikki ne tekijät, jotka vaikuttavat käyttöikäarvioon. Arvion tarkkuus on kuitenkin riippuvainen lähtöarvojen luotettavuudesta. Arvioinnissa käytettävät lähteet pitäisikin tuoda esille.

Luotettavimmin käyttöiät määritetään pitkäaikaiskokeisiin perustuen. Tällöinkään menettely ei voi sisältää kaikkia vaikuttavia tekijöitä, kuten esim. paikallisia ympäristö- rasituksia sekä toteutustapojen ja kunnossapidon vaikutuksia, eli suunnittelija joutuu joka tapauksessa tulkitsemaan kokeellisia tuloksia ja siihen kerroinmenettely sopii hyvin.

Lähtökohtana suunnittelussa on kohdassa 2.3.3 esitetty ennakoidun käyttöiän kaava (1), joka esitetään tässä yhteydessä pinnoituksen funktiona seuraavasti:

$$ESLC_c = RSLC_c \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G, \quad (19)$$

jossa

- $ESLC_c$ on pinnoituksen ennakoitu käyttöikä rakenteessa
- $RSLC_c$ on pinnoituksen kestoiän vertailuarvo
- A, B ja C ovat laatutekijäkertoimet:
 - A on rakenneosan laatu
 - B suunnittelun laatu
 - C työn laatu
- D ja E ovat ympäristöolosuhdekertoimet:
 - D on sisäympäristö (ympäristöolosuhteet, jotka vallitsevat rakenteen ja sen ympäristön rajapinnalla; myös viereisten materiaalien vaikutukset)
 - E ulkoinen ympäristö (olosuhteet, jotka vallitsevat rakenteen ympärillä)
- F ja G ovat käyttöolosuhdekertoimet:
 - F on käyttöolot
 - G huollon taso.

Standardiehdotuksessa /16/ ei anneta muuntokerrointen A - G lukuarvoille tarkkoja suuruuksia. Standardissa esitettyjen esimerkkien yhteydessä käytetään arvoja 0,8, 1,0 ja 1,2 kuvaamaan lähinnä kertoimen pienentävää, oletusarvon mukaista ja lisäävää vaikutusta kestoiän vertailuarvoon.

Rakenneosan laatutekijäkertoimella $A = 1,0$ määritellään teräsrakenteen osalta teräslaadultaan ja pinnoitukseltaan standardin mukaista materiaalia. Rakenteen teräs tai pinnoite, joka ei täytä ko. standardeja, vastaa esimerkissä 0,8-kerrointa ja kun teräs tai pinnoite vaihdetaan paksumpaan tai ruostumattomaan ja sinkitystä lisätään selvästi, käytetään kerrointa 1,2.

Rakenteiden suunnittelussa (B-kerroin) voidaan oikeilla ratkaisuilla vaikuttaa osaan kohdistuvien ympäristörasitusten vaikutusta, esim. pitemmät räystäät vähentävät kosteusrasitusta. Sinkityksen onnistumisen kannalta on rakenteiden suunnittelussa otettava huomioon monia tekijöitä, ks. kohdasta 5.1.

Työn laatutekijäkertoimeen C sisältyy mm. asennusohjeiden noudattaminen ja siihen liittyvä laadunvalvonta laatujärjestelmineen ja ammattitaitoisine työvoimineen.

Käyttöolosuhdekertoimilla otetaan huomioon mm. normaalista poikkeava rakenneosan kuluminen (kerroin F). Käyttöiän vertailuikää voidaan helposti kasvattaa esim. huollon tiheyttä lisäämällä (kerroin H, huollon taso).

Ympäristöolosuhdekertoimilla D ja E voidaan tarkentaa suunnittelun alkuvaiheessa tehtyjä arvioita rakennetta ympäröivistä olosuhteista. Arvioidaan esim., muuttuuko ympäristö nähtävässä tulevaisuudessa ja voidaanko ympäristö jakaa erilaisiin osaympäristöihin vai käytetäänkö yhtä rasisitusluokkaa.

Korroosiorasituksen arvioimisessa määräävinä tekijöinä ovat paikallis- ja mikroympäristöt. Paikallisympäristöillä tarkoitetaan rakenteen ympärillä vallitsevia olosuhteita ja mikroympäristöllä rakenteen ja sen ympäristön rajapinnalla vallitsevia ympäristöolosuhteita.

Syöpymiseen vaikuttavia ympäristötekijöitä voidaan listata melkoinen määrä. Esim. ISO-standardiehdotuksessa /16/ ne on lajiteltu luonteeltaan viiteen ryhmään. Mekaanisesti vaikuttavia tekijöitä ovat esim. lumi-, aalto- ja jääkuormien, iskujen, hiekan hankautumisen ja tärinän aiheuttamat rasitukset. Sähkömagneettisia tekijöitä ovat mm. UV-säteily ja valaistus, lämpörasituksia mm. routiminen ja palo. Kemiallisesti vaikuttavia aineita ovat vesi ja liuottimet, hapettavat, pelkistävät, happamoittavat, emäksöivät ja suolat ja biologisesti vaikuttavia kasvi- ja mikrobiperäiset ja jopa eläimetkin.

5.2.1 Suojamaaliyhdistelmillä pinnoitetut rakenteet

Näitä rakenteita ovat esim. merirakenteet: majakat, merimerkit, kasuunit ym. sekä virtaus-, kaukolämpö- ja maakaasuputket.

Lähtökohtana on, että pinnoitekerrokset suojaavat rakenteen teräksen koko rakenteen ennakoitun käyttöajan ajan. Jos em. käyttöikä on suurempi kuin pinnoitteen huoltomaalausväli, pinnoite uusitaan sille arvioitavan huoltomaalauksen ennakoitun käyttöajan aikana.

Käyttöikämitoitus lähtee tässä analyysistä tai arviosta, mikä on sen ympäristön korroosivaikutus, johon rakenne tullaan sijoittamaan.

Lisäksi on pyrittävä analysoimaan paikallisten ympäristöolosuhteiden muutosten vaikutus ja kaikki erityisolosuhteet, jotka voivat vaikuttaa käytettävän pinnoitetyypin valintaan.

Valitaan suojamaaliyhdistelmä, jolla on haluttu kestävyys eli huoltomaalausväli. Valinta perustuu

- pitkäaikaiseen käyttökokemukseen
- standardissa (esim. ISO 12944-5, /21/) esitettyyn soveltuvuuteen vastaaviin olosuhteisiin

- laboratoriotestien tulokseen standardin (esim ISO 12944-6 /21/) mukaisesti ja menettelyä käytetään tapauksissa, joissa pinnoiteyhdistelmä perustuu uusiin tuotteisiin.

Kerroinmenettelyllä otetaan tässä tapauksessa kantaa huoltomaalauksen suoritusajan-kohtaan eli lähinnä esteettiseen kestävyYTEEN.

Esimerkki 1: British Steel on määrittänyt ennakoituja käyttöikäjä ennen ensimmäistä huoltomaalaustarvetta erilaisissa ympäristöolosuhteissa tietyillä tavoilla pinnoitetuille teräsrakenteille /43/, ks. taulukko 34. Taustana ovat tekijän mukaan käytännön kokemukset. Esimerkit edustavat ns. normaaleja ympäristöjä, ja pinnoitusratkaisuissa on otettu huomioon myös niiden taloudellisuus. (Vastaavasti on British Steel taulukoinut sisätilojen teräsrakenteet ympäristöolosuhteissa C1, 2 ja 3 /44/.)

Kunnostusajankohdan määrää turmeltumisaste Ri 3, kun 1 % pinta-alasta on ruosteessa (ISO 4628/3 /45/). Kuumasinkityksen (pinnoitusjärjestelmä E4, 85 µm) kestoajat on määritetty ISO 1461 -standardista /38/.

Esimerkissä otetaan kantaa tarkemmin kuin ISO 12944-5 -standardissa /21/ esitettyjen suojamaaliyhdistelmien kestävyysjaksoihin 2 - 5, 5 - 15 ja yli 15 vuotta. Kerroinmenettelynä ajateltuna esimerkin muuntelukertoimien A - G tulo = 1,0 eli pinnoituksen kestoajan vertailuarvo on yhtä suuri kuin pinnoituksen ennakoitu käyttöikä.

Taulukko 34. Pinnoitusjärjestelmien ennakoituja käyttöikäjä (vuotta) ympäristön raskuusluokissa C3 - C5 (ISO 9223).

Ympäristöolosuhde			Pinnoitusjärjestelmän tunnus ¹⁾
C3	C4	C5	
20	10	5	E1
20 - 40	15 - 20	8 - 15/ 15 - 20	E4
20	15	10	E5
25	20	15	E7
30	25	20	E9
35	30	25	E10

1) Pinnoitusjärjestelmät on esitetty viitteessä /43/.

Esimerkki 2: Aallotetut teräspuutkissillat ja rumpupuutket

Pitkäaikaisen käyttökokemuksen ja seikkaperäisten toteutusohjeiden ja kunnonvalvonnan ansiosta yo. rakenteille on kehitetty Tielaitoksessa käyttöikämenettely /46/, joka perustuu pinnoituksen ennakoitun kestoajan vertailuarvon määrittämiseen.

Kestävyyteen korroosiota vastaan voidaan vaikuttaa putken levypaksuudella, sinkityksellä ja putken lisäsuojauksella.

Lähtökohtana ovat pinnoitteiden syöpymisnopeudet ns. keskinkertaisissa ympäristöolosuhteissa, kun putki on lievästi aggressiivisessa vesiympäristössä. Sinkkipinnoitteen korroosionopeus on tällöin 5 µm/a, teräksen 70 µm/a (sallitaan vain 20 % teräksen paksuudesta korrodoitua) ja lisämaalauspinnoitteen 10 µm/a.

Käyttöikämitoitus lähtee putken käyttöolosuhteiden arvioinnilla, minkä perusteella määritetään ne toimenpiteet, joilla putki suojataan korroosiota vastaan niin, että kestoian vertailuarvo (pinnoitteiden kestoajat summataan yhteen tässä menettelytavassa) on suurempi kuin tavoitesuunnitteluikä.

Käyttöolosuhteet jaetaan neljään olosuhdeluokkaan: 1) alikulkukäytävä, tietä ei suolata, 2) alikulkukäytävä, tietä suolataan, 3) vesistö, lievästi aggressiivinen (pH > 6, virtausnopeus < 0,5 m/s, kovuus °dH > 1, klorideja < 50 mg/l ja sulfaatteja < 250 mg/l) ja 4) vesistö, keskinkertaisesti aggressiivinen (pH > 4, virtausnopeus 0,5 - 2 m/s, kovuus °dH < 1). Tietyissä olosuhteissa putkeen tehdään myös lisäsuojauksia. (Teräsputkea ei suositella vesiolosuhteisiin, joissa pH < 4 ja veden virtausnopeus > 2 m/s). Em. olosuhdeluokille on annettu ns. olosuhdekerroin, joka luokassa 1 on k1 = 2,5 ja vastaavasti k2 = 1,6, k3 = 1,0 ja k4 = 0,7.

Kaavan (19) muuntelukertoimina eo. tarkoittaa, että ympäristöolosuhdekertoimet D ja E kerrottuna keskenään vastaavat erilaisissa ympäristöissä kertoimia k1, k2, k3 ja k4 eli $D \times E = k_i$.

Suunnitteluohjeissa esitetään vaatimukset käytettäville materiaaleille, suunnittelulle, rakentamiselle ja kunnossapidolle eli niitä vastaavat muuntelukertoimet ovat $\geq 1,0$. Sinkin ja suojausmaalauksen yhdistelmä rakenteen kestävyys oletetaan 1,5 kertaa pidemmäksi kuin osiensa summa, eli tällöin rakenneosan laatukerroin $A = 1,5$.

