

# Ilmastorasitusluokan määrittäminen ja sinkkipinnoitteen syöpymisnopeus

Metallien ilmastolliseen korroosioon vaikuttavat lukuisat tekijät kuten ilman suhteellinen kosteus, lämpötila ja etenkin erilaiset ilman epäpuhtaudet kuten kloridit ja rikki-dioksidi. Ympäristön ilmastorasitusluokat on määritelty kansainvälisessä standardissa SFS-EN ISO 9223 Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation. Suomeksi ilmastorasitusluokista kerrotaan esimerkiksi standardissa SFS-EN ISO 12944-2:2017 Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Ilmastorasitusluokalla on monta nimeä ja ne kaikki tarkoittavat samaa asiaa: ilmastorasitusluokka, korroosiorasitusluokka, korroosioluokka, rasisitusluokka, korroosiovaikutusluokka, ilmatilakorroosiovaikutusluokka.

Ilmastollisessa korroosiossa metallien korroosionopeuteen vaikuttavat pääasiassa pinnan märkänä-oloaika ja ympäristön epäpuhtaudet. Korroosiorasitus on jaettu kuuteen luokkaan C1-CX: C1 hyvin lievä korroosiovaikutus (very low), C2 lievä (low), C3 kohtalainen (medium), C4 ankarana (very high) ja C5 hyvin ankara ja CX äärimmäinen (extreme). Ilmastorasitusluokkien määrittämiseksi on kaksi vaihtoehtoa: altistetaan standardikoekappaleita tai lasketaan ilmastotodatan perusteella. Ensimmäisessä luokkaa määritellään koestamalla standardikoekappaleita ja mittaamalla niiden painohäviö ensimmäisen koestusvuoden kuluttua. Toisessa luokkaa arvioidaan tarkastelemalla ympäristötekijöiden yhteisvaikutusta: lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, vuosittaisen rikki-dioksidipitoisuuden keskiarvo ja vuosittaisen kloridilaskeuman keskiarvo.

Rasitusluokka tulisi selvittää ensisijaisesti todellisilla mittauksilla metallinäytteillä, sillä ilmastodatan perusteella tehtävissä luokituksissa luotettavuus on huomattavasti heikompi. Tutkittavat metallimateriaalit ovat teräs, sinkki, alumiini ja kupari ja niille tehdään yhden vuoden ulkotesti. Testin jälkeen niistä määritetään painohäviöt. Standardissa annetaan kullekin materiaalille tiettyyn rasitusluokkaan painohäviö pinta-alayksikköä kohden sekä paksuushäviö. Huomattavaa on, ettei ensimmäisen vuoden korroosionopeutta voi yksinkertaisesti ekstrapoloida pitkäaikaisen korroosioikäytymisen ennustamiseen. Ulkona korroosio on usein ensimmäisenä vuonna voimakkainta, ja vähitellen metallipinta passivoituu ja korroosio hidastuu. Lisätietoja ja laskentamalleja pitkän ajan korroosion standardissa SFS-EN ISO 9224 Corrosion of metals and alloys - Corrosivi-

ty of atmospheres - Guiding values for the corrosivity categories.

Toinen vaihtoehto ilmastorasitusluokan selvittämiseksi on ympäristöparametrien ja standardissa annettujen kaavojen käyttö. Virhearviointien mahdollisuus on kuitenkin huomattava ja tulokset ovat aina arvioita, eivät todellisia mittauksia. Kaavoja pitäisi käyttää vain tilanteissa, jossa kokeellisia tuloksia ei ole saatavilla. Standardin kaavojen soveltaminen Suomen olosuhteisiin on haastavaa, sillä ympäristöparametreja ei ole kattavasti saatavissa ja toisaalta ilmastorikki- ja kloridipitoisuudet ovat niin alhaisia, että Suomi kuuluu korroosion nopeuden kannalta lievimpään luokkaan.

