

# BETONIELEMENTTIEN VÄLISTEN LIITOSTEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS





## Sisällysluettelo

<b>Tiivistelmä</b>	4
<b>Alkusanat</b>	4
<b>1. Yleistä</b>	5
1.1 Betonivalmisosien välisten liitosten suunnittelu	5
1.2 Liitosten yleiset vaatimukset ja ominaisuudet	7
1.3 Teräsosien suunnittelu ja mitoitus	9
1.4 Tunnetut ja tyypilliset ongelmakohdat	11
1.5 Liitosten riskitekijät	13
<b>2. Materiaalit ja säilyvyys</b>	15
2.1 Terästen valinta – pikaopas	15
2.2 Rakenneteräksen ja hitsauksen lisäaineen valinta	19
2.3 Ympäristön rasitusluokat	24
2.4 Raudoitusterästen hitsaamisesta	27
2.5 Rakenne- ja ruostumattoman teräksen liittäminen	28
2.6 Pintojen suojaaminen ja säilyvyys	33
2.7 Teräsmateriaalin sitkeys ja ominaisuudet paksuuden suunnassa	39
<b>3. Hitsausliitokset</b>	45
3.1 Hitsausliitosten suunnittelu ja valmistus	45
3.2 Hitsausliitosten toimivuusehdot	48
3.3 Hitsausliitosten mitoittaminen osavarmuuslukuihin perustuen	50
3.4 Rakennuspaikalla hitsaaminen	53
3.5 Hitsien tarkastusmenetelmät	56
3.6 Hitsausvirheet	61
3.7 Sinkityn teräksen hitsaaminen	67
3.8 Hitsausmerkinnät piirustuksiin	71
<b>4. Vakioliitokset – Suunnitteluesimerkkejä</b>	73
4.1 Vakioliitokset - vaatimukset	73
4.2 Esimerkki 1 - P4-liitos betonikaiteessa	74
4.3 Esimerkki 2 - Tason liitos kaide-elementtiin	76
4.4 Esimerkki 3 - Kuorielementin kiinnitys	78
4.5 Esimerkki 4 - Tuulipilarin ja TT-laatan liitos	80
4.6 Esimerkki 5 - Sisäkuoresta tuettu parvekelaatta	82
4.7 Esimerkki 6 - Pilarin pulttikiinnitys	84
<b>Kirjallisuus</b>	86
<b>Liitteet</b>	
Liitossuunnittelun ydinohje	

## Tiivistelmä

Betonielementtien väliset liitokset tehdään työmaalla käyttäen mahdollisuuksien mukaan vakioliitoksia ja niissä sovellettuja vakioteräsoasia. Vakioteräsoille on yleensä käytettävissä käyttöseloste ja käyttöohje, joista suunnittelija voi varmistaa esimerkiksi materiaalit, tuotteen käyttötavat ja kestävyys erilaisten rasituksille.

Vakioliitoksien kokoelma on joukko valmiita ohjeellisia liitosten piirustuksia, mistä ei aina löydy kaikkia tarpeellisia suunnittelutietoja. Suunnittelijalle jää tehtäväksi mallintaa liitos ja siihen vaikuttavat rasitukset, valita vakioteräsoat ja varmistaa niiden ominaisuudet käyttöohjeista ja suunnitella liitoksen muut osat ja toimivuus.

Yleisimmät suunniteltavat asiat liittyvät osien kestävyyksien mitoittamiseen, materiaalivalintoihin, hitsaukseen ja sen lisääineisiin, liitosten palonkestävyyteen, lämpöliikkeisiin ja muihin yksityiskohtiin, missä lopulta joudutaan varmistamaan myös osien korroosiosuojauksesta, käyttöiästä ja rakenneseosten säilyvyydestä. Lisäsuunnittelua tarvitaan elementtien asennusajakaisten tuentojen ja liitoksilta käytön aikana vaadittavien ominaisuuksien selvittämisessä.

## Alkusanat

Tämä betonielementtien välisten kiinnitysten suunnittelua ja valmistusta koskeva selvitys on laadittu osana Rakennusteollisuus RT Oy:n käynnistämää laajempaa TASSU -projektia, jonka projektipäällikkönä on toiminut tuoteryhmäpäällikkö, DI Arto Suikka. Oheisen selvityksen on laatinut erikoistutkija Tapio Leino VTT:stä.

Selvityksen on tarkoitus toimia ohjeena suunniteltaessa liitoksia, missä käytetään osana vakioteräsoasia, joilla on varmennettu käyttöseloste. Ohjeen avulla on tarkoitus parantaa kyseisten rakenteiden rakenteellista turvallisuutta. Ohje löytyy sekä kirjallisessa muodossa että web-sivuna osoitteessa: <http://www.rakennusteollisuus.fi/Tassu> .

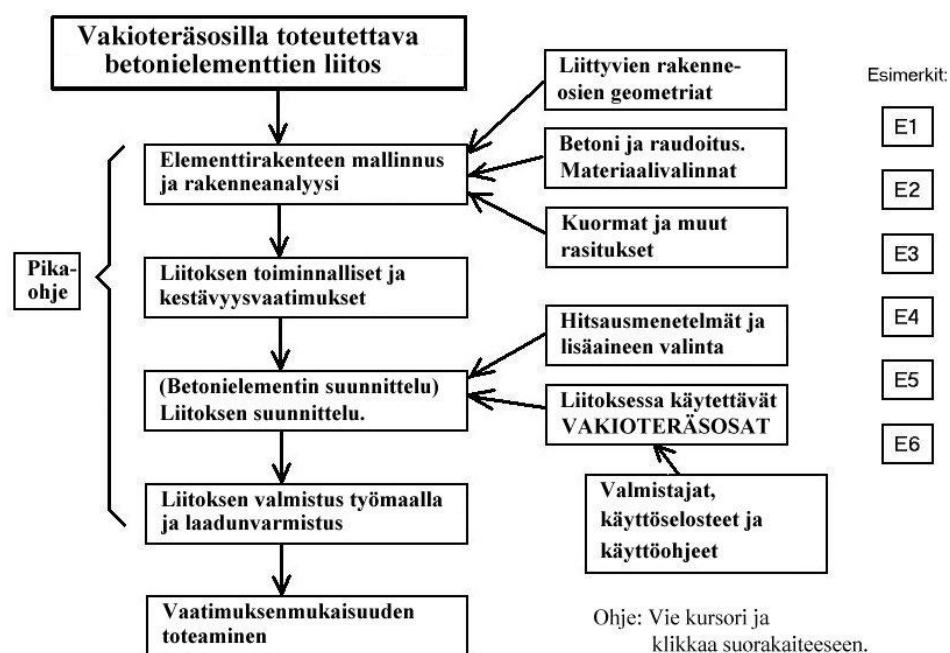
Selvityksen ja ohjeen tekoa on valvonut johtoryhmä. Johtoryhmä kokoontui vuosina 2005-6 yhteensä kuusi kertaa ja siihen ovat kuuluneet:

Teuvo Meriläinen, Aaro Kohonen Oy, johtoryhmän puheenjohtaja  
Arto Suikka, Rakennusteollisuus RT Oy  
Taru Leinonen, Peikko Oy  
Timo Saarinen, Semko Oy  
Aimo Nousiainen, Helsingin kaupunki, Rakennusvalvonta  
Casper Ålander, Ruukki Oy  
Jouko Ilvonen, Semtu Oy  
Kari Tolonen, Betoniyhdistys ry  
Kari Viljakainen, Anstar Oy  
Mikko Nummela, Pintos Oy  
Tapio Leino, VTT, johtoryhmän sihteeri.

# 1. YLEISTÄ

## 1.1 Betonivalmisteiden välisten liitosten suunnittelu

Betoni/betoni- ja betoni/teräselementtien väliset liitokset toteutetaan käyttäen vakioteräsoasia, joiden käyttö tapahtuu varmennettujen käyttöselosteiden mukaisella tavalla. Elementtien välistä liitoksia on vakioitu, ja liitosten suunnittelu ja valmistus tapahtuu yleensä kuvan 1 kaavion mukaisesti. Kaavio toimii myös ohjeen web-version aloitussivuna. Kuvassa 1 mainittu pika-ohje on liitteenä 2. Esimerkit on koottu tekstimuotoisen ohjeen kohtaan 4.



**Kuva 1.** Betonielementtien ja niiden välisten liitosten suunnittelu ja valmistus.

Betonielementtirakenteiden valmistamista ja asentamista on käsitelty valtioneuvoston asetuksessa elementtirakentamisen työturvallisuudesta /15/, jonka mukaan "Elementtirakentamiseen sovelletaan rakennustyön turvallisuudesta annettua valtioneuvoston päätöstä (629/1994) sekä työtelineiden ja putoamisen estävien suojarakenteiden käytöstä rakennustyössä annettua sosiaali- ja terveysministeriön päätöstä (156/1998)". Betonielementtirakenteiden suunnittelu tapahtuu betoninormien /2/ luvun 2 mukaisesti (kuva 1). Elementtirakenteita koskevat erityisohjeet on mainittu luvuissa 2.6.1 ja 4.2.5. Betonielementtien liitosten suunnittelua, valmistusta ja asennusta käsitellään esim. Betoninormeissa 2004 (BY50) taulukossa 1 mainituissa kohdissa ():

Rakentamista varten tehdään elementtien asennussuunnitelma, jonka vastuullinen rakennesuunnittelija ja tilaaja osaltaan hyväksyvät. Asennussuunnitelman tekee vastaava asennustyönjohtaja, tai se joka hoitaa kyseistä tehtävää (esimerkiksi projektipäällikkö). Asennussuunnitelman työturvallisuuteen liittyvissä asioissa asennustyönjohtaja on asiantuntija.

