

17.3.2015

TERÄS KOSKETUKSISSA MUIDEN MATERIAALIEN KANSSA - Korroosionkestävyys

SISÄLLYS

- 1 Rakentamisen suunnitteluohjeet
- 2 Teräs - muut metallit
 - 2.1 Metallien jalouserot
 - 2.2 Metallien pinta-alojen suhde
 - 2.3 Ilmasto-olosuhteiden vaikutus
 - 2.4 Mikroilmaston huomioiminen
 - 2.5 Elektrolyytin sähkönjohtavuus
 - 2.6 Materiaali- ja pinnoitepaksuuden merkitys
 - 2.7 COR-TEN
 - 2.8 Korroosioriskin arviointi ja liitoksen suunnittelu
- 3 Teräs - puu
- 4 Teräs - betoni
 - 4.1 Teräksen käyttö betoniraudoitteena
 - 4.2 Teräksen liittäminen betonin kanssa
 - 4.3 Sinkityn teräksen käyttö betoniraudoitteena
 - 4.4 Sinkityn teräksen liittäminen betonin kanssa

Kirjallisuuslähteet

Dokumentin sisältö on tarkoitettu yleiseksi informaatioksi. Tietolähteinä on pääosin käytetty alan kirjallisuutta ja tekstiin on sisällytetty joitakin päätelmiä, jotka pohjautuvat käytännön tietoon tai kokemukseen. Tämä dokumentti on laadittu mahdollisimman huolellisesti ja se on TRY:n pintakäsittelyjaoston tarkastama ja hyväksymä. TRY:n pintakäsittelyjaosto, Teräsrakenneyhdistys ry tai kirjoittaja eivät vastaa dokumentissa esitetyn informaation soveltamisesta aiheutuvista välittömistä tai välillisistä vahingoista tai kustannuksista.

1 Rakentamisen suunnitteluohjeet

Eurokoodeissa (teräsrakenteiden osalta SFS-EN 1993) esitetään yhteiset rakennesuunnittelu-säännöt tavanomaiseen käyttöön koko rakenteiden ja rakenneosien suunnittelua varten. Betonirakenteiden osalta suunnittelusäännöt löytyvät standardista SFS-EN 1992, betoni-teräs -liittorakenteiden osalta standardista SFS-EN 1994 ja puurakenteiden osalta standardista SFS-EN 1995. Eurokoodeja käytetään yhdessä ko. maan kansallisten liitteiden kanssa.

Kun eri materiaaleja liitetään teräsrakenteisiin, tulee liitoskohdat suunnitella siten, että kestävyys vastaa rakennukselle suunniteltua käyttöikävaatimusta (10, 10-25, 15-30, 50 tai 100 vuotta). Rakenteiden suunnitteluperusteet löytyvät standardista SFS-EN 1990 + A1 + AC (eurokoodi). Standardissa SFS-EN 1993-1-3 + AC todetaan, että on kiinnitettävä erityishuomiota tapauksiin, joissa liitetään eri metalleja toisiinsa ja voi syntyä galvaanista korroosiota. Saman standardin liitteessä B on esitetty opastava taulukko kiinnikkeen materiaalin valinnasta.

Ympäristön rasitusolosuhteet tulee arvioida standardin SFS-EN ISO 12944-2 mukaan. Liitoskohdan suunnitteluun vaikuttaa huomattavasti se, onko kyse esim. sisäkäyttö- vai esimerkiksi hyvinkin vaativasta merenrantaolosuhteesta. Myös sisäkäytössä olosuhde voi olla rasitukseltaan hyvin erilainen: kylmä rakennus, jossa rakennuksen sisällä rakenteiden pintaan ja liitoskohtiin tiivistyy toisinaan hyvinkin paljon kosteutta tai toisena ääripäänä lämmitetty ja täysin kuiva rakennus.

Kun rasitusluokka on C2 tai vaativampi, on eri materiaalien liitoskohdat suunniteltava siten, että liitoskohta ei ole jatkuvasti kostea. Tavallinen puu voi alkaa lahoamaan, jos liitoskohta on lähes jatkuvasti kostea, jolloin kiinnitys voi pettää jossakin vaiheessa puun lujuuden heiketessä. Samoin esimerkiksi jos teräksen (sinkitty tai/ja maalattu) ja betonin välissä on jatkuvasti kosteutta, voi teräskappale syöpyä vuosien mittaan. Kosteissa olosuhteissa eri metallien liittämisen toisiinsa on huomioitava metallien jalousaste ja pinta-alat.