## Ilmastorasitusluokan määrittäminen ympäristöparametrien perusteella

Arvio ilmastorikkeisyydestä voidaan tehdä käyttämällä ilmastodataa ja standardissa jokaiselle materiaalille annettua kaavaa. Kaavat kuvaavat ensimmäisen vuoden korroosiorasitusta ulkona lämpötilan, suhteellisen kosteuden sekä ilman rikki- ja kloridikerrostumisnopeuksien funktiona. Kaavat perustuvat maailmanlaajuisiin korroosio-kokeisiin, joskin niihin liittyvät rajoitteet ja epävarmuustekijät tuodaan standardissa voimakkaasti esiin. Standardissa annetaan raja-arvot, joita kaavoissa näiä käytetään ja kun kaavaa ekstrapoloidaan näiden ulkopuolelle, tulee käyttää erityistä varovaisuutta.

Esimerkiksi hiiliteräkselle kaava on (SFS-EN ISO 9223)

$$r_{corr} = 1,77 * P_d^{0,52} * e^{0,020 * RH} + f_{st} + 0,102 * S_d^{0,62} * e^{0,033 * RH} + 0,040 * T$$

$$f_{st} = \begin{cases} 0,150 * (T - 10), jos T \leq 10^\circ C \\ -0,054 * (T - 10), jos T > 10^\circ C \end{cases}$$

ja sinkille

$$r_{corr} = 0,0129 * P_d^{0,44} * e^{0,046 * RH} + f_{zn} + 0,0175 * S_d^{0,57} * e^{0,008 * RH} + 0,085 * T$$

$$f_{zn} = \begin{cases} 0,038 * (T - 10), jos T \leq 10^\circ C \\ -0,071 * (T - 10), jos T > 10^\circ C \end{cases}$$

jossa

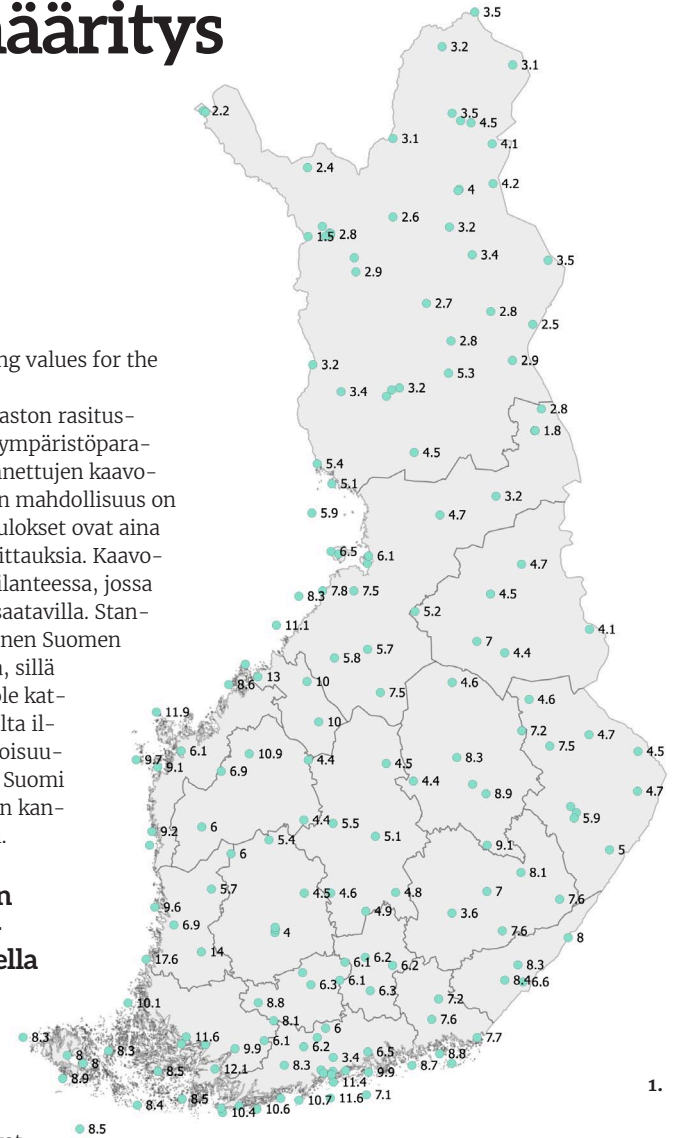
$r_{corr}$  on ensimmäisen vuoden korroosionopeus metallille ( $\mu\text{m/a}$ );

T on lämpötilan vuosikeskiarvo ( $^\circ\text{C}$ );

