



# TERÄSRAKENTEIDEN SÄILYVYYS

Miikka Karjalainen

Opinnäytetyö  
Syyskuu 2013  
Rakennustekniikan  
koulutusohjelma  
Talorakennustekniikan  
suuntautumisvaihtoehto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Talorakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

KARJALAINEN, MIIKKA:  
Teräsrakenteiden säilyvyys

Opinnäytetyö 69 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Syyskuu 2013

---

Suojaamaton teräs altistuu korroosiolle, minkä takia se on suojattava riittävän hyvin, jotta rakenne kestää sille asetetun käyttöikävaatimuksen. Tässä opinnäytetyössä selvitetiin, mitkä tekijät vaikuttavat teräsrakenteiden säilyvyyteen eli pitkäaikaiskestävyyteen. Opinnäytetyössä koottiin yhteen tietoa, jonka avulla teräsrakenteiden suunnittelija saa valmiudet valita rakenteelle sopivan korroosionestojärjestelmän.

Teräsrakenteiden suunnittelijan on tunnettava teräksen korroosiomuodot ja niiden esiintymisolosuhteet, jotta niitä voidaan ehkäistä tai välttää kokonaan. Tässä opinnäytetyössä esitellään tyypillisiä teräsrakenteiden korroosiomuotoja ja niiden esiintymisolosuhteita. Teräsrakenteet voidaan suojata korroosiota vastaan monella eri tapaa. Tässä opinnäytetyössä käsitellään suojausta maalausyhdistelmillä, kuumasinkityksellä ja materiaalivalinnalla. Lisäksi työssä esitellään rakenteen suunnitteluun liittyviä yksityiskohtia, joilla teräsrakenteen pitkäaikaiskestävyyttä voidaan parantaa.

Suojamaalauksen osalta opinnäytetyössä esitellään kappaleen esikäsittelyä, maalityyppejä sekä maalausjärjestelmän valintaa. Maalausjärjestelmän valinnan helpottamiseksi luotiin taulukko, johon on kerätty kansainvälisten standardien mukaisia maalausjärjestelmiä eri rasitusluokkiin. Maalausjärjestelmät valittiin siten, että niitä on saatavilla mahdollisimman monelta kotimaiselta maalivalmistajalta. Sinkityksen osalta opinnäytetyössä esitellään perusteiden lisäksi sinkittyjen rakenteiden maalausta sekä rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia. Työssä esitellään myös ruostumattomien ja haponkestävien teräksien ominaisuuksia ja niiden teräslajin valintaperusteita.

Opinnäytetyön tuloksena on kattava tietopaketti teräsrakenteiden suunnittelijan käyttöön. Työn avulla suunnittelija pystyy valitsemaan rakenteelle oikeanlaisen korroosionestojärjestelmän sekä suunnittelemaan korroosioneston kannalta järkeviä rakenteita.

---

Asiasanat: teräsrakenteet, säilyvyys, korroosio, pintakäsittely, sinkitys.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Civil Engineering  
Option of Structural Engineering

KARJALAINEN, MIIKKA:  
Durability of Steel Structures

Bachelor's thesis 69 pages, appendices 2 pages  
September 2013

---

Unprotected steel will be exposed to corrosion. In order to withstand the service life needed, steel structures should be protected adequately. This thesis deals with the factors that affect the durability of steel structures. With the information given in this thesis, the designer of steel structures has adequate abilities to select a suitable corrosion protection system for the structure.

In order to prevent corrosion, it is important for the designer to be aware of the different types of corrosion. Most common corrosion types and conditions are presented in this thesis. There are many ways to protect steel from corrosion. This thesis deals with protection with paint coatings, hot-dip galvanizing and selection of materials. Details concerning the influence of design on corrosion are also presented.

A part of this thesis concerning paint coatings includes information about surface preparation, different kinds of paints and the selection of the coating system. To make the selection of coating system easier, a list of commonly used coating systems to each corrosivity category was created. Key factor in the selection of the coating systems was that all Finnish paint manufacturers have products to offer for each system. In addition to basic information about hot-dip galvanizing, also painting of galvanized surface and details concerning the design of galvanized structure are presented in this thesis. Information about stainless and acid-proof steel is also given in this thesis.

The result of this thesis is a comprehensive information package for the designer of steel structures. With the help of this thesis, the designer can choose correct corrosion protection system and design corrosion-wise structures.

---

Key words: steel structures, durability, corrosion, surface treatment, galvanizing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KORROOSIO.....	8
2.1	Määritelmä.....	8
2.2	Ilmatilakorrosio.....	9
2.3	Ympäristön rasisitusluokat.....	9
2.4	Korroosionmuodot.....	13
2.4.1	Yleinen korrosio.....	13
2.4.2	Pistekorrosio.....	13
2.4.3	Rakokorrosio.....	14
2.4.4	Galvaaninen korrosio.....	15
2.4.5	Jännityskorrosio.....	17
2.4.6	Korrosio vedessä.....	19
3	KORROOSIONESTOMAALAUUS.....	20
3.1	Yleistä.....	20
3.2	Pinnan puhdistus ja esikäsitteily.....	21
3.3	Korroosionestomaalit.....	24
3.3.1	Alkydimaalit (AK).....	25
3.3.2	Epoksimaalit (EP).....	26
3.3.3	Polyuretaanimaalit (PUR).....	26
3.3.4	Oksiraaniesterimaalit (OX).....	26
3.3.5	Sinkkipölymaalit (Zn(R)).....	27
3.3.6	Akryylimaalit (AY).....	27
3.3.7	Palosuojamaalit.....	28
3.3.8	Konepajapohjamaalit.....	28
3.4	Maalausjärjestelmän valinta.....	30
3.4.1	Taulukot.....	31
3.4.2	Merkintä.....	35
4	KUUMASINKITYYS PINNOITUSMENETELMÄNÄ.....	37
4.1	Menetelmäkuvaus.....	37
4.2	Ominaisuudet.....	38
4.3	Materiaalivalinta.....	42
4.4	Kerrospaksuuden valinta.....	44
4.5	Rakenteiden suunnittelu.....	46
4.5.1	Suljetut putkirakenteet.....	47
4.5.2	Tuuletusaukkojen koko.....	48
4.5.3	Moniulotteiset rakenteet.....	49

4.5.4	Jäykisteet.....	50
4.6	Kuumasinkityn teräksen maalaus .....	51
5	RUOSTUMATTOMAT JA HAPONKESTÄVÄT TERÄKSET .....	54
5.1	Määritelmä .....	54
5.2	Teräslajit .....	55
5.2.1	Teräslajin valinta.....	56
5.3	Korroosiomuodot ja niiden välttäminen .....	57
5.3.1	Säänkestävät COR-TEN teräokset .....	58
6	RAKENTEEN SUUNNITTELUN VAIKUTUS KORROOSIONKESTOON .....	60
7	YHTEENVETO .....	64
	LÄHTEET.....	65
	LIITTEET .....	68
	Liite 1. Konepajapohjamaalien soveltuvuus palosuojamaalien kanssa.....	68
	Liite 2. Maalausjärjestelmät eri rasisitusluokkiin .....	69

## 1 JOHDANTO

Maailman käytetyin metalli, teräs, ruostuu ulkoilmassa. Usein sitä käytetäänkin hyvien lujuusominaisuuksien tai edullisen hinnan takia. Korroosiokestävyys jääkin usein huomioimatta. Vaikka rakenteen voi saada toteutettua halvemmalla terästä käyttämällä, pitäisi hinnoissa huomioida myös elinkaarikustannukset, kuten maalipinnan kulumisesta aiheutuvat huoltomaalaukset. Tutkimusten mukaan pelkästään USA:ssa korroosion aiheuttamat kustannukset valtiolle ovat noin 600 miljardia vuosittain.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia yrityksen käyttöön tietopaketti teräsrakenteiden säilyvyyteen liittyvistä asioista, koska aiheeseen liittyvää tietoa on saatavilla hajanaisesti. Työ rajattiin koskemaan talonrakennuksen teräsrakenteita. Teräsrakenteiden suunnittelijan on tärkeä ymmärtää erilaiset korroosion esiintymismuodot, jotta niiden esiintyminen voidaan välttää. Korroosion osalta työssä esitellään korroosiota ilmiönä, korroosionmuotoja ja ilmaston rasisitusluokan määrittämistä.

Viime aikoina voimaan tulleet yhteiset eurooppalaiset standardit ovat muuttaneet myös korroosionestomenetelmien valintaperiaatteita. Rakenteelle valitaan aluksi rasisitusluokka, jonka perusteella voidaan valita esimerkiksi maalausjärjestelmä. Maalausjärjestelmän valinta kansainvälisten standardien perusteella on vaivalloista. Siksi tässä opinnäytetyössä koottiin taulukko, joka sisältää eri rasisitusluokkiin yleisesti käytettyjä maalausjärjestelmiä oikeaa merkintätapaa käyttäen. Maalausjärjestelmien valinnassa varmistettiin lisäksi, että jokaiselta kotimaiselta maalivalmistajalta löytyy järjestelmää vastaavat maalit.

Myös kuumasinkityksen käyttäminen korroosionestomenetelmänä on yleistä. Sen määrittäminen on muuttunut viime aikoina samankaltaiseksi kuin maalausjärjestelmissä. Ennen käytössä olleet kuumasinkitysluokat ovat poistuneet ja tilalle on tullut ilmasto-rasisitusluokkiin perustuva taulukko. Kuumasinkityksen osalta tässä opinnäytetyössä käsitellään perusteiden lisäksi myös kuumasinkittyjen rakenteiden maalausta ja rakenteellisia yksityiskohtia.

Ruostumattomien ja haponkestävien terästen käyttö rakentamisessa on yleistynyt viime vuosina. Niitä käytetään usein julkisivurakenteissa ja paikoissa, joissa korroosionkestoa on vaikea saavuttaa maalauksella tai kuumasinkityksellä. Tässä työssä käsitellään lyhy-

esti ruostumattomia ja haponkestäviä teräksiä, niiden teräslajin valintaa sekä tyypillisiä korroosionmuotoja.

Teräsrakenteen säilyvyyteen voidaan myös vaikuttaa rakenteen oikeanlaisella suunnittelulla. Esimerkiksi kappaleen pinnalle kertyvän lian ja veden määrää voidaan vähentää välttämällä vaakasuoria tasopintoja. Tässä opinnäytetyössä on esitetty muutamia rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia, joilla korroosionkestoa voidaan parantaa.

## 2 KORROOSIO

### 2.1 Määritelmä

Eurooppalaisen SFS-EN ISO 8044 -standardin mukaan korroosiolla tarkoitetaan metallin ja ympäristön välillä tapahtuvaa sähkökemiallista reaktiota. Korroosio aiheuttaa metallin syöymistä, joka pienentää materiaalin lujuutta ja muuttaa ulkonäköä. Sähkökemiallisen luonteensa takia korroosio vaatii ympäristöltään vettä ja happea. (SFS-EN ISO 8044, 4.)

Korroosioprosessin alkaminen liittyy metallien valmistukseen. Metalleja ei esiinny luonnossa sellaisenaan, vaan ne valmistetaan malmimineraaleista. Valmistuksen yhteydessä sitoutuu paljon energiaa ja korroosioilmiöiden avulla metalli pyrkii vapauttamaan sitoutuneen energian ja palaamaan luonnolliseen olomuotoon. Tästä syystä korroosiotuotteet, kuten ruoste, muistuttavat niitä mineraaleja, joista metallit on tehty. (Kinnunen, Saarinen, Tiira, Ulvinen, Väänänen 2002, 2.)

Syöpyessään metalli hapettuu ja luovuttaa elektroneja. Luovutetut elektronit kuluvat pelkistysreaktion aikana. Pelkistyminen on hapettumisen vastakohta, sillä se tarkoittaa elektronien vastaanottamista. Molemmat ilmiöistä voivat tapahtua saman metallipinnan eri kohdissa. Syöpyvää pintaa kutsutaan anodiksi ja pelkistyvää pintaa katodiksi. Korroosiossa sivutuotteena syntyneet ionit siirtyvät metallin pinnalta pois elektrolyytin avulla, jotta korroosio voi edetä. Useimmiten elektrolyyttinä toimii vesi. (Metallipintojen teollinen maalaus 2009, 1.) Kuvassa 1 metallista valmistettuun teräsjohteeseen on syntynyt korroosion vaikutuksesta ruostetta.



KUVA 1. Korroosiotuotteena syntynyttä ruostetta (SILKO 1986.)



## 2.2 Ilmatilakorroosio

Ilmatilakorroosio on korroosion yleisin ilmenemismuoto. Se tapahtuu metallipinnalla olevassa kosteuskalvossa. Ajanjaksoa, jonka aikana metalli on kosteuskalvon peitossa, kutsutaan märkäajaksi. Kosteuskalvo voi syntyä esimerkiksi sateen tai kosteuden kondensoitumisen seurauksena. Korroosio nopeutuu merkittävästi kun metallin pinta ylittää sille ominaisen kriittisen suhteellisen kosteuden arvon. Jos syöpyminen pääsee kerran alkamaan, se voi jatkua, vaikka suhteellinen kosteus laskisi alle kriittisen arvon. Lämpötilan kohotessa myös korroosionopeus kasvaa. Mikäli lämpötila laskee alle veden jäätymispisteen, korroosiota ei tapahdu. Toisaalta suolat ja kemikaalit voivat laskea veden jäätymispistettä, jolloin korroosioprosessi jatkuu. (Metallipintojen teollinen maalaus 2009, 2.) Taulukkoon 1 on koottu laskettuja märkäaikoja eri ilmastotyypin mukaan.

TAULUKKO 1. Eri ilmastotyyppien lasketut märkäajat (SFS-EN ISO 12944-2 2007, 14.)

Ilmaston tyyppi	Vuosittaisten ääriarvojen keskiarvo			Laskettu märkäaika. Suht. kosteus > 80 % ja lämpötila > 0 °C h/vuosi
	Alalämpötila °C	Ylalämpötila °C	Ylin lämpötila. Suht. kosteus > 95 % °C	
Erittäin kylmä	-65	+32	+20	0...100
Kylmä	-0	+32	+20	150...2500
Kylmä lauhkea	-33	+34	+23	2500...4200
Lämmin lauhkea	-20	+35	+25	
Lämmin kuiva	-20	+40	+27	10...1600
Mieto lämmin kuiva	-5	+40	+27	
Erittäin lämmin kuiva	+3	+55	+28	
Lämmin kostea	+5	+40	+31	4200...6000
Lämmin kostea, tasainen	+13	+35	+33	

Ympäröivät olosuhteet vaikuttavat metallien rasitukseen merkittävästi. Maantiesuolasta tai merivedestä peräisin olevat kloridit vähentävät metallin pinnan kastumiseen tarvittavaa suhteellisen kosteuden raja-arvoa. Erityisesti meriveden kanssa kosketuksissa olevat rakenteet ovat ankarien rasitusten alaisina, sillä vettä, happea ja suoloja on paljon. Vesiroiskeet aiheuttavat lisäksi virtausta, mikä nopeuttaa korroosiota vieden korroosiotuotteita pois metallipinnoilta. (Metallipintojen teollinen maalaus 2009, 2.)

## 2.3 Ympäristön rasitusluokat

Rakenteen ympäröivät olosuhteet voidaan jakaa erilaisiin rasitusluokkiin. Rasitusluokan määrittäminen on tärkeää, kun rakenteelle valitaan sopivaa korroosionestomenetelmää.

Mikäli olosuhteet arvioidaan todellista lievemiksi, valittu korroosionestomenetelmä ei välttämättä ole riittävä olosuhteisiin nähden. Rasitusluokkaa ei aina voida määrittää koko rakennukselle. Esimerkiksi isot sairaalat tai koulut, jotka suurilta osin kuuluvat lämpimien sisätilojen luokkaan C1, saattavat sisältää tiloja, kuten keittiöitä ja pesuloita, joissa on huomattavasti rasitetummat olosuhteet. Standardissa SFS-EN ISO 12944-2 on esitetty eri ilmastorasitusluokat, korroosion nopeusarvot ja esimerkkejä tyyppillisistä ympäristöistä. Standardeissa esitetyt korroosionopeusarvot ovat Keski-Euroopan arvoihin perustuvia, joten niihin tulisi suhtautua varauksella. Yleisesti ottaen Suomessa ympäristöolosuhteet ovat Keski-Eurooppaa lievempiä.

TAULUKKO 2. Ilmastorasitusluokat (SFS-EN ISO 12944-2 2007, 12.)

Rasitusluokka	Painohäviö pinta-alayksikköä kohden/paksuushäviö (ensimmäinen koestusvuosi)				Esimerkkejä tyyppillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa (vain opastava)	
	Niukkahiilinen teräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	Painohäviö g/m <sup>2</sup>	Paksuushäviö µm	Painohäviö g/m <sup>2</sup>	Paksuushäviö µm		
C1 hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	–	Lämmitetyt rakennukset, joissa puhtaat ilmatilat, 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. Enimmäkseen maaseutualueita.	Lämmittämättömät rakennukset, joissa voi esiintyä kondensoitumista, esim. varastot, urheiluhallit.
C3 kohtalainen	> 200...400	> 25...50	> 5...15	> 0,7...2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	Tuotantotilat, joissa korkea kosteuspitoisuus ja jossain määrin epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit.
C4 ankara	> 400...650	> 50...80	> 15...30	> 2,1...4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen.	Kemianteollisuuden tuotantolaitokset, uima-altaat, rannikolla sijaitsevat telakat ja veneistämöt.
C5-I hyvin ankara (teollisuus)	> 650...1500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmatila on syövyttävä.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.
C5-M hyvin ankara (meri)	> 650...1500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Rannikkoalueet ja rannikon ulkopuoliset alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.

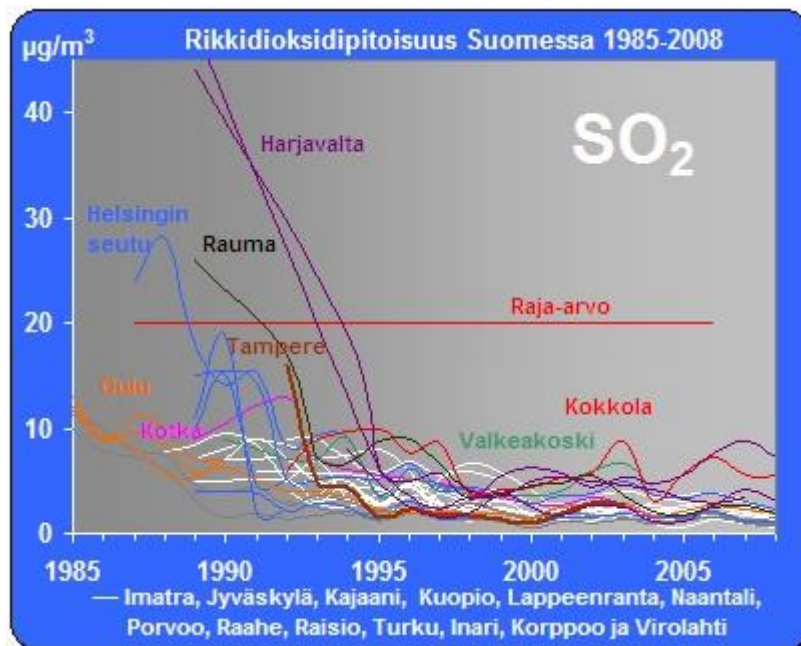
TAULUKKO 3. Rasitusluokat upotetuille ja maanalaisille rakenteille (SFS-EN ISO 12944-2 2007, 12.)

Luokka	Ympäristö	Esimerkkejä ympäristöstä ja rakenteista
Im1	Makea vesi	Jokirakenteet, vesivoimalat
Im2	Meri- tai murtovesi	Satama-alueen rakenteet kuten pato- ym. luukun aukot, portit, sulkulaitteet, laiturit; offshore-rakenteet
Im3	Maaperä	Maanalaiset säiliöt, teräsmaalut, teräsputket

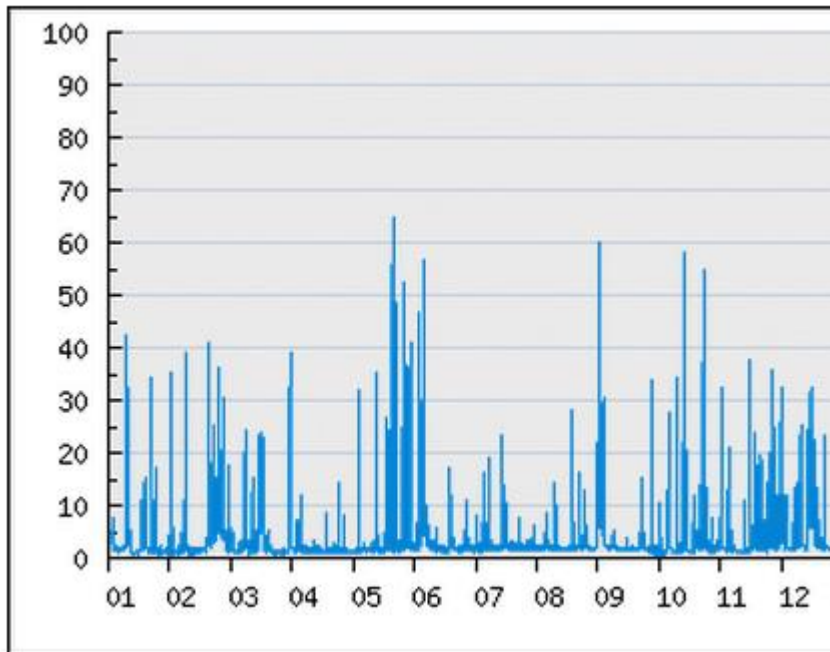
Jonkin tietyn ympäristön korroosiorasitusluokka voidaan määrittää kolmella seuraavalla tavalla:

1. Mitataan koekappaleiden painohäviöitä vuoden ajalla.
2. Arvioidaan ympäristötekijöiden yhteisvaikutusta standardin ISO 9223 mukaisesti. Arvioon vaikuttavat märkänäoloaika, rikkidioksidin keskiarvo sekä vuosittaisen kloridilaskeuman keskiarvo.
3. Arvioidaan rasitusluokka standardissa SFS-EN ISO 12944-2 esitettyjen ympäristöesimerkkien perusteella.