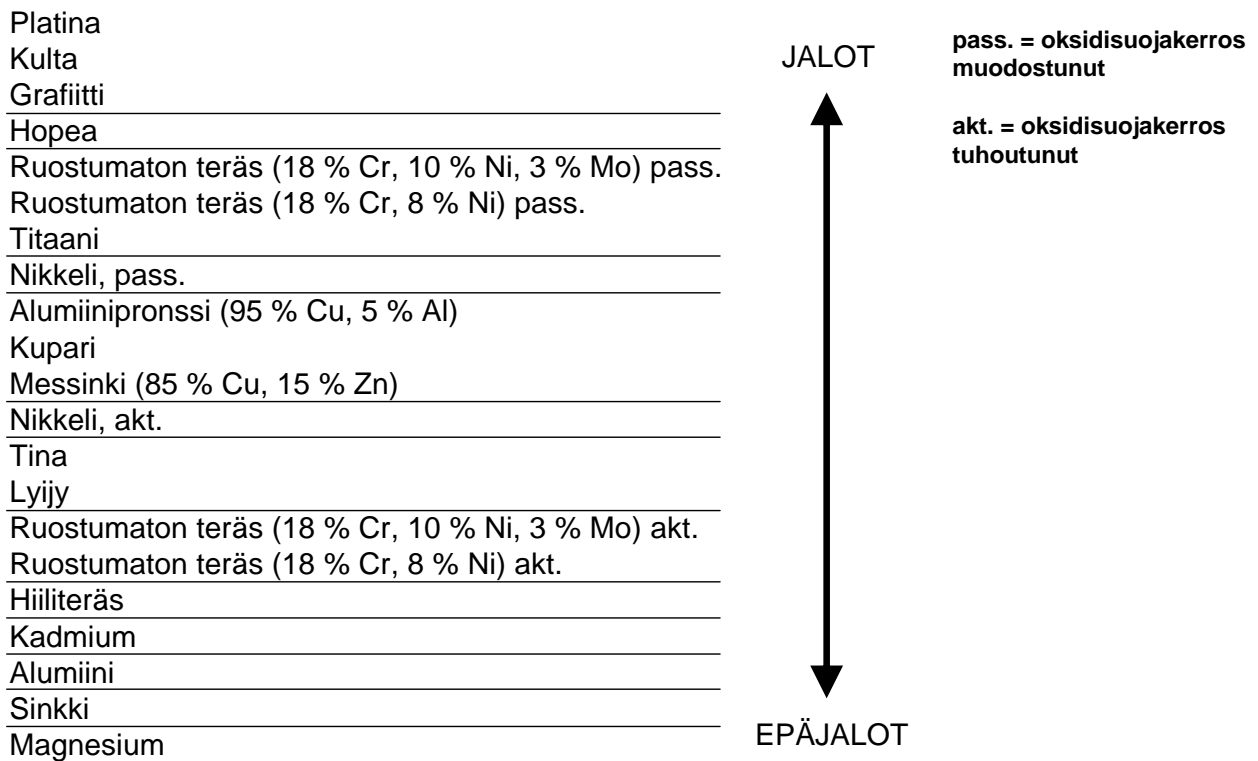
Sateelta suojassa olevilla liitoskohdilla (esim. katoksen alla) on edellytykset kestää huomattavasti pidempään kuin suoralle vesisateelle alttiilla liitoksilla. Sateelle alttiiden liitoskohtien pitkäaikaiskestävyys voidaan turvata oikealla suunnittelulla (liitoksen kuivumismahdollisuus) sekä käyttämällä mahdollisimman kestäviä materiaaleja sekä huomioimalla eri materiaalien yhteensopivuus. Pitäisi myöskin välttää kapeita rakoja ja onkaloita rakenteessa. Liitokset tulisi tehdä mieluummin hitsaamalla kuin käyttämällä ruuveja tai niittejä, jotta kokonaispinta tulisi tasaisemmaksi. Epäjatkuvia hitsejä ja pistehitsejä tulisi käyttää vain sellaisissa kohteissa, joissa ei ole korroosiovaaraa. [1] Jos rakoja ei kuitenkaan voida välttää, tulee liitoskohta olla hyvin tuulettuva. Veden on aina päästävä vapaasti valumaan liitoskohdasta pois.

2 Teräs - muut metallit

Kun kaksi jalousasteeltaan erilaista metallia ovat kosketuksissa toistensa kanssa sekä metallisesti että elektrolyytin kautta, muodostavat nämä ns. galvaanisen parin. Korkeamman vapaaenergian eli alhaisemman sähköisen potentiaaloin omaava metalli (epäjalompi) muodostuu anodiksi ja syöpyy. Syöpyminen on yleensä sitä nopeampaa, mitä kauempana metalliparin metallit ovat toisistaan galvaanisessa jännitesarjassa. Syöpymisnopeus riippuu myöskin metallien pinta-alaerosta sekä elektrolyytin (yleensä vesi) sähkönjohtavuudesta ja vaikutusajasta. [2] Lisäksi ympäristöolosuhteet vaikuttavat galvaanisen korroosion voimakkuuteen (maaseutu-, teollisuus-, kaupunki- tai meri-ilma, otopus veteen tai maahan). [3]

2.1 Metallien jalouserot

Syöpyminen on yleensä sitä nopeampaa, mitä kauempana metalliparin metallit ovat toisistaan galvaanisessa jännitesarjassa [2] (ks. kuva 1). Galvaanisen parin muodostuminen saattaa aiheuttaa epäjalomman metallin nopean syöpymisen. Elektrodipotentiaali voi kuitenkin vaihdella johtuen pinnan oksidisuojaakerroksen muodostumisesta.



Kuva 1 Metallien galvaaninen (sähkökemiallinen) jännitesarja merivedessä. Jalous kasvaa ylöspäin mentäessä. [2]