ECSS:ssa laaditun uuden oppaan /42/ joka perustuu EU neuvoston direktiiviin 92/57/EEC 24 kesäkuu 1992, mukaan teräsrakenteiden asentaminen kuuluu direktiivin piiriin ja siihen sisältyy erityisiä työntekijöiden turvallisuusriskejä. Standardi ENV 1090 /19/ on laadittu ottamaan huomioon kyseinen direktiivi, ja se painottaa asennussuunnitelman merkitystä työmaaturvallisuuden kannalta. Standardissa ENV 1090 on kolme tärkeää viittausta: Toteuttajan tulee

- valmistella turvallisuussuunnitelma töiden toteuttamista varten,
- varmistaa, että se on sopusoinnussa koko rakennustöiden turvallisuussuunnitelman kanssa,
- varmistaa, että asennussuunnitelma on sopusoinnussa turvallisuussuunnitelman kanssa.

**Taulukko 1.** Betonielementtien välisten liitosten suunnittelu ja valmistus /2/.

Kohta	Otsikko/sisältö
1.1 ja 1.2	Rakennesuunnittelijan ja betonityönjohtajan pätevyudet
1.3	Asiakirjat, piirustukset ja työselitys, elementtipiirustuksessa elementtien osalta esitettävät asiat (liittyen asennukseen ja nostoihin)
1.3.5	Muut asiakirjat (asennussuunnitelma, kelpoisuuden toteaminen)
2.6.1	Erityisohjeet, elementtirakenteet
3.4	Säilyvyysuunnittelu, muut säilyvyysuunnittelun ohjeet
4.2.5	Rakenteiden valmistus, betonielementtejä koskevat erityisohjeet
5.3	Rakenteiden valmistuksen laadunvalvonta
6.4.4	Kuormia siirtävät metalliosat ja ankkurit

Teräsrakenteiden suunnitteluohje B7 /1/ esittää kohdassa 9.4 hitsauksesta, että rakenneluokkaan 1 ja 2 kuuluvien rakenteiden valmistajalla tulee olla valmistuksessa ja asennuksessa käytettävistä hitsausmenetelmistä ohjeet (WPS). Hitsausohjeet hyväksyy sovellettavan standardin mukaisen järjestelmän ainetta rikkomattomia tarkastuksia tekevän 2. tason tai hitsausinsinöörin pätevyyden omaava henkilö. Kyseinen kohta koskee myös rakennuspaikalla suoritettavaa hitsaamista /24-26, 35, 42/.

Hitsauksesta laaditaan suunnitelma, jota tehtäessä selvitetään tarpeen mukaan mm. seuraavat asiat: hitsausolosuhteet, menetelmät ja laitteet, hitsausjärjestys, railon muodot, hitsausasennot, hitsausenergia, esilämmityksen tarve, lisäaineet, hitsien jälkikäsitely, hitsien tarkastus (menetelmät ja laajuus) ja tarvittavat menetelmäkoheet.

Betoninormin /2/ mukaan (kohta 4.2.5.2) elementtiasennusta johtavan työnjohtajan tulee omata riittävät tiedot valmiin ja asennusaikaisen rakenteen toiminnasta, työnsuunnittelusta, asennuksesta ja työturvallisuudesta sekä riittävä käytännön kokemus elementtiasennustyön johtamisesta. Työmaalla tulee olla elementtien asennussuunnitelma, jonka vastaava rakennesuunnittelija osaltaan on hyväksynyt. Suunnitelman tulee sisältää seuraavat tiedot tarvittavilta osiltaan:

- a) asennusjärjestys,
- b) mittausjärjestelmä ja mittapoikkeamat,
- c) vähimmäistukipinnat,

- d) asennuksen aikainen tuenta sekä yksittäisen elementin ja koko rakenteen asennusaikaiset vakavuustarkastelut,
- e) elementin kiinnittäminen,
- f) kiinnityshitsaukset materiaaleineen,
- g) muut tarpeelliset tiedot.

Rakennustyön valvontaa koskee Suomen rakentamismääräyskokoelman osa A1 /3/ ja suunnittelijoiden ja asennustyönjohtajien pätevyysosa A2 /4/.

Standardin ENV 1090 mukaisesti rakennuselementtien asennusmenetelmän tulee olla turvallinen neljällä tavalla:

- 1) osista asennetun rakenteen täytyy olla stabiili kaiken aikaa,
- 2) työmaan ja laitteiden käyttö tulee olla turvallista,
- 3) työmenetelmien ja työskentelypaikkojen tulee olla turvallisia, ja
- 4) kulkuteiden työpisteeseen ja pois tulee olla turvalliset.

## 1.2 Liitosten yleiset vaatimukset ja ominaisuudet

Liitosten ja erityisesti hitsausliitosten suunnittelu ajoittuu siihen vaiheeseen kun rakennus on päätetty toteuttaa. Suunnittelijan tulee tällöin ottaa huomioon rakenteille asetetut olennaiset tekniset vaatimukset koskien kestävyyttä, käyttöikää ja turvallisuutta (Maankäyttö- ja rakennuslaki ja -asetus), ja valita liitostyyppit siten, että niillä on seuraavat kolme ominaisuutta:

### 1.2.1 Kuormankantokyky

Liitoksen suunnittelussa on otettava huomioon vaikuttavat rasitukset ja kuormakomponentit /6, 8, 9 ja 13/, joiden välittämiseksi tuotteelta tai rakenneosalta toiselle liitos tulee suunnitella. Liitos tulee valita ja valmistaa siten, että sillä on täsmälleen suunnittelijan olettamien ominaisuudet /7, 10, 12, 15, 16, 18 ja 19/ ja se välittää suunnitellut rasitukset. Liitokselle suunniteltu kuormiensiirtokyky määrää, mitä rakenteellisia lisäkomponentteja liitoksessa eri syistä mahdollisesti tarvitaan (ruuvit, laipat, jäykisteet, tukilevyt, tms.).

Muut rasitukset koostuvat esimerkiksi rakenneosien muodonmuutoksista kuten lämpölaajenemisesta tai osien liikkumisesta toistensa suhteen, jotka tulee ottaa huomioon rakennustyössä /15, 19/.

Esimerkiksi pilari-palkki-liitoksissa /18/ voi vaikuttaa palkin suuntainen normaalivoima (puristusta tai vetoa), leikkausvoima ja taivutusmomentti kahteen eri suuntaan ja vääntömomentti, tai joku niiden yhdistelmä riippuen siitä kuinka liitokset on alun perin suunniteltu toimivaksi (Toimivuus  $\odot$  Rakenne / FEM-analyysissä on määriteltävä rakenne-elementtikohtaiset reunaehdot, ja nivelet).

### 1.2.2 Rakennettavuus

Elementit ja niiden liitokset tulee suunnitella valmistettavuuden ja asennettavuuden osalta mahdollisimman pitkälle, ja ne pitää asennuksen helpottamiseksi varustella jo tehtaassa. Mahdollisuudet vaihtaa osia tai korjata esim. kuljetuksen aikana tai muulloin vaurioituneita kohtia työmaalla tulee ottaa suunnittelussa huomioon /1, 2, 7, 13 ja 15/. Samoin rakennettavuuteen ja tuotteiden laatuun saattaa vaikuttaa oleellisesti, suoritetaanko tarvittava hitsaustyö konepajassa tai pitääkö se tehdä työmaalla, vaikka hitsausta työmaalla koskevat täysin samat laatuvaatimukset kuin hitsausta tuotetehtaassa /24-26/.

Rakennettavuuteen liittyy esim. rakenne-elementtien siirreltävyys, asennettavuus ja sovittaminen, asennuskustannukset, rakentamisen nopeus, turvallisuus ja työturvallisuus /2, 5/, rakenneosien varastoitavuus, nosteltavuus, materiaaliominaisuuksien vaihtelevuus, ylläpito-tarve, vaihdettavuus tai purettavuus.

### 1.2.3 Liitoksen säädettävyys

Usein säätämistarve aiheuttaa sen, että liitokset valmistetaan työmaalla ruuviliitoksena, jolloin liitoksen tekoon tarvittavat osat tai komponentit hitsataan tai valetaan liitettäviin rakenneosiin jo konepajassa tai tehtaassa. Tällöin kaikki ruuvien tai liitososien kautta kulkevat voimakomponentit, mukaan lukien osien epäkeskeisyydestä (suhteessa ruuviryhmän tai hitsausliitoksen taivutuskeskiöön) aiheutuvat taivutusmomentit, siirtyvät kyseisten hitsausliitosten kautta /9, 13, 24-26/.

Säädettävyteen vaikuttaa rakenteiden tarkkuus ja toleranssit, lämpötila ja sen vaihtelut, pilarien säätövarat pysty- ja sivusuunnissa, osien kaarevuudet ja vinoudet, palkkien kiinnitykset pilarien kylkeen, säätövarat tai tarve mm. taivutusmuodonmuutosten varalta ja nivelliitoksissa tarvittavat liikevarat. Säädettävyys helpottaa rakennuksen toleranssien yleistä hallintaa ja saattaa oleellisesti vähentää mittaustyön tarvetta.

Sovitteet ja niiden käyttäminen helpottavat säätöjä, mutta voivat lisätä epäkeskisyyksiä, jotka pitää ehkä ottaa mitoituksessa huomioon!

### 1.2.4 Muut mahdolliset tarvittavat ominaisuudet

Liitoksella tulee olla riittävä palonkestävyys. Niillä tulee myös olla kaikki riittävät rakennusfysikaaliset ominaisuudet, joita vastaavat rakentamismääräyksissä esitetyt vaatimukset koskevat rakennuksen kuoria (katto, seinät) riippumatta siitä miten kyseiset rakenteet on tehty tai mitä komponentteja ja liitoksia siihen kuuluu. Rakenneosien säilyvyysvaatimukset koskevat myös liitoksia ja niitä on käsitelty tarkemmin kohdan 4 esimerkeissä.

Teräsbetonirakenteiden kokoonpanoliitokset ovat usein ns. nivelliitoksia. Nivelliitos on suunnittelijan tietoinen valinta, ja vastuullisen suunnittelijan tulee valvoa, että ominaisuus säilyy myös rakennusvaiheessa. Nivelliitoksiin oleellisesti kuuluva liikevara ja muodonmuutoskyky ei saa häiriytyä.