Arviointimenetelmistä ensimmäinen on suositeltavin ja tarkin. Sen käyttö ei kuitenkaan ole aina mahdollista, jolloin on turvauduttava yksinkertaisempiin menetelmiin. Suomen ilmastossa rikkidioksidin määrä on laskenut merkittävästi teollisuuden päästöjen pientyessä, kuten kuviosta 1 nähdään. Euroopan mittakaavassa Suomen ilman rikkidioksidipitoisuus on todella matalalla tasolla. Toisaalta paikalliset olosuhteet voivat edelleen sisältää ajanjaksoja, jolloin ilmassa on enemmän rikkidioksidia. Siksi on tärkeä määrittää rakenteeseen kohdistuvat paikalliset olosuhteet eli mikroilmasto. Kuviossa 2 on Raahen Lapaluodossa sijaitsevalla teollisuusalueella mitattuja rikkidioksidiarvoja vuonna 2011. Vaaka-akselilla on aika kuukausina ja pysty-akselilla rikkidioksidimäärä yksikössä  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

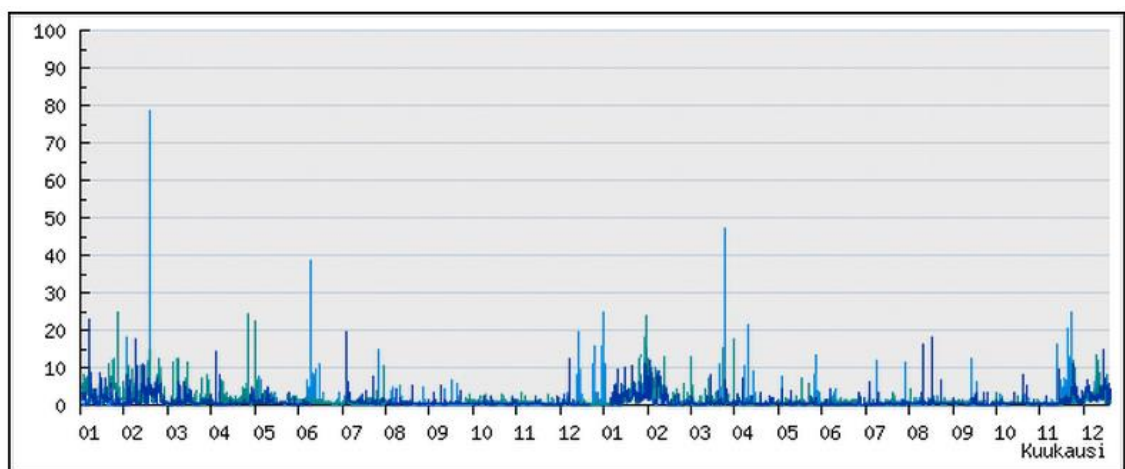


KUVIO 1. Rikkidioksidipitoisuus Suomessa vuosina 1985 – 2008 (Ilmanlaatu 2013.)



KUVIO 2. Raahen Lapaluodon teollisuusalueen rikkidioksidilaskeuman keskiarvo vuonna 2011 (Ilmanlaatu 2011.)

Rikkidioksidimäärän perusteella voidaan arvioida ympäristörasitusluokkaa taulukon 2 perusteella. Standardin ISO 9223 mukaan C2-luokan ympäristöolosuhteissa rikkidioksidipitoisuus on alle  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tämä ehto täyttyy yleensä maaseudulla, joissa on tyypillisesti puhdas ulkoilma. Kuviossa 3 on esitetty kolmen maaseudulla sijaitsevan kohteen rikkidioksidimäärä kahden vuoden seurantajaksolla. Mittausten keskiarvo jää alle viiden mikrogramman per kuutio. Toisaalta Lapissa rikkidioksidipäästöissä voi näkyä korkeita piikkejä Kuolan niemimaan metalliteollisuuden päästöistä johtuen. (Ilmanlaatu 2013.)



KUVIO 3. Ilman rikkidioksidipitoisuus maaseudulla vuosina 2011 ja 2012 (Ilmanlaatu, 2012.)

Raja-arvot rikkidioksidipitoisuudelle eri ilmastorasitusluokissa ovat taulukon 4 mukaiset.

TAULUKKO 4. Rikkidioksidipitoisuus eri ilmastorasitusluokissa (SFS-EN ISO 9223)

Ympäristörasitusluokka	Rikkidioksidipitoisuuden raja-arvo, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
C2	< 5
C3	5 - 30
C4	30 - 90
C5	90 - 250

## 2.4 Korroosiomuodot

Metalleissa tapahtuvat korroosiomuodot voidaan jakaa yleiseen korroosioon ja paikallisiin korroosiomuotoihin. Paikallinen korroosio on usein vaarallisempaa kuin yleinen eli tasainen korroosio. Tässä opinnäyteyössä on käsitelty talonrakentamiselle ilmeisiä korroosiomuotoja. (Aromaa 2005, 63.)

### 2.4.1 Yleinen korroosio

Yleisessä korroosiossa pinta syöpyy tasaisella nopeudella koko pinnan alueella. Tästä syystä ilmiötä kutsutaan myös tasaiseksi korroosioksi, ja se on yleisin korroosion ilmenemismuoto. Tasainen syöpyminen alkaa, kun katodinen ja anodinen pinta vaihtavat jatkuvasti paikkaa. Ilmastollinen korroosio sekä teollisuuden kemialliset rasitukset ovat yleisen korroosion tyypillisiä aiheuttajia (Aromaa 2005, 63). Taulukossa 2 esitetyt painohäviöt kuvaavat tasaisen korroosion nopeutta eri rasitusluokissa.

### 2.4.2 Pistekorroosio

Pistekorroosio on paikallinen korroosiomuoto. Yleisimmät pistekorroosiosta kärsivät metallit ovat sellaisia, joiden korroosionkestävyys perustuu passivoivaan pintakerrokseen. Tällaisia metalleja ovat ruostumattomat teräkset ja alumiini. Kloridi-ionit vahingoittavat passiivikerrosta paikallisesti, jolloin metallin pintaan syntyy pistemäisiä syvänteitä. Ohutseinämaisissä rakenteissa pistekorroosio voi synnyttää rakenteen läpäiseviä reikiä. Useimmiten pistekorroosion aiheuttamat vauriot ovat kuitenkin pinnallisia ja esteettisiä, eivätkä vaikuta rakenteen kestävyuteen (Ruostumattomien terästen käyttö

kantavissa rakenteissa 2002, 27). Julkisivurakenteissa pistekorroosion riski on tiedostettava, sillä pistekorroosion vaikutus arkkitehtoniseen ilmeeseen voi olla merkittävä. Eriyisesti merivedelle alttiit rakenteet ovat pistekorroosiolle alttiita runsaan kloridipitoisuuden takia. Kuvassa 2 meren rannalla oleva käsijohde on kärsinyt pistekorroosiosta.



KUVA 2. Pistekorrosio ruostumattomassa teräksessä (Ruostumattomien teräsrakenteiden paikallisen korroosion riskin arviointi 2008, 6.)

### 2.4.3 Rakokorroosio

Ruostumattomat teräkset ovat erityisen herkkiä myös rakokorroosiolle eli piilokorroosiolle. Sitä esiintyy raoissa, joissa suojakerroksen tarvitsemaa happea esiintyy vähän. Korroosio-olosuhteiden kannalta vaarallisin tilanne on erittäin kapea ja syvä rako. Kahden metallin väliset liitokset tai syvät pintaviillot ovat yleisiä rakokorroosion esiintymiskohtia. Myös aggressiiviset liuokset voivat aiheuttaa rakokorroosiota. Kuten pistekorroosion tapauksessa, vaarallisia ovat klorideja sisältävät nesteet. (Ruostumattomien terästen käyttö... 2002, 28.)

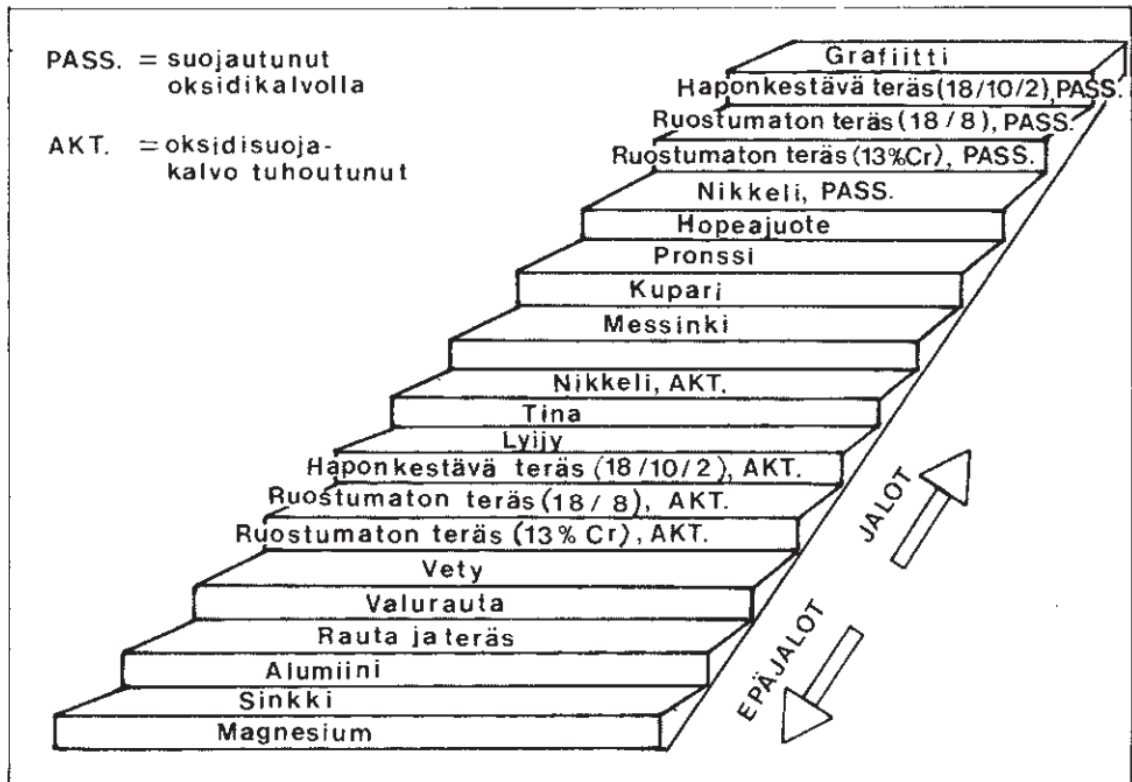


KUVA 3. Rakokorroosio (Kuva: Welke R.)

Kuvassa 3 jauhemaalauksen ja alustan väliin on alkanut muodostua voimakasta rako-korroosiota. Ilmiö on todennäköisesti alkanut kiinnitysruuvien liian pienen aluslevyn aiheuttamasta säröstä. Se on lopulta johtanut pinnoitteen irtoamiseen ja ilmastollisen korroosion alkamiseen. (Tallemenco 2013.)

#### **2.4.4 Galvaaninen korroosio**

Metallit voidaan järjestää jännitesarjaksi niiden jalouden mukaan. Kun samassa elektrolyytissä on kaksi erilaista metallia kontaktissa toisiinsa, syntyy galvaanista korroosiota. Tällöin epäjalompi metalli syöpyy jalomman metallin puolesta. Galvaanisen korroosioparin muodostumista voidaan arvioida jännitesarjan avulla. Mitä suurempi ero metallien välillä on sarjassa, sitä todennäköisemmin galvaaninen pari muodostuu. Metallien sähkökemiallinen jännitesarja on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Metallien sähkökemiallinen jännitesarja (SILKO 2010, 27.)

Potentiaalieron lisäksi korroosionopeuteen galvaanisessa parissa vaikuttaa metallien pinta-alojen suhde. Epäjälomman metallin pieni pinta-ala verrattuna jalompaan metalliin nopeuttaa korroosiota (Aromaa 2005, 63). Tästä syystä esimerkiksi kuparikattoa ei saisi korjata rautanauiloilla tai niiteillä vaan kiinnikkeiden tulisi olla kuparisia tai jalompia. Galvaanista korroosiota hyödynnetään kytkemällä jalompaan metalliin epäjalompia metalleja. Rakentamisessa yleinen sovellutus on teräksen pinnoitus sinkityksellä.



KUVA 5. Jalusero pulttien ja levyn välillä aiheuttaa galvaanista korroosiota (Kuva: Wikipedia)



Vaikka sama metallipari ei kärsisikään galvaanisesta korroosiosta puhtaassa maaseutuilmastossa, voi kloridirasitetumpi ympäristö nopeuttaa tai käynnistää reaktion. Mikäli erilaisia metalleja on kosketuksissa toisiinsa, tulisi metalliparin toimivuus varmistaa. Taulukossa 4 on esitetty galvaanisen korroosion riski ja sen nopeuden kasvu ilmasto-erasitusluokittain, mikäli tarkasteltavaan metalliin liitetään toisenlaisia metalleja.

#### TAULUKKO 4. Metalliparien galvaaninen korroosio ilmastorasitusten mukaan (SILKO 2010.)

Tarkasteltava metalli on vasemmanpuoleisessa sarakkeessa. Arvostelu perustuu yhden vuoden kenttäkokeen tuloksiin ja on siten vain suuntaa antava.

Käytetty luokitus:

- 0 ei galvaanisen korroosion vaaraa eli tarkasteltavan metallin korroosionopeus ei kasva vaikka se on yhteydessä mainittuihin metalleihin
- I tarkasteltavan metallin korroosionopeus kasvaa
- II tarkasteltavan metallin korroosionopeus kasvaa voimakkaasti.

Lisäksi tarkasteltavan metallin korroosionopeudet eri korroosiotapauksissa on ilmoitettu eri kirjoitustyyliellä seuraavasti:

- **suora**:  $x \leq 1 \mu\text{m/a}$
- **kursiivi**:  $1 < x < 5 \mu\text{m/a}$
- **lihava**:  $x \geq 5 \mu\text{m/a}$

Tarkasteltava metalli		Maaseutuilmasto	Kaupunki-ilmasto	Meri-ilmasto
Hiiliteräs	O: I: II:	sinkki, alumiini, sääkestävä teräs <b>ruostumaton teräs, kupari, anodisoitu alumiini</b>	lyijy, sinkki, alumiini, sääkestävä teräs <b>ruostumaton teräs, kupari, anodisoitu alumiini</b>	lyijy, sinkki, alumiini, sääkestävä <b>ruostumaton teräs, kupari</b>
Ruostumaton teräs	O: I: II:	kupari	kupari	kupari
Kupari	O: I: II:	hiiliteräs, lyijy, anodisoitu alumiini ruostumaton, nikkeli	hiiliteräs, lyijy, anodisoitu alumiini ruostumaton, nikkeli	hiiliteräs, <i>ruostumaton teräs</i> , lyijy, anodisoitu alumiini
Sinkki	O: I: II:	alumiini <i>ruostumaton</i> , anod. alumiini hiiliteräs, kupari	alumiini, magnesium <i>ruostumaton</i> , anod. alumiini hiiliteräs, kupari, lyijy	alumiini, anod. alumiini <i>ruostumaton teräs</i> hiiliteräs, kupari, lyijy
Alumiini	O: I: II:	lyijy, sinkki, anodisoitu alumiini hiiliteräs, ruostumaton teräs, kupari, sääkestävä teräs	sinkki, anodisoitu alumiini hiiliteräs, ruostumaton teräs, lyijy, sääkestävä teräs <b>kupari</b>	sinkki, anod. alumiini <i>ruostumaton</i> <b>hiiliteräs, kupari, lyijy, sääkestävä</b>
Anodisoitu alumiini	O: I: II:	lyijy hiiliteräs, ruostumaton teräs, kupari, sääkestävä	lyijy ruostumaton teräs hiiliteräs, kupari	ruostumaton teräs, lyijy <b>hiiliteräs, kupari</b>
Sääkestävä teräs	O: I: II:	<b>ruostumaton teräs</b>	<b>ruostumaton teräs</b>	<b>ruostumaton teräs</b>

#### 2.4.5 Jännityskorroosio

Mikäli kappaleeseen kohdistuu vetojännityksiä samanaikaisesti ulkoisten ympäristötekijöiden kanssa, kappale voi murtua jännityksen ja korroosion yhteisvaikutuksesta. Kappaleeseen kohdistuvat jännitykset voivat aiheutua ulkoisista kuormista tai kappaleen valmistukseen käytetyistä työmenetelmistä. Kuorman aiheuttama vetojännitys voi olla materiaalin myötölujuutta huomattavasti alhaisempi. Jännityskorroosio ei aiheuta kappaleelle ulkoisesti näkyviä vaurioita, joten sitä voi olla vaikea havaita ennen murtumista. (Aromaa 2005, 77–79.)

Korroosioympäristö on materiaalille ominainen. Normaalisti hyvin korroosiota kestävä materiaali, kuten eräät ruostumattoman teräksen ja alumiinin seokset, ovat alttiita jännityskorroosiolle, mikäli ilmassa on runsaasti klorideja (Teräsrakenneyhdistys 2012, 2). Kuopiossa 4.9.2003 tapahtuneen alakattoromahduksen syyksi varmistui kuvassa 6 näkyvien kiinnikkeiden jännityskorroosio. Vaikka yhden kiinnikkeen ulkoinen kuorma oli vain noin 10 prosenttia sallitusta kuormasta, ruostumattomasta teräksestä valmistetut kiinnitinlangat olivat altistuneet kloridipitoiselle ilmalle ja murtuneet. Onnettomuus olisi voitu välttää käyttämällä esimerkiksi runsasmolybdeenipitoista austeniittistä ruostumatonta terästä tai parantamalla välitilan ilmanvaihtoa. (Onnettomuustutkintakeskus 2003.)



KUVA 6. Kylpylän alakaton romahtaminen Kuopiossa (Kuva: Onnettomuustutkintakeskus)

#### **2.4.6 Korroosio vedessä**

Korroosion vaikutus vedenalaisiin rakenteisiin riippuu muun muassa veden happipitoisuudesta, virtausnopeudesta ja veteen liuenneista suoloista. Veden kemiallinen koostumus vaikuttaa korroosioon merkittävästi. Merivedessä korroosio on nopeinta.

(Metallipintojen teollinen maalaus 2009, 2.)

### 3 KORROOSIONESTOMAALAUUS

#### 3.1 Yleistä

Korroosionestoon tarkoitetut maalit ovat yleisin tapa suojata teräsrakenteita ja samalla muodostaa rakenteelle haluttu ulkonäkö. Niiden toiminta perustuu katodi- tai anodireaktion estämiseen, mikä tapahtuu maalikalvon eristysominaisuuksien tai maalin sisällä tapahtuvien kemiallisten reaktioiden avulla. Maalausjärjestelmät ovat vuosien aikana kehittyneet vastaamaan tiukentuneita standardeja ja toisaalta rakennusten omistajien vaatimuksia kestävyydelle. Maaluskertojen vähentyessä yksittäisten maalikalvojen paksuutta on voitu kasvattaa kehittämällä maaliyhdisteitä.

Korroosionestomaalauksen laadun varmistamiseksi on luotu standardeja, jotka varmistavat, että suunnittelijoilla, pinnoitustyöntekijöillä ja maalivalmistajilla on käytössään viimeisin tieto korroosionestosta maaliyhdistelmillä. Yhdenmukaiset menetelmät auttavat suunnittelussa ja vähentävät väärinkäsityksiä. Standardeissa on esitetty vaatimukset muun muassa maaliyhdistelmille, esikäsitelylle, maalaustyölle ja laadunvalvonnalle. Tärkeimmät voimassa olevat standardit suojamaalausyhdistelmiin liittyen ovat eurooppalainen standardi SFS-EN ISO 12944 osat 1-8 ja suomalainen standardi SFS 5873. Ensimmäisessä on käsitelty mm. ympäristöolosuhteiden luokittelua, rakenteen suunnittelua ja suojamaaliyhdistelmän valintaa. Jälkimmäisen standardin avulla on pyritty helpottamaan suojamaaliyhdistelmien valintaa keräämällä siihen yleisesti käytettyjä maalausyhdistelmiä.

Vaikka standardit tarjoavat paljon tietoa maalausyhdistelmistä, niiden käyttäminen voi olla suunnittelijan kannalta hankalaa ja aikaa vievää. Siksi tässä opinnäytetyössä tuotettiin yrityksen käyttöön yksinkertaiset taulukot, joista suunnittelija voi nopeasti määrittää maalausjärjestelmät eri rasisluokkiin. Taulukot tehtiin sekä standardien että maalivalmistajien omien suositusten mukaan.

### 3.2 Pinnan puhdistus ja esikäsitely

Ennen teräsrakenteen maalausta sen pinta tulee puhdistaa ja esikäsitellä. Pinnan esikäsitelyllä varmistetaan lopullisen maalipinnan laatu parantamalla maalikalvon kestävyyttä ja tarttuvuutta alustaansa. Arvioiden mukaan jopa 50–70 % maalausvaurioista johtuu esikäsitelyn heikkoudesta. Esikäsitelytoimenpiteinä kappaleelle voidaan suorittaa muun muassa esipuhdistus, ruosteenpoisto, kromatointi, fosfatointi, peittäus, tartunta-maalaus ja konepajapohjamaalaus. Esikäsitelytavan valintaan vaikuttavat materiaalin epäpuhtaus, ympäristöolosuhteet, taloudellisuus ja kappaleen muoto. (Metallipintojen teollinen maalaus 2009, 10.)

Esikäsiteltävät pinnat voidaan jakaa pinnoittamattomiin, metallipinnoitettuihin, termisesti ruiskutettuihin, kuuma- ja sähkösinkittyihin, sherardoituihin ja konepajapohjamaalilla maalattuihin pintoihin (SFS-EN ISO 12944-5). Tässä osiossa käsitellään pinnoittamattomia ja konepajapohjamaalilla maalattuja pintoja.

Pinnoittamattomat pinnat ovat paljasta terästä, jonka pinnalla on yleensä sekä ruostetta että valssihilsettä. Valssihilse on kuumavalssauksen jäljiltä jäänyt hauras pintakerros. Se on kiinnittynyt hyvin heikosti alustaansa joten sen päälle maalaaminen ei takaa hyvää tartuntaa. Standardissa SFS-ISO 8501-1 määritellään neljä ruostumisastetta.

- A** Teräspinta, jota laajalti peittää hyvin kiinni oleva valssihilsekerros mutta jossa ruostetta on hyvin vähän tai ei lainkaan.
- B** Teräspinta, jolla on alkavaa ruostumista ja jolta valssihilsekerros on alkanut irrota.
- C** Teräspinta, jolta valssihilse on ruostunut pois tai jolta se voidaan kaapia mutta jossa paljain silmin tarkasteltaessa on havaittavissa vähäistä kuoppakorroosiota.
- D** Teräspinta, jolta valssihilse on ruostunut pois ja jossa paljain silmin tarkasteltaessa on havaittavissa yleistä kuoppakorroosiota.

Ennen kuin pinnan esikäsitelyä voidaan jatkaa, maalattavalta pinnalta on poistettava maalausta haittaavat epäpuhtaudet, kuten öljy, rasva ja lika. Tätä vaihetta kutsutaan esipuhdistukseksi. Tyypillisiä esipuhdistusmenetelmiä ovat vesipesu, alkalipesu, liotinpesu ja emulsiopesu. Mikäli kappaleen pinnalle jää riittämättömän esipuhdistuksen takia ras-

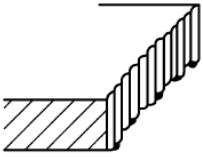
vaa ja likaa, se voi pilata suihkupuhdistusjärjestelmässä käytetyn materiaalin ja siirtää lian seuraaviin kappaleisiin. (Metallipintojen teollinen maalaus 2009, 11–12.)

Pinnan puhdistuksen lisäksi kappaleelle on usein suoritettava mekaanista terästyötä. Tämä sisältää mm. hitsausliitosten, leikkauspintojen ja teräspinnan siistimistä epätasaisuuksista ja roiskeista. Näiden kohtien esikäsitteily määritellään standardin SFS-EN ISO 8501-3 mukaan. Standardissa esikäsitteilyasteet on jaettu luokkiin P1, P2 ja P3 sekä esitetty luokkien vaatimukset pinnanlaadulle. Esikäsitteilyasteen valinta riippuu ympäristön rasisitusluokasta sekä korroosioneston odotetusta käyttöiästä. Myös teräskokoonpanon CE-merkintä edellyttää P-luokan ilmoittamista rakenteen säilyvyyttä koskevissa tiedoissa.