Sinkityn teräksen ja suojaamattoman hiiliteräksen liitoksessa sinkkipinnoitteen korroosionopeus kasvaa. [4] Ulkokäytössä käytetään kuumasinkittyä terästä. Sähkösinkittyä terästä ei saa käyttää teräsrakenteissa, paitsi ainoastaan kuivissa sisätiloissa (rasitusluokka C1). Ruostumatonta terästä voidaan usein liittää alumiinin ja sinkityn teräksen kanssa maaseutuilmastossa. Kuumasinkittyä terästä voidaan liittää sekä alumiinin että Aluzinkin kanssa maaseutuilmastossa. Alumiini ei kiihdytä tavallisen tai ilmastokorroosiota kestäväen teräksen korroosiota. Hiiliteräksen ja ilmastokorroosiota kestäväen teräksen syöpyminen kiihtyy, kun se liitetään ruostumattoman teräksen, kuparin tai messingin kanssa. Myöskään sinkittyä terästä ei saa yhdistää kuparin tai messingin kanssa. [4] Kuparimateriaaleissa on käytettävä kuparista, messingistä (maks. 20 % Zn) tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnikkeitä. [5] Maalipinnoitettu tai kahteen kertaan maalattu teräs voidaan ilmasto-olosuhteissa liittää yleisimpien rakennusmetallien kanssa. Jos maalipinnoitettu tai maalattu teräs on suunniteltu käyttökohteessa olevan kosketuksissa terästä jalomman metallin kanssa, tulisi myös tämän jalomman metallin pinta maalata liitoskohdassa.

Jos eri metalleja joudutaan käyttämään rakenteissa lähellä toisiaan, niin metallipinnalta veden on virrattava tätä jalommalle metallipinnalle (esim. sinkityltä teräspinnalta kuparin pinnalle). [6] Metallipinnan värjäytymistä ei kuitenkaan saisi tapahtua, etenkin julkisivuissa.

2.2 Metallien pinta-alojen suhde

Galvaanisessa korroosiossa syöpymisnopeus riippuu myöskin metallien pinta-alaerosta: syöpyminen on sitä nopeampaa mitä suurempi katodin pinta-ala on suhteessa anodin pinta-alaan (esimerkiksi katodina ruostumaton teräs ja anodina hiiliteräs tai alumiini, jolloin anodi syöpyy nopeasti).

Jalomman (katodi) ja epäjalomman (anodi) metallin pinta-alasuhteen merkitys on erittäin tärkeä tiedostaa varsinkin kiinnikkeitä valittaessa. Kiinnikkeen tulee aina olla samaa tai jalompaa metallia kuin kiinnitettävän rakenteen metallin. Ruostumattomien terästen kiinnityksissä ei saa käyttää hiiliteräksestä valmistettuja ruuveja, koska tällöin ruostumattoman teräksen pinta-alan suhde hiiliteräksestä tehtyjen ruuvien pinta-alaan on suuri ja ruuvit ovat siten alttiina korroosiolle. Käytettäessä ruostumattomasta teräksestä valmistettuja ruuveja hiiliteräksen kiinnityksessä katodin ja anodin pinta-alojen suhde on pieni ja korroosiovaara siten huomattavasti pienempi. Yleensä on järkevää hyödyntää aikaisempaa kokemusta vastaavista olosuhteista, koska erilaiset metallit voidaan usein yhdistää olosuhteissa, joissa satunnaisesti esiintyy kondensoitumista tai kostumista, joka ei kuitenkaan ole haitallista erityisesti, jos elektrolyytin sähkönjohtavuus on pieni. [7] Ruuvin kanta tulisi erottaa kiinnitettävästä rakenteesta esimerkiksi kumitiivisteellä (erityisesti pienten ruuvien yhteydessä).

Standardissa SFS-EN 1993-1-4 (liite A, opastava) on esitetty kuva ruuviliitostavasta, jolla estetään galvaaninen korroosio, kun ruuvi ja mutteri ovat eri metallia kuin kiinnitettävä levyrakente. Esimerkkinä on käytetty ruuviliitosta, jossa hiiliteräslevy on liitetty ruostumattomasta teräksestä valmistetun levyn kanssa. Liitteessä A on esitetty tärkeitä seikkoja ruuvikiinnitysten tekoa varten, kuten ruuvikokoonpanon korroosionkestävyys, eristysohjeiden laadinta, ei-metallisten eristävien aluslaattojen ja holkkien käyttö, eristeen riittävä vahvuus, aluslaattojen riittävä halkaisija, rako-korroosion välttäminen ja ruuvikiinnitysten sileys. [8]

2.3 Ilmasto-olosuhteiden vaikutus

Ilmasto-olosuhteet vaikuttavat korroosionopeuteen. Sisällä C1-olosuhteessa (kuiva ja lämmin tila) ei tapahdu korroosiota, koska elektrolyytti eli kosteus puuttuu. Tällöin eri metalleja voidaan liittää toisiinsa vapaasti. Voimakkainta korroosiota tapahtuu merivesiupotuksessa. Meri-ilma on yleensä hyvin syövyttävää. Raskaamman teollisuuden lähellä olevassa ympäristössä saattaa olla sellaisia päästöjä, jotka syövyttävät voimakkaasti monia metalleja. Puhtaassa maaseutuilmastossa esim. kuumasinkityn teräksen syöpyminen on hyvin hidasta. Maaseutuilmastossa samoin myöskin eri metallien liitoskohdissa syöpyminen on varsin hidasta. Katoksen alla olevassa rakenteessa tai eri metallien välisessä liitoskohdassa syöpyminen on paljon hitaampaa kuin sateelle alttiissa rakenteissa. Kun eri metalleja joudutaan liittämään toisiinsa, olisi mahdollisuuksien mukaan järkevää suunnitella rakenteita siten, että liitoskohdat eivät altistuisi suoralle vesisateelle.