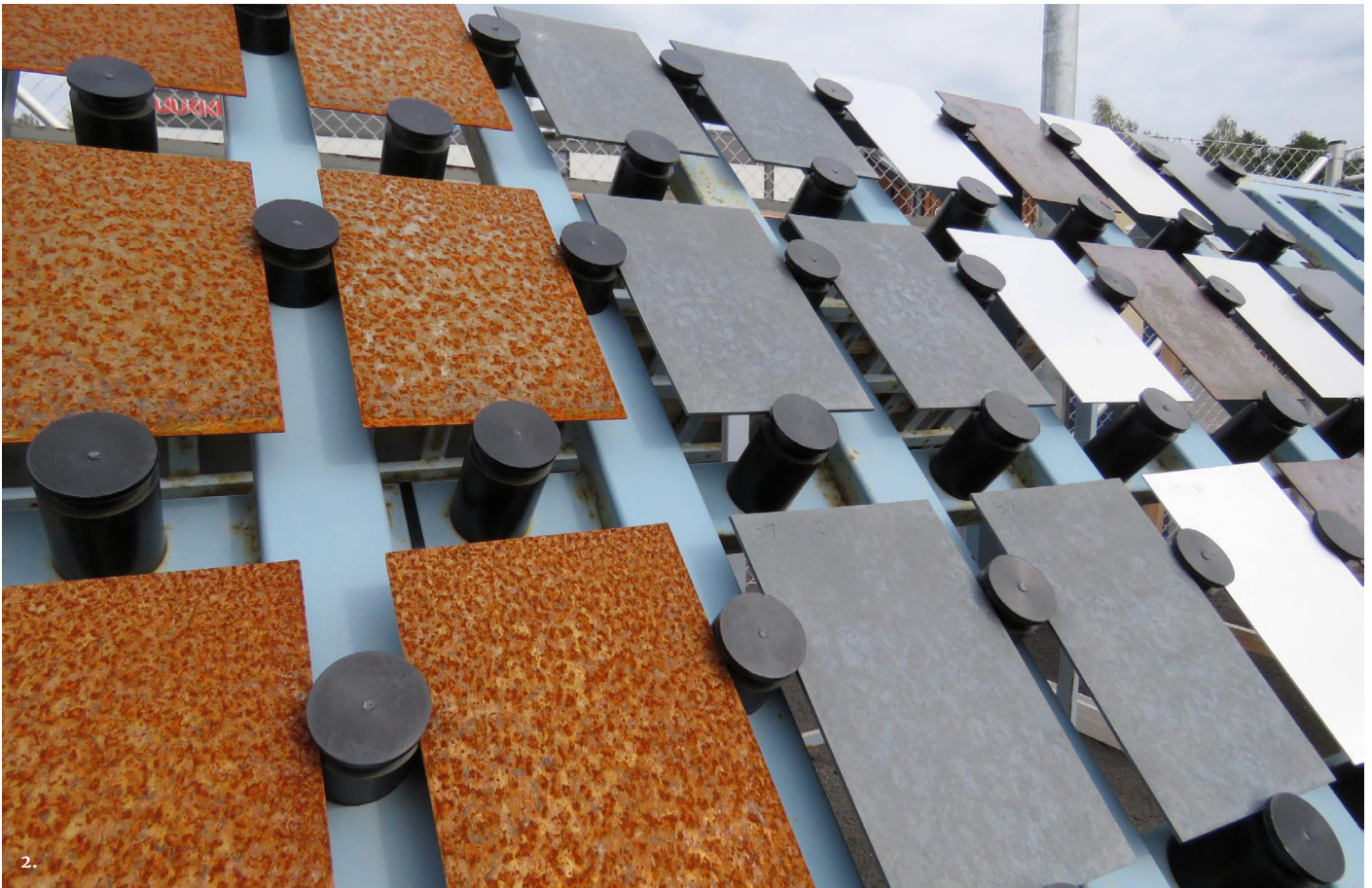
RH on suhteellisen kosteuden vuosikeskiarvo (%);

$P_d$  on rikkidioksidin ( $\text{SO}_2$ ) kerrostuman (deposition) vuosikeskiarvo [ $\text{mg}/(\text{m}^2 * \text{d})$ ];

$S_d$  on kloridin ( $\text{Cl}^-$ ) kerrostuman (deposition) vuosikeskiarvo [ $\text{mg}/(\text{m}^2 * \text{d})$ ].