TAULUKKO 5. Terästyön esikäsitteilyasteet (SFS-EN 1090-2)

Korroosioneston odotettu käyttöikä <sup>a</sup>	Rasisitusluokka <sup>b</sup>	Esikäsitteilyaste
>15 vuotta	C1	P1
	C2 ... C3	P2
	Yli C3	P2 tai P3, kuten esitetty
5...15 vuotta	C1...C3	P1
	Yli C3	P2
< 5 vuotta	C1...C4	P1
	C5...Im	P2
<sup>a, b</sup> Korroosioneston odotetun käyttöiän ja rasisitusluokan osalta viitataan tapauskohtaisesti standardeihin EN ISO 12944 ja EN ISO 14713-1.		

TAULUKKO 6. Polttoleikattujen reunojen terästyö esikäsitteilyasteiden mukaan (SFS-EN ISO 8501-3)

Virhetyypit		Esikäsitteilyasteet		
Kuvaus	Piirros	P1	P2	P3
2.3 Polttoleikatut reunat		Pinnalla ei saa olla kuonaa eikä irtonaista hilsettä	Mikään osa reunasta ei saa olla profiililtaan epäsäännöllinen	Leikkauspinta tulee poistaa ja reunat pyöristää siten, että pyöristyssäde on vähintään 2 mm (ks. ISO 12944-3)

Esipuhdistusmenetelmillä ja terästyön esikäsitteilyllä ei pystytä poistamaan teräskappaleen pinnalta ruostetta ja valssihilsettä, vaan siihen on käytettävä jotain ruosteenpoistomenetelmää.

Ruosteenpoistomenetelmän valintaan vaikuttaa

- puhdistettavan teräksen ainevahvuus
- kappaleen koko
- puhdistusolosuhteet
- poistettavan ruosteen laatu
- vaadittava puhdistusaste
- pintaprofiili. (Metallipintojen teollinen maalaus 2009, 13.)

Yleisin ruosteen ja valssihilseen poistoon käytetty menetelmä on suihkupuhdistus, jossa teräsraesingolla ammutaan rakeita kappaleen pintaan. Puhallusmateriaali vaikuttaa pinnan ulkonäköön ja profiiliin. Teräspinnat tulee esikäsitellä standardin SFS-EN ISO 12944-4 mukaisesti.

TAULUKKO 7. Teräspintojen esikäsitelyasteet (SFS-EN ISO 12944-4)

Esikäsitelyaste <sup>a)</sup>	Esikäsitelymenetelmä	Käsiteltyjen pintojen olennaiset ominaisuudet
Sa 2	Suihkupuhdistus standardissa ISO 8504-2 määritellyllä menetelmällä	Suurin osa valssihilseestä, ruosteesta, maalipinnoitteista ja vieraasta aineesta on poistettu. Jäljellejäävien epäpuhtausien on oltava tiukasti kiinni alustassa.
Sa 2 <sup>1/2</sup>		Valssihilse, ruoste, maalipinnoitteet ja vieras aine on poistettu. Jäljelläolevien epäpuhtausjäämien tulee näkyä ainoastaan lievänä täplien tai raitojen muotoisena värjäntymisenä.
Sa 3		Valssihilse, ruoste, maalipinnoitteet ja vieras aine on poistettu. Pinnan oltava kauttaaltaan metallin värinen.
St 2	Puhdistus käsityökaluilla tai koneellisesti (Esim. teräsharjaus). Lisätietoja standardissa ISO 8504-3	Irtonainen valssihilse, ruoste, maalipinnoitteet ja vieras aine on poistettu.
St 3		Irtonainen valssihilse, ruoste, maalipinnoitteet ja vieras aine on poistettu. Pinta käsitellään selkeästi huolellisemmin, kuin esikäsitelyasteessa St 2, tuloksena metallialustan mukainen hohde.
Be	Happopeittaus	Valssihilse, ruoste ja maalipinnoitejäämät poistettu täydellisesti. Maalipinnoitteet poistettava sopivalla menetelmällä ennen peittäystä.
a) Käytetyt lyhenteet: Sa = suihkupuhdistus (ISO 8501-1) St = puhdistus käsityökaluilla tai koneellisesti (ISO 8501-1) Be = happopeittaus		

Suurin osa maalityypeistä edellyttää suihkupuhdistusta puhdistusasteeseen Sa 2<sup>1/2</sup>. Tätä parempaa menetelmää Sa 3:sta käytetään vain erikoistapauksissa, mikäli rasisolosuhteet ovat erittäin vaativat. Mikäli työmaalla tehdään asennushitsauksia tai asennuksen aikana syntyneistä kolhuista aiheutunutta paikkamaalausta, hitsatut ja vaurioituneet pinnat on harjattava ennen maalausta.

### 3.3 Korroosionestomaalit

Korroosionestomaalit koostuvat pääasiassa sideaineista, pigmenteistä, liuotteista ja apuaineista. Sideaine levitetään suoraan puhdistetun ja esikäsitellyn metallin pintaan. Sen tehtävä on muodostaa hyvä tartunta alustaan. Sideaine määrittää maalin lopulliset lujuus- ja kestävyysominaisuudet. Sideaineen tärkeyden takia maalit jaotellaankin usein juuri sen perusteella. Tyypillisiä sideaineen perusteella nimettyjä maaleja ovat esimerkiksi alkydi-, epoksi- sekä polyuretaanimaalit. (Korroosionestomaalauksen käsikirja, 2012)

Sideaineet voivat toimia adheesion ja kemiallisen kestävyuden perusteella jolloin ne pystyvät estämään korroosion leviämisen mikäli pinnoite rikkoutuisikin. Sideaineet voivat sisältää myös metallisia osia, jotka toimivat katodisesti eli uhrautuvat jalomman metallin puolesta. Katodiseen suojaukseen perustuu esimerkiksi sinkkipölyä sisältävien maalien toiminta. (Steel construction info, 2013.)

Maalissa olevat pigmentit ovat orgaanisia tai epäorgaanisia jauheita joiden tehtävä on muodostaa maalille ominainen värisävy ja läpinäkymättömyys. Ne voivat myös joissain tapauksissa vaikuttaa korroosionesto-ominaisuuksiin.

Liuotteet haihduttavat sideaineessa olevia yhdisteitä sekä helpottavat maalin levittyvyyttä alentamalla maalin viskositeettia. Usein ne ovat tulenarkoja orgaanisia nesteitä tai vettä. Liuotteiden haihtuminen muodostaa höyryjä ja haitallisia päästöjä. Viime aikoina on puhuttu erityisen paljon haihtuvista orgaanisista yhdisteistä eli VOC-päästöistä. Kyseinen termi tulee englannin kielen sanoista Volatile Organic Compound. EU on asettanut direktiivejä, jotka määrittelevät muun muassa liuottimien koostumusta ja niiden käyttömääriä. Teollisuus-VOC -asetuksen mukaan metallin pintakäsittelyä tekevän yrityksen on laskettava vuotuiset liuotepäästönsä ja asetettujen raja-arvojen perusteella joko haettava ympäristölupaa, investoitava puhdistusjärjestelmiin tai tehtävä päästöjen vähentämissuunnitelma (Teollisuutta ja maaleja koskevat... 2011). Direktiivien ansiosta jotkut pintakäsittelyä tekevät yritykset ovat lopettaneet suosittujen alkydi-maalien käytön, niiden korkean VOC-pitoisuuden takia. Tiukentuneet direktiivit ovat johtaneet myös siihen, että maalivalmistajat ovat kehittäneet entistä ympäristöystävällisempiä maaleja. Esimerkiksi maalivalmistaja Teknoksen valikoimista löytyy täysin liuotteettomia epoksi- tai polyuretaanimaaleja. Maalin kuiva-ainepitoisuutta on myös py-



ritty nostamaan, jolloin liuotteiden määrä on voitu vähentää. Toisaalta markkinoilla on ollut jo vuosia vesiohenteisia maaleja, jotka omaavat hyvin alhaiset VOC-pitoisuudet. Epoksi- ja polyuretaanimaalien ympäristöystävällisemmäksi vaihtoehdoksi kehitetyt oksiraaniesterimaalit ovat esimerkki jatkuvasta kehitystyöstä, jolla pyritään vaikuttamaan teollisuusmaalauksen aiheuttamiin päästöihin.

Maalit voidaan jaotella monella eri tapaa, mutta rakennesuunnittelijan kannaltaärkevin tapa on jaotella ne sideaineen mukaan. Rakenteelle määrättävä maalausyhdistelmä nimetään suunnitelma-asiakirjoihin juuri sideaineen pohjalta. Myös maalausjärjestelmissä maalien tunnuksot määräytyvät sideaineen pohjalta. Tässä opinnäyteyössä on esitelty tyypillisimmät talonrakennuksessa käytetyt maalityypit.

TAULUKKO 8. Maalityyppien tunnuksot

Maalityyppi	Tunnus
AK	Alkydimaalit
AY	Akryylimaalit
EP	Epoksimaalit
OX	Oksiraaniesterimaalit
CR	Kloorikautsumaalit
PUR	Polyuretaanimaalit
SI	Silikonimaalit
ESiZn(R)	Sinkkisilikaattimaalit
PVC	Vinyylimaalit
EPZn(R)	Sinkkiepoksimaalit

### 3.3.1 Alkydimaalit (AK)

Yksikomponenttiset alkydimaalit sisältävät erilaisista öljyistä peräisin olevia rasvahappoja, jotka liuotteiden haihduttua reagoivat hapen kanssa ja alkavat kuivua. Kuivuminen lopulliseen lujuteen voi kestää viikkoja riippuen ilman lämpötilasta. Päällemaalattavuusaika, eli aika jonka jälkeen voidaan maalata seuraava maalikerros, vaihtelee muutamasta tunnista viikkoon. Korkean kuiva-ainepitoisuuden omaavilla tuotteilla on yleensä pidemmät kuivumisajat. Alkydimaalit ovat halvan hintansa ja hyvien sään- ja kulukskestävyysominaisuuksien vuoksi suosittuja lievissä rasitusolosuhteissa. Yksikomponenttisuuden takia niillä on helppo maalata pieniä määriä esimerkiksi paikkamaalauksia. Toisaalta ne sisältävät runsaasti VOC-yhdisteitä, mikä voi rajoittaa niiden runsasta käyttöä. (Metallipintojen teollinen maalaus 2009, 35.)

### 3.3.2 Epoksimaalit (EP)

Epoksimaalit ovat kaksikomponenttisiä eli ne koostuvat maaliosasta ja koveteosasta, joita sekoitetaan toisiinsa tietyssä suhteessa. Tuloksena syntynyt maalikalvo kestää todella hyvin liuotteita, lämpöä, kemikaaleja ja kulutusta. Epoksipohjaisia maaleja voidaan käyttää rasisitusluokissa C2-C5 sekä upotusrasisitusolosuhteissa. Eräs epoksimaaleille ominainen piirre on huono UV-säteilyn kesto. Siksi sen käyttöä ulkotiloissa tulisi välttää tai valita värisävy niin, ettei UV-säteilyn aiheuttama liituntuminen näy (Metallipintojen teollinen maalaus 2009, 36.). Liituntuminen tulisi huomioida myös halleissa, joiden runko asennetaan kesän aikana eikä katon suojaavaa vaikutusta ole saatavilla ennen syksyä. Tällöin aurinkoinen sää voi aiheuttaa merkittäviä ulkonäköhaittoja. Epoksimaalit voidaan päällemaalata polyuretaanimaaleilla liituntumisen estämiseksi. Myös epoksimaalin värivalinnalla voidaan vaikuttaa liituntumisen näkymiseen.

### 3.3.3 Polyuretaanimaalit (PUR)

Polyuretaanimaalit ovat myös kaksikomponenttisiä, jotka erottuvat epoksimaaleista erilaisten maali- ja koveteosien ansiosta. Polyuretaanimaalit voidaan edelleen jaotella koveteosan perusteella alifaattisiin ja aromaattisiin. Näiden komponenttien koostumusta vaihtelemalla saadaan maalille aikaan erilaisia ominaisuuksia. Polyuretaanimaaleille tyypillisiä ominaisuuksia ovat säänkestävyys, värinsäilyvyys, kemikaalinkestävyys ja liituumattomuus. Niiden avulla voidaan saavuttaa pintakäsittely, joka täyttää kaikkien ilmastorasisitusluokkien vaatimukset. Tyypillisesti niitä käytetään maalausjärjestelmissä epoksipohjamaalien pintamaaleina. (Korroosionestomaalaus 2012, 27.)

### 3.3.4 Oksiraaniesterimaalit (OX)

Kaksikomponenttiset oksiraaniesterimaalit ovat tulleet markkinoille tarjoamaan ympäristöystävällinen vaihtoehto lievempiin rasisitusluokkiin. Ne kestävät hyvin rasvoja, öljyjä, liuotteita, happoja ja suolaliuoksia, mutta eivät alkydimaalien tapaan kestä alkalisia aineita. Vähäisten päästöjen takia oksiraaniesterimaalit ovat hyvä vaihtoehto alkydi-, epoksi- ja polyuretaanimaaleille. Oksiraaniesterimaalit ovat kehitetty erityisesti nopea- ja yksikerrosmaalaukseen. (Korroosionestomaalaus 2012, 28.)

### 3.3.5 Sinkkipölymaalit (Zn(R))

Maaleja, joiden kuiva-ainepitoisuudesta yli 80 prosenttia on sinkkiä, kutsutaan sinkkipölymaaleiksi. Yleensä ne sisältävät sinkkiä jopa 90 prosenttia. Maalin toiminta perustuu sinkin hyviin korroosionesto-ominaisuuksiin. Mikäli rakenteeseen tulee asennusvaiheessa kolhuja tai naarmuja, sinkki estää korroosion syntymisen. Sideaineen ominaisuudet määrittelevät suurimman osan maalin ominaisuuksista, joten sen valinta on tärkeää. Sinkkisilikaattimaalit ovat yleensä sideaineeltaan etyyლისilikaattipohjaisia ja ne kovettuvat kostean ilman vaikutuksesta. Käytetyimpiä sinkkipohjaisia maaleja ovat sinkkiepoksipohjamaalit. Sinkkisilikaattimaalin etuja sinkkiepoksimaaliin verrattuna on

- kulutuksen kestävyys
- liuotteiden ja meriveden kestävyys
- korroosionkestävyys ilman pintamaalia
- kosteudensietokyky maalauksen jälkeen
- kuivuminen myös alhaisissa lämpötiloissa. (SILKO 1990, 14.)

Toisaalta sinkkisilikaattimaalit ovat herkkiä pinnan epäpuhtauksille kuten öljylle ja rasvoille. Niiden kuivuminen vaatii kosteat olosuhteet ja on silti melko hidasta (SILKO 1990, 14.). Yleensä sinkkipohjaisia maaleja käytetään maalausjärjestelmien pohjamaaleina, jolloin maalausjärjestelmään kuuluu epoksipohjainen välimaali sekä polyuretaanipohjainen pintamaali. Sinkkipohjaisilla maaleilla voidaan muodostaa maalausjärjestelmiä kaikkiin rasitusluokkiin, mutta eniten niitä käytetään vaativissa rasitusolosuhteissa.

### 3.3.6 Akryylimaalit (AY)

Akryylimaaleja voidaan valmistaa sekä liuote- että vesiohenteisina. Ne ovat yksikomponenttisia ja niitä käytetään rasitusluokissa C2-C3. Vesiohenteisten akryylimaalien VOC-yhdisteiden määrä on vähäinen ja niitä voidaan käyttää myös liuoteohenteisten pintamaalien kanssa. Akryylimaalit kuivuvat suhteellisen nopeasti ja kuivumista voidaan myös nopeuttaa lämmittämällä. (Tikkurila, 2013)

### 3.3.7 Palosuojamaalit

Tulipalotilanteissa rakenteiden on kestävä sortumatta tietty minimiaika. Rakennuksen paloluokasta riippuen, tämä saattaa edellyttää teräsrakenteiden suojausta palosuojamaaleilla. Palotilanteessa ne paisuvat jopa kymmenkertaisiksi ja hidastavat rakenteen lämpötilan nousua. Palosuojamaalit kestävät huonosti säärasituksia ja kulutusta. Siksi ne on suojattava hyvin ennen kuljetusta tai maalattava tarkoitukseen sopivilla pintamaaleilla. Huonon ympäristörasituskestävyyden takia niitä käytetään lähinnä kuivissa sisätiloissa, mutta pintamaalien avulla niitä voidaan käyttää myös ulkona C2-luokan olosuhteissa.

### 3.3.8 Konepajapohjamaalit

Mikäli terästuote halutaan suihkupuhdistuksen jälkeen suojata väliaikaisesti, voidaan käyttää konepajapohjamaalia. Yleensä konepajapohjamaalin päälle tehdään lopullinen korroosionestomaalaus, jonka soveltuvuus konepajapohjamaalille tulisi varmistaa. Yhteensopivuutta voidaan alustavasti arvioida taulukossa 9 esitettyjen tietojen perusteella. Usein konepajapohjamaalien tarkoitus on antaa rakenteelle suoja valmistuksen, kuljetuksen ja asennuksen ajaksi. Toisaalta konepajapohjamaaleja voidaan käyttää rakenteen ainoana korroosionestomaalina, mikäli rakenteeseen kohdistuu ympäristörasituksia ainoastaan valmistuksen ja asennuksen aikana. Konepajapohjamaalien tulisi

- levittyä ja kuivua nopeasti
- kestää mekaanista kulutusta kappaleen siirtelyn aikana
- antaa väliaikainen suoja metallipinnalle
- mahdollistaa kappaleen hitsaus ja polttoleikkaus
- soveltua päällemaalaukseen (SFS-EN ISO 12944-5, 52.)

TAULUKKO 9. Konepajapohjamaalien soveltuvuus eri maalausyhdistelmiin (SFS-EN ISO 12944-5)

Konepajapohjamaali		Yleisten konepajapohjamaalityyppien yhteensopivuus maallyhdistelmien pohjamaalien kanssa						
Sideainetyyppi	Korroosionesto-pigmentti	Alkydi	CR	Vinyyli/ PVC	Akryyli	Epoksi <sup>a</sup>	Polyuretaani	Sinkki-silikaatti
Alkydi	Sekalainen	√	NC	NC	√	NC	NC	NC
Poly(vinyyli-butyraali)	Sekalainen	√	√	√	√	NC	NC	NC
Epoksi	Sekalainen	√	√	√	√	√	√	NC
Epoksi	Sinkkipöly	NC	√	√	√	√	√	NC
Silikaatti	Sinkkipöly	NC	√	√	√	√	√	√ <sup>b</sup>
Akryyli (vesiohenteinen)	Sekalainen	NC	√	NC	√	NC	√	NC

HUOM. Maalien koostumukset vaihtelevat. Yhteensopivuuden tarkistamista maalin valmistajalta suositellaan.  
 √ = periaatteessa yhteensopiva  
 NC = periaatteessa ei yhteensopiva  
<sup>a</sup> Mukaan lukien epoksiyhdistelmät, esim. hiilivetyhartsit.  
<sup>b</sup> Edellyttää pyyhkäisy puhallusta

Mikäli konepajapohjamaalattu kappale on tarkoitus käsitellä palosuojamaalilla, tulisi konepajapohjamaalin yhteensopivuus palosuojamaalin kanssa varmistaa. Myös oikea-tyyppisen pintamaalin valinta on tärkeää. Väärä maalivalinta voi aiheuttaa kuplimista. Yhteensopivat pohja- ja pintamaalit on listattu palosuojamaalien tuoteselosteissa. Tässä opinnäytetyössä tehtiin taulukko, johon on koottu Suomessa käytössä olevien palosuojamaalien kanssa yhteensopivat pohja- ja pintamaalit. Taulukko on tämän opinnäytetyön liitteenä 1.

### 3.4 Maalausjärjestelmän valinta

Maalattavan alustan, sen esikäsitteilyn ja maalikalvon yhdistelmää kutsutaan maalausjärjestelmäksi tai suojamaaliyhdistelmäksi. Sen tehtävä on muodostaa riittävä suoja korroosiota vastaan ja antaa rakenteelle haluttu ulkonäkö. Lievimmissä rasitusluokissa maalausjärjestelmä saattaa sisältää vain yhtä maalia, jota voidaan maalata useampaan kertaan. Ankarimmissa rasitusolosuhteissa maalityyppejä ja -kerroksia on tavallisesti useita. Maalikalvojen tyypilliset kokonaispaksuudet ovat 80–400 mikrometrin välillä rasitusluokasta riippuen. Tässä osiossa käsitellään maalausjärjestelmän valintaa teräspinnoille. Sinkittyjen pintojen maalausjärjestelmävalintaa käsitellään kappaleessa 5.5.

Rakennesuunnittelijan tehtäviin kuuluu määrittää riittävä maalausyhdistelmä rakenteelle, jotta se kestävä ympäristön aiheuttamat rasitukset. Maaliyhdistelmän kestävyys riippuu kuitenkin monesta muustakin tekijästä kuin maalityypistä. Kestävyys vaikuttaa

- rakenteen suunnittelu
- alustan kunto
- esikäsitteilyaste
- terästyön laatu
- maalin levitystyö
- maalausolosuhteet
- olosuhteet maalauksen jälkeen.

Teräsrakenteiden eurokoodin SFS-EN 1993-1-1 mukaan rakenteita, joiden ympäristön suhteellinen kosteus ei nouse yli 80 prosenttiyksikön, ei tarvitse suojata korroosiolta.

Kuivissa sisätiloissa, jotka kuuluvat rasitusluokkaan C1, ei välttämättä tarvita minkäänlaista korroosionestoa. Näkyviin jäävät osat voidaan esteettisistä syistä maalata C2-luokan yhdistelmillä, joilla on matala kestävyys. Mikäli C1-luokan olosuhteisiin tulevia rakenteita varastoidaan tai kootaan ankarimmissa rasitusolosuhteissa, tulisi rakenteelle määrätä olosuhteisiin soveltuva pohjamaali, sillä alkanut korroosio jatkuu myös lopullisessa sijainnissa, vaikka rasitusolosuhteet olisivatkin reilusti lievemmat (SFS EN-ISO 12944-5). Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi olosuhteisiin soveltuvia konepajapohjamaaleja. Esimerkiksi meren rannalle rakennettavan, kuiviin sisätiloihin suunnitellun, hallin runko saattaa olla kuukausia ilman kattoa tai seiniä. Seinien ja katon valmistumisen jälkeenkin voi niiden vesitiiviiksi saattaminen viedä aikaa. Mikäli tällaisia rasitusolosuhteita ei huomioida suunnitteluvaiheessa, alkanut korroosio voi johtaa metallipintojen vaurioitumiseen ja kalliisiin korjaustoimenpiteisiin.