Ilmatorasitusluokka on aina huomioitava kiinnikkeiden materiaalin valinnassa. Standardissa SFS-EN 1993-1-3 + AC (liite B) on esitetty opastava taulukko, jossa on ilmoitettu kiinnikkeiden materiaalit ottaen huomioon ilmatorasitus sekä kiinnitettävän levyn materiaali. [9]

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa on esitetty, miten ympäristöolosuhteet vaikuttavat sinkin korroosioon, kun sinkki on kosketuksissa toisen metallin kanssa (taulukko 1). Taulukossa olevat tulokset antavat suuntaa siitä, mitkä metallit sopivat kosketuksiin sinkin kanssa ja mitkä metallit lisäävät sinkin korroosiota.

Taulukko 1 Sinkin galvaanisen korroosion nopeus, kun sinkki on kosketuksissa toisen metallin kanssa eri ympäristöolosuhteissa. [10]

Sinkin kanssa kosketuksissa oleva metalli	Galvaanisen korroosion nopeus (µm/vuosi)		
	Maaseutuilmasto	Kaupunki-ilmasto	Meri-ilmasto
Sinkki ilman kosketusta toiseen metalliin	0,5	2,4	1,3
Niukkahiilinen teräs	3,0	3,3	3,9
Ruostumaton teräs	1,1	1,8	2,0
Kupari	2,2	2,0	3,2
Lyijy	1,6	2,4	3,4
Nikkeli	1,5	1,9	2,8
Alumiini	0,4	1,1	1,1
Tina	1,0	2,6	2,4
Magnesium	0,02	0,04	1,1

Taulukosta voidaan todeta, että alumiinia ja magnesiumia lukuun ottamatta, sinkin korrosio lisääntyy ollessaan kosketuksissa yleisimpien metallien kanssa. Kosketus alumiiniin ei vaikuta merkittävästi sinkin korroosionopeuteen missään ilmasto-olosuhteissa. Jos sinkittyä terästä käytetään alumiinin kanssa ilmasto-olosuhteissa siten, että sinkityn kappaleen pinta-ala on selvästi pienempi kuin alumiinin (esim. seinäprofiilirakenne), on eristyksen käyttö suositeltua. [3] Sinkin korroosionopeus pienenee kaikissa ilmasto-olosuhteissa, kun se on kosketuksissa magnesiumin kanssa.

Ruostumatonta terästä käytetään sinkityn teräksen yhteydessä yleensä sellaisissa sovelluksissa, joissa sinkitty teräsrakenne kiinnitetään ilmasto-olosuhteissa ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla ruuveilla. Tällöin on yleensä suositeltavaa käyttää eristävää tiivistettä ruuvien kannan alla. [3]

Kuparin tai kupariseosten ja sinkkipinnoitetun teräksen välillä on suuri potentiaaliero, jonka takia näiden metallien välissä on aina käytettävä eristystä. [3]

2.4 Mikroilmaston huomioiminen

On huomioitava, että mikroilmasto (paikallinen korroosioympäristö) voi olla huomattavasti syövyttävämpi jollakin pienellä alueella verrattuna ympäröiviin olosuhteisiin. Sellaisiin paikkoihin, joihin todennäköisesti tulee kerääntymään epäpuhtauslaskeumia paikallisesti enemmän jostakin tuotantoprosessista tai esimerkiksi rikkiyhdisteitä sisältävästä savukaasusta, tulee valita riittävän suojaava pintakäsittely ja eri metallit on eristettävä huolellisesti toisistaan. Rikki voi muodostaa kosteuden ja muiden tekijöiden kanssa rikkihapoketta, rikkihappoa ja erilaisia sulfaatteja. [2] Suolayhdisteet syövyttävät monia metalleja ja noki kerää kosteutta lisäten korroosioriskiä.

2.5 Elektrolyytin sähkönjohtavuus

Jos elektrolyytin sähkönjohtavuus on suuri (esim. merivesi), epäjalompi metalli syöpyy yleensä melko tasaisesti koko anodiselta pinnalta, jolloin syöpyminen on suurta. Jos taas elektrolyytin sähkönjohtavuus on pieni, keskittyy syöpyminen metallien rajapinnan läheisyyteen. Tällöin syöpyminen jää pienemmäksi. [2]

2.6 Materiaali- ja pinnoitepaksuuden merkitys

Kiinnitettävien rakenneosien ja kiinnikkeiden materiaalin paksuudella on merkitystä, kun arvioidaan eri metallien eristämistarvetta. Ohutlevyrakenteissa ruuvien kanta tulisi aina erottaa kiinnitettävästä rakenteesta kumitiivisteellä. Kun ilmasto ei ole aggressiivinen ja kyseessä on ei-kantava rakenne, voidaan suuremmilla materiaali vahuuksilla eri metallien välinen kosketuspinta joissakin tapauksissa jättää eristämättä, tapauskohtaisesti arvioiden. Korroosiovaraa voidaan myöskin käyttää, varsinkin aggressiivisemmissä olosuhteissa kuten meri-ilmastossa, raskaammassa teollisuusilmastossa ja upotusrasituksessa.

On otettava aina huomioon, että sinkkipinnoitteen paksuus vaikuttaa sinkityn teräksen korroosionkestävyyteen huomattavasti. Kappaletavarasinkityksellä voidaan sinkitä teräksen pintaan jopa yli 160 µm paksuinen sinkkipinnoite, mikä suojaa terästä erittäin pitkään, vaikka se liitettäisiin ilman eristystä ruostumattoman teräksen kanssa, edellyttäen että liitoskohta on suunniteltu siten, että se pääsee kuivumaan. Jatkuvatoinisesti kuumasinkityn teräsohutlevyn sinkin paksuus ulkoikäkäytössä on yleensä 25 µm (Z350), ja se on syytä eristää sitä jalommista metalleista.