Laskentaesimerkki: Kierresaumattu teräsputki, seinämäpaksuus 3,0 mm, sinkitys 43 µm, lisäsuojaus epoksiellä 250 µm, sijainti vesistössä, jossa aggressiivisuus keskinertainen eli olosuhdeluokka 4 (k4 = 0,7). Kaavasta 19 saadaan:

$$ESLC_c = RSLC_c \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G = RSLC_c \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$RSLC_c = RSLC_{Fe} + (RSLC_{Zn} + RSLC_p) \cdot 1,5 = 59,0 \text{ a}$$

$$RSLC_{Fe} \text{ on teräksen kestoikä} = 0,2 \cdot 3,0 / 0,07 = 8,6 \text{ a}$$

$$RSLC_{Zn} \text{ on sinkityksen kestoikä} = 43 / 0,05 = 8,6 \text{ a}$$

$RSLC_p$ on lisäsuojauksen kestoikä = $250/10 = 25$ a

eli saadaan $ESLC_c = 41,3$ a.

Jos tavoitekäyttöikä on esim. 40 vuotta, ylittää saatu mitoituskestoikä 41,3 vuotta sen, joten putki voidaan valita.

Jos em. esimerkin putki pinnoitetaan vain sinkitsemällä, saadaan rakenteen mitoituskestoikäksi $(8,6 + 8,6) \cdot 0,7 = 12,0$ vuotta. Käytännössä ko. olosuhteisiin ei sinkitys yksistään riitä.

5.2.2 Kuumasinkityksellä pinnoitetut rakenteet

Näitä rakenteita ovat esim. tiekaiteet, valaisinpylväät, kelluvat vesirakenteet, geoprofiilit.

Lähtökohta on vastaava kuin suojamaaliyhdistelmillä pinnoitetuissa rakenteissa, eli sinkki suojaa rakenteen teräksen koko rakenteen ennakoitun käyttöiän ajan.

Sinkityksen käyttöiän vertailuarvo $RSLC$ voidaan määrittää esim. CEN-ohjeen /41/ mukaisesti erilaisissa ympäristöolosuhteissa kuvasta 29.

Kuvaajien voidaan sanoa edustavan yksinkertaisia, mutta suhteellisen tarkkoja sinkkikerroksen turmeltumismalleja, kun ympäristörasitukset on määritetty oikein. Tiekaiteiden ja valaisinpylväiden ja teräksen materiaalipaksuudet asettavat rajoituksia kuumasinkityksen paksuudelle, ks. taulukko 32. Käytännössä 5 mm:ä ohuemmille teräksille maksimisinkkikerroksen paksuus on n. 100 μm (yli 5 mm paksuille teräksille vastaavasti n. 200 μm). Ohutlevyisissä geoprofiileissa sinkkikerroksen paksuus on n. 40 μm yhteensä eli 20 μm puolellaan.

Muuntokertoimien vaikutus ennakoituun käyttöikään näiden rakenteiden osalta riippuu lähinnä ympäristöolosuhdekertoimien valinnasta.

5.2.3 Sekarakenne

Tällaisia rakenteita ovat esim. meluaidat.

Käyttöikä voidaan osoittaa CEN-ohjeen /47/ ja siinä esitetyn nopeutetun käyttöikätestin perusteella. Tukirakenteiden käyttöikäksi edellytetään 30 vuotta ja akustisten elementtien 15 vuotta.

5.3 Kunnossapitosuunnittelu

Suunnittelijan tehtävänä on laatia rakenteen kunnossapitosuunnitelma, jossa esitetään mm. rakennusosien uusimiset, korjaukset sekä kunnossapito- ja hoito-ohjeet.

Pinnoitettujen rakenteiden kunnossapitosuunnittelun lähtökohtana ovat säännölliset kuntotarkastukset, ja kun pinnoitteen kestoikä on täyttymässä, etenee kunnossapito esim. seuraavasti:

- Vahvistetaan pinnoitteen suunniteltu ikä.
- Tarkennetaan rakenteeseen kohdistuvat korroosiorasitukset.
- Määritellään olemassa olevan pinnoitteen tyyppi ja kunto.
- Määritellään suojaustapa.
- Tehdään rakenteen ja sen osien vahvistukset ja korjaukset tarvittaessa.
- Suunnitellaan ja suoritetaan kunnossapitotyö.
- Dokumentoidaan rakenteelle tehty suojaustyö.
- Tehdään ja dokumentoidaan kuntotarkastukset säännöllisesti.

Kuntotarkastuksilla luodaan edellytykset oikea-aikaisille kunnossapito- ja korjaustöiden toteutukselle. Tarkastukset voidaan jakaa määräajoin pidettäviin tarkastuksiin sekä tarpeen vaatiessa tapahtuvaan tarkkailuun. Kuntotarkastuksissa kiinnitetään huomiota rakenteen vaurioihin, pinnoitteen kuntoon, syöpyksiin, naarmuihin, hankautumiin yms.

Suojamaaliyhdistelmien valintaa ajatellen on ISO-standardissa 12944-8 /21/ esitetty erittely (työselitys), jossa esitetään ne vaatimukset, jotka on otettava huomioon, kun teräsrakenne suojataan korroosiolta uudisrakentamisessa ja myös kunnossapidossa.

Maalattujen pinnoitteen kunnan arvioinnissa voidaan käyttää ISO 4628 -standardisarjaa /45/. Niissä esitetään yleiset periaatteet, joiden mukaan voidaan luokitella maalipinnoitteiden tavallisten virhetyyppien määrä ja koko, ja standardeihin sisältyvistä kuvista voidaan luokitella pinnoitteiden kuplimis- ja ruostumisasteet sekä halkeilun ja hilseilyn määrä. Kun em. kriteerit tai joku niistä on huonontunut riittävästi, on kunnossapidon aika.

Sinkitykselle ei ole em. vastaavaa standardia. Soveltaen voidaan hyödyntää em. standardin osaa 3 Ruostumisasteen määrittäminen. Sen lisäksi sinkkipinnoitteesta on mitattava paksuus kestopinnoitteeseen perustuvalla tai sähkömagneettisella pinnoitemittarilla. Mittauspisteet merkitään myöhemmin mahdollisesti suoritettavia tarkistusmittauksia varten.

Vaurioituneet sinkkipinnat voidaan korjata ruiskusinkkimällä, maalaamalla tai korjauspuikoilla.

Pinnat on puhdistettava huolellisesti ennen korjausta. Puhdistukseen käytetään vaurioalueen pinta-alasta ja syöpymisasteesta riippuen hiekkapuhallusta tai kemiallista tai biologista ruosteenpoistajaa.

Hiekkapuhallusta käytetään tavallisimmin silloin, kuin sinkitys korjataan ruiskusinkityksellä. Kemiallinen ja biologinen ruosteenpoistomenetelmä soveltuu pinta-alaltaan pienehköjen vaurioiden puhdistukseen. Ennen ruosteenpoistajan levitystä vaurioituneelle pinnalle puhdistetaan vauriokohta teräsharjalla irtonaisesta ruosteesta ja liasta.

Ruiskusinkitsemällä saadaan tulos, joka vastaa lähes alkuperäistä korroosiokestävyyttä. Menetelmä on taloudellinen, kun vaurioalue on suurehko ja sopiva kalusto on saatavilla. Ruiskusinkitty pinta voidaan käsitellä vinyyli- tai epoksilakalla pinnan tiivistämiseksi.

Maalausta käytetään kaikenlaisten sinkitysvaurioiden korjauksessa. Maalaus tehdään joko sivelemällä tai ruiskumaalauksena.

Korjauspuikot ovat sinkki-lyijy-tinaseosta. Korjattava pinta puhdistetaan huolellisesti ja kuumennetaan kaasuliekillä n. 320 °C:seen, ja tämän jälkeen pintaan hangataan juote, joka sulaa ja levittäytyy pinnalle. Käyttö on hankalampaa kuin maalien, mutta päällysteen korroosiokestävyys ja ulkonäkö vastaavat kuumasinkitystä.

Esimerkkinä käytännön kunnossapitotoimenpiteiden määrittämisestä voidaan mainita Tielaitoksen Teräspuutkirumpujen korjaustoimenpiteen määrittämis-ohje /48/. Siinä putkelle määritetään vaurioluokka, joka on 1 - 4. Eri vaurioluokissa korjaustoimenpiteet määrittyvät mm. putken taipumien, sinkkikerroksen ja levyn paksuuskatojen, virtausnopeuden ja veden pH- ja potentiaalimittaustulosten mukaan. Korjaustoimenpide selvitetään eri vaurioluokille esitetyistä valintakaavioista. Vaurioluokassa 1 tehdään paikkausmaalaus sinkkipölymaalilla, 2:ssa ja edelleen 3:ssa korjaustoimenpiteet ovat edellisiä hieman raskaammat, ja vaurioluokassa 4 päädytään pahimmillaan koko putken uusimiseen.

6. Liittorakenteiden käyttöikäsuunnittelu

6.1 Käyttöiän osatekijät

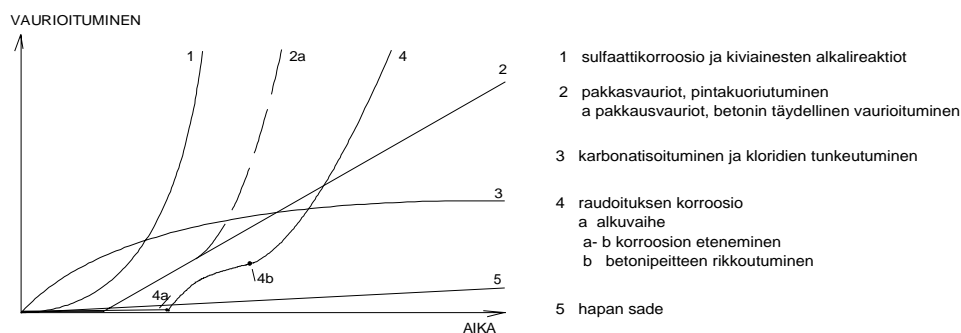
Liittorakenteet koostuvat yhdessä toimivista raudoitettusta betoniosasta ja teräsosasta sekä niiden välisestä liitoksesta, joka on valmistettu joko erillisillä liittimillä tai muokkaamalla teräsosaan mekaanisen yhteistoiminnan varmistavia muotoja.

Betoni- ja teräsosa voivat sijaita toisiinsa nähden eri tavoin, jolloin niiden pinnat ovat eri tavoin alttiina ympäristörasituksille. Teräsosa voi korrodoitua ilmastollisessa rasituksessa tai betonin rajapinnassa. Betoniosa voi turmeltua ilmastollisessa rasituksessa, pakkasrapautumisen vuoksi tai betoniraudoitteiden korroosion seurauksena. Myös liittimien käyttöikä voi määräytyä korroosiosta.

Pitkäaikaiskuormitus, etenkin väsytykset ja dynaamiset kuormitukset otetaan huomioon liittorakenteiden käyttöikäsuunnittelussa. Liittorakenteet ovat kuitenkin usein hankalia tai työläitä käsitellä laskennallisesti, ja erilaisten kuormitusten vaikutus pystytään luotettavasti todentamaan vain kokeellisilla tutkimuksilla.

Betoni-teräслиittorakenteiden käyttöikä on yhdistelmä sekä teräsbetoni- että teräsrakenteiden käyttöikään vaikuttavista tekijöistä, ja lisäksi osien liittämistapa vaikuttaa koko rakenteen käyttöikään:

- Raudoitettujen betoniosien vaurioitumisyydet tunnetaan kattavasti (kuva 30).
- Teräs- ja teräsohutelevyrakenteiden ilmastollinen korrosio ja korroosiosuojauksen toiminta ovat samanlaisia kuin teräsrakenteilla.
- Teräsosan ja liittimen korrosio betonissa on samanlainen ilmiö kuin betoniraudoitteiden korrosio betonissa.
- Pitkäaikaiskuormituksen aiheuttamat jännitykset ja muodonmuutokset riippuvat sekä eri osien ominaisuuksista että liittotoiminnan asteesta.
- Liitoksen toiminta pitkäaikaiskuormituksissa ja ympäristörasituksissa vaikuttaa koko liittorakenteen toimintaan.



Kuva 30. Periaatekuva eri vauriotyyppien etenemisestä betonirakenteissa /49/.

Liittorakenteen käyttöiän määräytymistä tarkastellaan tässä vain materiaalien fyysisen turmeltumisen kannalta, joka aiheutuu ympäristövaikutuksista. Pitkäaikaiskuormien vaikutusta eri osien ja koko rakenteen toimintaan ei käsitellä eikä myöskään kuormien ja ympäristön yhteisvaikutusta.