Suomen ympäristödata on ladattavissa Ilmatieteen laitoksen avoimesta datasta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/avoindata>. Verkostoon kuuluu noin 400 erityyppistä havaintoasemaa ja 208 sääasemaa, joilta saadaan esimerkiksi lämpötila, sademäärät ja suhteellinen kosteus. Joiltakin asemilta saa myös ilmanlaatutiedot tai niiden mittauksista vastaa kaupunki. Esimerkiksi Hämeenlinnassa syksystä 2017 syksyyn 2018 sademäärä oli 503 mm, ilman suhteellinen kosteus 79 % ja keskilämpötila 6,3 °C. Rikkidioksidin ja kloridien mittauksesta vastaa Suomes-



sa pääsääntöisesti Ilmatieteenlaitos ja niiden molempien määrät ovat Suomessa hyvin vähäisiä, vuosikeskiarvojen mukaan standardin matalimmissa luokissa P0 ja So.

HAMK Techissä on laskettu ilmastodatan perusteella hiiliteräksen korroosionopeus kaikilla Suomen sääasemilla vuosien 2013 ja 2014 tietojen perusteella. Jokainen piste osui välille  $1,3 < r_{corr} \leq 25$  ja koko Suomi on ilmastodatan ja standardin kaavojen perusteella luokituksessa C2. Nämä näkyvät kuvassa 1.

### Tuloksia ulkotestikentiltä

Kansainvälisessä ICP Materials -verkostossa tutkitaan ilmansaasteiden vaikutusta materiaaleihin ja arvioidaan korroosio- ja ilmansaastetrendejä. Tavoitteena on kehittää yhä parempia tapoja arvioida materiaalien pitkäaikaiskestävyyttä ja verkosto on aktiivisesti mukana aiheeseen liittyvien standardien suunnittelussa. Käytännön tutkimustyö tehdään ICP Materials -verkoston eri maissa sijaitsevilla tutkimuslaitoksissa ja yliopistoissa ja niiden ulkotestikentillä. Tällä hetkellä verkostossa on mukana noin 30 ulkotestikenttää lukuisissa maissa ja se kattaa laajat maantieteelliset vyöhykkeet Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. HAMK on ollut mukana toiminnassa vuodesta 2014 ja yhteyshenkilönä toimii Tiina Vuorio. Tutkitavina materiaaleina ovat tällä hetkellä teräs, säänkestävä teräs, ruostumaton teräs, sinkki, kupari, alumiini, maalipinnoitettu teräs, lasi, kalkkikivi ja marmori. Uusia näytteitä laitetaan testeihin säännöllisesti ja viimeisimmät vuoden testien tulokset ovat syksystä 2017 syksyyn 2018. Vuoden 2020/2021 testit ovat

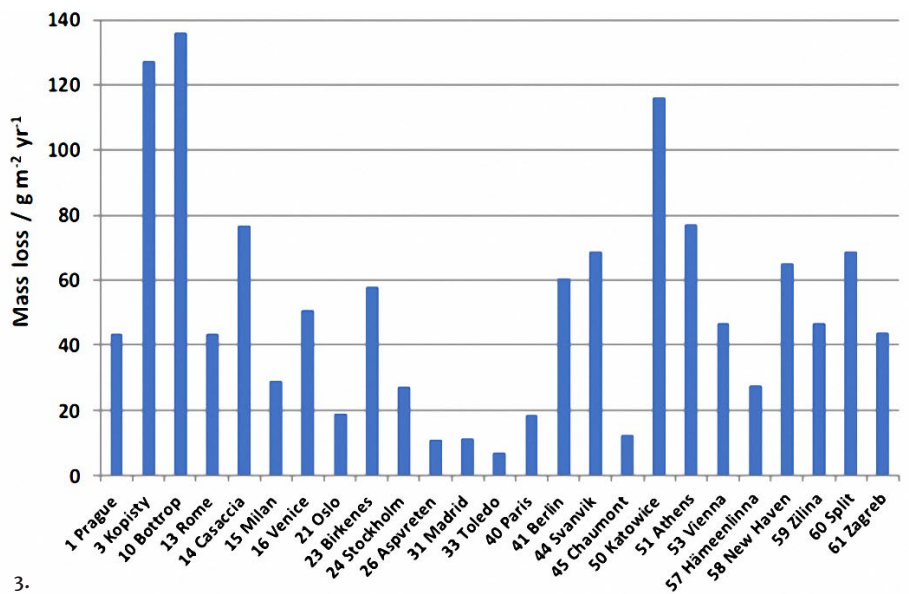
juuri loppuneet ja näistä saamme tuloksia ensi vuonna. Testeissä on myös 4 ja 8 vuoden näytteitä, jotta voimme seurata pidemmän ajan korroosiota. Kuvassa 2. on ICP Materials verkoston näytteitä Hämeenlinnan testikentällä.