2.7 COR-TEN

Ilmastokorroosiota kestävät teräkset mukaan lukien COR-TEN vastaavat jalousasteeltaan tavallista hiiliterästä galvaanisessa jännitesarjassa. COR-TENia ja yleisesti ilmastokorroosiota kestäviä teräksiä voidaan liittää muiden yleisimpien rakennusmetallien (sinkitty teräs, hiiliteräs, alumiini ja ruostumaton teräs) kanssa. Metallilevyt on eristettävä toisistaan Teflon-nauhalla, jos vaaditaan liikevaraa. Pienemmissä ruuveissa, kuten poraruuveissa kannan ja aluslevyn alla, käytetään EPDM-kumitiivistettä. Ruuviliitoksissa on vältettävä rakoja ruuvien ja liitettävän materiaalin välillä. Liitoksen tiiviys voidaan varmistaa käyttämällä sopivaa tiivistettä. Materiaaliksi suositellaan neopreeniä, jonka kovuus on vähintään 65 Shore A ja vetomurtolujuus vähintään 6 N/mm². Kaasutiiviyyttä tarvittaessa käytetään butyylikumia. [11] Kiinnikkeiden on oltava valmistettu yhtä jalosta metallista kun COR-TEN tai sen on oltava COR-TENia jalompaa: COR-TEN julkisivulevyjä kiinnitettäessä ruuvien on oltava ilmastokorroosiota kestävästä teräksestä tai ruostumattomasta teräksestä valmistettu. Ilmastokorroosiota kestävästä teräksestä valmistettuja kiinnikkeitä on hankala hankkia, koska niiden valmistajia on hyvin vähän, joten ruostumattomasta teräksestä valmistettu ruuvi (ks. SFS-EN 1993-1-3 + AC, liite B) on järkevin ratkaisu. Jos ilmasto ei ole kovin aggressiivinen, voidaan ei-kantavissa rakenteissa (esim. sähköpylväät) suuremmilla materiaali vahuuksilla (esim. 10-20 mm levy) käyttää tietyin rajoituksin myöskin kuumasinkittyjä ruuvikokoonpanoja (esim. M16-M20). Tällöin kuumasinkitystä tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuja ruuveja ei tarvitse eristää COR-TENista. Saaveden valuminen on estettävä COR-TENin pinnalta toisen metallin pinnalle (ja päinvastoin) rakenteellisin ratkaisuin.

2.8 Korroosioriskin arviointi ja liitoksen suunnittelu

Pitää huomioida, että korroosiovaikutusten tarkka arviointi on vaikeaa, koska korroosionopeus riippuu useista monimutkaisista ilmiöistä. Sähköpotentiaalia kuvaavissa taulukoissa ei huomioida pinnan oksidikalvoja, katodi/anodi-pinta-alojen suhdetta eikä erilaisten liuosten (elektrolyyttien) kemiallista koostumusta. Siksi näiden taulukoiden väärinkäyttö voi johtaa huonoihin tuloksiin. Taulukoita tulee käyttää asiantuntemuksella ja vain tilanteen alkuarviointiin. [7]

Kun eri metalleja yhdistetään toisiinsa **kantavissa rakenteissa**, lähtökohta on se, että erilaisten metallisten materiaalien (esim. ruostumaton teräs ja alumiini tai rakenneteräs) tahatonta kosketusta toisiinsa tulee välttää. [12] Tämä on tärkeää etenkin ulkokäytössä, sekä myöskin sisäkäytössä silloin, kun kondensoitumista voi esiintyä. Kuivissa sisätiloissa metalleja ei tarvitse eristää. Eristäminen voidaan tehdä esimerkiksi kahteen kertaan maalaamalla. Galvaanista metalliparia ei pääse muodostumaan, kun kummankin metallin pinta on maalattu. Jos vain toisen metallin pinta voidaan maalata (suosituksena jalompi metalli), pitää maalata kaksi maalikerrosta hyvän eristyksen aikaansaamiseksi. [4] Jos vain epäjalomman metallin pinta voidaan maalata liitoskohdassa, on riski suurempi paikalliseen korroosioon: jos maalipinta vaurioituu, epäjalomman metallin syöpyminen kiihtyy vauriokohdassa. Muita tapoja eristää metallit toisistaan ovat esimerkiksi kermieristys, bitumisively tai tiivistelevy (esim. EPDM-kumitiiviste). [6]

Kastumisajan pituudella on suuri vaikutus rakenteiden korroosioikäytymiseen ja tämä on otettava huomioon rakenteiden suunnittelussa. Liitoskohdat ja kaikki rakenteet on suunniteltava siten, että kastumisaika jää mahdollisimman lyhyeksi: vältetään kapeita rakoja, mahdollistetaan sadeveden valuminen vapaasti pois ja pyritään mahdollisimman sileisiin pintoihin. [6] Isompien levyjen liitokset pitäisi tehdä aina hitsaamalla ja siten, että raot hitsataan umpeen. [1] Niissä sisätiloissa, joissa pääsee tapahtumaan kondensoitumista, pitää olla hyvä tuuletus.