Liitosten luokittelu ja lujuusominaisuudet on määritelty tarkemmin esimerkiksi ohjeessa EN 1993-1-8. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints /18/. Kyseinen



ohje käsittelee myös ns. puolijäykkiä liitoksia ja niiden tekniikkaa, sekä vaatimuksia eri liitostyypeille.

Hitsausliitosten mitoittaminen tehdään liitostyyppin valinnan jälkeen. Mitoittamiseen liittyy hitsityyppien ja hitsien pituuksien ja paikkojen valintaa sekä hitsien a-mittojen määräämistä. Mitoitusohjeet löytyvät sovellettavista standardeista /10, 11 ja 16/ tai Eurokoodeista (kohdat 1.2 ja 3.2). Hitsien valmistuksen laadunvarmistukseen on käytettävissä uusi Teräsnormikortti N:o 18/2005 /14/, joka kokoaa ohjeet hitsausliitoksen laadunvarmistuksesta.

### 1.3 Teräsosien suunnittelu ja mitoitus

Suomessa teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoittaminen voidaan tehdä joko Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMk) määräysten ja ohjeiden mukaisesti tai soveltamalla EU:ssa voimassa olevia Eurocode-ohjeita (taulukko 2).

Suomen RakMk ohjeessa B7 /1/ (Teräsrakenteet, ohjeet 1996) on käsitelty rakenteiden valmistusta (luku 9) ja rakenteiden vaatimuksenmukaisuutta (luku 11), ja esitetty, että teräsrakenteiden suunnitteluasiakirjojen tulee sisältää toteutusta varten rakenteen koko-, geometria- ja rakenneainetietojen lisäksi laatuvaatimukset valmistukselle ja asennustyön tulokselle siten, että toteuttajalla on tarvittavat perusteet laatusuunnitelman laatimiselle (kohta 1.3.2).

Samankaltaan 1.3.2 mukaan teräsrakenteiden piirustuksissa tai suunnittelijan hyväksymässä projektieritelmässä esitetään hitsauksesta vähintään:

- hitsiluokka,
- hitsien hyväksikäyttöaste niistä hitseistä, joissa se ylittää arvon 0,5,
- aineiden ja tarvikkeiden laatu,
- rakenteiden mitat, muoto ja sallitut mittapoikkeamat,
- muut tarpeelliset tiedot kuten esimerkiksi:
  - väsytySKUORMITETUN rakenteen valmistusta koskevat erityisvaatimukset,
  - lamellirepeilyvaaralle alttiiksi joutuvien aineiden hankintaa koskevat erityisvaatimukset,
- tarve erillisen laatusuunnitelman laatimisesta toteuttajalta, jonka sisäinen laadunvalvonta ei ole hyväksytyn tarkastuslaitoksen jatkuvassa valvonnassa.

**Taulukko 2.** Suunnitteluohjeet (kantavien rakenteiden suunnittelussa).

	Suomen Rakennusmääräyskokoelman (RakMk) osat	Eurocodet (Suomessa YM:n käyttöön hyväksymät, ja muut) 1)
Kuormitukset	<b>B1</b> (1998) Rakenteiden varmuus ja kuormitukset, määräykset <b>RIL-144</b> (2002) Rakenteiden kuormitusohjeet <b>N:o 578</b> Valtioneuvoston asetus elementtirakentamisen työturvallisuudesta	<b>EN 1991-1:</b> Suunnittelun perusteet <b>EN 1991-1-1:</b> Tiheydet, omat painot ja hyötykuormat <b>EN 1991-1-2:</b> Palolle altistettujen rakenteiden kuormat <b>EN 1991-1-3:</b> Lumikuormat <b>EN 1991-1-4:</b> Tuulikuormat <b>EN 1991-1-5:</b> Lämpökuormat <b>EN 1991-1-6:</b> Työn-aikaiset kuormat <b>EN 1991-1-7:</b> Onnettomuuskuormat
Rakenteiden kestävyys/mitoitus	<b>B2</b> (1990) Kantavat rakenteet, määräykset <b>B3</b> (2004) Pohjarakenteet, määräykset ja ohjeet <b>B4</b> (2005) Betonirakenteet, ohjeet (tai BY50) <b>B6</b> (1989) Teräsohuttlevyrakenteet, ohjeet ja vast. <b>B6 Standardit 2001</b> <b>B7</b> (1996) Teräsrakenteet, ohjeet ja vastaavat sovellettavat <b>B7 Standardit 2001</b>  Sovellettavat standardit määrittelevät mm. käytettävät teräspuolivalmistet, kuten levyt ja profiilit, ja teräsrakenteiden hitsaamiseen liittyvät seikat ja laskentaohjeet.	<b>EN 1992:</b> Betonirakenteet <b>EN 1992-1-1:</b> Yleiset suunnittelu-säännöt <b>EN 1992-1-2:</b> Palomitoitus  <b>EN 1993:</b> Teräsrakenteet <b>EN 1993-1-1:</b> Yleiset suunnittelu-säännöt <b>EN 1993-1-2:</b> Palomitoitus <b>EN 1993-1-3:</b> Teräsohuttlevyrakenteet <b>EN 1993-1-8:</b> Liitosten suunnittelu <b>EN 1993-1-9:</b> Väsymislujuus <b>EN 1993-1-10:</b> Murtositkeyden arviointi
Muut suunnitteluohjeet	<b>A1</b> (2006) Rakennustyön valvonta, määräykset ja ohjeet <b>A2</b> (2002) Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat, määräykset ja ohjeet <b>A4</b> (2000) Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje, määräykset ja ohjeet <b>E1</b> (2002) Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet	Muut ohjeet: <b>EN 1994:</b> Teräs-betoniliittorakenteet <b>EN 1995:</b> Puurakenteet <b>EN 1996:</b> Muuratut rakenteet <b>EN 1997:</b> Geotekninen suunnittelu  Ruostumaton teräs: <b>EN 1993-1-4:</b> Ruostumattomasta teräksestä valmistetut rakenteet

1) Kuhunkin ohjeeseen liittyy kansallinen soveltamisohje (National Annex).

Hitsausliitosten valmistus pitää standardin SFS 2373 /10/ mukaan tapahtua yhteisymmärryksessä suunnittelijan kanssa. Standardia on tarkennettu Teräsnormikortissa /14/.

Valmistajan laatimassa projektin laatusuunnitelmassa tulee esittää erityiset laatukäytännöt, resurssit ja töiden järjestys, ja sen tulee sisältää ainakin seuraavat asiat:

- tarkastelu toteuttajan resursseista, joilla projektieritelmän vaatimukset saavutetaan,
- tarkastus ja testaussuunnitelma,
- menettely vaatimuksista poikkeamien käsittelemiseksi,
- laatupassin sisällön hyväksyntöjen ajankohdat (voimassaolo).

RakMk:n ohjeen B7 /1/ kohdan 3.1 (Yleiset suunnitteluperusteet) mukaan kantavan rakenteen toimintatapa ja rakenteisiin käytettävät aineet, tarvikkeet ja **liitostavat** valitaan ottamalla huomioon rakenteelle asetettavat lujuus-, muodonmuutoskyky-, jäykkyys-, säilyvyys- ja muut vaatimukset. Lisäksi otetaan huomioon valmistuksen, kuljetuksen ja asennuksen asettamat erikoisvaatimukset sekä kunnossapito.

## 1.4 Tunnetut ja tyypilliset ongelmakohdat

Rakenteiden liittäminen toisiinsa jakautuu kahteen vaiheeseen, joista ensimmäinen tapahtuu konepajassa tai rakennustuotetehtaalla, ja toinen tapahtuu työmaalla ko. rakennuskohteessa. Periaatteessa molempia liittämistehtäviä koskevat samat vaatimukset /1, 2, 7 ja 14/, koska Suomen rakentamismääräyskokoelman määräykset ja ohjeet koskevat rakenteita eikä yksittäisiä eri valmistajien tuotteita (kohta 1.1):

- 1) Rakennustuotteiden valmistus perusmateriaaleista tai puolivalmisteista, jolloin tuloksena on rakennusosa tai elementti tai jokin muu myytävä ja työmaalle kuljetettava varusteltu asennettavissa oleva kappale, jonka koko riippuu käytetystä rakennusjärjestelmästä - tällainen elementti on mm. betonielementti, joka on tehtaassa varusteltu vakioteräsoilla.
- 2) Työmaalla tapahtuva rakennustuotteiden tai komponenttien yhteen liittäminen, jolloin tuloksena on lopullinen rakenne, osarakennus tai rakennus, joka toteuttaa Maankäyttö- ja rakennuslain ja -asetuksen rakennusta koskevat olennaiset tekniset vaatimukset.

Tuotteiden ja osien liittämisenä on aina läsnä useita eri riskitekijöitä, jotka esiintyvät erilaisina eri tapauksissa. Vaurioselvityksissä on voitu todeta, että usein on kyseessä yksittäistapaus, johon liittyy useita samaan aikaan ja suuntaan vaikuttaneita tekijöitä. Rakennusalalla eivät samankaltaiset virheet ja ongelmat yleensä toistu, koska ala itse korjaa seuraavassa projektissa edellisen virheet. Taulukossa 3 on esitelty riskejä, puutteita ja virhemahdollisuuksia satunnaisessa järjestyksessä.

Osa taulukossa 3 mainituista ongelmista on suoranaisia riskitekijöitä ja osa välillisiä tekijöitä, kuten esimerkiksi eri toimijoiden yhteistyöhön liittyvät puutteet. Esimerkkinä sellaisesta voidaan mainita asennussuunnittelu, josta suunnitteluohjeiden mukaan pitää laatia etukäteen suunnitelma. Suunnitelman laatiminen on usein työturvallisuussyistä asennuksesta vastaavan työnjohtajan tehtävänä, mutta työnjohtajalla ei yleensä ole hitsausinsinöörin pätevyyttä, eikä työnjohtajan voi olettaa suorittavan lujuuslaskelmia, mitkä liittyvät esimerkiksi valmisosien tuentoihin tai maassa koottavien elementtien nostoihin.