Ympäristön rasisuusluokan lisäksi suunnittelijan tulisi pohtia rakenteen käyttöikä ja huoltomaalaustarvetta. Voi olla, että jotain rakenteen osaa ei ole mahdollista huolto- tai uudelleenmaalata, jolloin maalausjärjestelmän tulisi kestää koko rakennuksen suunnittelun käyttöiän. Suunnittelijan on myös huomioitava rakenteen kuljetuksen ja asennuksen aiheuttamat kolhut, jotka on paikkamaalattava asennuksen jälkeen työmaalla. Tällöin tulisi valita maalausyhdistelmä, jota voidaan paikkamaalata työmaalla vallitsevissa olosuhteissa.

Maaliyhdistelmän valintaan vaikuttaa suuresti myös arkkitehdin näkemykset rakenteen ulkonäöstä. Värisävyt ja kiiltoasteet löytyvät yleensä arkkitehdin maalaustyöselityksestä. Maalivalmistajilta löytyy laaja kirjo eri värisävyjä etenkin lievempiin rasisuusolosuhteisiin, mutta erityisrasituksiin tulevien maalien väriarvikoima tulisi aina tarkistaa. Lisäksi maalivalinnassa on huomioitava värisävyn ja kiillon pysyvyys etenkin ulkoilmaan tulevissa rakenteissa. Kiillon ja värisävyn säilyvyyttä voidaan arvioida maalin sideaineen perusteella. Taulukosta 10 voidaan havaita, että etenkin polyuretaanipohjaiset maalausjärjestelmät säilyttävät kiiltonsa ja värinsä hyvin.

TAULUKKO 10. Kiillon ja värisävyn pysyvyys (SFS-EN ISO 12944-5)

Soveltuvuus	Poly(vinyylifloridi) (PVC)	Kloorikautsu (CR)	Akryyli (AY)	Alkydi (AK)	Polyuretaani, aromaattinen (PUR, aromaattinen)	Polyuretaani, alifaattinen (PUR, alifaattinen)	Etyylisinkkisiikaatti (ESI)	Epoksi (EP)	Epoksiyhdistelmä (EPC)
■ Hyvä									
▲ Rajoitettu									
● Huono									
– Merkityksetön									
Kiillon pysyvyys	▲	▲	▲	▲	●	■	–	●	●
Värisävyn pysyvyys	▲	▲	■	▲	●	■	–	●	●

### 3.4.1 Taulukot

Standardiin SFS EN-ISO 12944-5 on koostettu taulukoita, jotka sisältävät kokemuspärisesti hyväksi todettuja maalausyhdistelmiä eri rasisuusluokkiin. Yhdistelmiin on myös lisätty standardissa SFS-EN ISO 12944-1 esitetyt seuraavat kestävyysluokitukset:

1. Alhainen (L) 2 – 5 vuotta
2. Kohtalainen (M) 5 – 15 vuotta
3. Korkea (H) yli 15 vuotta.

Kestävyyssuoritus ei tarkoita samaa kuin takuu-aika, vaan se on rakenteen oletettu kestoikä ennen merkittävää huolto- tai uudelleenmaalausta. Ensimmäisen laajemman huoltomaalauksen oletetaan tapahtuvan, kun maalattu rakenne on saavuttanut standardin ISO 4628 -mukaisen ruostumisasteen Ri 3. Käyttöikä voidaan parantaa paksuntamalla maalikalvoa tai valitsemalla ankaramman rasitusluokan maaliyhdistelmä.

Standardin SFS-EN ISO 12944-5 taulukoissa maalausyhdistelmät on esitetty sideainetyypeittäin. Joissain järjestelmissä voi olla useita mahdollisia maalityyppejä, jolloin ne on erotettu toisistaan pilkuilla. Taulukoissa on esitetty myös maalikalvojen minimimäärä, niiden nimellinen kuivakalvonpaksuus NDFT (Nominal Dry Film Thickness) ja seuraavat maalikalvot mikäli niitä on.

Taulukko 11. Maalausyhdistelmiä rasitusluokkaan C2 (SFS-EN ISO 12944-5)

Alusta: niukkaseosteinen hiiliteräs										
Pinnan esikäsitely: Luokalle Sa 2½ ainoastaan ruostumisaste A, B tai C (ISO 8501-1)										
Yhdistelmän nro	Pohjuste				Seuraavat kalvot	Maaliyhdistelmä		Arvioitu kestävyys		
	Sideaine	Pohjamaalityyppi <sup>a</sup>	Kalvojen lukumäärä	NDFT <sup>b</sup> yksikössä µm		Sideainetyyppi	Kalvojen lukumäärä	NDFT <sup>b</sup> yksikössä µm	Alhainen	Kohtalainen
A.2.01	AK	sek.	1	40	AK	2	80			
A2.02	AK	sek.	1-2	80	AK	2-3	120			
A2.03	AK	sek.	1-2	80	AK, AY, PVC, CR <sup>c</sup>	2-4	160			
A2.04	AK	sek.	1-2	100	–	1-2	100			
A2.05	AY, PVC, CR	sek.	1-2	80	AY, PVC, CR <sup>c</sup>	2-4	160			
A2.06	EP	sek.	1-2	80	EP, PUR	2-3	120			
A2.07	EP	sek.	1-2	80	EP, PUR	2-4	160			
A2.08	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>e</sup>	–	1	60			

Standardissa SFS EN-ISO 12944-5 ei ole esitetty maalausjärjestelmiä erityisrasitusten alaisiin rakenteisiin. Tällaisia rasituksia ovat esimerkiksi mekaaniset rasitukset ja lämpörasitukset. Yleisellä tasolla maalin erityisrasitusten kestävyyttä voidaan arvioida maalin sideaineen perusteella. Taulukossa 12 on vertailtu erilaisten maalityyppien erityisrasituskestävyyksiä.



TAULUKKO 12. Maalityyppien erityisrasituskestävyys (SFS-EN ISO 12944-5)

Soveltuvuus	Poly(vinyylilokloridi) (PVC)	Kloorikautsu (CR)	Akryyli (AY)	Alkydi (AK)	Polyuretaani, aromaattinen (PUR, aromaattinen)	Polyuretaani, alifaattinen (PUR, alifaattinen)	Etyylisinkkiiliikaatti (ESI)	Epoksi (EP)	Epoksiyhdistelmä (EPC)
■ Hyvä									
▲ Rajoitettu									
● Huono									
– Merkityksetön									
Kiillon pysyvyys	▲	▲	▲	▲	●	■	–	●	●
Värisävyn pysyvyys	▲	▲	■	▲	●	■	–	●	●
Kemikaalienkestävyys									
Vesiupotus	▲	■	▲	●	▲	●	▲	■	■
Sade/kondensoituminen	■	■	■	▲	■	▲	■	■	■
Liutotteet	●	●	●	▲	■	▲	■	■	▲
Liutotteet (roiskeet)	●	●	●	■	■	■	■	■	■
Hapot	▲	■	▲	▲	■	▲	●	▲	■
Hapot (roiskeet)	■	■	▲	▲	■	■	●	■	■
Emäkset	▲	▲	▲	▲	▲	▲	●	■	■
Emäkset (roiskeet)	■	■	▲	▲	■	■	●	■	■
Kuivan kuumuuden kestävyys									
70 °C:seen saakka	●	●	▲	■	■	■	■	■	■
70 °C...120 °C	–	–	▲	■	■	■	■	■	▲
120 °C...150 °C	–	–	▲	●	▲	–	■	▲	▲
> 150 °C mutta ≤ 400 °C	–	–	–	–	–	–	■	–	–
Fysikaaliset ominaisuudet									
Kulutuskestävyys	●	●	●	▲	■	▲	■	■	▲
Iskun kestävyys	▲	▲	▲	▲	■	▲	▲	■	▲
Joustavuus	■	■	■	▲	▲	■	●	▲	▲
Kovuus	▲	▲	▲	■	■	▲	■	■	■

Mikäli rakenteeseen kohdistuu erityisrasituksia, tulisi maalin kestävyys varmistaa aina tapauskohtaisesti keskustelemalla maalivalmistajan kanssa. Maalivalmistajilta löytyy myös maalausjärjestelmätaulukoita erityisrasitusolosuhteisiin.

TAULUKKO 13. Nor-Maali Oy:n maaliyhdistelmiä erityisrasitukseen (Erikoismaaliyhdistelmät, 2005)

KEMIALLINEN, UPOTUS-JAMEKAANINENRASITUS					
Rasitusluokka Corrosivity category	SFS-EN ISO 12944-5 MERKINTÄTUNNUS	Nor-Maali Oy:n MAALIYHDISTELMÄ	µm	LISÄTIETO	Kokonaisnimellis- kuivakalvonpaksuus Total NDFT µm
Im1 – Im2	EP500/2-FeSa2½	EPOCOAT 300	2 x 250	Juomavesi/elintarvike-lausunto	500
Im1 – Im3 Kemikaaliroiske ja upotus	EP300/1-FeSa2½	EPOCOAT 330	1 x 300	Erinomainen emästen ja happojen kestävyys. Erillinen kestävyystaulukko	300
Im1 – Im3 Mekaaninen rasitus, jäärasitus	EP500/1-FeSa2½	MARATHON IQ	1 x 500	Jäärasitusreferenssejä	500
Liutinupotus	EP300/2-FeSa2½	TANKGUARD STORAGE	2 x 150	Kemikaalien kestävyystaulukko	300
Im1 – Im3 Kemikaali-, Liutin- ja Kuumaputus Mekaaninen rasitus	EP500/2-FeSa2½	MARATHON	2 x 250	Lasihutalevahvistettu. Hyvä lämpöupotus-, kemikaali- ja mekaaninen kestävyys	500
Im1 – Im3 Mekaaninen rasitus	Lasihutalepolyesteri 1200 µm	BALTOFLAKE	2 x 600	Erinomainen veden ja mekaaninen kestävyys. Erillinen käyttöohje	1200
Im1 – Im3 Kemikaaliputus Kuumaputus	Lasihutalevinyylesteri 1500 µm	CHEMFLAKE SPECIAL	2 x 750	Erillinen kemikaalikestävyystaulukko. Erillinen käyttöohje.	1500

Suomalainen SFS 5873 -standardi on luotu helpottamaan maalivalintaa. Siihen on koostettu maalijärjestelmien käyttösuosituksia prosessi- ja metalliteollisuudelle. Järjestelmät on lajiteltu rasisluokittain ja myös erityisrasitukset on huomioitu. Standardissa on myös SFS-EN ISO 12944-5 mukaisia järjestelmiä, jotka voidaan tunnistaa A-kirjaimesta suojamaaliyhdistelmän tunnuksessa.

TAULUKKO 14. Maalausjärjestelmiä rasisluokkaan C3 (SFS 5873)

C3 Kohtalainen Medium	A3.08 EPPUR160/2-FeSa2½	A3.08 EPPUR160/2- FeSa2½	R25.05 EPPUR160/2- FeSt2
		A3.08 EP160/2-FeSa2½	R25.06 EP160/2-FeSt2
	F20.08 EPPSI160/2-FeSa2½		R25.12 EPPSI160/2- FeSt2

Maalausjärjestelmän valintaa helpottaakseen myös maalivalmistajat ovat laatineet omia taulukoitaan, joissa heidän järjestelmänsä ovat lajiteltuna rasisluokittain. Suunnitelmia laadittaessa ei välttämättä tiedetä mikä konepaja osat valmistaa ja minkä valmistajan maaleilla ne maalataan. Tästä syystä maalausjärjestelmien valinnassa tulisi huomioida, että valittuun järjestelmään on olemassa mahdollisimman monen valmistajan tuotteita.

Tämän opinnäytetyön osana luotu maalausjärjestelmätaulukko on tehty standardien SFS-EN ISO 12944-5 ja SFS 5873 pohjalta. Apuna on käytetty suomalaisten maalivalmistajien taulukoita. Laadinnassa on pyritty varmistamaan, että jokaiseen järjestelmään on saatavilla suomalaisten maalivalmistajien tuotteita. Taulukkoon on listattu rasisluokittain maalausjärjestelmiä oikeaoppisen merkintätavan mukaan, jolloin suunnittelija voi helposti siirtää järjestelmän suunnitelma-asiakirjoihin. Taulukossa 15 on esitetty rasisluokkiin C1-C2 soveltuvia maalausjärjestelmiä.

TAULUKKO 15. Tässä opinnäytetyössä laadittu maalausjärjestelmätaulukko rasisluokkiin C1–C2

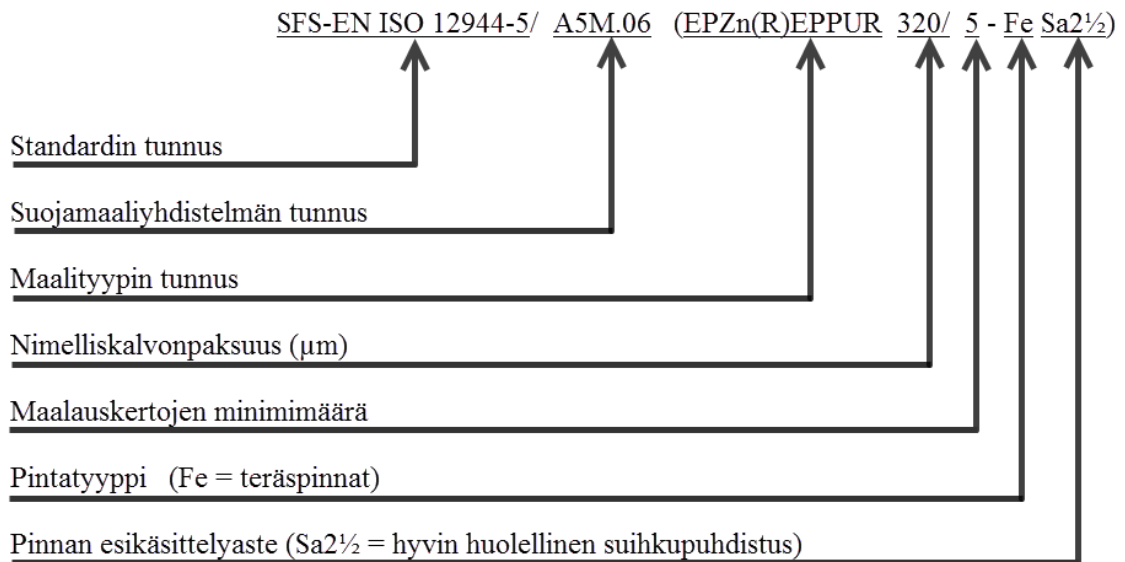
RASITUSLUOKKA	Sijainti ulkona/sisällä	SFS-EN ISO 12944-1 Kestävyyssluokka (Low-Med-High)
C1...C2	SFS-EN ISO 12944-5/A2.01 (AK80/2-FeSa2½)	C2/L
Hyvin lievä...lievä	SFS-EN ISO 12944-5/A2.02 (AK120/2-FeSa2½)	C2/M (C3/L)
	SFS-EN ISO 12944-5/A2.05 (AY160/3-FeSa2½)	C2/H (C3/M)
	SFS 5873/F20.02 (AY120/2-FeSa2½)	
	SFS 5873/F20.03 (PUR100/1-FeSa2½)	
	SFS 5873/F20.07 (OX100/1-FeSa2½)	

### 3.4.2 Merkintä

Valittu maalausjärjestelmä merkitään suunnitelma-asiakirjoihin standardissa SFS-EN ISO 12944-5 esitetyllä tavalla. Maalausjärjestelmän merkintätapa koostuu standardin tunnuksesta ja taulukon järjestelmänumerosta. Järjestelmänumerossa A-kirjaimen jälkeinen numero ilmaisee rasisluokan, johon maalausjärjestelmä on tarkoitettu. Esimerkkinä taulukon A2 maalausjärjestelmä A2.01.

#### SFS-EN ISO 12944-5/A2.01

Standardissa esitetty merkintätapa on varsin yksinkertainen eikä se tarjoa paljoakaan informaatiota. Sen takia Suomessa käytössä olevaa merkintätapaa on muokattu lisäämällä sulkumerkkien sisään tarkentavia tietoja maalausjärjestelmän rakenteesta. Alla olevassa esimerkissä on esitetty C5-M rasisluokan maalausjärjestelmä. Järjestelmässä on sinkkiepoksipohjamaali, epoksipohjainen välimaaali sekä polyuretaanipohjainen pintamaali. Merkintä (R) tarkoittaa, että pohjamaalin kuivakalvossa on yli 80 painoprosenttia sinkkiä.



KUVA 7. Maalausjärjestelmän suomalainen merkintätapa

Myös standardissa SFS 5873 olevia merkintöjä käytetään. Tällöin merkintätapa muuttuu standardin tunnuksen ja suojamaaliyhdistelmän numeron osalta. Alla olevassa esimerkissä on standardin SFS 5873 mukainen oksiraaniesteripohjainen maalausjärjestelmä rasitusluokkaan C2.

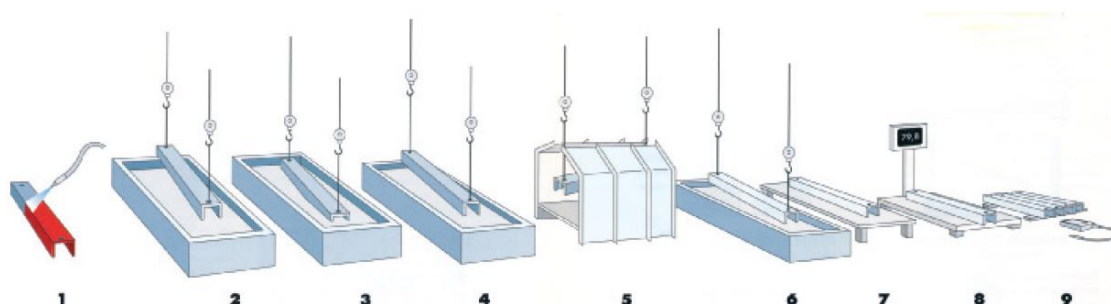
SFS 5873/F20.07 (OX100/1-FeSa $2\frac{1}{2}$ )

## 4 KUUMASINKITYS PINNOITUSMENETELMÄNÄ

### 4.1 Menetelmäkuvaus

Teräsrakenteiden kuumasinkitys on yleinen tapa suojautua korroosiota vastaan. Sen avulla teräs voidaan suojata useimpia ympäristörasitusolosuhteita vastaan niin, että suurille huoltotoimille ei ole tarvetta. Sinkityksen avulla voidaan päästä jopa koko rakenteen elinkaaren kestäviin pinnoitteisiin. Sen toiminta perustuu galvaaniseen korroosioon ja metallien jalousaste-eroihin. Sinkki on epäjalometalli, mutta syöpyessään se muodostaa korroosiotuotteita pinnallensa, jotka suojaavat pintaa hidastamalla korroosiota. Sinkkipinnoituksen kestoikä on suoraan verrannollinen sen paksuuteen. Tyypillisesti sinkittävän kerroksen paksuudet ovat noin 60–150 mikrometriä. Sinkki antaa myös hyvän suojan mekaanista kulutusta ja kolhuja vastaan. (Kuumasinkityksen toimintaketju 2007)

Kuumasinkityksessä teräskappale kastetaan sulaan sinkkimetalliin, jolloin sinkki kiinnittyy kemiallisesti teräksen pintaan. Yleisimpänä kuumasinkitysmenetelmänä käytetään kuivamenetelmää. Menetelmä on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Kuumasinkitysprosessi (Kuumasinkityksen toimintaketju 2007, 3.)

1. Maalin, rasvan, lian ja muiden epäpuhtauksien poisto
2. Happopeittaus suola- tai rikkihapossa ruosteen ja valssihilseen poistamiseksi
3. Vesihuuhtelu
4. Juoksetekylpy estää hapettumisen ennen sinkkikylpyä
5. Kuivaus
6. Upotus 450 asteiseen sinkkiin, 3 – 6 minuuttia
7. Jäähdytys
8. Punnitseminen

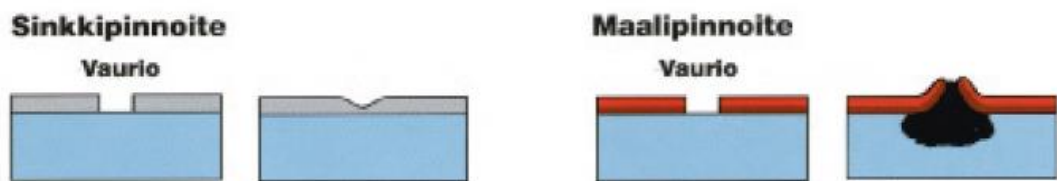
## 9. Tarkastus ja mittaus (Kuumasinkityksen toimintaketju 2007, 3.)

## 4.2 Ominaisuudet

Prosessissa teräkselle saadaan kauttaaltaan tasainen suojakerros, joka pystyy suojaamaan rakennetta myös asennusaikaisilta kolhuilta. Mikäli rakenne kärsii vaurioita, sinkki liukenee halkeaman päälle ja pystyy näin suojaamaan terästä. Maalauksessa kappaleen nurkat saattavat usein jäädä maalikalvopaksuuksiltaan vajaiksi, mutta sinkittäessä myös terävät nurkat saavat tasaisen kerrosvahvuuden.



KUVA 9. Sinkkipinnoitteen peittokyky terävissä reunoissa (Kuumasinkityksen toimintaketju 2007, 2.)



KUVA 10. Sinkkipinnoitteen kyky korjata paikalliset vauriot (Kuumasinkityksen toimintaketju 2007, 2.)

Hyvän kulutuskestävyyden ja matalien elinkaarikustannusten takia sinkityt kappaleet ovat suosittuja kohteissa joissa vaaditaan pitkää käyttöikä ilman huoltotoimenpiteitä. Maalatuilla rakenteilla 50 vuoden käyttöikä voi edellyttää 1–3 uusinta- tai huoltomaalausta. Sinkityillä rakenteilla kalliit huoltomaalaukset voidaan välttää kokonaan. Sitä käytetäänkin paljon kunnallistekniikassa ulkotiloihin sijoittuvissa rakenteissa kuten aidoissa ja katuvalaisimissa. Kuumasinkityksellä voidaan saavuttaa ainakin seuraavia etuja:

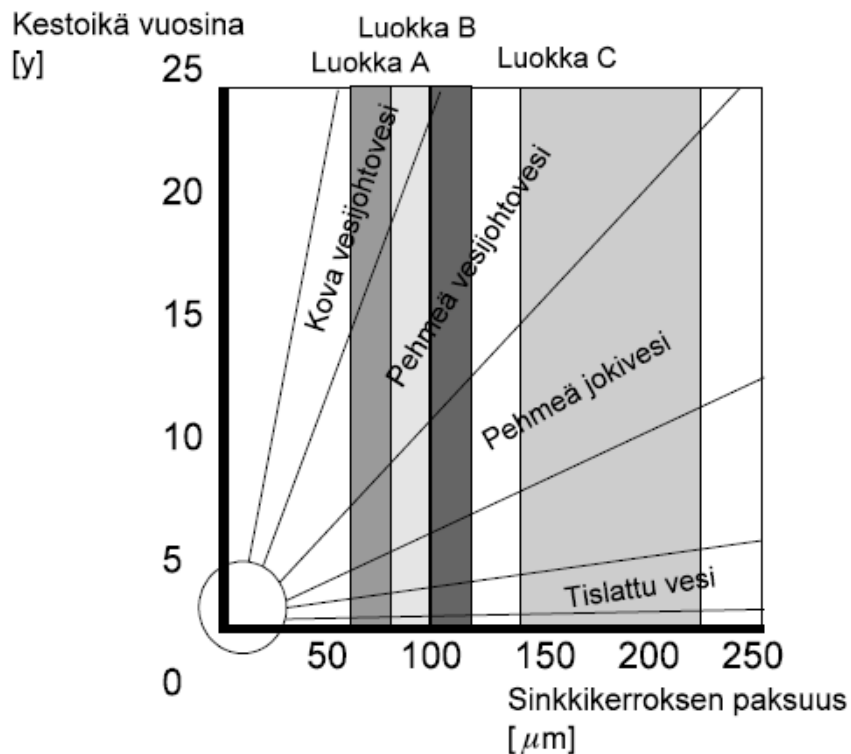
- Riittävä korroosiosuoja koko rakenteen käyttöäiksi
- Matalat elinkaarikustannukset
- Hallittu pinnoitusprosessi sisätiloissa
- Säilytys-, kuljetus- ja asennuskestävyys
- Katodinen suojaus vaurioiden kohdalla

- Ympäristöystävällisyys uusiokäyttömahdollisuuden vuoksi
- Ympäröivät olosuhteet eivät vaikuta pinnoitteen laatuun
- Tasainen pinnoitus myös monimuotoisille rakenteille
- Kerrospaksuus voidaan tarkistaa helposti. (Thomas, Wallin 2000, 40.)