3 Teräs - puu

Kuumasinkittyjä teräksiä on käytetty monenlaisissa sovelluksissa (esim. kiinnikkeet), joissa ne joutuvat kosketuksiin tavallisen puun (esim. kuusi) kanssa. Puu on pintakäsiteltävä huolellisesti, jottei puu pääse lahoamaan vuosien mittaan liitoskohdassa. Samoin liitoskohta on suunniteltava siten, että vesi pääsee valumaan pois. Sinkityksen paksuus valitaan standardin SFS-EN ISO 12944-2 mukaan. Myöskin maalattua tai maalipinnoitettua terästä voidaan liittää puun kanssa. Teräksen maalaus käsittely (SFS-EN ISO 12944-5) ja maalipinnoite valitaan ilmasto-olosuhteen (SFS-EN ISO 12944-2) mukaan.

Kun kuumasinkitty teräs on kosketuksissa jonkin **erittäin happaman puulajin** (esimerkiksi tammi, pH noin 3,5) [13] kanssa, on suositeltavaa eristää sinkkipinta ja puu toisistaan, esimerkiksi maalaamalla liitoskohta huolellisesti. Sinkkipinnoitteen paksuudella on suuri merkitys kestävyyyteen liitoskohdassa. Kappaletavarasinkityt (kuumasinkityt) teräsosat kestävät erittäin pitkään, riippuen sinkkikerroksen paksuudesta, puun happamuudesta ja ilmasto-olosuhteista.

Painekyllästetyssä puussa puun säänkestävyyttä on parannettu kemikaaleilla. Nykyään kyllästysaineina käytetään kuparisuoloja ja orgaanisia tehoaineita. Kyllästysaine on syövyttävää ja aiheuttaa monien metallien (mm. sinkin) syöymistä. [14] Sinkityn teräksen kosketusta tuoreeseen kosteaan painekyllästettyyn puuhun on vältettävä kaikissa kantavissa ja henkilöturvallisuuden kannalta merkittävässä rakenteissa. Joissakin muissa käyttökohteissa (esim. pergolan pystytolppien kuumasinkityt teräsjalat) [14] voidaan liittää kappaletavarasinkittyä terästä (sinkin paksuus $\geq 90 \mu\text{m}$) ja tuoretta kostea painekyllästettyä puuta. Kuumasinkittyä teräsohutlevyä ei tulisi ulkokäytössä liittää painekyllästetyn puun kanssa.

Kaikissa kantavissa ja henkilöturvallisuuden kannalta merkittävässä rakenteissa tulee käyttää ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnikkeitä, ruuveja tai nauvoja. Muissa rakenteissa voidaan käyttää myös kuumasinkittyjä kiinnikkeitä. Sinkkipinnoitteen tulee olla paksuudeltaan vähintään $90 \mu\text{m}$ ja on huomioitava, että kuumasinkittyjen kiinnikkeiden kestoikä saattaa olla lyhyempi kuin painekyllästetyn puun kestoikä. Yhdessä käytettävien kiinnikeosien tulee aina olla samaa materiaalia (ruuvi ja mutteri samaa metallia). [14]

4 Teräs - betoni

4.1 Teräksen käyttö betoniraudoitteena

Betonille on ominaista suuri puristuslujuus, yleensä 30-80 MPa. Lujuus valitaan käyttötarkoituksen mukaan ja sitä säädetään betonin koostumuksella ja erityisesti vesisementtisuhteella. Betonin puristuslujuutta on pystytty kasvattamaan materiaaliteknologian kehittymisen myötä. Betonin vetolujuus on suhteellisen pieni, 6-10 % puristuslujuudesta. Betonirakenteita raudoitetaan betonin alhaisen vetolujuuden takia, jolloin vetojännitykset saadaan siirrettyä korkean vetolujuuden omaaville teräksille. [15] Betoni ja teräkset soveltuvat toimimaan hyvin yhdessä, sillä niiden lämpölaajenemiskerroin on lähes sama [16] ja betonin emäksisyys passivoi teräkset estäen niitä ruostumasta (teräksen pintaan muodostuu suojaava rautaoksidikalvo). [17] Tuore betoni on hyvin emäksinen, pH-arvo on noin 13. Betonin emäksisyys johtuu pääasiallisesti sementin hydrataatiossa syntyneestä kalsiumhydroksidista. Suojaamattomaan betonipintaan diffundoituu kuitenkin aikaa myöden hiilidioksidia ja erityisesti teollisuusympäristössä myöskin rikkidioksidia. Hiilidioksidi reagoi kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia, ja betonin alkaalisuus laskee. Kun pH-arvo on alentunut noin 8,5:een, betonin alkaalisuus ei enää suojaa teräksiä. Todellisuudessa teräksen korrosio käynnistyy jo huokosveden pH:n laskiessa alle 11,5, tosin hitaana. [17, 18, 19] Tämän ilmiön (betonin karbonatisoituminen) välttämiseksi tai ainakin hidastamiseksi, betonin pinta tulisi ulkorasiuksessa suojata mahdollisimman säänkestävällä pinnoituksella (maalaukset, bitumisively, rouhepinnoitus tms). Pintakäsittelyn tulisi olla vähintään kaksikerroksinen. Pinnoitus suojaa kaupunki- ja teollisuusilmastossa myös rikkidioksidia vastaan, joka kosteissa olosuhteissa rapauttaa betonia ja syövyttää esiintulevia raudoitteita. Teräsrudoitteiden ympärillä tulee olla myös riittävä suojakerros betonia [19].

4.2 Teräksen liittäminen betonin kanssa

Kun teräsrakenteita on kiinnitettävä betonipintaan, voidaan käyttää joko hitsausta, ruuviliitosta tai muuta mekaanista liitosta. [19] Hitsauskiinnitystä varten betoniin valetaan teräksinen kiinnityslevy, johon teräspalkki tai -pilari voidaan hitsata. Kiinnityslevy siirtää kuorman levystä betonirakenteeseen tartuntaterästen välityksellä. [20] Hitsauksen jälkeen liitoskohdassa näkyviin jäävä teräspinta tulee maalata vähintään kahteen kertaan (ruosteestopohjamaali + pintamaali).