Liittorakenteen betoni- ja teräsosien ympäristöluokitukset voivat olla erilaiset, sillä eri materiaalien turmeltumismekanismit ja niiden syyt poikkeavat toisistaan. Teräsosan käyttöikä tarkasteluissa noudatetaan teräsrakenteiden menettelytapoja niiden pintojen osalta, jotka ovat ilmaa vasten. Suoraan betonin kanssa kosketuksissa olevien pintojen korroosioalttiutta ja -nopeutta tarkastellaan teräsbetonirakenteiden menettelytapojen mukaan. Ympäristöluokituksista on kerrottu mm. luvuissa 2 ja 5.

Käyttöikäsuunnittelussa osoitetaan, että rakennusosan käyttöikäennuste on suurempi kuin vaadittu suunniteltu käyttöikä (= suunnitteluikä) (ks. luku 1). Tätä periaatetta voidaan liittorakenteisiin soveltaa niin, että kunkin rakenteellisen osan tulee täyttää liittorakenteen suunnitteluikä. Liittorakenteiden käyttöikäennusteen laatimista varten on periaatteessa valittavissa sekä laskennallinen mitoitusmenetelmä että ennakoitun käyttöiän menetelmä. Liittorakenteen käyttöikä voidaan suunnitella myös suojaustoimien varaan: teräsosa voidaan suojata maalaamalla tai sinkkikerroksella etukäteen ja esiinjäivät teräspinnat mahdollisesti uusintakäsitellä ja betoni voidaan pintamaalata tai tarvittaessa suojata eri keinoilla.

Erilaisten liittorakennetyyppien pitkäaikaiskestävyydestä on vasta vähitellen kerääntymässä kokemusperäistä tietoa, joka luo pohjan sekä mitoitusmenetelmien että ennakoitun käyttöiän esittämiselle. Mitoitusmenetelmä edellyttää kaikkien olennaisten vaaratekijöiden ja niiden vaikutusten tuntemista niin hyvin, että laskennallinen käyttöikäennuste on riittävän luotettava. Toisaalta myöskään ennakoitun käyttöiän menetelmälle liittorakennetuotteiden valmistajat eivät vielä tarjoa suunnittelijan tarvitsemia perustietoja.

6.2 Liittorakenteen käyttöikämitoitus

6.2.1 Käyttöikämitoituksen periaate

Betoni-teräслиittorakenteiden käyttöikä voidaan laskennallisesti suunnitella ympäristöolosuhteiden ja rakennetyypin perusteella. Käyttöikämitoitus on välttämätön silloin, kun rakennetyypistä ei ole käytettävissä riittävästi tietoja ennakoitun käyttöiän määrittämiseen ja kun rakenteen pitkäaikaisturmeltumista ei voida tai ei ole tarkoitus estää suojaustoimenpiteillä. Käyttöikämitoituksessa voidaan soveltaa teräs- tai betonirakenteiden tunnettuja laskentamenetelmiä erikseen eri rakenneosiin ja eri pinnoille ympäristöluokan mukaan. Liitoksen käyttöikä tulee aina erikseen varmistaa.

Teräsosan, betonirauδοitteiden tai liittimien korroosioon perustuva käyttöiän arviointi edellyttää toisaalta korroosion alkamisajankohdan ja korroosionopeuden arviointia ja toisaalta sen rajan määrittämistä, jolloin tarkasteltavan teräsosan paksuus on saavuttanut asetetun kriittisen arvon. Korroosion alkamisajankohta riippuu teräsosan pinnan sijainnista ja suojauksesta sekä pintaan kohdistuvasta ympäristörasituksesta.

Betoniosan turmeltuminen voi betonirauδοitteiden korroosion ohella aiheutua haitallisista yhdisteistä tai jäätymis- ja sulamisjaksojen vuorottelusta.

6.2.2 Liittorakenteen teräsosan käyttöikämitoitus

Betoni-teräслиittorakenteen rakenteellisen teräsosan käyttöikä riippuu teräksen korroosiosta, pitkäaikaiskuormituksesta tai muiden rakenneosien turmeltumisen vaikutuksesta liittorakenteen toimintaan. Teräsosan pinnat ovat eri tavoin kosketuksissa betoniin tai ilmaan, ja ympäristöolosuhteet vaikuttavat näin eri tavoin eri pintoihin. Liittorakenteissa on myös mahdollista, että betoniosan kutistumisesta seuraa ilmarako teräsosan pintaan. Teräsrakenteen ilmastollista korroosiota on käsitelty myös luvuissa 2 ja 5.

Teräsosan ilmastollinen korroosio

Liittorakenteen teräsosan pinnassa alkavan ilmastollisen korroosion ja sen etenemisnopeuden arviointiin voidaan käyttää teräsrakenteille kehitettyjä mitoitusmenetelmiä. Teräsosan suojaus sinkityksellä tai maalauksella otetaan huomioon samalla tavalla kuin teräsrakenteissa.

Teräsosan syöpmiselle ilmastorasituksessa löytyy laskentamalleja standardeista. Periaate on yleensä se, että ympäristön rasitusluokan perusteella joko saadaan suoraan tai voidaan laskea vuotuinen syöpymä. Eri standardien perusteella saadaan kuitenkin hieman erilaisia rasitusluokkia ja niissä hieman erilaisia korroosionopeuksia, mikä johtuu mm. eroista määriteltäessä korroosiota edistävää ilman suhteellista kosteutta. Suomalainen luokitustapa on esitetty standardissa SFS 4596 /16/.

Teräksen korroosio betonissa

Betoni on emäksinen eli alkaalinen materiaali. Alkaalisuus saa aikaan teräksen pinnan passivoitumisen, joka suojaa terästä korroosiolta. Betonissa oleva teräsosa voi kuitenkin altistua korroosiolle, mikäli betoniin kulkeutuu suojakalvon rikkovia aineita tai betonin emäksisyys heikkenee. Betoni toimii korroosion mahdollistavana toisen luokan johteena eli elektrolyyttinä.

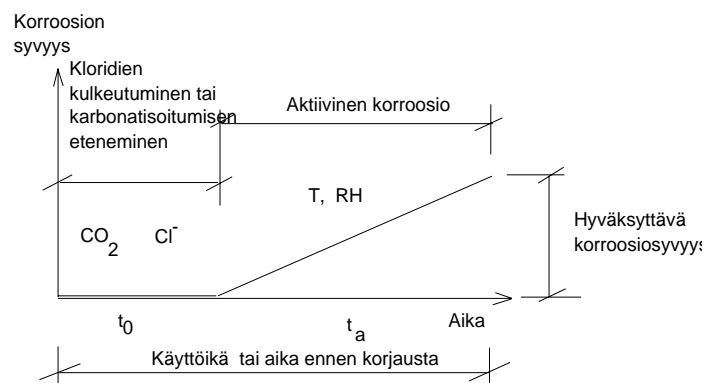
Pääasiallisesti neljä tekijää vaikuttaa teräksen havaittavaan vaurioitumiseen betonissa: 1) betonin pH-aste, 2) betonin kloridimäärä, 3) hapen määrä ja 4) kosteus. Betonin pH on tavallisesti korkea: se voi aluksi olla 13 - 14 /50/. Ongelmia aiheutuu kuitenkin mm. siksi, että betonin vanhetessa pH laskee pinoista alkaen, ja siksi, että betoniin voi päästä tunkeutumaan teräkselle vahingollisia aineita. Betonin pH:n tulisi olla yli 11,5, jotta teräksen passivointikerros säilyisi /51/. Kloridipitoisuuden sallittuna rajana korroosion kannalta pidetään 0,035 %:a betonin painosta, ja tämä raja ylittyy helposti esimerkiksi paikoitustaloissa.

Betonissa, jonka pH on yli 11,5, teräksen korroosiota aiheuttavat aineet ovat yleensä klorideja (NaCl, CaCl). Niitä pääsee rakenteeseen esimerkiksi meri-ilmastossa, suolaisesta vedestä tai tiesuoloista, mutta joskus myös betonin lisäaineena. Betonin kosteuden ja ilmanläpäisevyys riippuvat lähtöaineista, niiden seossuhteista ja betonin valmistuksesta, ja vaikeissa ympäristöolosuhteissa betonin tiiviys tulee varmistaa. Kloridien tunkeutumiselle betoniin on olemassa laskentamalleja, joita voidaan käyttää myös liittorakenteiden tarkasteluissa rakennetyyppikohtaisesti.

Betonin emäksisyys laskee aikaa myöten kaikilta pinoilta, joissa betoni on ilmaa vasten, mukaan lukien halkeamat. Tämä johtuu betonin kalsiumhydroksidin ja ilman hiilidioksidin reagoimisesta, jolloin muodostuu neutraalia kalsiumkarbonaattia. Betonin pH-arvo laskee samalla noin yhdeksään. Tämä karbonatisoituminen tapahtuu sitä nopeammin, mitä kuivempi on rakenteen ympäristö.

Liittorakenteille voidaan soveltaa teräsbetonirakenteiden mitoitusmallia, jossa liittorakenteen käyttöikä t_1 saadaan laskemalla yhteen aika, joka kuluu terästä suojaavan passivointikerroksen vaurioitumiseen eli altistumisaika t_0 , ja aika, joka kuluu kantokyvyn kannalta kriittisen poikkileikkauksen muodostumiseen eli korroosion etenemisaika t_a (kuva 31).

$$t_1 = t_0 + t_a \quad (20)$$



Kuva 31. Korroosiomallin kaaviokuva /50/.

Kloridien kulkeutumiseen teräspinnoille tai karbonatisoitumiseen kuluva aika lasketaan esim. viitteessä /64/ annettujen ohjeiden mukaan.

6.2.3 Liittorakenteen ohutlevyn käyttöikämitoitus

Liittorakenteiden teräsohutlevyt ovat yleensä kuumasinkittyjä. Teräsohutlevyn ja betonin muodostamista liittorakenteista tavanomaisimpia ovat liittolaatat, mutta niistä rakennetaan myös pilareja ja palkkeja. Osien yhteistoiminta perustuu yleensä ohutlevyyn muokattuihin tartukkeisiin. Kantavien rakenteiden betoniosassa on lähes poikkeuksetta myös raudoitteita.

Kuumasinkityn teräksen ilmastollinen korroosio

Liittorakenteissa kuumasinkitty teräs sijaitsee yleensä pinnassa. Sinkitys suojaa teräsohutlevyä kahdesta syystä: se syöpyy terästä hitaammin ja muodostaa lisäksi suojaavan passivointikerroksen omalle ulkopinnalleen. Passivointikerroksen muodostuminen ja säilyminen edellyttävät, että ohutlevyn pinta pääsee välillä kuivumaan /53/. Sinkkipinnoitteen oma korroosio voi kuitenkin nopeutua ilman epäpuhtauksien tai eräiden yhdisteiden johdosta (rikki- ja humushapot, suolat). Sinkkikerroksen suojaavuuteen vaikuttaa luonnollisesti sen paksuus; Suomessa käytetään yleensä paksuuksia 20 µm (yhteensä 275g/m²) tai 25 µm (yhteensä 350 g/m²).

Sinkityn teräksen syövyttävät aineet ja olosuhteet on lueteltu RT-kortistossa ohjeessa RT-80-10126 /54/. On huomattava, että betoni-, kalkki tai kipsimassa tai tällaisilta pinnoilta valuva vesi voivat aiheuttaa korroosiota etenkin, jos kosteusolot ja lämpötila vaihtelevat. Sinkkipinnoitteen korroosionopeus eri ilmastollisissa olosuhteissa on myös esitetty RT-kortistossa ohjeessa RT-39-10260 /55/.

Kuumasinkitty teräs betonissa

Sinkki on epäjalometalli, joka reagoi happojen ja emästen liuosten kanssa. Betonin emäksisyys on suurimmillaan tuoreena massana, ja se johtuu kalsiumhydroksidista ja natrium- ja kalium- eli alkali-ioneista. Tuoreessa betonissa sinkki reagoi suhteellisen kiivaasti veden ja kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kalsiumhydroksidisinkaattia ja vapauttaen vetyä. Kun betonin pH on pienempi kuin 12,5, sinkkaatti jää suojakerrokseksi. Korkeammilla pH-arvoilla sinkkaatti liukenee betonimassaan.