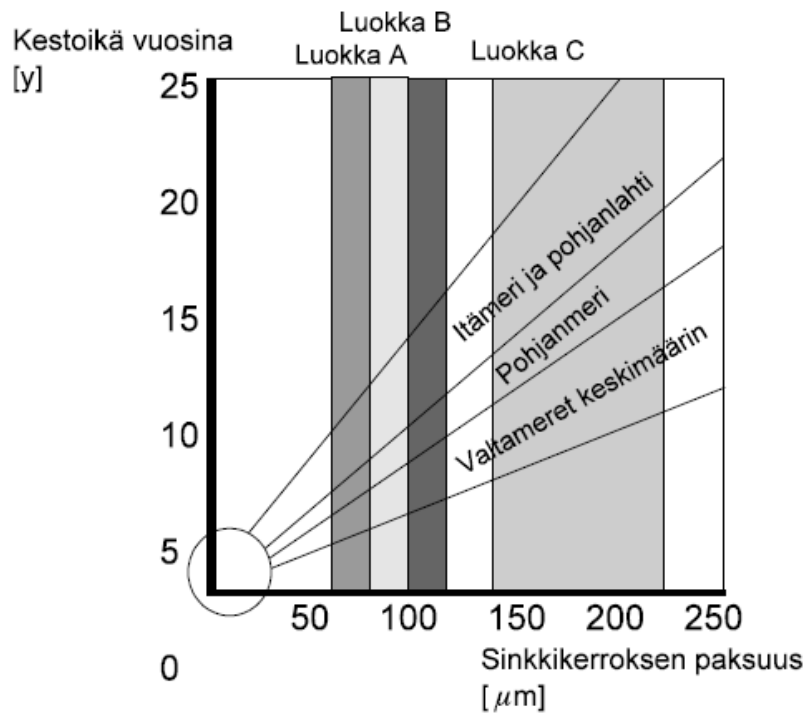
### Kestävyys vesiupotuksessa

Sinkki soveltuu upotettaviin rakenteisiin hyvin, mikäli vedessä on kalkkia ja suoloja. Tällaisia vesiä kutsutaan koviksi vesiksi. Ne reagoivat sinkin kanssa muodostaen pintaan suojakerroksen. Pehmeissä vesissä tätä suojaavaa kerrosta ei pääse muodostumaan, jolloin sinkkiä liukenee veteen jatkuvasti. Veden mahdollisen virtauksen ansiosta sinkin syöpyminen nopeutuu entisestään. Syövyttäviä pehmeitä vesiä on esimerkiksi joissa ja järvissä. Kestävyyttä vesiupotuksessa voidaan karkeasti arvioida kuvioiden 4 ja 5 avulla. Standardi SFS-EN ISO 14713-1 suosittelee kuitenkin asiantuntijan käyttämistä vesiupotuksiin tulevissa vaativissa rakenteissa, sillä pinnoitteen kestävyteen vaikuttavia tekijöitä on todella paljon. Vesiupotetun sinkkipinnoitteen kestävyyttä voidaan parantaa maalauskäsittelyllä. (Laatutyökalu teräksen kuumasinkityksen ja pinnoitteen arviointiin, 9.)

KUVIO 4. Sinkkipinnoitteen kestävyys vesiupotuksessa (Laatutyökalu teräksen kuumasinkityksen ja pinnoitteen arviointiin, 8.)



KUVIO 5. Sinkkipinnoitteen kestävyys merivedessä (Laatutyökalu teräksen..., 8.)



### Kestävyys maapotuksessa

Maaperän fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien laajan vaihtelun vuoksi, myös maaperän vaikutukset korroosioon ovat vaihtelevat. Kalkkipitoiset maalajit ovat yleensä vähemmän syövyttäviä kuin savimaat, joissa korroosionopeus voi olla suuri. Suomessa maaperä ei tyypillisesti ole kovin syövyttävää ja keskimääräinen sinkin syöymisnopeus on noin 5–10 mikrometriä vuodessa. Maapotukseen tulevilla rakenteilla sinkin kerospaksuudet ovat yleensä yli 200 mikrometriä. Erityisen syövyttävissä maaperäolosuhteissa voidaan rakenteen paksuudessa huomioida 1–2 millimetrin suuruinen syöymisvara. Maaperän syövyttävyys voidaan jakaa maalajeittain taulukon 16 mukaan. (Laatutyökalu teräksen..., 9.)

TAULUKKO 16. Maalajien syövyttävyys (Laatutyökalu teräksen..., 9.)

Maalaji	Syövyttävyys
Kalkki, kalkkisavi- ja kalkkiahiekkasavikerrokset, moreeni	Alhainen
Hiekka, sora	Kohtalainen
Savi, turve, suoperäinen maa, humuspitoinen maa	Korkea



## Kosketus toisiin metalleihin

Mikäli toisesta metallista valmistettuja kappaleita on kosketuksissa sinkkiin, voi rakenne kärsiä galvaanisesta korroosiosta. Kuumasinkitty teräs soveltuu hyvin käytettäväksi muiden metallien kanssa, jos kuumasinkityn materiaalin pinta-ala on suuri suhteessa toiseen metalliin. Yhdessä toimivuutta voidaan arvioida standardissa SFS-EN ISO 14713-1 esitetyn taulukon 17 avulla.

TAULUKKO 17. Sinkin ja toisen metallin kosketuksesta aiheutuva lisäkorrosio (SFS-EN ISO 14713-1, 32.)

Metalli	Ilmasto-olosuhteet			Upotettu	
	Maaseutu-ympäristö	Teollisuus- tai kaupunki-ympäristö	Meriympäristö	Makea vesi	Merivesi
Alumiini	a	a – b	a – b	b	b – c
Messinki	b	b	a – c	b – c	c – d
Pronssi	b	b	b – c	b – c	c – d
Valurauta	b	b	b – c	b – c	c – d
Kupari	b	b – c	b – c	b – c	c – d
Lyijy	a	a – b	a – b	a – c	a – c
Ruostumaton teräs	a – b	a – b	a – b	b	b – c

\*a\* Sinkkipinnoitteessa ei tapahdu ylimääräistä korroosiota tai pahimmassa tapauksessa vain hyvin vähäistä korroosiota, joka voidaan yleensä hyväksyä käytössä.

\*b\* Sinkkipinnoitteessa tapahtuu vähäistä tai kohtalaista korroosiota, joka voi olla hyväksyttävissä joissain tapauksissa.

\*c\* Sinkkipinnoitteessa voi tapahtua melko voimakasta lisäkorroosiota ja yleensä tarvitaan suojaustoimenpiteitä.

\*d\* Sinkkipinnoitteessa voi tapahtua voimakasta lisäkorroosiota ja metallien välistä kosketusta olisi vältettävä.

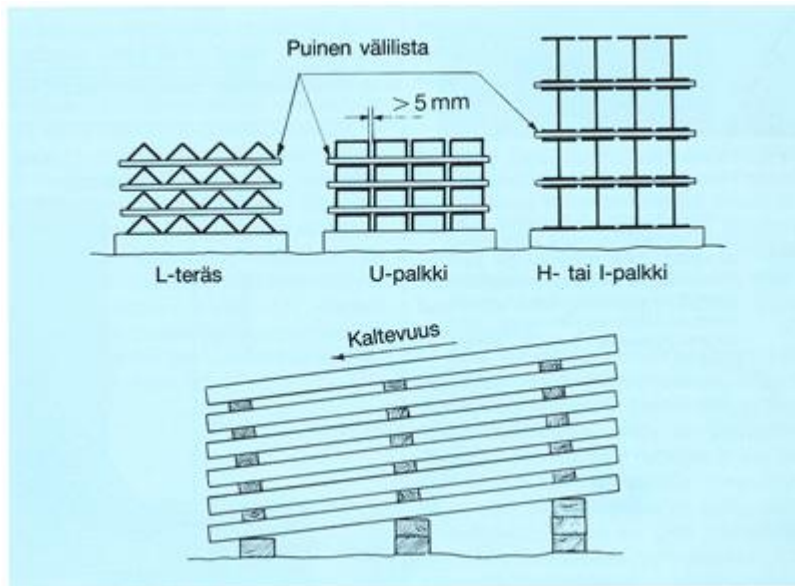
Sinkityissä rakenteissa käytetään yleisesti ruostumattomasta teräksestä valmistettuja ruuveja. Ruuvien pienen pinta-alan ansiosta galvaaninen korrosio on pientä tai sitä ei tapahdu ollenkaan. Standardi SFS-EN ISO 14713-1 suosittelee kuitenkin eristävien aluslaattojen käyttöä.

## Valkoruoste

Valkoruosteen syntyminen vastasinkitylle sileälle pinnalle on suhteellisen yleinen ilmiö. Mikäli pinnalle kertyy kosteutta eikä se pääse ilman vaikutuksesta haihtumaan, voi syntyä valkoruostetta. Alkanut korrosio jatkuu niin kauan kuin pinnalla on kosteutta. Yleensä valkoruosteelle edullinen tilanne syntyy jos sinkityt osat on ladottu tiiviisti päällekkäin. Valkoruosteen tilavuus on jopa 500 kertaa suurempi kuin sinkillä ja se on hyvin heikosti kiinnittynyt kappaleen pintaan. Suuresta tilavuudesta johtuen se voi näyttää hyvin vaaralliselta, mutta todellisuudessa sillä ei ole vaikutusta sinkin pitkäaikaiskestävyyteen. Valkoruosteen syntyminen voidaan estää pitämällä sinkityt kappaleet kuivina ja varastoituna siten että ilma pääsee kiertämään kuvan 11 esittämällä tavalla.

Mikäli valkoruostetta muodostuu, se voidaan poistaa vesipesulla tai kevyesti harjaamalla. (Suojautuminen kosteusvaurioilta 2007)

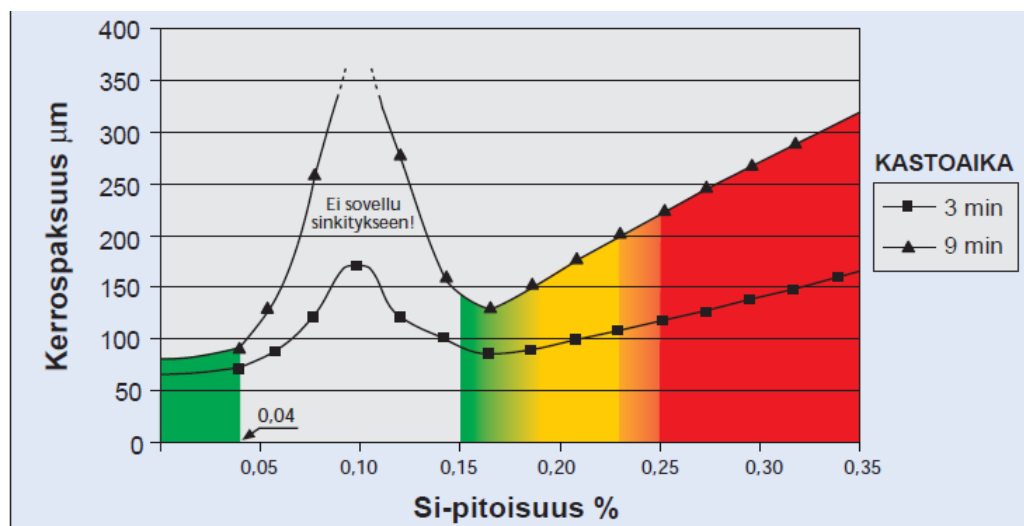
KUVA 11. Toimenpiteet valkoruosteen estämiseksi. (Nordic Galvanizers, 2013.)



### 4.3 Materiaalivalinta

Kemiallisen luonteen takia, lopullisen sinkkipinnoitteen ulkonäkö riippuu teräksen laadusta. Teräksen lujuus ei vaikuta ulkonäköön vaan merkittävänä tekijänä on teräksen Si+P -pitoisuus eli pii- ja fosforipitoisuus. Piipitoisuus ja kappaleen kastoaika vaikuttavat olennaisesti myös sinkkipinnoitteen paksuuteen ja kiinnipysyvyyteen. On huomiotava, että piipitoisuudet välillä 0,05–0,15 eivät sovellu kuumasinkitykseen.

KUVIO 6. Teräksen pii-pitoisuuden vaikutus sinkkipinnoitteen kerrospaksuuteen (Teräksen valinta..., 3.)



### Alapiiteräs (Si + P ≤ 0,04 %)

Mikäli rakenteelta vaaditaan hyvää ulkonäköä tai jos rakenne maalataan, tulisi teräksenä käyttää alapiiterästä, jossa Si + P ≤ 0,04 %. Alapiiterästä käyttämällä voidaan saavuttaa maksimissaan 90 µm:n paksuinen sinkkikerros. (Teräksen valinta..., 2.)

### Keskiäpiiteräs (Si = 0,15 – 0,25 %)

Keskiäpiiterästä tulisi käyttää kun sinkkipinnoitteen paksuus on määräävä tekijä. Tällöin pinnoitteesta saadaan paksumpi, mutta kiinnipysyvyys on heikompi verrattuna alapiiteräksiin. Myös tummemmat alueet ja värerot ovat mahdollisia. Jos sinkkipitoisuuden ylärajaa rajoitetaan 0,20 %:iin, pinnoitteen ulkonäkö ja kiinnipysyvyys parantuvat. Tällöin puhutaan rajoitetun piipitoisuuden teräksistä. Näinkin korkeilla piipitoisuuksilla teräkset ovat edelleen maalattavissa sinkityksen jälkeen. Tosin alapiiterästen kaltaisen pinnan laadun saavuttaminen on vaikeampaa (Teräksen valinta..., 2.). Yleisimmät teräslajit ovat keskiäpiiterästä. Taulukossa 18 on Ruukin tarjoamien rakenneputkien kemiallinen koostumus.

TAULUKKO 18. Rakenneputkien kemiallinen koostumus (Ruukki 2013.)

Teräslaji	C	Si	Mn	P	S	Al (minimi)	Nb	Ti	V	CEV
S235JRH	0,17	-	1,40	0,040	0,040	0,020	-	-	-	0,35
S355J2H	0,22 (0,16)	0,50 (0,15-0,25)	1,60	0,035 (0,020)	0,035 (0,012)	0,020	-	-	-	0,45 (0,39)
S355MH	0,14	0,50 (0,15-0,25)	1,50	0,035 (0,020)	0,030 (0,012)	0,020	0,050	0,050	0,10	0,47
S355MLH	0,14	0,50 (0,15-0,25)	1,50	0,030 (0,020)	0,025 (0,012)	0,020	0,050	0,050	0,10	0,47
S420MH	0,16	0,50 (0,15-0,25)	1,70	0,035 (0,020)	0,030 (0,012)	0,020	0,050	0,050	0,12	0,53
S420MLH	0,16	0,50 (0,15-0,25)	1,70	0,030 (0,020)	0,025 (0,012)	0,020	0,050	0,050	0,12	0,53
S460MH	0,16	0,50 (0,15-0,25)	1,70	0,035 (0,020)	0,030 (0,012)	0,020	0,050	0,050	0,12	0,53
S460MLH	0,16	0,60 (0,15-0,25)	1,70	0,030 (0,020)	0,025 (0,012)	0,020	0,050	0,050	0,12	0,53

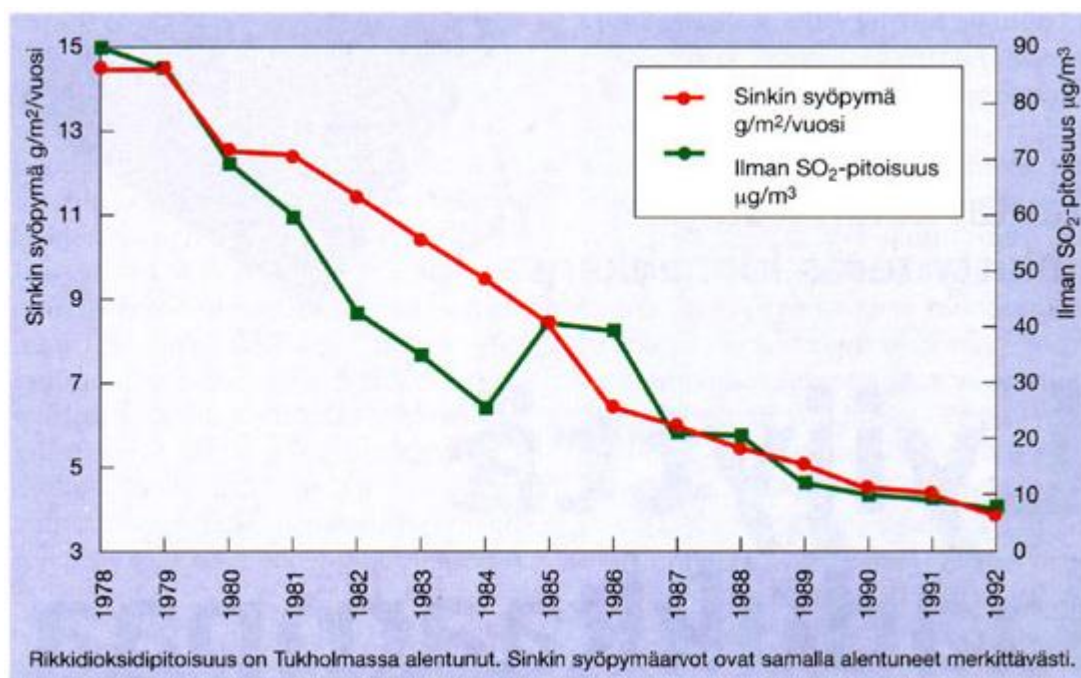
Ruukin takaamat arvot suluisissa.

### Yläpiiteräs (Si = 0,25 – 0,35 %)

Upotettavissa rakenteissa sinkkipinnasta halutaan yleensä erityisen paksu. Tällöin tulisi valita yläpiiteräs, jolla saavutetaan paksu mutta hauras ja nopeasti tummuva pinnoite. Sinkittyjen yläpiiterästen maalaus on hankalaa. Yläpiiteräksiä tulisi käyttää kun haluttu sinkkipaksuus on yli 200 mikrometriä. (Teräksen valinta..., 2.)

#### 4.4 Kerrospaksuuden valinta

Aiemmin kerrospaksuuden määrittämisessä käytettiin pinnoitusluokkia A, B ja C. Uuimmassa standardissa nämä luokitukset ovat poistuneet ja kerrospaksuuden määrittäminen on muuttunut samankaltaiseksi kuin suojamaaliyhdistelmillä. Sinkityksen kerrospaksuuden määrittämisessä ensisijaisena lähtökohtana on ympäristörasitusluokan määrittäminen. Ympäristörasitusluokka määritetään aikaisemmin esitetyin perustein huomioimalla myös mikroilmasto eli paikalliset olosuhteet. Kuumasinkityksen kerrospaksuuden valintakriteerit määritellään standardissa SFS-EN ISO 14713-1. Kuvion 7 mukaan ilman rikkidioksidipitoisuuden lasku on vaikuttanut positiivisesti myös sinkkipinnoitteiden pitkäaikaiskestävyyteen.



KUVIO 7. Sinkin syöymisnopeus suhteessa ilman rikkidioksidipitoisuuteen (Suomen kuumasinkitsijät ry, 2013.)

Standardissa SFS-EN ISO 14713-1 ympäristörasitusluokasta käytetään nimitystä syövyttävyysluokka. Syövyttävyysluokan perusteella voidaan arvioida sinkin vuosittaista syöymistä ja tarvittava kerrospaksuus. Standardissa SFS-EN ISO 14713-1 sinkkipinnoitteille on laadittu kestävyysluokitus, joka tarkoittaa ajanjaksoa ennen ensimmäistä kunnossapitotoimenpidettä. Kestävyys voidaan luokitella taulukon 19 mukaan.

Taulukko 19. Kestävyyssuositukset sinkkipinnoille (SFS-EN ISO 14713-1 2010, 22.)

Erittäin pieni (VL)	0...< 2 vuotta
Pieni (L)	2...< 5 vuotta
Keskimääräinen (M)	5...< 10 vuotta
Suuri (H)	10...< 20 vuotta
Erittäin suuri (VH)	> 20 vuotta

Taulukossa 20 on esitetty kuumasinkityn kappaleen kestoikä ensimmäiseen kunnossapitoon asti. Kestävyydet on esitetty syövyttävyyssuokittain. Jokaisen kerrospaksuuden kohdalla on lisäksi arvioitu vähimmäis- ja enimmäiskestoarvio vuosina. Näiden arvioiden perusteella voidaan laskea keskimääräinen kestoikä.

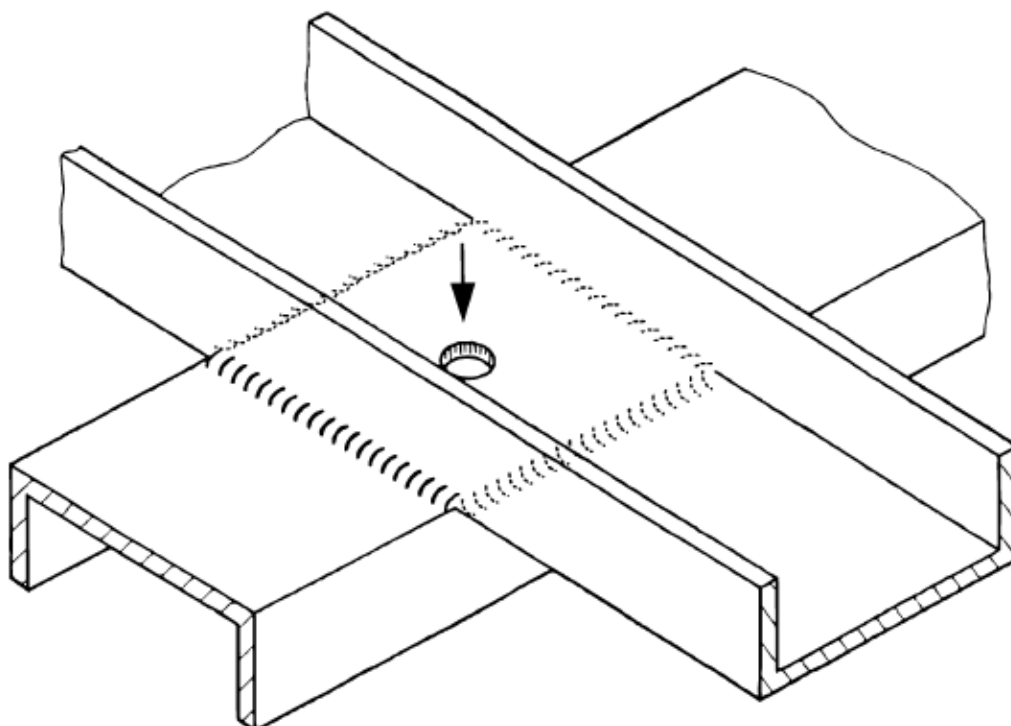
TAULUKKO 20. Sinkkipinnoitteiden kestävyys rasitusluokittain (SFS-EN ISO 14713-1 2010, 24.)