Standardissa SFS-EN 1090-2 + A1 on esitetty ohjeet betonin kanssa kosketuksiin tulevien teräspintojen (pohjalevyjen alapinnat mukaan lukien) pinnoittamisesta ja pinnan puhdistamisesta ennen pinnoitusta. [12]

Teräksen maalaus käsittely (SFS-EN ISO 12944-5) valitaan ilmasto-olosuhteen (SFS-EN ISO 12944-2) mukaan. Liitoskohta on suunniteltava tuulettuvaksi ja siten, ettei vesi pääse kerääntymään siihen. Veden on päästävä valumaan vapaasti pois liitoskohdasta, jotta se voi kuivua sateen jälkeen. Jos näin ei tapahdu, tämä voi aiheuttaa liitoskohdassa aikaa myöden sen, että maalikalvo alkaa hilseillä teräksen pinnasta ja teräksen syöpyminen alkaa.

4.3 Sinkityn teräksen käyttö betoniraudoitteena

Kuumasinkittyä terästä voidaan käyttää betoniraudoitteena: vaatimukset pinnoitteelle löytyvät standardeista ISO 14657 ja SFS 1266. Standardin SFS 1266 mukaisten paksuusluokkien vastaavat sinkkipinnoitteen pinta-alamassat ovat 600, 850, 1100, 1350 ja 1600 g/m². Useiden vuosien kokemus on osoittanut, että sinkki hidastaa raudoituksen korroosion käynnistymistä aggressiivisissa ympäristöolosuhteissa. Lisäksi sinkitys vähentää raudoituksen korroosiosta aiheutuvaa suoja-betonikerroksen halkeilua, lohkeilua ja rakenteen pintaan syntyviä ruostetahroja. Sinkitty raudoite kestää hiiliterästä paremmin rakenteiden valmistuksesta aiheutuneet virheet, kuten liian ohuen suoja-betonikerroksen, riittämättömän betonin tiivistyksen ja huonon jälkihoidon. Sinkitys suojaa raudoitteita ennen betonoimista ja myös rakenteesta ulostyöntäviä raudoitteita. Sinkin syöpyminen on karbonatsoituneessa betonissa hidasta, koska sinkki säilyy passiivisena huomattavasti pienemmällä pH-arvoilla kuin hiiliteräs. Lisäksi sinkki kestää hiiliterästä huomattavasti ankaramman kloridirasituksen. [17]

Betonin huokosveden pH:n on oltava alle 13,3 muutaman ensimmäisen tunnin ajan valusta, jotta sinkkipinnoitteen pinnalla syntyy suojaava passiivikerros. Passiivikerroksen syntymisen jälkeen tapahtuva betonin huokosveden pH:n nousu ei vaurioita jo syntynyttä passiivikerrosta. Huokosveden pH:n ollessa 12,2 - 13,3 sinkkikerroksen pinnalle muodostuu ohut ja tiivis kalsiumhydroksosinkaattikerros (Ca(Zn(OH)₃)₂ · 2H₂O). [17] Näin korkeilla pH-arvoilla märän betonin ja uuden sinkkipinnan reagoidessa keskenään, muodostuu kalsiumhydroksosinkaatin lisäksi vetyä. Vety muodostaa betoniin huokosia. Vetyhuokokset saattavat vaikuttaa sinkityn teräksen ja betonin väliseen tartuntaan. Vedynmuodostus lakkaa, kun betoni on kovettunut. Muodostuneet kaasukuplat häviävät, joten pysyvää huokoisuutta ei synny. [19] Mahdollisimman alhainen pH ja betonin nopea kovettuminen ts. matala vesi-sementtisuhde vähentävät vedynmuodostusta. [21] Lisäksi sinkin ja kostean betonin välisiä reaktioita voidaan ehkäistä tai ainakin vähentää varastoimalla sinkittyjä teräsraudoitteita ulkona vähintään neljä viikkoa. Sinkin pintaan muodostuva passiivikerros vähentää korroosiota sekä kaasun muodostusta ja parantaa tartuntaa. [18, 19]

Sinkityn teräksen (kuten muidenkin raudoitteiden korroosionopeus) riippuu useista tekijöistä: lämpötila, betonin suhteellinen kosteus, betonin karbonatisoituminen sekä kloridipitoisuus. Sinkki syöpyy karbonisoitumattomassa betonissa vähän nopeammin kuin tavallinen hiiliteräs. Koska sinkki liukenee (vaikkakin hitaasti), jossain olosuhteissa sinkki saattaa kulua loppuun jo ennen kuin karbonisoitumisrintama saavuttaa raudoitteen. Karbonisoituneessa betonissa taas sinkin syöpymisnopeus on huomattavasti pienempi kuin hiiliteräksen. Jossakin tapauksissa sinkin syöpymisnopeus saattaa hidastua betonin karbonisoituessa. Raudoitteiden syöpymisnopeudet erään tutkimuksen mukaan on esitetty taulukossa 2. [17]

Taulukko 2 Raudoitteiden syöpymisnopeudet (betonin lujuusluokka K25, suojabetonikerroksen paksuus 15 mm ja c_{carb} 1,80 mm/v^{1/2}). [17]