VTT Rakennustekniikassa tutkittiin kokeellisesti ohutlevyn sinkityksen syöpmistä tuoreessa betonissa /56/. Kokeissa havaittiin, että portlandsementti (CEM I) reagoi voimakkaimmin sinkityksen kanssa eikä valkoruosteen ehkäisyyn tarkoitettu kromatointi riitä estämään reaktiota. Vedynmuodostus aiheuttaa ohutlevyn pinnan viereen huokoisuus-

kerroksen, jonka paksuus on noin 1 mm. Huokoisuuden muodostuminen oli vähäisempää, kun käytettiin portlandseossementtiä A (CEM II A) tai portlandsementin ja masuunikuonan seosta (70 %/30 %). Huokoisuutta aiheuttava reaktio voidaan estää varmistamalla passiivikalvon muodostuminen sinkityksen pintaan. Tämä tapahtuu joko riittävän pitkällä ulkosäilytyksellä, käsittelemällä levyn pinta kromaattiliuoksella tai lisäämällä betonin sekoitusveteen kromaatteja. Sementin valinnassa tulisi myös suosia seossementtejä.

Sinkki- ja teräspinnat ovat kovettuneessa betonissa passiivisia, eikä ohutlevyn korroosiovaaraa yleensä ole. Korrodoivien aineiden kulkeutuminen betonin huokosten ja halkeamien kautta ohutlevyn rajapintaan tai ns. konsentraatioparin muodostuminen saattaa kuitenkin aiheuttaa joissakin käyttökohteissa korroosiovaaran. Mahdollisissa ongelmakohteissa tulisikin sementtilaadulla ja sinkityksen passiivikalvon muodostamisella ehkäistä sinkityksen syöpymisreaktio. Havaintoja mahdollisista ohutlevyvaurioista betonikosketuksessa ei ole tehty. Vetyhuokoisuudella ei myöskään ole haitallista vaikutusta mekaaniseen tartuntaan.

6.2.4 Betoniosan käyttöikämitoitus

Betoniosan käyttöikämitoituksessa noudatetaan teräsbetonirakenteiden tunnettuja menetelmiä /57/. Käyttöikä määräytyy yleensä raudotteiden korroosiosta, jota on käsitelty edellä teräsosan korroosion yhteydessä. Suomessa tärkeä betonirakenteiden käyttöikäan vaikuttava tekijä on myös pakkasenkestävyys.

Betonin pakkasenkestävyys

Betonirakenteen käyttöiän laskentakaava pakkasenkestävyyden suhteen on

$$t_1 = k_e P, \quad (21)$$

missä t_1 on käyttöikä vuosina
 k_e olosuhdekerroin
 P pakkasenkestävyydluku.

VTT Rakennustekniikassa on kehitetty betonin pakkasenkestävyydenvuon P laskentamalli, joka perustuu pakkas-suolakokeisiin /52/. Olosuhdekertoimille on annettu numeroarvoja esimerkiksi Betoniyhdistyksen julkaisussa BY 32 /57/. Niiden perusteella siltojen reunapilarit ja siltapilarit merivedessä ovat ankarimmissa ympäristöoloissa. Ankarat ympäristöolosuhteet kohdistuu myös parvekkeisiin, ulkoportaisiin, voimalaitosrakenteisiin ja julkisivuihin.

6.2.5 Liittimien käyttöikä

Betoni-teräслиittorakenteen osien yhteistoiminta perustuu mekaaniseen liitokseen. Liittimien vauriot johtavat koko liittorakenteen toiminnan muuttumiseen, mikä saattaa johtaa käyttötilaominaisuuksien heikkenemiseen ja pahimmillaan ennaikaiseen murtumiseen.

Liittimien käyttöikä voi määräytyä teräksen väsymisestä tai korroosiosta tai betonin turmeltumisesta liittimen ympärillä, jolloin liitoksen toiminta muuttuu. Teräksen korrosio tapahtuu betoniympäristössä kuten aiemmin on esitetty, teräsoosan korroosion yhteydessä. Liittimien väsymismitoitus tehdään tapauskohtaisten rasiusten mukaisesti.

6.3 Liittorakenteen ennakoitu käyttöikä

Ennakoidun käyttöiän menetelmää on mahdollista käyttää liittorakenteelle silloin, kun rakennetyypistä on saatavilla tarpeellinen kokemusperäinen, laskennallinen tai kokeellinen tieto, jotta käyttöikäennuste voidaan tehdä luotettavasti. Käyttöikäennuste koostuu käyttöiän standardiarvosta ja kuudesta kertoimesta, joilla otetaan huomioon rakenteen materiaalien, suunnittelun ja työn laatu, ympäristöolosuhteet, käyttöolot ja huollon laatu (ks luku 2.3.3).

Betoni-teräслиittorakenteista huomattava osa perustuu erityisesti liittotoimintaa varten kehitettyihin terästuotteisiin, joita ovat mm. kaikki liittolaattojen ohutlevyt ja ns. matalat liittopalkit. Tällaisilla kaupallisilla tuotteilla tulee olla viranomaisten myöntämä tuotehyväksyntä, jotta niitä voidaan käyttää rakentamisessa. Olisi luontevaa, että liittorakennetuotteiden valmistajat tarjoaisivat tulevaisuudessa rakennesuunnittelijoiden tarvitsemat käyttöikäsuunnittelun apuvälineet samalla tavalla kuin rakenne-suunnittelulle. Tois-taiseksi tällaista esiteaineistoa ei ole käytettävissä.

6.3.1 Liittorakenteen käyttöiän standardiarvo

Käyttöiän standardiarvo voidaan määrittää standardimenettelyllä (esitetty ISO-standardissa 1995), käyttökokemuksista saatujen tietojen avulla tai kiihdytettyjen laboratorio-kokeiden ja vertailumateriaalien avulla. Liittorakenteiden käyttökokemuksia on kerääntynyt noin kolmenkymmenen vuoden ajalta, mutta suurin osa liittorakenteista on rakennettu vasta noin kymmenen vuoden aikana. Myös ns. lyhyeen käyttökokemukseen perustuva menettely hyväksytään standardikäyttöiän määrittämiseen, mutta tällöin noudatetaan ylimääräistä varovaisuutta.

Suurin osa käyttökokemuksista on saatu liittolaatoista, täytetyistä putkipilareista ja teräspalkki-betonilaattayhdistelmistä. Keräämällä käyttökokemuksia voidaan standardikäyttöikä esittää joissain tapauksissa yksinomaan pitkään käyttökokemukseen perustuen. Käyttökokemukseen perustuvia tietoja tulee kuitenkin olla useammista kohteista, jotta tulosten luotettavuutta voidaan arvioida.

Liittorakenteille soveltuu myös menettely, jossa yhdistetään vertailumateriaalien ja kiihdytettyjen laboratoriokokeiden tietoja, sillä liittorakenteen osien käyttöikäsuunnittelu hallitaan monissa käyttökohteissa talon- ja sillanrakennuksessa.

6.3.2 Liittorakenteen käyttöikäkertoimet

Käyttöiän suunnittelija tarvitsee standardikäyttöiän lisäksi tietoja rakenteen ympäristöolosuhteista ja rakentamistavasta, jotta hän voisi määrittää ennakoidun käyttöiän laskeamisessa tarvittavat kertoimet. Käyttöiän kertoimet ovat pienempiä tai yhtä suuria kuin yksi, ja suunnittelija voi ne arvioida kokemuksensa ja tietojensa perusteella tai turvautua annettuihin ohjearvoihin, esim. ISO-standardin mukaan. Standardikäyttöiän esittävä tuotteen valmistaja voi esittää suosituksia myös kertoimille.

6.4 Käyttöikätekijät eri liittorakenteissa

Korroosioon vaikuttaa kaksi päätekijää: itse teräs ja sen ympäristö. Rakenneteräksen korroosion vaikuttavista tekijöistä rakenteen sijaintiympäristö on ratkaisevin, ja erityisesti eräät ympäristön kemialliset aineet ovat tärkeitä. Betonirakenteessa betonin koostumuksella on vaikutusta siihen, miten ympäristö pääsee vaikuttamaan betonin kautta teräkseen.

6.4.1 Liittolaatat

Liittolaattojen teräsohutlevy on korroosiomekanismien kannalta kahdessa ympäristössä: sisäpuolella betoni ja ulkopuolella ilma. Teräsohutlevyt ovat kuumasinkittyjä, mikä on perinteinen korroosiokestävyyden parantamismenetelmä.

Liittolaattojen käyttökohteissa ei yleensä ole todettu korroosio-ongelmia. Autopaikoitustaloissa on havaittu kosteuden tiivistymistä alapinnoille ja pistemäistä korroosiota /58/. Autopaikoitustalojen vaikea rakenteellinen ympäristö on jo aiemmin todettu teräs-betonirakenteiden osalta, ja syynä on ollut ennen muuta jäänpoistosuolaus /59/. Tätä varten betonin tiiviyydestä on huolehdittava.

Teräsohutlevyn suojausmenetelmiä ovat sinkityksen ohella muovipinnoitukset. Ne tehdään sinkkikerroksen päälle, ja yhdistetty suojaus on tehokas korroosiota vastaan. Esimerkiksi K. Kärkkäinen /60/ esittää paikoitustaloja koskeneen tutkimuksensa johtopäätöksenä, että kaupunki-ilmastossa sinkkipinnoitus 350 g/m^2 ja muovipinnoite antavat ohutlevylle käyttöiäksi 50 vuotta /60/. Kenttätutkimusten ja laskennallisten tarkastelujen perusteella J. Piironen esittää, että sinkkipinnoitus 350 g/m^2 voi kestää Helsingissä 42 ja Espoossa 122 vuotta, ja lisäsuojaukseksi ehdotetaan ns. duplex-käsittelyä /58/. Nämä arviot ovat huomattavasti suurempia, kuin mitä saadaan laskemalla RT-kortissa esitetyn sinkin syöpymisnopeuden mukaan.

Monet palosuojamateriaalit ovat sementtipohjaisia ja ne ruiskutetaan levyn pintaan. Mekaanisen rasituksen ja materiaalin yhteisvaikutusta teräsohutlevyyn ei ole tutkittu.

Liittolaatan ohutlevyn yläpintaan ei yleensä pääse kulkeutumaan haitallisia aineita. Myös autopaikoitustaloissa pyritään tiiviiseen rakenteeseen. Laatan yläpinnan betonirauδοitteilla korroosioriski on todennäköisesti suurempi kuin ohutlevyllä.

6.4.2 Liittopilarit

Liittopilareissa teräsosa voi olla osittain tai kokonaan betonin ympäröimä tai betoni voi olla kokonaan teräsosan ympäröimä (putkipilarit).

Putkipilareissa kovettuneen betonin kosteus ja emäksisyys säilyvät lähes muuttumattomina, sillä kosteus pääsee poistumaan vain höyrynpöistoaukkojen ja mahdollisesti päiden kautta. Betonin ja teräsosan välinen kosketuspinta säilyy myös pitkään melko tiiviinä, sillä kuivumiskutistuminen on erittäin hidasta. Korroosion kannalta mahdollisia ongelma-kohtia rakenteessa ovat ne, joista ilmaa pääsee kulkeutumaan betoniin, kuten höyrynpöistoreikien vierustat ja pilarien päät.

Betonin pakkasenkestävyys vaikuttaa ulkona sijaitsevien rakenteiden käyttöikänsä. Betonin koostumuksen suunnittelussa ja työmaalla pakkasenkestävyys tulee varmistaa samalla tavalla kuin teräsbetonirakenteissa.

6.4.3 Liittopalkit

Liittopalkkeissa teräsosa voi olla osittain tai kokonaan betonin ympäröimä tai betoniosa sijaitsee palkin päällä. Liittopalkkeja valmistetaan kokonaan tai osittain tehtaassa, yleensä kuitenkin teräsosa tuodaan työmaalle valmiina liittimiseen ja betonointi tehdään työmaalla. Teräsosa voi olla jo tehtaalla kertaalleen korroosiosuojamaalattu. Liittopalkin betonia vasten tulevia teräsosia ei yleensä korroosiosuojata.