Järjestelmä	Viite-standardi	Vähimmäispaksuus µm	Valittu syövyttävyyssuokka (ISO 9223) kestoikä min./max. (vuotta) ja kestävyysluokka (VL, L, M, H, VH)							
			C3		C4		C5		CX	
Kuumasinkitys	ISO 1461	85	40/ > 100	VH	20/40	VH	10/20	H	3/10	M
		140	67/ > 100	VH	33/67	VH	17/33	VH	6/17	H
		200	95/ > 100	VH	48/95	VH	24/48	VH	8/24	H
Kuumasinkitty ohutlevy	EN 10346	20	10/29	H	5/10	M	2/5	L	1/2	VL
		42	20/60	VH	10/20	H	5/10	M	2/5	L
Kuumasinkitty putki	EN 10240	55	26/79	VH	13/26	H	7/13	H	2/7	L
Sherardisointi	EN 13811	15	7/21	H	4/7	M	2/4	L	1/2	VL
		30	14/43	VH	7/14	H	4/7	M	2/4	VL
		45	21/65	VH	11/25	H	6/11	M	3/6	L
Sähkösaostamalla pinnoitettu levy	ISO 2081	5	2/7	L	1/2	VL	1/1	VL	0/1	VL
		25	12/36	H	6/12	M	3/6	M	1/3	VL
Mekaaninen pinnoitus	ISO 12683	8	4/11	M	2/4	L	1/2	VL	0/1	VL
		25	12/36	H	6/12	M	3/6	L	1/3	VL

## 4.5 Rakenteiden suunnittelu

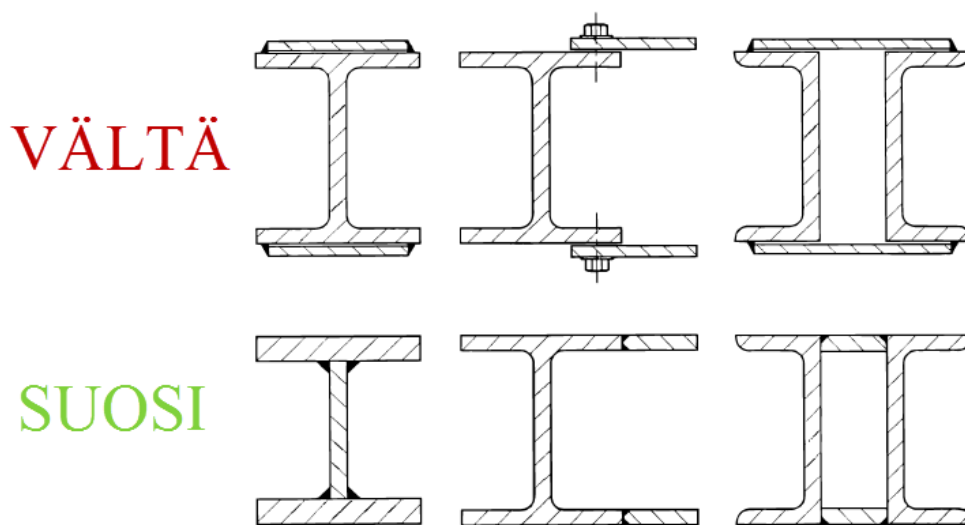
Kuumasinkittävien teräsosien suunnittelussa on monia asioita, jotka tulee ottaa huomioon. Ensimmäinen merkittävä asia joka antaa suunnittelulle rajaviivat on sinkitysaltaiden koko. Sen perusteella määräytyy suurin mahdollinen sinkittävä kappale. Nämä tiedot löytyvät kuumasinkitystä tarjoavien yritysten sivuilta. Sinkitys pyritään yleensä tekemään kertakastolla, jolloin koko kappale upotetaan sinkkialtaaseen. Suuret kappaleet on myös mahdollista käsitellä kääntökastolla. Suurimmat sallitut kappalekoot kuumasinkitystä tarjoavien yritysten tehtaissa on koottu tämän opinnäytetyön liitteeseen 2. Kokorajoitukset edellyttävät usein rakennekokonaisuuksien lohkottamista sellaisiin kappaleisiin, jotka mahtuvat sinkitys- ja esikäsitteilyaltaisiin.

Mikäli sinkittävät rakenteet ovat umpinaisia, ne pitää varustaa tuuletusaukoilla. Hittisaumojen huokoisuudesta johtuen peittaushappo voi tunkeutua rakenteen sisään ja aiheuttaa räjähdysvaaran sinkitysvaiheessa. Umpinainen kohta voi syntyä myös kahden putken tai palkin ristikkäisliitokseen kuvan 12 osoittamalla tavalla. Tällöin molempien kappaleiden läpi tulisi porata reikä joka estää peittaushapon jäämisen pintojen väliin. Mikäli päällekkäin oleva pinta-ala on suuri, voidaan tarvita useampia reikiä. (SFS-EN ISO 14713-2 2010, 26.)



KUVA 12. Päällekkäin olevien pintojen läpi porattu reikä poistaa räjähdysvaaran (Kuva: SFS-EN ISO 14713-2)

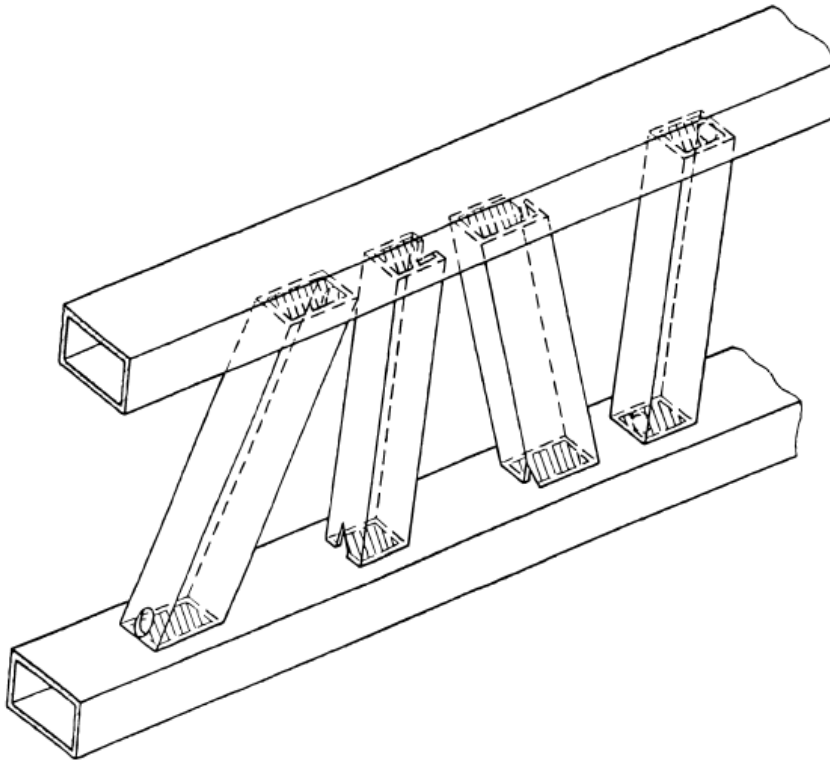
Sinkityissä rakenteissa tulisi välttää vastakkain olevia pintoja ja suosia jatkuvia rakenteita. Myös eri paksuisten osien liittämistä toisiinsa pitäisi välttää, sillä sinkityksen aikana lämpö jakautuu epätasaisesti. Tämä voi aiheuttaa muodonmuutoksia rakenteeseen. Sama ilmiö voi aiheuttaa myös pitkien ja hoikkien rakenteiden muodonmuutoksia. Pulttiliitokset tulisi tehdä siten, että ne voidaan irrottaa kuumasinkityksen ajaksi. Kiinnitykseen tarvittavia pultteja ja muttereita valmistetaan yleensä kuumasinkittyinä, joten niitä ei tarvitse erikseen käsitellä. Kuvassa 13 on esitetty yksinkertaistettuja esimerkkejä rakenteista joita tulisi välttää ja esitetty näiden tilalle suositeltavampia vaihtoehtoja.



KUVA 13. Vältettäviä ja suositeltuja rakennevaihtoehtoja (Kuva: SFS-EN ISO 14713-2)

#### 4.5.1 Suljetut putkirakenteet

Umpinaiset tilat, kuten ristikkorakenteet tai päätylevyillä suljetut putkipalkit, tulisi varustaa pyöreillä rei'illä tai V-muotoisin koloin. Rei'istä tai koloista käytetään nimitystä tuuletusaukot tai valuma-aukot. Kolot tai reiät tulisi sijoittaa putkirakenteen molempiin päihin ja toisiinsa nähden vastakkaisiin päihin. Tuuletusaukkojen sijoittaminen vastakkaisille puolille mahdollistaa rakenteen kaston ja noston vastakkaisissa kulmissa. Mikäli rakenne on niin iso, että sinkityksessä joudutaan käyttämään kään tökastoa, rei'itykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tällaisissa tapauksissa reikävaatimuksista on keskusteltava kuumasinkityksen suorittavan yrityksen kanssa. Kuvassa 14 on esitetty tyyppillinen suljetun ristikkorakenteen tuuletusaukotus. Ristikkorakenteissa reiät on tehtävä jokaiseen liitoskohtaan, jotta sinkki pääsee valumaan sisään ja ulos.



KUVA 14. Ristikkorakenteen tuuletusaukot (SFS-EN ISO 14713-2 2010.)

#### 4.5.2 Tuuletusaukkojen koko

Tuuletusaukkojen vähimmäiskokona voidaan pitää 10 millimetriä, mutta pitkät ja halkaisijaltaan suuret rakenteet vaativat aukkokooksi 25 % putken halkaisijasta. Suurella aukkokoolla saavutetaan lyhyempi kastoaika, mikä parantaa sinkityksen laatua. Taulukossa 21 on esitetty ohje tuuletusaukkojen koosta erikokoisissa putkirakenteissa.

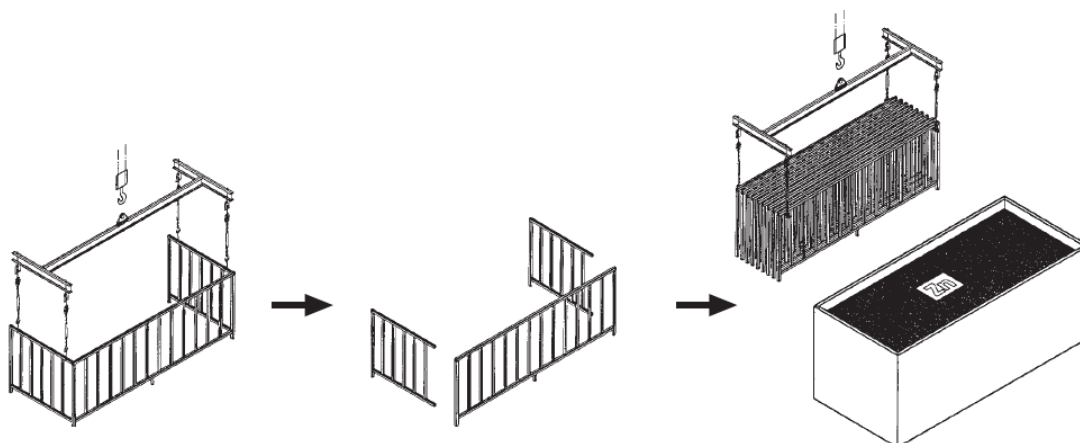
TAULUKKO 21. Suljettujen putkirakenteiden tuuletusaukkojen koko (Kuumasinkityksen toimintaketju 2007, 4.)

Putken sisähalkaisija mm	Aukkokoko mm
alle 15 mm	10 mm
15-30 mm	10-15 mm
30-50 mm	2x15 mm
50-100 mm	2x20 mm
100-200 mm	2x50 mm
yli 200 mm	4x50 mm



### 4.5.3 Moniulotteiset rakenteet

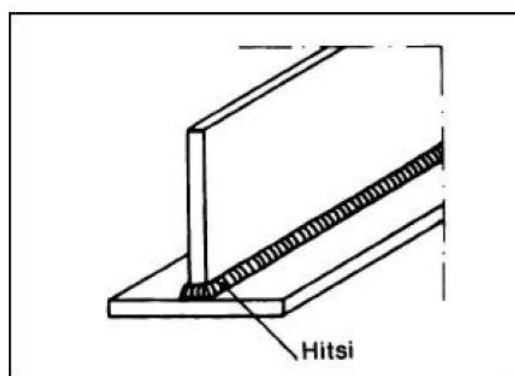
Sinkityksen hinnan määrittää sinkin kerrospaksuus ja sinkitykseen kuluva aika. Mikäli rakenteet voidaan suunnitella siten, että niitä menee mahdollisimman paljon kerrallaan sinkitysaltaaseen, kokonaishinta tulee halvemmaksi. Tästä syystä moniulotteisia rakenteita tulisi välttää. Moniulotteiset osat tulisi mahdollisuuksien mukaan rakentaa osista ja liittää toisiinsa esimerkiksi ruuviliitoksilla.



KUVA 15. Moniulotteisten rakenteiden kokoaminen osista

### Hitsiliitokset

Rakenteeseen kohdistuvat hitsiliitokset tulisi tehdä ennen kuumasinkitystä. Muodonmuutosten välttämiseksi hitsaus pitäisi tehdä symmetrisesti kappaleen painopisteakselin suhteen. Hitsattu kappale on myös esikäsiteltävä asianmukaisesti ennen kuumasinkitysprosessia; varsinkin hitsausjäänteet tulisi poistaa huolellisesti. Konepajapohjamaalien käyttöä tulisi välttää, sillä ne on joka tapauksessa poistettava ennen sinkitystä. (Kuumasinkityksen toimintaketju 2007, 4.) Hitsausseamit olisi hyvä päättää toisen sauman päälle kuvan 16 osoittamalla tavalla, jottei peittaushappo pääse tunkeutumaan alle jäävään rakoön.



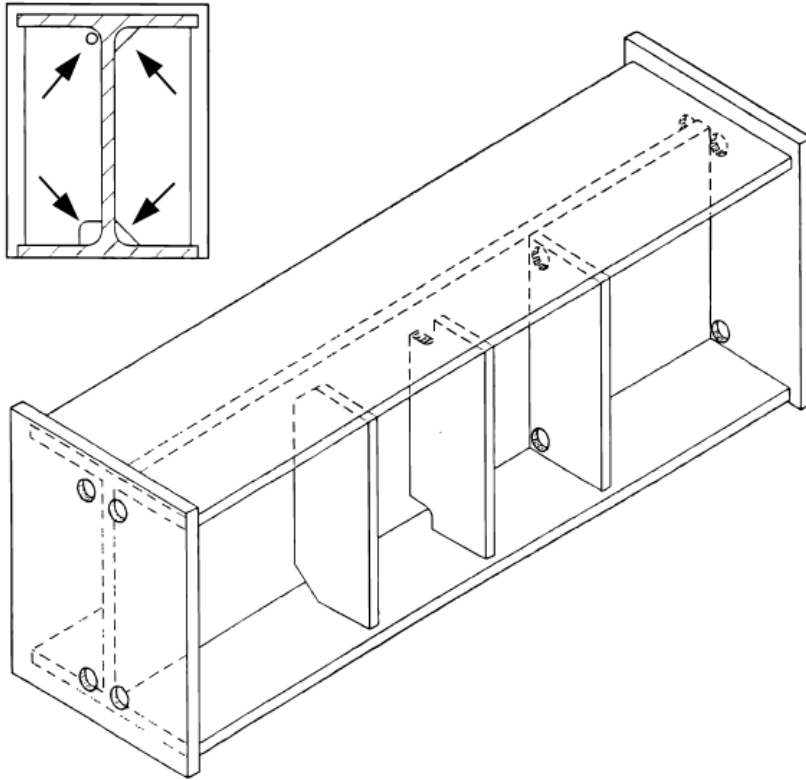
KUVA 16. Hitsausseama päätettynä toisen sauman päälle (Saarinen ym., 17.)

Mikäli rakennetta joudutaan hitsaamaan sinkityksen jälkeen esimerkiksi työmaalla, tulisi varmistua että hitsauksessa syntyvät vaaralliset höyryt pääsevät poistumaan. Sinkityn teräksen hitsauksessa syntyy normaalien hitsauskaasujen lisäksi sinkkioksidia, joka voi elimistöön päästessään aiheuttaa pahoinvointia. Ulkotiloissa hitsattaessa erityistoimenpiteitä hitsaushuuruksen poistamiseksi ei tarvita. Hitsauksessa syntyvien kaasujen poistumisnopeus sulasta hitsistä vaihtelee. Kaasut jotka eivät ehdi poistua sulasta hitsistä aiheuttavat huokoisuutta. CO<sub>2</sub>-hitsauksessa ja pienahitseissa huokoisuusvaara on suurempi kuin puikkohitsauksessa, jossa vaaraa ei yleensä ole. Huokoisuutta voidaan vähentää esimerkiksi käyttämällä sauman muotona V-railoa tai poistamalla sinkki hitsausrailoista. (Kuumasinkityn teräksen liittäminen hitsaaminen, 3–4.)

Hitsauksen jälkeen suojaamattomaksi jäävä sauma sekä noin 5 millimetrin levyinen reuna-alue sauman molemmin puolin tulee suojata. Suojaus voidaan tehdä esimerkiksi sinkkipölymaalilla tai vaativissa kohteissa ruiskusinkityksellä. Sinkkipölymaalilla maalattaessa pinta on ensin puhdistettava epäpuhtauksista harjaamalla. Sen jälkeen maalaus voidaan suorittaa sivellintä käyttäen. Ohjesääntönä voidaan pitää, että maalikerroksen tulisi olla yhtä paksu kuin ympäröivä sinkkikerros. (Kuumasinkityn teräksen liittäminen hitsaaminen, 5.)

#### **4.5.4 Jäykisteet**

Palkkeihin tulevien ulkoisten jäykistelevyjen kulmat tulisi viistää, jotta nestemäiset hapot sekä sinkki pääsevät valumaan kappaleen pinnalta pois mahdollisimman nopeasti. Reunamuotona viistetty reuna on hitsauksen ja osan valmistuksen kannalta parempi. Myös palkin mahdollinen päätylevy tulisi rei'ittää. Kuvassa 17 on esitetty I-palkkiin tulevien jäykisteiden rei'ityisperiaatteita.



KUVA 17. Palkin jäykisteiden rei'ityisperiaatteet (SFS-EN ISO 14713-2 2010, 24.)

#### 4.6 Kuumasinkityn teräksen maalaus

Pelkän kuumasinkityksen avulla teräkselle saadaan aikaan erittäin hyvin rasituksia kestävä pinta. On kuitenkin olemassa tilanteita, joissa kuumasinkityksen lisäksi pinta on tarpeellista maalata. Tällainen tilanne voi tulla vastaan, kun

- korroosiosuojaa halutaan parantaa
- sinkin harmaa väri ei sovi ympäristöön
- rakenteet halutaan naamioida tai huomiovärjätä.

Parempaan korroosiosuojan tavoittelu on usein tarpeellista kun rakenteeseen kohdistuu erityisen voimakkaita ilmastorasituksia tai erityisrasituksia kuten happamia, emäksisiä tai alkalisia liuoksia. Maalaamalla sinkitty pinta, voidaan saavuttaa jopa 1,5–2 kertaa parempi korroosionkestävyys. Veteen upotetuissa rakenteissa maalipinnoite estää sinkin liukenemisen veteen ja pidentää näin ollen rakenteen kestoikää. Sinkittyjen rakenteiden maalaamista käsitellään kattavasti standardissa PSK 2702.

## **Duplex**

Kuumasinkittyjä pintoja, jotka on maalattu, kutsutaan duplex-käsitellyiksi. Maalin tartunta sinkkiin on parempi kuin pelkkään teräkseen. Tästä syystä saman paksuinen maalikalvo sinkityllä pinnalla kestää kauemmin kuin teräksen pinnalla (Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu 1998, 84.). Mikäli maalin pintaan syntyy ajan myötä naarmuja tai halkeamia, sinkin korroosiotuotteet täyttävät halkeamat. Sinkin korroosiotuotteet eivät ruosteen tapaan laajene, joten maalipinta ei ala hilseillä tai irrota.

## **Esikäsitely**

Sinkkipinnan puhdistukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä se on vaativampi maalausala kuin pelkkä teräspinta. Epäpuhtaudet sinkin pinnalla voivat aiheuttaa kuplia tai hilseilyä jo lyhyen ajan jälkeen. Niitä voi myös olla hankala havaita paljaalla silmällä. Maalattavien kappaleiden sinkkipinnat käsitellään varovasti pyyhkäisysuihkupuhdistamalla (SaS) eli käytännössä hiekkapuhaltamalla. Puhdistukseen ei saa käyttää teräksestä valmistettuja rakeita vaan tarkoitukseen sopivaa materiaalia – esimerkiksi luonnonhiekkaa. (Kuumasinkityn pinnan maalaus, 3.)

Terästyön esikäsitelyn tulisi olla standardin SFS 8145 laatuasteen 04 mukaista. Laatuaste voidaan määritellä myös standardin SFS-EN ISO 8501-3 mukaan jolloin sen on oltava P3-luokkaa.

## **Maalaus**

Kappaleiden esikäsitelyn jälkeen tehtävä maalaus tulisi suorittaa mahdollisimman pian. Maalipinnan onnistumisen kannalta tärkein vaihe on pohjamaalaus. Se suoritetaan yleensä harsotustekniikalla ohentamalla pohjamaalia, jolloin sinkin pinnalla olevat huokokset täyttyvät. Pian tämän jälkeen maalataan varsinainen pohjamaalikerros. Mahdolliset seuraavat maalikerrokset maalataan valmistajan ohjeen mukaan. (Kuumasinkityn pinnan maalaus, 3.)

## **Maalausyhdistelmän määrittäminen**

Maalausyhdistelmä sinkitylle pinnalle voidaan valita standardissa SFS 5873 esitetyn taulukon perusteella. Taulukossa on esitetty järjestelmät kaikkiin rasisuusluokkiin. Maalin kiiltoasteen valinnalla voidaan vaikuttaa sinkkipinnan epätasaisuuksien näkyvyyteen. Kiiltävällä maalipinnalla epätasaisuudet näkyvät paremmin kuin puolikiiltävällä tai mattapinnalla.