**Taulukko 3.** Yleiset liitosten ongelmiin johtavat syyt /30/.

<b>Virhetyyppi</b>	<b>Kuvaus</b>
Pätevyudet on tarkastamatta	Suunnittelijoiden ja työnjohdon pätevyudet ovat tarkastamatta tai käytetään epäpäteviä suunnittelijoita.
Puuttuva suunnittelu tai asennussuunnittelu	Suunnittelua ei ole tehty, tai dokumentaatio puuttuu. Kukaan ei ole tarkistanut suunnittelua tai sen laatua.
Virheellinen suunnittelu	Suunnittelussa on tehty virheitä, on unohdettu kuormia tai niiden yhdistelmiä, tai on käytetty muita kuin varmallalla puolella olevia mitoituskaavoja. Rakenteen rasitukset tai tuennat on mallinnettu väärin, tai rakenteen toiminta on analysoitu väärin.
Puutteellinen suunnittelu	Jatkuvan sortuman riskiä ei ole otettu liitossuunnittelussa huomioon.
Uusi liitosrakenne	Aiemmin testaamattomiin liitostekniikoihin liittyy erityisen suuri virheriski (tällaisia liitoksia löytyy erityisesti paikoista, missä rakenneosat liittyvät toisiinsa muussa kuin suorassa kulmassa).
Muutosuunnittelu	Alkuperäinen suunnittelija ei ole mukana tehtäessä muutosuunnittelua tai uutta jonkin osarakenteen suunnitelman versiosta, jolloin kokonaisuuden hallinta voi pettää.
Kuka suunnittelee	Osa tuotteesta tai rakenteesta suunnitellaan konepajassa tai rakennustuotetehtaassa uudelleen (johtuen eri syistä), mutta kokonaisuuden hallinta jää valvomatta.
Vastuullinen suunnittelija ei ole mukana	Suunnittelija ei ole mukana tuotteen valmistuksessa (tehtaassa tai työmaalla) tai harkittaessa mahdollisia valmistusvaihtoehtoja.
Ei laadunvarmistusta	Olematon laadunvarmistus (ongelmana pienillä toimittajilla), kun tekijät eri työvaiheissa ovat samoja.
Vähäinen laadunvarmistus	Laadunvarmistus on tehty perustason ohjeilla, ilman kohdekohtaisia työohjeita (WPS) tai -selvityksiä suunnittelijalta. Tuotteen silmämääräinen tarkastus ei ole ollut riittävä.
Virheelliset materiaalit tai puolivalmisteet	Rakenneosa tai puolivalmiste on ollut viallinen tai vioittunut valmistusvaiheessa, eikä osaa ole vaihdettu tai korjattu.
Vauriot kuljetuksessa	Rakenneosa tai puolivalmiste on vioittunut kuljetuksen yhteydessä, eikä asiaa ole huomattu tai siitä ei ole piitattu.
Vastaanottotarkastus on tekemättä	Rakenteiden toimitukseen ja vastaanottoon kuuluva tarkastus on jäänyt tekemättä.
Osien varastointi on tehty väärin	Rakenneosat tai tuotteet ovat kärsineet vaurioita niiden varastoinnin aikana, eikä asiaa ole havaittu.
Nosto-ohjeet väärin	Rakennuselementtien kokoonpanoa on tehty rakennuspaikalla, eivätkä nosto-ohjeet ole koskeneet nosteltavia kokonaisuuksia.
Väliaikainen tuenta ohjeitta tai väärin	Rakennuselementtien väliaikaista tuentaa ei ole suunniteltu tai ohjeistettu, tai se tehdään rakennuspaikalla toisin kuin ohjeissa.
Telineiden purkaminen ja valmiin rakenteen käyttöönotto	Rakennustelineiden ja tuentojen purkaminen pitää tehdä suunnitellussa järjestyksessä. Tuntoja ei saa poistaa ennen rakenteiden lopullista stabilointia.
Osien huollettavuus	Rakennustuotteiden tai -osien huollettavuutta tai vaihdettavuutta ei ole tarkastettu, eikä huoltokirjassa ole niistä merkintöjä.
Tuotteen käytettävyys	Rakennustuotteelta on oletettu ominaisuutta, jota sillä ei ole, eikä asiaa ole todettu (laskettu) dokumentaatioissa (on ehkä viitattu ohjeisiin, standardeihin tai käyttöselosteisiin).

Vaurioherkkyys	Tuotteen tai sen liitoksen korroosio- tai kostumisherkkyyttä ei ole tarkastettu eikä tuotetta ole suojattu.
Rakennettavuus	Tuotteen toimivuutta muiden siihen liittyvien saman tai toisen valmistajan osien kanssa ei ole testattu

## 1.5 Liitosten riskitekijät

Taulukossa 4 on lueteltu työvaiheita ja riskejä, joita esiintyy konepajoissa tai elementtitehtaissa tapahtuvassa liittämässä. Monet myöhemmin esiintyvät viat tai heikkoudet syntyvät tuotteiden valmistusvaiheessa. Yksittäiset viat eivät kuitenkaan ole olleet syynä sortumiin, vaan ne ovat aiheutuneet monen eri tekijän yhteisvaikutuksesta /30/.

Merkittävä liitoksia koskeva riskitekijä on se, että rakenteiden jännevälien kasvaessa kuormat lisääntyvät samassa suhteessa, mutta liitosten lukumäärä säilyy samana. Käytännössä siitä aiheutuu tukireaktiivoimien kasvu, mikä tyypillisesti merkitsee, että esimerkiksi palkki/pilari-liitokset tulee suunnitella normaalia huolellisemmin. Liitosten muotoilu ja yksityiskohtien sitkeyksien ja kestävyyksien tarkastaminen korostuu.

**Taulukko 4.** Tuotteiden sisäisten liitosten mahdolliset puutteet ja ongelmat /30/.

<b>Virhetyyppi</b>	<b>Kuvaus</b>
Pätevyudet	Hitsareiden pätevyyttä ei ole tarkastettu tai todettu.
Materiaalivika	On tehty virheitä materiaalien valinnoissa tai tarkastuksessa.
Puolivalmistevika	Puutteet puolivalmisteen vastaanottotarkastuksessa tms.
Mittavirheet	Liitettävien osien mittavirheet tai katkaisutekniikan virheet (polttoleikkaamalla katkotut osat erityisen herkkiä sovituserheille).
Hitsausliitokset	Kaikki hitsit: hitsien keski- tai reunahalkeamat tms. hitsausvirheet, Pienahitsit: vajaa a-mitta, sovituserhe, vajaa tunkeuma, sitkeyden puute (jos hitsin päärasituksena on leikkauksen sijasta vetovoima), Tunkeumahitsit: Riittämätön tarkastus.
Ruuviliitokset	Vedetyt ruuvit ovat herkkiä vetomurtumalle ja/tai taivutukselle. Liitosten esikiristys on tekemättä tai tarkastamatta tai tehty väärällä menetelmällä. Liitosten lukitseminen tekemättä tai tehty väärällä tavalla (kierteiden rikkominen ei estä ruuvia löystymästä!).
Muut mekaaniset liitokset	Muiden mekaanisten liitosten sitkeysominaisuudet tarkastamatta (puutteet voi kompensoida riittävän isolla osavarmuuskertoimella).
Liitosten tarkastus	Primäärirakenteiden voimaliitosten tarkastamista ei ole tehty (organisoitava aina eri työvaiheeksi, voimaliitoksista tulee laskelmissa selvittää oletettu murtotapa).
Liitosten korjattavuus	Rakenneosien ja -tuotteiden piiloon jääviä liitoksia ei ole mitoitettu isommalla osavarmuuskertoimella (erityisesti dynaamisesti tai väsytytkuormitettuja rakenteita).

Taulukossa 5 on esitelty työmaaliittämisessä esille tulleita tyypillisiä riskitekijöitä. Joissakin tapauksissa työmaaliitoksien tekeminen on vaikeutunut siten, että liitokseen syntyy vikoja, jotka johtavat myöhemmin sen vaurioitumiseen ja sortumaan. Kokoonpanoliitosten vikaantuminen ja siihen liittyvä sortumisvaara johtuvat osittain kyseisten liitosten perusominaisuu-

desta, jonka mukaan kokoonpanoliitoksissa kuormilla on vain harvoin vaihtoehtoisia kulkutietoja.

**Taulukko 5.** Tuotteiden työmaalla valmistettävien liitosten puutteet ja ongelmat /30/.

<b>Virhetyyppi</b>	<b>Kuvaus</b>
Mittavirheet	Mittavirheiden takia osien yhteensovitus on vaikeaa ja joudutaan ehkä hätäratkaisuihin (esim. polttoleikkaus tai reikien teko yms.).
Työselitys puuttuu	Työselityksen puute on iso riskitekijä. Valmistusta ja asennusta varten annettavien projektikohtaisten ohjeiden puuttuminen merkitsee, että suunnittelija ei ota vastuuta suunnittelusta. Kukaan ei valvo että valmistuva rakenne toteuttaa suunnitteluolettamukset.
Asennussuunnittelu puuttuu	Asennussuunnittelussa ei ole suoritettu toleranssitarkasteluja, jolloin mittavirheet mahdollisesti kasautuvat. Asennusjärjestystä ei ole harkittu riittävästi (aloitus jäykästä kohdasta).
Kokoonpano maassa ja suurten elementtien nostot	Rakennusosien ja elementtien nostot muissa suunnissa kuin niiden omassa toimintatasossa on riskialtista ja voi aiheuttaa niihin muodonmuutoksia ja käyryyksiä, joita ei havaita.
Nostojen lujuuslaskelmat puuttuvat	Nostosunnitelmat puuttuvat, elementtien tai rakenneosien omapaino riittää aiheuttamaan paikallisia pelkästään noston aikana esiintyviä jännityshuippuja hitsausliitoksiin.
Rakenteiden mittaus tuloksia ei käytetä	Rakennosien suoruutta, tai sivusiirtymiä ei verrata suunnitteluohjeiden määräyksiin, eikä rakenteiden kestävyys lasketa vaikka epäkeskeisyydet tms. ylittyisivät.
Liitosten valmistus	Hitsausliitokset: Ohjeiden mukaista tarkastusta ei suoriteta, Ruuvi-liitokset: asianmukainen kiristys tai lukitseminen puuttuu.
- " -	Betonielementtien välisten hitsausliitosten laadunvalvontaa ei ole ohjeistettu riittävästi asennussuunnitelmassa.
Liitosten tarkastus puuttuu	Nivelliitokset: muodonmuutoskyvyn tarkastus, Voimaliitokset: jäykkyys, kestävyys, liitoskomponenttien riittävä muodonmuutoskyky.