Betonissa olevan teräsosan korroosiota aiheuttavat samat tekijät kuin teräsbetonirakenteissa. Teräksen ja ilman välissä olevan betonin paksuudella ja tiiviydellä sekä ympäristön kemiallisella koostumuksella on ratkaiseva vaikutus korroosioon.

6.4.4 Siltarakenteet

Betoniteräслиittorakenteiset sillat ovat yleensä teräspalkkien ja betonikansien muodostamia yhdistelmä rakenteita. Ulkonäöltään samanlaiset sillat luokitellaan terässilloiksi silloin, kun osien välille ei ole suunniteltu liittotoimintaa. Liittorakenteita voidaan silloissa käyttää myös pilareissa, ristikkorakenteissa, perustuksissa ja pyloneissa.

Teräs- ja betoniosaan kohdistuvat fysikaaliset ja kemialliset rasitukset ja niiden vaikutukset tunnetaan silloissa hyvin, ja siltojen määräaikaistarkistuksia ja -huoltoja tehdään huolellisesti. Liittorakenteisten siltojen liittimien korroosiota ei ole tutkittu.

Siltojen käyttöikä voi riippua jonkin rakenteellisen osan väsymisestä. Liittorakenteisten siltakansien liittimissä, jotka ovat osa liittolaattaa, on havaittu hitsin väsymismurtotapa, joka on aiheutunut pyörivästä leikkausvoimasta. Tämän puolestaan on saanut aikaan liikennevälien pyörien liikkuminen /61/.

Silloissa toistuvat jäätymissulamisyksöt sekä lienneet suolat yhdessä johtavat ensin pintojen rapautumisvaurioihin. Kun samalla suojaavan betonikerroksen ilmanläpäisevyys kasvaa, raudoituksen korroosio pääsee alkamaan, vaikka rapautuminen ei ehtisi kukaan saavuttaa raudoitteita /62/.

6.4.5 Rakenteelliset liitokset

Teräs-betoniliittorakentamisessa rakenteiden väliset liitokset voivat muodostaa korroosion etenemisen kannalta kriittisen kohdan. Erittäin ongelmallinen siltarakennustyömaa on ollut Sveitsissä, kun pulttiliitoksissa pultit syöpyivät noin vuodessa lähes kantokyvyn rajoille. Syynä vaurioon oli se, että kansilaatan valusta pääsi betonia pieneen primääri- ja sekundääripalkkien väliseen rakoön /63/.

7. Massiivisten teräsrakenteiden suunnittelu ohjeiden B7 ja EC3 mukaan

Massiiviset teräsrakenteet

Rakenneteräkset pitää suojata ympäristön rasiuksilta ja vaikutuksilta. Suojaustarve on määritelty ympäristön rasiusluokilla, joita ympäristöministeriön ohje B7 /2/ koskien teräsrakenteita mainitsee yhteensä viisi. Teräsrakenteiden ympäristön aiheuttaman rasiuksen perusteella ympäristöolosuhteet jaetaan rasiusluokkiin M0 - M4 sovellettavan standardin mukaisesti. Saman rakenteen rasiusluokka voi olla erilainen rakenteen eri osissa.

Käytännössä suojaus tehdään joko maalaamalla, kuumasinkitsemällä, sinkki- tai alumiiniruiskutuksella tai sähkösinkitsemällä. Lisäksi joissakin tapauksissa on käytettävä joko syöpymislisää tai vedessä olevissa ja maanalaisissa rakenteissa katodista suojausta. Käytettäessä muita suojaustapoja noudatetaan sovellettavissa standardeissa esitettyjä ohjeita.

Teräsrakenteen syöpymislisän suuruus määritellään ottaen huomioon rasiusluokka ja sen mahdollinen muuttuminen ajan mukana sekä rakenteen elinikä. Vaihtorasitetuissa rakenteissa syöpymislisää ei saa käyttää suojaustapana. Syöpymislisän suuruus on esitetty taulukossa 35, kun

- a) rakenteen käyttöaika on rajoitettu,
- b) ympäristön rasiukset ovat hyvin tunnetut,
- c) pistemäisen tai rakomaisen syöpymisen vaaraa ei ole.

Taulukko 35. Yleisen rakenneteräksen yksipuolinen syöpyminen.

Rasiusluokka	Yksipuolinen syöpyminen 10 vuotta kohden (mm)
M1 ja M2	0,2
M3	0,5

Rakenteen muotoillaan siten, että suojaus voidaan toteuttaa, huoltaa ja puhdistaa tarvittaessa ja että veden, kosteuden ja epäpuhtauksien tarpeeton kerääntyminen teräspinoille vältetään. Tarvittaessa käytetään riittävän suuria vedenpoistoreikiä (esim. liittorakenteissa) tai tuuletusta.

Galvaanisen syöpymisen välttämiseksi huolehditaan mahdollisuuksien mukaan siitä, että teräs ei joudu kosketuksiin muiden metallien kanssa.

Syöpymiselle alttiit suljetut rakenteet muotoillaan siten, että sisä- ja ulkopinnat voidaan suojata. Sisäpinnat suojataan joko tekemällä rakenne ilmatiiviiksi tai käyttämällä syöpymisenestokäsittelyä. Ilmatiiviissä rakenteessa huolehditaan siitä, että rakenteen sisään ei jää kosteutta.

Eo. B7-ohjeita /2/ voidaan edelleen tarkentaa pintojen suojaamisen osalta esim. käyttämällä rakenteiden asentamista koskevaa esistandardia SFS-ENV 1090-1 (Execution of steel structures - Part 1: General rules and rules for buildings) /65/ ja sen mukaisesti ympäristöjen luokittelussa ISO-standardia ISO/DIS 12944-2 /21/. Lisäksi ENV 1090-1 määrittelee tarkasti, mitä vaatimuksia ja tietoja pintojen suojauksesta sekä rakennuspaikalla että muualla ja suojauksen toimivuudesta täytyy löytyä suunnittelijoiden laatimasta projektieritelmästä. Tarvitaan

- suojausjärjestelmältä vaadittu käyttöikä
- ilmakehän korroosioluokitus tai ympäristöluokitus korroosiosuojausta varten
- palosuojausvaatimukset tai paloluokitus palonkestävyyttä varten
- ensisijainen vaihtoehto tai vaatimus koskien erityisesti metalliruiskutusta, galvanoinnista tai maalausta
- kitkapinnat tai käsittelyn luokka tai liitteen 1 kohdan 1A mukaan vaaditut testit
- vaatimukset liittyen mahdollisiin koristepinnoituksiin
- rajoitukset koskien väri- tai pinnoitusvaihtoehtoja
- lisäehdot koskien eri metallien välisiä liityntäpintoja.

Ohjeen SFS-ENV 1090-1 mukaan rakentajan pitää valmistella käsittelyohje, joka antaa yksityiskohtaisia tietoja menetelmistä, jotka ovat suojauskäsittelyä koskevan projektieritelmän vaatimusten mukaisia. Käsittelyohjeessa tulee selvittää ainakin

- tehdasvalmisteisten teräsosien pintakäsittely
- täsmälliset tuotteet ja työmenetelmät muualla kuin rakennuspaikalla suoritettaville teräsosien korroosio- tai palosuojauskäsittelyille
- menettelytavat kiinnikkeiden käsittelemiseksi
- täsmälliset tuotteet ja työmenetelmät rakennuspaikalla suoritettavien korjausten ja korroosiosuojaustoimenpiteiden tekemiseksi.

Suojausmenetelmien lisäksi ohjeesta /65/ kohdasta 10.4 löytyy erityisvaatimuksia mm. pinnoille, jotka ovat kosketuksissa betonin kanssa, kitkapinnoille, hitsattaville ja hitsien pinnoille, vaikeasti tavoitettaville pinnoille, säänkestävien terästen pinnoille, tilojen sulkemiselle ja kiinnikkeiden käsittelylle. Huomionarvoisia ovat mm. seuraavat:

- Pintoja, jotka ovat kosketuksissa betonin kanssa, ei pitäisi päällystää, ellei projektieritelmässä toisin määrätä. Suojaamaton pinta pitää hiekkapuhaltaa tai harjata rasvan ja lian poistamiseksi.
- Kitkapinnat pitää puhdistaa ja pitää puhtaina, kunnes asennus on tehty, ja liitosta tai sen ympäristöä ei saa käsitellä, ennen kuin liitoksen tarkastus on tehty.

- Hitsien ympäristö 150 mm matkalla voidaan ennen hitsausta pinnoittaa vain materiaaleilla, jotka eivät voi vähentää hitsin laatua.
- Vaikeasti tavoitettavat pinnat tulee suojata ennen niiden asennusta.
- Projektieritelmässä pitää selvittää, tuleeko mahdolliset hitsaamalla suljetut tilat korroosiosuojata tai mitä vaatimuksia asetetaan tilan sulkeville hitseille tai niiden tarkastamiselle,

Kiinnittimien suojaus pitää tehdä seuraavan ohjeen mukaisesti:

- a) korroosiosuojauksen luokka pitää määritellä projektieritelmässä,
- b) kiinnikkeen materiaali,
- c) kiinnikkeen kanssa kontaktissa olevat materiaalit ja niiden pinnoitus,
- d) kiinnikkeen kiristysmenetelmä,
- e) mahdollinen kiinnikkeen korjaustarve kiristämisen jälkeen.

Peruspultteja ei saa käsitellä ellei projektieritelmässä toisin mainita.

Lähdeluettelo

1. ENV 1993-1-1. Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for building. 344 s.
2. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ohje B7. Teräsrakenteet. Ympäristöministeriö, Ohjeet 1988.
3. CEN/TC250. Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures. Part 1: Basis of Design. ENV 1991 - 1. 1993. 76 s.
4. Euroopan yhteisöjen neuvoston direktiivi rakennusalan tuotteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä. 1988. 89/106/ETY, muutokset 93/63/ETY.
5. ISO TC 59/SC3/WG9. Guide For Service Life Design Of Buildings. Draft 2: November 1995.
6. ISO/CD 15686-1. ISO TC 59/ SC14. Guide For Service Life Design Of Buildings. Draft 3: 1997.
7. RIL 183-7-1996. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikäohjeet. 247 s.
8. RIL 183-4.9-1995. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikä. Arviointimenetelmät. Betonirakenteiden käyttöikämitoitus. 120 s.
9. Suomen rakennusmääräyskokoelma. Kansallinen sovellusasiakirja koskien esi-standardia SFS-ENV 1991-1. Ympäristöministeriö.
10. EN86 Methods of testing, Windows, Part 2, Watertightness under static pressure.
11. ISO 9223. 1992(F). Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Classification. International Organization for Standardization.
12. Johansson, T. & Anderson, C. Korrosionshårdigheten hos fästelement. Slutrapport. Korrosionsinstitutet 1995. KI Rapport 1995:7.
13. Ohutlevyrakenteiden kiinnitykset. Teräsrakenneyhdistys r.y TRY. 1994.
14. PrEN 12144 External walls of buildings. Air permeability test method.