TAULUKKO 22. Maalausyhdistelmät sinkkipinnoille (SFS 5873 2008, 8.)

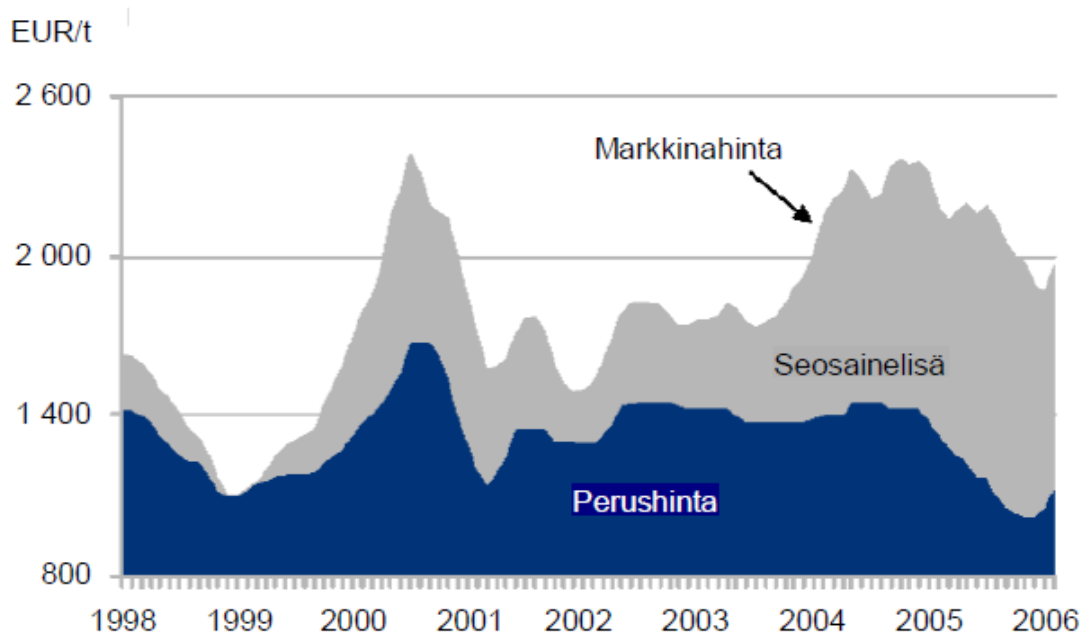
Rasitusluokka Corrosivity category	Ilmastorasitus Atmospheric stress		
	Uudismaalaus New painting		Korjaus- ja kunnossapito- maalaukseen Repair and maintenance painting
	Ulkona Outdoors	Sisällä Indoors	
C1...C2	F30.01 PUR100/1-ZnSaS	F30.01 PUR100/1-ZnSaS F30.02 EP100/1-ZnSaS	Korjaus- ja kunnossapito- maalauksessa käytetään uudismaalaus yhdistelmiä.  For repair and maintenance paintings, new paint systems are used.
	F30.03 AY120/2-ZnSaS	F30.03 AY120/2-ZnSaS	
C3...C4	F30.04 EPPUR120/2-ZnSaS	F30.04 EPPUR120/2-ZnSaS F30.05 EP120/2-ZnSaS	
		F30.06 EPPUR240/3-ZnSaS F30.07 EP240/3-ZnSaS	
C5-I ja/and C5-M			

## 5 RUOSTUMATTOMAT JA HAPONKESTÄVÄT TERÄKSET

### 5.1 Määritelmä

Terästä kutsutaan ruostumattomaksi, kun siihen on seostettu yli 10,5 % kromia. Ruostumattomat teräkset voidaan jakaa mikrorakenteen mukaan austeniittisiin, ferriittisiin, austeniittis-ferriittisiin (duplex-teräkset), martensiittisiin ja erkautuskarkeneviin ruostumattomiin teräksiin. Seosaineiden perusteella voidaan vaikuttaa teräksen ominaisuuksiin kuten korroosionkestävyyteen, muovattavuuteen ja hitsattavuuteen. (Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa, 9.)

Ruostumattomien terästen hyvä korroosionkestävyys perustuu teräksen pinnalle syntyvään oksidikalvoon, joka estää teräksen reagoimisen ilman kanssa sekä pystyy itse korjautumaan mahdollisen naarmun sattuessa. Oksidikalvon muodostaman passiivikerroksen suojaava vaikutus on riippuvainen teräksen koostumuksesta. Esimerkiksi kromi- ja molybdeenipitoisuudet vaikuttavat kalvon kestävyys. Koostumus vaikuttaa merkittävästi myös teräksen hintaan, kuten kuviosta 8 havaitaan. (Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa, 9.)



KUVIO 8. Seosaineiden hinnan vaikutus ruostumattomien terästen markkinahintaan. (Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa, 13.)

## 5.2 Teräslajit

Eri seosaineet tuottavat teräkselle erilaista korroosionkestävyyttä. Siksi teräslajin oikea valinta on äärimmäisen tärkeää. Standardissa EN-10088-1 esitellään yli 130 erilaista ruostumatonta teräslajia. Eniten käytettyjä ovat austeniittiset teräkset, joiden hyviä ominaisuuksia on esimerkiksi hitsattavuus ja korroosionkesto. Yleisesti käytettyjä ovat myös duplex-teräkset, jotka tunnetaan korkeasta lujuudesta, kulutuskestävyydestä ja jännityskorroosionkestosta. (Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa, 9.)

Eurooppalaisessa järjestelmässä ruostumattomat teräkset merkitään viisiosaisella numerosarjalla, joka määräytyy metallin sisältämien seosaineiden mukaan. Merkittävimmät seosaineet ovat hiili, kromi, nikkeli ja molybdeeni. Alla olevaan taulukkoon on luetteloitu yleisiä ruostumattomia teräslajeja. Teräslajin merkintä on esitetty punaisen suorakaiteen rajaamassa kohdassa.

TAULUKKO 23. Ruostumattomat teräslajit

	EN	C % max.	Cr %	Ni %	Mo %	Muut %	R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	kuvaus
<b>A</b>	1.4301	0,07	18	8	-	-	230	ruostumaton yleisteräs
<b>A</b>	1.4307	0,03	18	8,5	-	-	220	niukkahiilinen ruostumaton yleisteräs
<b>A</b>	1.4318	0,03	17,6	6,5	-	N	350	CrNiN 18-7 -rakenneteräs
<b>A</b>	1.4372	0,15	17	4,5	-	Mn, N	350	mangaaniseosteinen ruostumaton teräs
<b>A</b>	1.4404	0,03	17	10,5	2	-	240	Mo-seostettu 'haponkestävä' teräs
<b>A</b>	1.4432	0,03	17	11	2,5	-	240	'haponkestävä' teräs, Mo min. 2,5 %
<b>A</b>	1.4835	0,09	21	11	-	Si, Ce	240	tulenkestävä teräs, 253 MA
<b>A</b>	1.4539	0,02	20	24	4,5	Cu	240	runsasseosteinen, mm. kemianteollis.
<b>A</b>	1.4547	0,02	20	18	6	Cu, N	320	ns. valtameriteräs, esim. 254 SMO
<b>F</b>	1.4003	0,03	11	0,5	-	-	280	12-krominen rakenneteräs
<b>F</b>	1.4512	0,03	11	-	-	Ti	220	pakoputkiteräs
<b>F</b>	1.4016	0,05	17	-	-	Ti	240	17-krominen yleisteräs (1.4510 Ti-seost.)
<b>F</b>	1.4521	0,025	17	-	2	Ti	300	kuumavesivaraajateräs
<b>D</b>	1.4462	0,03	22	5,5	3	N	480	keskiseosteinen duplex
<b>D</b>	1.4162	0,04	21	1,5	0,1	Mn, N	480	niukkaseosteinen duplex, esim. LDX 2101
<b>M</b>	1.4034	0,5	13	-	-	-	-	ruostumaton teräsmateriaali
<b>M</b>	1.4313	0,05	13	4	0,5	N	650	turpiiniteräs

Ensimmäinen numero (1) osoittaa, että kyseessä on teräs. Seuraavat kaksi numeroa osoittavat ruostumattomien terästen ryhmän, joka määräytyy nikkeli- ja molybdeenipitoisuuden mukaan. Viimeiset kaksi numeroa määrittävät yksittäisen teräslajin. Myös amerikkalaisen ASTM-standardin mukaiset AISI-merkinnät ovat usein käytössä.

Austeniittisistä teräksistä yleisimpiä ovat teräslajit 1.4301 (AISI 304) ja 1.4401 (AISI 316). 1.4301 on lievempiin rasituksiin tarkoitettu ja 1.4401 soveltuu myös meri- ja teollisuusympäristöihin. (Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa)

1.4404 teräslajiin on seostettu myös molybdeeniä, jonka ansiosta sen korroosionkestävyys kloridien aiheuttamaa pistekorroosiota vastaan on parantunut. Tämän lisäksi kestävyys sulfiittimassan aiheuttamia rasituksia kohtaan on antanut sille nimityksen 'haponkestävä teräs'. Oikeaoppisempi nimitys sille olisi "CrNiMo"-teräs.

### **5.2.1 Teräslajin valinta**

Maalausyhdistelmän ja sinkityksen määrittämisen tavoin, myös teräslajin valinta edellyttää ympäristöolosuhteiden tutkimista. Erityisesti paikallisten olosuhteiden kuten syövyttävien kaasujen esiintyminen tulisi selvittää. Suunnittelijan olisi myös huomioita teräslajin mahdolliset mekaaniset ominaisuudet, mikäli sitä käytetään kantavana rakenteena. Eri teräslajeilla on toisistaan poikkeavat lujuusominaisuudet. Tässä opinnäytetyössä ei ole käsitelty ruostumattomien terästen mekaanisia ominaisuuksia.

Teräslajin valinnassa on suositeltavinta käyttää taulukoita, jotka on luotu käyttökokeiden perusteella. Standardissa SFS-EN ISO 1993-1-4 olevaan taulukkoon (taulukko 24) on kerätty suositeltavia teräslajeja eri ilmasto-olosuhteissa.



TAULUKKO 24. Ruostumattoman teräslajin valinta.

EN 10088 mukainen teräslaji	Ympäristön tyyppi ja korroosiluokka											
	Maaseutuilmasto			Kaupunki-ilmasto			Teollisuusilmasto			Meri-ilmasto		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
1.4003 1.4016	Y <sup>1</sup>	X	X	Y <sup>1</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X
AISI 304 → 1.4301												
1.4311 1.4541 1.4318	Y	Y	Y	Y	Y	(Y)	(Y)	(Y)	X	Y	(Y)	X
AISI 316 → 1.4362 1.4401 1.4404	O	O	O	O	Y	Y	Y	Y	(Y)	Y	Y	(Y)
1.4406 1.4571												
1.4439 1.4462 1.4529 1.4539	O	O	O	O	O	O	O	O	Y	O	O	Y
<b>Korroosio-olosuhteet</b>												
L Alhainen. Alhaisimmat korroosio-olosuhteet ko. ympäristössä. Esim. lämmitetyt tilat, joissa on alhainen kosteus tai alhaiset lämpötilat												
M Keskimääräinen. Melko tyypillinen ko. tyypisissä ympäristöissä												
H Korkea. Korroosion todennäköisyys korkeampi kuin tyypillistä ko. ympäristössä. Esim. korroosio kasvaa pysyvän korkean kosteuden, korkean ympäröivän lämpötilan tai erityisesti aggressiivisten ilman saasteiden takia												
<b>Merkinnät</b>												
O Mahdollisesti ylimitoitettu korroosion kannalta katsoen												
Y Todennäköisesti paras valinta korroosionkestävyyden ja kustannusten kannalta												
Y <sup>1</sup> Vain sisäolosuhteisiin. Ferriittisten ruostumattomien terästen käyttöä kosmetiikkiin tarkoituksiin ulkotiloissa tulee välttää												
X Todennäköisesti tapahtuu liiallista korroosiota												
(Y) Tarkastelun arvoinen edellyttäen, että ryhdytään sopiviin varotoimenpiteisiin [s.o. määritetään suhteellisen tasainen pinta ja sen jälkeen pinta pestään säännöllisesti]												

Taulukon avulla voidaan valita oikea teräslaji, kun tiedetään ympäristöolosuhteet. On kuitenkin muistettava, että teräslajin valinta on vain yksi osa korroosionestoa. Myös ruostumattomien terästen säilyvyyttä voidaan parantaa suunnittelemalla rakenteen yksityiskohdat siten, että ne edesauttavat korroosionestoa. Näitä yksityiskohtia ja periaatteita on esitetty tämän opinnäytetyön kappaleessa 6.

### 5.3 Korroosionmuodot ja niiden välttäminen

Teräslajin lopullinen valinta tehdään korroosionkestävyyden mukaan. Siksi on tärkeää, että suunnittelija ymmärtää teräsrakenteiden korroosiokäyttäytymistä. Ruostumattomille teräksille tyypillisiä korroosionmuotoja ovat pistekorroosio, rakokorroosio, galvaaninen

korroosio ja jännityskorroosio. Korroosionmuotoja on esitelty tämän opinnäytetyön kappaleessa 2.

Pistekorroosio ei ole rakenteellisesti vaarallista, mutta se voi vahingoittaa rakenteen ulkonäköä. Sitä aiheuttavia kloridi-ioneja esiintyy erityisesti rannikko- ja meri-ilmastossa. Näihin olosuhteisiin suositellaan teräslajia 1.4401(AISI 316) tai duplex-teräksiä. (Ruostumattoman teräksen käyttö kantavissa rakenteissa, 27.)

Kloridi-ionit ja rakenteiden väliin jäävät ahtaat raot aiheuttavat rakokorroosiota. Myös tähän korroosionmuotoon voidaan varautua valitsemalla esimerkiksi teräslaji 1.4401(AISI 316) tai 1.4462(duplex). (Ruostumattoman teräksen käyttö kantavissa rakenteissa, 27.)

Kaksi toisiinsa kosketuksissa olevaa erilaista metallia voi aiheuttaa galvaanista korroosiota. Ruostumattomien terästen yhteydessä tämä tulee kyseeseen kun niitä liitetään yhteen normaalin hiiliteräksen kanssa. Korroosiovaara on suurin, kun ruostumattoman teräksen (jalompi metalli) pinta-ala on suuri verrattuna hiiliteräkseen (epäjalompi metalli). Esimerkiksi kiinnikkeitä käytettäessä voi syntyä korroosiovaara, kun maalatun hiiliteräksen pintaan syntyy naarmu ruostumattomasta teräksestä valmistetun ruuvien kohdalle. Sen ansiosta hiiliteräksen ja ruostumattoman teräksen pinta-alojen suhde muuttuu paikallisesti päinvastaiseksi ja korroosioriski kasvaa. (Ruostumattoman teräksen käyttö kantavissa rakenteissa, 28.)

Ympäristökemiallisista, kappaleeseen kohdistuvista vetojännityksistä ja valmistusmenetelmistä aiheutuva jännityskorroosio voidaan välttää oikealla materiaalivalinnalla. Duplex-teräkset kestävät erityisen hyvin jännityskorroosiota. Standardissa EN 1993-1-4 suositellaan kloridipitoisiin tiloihin, kuten uimahallien alaslaskettuihin kattoihin, käytettäväksi teräslajeja 1.4529, 1.4547 tai 1.4565. (Ruostumattoman teräksen käyttö kantavissa rakenteissa, 29.)

### **5.3.1 Säänkestävät COR-TEN teräkset**

Kun teräkseen seostetaan kromia, kuparia ja nikkeliä, teräksen pinta patinoituu kastumisen ja kuivumisen vaikutuksesta ja muodostaa suojaavan vaikutuksen. Tällainen teräslatu on nimeltään COR-TEN. Sen korroosionopeus on hiiliteräksiin verrattuna selvästi

alhaisempi, mutta pitkäaikaista kosketusta veteen COR-TEN-teräs ei kestä. Siksi vedenpoisto on suunniteltava huolellisesti. (Ruukki 2013.)

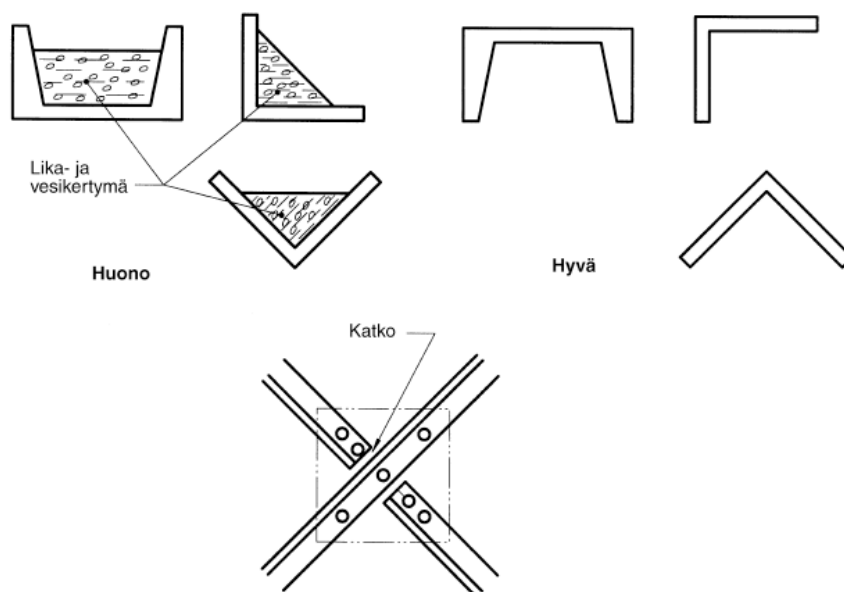
## 6 RAKENTEEN SUUNNITTELUN VAIKUTUS KORROOSIONKESTOON

Valitun pintakäsittelyn tai korroosionestomenetelmän kestoikä riippuu pitkälti myös rakenteen suunnittelussa tehdyistä ratkaisuista. Suunnittelussa voidaan tehdä valintoja, jotka edesauttavat korroosionestomenetelmän kestoja merkittävästi. Rakenteen suunnittelun yhtenä lähtökohtana on oltava myös rakenteen matka valmistuksesta käyttöön asti, sillä kestävyys vaikuttaa ympäristötekijöiden lisäksi

- pintakäsittelyn ajankohta, paikka ja kesto
- asennustapa, -ajankohta ja -paikka
- huoltomaalausmahdollisuus. (Metallipintojen teollinen maalaus, 4.)

Tässä opinnäytetyössä on esitelty näkökantoja, jotka huomioimalla voidaan saavuttaa pintakäsittelyn kannalta teknisesti ja taloudellisesti toimiva rakenne.

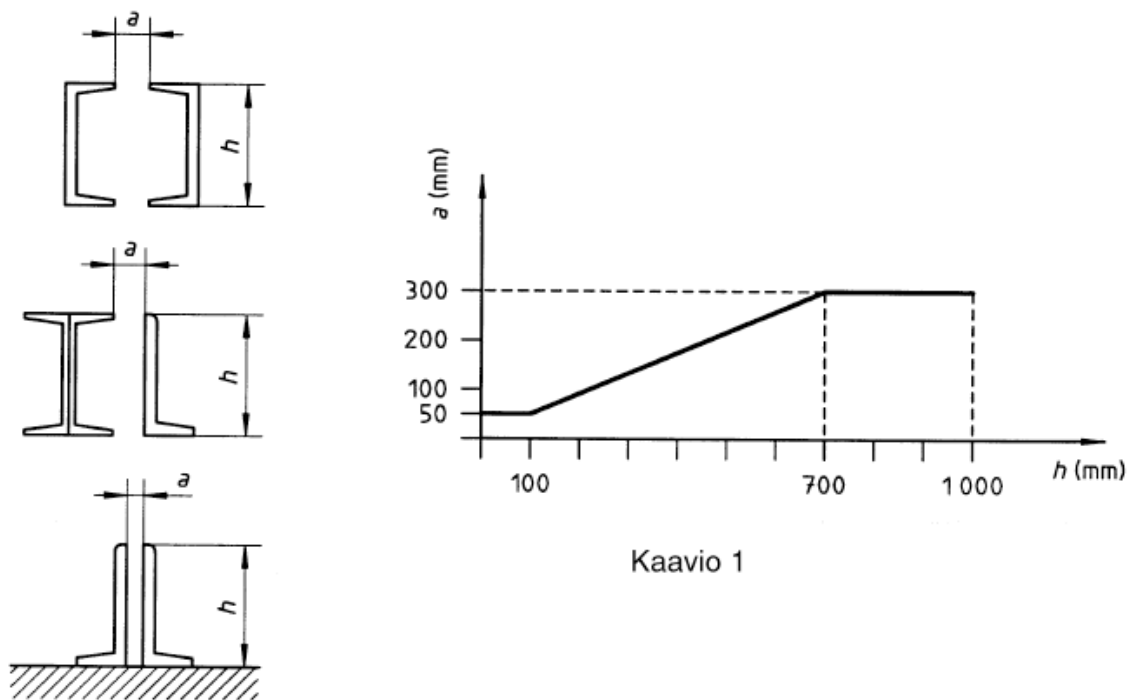
Pitämällä rakenteet kuivina ja puhtaina, voidaan välttää suuri osa korroosiovaurioista. Usein tämä edellyttää rakenteiden muotoilua siten, että vesi pääsee valumaan pois. Tarvittaessa rakenteen alin kohta tulee varustaa vedenpoistoreiällä. Tällöin on muistettava myös varmistaa, ettei vesi pääse valumaan terästä jalommalle pinnalle ja vaurioittamaan sitä. Kuvassa 18 on esitetty yksinkertaisia periaatteita, joilla lika- ja vesikertymiä voidaan välttää. (SFS-EN ISO 12944-3, 8.)



KUVA 18. Lika- ja vesikertymien välttäminen (SFS-EN ISO 12944-3)

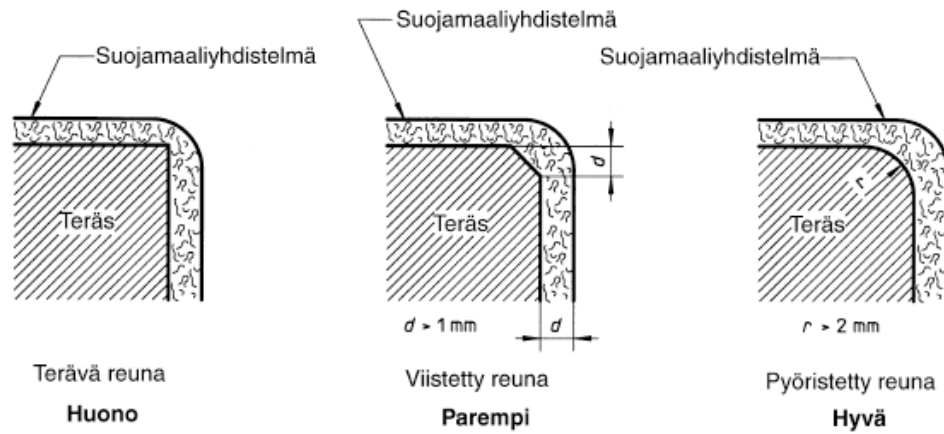
Suunniteltavien teräsosien tulisi olla luoksepäästäviä siten, että ne voidaan käsitellä maalausyhdistelmällä, tarkastaa ja huoltaa. Isommissa kokoonpanoissa tämä saattaa edellyttää esimerkiksi huoltoteiden järjestämistä. Toisaalta kaikkien käsiteltävien pintojen tulisi olla esillä siten, että maalaustyönsuorittajalle jää tarpeeksi tilaa. Käytännössä tämä tarkoittaa kapeiden tilojen välttämistä, joka ei aina ole mahdollista. Kapeiden tilojen riittävyyttä voidaan arvioida kuvassa 19 olevien periaatteiden mukaan. (SFS-EN ISO 12944-3, 8.)