Kuvassa 3. on esitetty teräksen massahäviöt ICP Materials testikentillä yhden vuoden koestuksen jälkeen 2017/2018. Korroosioluokitus on kaikilla kentillä C2 ( $10 < r_{corr} \leq 200$  g/m<sup>2</sup>) riippumatta siitä ovatko ne teolli-

suus-, kaupunki- vai maaseutukenttiä (paitsi Toledo C1). Hämeenlinnan näytteiden keskiarvo oli 27,88 g/m<sup>2</sup>.

Kuvassa 4. on vertailtu teräksen korroosiota ulkotestikentillä 2017/2018 ja vastaavan ajan ilmastodatan perusteella laskettua korroosiota. Korrelaatiokerroin on noin 0,52 standardin ISO 9223 kaavojen mukaan.

Kuvassa 5. on esitetty sinkin massahäviöt ICP Materials testikentillä yhden vuoden koestuksen jälkeen 2017/2018. Korroosioluo-



**Kuva 1:** Hiiliteräksen korroosionopeus (µm/a) ilmastodatan perusteella (pisteet eivät osu kuvassa aivan täydellisesti maantieteellisille kohdilleen).

**Kuva 2:** Ulkotestinäytteitä ilmastorasitusluokan

määrittämiseksi Hämeenlinnan ulkotestikentällä.

**Kuva 3:** Teräksen massahäviöt ICP Materials testikentillä yhden vuoden koestuksen jälkeen 2017/2018.



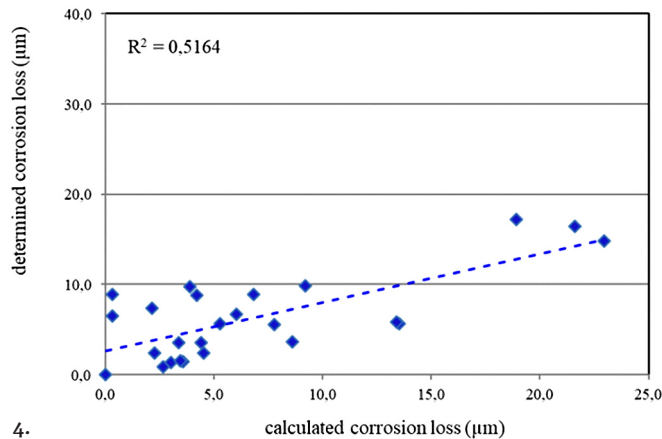
kitus on kaikilla kentillä C2-C3 ( $0,7 < r_{corr} \leq 5 \text{ g/m}^2 = C2$ ,  $5 < r_{corr} \leq 15 \text{ g/m}^2 = C3$ ). Testissä käytettiin 99,99 % lasikuulapuhallettuja sinkkilevyjä, joiden pinnankarheus ( $R_a$ ) oli  $-2,9 \mu\text{m}$ . Jos lasipuhallettujen (ZnCH) näytteiden massahäviöt lasketaan hiotuille (ZnCZ) näytteille, joita on käytetty tutkimuksessa aiemmin, lähes kaikki testikentät kuuluvat luokkaan C2 ( $ZnCZ = -2,3 + 0,88ZnCH$ ). Hämeenlinnan näytteiden keskiarvo oli  $6,35 \text{ g/m}^2 \Rightarrow C3$  (ZnCZ -näytteille  $\Rightarrow C2$ ).