15. Salonvaara, M. & Karagiozis, A. Moisture transport in building envelopes using an approximate factorization solution method. Proceedings of the Second Annual Conference of the CFD Society of Canada. Toronto, June 1 - 3, 1994.
16. SFS 4596. 1980. Metallien korroosio. Ympäristöolosuhteiden luokitus. Suomen Standardisoimisliitto, Helsinki. 3 s.
17. Tolstoy, N. et al. Utvändiga byggnadsmaterial - mängder och nedbrytning. Statens institut för byggnadsforskning, Gävle 1995.
18. Lyöntipaalutusohjeet 1987. Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry:n asettama paa-lutustoimikunta.
19. RIL 181-1989. Rakennuskaivanto-ohje. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. Helsinki 1989. 120 s.
20. RIL 121-1988. Pohjarakennusohjeet 1988. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. Helsinki 1988. 92 s.
21. ISO 12944. Maalit ja lakat - Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistel-millä. Osat 1: Yleistä, 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu, 3: Rakenteen suunnit-teluun liittyviä näkökohtia, 4: Pintatyypit ja pinnan esikäsittely, 5: Suojamaaliyh-distelmät, 6: Laboratoriomenetelmät suorituskyvyn testaamiseksi, 7: Maalaustyön toteutus ja valvonta ja 8: Ohjeiden laatiminen uudisrakenteille ja huoltomaalauk-seen.
22. Peleveledningen 1987. Den Norske pelemekomite i samband med Norges bygg-standardiseringsråd. Oslo 1987.
23. Sandegren, E. Korrosion på stål – vertikalt orienterat – i jord, slutrapport. Statens Järnvägars huvudkontor, Avdelningen för geoteknik och ingenjörsgologi, Meddelande nr 26. Stockholm 1988.
24. Tungesvik, K., Moum, J. & Fischer, K.P. Investigation of Corrosion Rates on Steel Piles in Norwegian Marine Sediments. Proceedings 7th Scandinavian Corrosion Congress, Trondheim 1975. S. 487 - 502.
25. Ohsaki, Y. Corrosion of steel piles driven in soil deposits. Soils and Foundations, 1982. Vol. 22, No. 3, s. 57 - 76.
26. Romanoff, M. Corrosion of Steel Pilings in Soils. Journal of Research of the National Bureau of Standards–C. Engineering and Instrumentation 1962. Vol. 66C,

- No. 3, July - September 1962. National Bureau of Standards Monograph 58. Reprinted in NBS Monograph 127, National Bureau of Standards NBS Papers on Underground Corrosion of Steel Piling 1962 - 1971.
27. Romanoff, M. Performance of Steel Pilings in Soils. Proceedings 25th Conference, National Association of Corrosion Engineers, March 1969. S. 14 - 22. Reprinted in NBS Monograph 127, National Bureau of Standards NBS Papers on Underground Corrosion of Steel Piling 1962 - 1971.
 28. Rönholm, M., Carpèn, L. & Komulainen, H. Korroosio maassa ja sen arvioiminen sähkökemiallisin menetelmin. Julkaisematon raportti. VTT, 1987.
 29. Leppänen, M. Teräspaalujujen korroosio. Diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Geotekniikan laitos, 1992.
 30. Korhonen, R., Punkka, K. & Gardemeister, R. Harusten korroosio. Imatran Voima Oy, T & K -tiedotteita IVO-B-09/86, Helsinki 1987.
 31. Camitz, G. & Vinka, T.-G. Corrosion of Steel and Metal-Coated Steel in Swedish Soils - Effects of Soil Parameters. Effects of Soil Characteristics on Corrosion, ASTM STP 1013, V. Chaker and J.D. Palmer (Eds.). American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1989. S. 37 - 53.
 32. Vinka, T.-G. Mikrobiell korrosion av stål i jord - resultat från fältförsök. Korrosioninstitutet R 63 135. Stockholm, 1985.
 33. Svensk byggnorm SBN 1980. Statens planverks författningssamling, PFS 1980:1.
 34. Camitz, G. Korrosion och korrosionskydd av stålplåtar och stålspons i jord och vatten, Ingenjörsvetenskapakademien, Pålkommisionen, rapport 93. Linköping 1994.
 35. prENV 1993-5. 1997. CEN/TC250/SC3/PT5: Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 5: Piling. Final draft of ENV 1993-5: Piling, December 1996.
 36. Hyttinen, E. & Hyttinen V. Kuumasinkityn teräksen käyttö rakentamisessa, Oulun Yliopisto, Rakennetekniikan laboratorio, julkaisu 35. Oulu 1993.
 37. Thomas, R. & Wallin, T. Kuumasinkitys. 1989.
 38. ISO 1461. 1973. Metallic coatings - Hot dip galvanized coatings on fabricated ferrous products - Requirements. International Organization for Standardization.

39. ISO/DIS 1461. Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles - Specifications. International Organization for Standardization.
40. ISO/DIS 14713. Protection against corrosion of iron and steel in structures - Zinc and aluminium coatings - Guidelines. International Organization for Standardization.
41. CEN-TC262-SCI-WG2-N30. Metallic coatings for the protection of iron and steel in structures - Guidance document.
42. RT-ohjetiedostokortti 39-10260. Sinkitys teräksen suojana. 1985-02-06.
43. A Corrosion Protection Guide for Steelwork Exposed to Atmospheric Environments. British Steel, October 1996.
44. A Corrosion Protection Guide for Steelwork in Building Interiors and Perimeter Walls. British Steel, November 1995.
45. ISO 4628. Paint and varnishes - Evaluation of degradation of paint coatings- Designation of intensity, quantity and size of common types of defect, Parts 1: General principles and rating schemes, 2: Designation of degree of blistering, 3: Designation of degree of rusting, 4: Designation of degree of cracking, 5: Designation of degree of flaking and 6: Designation of degree of chalking.
46. Aallotetut teräsputket, Tielaitos 1995.
47. Road Traffic Noise Reducing Devices - Long Term Performances. prEN, 1995.
48. Silko-ohje 1.357. Teräsputken korjaustoimenpiteen määrittäminen. Tielaitos 1992.
49. Kaitila, H. Betonirakenteiden käyttöikämitoituksen periaatteet. Helsinki 1987. Betonirakenteiden suunnittelun erikoiskurssi IV, RIL K77& by134. S. 24 -
50. Tuutti, K. Service life of concrete structures. In: Third Int. Conf. on the Durability of building materials and components, Vol 1. Espoo: 1984. S. 77 - 98. VTT Symposium 48.
51. Mehta, P.K. & Monteiro, P.J.M. Concrete, Structure, Properties and Materials. 2nd ed. Englewood, New Jersey 1993. Prentice-Hall Inc. 548 s.
52. Vesikari, E. Betonin pakkasenkestävyys ja käyttöikä. Espoo 1991. VTT Tutkimuksia 749. 56 s.

53. Brevoort, G.H. Inorganic zinc-rich coatings vs. galvanizing. *Modern Steel Construction* 35(1995)12, s. 46 - 50.
54. Muotolevyverhoukset metallista, yleisiä ohjeita. Helsinki 1981. RT-80-10126. Rakennustietosäätiö. 4 s.
55. RT 39-10260. Sinkitys teräksen suojana. Helsinki 1985. Rakennustietosäätiö. 6 s.
56. Koukkari H., Lintunen H., Raivio P. & Virola H. Ohutlevyn sinkityksen syöpyminen betonissa. Espoo 1998. VTT Rakennustekniikka, sisäinen raportti RTE38-IR-4/1998. 36 s.
57. Betonirakenteiden säilyvyysohjeet ja käyttöikämitoitus. 2. painos. Helsinki 1992. Suomen Betoniyhdistys ry, Julkaisu BY32. 60 s.
58. Piironen, J. Kuumasinkityn rakenneohutlevyn pitkäaikaiskestävyys avoimessa pysäköintitalossa. Otaniemi 1997. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto. Talonrakennustekniikan erikoistyö. 110 s. + liitt. 78 s.
59. Litvan, G.G. Deterioration of parking structures. *Second Canmet/ACI Int. Conf. on Durability of Concrete*. SP-126. American Concrete Institute, 1991. S. 317 - 334.
60. Kärkkäinen, K. Liittolaattarakenteen pitkäaikaiskestävyys kylmissä pysäköintitaloissa. Otaniemi 1993. TKK, Erikoistyö. 59 s. + liitt. 6 s.
61. Nakai, H. et al. Trends in steel-concrete composite bridges in Japan. *Struct. Eng. Int.* 18(1998)1, s. 30 - 34.
62. Matala, S. Betonirakenteiden vauriot ja niiden syiden selvitys. TVH:n sillantarastuspäivät, Kuusamo 1987. 15 s.
63. Steurer, A. Bolted Connections in Steel Structures. Espoo 1994. Luento, Teknillinen korkeakoulu, teräsrakennetekniikka.
64. Vesikari, E. Rakenteiden käyttöikämitoitus. Espoo 1995. Käsikirjoitus.
65. SFS-ENV 1090-1. Execution of steel structures - Part 1: General rules and rules for buildings.
66. Teräsputkipaalut. Tielaitos, Sillansuunnittelu, Siltakeskus, Helsinki 1993.

67. Teräsohutlevyrakenteet. Ohjeet 1989. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa B6. Ympäristöministeriö 1989.

Muu kirjallisuus

Barry, D.L. 1983. Material durability in aggressive ground. Construction Industry research and Information Association CIRIA, Report 98.

Bergdahl, U. 1986. Corrosion on Hot Galvanized Power Line Pylons – a Study of Different Investigation and Evaluation Methods. Proceedingd 10th Scandinavian Corrosion Congress, Stockholm. S. 317 - 322.

Carré, G. 1977. Jordkorrosion, orsaker och mätmetoder (en litteraturstudie). Korrosion-institut Bulletin nr 83.

Fischer, K.P. & Bryhn, O.R. 1986. Corrosion and Corrosion Evaluation of Superficial Sediments on the Norwegian Continental Shelf. Proceedings 10th Scandinavian Corrosion Congress, Stockholm. S. 323 - 330.

Imatran Voima Oy, Sähkölaboratorio 1959. Tutkimus raudan ja sinkin korroosiosta maassa silmälläpitäen erityisesti voimajohtopylväiden harusten syöpymistä ja amadoitusten vaikutusta siihen. Helsinki.

Imatran Voima Oy, Sähkölaboratorio 1969 (Andersson, Itkonen & Wiik). Raudan syöpyminen eri maalajeissa ja kuparimaadoituksen vaikutus siihen., Dk. n:o 620.19, työ n:o 509/68. Helsinki.

Koistinen, T. 1977. Teräspaalujen korrosio maassa. VTT, Geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 26. Espoo. 84 s.

Rosenqvist, I.Th. 1955. Korrosjon av stålpler. Norges geotekniske institutt, Publikasjon nr. 8, Oslo.

Rosenqvist, I.Th. 1956. Om korrosjon og korrosjonbeskyttelse av stålpler. Norges geotekniske institutt, Publikasjon nr. 12, Oslo.

Schwerdtfeger, W.J. & Romanoff, M. 1972. Corrosion Rats on Underground Steel Test Piles at Turcot Yard, Montreal, Canada – Part 1. National Bureau of Standards NBS Monograph 128.

Sederholm, B., Svensson, T. & Vinka, T.-G. 1992. Korrosion på metaller i jordar med olika surhetsgrad och vattenhalt. Byggeforskningsrådet rapport R7:1992.

Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto, sarja B N:o 55. Korroosio vesilaitoksilla, vesijohtoverkossa ja kiinteistöjen käyttövesilaitteissa. Insinööritoimisto Cormet Oy. Helsinki 1980.

Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto. Viemäriverkon korroosio (esitutkimus), Insinööritoimisto Cormet Oy. Helsinki 1979.

Sørensen, J.L. & Møller, J. 1994. Korrosivitet hos restprodukter. Energiministeriets Forskningsudvalg for produktion og fordeling af el og varme, Miljø og restprodukter, ENS journal nr. 1323/89-04.

Tungesvik, K. 1976. Investigations of Corrosion Rates on Steel Piles in Norwegian Marine Sediments. Norwegian Geotechnical Institute, Technical report no. 14. Oslo.

Liite 1: Teräspaalujen korroosio maassa, Rakentamismääräykset eri maissa

1A. SUOMI

Lyöntipaalutusohjeet 1987:

4. PAALUJEN RAKENNE- JA LAATUVAATIMUKSET

4.4 Teräspaalut

4.42 Paalun rakenne- ja laatuvaatimukset

4.422 Mitoitus

Paalutusluokassa I maan korroosio-ominaisuudet on aina tutkittava pohjatutkimustoinenpitein ko. rakennuspaikalla.

4.4221 Korroosiovaaran vuoksi tulee ainepaksuudet valita riittävän suuriksi. Tavallisten tai vähän seostettujen piillä tiivistettyjen teräsprofiilien ainepaksuuden tulisi olla ainakin 8 mm. Mikäli ilman erikoistutkimuksia katsotaan korroosiovaaran olevan vähäisen, voidaan edellyttää syöpymisen olevan 2 mm 100 vuoden aikana. Em. tavalla redusoitu poikkileikkaus voidaan jännityksiä määritettäessä ottaa mitoitusperusteeksi.

Jos paalun poikkileikkaus muodostaa umpinaisen kotelon, voidaan syöpymisen olettaa tapahtuvan ainoastaan ulkoapäin. Ainepaksuuden tulisi tällöin yleensä olla vähintään 6 mm.