KUVA 19. Toisiaan lähellä olevien rakenteiden väliset minimietäisyydet (SFS-EN ISO 12944-3)

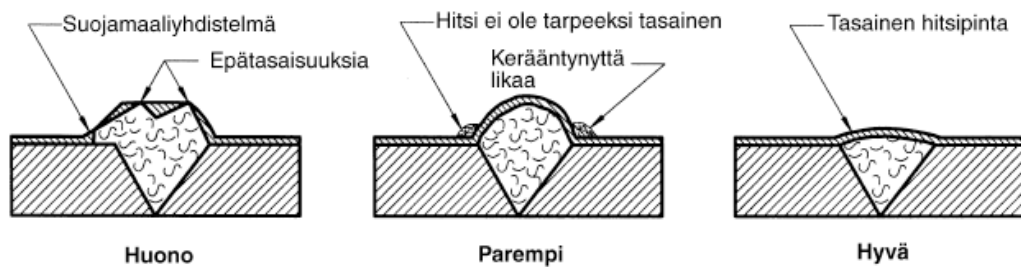


Kaavio 1

Mikäli teräskappaletta työstetään konepajalla, syntyy usein teräviä reunoja ja särmiä. Nämä reunat tulisi pyöristää määriteltyyn terästyön laatuasteen mukaan, jotta maalipinnoite levittyy tasaisesti myös reunan ympärille. Terästyön laatuaste määrittelee myös hitsausseamien käsittelyn. Tasainen hitsisauma, kuten kuvassa 21, johtaa korroosioneston kannalta parhaaseen lopputulokseen, koska tällöin maalikerros saadaan levittymään tasaisesti eikä rosoisuuksien kohdalle synny korroosiolle altista kohtaa.

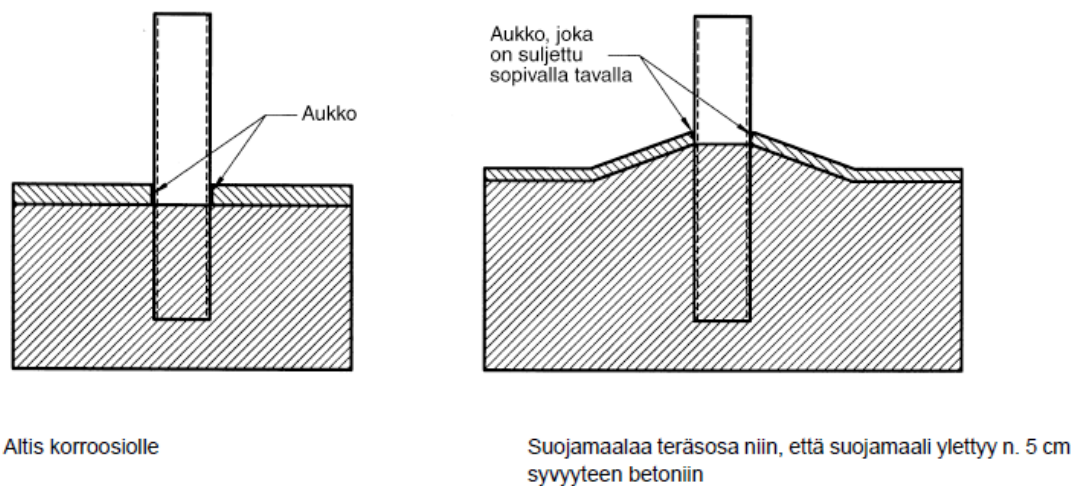


KUVA 20. Terävien reunojen pyörästys (SFS-EN ISO 12944-3)



KUVA 21. Hitsisaumojen vaikutus pintakäsittelyn laatuun (SFS-EN ISO 12944-3)

Myös ahtaiden rakojen syntymistä kappaleiden väliin tulisi välttää, jotta rakokorroosiota ei pääse syntymään. Erityisesti kuvan 22 kaltaisiin betonin ja teräksen liitoksiin tulisi kiinnittää huomiota, ettei vettä ja likaa pääse kertymään pilarin juureen vauhdittamaan rakokorroosiota. (SFS-EN ISO 12944-3)



KUVA 22. Teräksen liitos betoniin (SFS-EN ISO 12944-3)

Epäjatkuvat hitsit ovat otollisia rakokorroosiolle, siksi niitä tulisi välttää ja käyttää mieluummin jatkuvia hitsejä joka paikassa. Yleisenä ohjeena voidaan sanoa, että mikäli rakenne on muodostettava kahdesta eri osasta, niiden sauma tulisi hitsata umpeen. Korroosioneston kannalta on ihanteellista, mikäli rakenne sisältää mahdollisimman vähän osia. Tällöin myös korroosiolle erityisen alttiita kohtia, kuten hitsisaumoja ja osien välisiä rakoja, on mahdollisimman vähän. (SFS-EN ISO 12944-3)

## 7 YHTEENVETO

Teräs syöpyy ympäristön vaikutuksesta, minkä takia se on suojattava. Ympäröivät olosuhteet voidaan standardien mukaan jakaa viiteen eri rasisitusluokkaan. Rasisitusluokan perusteella rakenteelle valitaan jokin suojaustapa. Yleensä se on joko maalaus tai kuumasinkitys. Molempien suojaustapojen määrittäminen on viime vuosina muuttunut samankaltaiseksi yhteisten eurooppalaisten standardien ansiosta. Kansainvälisiä standardeja tutkiessa on kuitenkin muistettava, että niiden korroosiorasisitusluokat perustuvat Keski-Euroopassa tehtyihin mittauksiin. Suomessa esimerkiksi ilman rikkidioksidiarvot ovat laskeneet viime vuosina merkittävästi mikä on myös vähentänyt ilmaston korroosiorasisitusta verrattuna Eurooppaan.

Korroosionestomenetelmät jäävät usein liian vähälle huomiolle ja ne valitaan vasta suunnittelun loppuvaiheessa. Usein suojaus halutaan tehdä mahdollisimman pienillä kustannuksilla laskematta ollenkaan rakenteen huoltamisen aiheuttamia kustannuksia. Kustannustehokas korroosiosuojausjärjestelmä on kuitenkin täysin mahdollinen, mikäli rakenteen säilyvyyteen vaikuttaviin tekijöihin kiinnitetään suunnittelun alusta asti huomiota. Erityisesti rakenteeseen kohdistuvat ympäristörasisitukset on huomioitava. Kuvassa sisäilmassa oleva teräs ei kärsi korroosioista, joten erillistä suojausta ei välttämättä tarvita. Tällöin voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä, kun rakenteet on maalattava kevyesti vain ulkonäkösyistä. Toisaalta rakenteet, jotka ovat ankarissa ilmastorasisitusolosuhteissa, on suojattava siten että ne kestävät niille asetetun käyttöikävaatimuksen ajan. Joissain olosuhteissa tämä ei ole mahdollista, jolloin rakenteet on suunniteltava huollettaviksi.

Rakenteen huollettavuus ja huoltokustannukset ovat tulevaisuudessa entistä merkittävämmässä roolissa. Suomalaiseen rakentamiseen tuloa tekevä elinkaariajattelu tulee lisäämään merkittävästi myös teräsrakenteiden korroosioneston merkitystä. Kun rakentajan on vastattava myös rakennuksen huollosta ja ylläpidosta, on kannattavaa suunnitella rakenteet siten että huoltokustannukset pysyvät mahdollisimman alhaisina. Tämä voi edellyttää esimerkiksi kuumasinkityksen käyttöä paikoissa, joissa normaalisti käytetään maalauskäsittelyä.



## LÄHTEET

Kinnunen, J., Saarinen, E., Tiira, S., Ulvinen, S. & Väänänen, E. 2002. Teräsrakenteiden suunnittelu. Sähköinen versio. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Aromaa, J. 2005. Korroosionestotekniikan perusteet. Espoo: Otamedia Oy

Flink, R., Killström, T., Kilpinen, J., Kotilainen, P. & Tuisku, L. 2009. Metallipintojen teollinen maalaus. Sähköinen versio. Vantaa: Tikkurila Oy.

Teknos Oy. 2012. Korroosionestomaalauksen käsikirja. Sähköinen versio. Helsinki: Teknos Oy.

Kemianteollisuus ry. 2008. SFS-EN ISO 12944-5. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 5: Suojamaaliyhdistelmät. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Kemianteollisuus ry. 1998. SFS-EN ISO 12944-2. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Kemianteollisuus ry. 1998. SFS-EN ISO 12944-1. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 1: Yleistä. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Kemianteollisuus ry. 1998. SFS-EN ISO 12944-3. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 3: Rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Kemianteollisuus ry. 1998. SFS-EN ISO 12944-4. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 4: Pintatyypit ja pinnan esikäsitteily. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

PSK Standardisointiyhdistys ry. 2008. SFS 5873. Metallirakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Käyttösuositus prosessi- ja metalliteollisuudelle. 3. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Metalliteollisuuden standardisointiyhdistys ry. 2012. SFS-EN 1090-2 + A1. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Metalliteollisuuden standardisointiyhdistys ry. 2012. SFS-EN ISO 9223. Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Classification, determination and estimation. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Liikennevirasto. 2010. SILKO 1.301. Metallit sillankorjausmateriaalina. Yleiset laatuvaatimukset. Sähköinen versio. Helsinki: Liikennevirasto.

Tiehallinto. 1990. SILKO 1.202. Polymeerit sillankorjausmateriaalina. Sähköinen versio. Helsinki: Tiehallinto.

Ilmatieteenlaitos. 2013. Ilmanlaatuportaali. Tietoa ilmansaasteista. Luettu 11.4.2013.  
<http://www.ilmanlaatu.fi/>

Pohjanne, P. Carpèn, L., Kinnunen, P. & Hakkarainen, T. 2008. Ruostumattomien teräs-rakenteiden paikallisen korroosion riskin arviointi. Powerpoint-esitys teräsrakenteiden T&K-päivillä. Helsinki: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Euro Inox & Steel Construction Institute 2006. Ruostumattomien terästen käyttö kanta-vissa rakenteissa. 3. painos. Luxemburg: Euro Inox.

Tallemenco. Korroosionesto vesirakenteissa. Luettu 21.3.2013.  
<http://www.talle.biz/coatings.html>

Laitinen, K. 2012. Korroosio. Teräsrakenneyhdistyksen verkkojulkaisuja. Helsinki: Te-räsrakenneyhdistys ry.  
[http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/t\\_k\\_ja\\_jaostot/pintakasittelyjaosto/korroosio\\_yleensa/](http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/t_k_ja_jaostot/pintakasittelyjaosto/korroosio_yleensa/)

Onnettomuustutkintakeskus. 2004. Kylpylän alakaton romahtaminen Kuopiossa 4.9.2003. Tutkintaselostus. Sähköinen versio. Luettu 7.2.2013. Helsinki: Onnettomuus-tutkintakeskus.

Kemianteollisuus ry. 2007. SFS-EN ISO 8501-1. Teräspintojen esikäsittely ennen pin-noitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 1: Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsittelyasteet. Maalaamattomat teräspinnat ja aiemmista maaleista kauttaaltaan puhdistetut teräspinnat. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Kemianteollisuus ry. 2007. SFS-EN ISO 8501-3. Teräspintojen esikäsittely ennen pin-noitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 3: Hitsien, leikkaussärmien ja muiden pintavirheellisten alueiden esikäsittelyasteet. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SteelConstruction.info. Tata Steel:n, BCSA:n ja SCI:n perustama teräsrakentamisen tietosivusto. Maalipinnoitteet. Luettu 7.3.2013. <http://www.steelconstruction.info>

Tikkurila Oy. 26.5.2011. Teollisuutta ja maaleja koskevat VOC-direktiivit ja asetukset. Uutinen verkkosivuilla. Luettu 28.3.2013.  
[http://www.tikkurila.fi/teollinen\\_maalaus/ajankohtaista](http://www.tikkurila.fi/teollinen_maalaus/ajankohtaista)

Tikkurila Oy. Metalliteollisuuden maalien tuoteselosteet. Sähköinen versio. Luettu 28.3.2013.  
[http://www.tikkurila.fi/teollinen\\_maalaus/metalliteollisuus/metalliteollisuuden\\_tuotteet/tuoteselosteet\\_ja\\_ktt\\_t](http://www.tikkurila.fi/teollinen_maalaus/metalliteollisuus/metalliteollisuuden_tuotteet/tuoteselosteet_ja_ktt_t)

Teknos Oy. Metalliteollisuuden maalien tuoteselosteet. Sähköinen versio. Luettu 28.3.2013. [www.metal.teknos.fi](http://www.metal.teknos.fi)

Suomen kuumasinkitsijät ry. 2007. Kuumasinkityksen toimintaketju. Yleisohje. Sähköi-nen versio. Luettu 10.4.2013.

Suomen kuumasinkitsijät ry. 2007. Teräksen valinta kuumasinkittävään rakenteeseen. Yleisohje. Sähköinen versio. Luettu 11.4.2013.

Thomas, R. & Wallin, T. 2000. Kuumasinkitys. 5. painos. Suomen Kuumasinkitsijät ry.

Ruukki. Rakenneputkien kemiallinen koostumus. Luettu 19.4.2013. [www.ruukki.fi](http://www.ruukki.fi)

Metalliteollisuuden standardisointiyhdistys ry. 2010. SFS-EN 14713-1. Sinkkipinnoitteet. Ohjeet ja suositukset rauta- ja teräsrakenteiden korroosionestoon. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet ja korroosionkestävyys. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Metalliteollisuuden standardisointiyhdistys ry. 2010. SFS-EN 14713-2. Sinkkipinnoitteet. Ohjeet ja suositukset rauta- ja teräsrakenteiden korroosionestoon. Osa 2: Kuumasinkitys. Sähköinen versio. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Suomen kuumasinkitsijät ry. Tietoa kuumasinkityksestä. Verkkosivut. Luettu 20.4.2013. [www.kuumasinkitys.fi](http://www.kuumasinkitys.fi)

Ruukki. 2007. Metallipinnoitetut teräslevyt ja -kelat. Toimitukset: Suojautuminen kosteusvaurioilta. Sähköinen versio. Luettu: 23.4.2013.

Euro Inox. 2006. Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa. Käsikirja. Sähköinen versio. Luettu 18.4.2013.

VTT. 2006. Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa. Sähköinen versio. Luettu 18.4.2013

Ruukki. 2013. Säänkestävä teräs COR-TEN. Tuotetiedot. Sähköinen versio. Luettu 20.4.2013.

# LIITTEET

## Liite 1. Konepajapohjamaalien soveltuvuus palosuojaamaalien kanssa

### KONEPAJAPOHJAMAALIEN SOVELTUVUUS

#### PALOSUOJAMAALIEN KANSSA:

HUOM! Pintamaalaus suoritettava mahdollisimman pian palosuojaamaalauksen jälkeen!  
Lista tehty Q1/2013

PALOSUOJAMAALI	KONEPAJAPOHJAMAALI	PINTAMAALI
Nullifire S707-60/120 Vaalea, himmeä	Temaprime EUR (Tikkurila); Temacoat GPL-S Primer (Tikkurila); Teknoplast Primer 3,5 (Teknos); Teknolac Primer 3,5,7 (Teknos); Barrier (Teknos); Interta Primer 3 (Teknos); Akvanor 81 Primer (Nor-Maali); Epocoat 21 Primer (Nor-Maali); Normazink SE (Nor- Maali)	Normanol 12 (Nor-Maali); Norrapid 10,12 (Nor-Maali); Pioneer Topcoat(Nor-Maali); Teknolac 50 (Teknos); Temalac FD 50 (Tikkurila)
HENSOTHERM 3 KS INDOOR/OUTDOOR (Teknos Oy)	<b>TEKNOPOX PRIMER 4</b> , TEKNOPLAST PRIMER 3, TEKNOPLAST PRIMER 5, TEKNOPOX AQUA PRIMER 3, TEKNOLAC PRIMER 0168- 00 (60-80 µm)	TEKNOCRYL 1295-05 50-70 µm sisällä 80-100 µm ulkona, kaksi levityskerrosta
HENSOTHERM 4KS sisäkäyttöön (Teknos Oy)	<b>TEKNOPOX PRIMER 4</b> , TEKNOLAC PRIMER 0168-00, KORRO AQUA 2741. (60-80 µm)	TEKNOCRYL 1295-05 (asemalla) TEKNOCRYL AQUA 350, EKORA 20, TELA 20 (työmaalla, C1-luokka) (50-70 µm, EKORA 20 = 20-40 µm)
TEKNOSAFE 2002-00 (Teknos Oy) Valkoinen	TEKNOPOX AQUA PRIMER 3, TEKNOPLAST PRIMER 3, TEKNOPLAST PRIMER 5, TEKNOSYNT PRIMER 3, TEKNOLAC PRIMER 0168 -sarja, TEKNOCRYL AQUA PRIMER 7, TEKNOCRYL AQUA COMBI 2780.	TEKNOCRYL 1295-05, TEKNOLAC 50 (asemalla) TEKNOCRYL AQUA 2790, TIMANTTI 20, TREND 20 (työmaalla)
Nonfire S104 (Tikkurila) Valkoinen	Temacoat SPA Primer (60 µm), Temaprime EUR (40 µm), Temaprime EE (40 µm), Temacoat GPL-S Primer (60 µm) ja Fontecryl 10 (40 µm)	Luja, Fontecryl 50, Fontex AC 45, Temalac AB 70, Temathane PC 80, Temadur 50 ja Temacryl AR 50 Noin 50 µm, C1
HCA WL (Flame guard)	HCA Primer	HCA Topcoat, HCA Topcoat Exterior
SIKA Unitherm Steel S (Sika)	Sika Permacor 1705 Sika Permacor 2706 EG (sinkinginnat)	Sika Unitherm Top S
FIRETEX FX2000 (Leighs Paint)	Epocoat 21 Primer(Nor-Maali), Interta Primer 5, Teknolac Primer 0168-50 (Teknos), PajaPohja Primer (Jotun), Temacoat GPL-S Primer, Temacoat SPA Primer, Temaprime EE, Temaprime EUR, Temadur 20, Temalac FD20 (Tikkurila), Lisäksi useita Leighs Paintin omia maaleja!	Teknodur 0150(Teknos), Normadur 65HS, Normadur HB, Pioneer (Jotun), Fontecryl, Temacryl AR50, Temadur 50, Temathane 50,Temathane PC50, Temadur 20, Temalac FD20 (Tikkurila)
SIKA Unitherm safir	Sika PermaCor 1705, Sika PermaCor 2706 EG, PajaPohja, Epocoat 21 Primer, Inerta Primer 5, Temacoat SPA Primer, Teknoplast Primer 7	Sika Unitherm 7854, Sika Unitherm Dispersion, Temalac FD 50, Norapid 10, Teknolac 50

## Liite 2. Maalausjärjestelmät eri rasisluokkiin

**SUOJAMAALIHISTELMIEN VALINTATAULUKKO****TERÄSPINNOILLE ULKOTILOISSA:**

Taulukko laadittu standardien SFS-EN ISO 12944-5 ja SFS 5873 sekä maalivalmistajien taulukoiden perusteella

RASITUSLUOKKA	Maalausjärjestelmätunnus	SFS-EN ISO 12944-1 Kestävyyssluokka (Low-Med-High)	Tyypillinen käyttökohde ulkona
C2 Lievä	SFS-EN ISO 12944-5/A2.01 (AK80/2-FeSa2½)	C2/L	Maaseutuilmasto, jossa epäpuhtauksien määrä on alhainen
	SFS-EN ISO 12944-5/A2.02 (AK120/2-FeSa2½)	C2/M (C3/L)	
	SFS-EN ISO 12944-5/A2.06 (EPPUR120/2-FeSa2½)	C2/M (C3/L)	
	SFS 5873/F20.02 (AY120/2-FeSa2½)		
	SFS 5873/F20.03 (PUR100/1-FeSa2½)		
C3 Kohtalainen	SFS 5873/F20.07 (OX100/1-FeSa2½)		
	SFS-EN ISO 12944-5/A3.02 (AK160/3-FeSa2½)	C3/M	Kaupunki- ja teollisuusilmastilat, joissa kohtalainen rikkioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla on alhainen suolapitoisuus.
	SFS-EN ISO 12944-5/A3.08 (EPPUR160/3-FeSa2½)	C3/M	
	SFS-EN ISO 12944-5/A3.06 (AY200/3-FeSa2½)	C3/H	
	SFS-EN ISO 12944-5/A3.09 (EPPUR200/3-FeSa2½)	C3/H	
SFS-EN ISO 12944-5/A3.11 (EPZn(R)PUR160/2-FeSa2½)	C3/H		
C4 Ankara	SFS-EN ISO 12944-5/A4.08 (EPPUR240/3-FeSa2½)	C4/M	Teollisuus- ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen.
	SFS-EN ISO 12944-5/A4.14 (EPZn(R)EPPUR200/3-FeSa2½)	C4/M	
	SFS-EN ISO 12944-5/A4.15 (EPZn(R)EPPUR240/4-FeSa2½)	C4/H (C5/M)	
C5-I Hyvin ankara (teollisuus)	SFS-EN ISO 12944-5/A5I.02 (EPPUR320/4-FeSa2½)	C5/H	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmasto syövyttävä.
	SFS-EN ISO 12944-5/A5I.05 (EPZn(R)EPPUR320/5-FeSa2½)	C5/H	
C5-M Hyvin ankara (meri)	SFS-EN ISO 12944-5/A5M.05 (EPZn(R)EPPUR240/4-FeSa2½)	C5/M	Rannikkoalueet ja rannikon ulkopuoliset alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.
	SFS-EN ISO 12944-5/A5M.06 (EPZn(R)EPPUR320/5-FeSa2½)	C5/H	
Kuiva lämpörasitus 150...400 °C	SFS 5873/F20.05 (ESIZn(R)70/1-FeSa2½)		Huomioitava kun t > 70 °C
	Maalivalmistajilla lisäksi ei-standardin mukaisia järjestelmiä		
Mekaaninen rasitus	SFS 5873/F20.05 (ESIZn(R)70/1-FeSa2½)	C2/H, C3/M, C4/L, liuotteet, öljyt	Lastiluukut, ajorampit Meri-/teollisuusilmasto
	SFS 5873/F20.06 (ESIZn(R)SI90/1-FeSa2½)	C5M-C5I	
Im1...Im3 Makea- ja merivesi maa	SFS-EN ISO 12944-5/A6.04 (EP500/2-FeSa2½)	Im1-3/H	
	Im1=makeavesiupotus		
	Im2=meri- ja murtovesiupotus Im3=maanalaiset rakenteet		
Polttonesteet ja öljytuotteet	SFS 5873/F22.04 (EP300/3-FeSa2½)		
	SFS 5873/F22.04 (EP500/2-FeSa2½)		
Liuotteet	SFS 5873/F20.05 (ESIZn(R)70/1-FeSa2½)		