## 2. MATERIAALIT JA SÄILYVYYS

### 2.1 Terästen valinta - pikaopas

Betonielementtien raudoituksessa ja niiden välisissä liitoksissa käytetyissä vakioteräsoissa ja mahdollisissa lisäteräsoissa materiaalit valitaan vaatimusten mukaan. Tähän pikaoppaaseen on koottu tiedot käytetyimmistä materiaaleista ja niiden ominaisuuksista. Materiaalien valintaan liittyviä tietoja syvennetään kohdissa 2.2...2.7.

#### "Mustat" rakenneteräokset SFS-EN 10025

##### Teräslajit

- Rakenneteräokset: S 235, S275, S355
- S = Rakenneteräs. Huom! 8.8 -kierretangot eivät ole rakenneteräksiä, A500HW Betoniteräokset eivät ole rakenneteräksiä.
- 355 = Ylempi myötöraja –luokka. Ylemmän myötörajan minimiarvo on voimassa enintään 16 mm ainevahvuuksille.
- Muut teräokset: Varmennetulla käyttöselosteilla varustettuja seuraavia teräsoita voidaan käyttää
  - RAEX perusteräs (korvaa Fe37B), moniteräs (vastaa S355)
  - RAEX N -hienoraeteräokset, RAEX HR -muovattavat, RAEX OPTIM –lujat muovattavat, RAEX M -erikoislujat
  - COR-TEN, säänkestävät teräokset

##### Terästen laatuluokat

- Iskusitkeys alhaisissa lämpötiloissa
- Testaus: Sharby V tai –U koe, mitataan murtumiseen kulunut energia
- Minimit rajattu: 27 (J) – 40 (K) – 60 (L)
- Testauslämpötilat: +20 (R) / 0 (0) / -20 (2) / -40 (4) / - 50 (5) / -60 (6)
- Esim. J2: -20 asteessa murtamiseen kulunut energiamäärä > 27 J. Hauras-murtuman riski kasvaa, jos iskusitkeys pieni.

	JR	J0	J2	J4	K2	K4
Energia	>27 J	>27 J	>27 J	>27 J	>40 J	>40 J
Lämpötila	+20 <sup>0</sup> C	0 <sup>0</sup> C	-20 <sup>0</sup> C	-40 <sup>0</sup> C	-20 <sup>0</sup> C	-40 <sup>0</sup> C

#### Lisätunnus G

Tunnus G	Tiivistys	Toimitustila
G1	Tiivistämätön	Valmistajan valittavissa
G2	Tiivistämätön ei ole sallittu	Valmistajan valittavissa (esim. kuumavalssattu tai normalisoitu)
G3	Typeä sitovilla aineilla tiivistetty	LEVYTT: normalisoitu tai normalisointivalssattu PITKÄT TUOTTEET: valmistajan valittavissa
G4	Typeä sitovilla aineilla tiivistetty	Valmistajan valittavissa

Tiivistystapa (Ellei erikseen vaadita): JR teräkset ovat tiivistettyjä, lukuun ottamatta S235JR, joka voi olla myös tiivistämätöntä. JO teräkset ovat tiivistettyjä. J2 / K2 ja sitä korkeamman laatuluokan teräkset tulee olla tiivistetty tyyppä sitovilla aineilla.

**Merkitsemistapa:** Esimerkiksi S355J2G3

## Ruostumattomat teräkset

Eurooppalaisessa standardissa ruostumattomilla teräksillä tarkoitetaan teräksiä, joissa korroosionkestävyys on keskeinen ominaisuus, joissa on hiiltä alle 1,2% ja vähintään 10,5 % kromia. Yleisessä kielenkäytössä ruostumattomat teräkset jaetaan ”ruostumattomiin teräksiin” ja ”haponkestäviin teräksiin”. Paremman syöpymiskestävyyden vuoksi ovat molybdeenipitoiset austeniittiset ruostumattomat teräkset saaneet nimen ”haponkestävät teräkset”.

Ruostumattomat teräkset voidaan jakaa mikrorakenteen mukaan alaryhmiin, joista eniten käytettyjä ovat austeniittiset teräkset. Niiden kromipitoisuus vaihtelee välillä 16...26% ja nikkelpitoisuus 7...26%. Hiilipitoisuus on enintään 0,15% ja seosaineina voi olla kromin ja nikkelin lisäksi molybdeenia sekä lisäksi pieniä määriä kuparia, titaania ja niobia.

Austeniittiset ruostumattomat teräkset. Likimääräinen standardivastaavuus. Taulukko (Standardin SFS-EN 10088-2 mukaan).

EN	SFS Polarit	ASTM	SS	$R_{P0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> ) ( $f_y$ )	$R_M$ (N/mm <sup>2</sup> ) ( $f_u$ )	Mo %
1.4301	725	AISI 304	2333	190...230	500...540	-
1.4307	720	AISI 304L	2352	175...220	450...520	-
1.4401	755	AISI 316	2347	200...240	500...530	2...2,5
1.4404	750	AISI 316L	2348	200...240	500...530	2...2,5
1.4432		AISI 316L	2343	200...240	500...550	2,5...3
1.4438	770	AISI 317L	2367	240	550	3...4
1.4439	772	904L	2562	270...290	580	4...5
1.4462		S31803	2377	450...480	640... 660	2,5...3,5
1.4529		N08926		280...300	580...650	6...7
1.4539	774	N 08904	2562	240	530	4...5
1.4547		S31254	2378	300...320	650	6...7
1.4565		S34565		420	800	3,5...5

$R_{P0,2}$  = 0,2 %-venymisrajan vähimmäisarvo,  $R_M$  = murtolujuus,  
Mo = molybdeeni,  $f_y$  = myötöraja,  $f_u$  = vetomurtolujuus.

Taulukossa lujuusarvoissa esiintyvät vaihtelut johtuvat materiaalin nimellispaksuudesta sekä valmistustavasta. Tarkemmin arvot on esitetty esistandardissa **prEN 1993-1-4: 2005 (E), taulukko 2.1**. Ohuilla ( $t \leq 6$  mm) kylmävalssatuilla nauhoilla on suurimmat lujuusarvot.



### Polarit-sarjan käyttösovellutuksia

- Polarit-sarja **71x**: ruostumattomat 17-7 yleisteräkset. Yleisiä esim. kotitaloustarvikkeissa sekä eri teollisuusalojen käyttökohteissa, jousirakenteet, kuljetusvälineet. Huono kloridikorroosiokestävyys, mikäli rakenne vedetty ja lämpötila ylittää 60°C.
- Polarit-sarja **72x**: tavanomaiset 18-8 ruostumattomat teräkset. Rakennuskohteet. Puunjalostuksen lievät korroosio-olosuhteet. Huono kloridikorroosiokestävyys, mikäli rakenne vedetty ja lämpötila ylittää 60°C.
- Polarit-sarja **75x**: haponkestävät ruostumattomat teräkset. Soveltuu esim. puunjalostuksen keskivaikeisiin korroosio-olosuhteisiin. Huono kloridikorroosiokestävyys, mikäli rakenne vedetty ja lämpötila ylittää 60°C.
- Polarit-sarja **77x**: ruostumattomat erikoisteräkset. Kemian teollisuus, puunjalostusteollisuuden valkaisimot. Jännityskorroosiokestävyys edellisiä huomattavasti parempi, esim. 772 soveltuu hyvin merivesikohteisiin.

### Jännityskorroosioriskille soveltuvia austeniittisiä ruostumattomia teräksiä

Austeniittisten ruostumattomien terästen jännityskorroosio uimahalliolosuhteissa on erittäin omalaatuinen ilmiö, sitä on todettu vain rakenteissa ja osissa, jotka ovat kosketuksissa klooripitoisen ilman kanssa, eikä niitä pestä tai puhdisteta säännöllisesti. Nykyisten suositusten mukaan uimahallien ja kylpylöiden kantavissa rakenteissa ei tule käyttää tavanomaisia EN 1.4301 (AISI 304) tai EN 1.4401 (AISI 316) tyyppisiä ruostumattomia teräksiä.

Eurocode-standardissa SFS- ENV 1993-1-4, liitteessä A on esitetty seuraava valinta-ohje ruostumattomien terästen käytöstä kantavissa rakenteissa uimahalliolosuhteissa allasveden kloridipitoisuuden funktiona, kun teräsosaa ei voida puhdistaa säännöllisesti, kuten esim. alakattojen ripustusosat. Soveltuvia austeniittisiä teräslaatuja ovat:

- Allasvesi sisältää  $\leq 250$  mg/l kloridi-ioneja:
  - EN 1.4529 (UNS N08926), sisältää vähintään 6 % molybdeenia
  - EN 1.4539 (UNS N08904, Polarit 774)
  - EN 1.4547 (UNS S31254), sisältää vähintään 6 % molybdeenia
  - EN 1.4565 (UNS S34565)
- Allasvesi sisältää  $> 250$  mg/l kloridi-ioneja:
  - EN 1.4529 (UNS N08926), sisältää vähintään 6 % molybdeenia
  - EN 1.4547 (UNS S31254), sisältää vähintään 6 % molybdeenia
  - EN 1.4565 (UNS S34565)

## Betoniteräksset

Teräslaatu	Standardi	$R_{P0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$R_M$ (N/mm <sup>2</sup> )
A500 HW	SFS 1215	500	550
A700 HW	SFS 1216	700	750
B500 K	SFS 1257	500	550
B600 KX	SFS 1259	600	660
B700 K	SFS 1260	700	770
S235JRG2	SFS-EN 10025	235	340...
Jännepunos	SFS 1265	1570	1770

## Alumiini

Alumiinia koskevat suunnitteluohjeet on esitetty Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisussa RIL 87-1998, Alumiinirakenteiden suunnitteluohjeet.