Sinkin korrosio on pienentynyt nopeasti ja vakiintunut lähes vakioarvoihin vuosien varrella, vaikka  $SO_2$ -pitoisuus on laskenut jatkuvasti. Rikkidioksidin lisäksi myös muut tekijät vaikuttavat oleellisesti sinkin korrosioon, esimerkiksi kosteus, sade, saateisten päivien määrä ja muut tuntemattomat tekijät. Luokitus teollisuus-, kaupunki- ja maaseutualueisiin ei enää sovi ISO 9223-standardin mukaisesti korrosioluokkiin. Useimmilla kaupunkialueilla korrosioarvot ovat nyt samalla tasolla kuin maaseutualueilla. Vanhoilla ICP Materials mittauksilla on suhteellisen hyvä korrelaatio ISO 9223 kaavan kanssa, mutta uusilla mittauksilla 2014/2015 ja 2017/2018 korrelaatiokertoimet ovat huonoja, noin 0,02. Sinkille on kehitetty parempia kaavoja, mutta ennen niiden käyttöönottoa odotetaan vielä seuraavat neljän vuoden ulkotestien tulokset. Uusilla kaavoilla korrelaatiokertoimeksi on saatu jopa 0,89.

## Sinkkipinnoitteen kestävyys

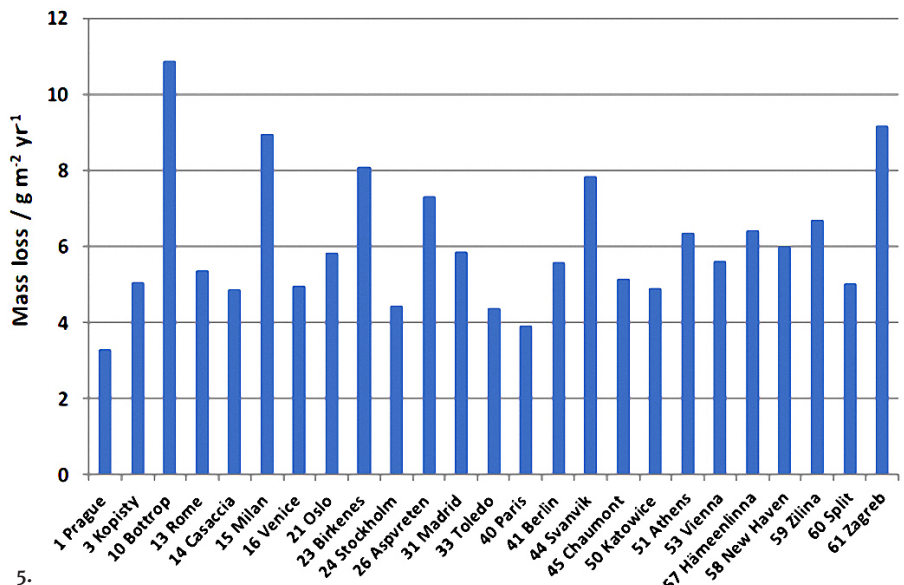
Sinkitys on matalaseostetun teräksen korrosiosuojauksessa käytetty pinnoitusmenetelmä. Vaikka sinkki on hyvin epäjaloin metalli, sen pinnalle muodostuu tiivis suojaava korrosiotuotekerros (patina), joka estää korroosion jatkumisen tai ainakin hidastaa sitä. Sinkkipinnoitteen erityisominaisuus on pinnoitteen toimiminen uhrautuvasti: esimerkiksi naarmuissa tai leikkauksissa sinkki syöpyy teräksen sijasta. Sinkitysmenetelmä on useita. Eniten käytetty sinkitysmenetelmä on kuumasinkitys, jossa pinnoitettava teräs upotetaan sulaan sinkkiin. Kuumasinkitys voidaan tehdä joko teräsohutelevyjen jatkuva-toimisella kuumasinkityslinjalla tai kappale-tavarasinkityksenä. Sinkkipinnoitteen elinikä on verrannollinen pinnoitteen paksuuteen. Sähkösinkityksen paksuus on tyypillisesti 3-7  $\mu\text{m}$ , kastosinkityksen 35-300  $\mu\text{m}$  ja jatkuvatoimisesti kuumasinkityksen 7-32  $\mu\text{m}$ . Jatkuvatoinisesti kuumasinkitysten tavallisimmin käytettyjä pinnoitepaksuuksia ovat 100 (7  $\mu\text{m}$ ), 275 (20  $\mu\text{m}$ ) ja 350  $\text{g/m}^2$  (25  $\mu\text{m}$ ).