Korroosio on yleensä vähäistä luonnontilaisissa kivennäismaakerroksissa yli 1 - 2 metrin syvyydessä ylimmästä pohjavedenpinnan tasosta. Korroosio on kohtalaisen voimakasta luonnontilaisessa kivennäismaassa pohjavedenpinnan läheisyydessä ja sen yläpuolella. Voimakasta korroosiota esiintyy mm. liejussa, rikki-pitoisessa maassa, jätetäytteenä sekä vapaan veden ja ilman välisessä ylimenovyöhykkeessä.

Paalun korroosiovaara voidaan arvioida tarkemmin maan korroosio-ominaisuuksiin kohdistuvan selvityksen perusteella ottaen huomioon mahdolliset korroosiosuojaustoimenpiteet.

Teräsputkipaalut (1993):

5. PAALUN RAKENTEELLINEN KANTAVUUS

5.3 Korroosion huomioon ottaminen

Teräsmaalun korroosio on otettava huomioon, kun määritetään maalun rakenteellista kantavuutta käyttötilassa. Umpinaisessa teräsputkipaalussa tapahtuu merkittävää korroosiota yleensä vain maalun ulkopinnalla. Avoimessa teräsputkipaalussa on otettava huomioon myös maalun sisäpinnan syöpyminen. Jos kuitenkin avoimen maalun kärki on pysyvästi pohjavedenpinnan alapuolella ja maalun yläpää on suljettu ilmatiiviisti, muodostaa maalun sisäosa umpinaisen, ilmatiiviin kotelon, jolloin maalun sisäpinnan korroosio on yleensä vähäistä.

Teräsputkipaalujen korroosionestomenetelmiä ovat

- seostaminen,
- katodinen suojaus,
- orgaaniset ja epäorgaaniset pinnoitteet sekä
- betoniverhoilu tai betonointi.

Korroosion arvioidut vaikutukset voidaan ottaa huomioon lisäksi ylimitoituksella.

5.3.1 Ylimitoitus

Ylimitoituksella kasvatetaan maalun seinämän ainepaksuutta siten, että rakenteen seinämäpaksuus on vielä arvioidun käyttöiän aikana tapahtuvan syöpmisen jälkeenkin riittävä kantamaan rakenteelle suunnitellut kuormat. Tarvittava korroosiovara riippuu rakenteen suunnitellusta käyttöiästä ja maalia ympäröivän maan tai veden korroosio-ominaisuuksista.

Korroosiovara teräsputkipaaluissa mitoitetaan 100 vuoden käyttöiälle. Korroosiovara maassa mitoitetaan alimman pohjaveden alapuolella, tai 1,5 m vesistön pohjan alapuolella on korroosioaltista pintaa kohti 2 mm/100 vuotta luonnontilaisessa maassa, jossa ei esiinny humusta, sulfideja tai epäpuhtauksia ja jonka pH-arvo tai ominaisvastus ei ole huomattavan alhainen.

Ylimitoituksen käyttö ainoana keinona varautua korroosioon mitoitettavan alimman pohjaveden pinnan yläpuolella tai vesistön pohjakerroksen (vesistönpohja – 1,5 m) yläpuolella edellyttää yleensä sitä, että maaperän korroosio on tutkittu korroosiotutkimuksella (vrt. kohta 2.2.6). Pienissä siltakohteissa ja maaperässä tai vedessä, jossa syövyttävyys voidaan perustellusti arvioida vähäiseksi, voidaan käyttää taulukon 1 mukaista ylimitoitusta.

Taulukko 1. Normaaleissa korroosio-olosuhteissa suositeltavat korroosiovarat (mm) ruostuvaa pinta-alaa kohti 100:ssa käyttövuodessa.

MAA-ALUE	
Maanpinta + 1,0	3*
Maanpinta + 1,0 ... HW + 1,0	4*
HW + 1,0 ... NW - 1,0	4
< NW - 1,0	2

* Jos paalut ovat alltiina tiesuolan vaikutukselle, korroosiosuojaus tai korroosiovaara on harkittava erikseen.

1B. RUOTSI

Svensk byggnorm 1980:

:3 PERUSTAMINEN PAALUILLA

:35 Sallittu paalukuorma

:352 Tukipaalut

:3522

Kun teräspaalun korroosioriski on ilman yksityiskohtaisia tutkimuksia arvioitu vähäiseksi tai kohtalaiseksi, hyväksytään otaksuma 1 mm:n syöpmisestä ympäri koko poikkileikkauksen, ts. 2 mm:n vähennys ainepaksuudesta.

BRONORM 88:

Camitz [1994]:

Vägverketin BRONORM 88:ssa sanotaan, että lyötävien teräspaalujen korroosiovaran tulee aina olla vähintään 2 mm, ikään kuin perusvarmistuksena, vaikka paaluissa käytettäisiin jotakin muuta korroosiosuojausta.

Paalutoimikunnan ehdotus 1994 [Camitz 1994]:

Taulukko 2. Ehdotus korroosiovaran mitoittamiseksi teräspaaluille ja teräsponteille ruotsalaisissa maapohjissa.

Maalaji	Mitoittava arvo	
	Keskimääräinen syöpymä $\mu\text{m}/\text{vuosi}$	
	Pohjavedenpinnan yläpuolella	Pohjavedenpinnan alapuolella ¹⁾
Hiekka, sora, hiekka-/soramoreeni	20	20
Savi, siltti, savi-/silttimoreeni	30	20
Liejuinen savi/siltti, lieju, turve, muta	40	30
Meren rannan läheiset maat länsirannikolla (vahvasti suolainen pohjavesi)	50	30
Tarkkailematon täyttö (luonnonmaa)	40	30
Louhe, karkea sora, karkea murske jne. vedessä	kuten paalu vedessä *	kuten paalu vedessä *

1) Pohjavedenpinnan alapuolella = 1 m alimman pohjavedenpinnan alapuolella ja siitä alaspäin.

{*Teräspaalun korroosiota vedessä ei esitetä tässä normikoosteessa.}

{ 10 $\mu\text{m}/\text{vuosi}$ vastaa 1 mm/100 vuotta. }

1C. NORJA

Peleveiledningen (1987):

4. TERÄSPAALUT – MATERIAALI, RAKENTEELLINEN MUOTOILU, MITOITUS

4.4 Korrosio

Korrosio vähentää teräspaalun kapasiteettia. Korrosiotutkimuksiin tulee myös sisältyä ympäristöperäinen korrosio, nimittäin anaerobinen bakteeritoiminta ja esimerkiksi sähköradasta aiheutuvat sähköiset hajavirrat.

Ylösnostettujen, maassa kauan olleiden teräspaalujen tutkimukset osoittavat, että korroosionopeus meidän homogeenisissa suolaisissa savissamme on noin 0,04 mm/vuosi {4 mm/100 vuotta} ja vähemmän suolaisissa savissa noin 0,01 mm/vuosi {1 mm/100 vuotta}. Kerroksellisessa maapohjassa ja täyttömassoissa korroosionopeus voi olla huomattavasti suurempi, erityisesti alueilla, joilla pohjaveden pinnan taso vaihtelee. Tasaiselle korroosiolle on mitattu jopa arvoja 0,10 - 0,15 mm/vuosi {10 - 15 mm/100 vuotta}.

Maapohjan vaarallisuutta korroosion osalta voidaan mitata korroosiosondilla.

Ponttiseinien mittaukset osoittavat, että korroosionopeudelta (kuoppakorroosio) voidaan odottaa arvoja 0,3 - 0,6 mm/vuosi vuorovesivyöhykkeellä. Myös merenpohjan alapuolella on mitattu korroosionopeuksia aina arvoon 0,1 mm/vuosi asti, mutta pontin syvemällä pohjassa olevassa osassa on mitattu tasaista korroosiota 0,03 - 0,06 mm/vuosi {3 - 6 mm/100 vuotta}.

Korrosio voidaan huomioida korroosiovaralla, tai sitten paalut voidaan suojata katodisesti tai pintasuojata. Pintasuojaus on tehokas keino vain silloin, kun päällystettävä metallipinta on puhdas ja kuiva eikä pinnoite vahingoitu paalua lyötäessä. Jos pinnoite vahingoittuu, korrosio saattaa keskittyä vahingoittuneeseen kohtaan. Tämä osoitetaan NS 3472:ssa, luvuissa 10 ja 11.

1D. LUONNOS

ENV1993-5: 1997

Eurocode 3: Design of steel structures

Part 5: Piling

2. SUUNNITTELUN PERUSTEET

2.6 Kestävyys

2.6.1 Yleistä

(1)P Teräsmaalua ympäröivän aineen aggressiivisuudesta riippuen korroosion vaikutus täytyy ottaa huomioon, jos voidaan odottaa merkittävää teräksen paksuuden menetystä.

(2)P Jos korrosio on otettu huomioon suunnittelussa paksuuden ohenemisena, korroosionopeudet täytyy esittää projektin dokumenteissa.

HUOM. Kohdassa 1F annetaan ohjeita korroosionopeuksista.

(3) Kehotetaan kiinnittämään huomiota seuraaviin rakenteen ikää pitkittäviin keinoihin:

- teräksen paksuuden lisääminen korroosion varalta;
- staattinen lisävarmuus, esimerkiksi korkeampi teräsluokka tai suurempi poikkileikkaus;
- suojaavien pinnoitteiden käyttö (yleensä maalaus, jälkivalu tai sinkitys);
- katodisen suojauksen käyttö, suoja-pinnoitteiden kanssa tai ilman;
- betonilla peittäminen suuren korroosion alueella.

(4)P Jos vaadittu käyttöikä on pitempi kuin pinnoitteen suojaavan vaikutuksen kesto, jäljellä olevan käyttöiän aikana tapahtuva paksuuden menetys täytyy ottaa huomioon käyttö- ja murtorajatilalaskelmissa.

HUOM. 1. Erialaisten suojauskeinojen yhdistäminen voi olla hyödyllistä tavoiteltaessa pitkää käyttöikää. Koko suojaussysteemi voidaan määrittää ottamalla huomioon rakenteen ja suojaavan kerroksen mitoitus, kuten myös mahdollisuudet tarkastaa niitä.

HUOM. 2. Erityistä huolellisuutta vaaditaan alueilla, joissa huonosti eristetyistä tasavirtalähteistä voi aiheutua hajavirtoja maaperään.

(5) Mahdollisuus erisuuruiseen korroosioon paalun eri osissa voidaan ottaa huomioon. Täten sallitaan taloudellinen mitoitus, kun momentin jakauma voidaan valita korroosion vaihtelun mukaan, ks. kuva 1.