Alumiinin korroosionkestävyys on erinomainen, koska se muodostaa ilman hapen kanssa kovan ja tiiviin oksidikerroksen, joka estää hapettumisen jatkumisen. Tämän ominaisuuden ansiosta alumiinirakenteilla on pitkä käyttöikä ja vähäinen huollon tarve. Korroosionkestävyyttä voidaan vielä parantaa anodisoinnilla, joka lisäksi antaa alumiinille kauniin pinnan.

Lujuudeltaan erilaisia alumiiniseoksia on useita. Puhtaan alumiinin lujuusarvot ovat vaatimattomia, mutta seostuksella sen lujuutta voidaan huomattavasti parantaa, jolloin parhaiden alumiiniseosten lujuus on terästen lujuuden luokkaa. Liitoseliminä voidaan käyttää alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä tehtyjä ruuveja ja aluslevyjä. Myös kuumasinkittyjä ruuveja voidaan käyttää.

Alumiinin kosketusta seuraavien materiaalien kanssa tulee välttää:

- Kupari, pronssi, messinki. Kuparimetallit syövyttävät alumiinia voimakkaasti.
- Lyijy. Lyijy syövyttää alumiinia.
- Betoni, sementti, kalkki, laastit, tasoitteet. Nämä materiaalit syövyttävät alumiinia märkänä, kuivumisen jälkeen syöpyminen lakkaa. Kuivuttuaan betoni saattaa aiheuttaa alumiinin kanssa tiiviissä kosketuksessa rakokorroosiota, joten on hyvä pyrkiä erottamaan alumiini ja betoni toisistaan ei-metallisella väliaineella.

## 2.2 Rakenneteräksen ja hitsauksen lisäaineen valinta

### 2.2.1 Yleistä

Kuumavalssatut teräkset ovat yleensä seostamattomia tai niukkaseosteisia, ja niitä voidaan hitsata hyvin kaikilla tavanomaisilla konepajoissa ja asennustyömaalla käytettävillä hitsausprosesseilla. Myötölujuusluokkaan 355 N/mm<sup>2</sup> ja levynpaksuuteen 20...30 mm saakka ei tarvita erityistoimia. Lujuusluokan kasvattaminen asettaa kuitenkin suurempia vaatimuksia niin teräkselle kuin hitsausaineille. Tässä käsitellään Ruukin Raahen terästehtaan tuotteita, mutta tietoja voi soveltaen hyödyntää myös muiden valmistajien teräksien valinnassa. Lukuun ottamatta joitakin erikoistapauksia, hiiliterästen valinta suoritetaan kuvan 3 kaavion ja seuraavien tekstikohtien mukaisesti

### 2.2.2 Teräslaadut ja teräksen valinta

Ruukin teräslevyjen toimitustilat /31/ ovat: kuumavalssattu, normalisoitu (merkki N), normalisointivalssattu (N), ja termomekaanisesti valssattu (M). Kuumavalssatussa toimitustilassa olevalle teräslevylle ei ole tehty lämpökäsittelyjä. Normalisoitu teräslevy on lämpökäsittely valssauksen jälkeen. Normalisointivalssauksessa loppuvalssaus tehdään tietyllä lämpötila-alueella, jolloin materiaalin mekaaniset ominaisuudet vastaavat normalisoidun teräksen ominaisuuksia. M-terästen termomekaanisessa käsittelyssä hyödynnetään kontrolloitua valssaus-tekniikkaa sekä tarvittaessa vesijähdytystä heti valssauksen jälkeen. M-terästen lujuus laskee oleellisesti, jos ne esimerkiksi normalisoidaan. Rakenneteräksen valinta suoritetaan kuvan 3 valintakaavion mukaisesti.

Ennen hitsausta on syytä varmistua, että käytettävillä valmistusmenetelmillä saavutetaan vaatimukset täyttävä lopputulos ja että hitsausliitoksella on riittävät lujuus- ja iskusitkeysominaisuudet. Käytännössä tämä tapahtuu esimerkiksi tekemällä hitsauksen menetelmäkoee. Iskusitkeys mitataan Charpy V -iskukokeella.

Ohjeita teräksen kaarihitsauksen menetelmäkoetta varten on annettu mm. standardissa EN 288-3 sekä SFS:n julkaisemassa teknisessä raportissa CR 12187:fi. Hitsaajan Oppaan 2003 /23/ liitteessä 1 on esitetty Ruukin teräslajien ryhmittely hitsausta varten ja liitteessä 2 on esitetty perusaineiden ryhmittely hitsaajan pätevyyskoestandardin EN 287-1 mukaisesti. Hitsaajan Oppaan liitteessä 3 on luettelo tärkeimmistä SFS-EN -terässtandardeista, ja liitteessä 4 on luettelo tärkeimmistä terästen hitsauksen laadunhallintaa, hitsausliitoksen suunnittelua, hitsausaineita ja hitsaajan pätevyyskoekteita koskevista SFS-EN -standardeista.

Konepajateollisuuden yleisesti käyttämä yleinen rakenneteräs on S235JRG2. Tämän teräksen käyttö on perusteltua niissä kohteissa, joissa lujuudelle ja iskusitkeydelle ei ole tarvetta asettaa suuria vaatimuksia. Toinen yleisesti käytetty rakenneteräslaji on S355J2G3.

Teräslajien merkinnöissä oleva G-tunnus tarkoittaa eri standardeissa eri asioita. Standardin EN 10025 mukaisten terästen merkinnöissä G-tunnus tarkoittaa ao. taulukossa 6 esitetyllä tavalla joko tiivistystä tai toimitustilaa.

Tarkista kohteen sovellettava **rakenneluokka** teräsrakenteiden suunnitteluohjeen B7 /1/ taulukon 1.1 mukaan.

Selvitä teräksen alin mahdollinen **käyttölämpötila-alueen alaraja** (jos se on alle  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  asteen käyttölämpötila ja rakenne on iskukuormitettu -> käytä esim. RAEX terästä).

Selvitä käytettävä **ainepaksuus** rakenteen paksuimman liitettävän osan perusteella, ja suurin vetojännitys murtorajatilassa (joissakin tapauksissa myös hitsaus, hitsien sijoittelu, rakenneratkaisu ja muotoilu voivat vaikuttaa teräslajin valintaan, vrt. Rautaruukin Suunnittelijan Opas, kohta 1.4.2).

Selvitä teräkseltä vaadittu **painoluku**  $Z = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d$ , jonka osatekijät riippuvat edellä mainituista käyttöön liittyvistä olosuhteista ja tekijöistä, ja johda siitä alin iskutikeus laatuluokka, Laatuluokka riippuu oleellisesti, onko osassa hitsejä tai polttoleikattuja osia tai ei.

Selvitä teräksen **tiivistystarve** esimerkiksi ohjeen Rautaruukki: Suunnittelijan Opas /31/, kohdan 1.4.3 mukaan (hitsattavaksi tarkoitetut kantavien rakenteiden teräkset tilataan yleensä tiivistettyinä). Kylmävalssatut putkipalkit toimitetaan aina tiivistettyinä!

Selvitä onko tarvetta tilata teräs varustettuna **Z-takuulla** (tarvitaan ominaisuuksia paksuus-suunnassa, ohjeena voi käyttää joko Suunnittelijan opasta /31/, kohta 1.6.3, tai EN 1993-1-10: 2005 /17/).

Selvitä **rasitusluokka** (ympäristöluokka) ja teräksen pinnan kuumasinkitystarve (kts. Kuuma-sinkityskäsikirjasta). Esitetään suunnittelijan hyväksymässä projektieritelmässä. Korroosiosuojaus esim. standardin ISO 14713 /21/ mukaan.

Selvitä pitääkö teräksen **pinnan laadulle** (surface condition) asettaa vaatimuksia (luokitus EN 10163:n mukaan).

**Kuva 3.** Rakenneteräksen valintakaavio.

**Taulukko 6.** Tunnus G /23/.

EN 10025 / 1993		
Tunnus G	Tiivistys	Toimitustila
G1	Tiivistämätön	Valmistajan valittavissa
G2	Tiivistämätön ei ole sallittu	Valmistajan valittavissa
G3	Typpeä sitovilla aineilla tiivistetty	Normalisoitu tai normalisointivalssattu
G4	Typpeä sitovilla aineilla tiivistetty	Valmistajan valittavissa

Ruukin kylmävalssatut putket toimitetaan materiaalista S355J2H (tai S355J0H) alumiinilla tiivistettyinä (Suunnittelijan Oppaan /31/ mukaan niissä on aina vähintään 0,020 % alumiinia), eli putkien hitsattavuus on riittävän hyvä. Yleiset rakenneteräkset, joiden iskutheyden laatuluokka on JR, J0, J2 tai K2 ovat yleensä hyvin hitsattavissa kaikilla hitsausprosesseilla. Laatuluokat määritellään transitiolämpötilan mukaan, ja ovat vastaavasti +20 °C luokassa JR, -20 °C luokassa J2 ja 0 °C luokassa J0.

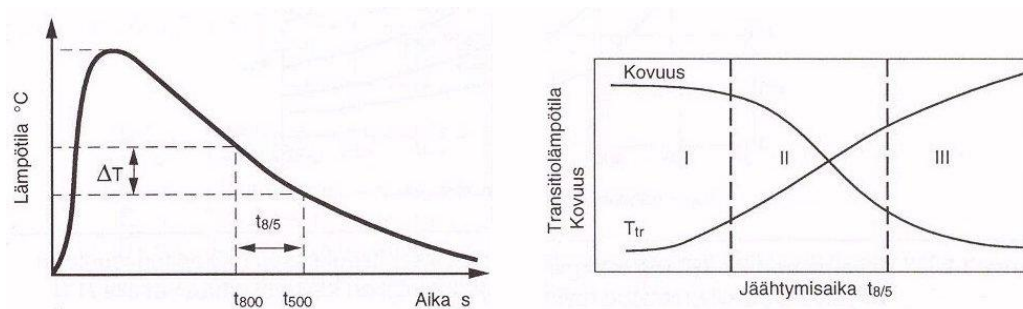
Teräksen lujuustason nosto lisää sen kylmähalkeilu- ja lamellirepeilytaipumusta, ja iskutheyden laatuluokan heikkeneminen taipumusta myötövanhenemiseen.