Ilman epäpuhtaudet vaikuttavat oleellisesti sinkin kestävyteen, erityisesti rikkidioksidipitoisuus. Rikkidioksidi muuttaa emäksisen sinkkikarbonaatin helpommin liukeneviksi sinkkisulfidiksi ja sinkkisulfaattiksi. Korroosio tapahtuu enemmän teollisuusilmastossa kuin kaupunki- ja maaseutuympäristössä. Altistuskulmalla on merkitystä kaikissa ympäristöissä, korrosio on nopeampaa vaakatasoisella kuin pystysuoralla pinnalla. Suojassa olevat pinnat syöpyvät vähemmän kuin suojaamattomat. Meriympäristössä sinkin korrosioon vaikuttaa ilman suolapitoisuus. Meri-ilmassa on kuitenkin myös pieninä pitoisuuksina



**Kuva 4:** Teräksen korroosion ja ilmastodatan vertailu, korrelaatiokerroin 0,52.

**Kuva 5:** Sinkin massahäviöt ICP Materials testikentillä yhden vuoden koestuksen jälkeen 2017/2018.



magnesiumsuoloja, joilla on hyvä passivoiva vaikutus, joka hillitsee korroosiota. Lisäksi suolapitoisuus vähenee nopeasti sisämaahan pään mentäessä.

Korroosionopeus ei ole vakio ajan funktiona. Korrosio on yleensä huomattavasti nopeampaa ensimmäisen vuoden aikana ja vähenee sen jälkeen asteittain. Standardi SFS-EN ISO 9224 antaa suuntaa antavia arvoja metallien pitkän ajan korroosionopeuksille. Esimerkiksi korrosiotestikentällä Ruotsin Bohus-Malmönissä 8 vuoden ulkotestin jälkeen passivoitujen näytteiden keskimääräinen syöpymä oli sinkkipinnoitteelle 0,82  $\mu\text{m/a}$ , Galfan-pinnoitteelle 0,27  $\mu\text{m/a}$  ja magnesiumseosteiselle sinkkipinnoitteelle 0,83  $\mu\text{m/a}$ . Suomessa tehdyssä 11 vuoden ulkotestissä (2000-2011) Ähtärissä, Espoossa ja Harmajan saarella Helsingin edustalla passivoituille näytteille Galfan-pinnoitteen korrosionopeus oli 0,1-0,3  $\mu\text{m/a}$  ja sinkkipinnoitteelle 0,2-0,4  $\mu\text{m/a}$ . Matalimmat arvot olivat Ähtärissä maaseutuolosuhteissa ja korkeimmat meriolosuhteissa Harmajalla. Eri maissa on tehty valmiita karttoja sinkkipinnoitteen kestävyden arvioimiseksi tietyllä paikalla. Tunnetuin lienee Englannin The Zinc Millennium Map, joka löytyy osoitteesta <https://www.galvanizing.org.uk/corrosion-map/>

Suomen ilmastorasitusluokka on keskimäärin teräkselle C2 ja sinkille C2-C3, paikallinen mikroilmasto voi kuitenkin vaikut-

taa korrosiorasitukseen oleellisesti. Sinkin korrosioon vaikuttavat monet tekijät, eikä korrosionopeudelle ole mahdollista antaa yleispätevää kaavaa. Ilman rikkidioksidipitoisuus on laskenut voimakkaasti viime vuosikymmeninä, minkä ansiosta myös sinkin korrosio on vähentynyt. Sinkkipinnoitteita on käytetty kauan suojaamaan terästä ruostumiselta mitä vaihtelevimmissa olosuhteissa, joten tiedetään, että se antaa erinomaisen korrosiosuojan!

**TRY Pintakäsittelyryhmän puolesta**  
**Tiina Vuorio, tutkimuspäällikkö, HAMK Tech**

## Lähteet:

ICP Materials raportit ja julkaisut <https://www.ri.se/en/icp-materials>, teräksen tulokset Katerina Kreislova ja sinkin tulokset Markus Fallner

Standardit SFS-EN ISO 9223, SFS-EN ISO 9224, SFS-EN ISO 12944-2, SFS-EN 10169 + A1, SFS-EN ISO 14713-1, SFS-EN ISO 1461

Kuumasinkityskäsikirja. Nordic Galvanizers 2020

J.Tuomisto, A.Peltola, Teräsrakenne 3/2019, Teräsrakenneyhdistyksen 2019