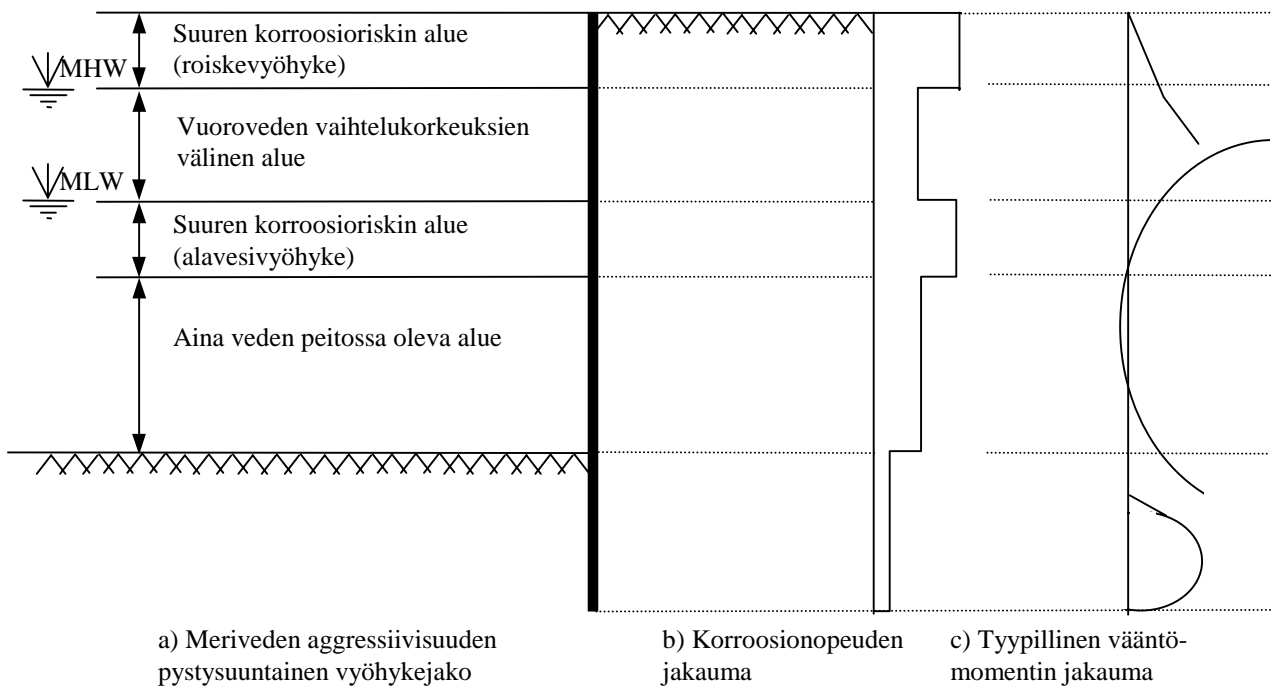
HUOM. Korroosionopeuden vaihtelu ja meriveden aggressiivisuusvyöhykkeet voivat erota huomattavasti kuvassa 1 esitetystä esimerkistä. Rakennuspaikalla vallitsevat olosuhteet ratkaisevat.

(6)P Ankkurointijärjestelmien ja liitosten osalta korroosion huomioon ottamisen tulee olla sopusoinnussa prEN 1537:n kanssa.

(7)P Teräsponttiseinien ja kantavien paalujen vaaditut käyttöiät tulee esittää projektin dokumenteissa.

(8) Korroosion aiheuttama paksuuden menetys voidaan olettaa merkityksettömäksi, jos vaadittu käyttöikä on alle 2 vuotta. Tästä voidaan tehdä merkintä projektin dokumentteihin.

(9)P Korroosion suojausjärjestelmät tulee määritellä projektin dokumenteissa.



Kuva 1. Esimerkki korroosionopeuden jakaumasta. MHW=keskimääräinen ylavesi, MLW=keskimääräinen alivesi.

2.6.2 Kestoikävaatimukset kantaville paaluille

(1) Mitoituksessa tulee ottaa huomioon se, että paalut saattavat olla kosketuksissa maahan koko matkaltaan tai vain osittain. Huomioida tulee myös se, että korroosio on yleensä vähäistä häiriintymättömässä maassa mutta voi olla merkittävämpää tuoreessa täytössä tai teollisuusjätteessä. Tarkat tiedot tulee antaa projektin dokumenteissa.

(2) Jollei erityisesti toisin määritellä, sekä yksittäisten paalujen käyttö- että murtorajatilamitoituksessa tulee huomioida yhtenäinen teräksen paksuuden vähennys ympäri koko poikkileikkauksen piirin.

(3) Jollei erityisesti toisin ole määritelty, korroosio voidaan jättää huomioimatta onttonjen, vesitiiviisti päästään suljettujen tai betonilla täytettyjen paalujen sisäpinnoilla.

2.6.3 Kestoikävaatimukset teräsponttiseinille

(1) Jollei erityisesti toisin määritelty, yhtenäinen teräksen paksuuden vähennys poikkileikkauksessa tulee ottaa huomioon sekä teräsponttien käyttö- että murtorajatilamitoituksessakin.

(2) Jos maan tai veden aggressiivisuus on erilainen ponttiseinän eri puolilla, voidaan käyttää kahta erisuuruista korroosionopeutta.

prENV1993-5: 1997, LIITE F (informatiivinen)

Ohjeita korroosionopeuksista

F.1 Yleistä

1) Tämä kohta antaa ohjeita teräspaalujen ja teräsponttien korroosiosta johtuvasta paksuuden menetyksestä.

F.2 Kantavat paalut

(1) Jollei erityisesti toisin ole määritelty, sekä käyttö- että murtorajatilamitoituksessa maan kanssa kosketuksissa olevan paalun - niin pohjavedenpinnan ylä- kuin alapuolellakin - korroosion aiheuttama paksuuden menetys (millimetreissä) tulisi ottaa taulukosta 3 ja vedessä olevan paalun osalta taulukosta 4 rakenteen vaaditun käyttöiän mukaisesta sarakkeesta.

(2) Ilmassa tapahtuvaksi korroosion aiheuttamaksi paksuuden menetykseksi voidaan otaksua 0,01 mm/vuosi tavallisessa ilmastossa ja 0,02 mm/vuosi meren läheisyydessä.

F.3

(1) Jollei erityisesti toisin ole määritelty, maan kanssa kosketuksissa olevan teräsponttiseinän - niin pohjavedenpinnan ylä- kuin alapuolellakin - korroosion aiheuttama paksuuden menetys (millimetreissä) tulisi ottaa taulukosta 3 rakenteen vaaditun käyttöiän mukaisesta sarakkeesta. Jos pontit ovat kosketuksissa maan kanssa molemmilta puoliltaan, korroosionopeudet koskevat kumpaakin sivua.

(2) Jollei erityisesti toisin ole määritelty, sekä käyttö- että murtorajatilamitoituksessa joki- tai meriveden kanssa kosketuksissa olevan teräsponttiseinän suojaamattomissa osissa korroosion aiheuttama paksuuden menetys tulisi ottaa taulukosta 4 rakenteen käyttöiän mukaisesta sarakkeesta.

(3) Ilmassa tapahtuvaksi korroosion aiheuttamaksi paksuuden menetykseksi voidaan otaksua [0,01] mm/vuosi tavallisessa ilmastossa ja [0,02] mm/vuosi meren läheisyydessä.

HUOM. Seuraavilla seikoilla on merkittävä vaikutus taulukoissa 3 ja 4 annettuihin korroosionopeuksiin:

- sijaitseeko rakenne pohjavedenpinnan ylä- vai alapuolella
- pohjavedenpinnan tason vaihtelu
- hapen läsnäolo.

Taulukko 3. Korroosion aiheuttama paksuuden menetys (mm) maassa oleville paaluille ja ponttiseinille, pohjaveden ylä- ja alapuolella.

Vaadittu käyttöikä	5 vuotta	25 vuotta	50 vuotta	75 vuotta	100 vuotta
Häiriintymätön luonnonmaa (hiekkä, siltti, savi, liuskekivi, ...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Saastunut luonnonmaa ja teollisuusalueiden maaperä	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressiivinen luonnonmaa (suo, räme, turve, ...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Tiivistämätön, epäaggressiivinen täyttö (savi, liuskekivi, hiekkä, siltti, ...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Tiivistämätön, aggressiivinen täyttö (tuhka, kuona, ...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

Huom.

1. Korroosionopeudet tiivistetyissä täytöissä ovat pienempiä kuin tiivistämättömissä. Tiivistetyissä täytöissä yllä olevat luvut pitää jakaa kahdella.
2. Annetut arvot ovat vain ohjeellisia. Paikalliset olosuhteet täytyy ottaa huomioon, koska ne voivat vaikuttaa todelliseen korroosionopeuteen, joka voi olla suurempi tai pienempi kuin taulukossa annettu arvo.
3. 5 ja 25 vuoden kohdalla annetut arvot perustuvat mittauksiin, kun taas muut arvot on ekstrapoloitu.

Taulukko 4. Korroosion aiheuttama paksuuden menetys (mm) makeassa tai merivedessä oleville paaluille ja ponttiseinille.

Vaadittu käyttöikä	5 vuotta	25 vuotta	50 vuotta	75 vuotta	100 vuotta
Tavallinen makea vesi (joki, kanava, ...) suuren korroosioriskin alueella (vesirajassa)	0,15	0,55	0,90	1,15	1,40
Hyvin saastunut makea vesi (jätevesi, teollisuuden päästöt, ...) suuren korroosioriskin alueella (vesirajassa)	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30
Merivesi lauhkeassa ilmastossa suuren korroosioriskin alueella (aliveden korkeudella ja roiskevyöhykkeessä)	0,55	1,90	3,75	5,60	7,50
Merivesi lauhkeassa ilmastossa aina veden peitossa olevalla alueella tai vuoroveden vaihtelukorkeuksien välisellä alueella.	0,25	0,90	1,75	2,60	3,50
<p>Huom.</p> <ol style="list-style-type: none"> Korroosionopeus on yleensä suurin roiskevyöhykkeessä tai aliveden tasolla vuorovesialueilla. Kuitenkin useimmiten korkeimmat jännitykset sijoittuvat aina veden peitossa olevalle vyöhykkeelle, ks. kuva 1. Annetut arvot ovat vain ohjeellisia. Paikalliset olosuhteet täytyy ottaa huomioon, koska ne voivat vaikuttaa todelliseen korroosionopeuteen, joka voi olla suurempi tai pienempi kuin taulukossa annettu arvo. ja 25 vuoden kohdalla annetut arvot perustuvat mittauksiin, kun taas muut arvot on ekstrapoloitu. 					

1E. JAPANI

Yhteenvetotaulukko japanilaisista ohjeista korroosiovaran suuruudeksi. (Lähde: Camitz, G. Korrosion och korrosionskydd av stålplålar och stålspons i jord och vatten, Ingenjörsvetenskapakademien, Pålkommissionen, rapport 93. Linköping 1994.)

Taulukko 5

No	Rakentamislaitos tai viranomainen	Ohje korroosiovaran suuruudeksi suojaamattomalle teräsmaalulle		
1.	Satamien rakennuslaitos	Ympäröivä aine		Korroosiovaran laskennassa käytettävä korroosionopeus
		Merivesi	Yliveden (HWL) yläpuolella Ylivesi → pohja Pohjasedimenteissä	0,3 mm/vuosi 0,2 mm/vuosi 0,05 mm/vuosi
		Maa	Pohjavedenpinnan yläpuolella Pohjavedenpinnan alapuolella	0,05 mm/vuosi 0,03 mm/vuosi
		Teräsputkipaalun sisäpinnan oletetaan olevan korroosion vaikutukselta suojassa (betonilla täytetty teräsmaalu).		
2.	Tiesillat (Japan Road Association)	Siinä tapauksessa, että perustus ei joudu kosketuksiin meriveden, teollisuuden jätevesien tai muun aggressiivisen veden kanssa eikä erityistä korroosiotutkimusta ole tehty: 2 mm korroosiovara maassa, jossa pohjavesi on makeaa vettä.		
3.	Siltaperustukset yms. (Japan National Railway)	Teräsputkipaalun ulkopinta: Teräsputkipaalun sisäpinta: Teräsmaalun teräspinta, joka on betonin peitossa (betonin paksuus ≥ 6 mm)		Korroosiovara maassa 2 mm 0,5 mm 0 mm
		Korroosiovaran katsotaan olevan kulutettu 80 vuodessa kohtalaisen syövyttävässä maassa.		
4.	Rakennukset (Architectural Institution of Japan)	Korroosionopeuden 0,02 mm/vuosi mukaan laskettu korroosiovara on yleensä ottaen riittävä maassa oleville teräsmaaluille.		
5.	Rakennukset (Japan Housing Corporation)	Teräsputkipaalun ulkopinta: Teräsputkipaalun (betonilla täytetty maalu) sisäpinta:		Korroosiovara maassa 2 mm 0 mm (paitsi erityistapauksissa)
6.	Tokion kaupunki	a) Teräsputkipaalun ulkopinnan korroosiovaran laskennassa oletetaan mitoittavaksi eliniäksi 70 vuotta. b) Teräsputkipaalun sisäpinnalla korroosiovaran tulee olla 0,5 mm.		
7.	(Housing Bureau, Ministry of Construction)	a) Korroosiovara lasketaan seuraavasti: 80 x korroosionopeus (mm/vuosi). Korroosionopeus päätetään paikalla tehdyn korroosiomittauksen perusteella. b) Jos korroosiomittausta ei ole tehty, sovelletaan maassa olevalle teräsmaalulle korroosiovaraksi ≥ 2 mm.		