Raudoite ja olosuhde	Syöpymisnopeus
Sinkitty teräsraudoite karbonisoitumattomassa betonissa	1,5 µm/v
Sinkitty teräsraudoite karbonisoituneessa betonissa	3,0 µm/v
Hiiliteräsraudoite karbonisoitumattomassa betonissa	1,0 µm/v
Hiiliteräsraudoite karbonisoituneessa betonissa	22,5 µm/v

4.4 Sinkityn teräksen liittäminen betonin kanssa

Laastien (rappauslaastit ym.) vaikutus sinkkiin on hyvin heikko ja se loppuu kokonaan kun laasti on kuivunut. Sinkkipinta kestää erittäin hyvin kun pH on 6 - 12,5. [22] Ulkokäytössä sinkin paksuus valitaan standardin SFS-EN ISO 12944-2 mukaisesti eli ilmaston rasisluokan mukaan. Kuumasinkitty teräs kannattaa maalata, jos ilmastorasitus on aggressiivinen. Ohjeita kuumasinkityn teräksen maalaukseen löytyy esimerkiksi Suomen kuumasinkitysijat ry:n julkaisusta "Kuumasinkityksen toimintaketju, yleisohje, 1/2007". [23] Puhdistusmenetelmä ja maalisysteemi valitaan sen mukaan, onko kyseessä kuumasinkitty teräsrohutlevy vai kappaletavarasinkitty teräsrakenne. Kantavissa rakenteissa tulisi ottaa huomioon syöpymisvara (lisäkorroosionsuoja) kestävyuden varmistamiseksi. Liitoskohta on suunniteltava tuulettuvaksi ja siten, ettei vesi pääse kerääntymään siihen. Veden on päästävä virtaamaan vapaasti pois liitoskohdasta, jotta se voi kuivua sateen jälkeen.

Kuumasinkittyä teräsrohutlevyä (sinkin paksuus vähintään Z275) voidaan käyttää sisätiloissa liittolevyssä. Liittolevy on profiloitu teräsrohutlevy, joka toimii betonilaatan valutilanteessa muottina. [24]

KIRJALLISUUSLÄHTEET

1. SFS-EN ISO 12944-3, s. 8.
2. Korroosioilmiöt, opintomoniste 122, Pentti Kettunen, Tapio Mäntylä ja Pekka Siitonen, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1989, s. 171, 175, 177 - 178 ja 217.
3. Standardi SFS-EN ISO 14713-1, s. 28 ja 32.
4. Teräsrakenteet, metallit sillankorjausmateriaalina, yleiset laatuvaatimukset, SILKO 1.301, LIVI, Sillanrakentamisyksikkö 2010, s. 24 - 28.
5. Kuparimateriaalit, julkisivu-, vesikatto- ja sadevesijärjestelmät, RT-kortti (RT 38143), Aurubis Finland Oy, 2011, s. 3.
6. Täydentävät ohut- ja muotolevyrakenteet infrarakenteissa, yleisiä ohjeita, infra 21-710105, Rakennustieto Oy, 2012. s. 4.
7. Käsikirja - Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa, 3. painos, Euro Inox ja The Steel Construction Institute, 2006, s. 28 - 29.
8. Standardi SFS-EN 1993-1-4 (liite A), s. 34.
9. Standardi SFS-EN 1993-1-3 + AC (liite B), s. 115.
10. Galvanic/Bimetallic (including Cut Edge) Corrosion of Galvanized Sheet, GalvInfoNote 3.6, International Zinc Association, 2013, s. 1 - 2.
11. COR-TEN julkisivut, Rautaruukki Oyj ja Rakennustieto Oy, 2001, s. 16.
12. Standardi SFS-EN 1090-2 + A1, s. 74 ja 75.
13. Primereiden käyttö puun liimausominaisuuksien parantamiseksi, vaikeasti liimattavat puut, opinnäytetyö, Raimo Seppänen, Savonia-Ammattikorkeakoulu, 2012, s. 31.
14. www.kestopuu.fi.
15. www.betoni.com.
16. Koneenrakentajan taulukkokirja, Esko Valtanen ja Pekka Sikanen, Mekplan Oy, 1986, s. 258 ja 264.
17. Teräsbetonirakenteiden korroosioriskin rajoittaminen ulko-olosuhteissa, TKK-TRT-111, Esko Sistonen, Pekka Tukiainen, Mika Laitala ja Seppo Huovinen, Teknillinen korkeakoulu, 2000, s. 15 - 23 ja 33 - 45.
18. Betonirakenteet, betoni sillankorjausmateriaalina, yleiset laatuvaatimukset, SILKO 1.201, Tiehallinto 2007, s. 42 ja 51.
19. Betonielementtien välisten liitosten suunnittelu ja valmistus, Rakennusteollisuus RT, Tassu-projekti, Tapio Leino, 2006, s. 5 - 14 ja 38.
20. www.peikko.fi / tuotteet / kiinnitystuotteet / kiinnityslevyt.
21. Ulkoteräsbetonirakenteiden säilyvyyden parantaminen halkeamia rajoittaen ja raudotteiden suojauksella, Pekka Tukiainen, Rakennustaito-lehti, 4/2002, s. 26.
22. Korroosioikäkirja, Suomen korroosioyhdistys, päätoimittaja P.J. Tunturi, 1988, s. 597 ja 601.
23. Kuumasinkityksen toimintaketju, yleisohje, Suomen kuumasinkitsijät ry, 1/2007.
24. www.ruukki.com / rakentamisen ratkaisut / kantavat poimulevyt / liittolevy.