Normalisoitujen hienoraeterästen, kuten esimerkiksi RAEX Multisteel N, S355NL ja S420N/NL, mekaaniset ominaisuudet soveltuvat teräsrakentamiseen, jossa rakenneaineelta edellytetään korkeaa lujuutta sekä hyvää iskutheyttä ja hitsattavuutta. Ne kestävät hyvin kaikki tavanomaiset lämpökäsittelyt sekä voimakkaan ”kuumilla oikomisena”. Normaaleissa konepajaolosuhteissa hitsattaessa niiden kylmähalkeiluriski on erittäin pieni.

Muita Suomessa valmistettavia teräslajeja ovat mm. lujat ja muovattavat OPTIM RAEX -teräkset, säänkestävät COR-TEN- ja muut rakenneteräkset, karkaistavat booriteräkset, RAEX AR-kulutusteräkset, painelaiteteräkset sekä laivanrakennusteräkset.

Hiiliteräksen hitsausliitoksen ominaisuudet riippuvat oleellisesti liitoksen jäähtymisnopeudesta, jonka suuruuteen vaikuttavat lähinnä lämmöntuonti (hitsausenergia), levynpaksuus, liitosmuoto ja työlämpötila. Hitsiaineen ja muutosvyöhykkeen ominaisuuksien kannalta merkittävimmät kiderakennemuutokset tapahtuvat liitoksen jäähtyessä lämpötilavälillä 800...500 °C ja siksi jäähtymisnopeutta kuvaavana suurena käytetäänkin yleensä jäähtymisaikaa  $t_{8/5}$ , joka tarkoittaa tämän lämpötila-alueen ohittamiseen kulunutta aikaa.

Kuvassa 4 on esitetty kaaviollisesti jäähtymisajan vaikutus liitoksen muutosvyöhykkeen kovuuteen ja iskutheyden transitiolämpötilaan seostamattoman ja niukkaseosteisten terästen hitsauksessa. Kun jäähtymisaika on hyvin lyhyt eli liitos jäähtyy nopeasti, maksimikovuus liitoksen muutosvyöhykkeellä nousee voimakkaasta karkenemisestä johtuen suureksi, mutta liitoksen iskutheyksominaisuudet ovat hyvät. Vastaavasti, jos jäähtymisaika on hyvin pitkä, kovuus jää matalaksi, mutta transitiolämpötila kuitenkin nousee, eli iskutheyksominaisuudet heikkenevät. Liitoksen optimaalisten ominaisuuksien kannalta jäähtymisajan tulee osua alueille II.



**Kuva 4.** Jäähtymisaika  $t_{8/5}$  ja sen vaikutus hitsausliitoksen muutosvyöhykkeen kovuuteen ja iskutiteyden transitiolämpötilaan /23/.

### 2.2.3 Iskutiteyden luokan valinta

Teräksen valmistajan ilmoittama iskukokeen testauslämpötila ei ole teräksen alin sallittu käyttölämpötila. Testauslämpötila on tarkoitettu iskutiteyden kokeellista tarkastusta ja terästen välistä vertailua varten. Joissakin terässtandardeissa iskutiteyden luokan tunnus merkitsee samaa kuin laatuiluokka. Iskutiteyden testauksessa käytettävät koesauvat otetaan levystä terässtandardista riippuen valssaussuuntaan nähden poikittain tai pitkittäin. Seuraavassa taulukossa on esitetty rakenneterässtandardeissa esiintyvien iskutiteyden- ja laatuiluokkien tunnusvertailuja.

Kun käyttölämpötila on jatkuvasti alle  $-40\text{ °C}$  ja rakenne on joko hitsattu tai iskumaisesti kuormitettu, eivät yleiset rakenneteräkset sovellu käytettäväksi. Mataliin lämpötiloihin soveltuvia teräksiä ovat RAEX N -hienoraerakenneteräkset ja termomekaanisesti valssatut RAEX M -teräkset.

**Taulukko 7.** Iskutiteyden luokka ja laatuiluokka. Vertailu /23/.

Testauslämpötila °C	Iskutiteyden luokka					Laatuiluokka	
	Standardi			Standardi		Standardi	Ruukki
	EN 10025 (1993)			EN 10025 (1991)		SFS 200, SFS 250, SFS 1100, SFS 1150	RAEX-
	Iskutiteyden luokka			Iskutiteyden luokka		Iskutiteyden luokka	Iskutiteyden luokka
	27J	40J	60J	27J	40J	27J	40J
+ 20	JR	KR	LR	B	-	B	-
0	J0	K0	L0	C	-	C	RAEX xx3 P
- 20	J2	K2	L2	D	DD	D	RAEX xx4 P
- 30	J3	K3	L3	-	-	-	-
- 40	J4	K4	L4	-	-	(E)	RAEX xx5 P
- 50	J5	K5	L5	-	-	-	-
- 60	J6	K6	L6	-	-	(F)	RAEX xx6 P ARCTIC

Iskukokeet tehdään pitkittäisillä sauvoilla.

Iskutiteyden luokalla ei ole suurta merkitystä teräksen hintaan. Käyttäjän kannalta iskutiteyden luokkien kirjavuudella on kustannuksia kohottava vaikutus verrattuna harvennettuun valikoimaan, jolle voidaan helpommin kehittää työmenetelmiä.

### 2.2.4 Hitsausprosessin valinta

Hitsausprosessia valittaessa tulee pitää mielessä terästen lämmöntuontirajoitukset ja hitsauksen suoritustapa. Hitsausprosessin ja suoritustavan sekä hitsausenergian valinnan vaikutus korostuu teräksen lujuuden kasvaessa ja iskutheyden laatuluokan kiristyessä. Hyvään liitoksen iskutheyteen on mahdollista päästä kaikilla tavanomaisilla hitsaus-prosesseilla (MIG/MAG, täytelanka, jauhekaari, puikko) edellyttäen, että hitsausenergia pidetään kyseiselle teräkselle annettujen suositusten mukaisena. Mekanisoitua hitsausta kannattaa käyttää aina kun se on mahdollista. Sillä päästää parempaan tuottavuuteen ja yleensä myös parempaan iskutheyteen kuin käsin hitsauksella.

### 2.2.5 Hitsilisäaineen valinta

Suunnittelijan Oppaan /31/liitteeseen 5 (s. 84-99) on koottu Ruukin valmistamien yleisimpien teräslajien hitsausainesuosituksia riippuen valitusta hitsausmenetelmästä. Tiedot perustuvat hitsausainetoimittajien suosituksiin. Taulukoista nähdään, että MAG-hitsauksessa käytetään eri lisäaineita kuin puikkohitsauksessa, eli kun konepajassa ja työmaalla käytetään yleensä eri menetelmiä niissä käytetään myös eri lisäaineita.

Kuumavalssatun teräksen hitsauslisäaine valitaan pääsääntöisesti siten, että sen kemiallinen koostumus vastaa perusaineen koostumusta. Hitsausaineita ovat mm.:

- a) hitsauslisäaine kuten esimerkiksi hitsauslanka ja hitsauspuikko,
- b) hitsausjauhe,
- c) suojakaasu.

Lujilla ja sitkeillä teräksillä lisäaineen on oltava perusainetta hieman seostetumpi, jotta myös hitsiaineeseen saadaan perusaineen tasoiset lujuus- ja iskutheyden ominaisuudet. Käytännössä lisäaine määräytyy sekä teräksen lujuusluokan että iskutheyden luokan perusteella. Iskutheyden luokkien JR, J0, J2, KR, K0, K2, LR, L0 ja L2 (EN 10025 mukaan) teräksille myötölujuusluokkaan noin 400 N/mm<sup>2</sup> saakka soveltuvat mangaaniseosteiset lisäaineet, joilla hitsiaineeseen saadaan hyväksyttävä iskutheyden taso lämpötilaan -20 °C saakka (iskutheyden luokat J2, K2 ja L2). Mangaaniseosteisten lisäaineiden tuottama hitsiaine on usein sitkeää vieläpä -40 °C:n testauslämpötilassa. Lujemmille teräksille ja parempaa iskutheyttä edellyttäviin rakenteisiin on käytettävä seostetumpia lisäaineita, kuten Ni-, Ni+Cu-, Mo- tai Ni+Mo-seosteisiä. Näillä lisäaineilla saavutetaan riittävä iskutheyden varmemmin ja ne kestävät myös suurempia hitsausenergioita.

Normaalien hiiliterästen lisäaineiden valinnassa tulee noudattaa kahta perussääntöä:

- 1) lisäaineen vähimmäislujuuden tulee olla vähintään sama kuin perusaineen vähimmäis-myötölujuus, ja
- 2) lisäaineen iskutheyden tulee olla vähintään yhtä hyvä kuin perusaineelle sovellettavassa standardissa määritelty iskutheyden.

Lisäaineiden merkinnässä /28/, esimerkiksi SFS-EN 499: E 42 4 B 42 H 5, edellä olevat kaksi perussääntöä viittaavat ensimmäisen E-kirjaimen jälkeisiin lukuihin 42 ja 4, jotka ko. esimerkkin tapauksessa tarkoittavat lujuutta 420 MPa ja iskutikeysluokkaa -40°C.

Kuumavalssattujen terästen lisäaineeksi suositellaan saman lujuuksinen tai vain vähän lujempi (5... 10 %) kuin perusaine. Painelaitteiden lisäaineen on kuitenkin oltava sellainen, että hitsi-aineen lujuus täyttää vaaditun lujuuskertoimen. Ylilujan lisäaineen käytöstä seuraa korkea jäännösjännitystilä sekä lisääntynyt vetely- ja halkeiluvaara.

Kun hitsataan erilaisia teräksiä toisiinsa, pääperiaatteena on, että lisäaine valitaan vähemmän seostetun teräksen mukaan.

Lisäaineiden valinnassa ja säilytyksessä voidaan hyödyntää toimittajien ohjeita /28/, joista löytyy myös muita hyödyllisiä taulukoita hitsimerkinnöistä, hitsausasunnoista tms.

### 2.3 Ympäristön rasitusluokat

Eurooppalaiset ohjeet koskien ympäristöluokituksia ja rakenteiden käyttöikää yms. uudistettiin 1990-luvulla, jolloin tuli uusi standardi EN ISO 14713 (Teräs- ja rautarakenteiden korroosionesto. Sinkki- ja alumiinipinnoitteet. Ohjeisto /21/). Standardissa on esitetty korroosion kehittymiseen eri ympäristöissä liittyviä tietoja, suoja-pinnoitusjärjestelmien valintaan liittyviä seikkoja, ja liitteessä A kuumasinkittävien tuotteiden suunnitteluohjeita. Standardilla on olennainen ero aiempiin siten, että siihen on nyt otettu mukaan "elinikä ensimmäiseen kuntoon", joka on aikaväli, joka voi kulua alkuperäisen pinnoitteen tarvitsemaan liäsuojakäsittelyyn.

Käytettävän sinkki- tai alumiinipinnoitteen valinnassa tulee ottaa huomioon seuraavat näkökohdat:

- a) pääympäristö, jossa metallituotetta ja sen pinnoitetta käytetään;
- b) paikalliset ympäristövaihtelut, sisältäen oletetut tulevat muutokset ja mahdolliset erityisolosuhteet;
- c) vaadittu kestoikä metallisen pinnoitteen ensimmäiseen huoltoon asti;
- d) liitettävien komponenttien tarve;
- e) maalaustarve alussa tai kun metallipinnoite on saavuttamassa "elinikänsä ensimmäiseen huoltoon", jolloin saavutetaan minimihuoltokustannukset;
- f) saatavuus ja kustannukset;
- g) huollon helppous, jos suojausjärjestelmän elinikä on lyhyempi kuin rakenteelta vaadittu.



### 2.3.1 Ilmastollinen korroosio

Taulukko 8 ilmoittaa ilmastollisen korroosion /21/ perusrhmittymisen (ISO 9223 mukaisesti). Milloin suhteellinen kosteus on alle 60%, teräksen ja raudan korroosio on tavallisesti merkityksetöntä eikä metallipinnoitteita tarvita. Kun suhteellinen kosteus on suurempi kuin 60% tai on kastumisvaara tai altistumista jatkuvaan kondensoitumiseen, rauta ja teräs altistuvat vakavammalle korroosiolle. Pintojen likaajat, eritoten kloridit ja sulfaatit, kiihdyttävät rasiutusta.

Teräksen pintaan laskeutuvat epäpuhtaudet kiihdyttävät korroosiota jos ne absorboivat kosteutta tai liukenevat teräksen pinnalla. Myös lämpötilalla on vaikutusta suojaamattoman teräksen korroosioasteeseen ja lämpötilavaihtelut vaikuttavat voimakkaammin kuin keskimääräinen lämpötila.

Teräsrakenteiden korroosio rakennusten sisällä riippuu sisäilmastosta, mutta on epäoleellinen "normaaleissa" ilmastoissa, eli kuivissa ja lämmitetyissä tiloissa. Teräsrakenteet rakennusten ulkoseinissä ovat riippuvaisia ulkoseinärakenteiden kokoonpanosta, eli täysin ulkoseinistä erillään olevien teräsrakenteiden korroosioriski on vähäisempi kuin niihin kytkettyjen tai ulkorakenteiden osana olevien teräsrakenteiden korroosioriski.

**Taulukko 8.** Ympäristön rasiutusluokat, korroosioriski ja korroosionopeus /21/.

Koodi	Syövyttävyysluokat	Korroosioriski	Korroosionop., keskimäär. sinkkihäviö $\mu\text{m}/\text{vuosi}$
C1	Sisätilat: kuivat	Hyvin alhainen	$\leq 0,1$
C2	Sisätilat, ajoittaista kondenssia Ulkoilmasto: sisämaan maaseutu	Alhainen	0,1...0,7
C3	Sisätilat: suuri kosteus, jonkin verran saasteita Ulkoilmasto: sisämaan kaupunki tai lievä rannikkoilmasto	Keskimääräinen	0,7...2
C4	Sisätilat: uima-altaat, kemiantehtaat Ulkotilat: sisämaan teollisuus tai kaupunki rannikolla	Korkea	2...4
C5	Ulkoilmasto: hyvin kostea teollisuus tai suolainen rannikko	Hyvin korkea	4...8
Im2	Merivesi lauhkeilla alueilla	Hyvin korkea	10...20
	Painohäviöpaksuudet ovat standardissa ISO 9223 annettuja vastaavia, paitsi 2 $\mu\text{m}$ (vuodessa) tai suuremmilla on pyöristys tapahtunut kokonaisiksi numeroiksi. Rauta ja teräs syöpyvät 10...40 kertaa sinkkiä nopeammin, suurimpien syöpymisnopeuksien ollessa yleensä kloridiympäristöissä. Alumiinipinnoitteilla ei ole suoraviivaista korroosiota ajan mukaan.		

Teräsrakenteiden korroosiosuojaus epäorgaanisilla pinnoitteilla (kuumasinkitys ja ruiskusinkitys) tehdään standardin ISO 14713 /21/ mukaisesti. Näkyviin jäävien teräsrakenteiden suojaaminen orgaanisilla pinnoitteilla (maalit ja lakat) tehdään standardin SFS-EN ISO 12944 mukaisesti, missä osa 2 koskee ympäristöluokitusta, ja on yhtäläinen taulukon 8 kanssa. Be-

tonin sisään jäävät osat voi suojata epoksimaalaamalla, mutta maalaus huonontaa tartuntaa ja voi kuormituksen alaisena halkeilla, jolloin sen suojausvaikutus poistuu.

Betonirakenteiden suunnitteluohjeessa BY50 (kohta 3.2.1) edellä olevaa (taulukko 8) jakoa rasitusluokkiin on oleellisesti tarkennettu siten, että suunnittelija valitsee rakenteen rasitusluokan seuraavien rasitustekijöiden suhteen:

- karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio,
- kloridien aiheuttama korroosio,
- merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio,
- jäätymis-/sulamisrasitus ja
- kemiallinen rasitus.

Rasitusluokka valitaan BY50:n taulukon 3.1 ympäristöolosuhteiden kuvausten mukaisesti. Kyseinen kuvaus perustuu standardiin EN 206, joka on taulukossa 8 esitetyn luokittelun laajennus betonirakenteille. Ohjeen BY50 luokittelu koskee betonirakenteita, erityisesti betoniraudoitusta ja betonissa kiinni olevia metalliosia. Mikäli osa ei joudu suoraan kontaktiin betonin kanssa, noudatetaan taulukon 8 kuumasinkitystä (kts. kohta 2.6) koskevia ohjeita tai suojataan osa esimerkiksi maalaamalla se epoksilla tai muilla orgaanisilla suojamaaleilla.

Betonielementtien välisessä liitoksessa olevien vakio- ja muiden teräsosien suojaamiseen käytettävä menetelmä valitaan betoninormin kohdan 4.1.2.4 (Kuormia siirtävät metalliosat, nostoankkurit ja nostolenkit) rasitusluokittelun perusteella:

- teräs- ja muut metalliosat, nostoankkurit ja nostolenkit, joiden betonipeite ei täytä vaatimuksia tai jotka ovat muuten alttiina korroosiolle, on luotettavasti suojattava korroosiota vastaan. Rasitusluokissa (BY50) XC3, XC4, XS2, XS3, XD2 ja XD3 tällaiset osat tehdään korroosionkestävästä materiaalista, ja
- rasitusluokissa XC3, XC4, XS2 ja XD2 saadaan kuitenkin teräsosat tehdä korroosiota vastaan suojatusta tavallisesta teräksestä, jos niiden suojaus voidaan pitää kunnossa.

Edellä olevat ohjeet eivät käsittele tyhjentävästi liitoksia, joissa betonin pintaan on valettu sekä ruostumattomasta teräksestä että normaalista hiiliteräksestä tehtyjä vakioliitososia kuten esimerkiksi vakiokiinnityslevyjä. Mikäli kiinnityslevyt voivat taipua ja osittain irrota betonin pinnasta esimerkiksi taivutusmomentin tai hitsauslämmön takia, kiinnityslevyjen ankkuritan-koihin, joiden suojausta ei voida pitää kunnossa, kohdistuu käytännössä sama ympäristörasitus kuin itse levyyn. Niiden osalta on suositeltavaa, että

- jos vakiokiinnityslevyihin on edellä olevan ohjeen mukaan valittu korroosionkestävä materiaali, myös kiinnitysankkurit ovat samaa materiaalia, tai
- lyhyimmillä (esim. 100 mm) kiinnitysankkureilla varustettuja kiinnityslevyjä (esim. SBKL 50x50, 100x100, 100x150), missä tyssäkantaiset ankkuritangot ovat normaalia hiiliterästä, ei tule kannan ja varren korroosioalttiuden takia käyttää niissä ympäristöluokissa (XC3, XC4, XS2, XS3, XD2 ja XD3), missä betonin pintaan asennettavat kiinnitysosat ovat korroosiota kestävästä aineesta.

### 2.3.2 Poikkeukselliset rasitukset

Korroosiorasitus kasvaa paikallisesti teollisuusprosessien päästöjen takia, eritoten sinkkipinnoitteilla happamien päästöjen ja alumiinipinnoitteilla alkalisten päästöjen takia.

Luonnollista mekaanista rasitusta voi aiheutua erilaisista mekaanisista tekijöistä. Pinnat, joilla kuljetaan tai ajetaan tai jotka hankaavat toisiinsa, voivat joutua alttiiksi kovalle koetukselle. Ei-rautametallisilla pinnoitteilla on paljon suurempi kulutuskestävyys kuin tavanomaisilla maalipinnoitteilla. Sinkki-rautaseokset ovat erityisen kovia.

Kaikki käsitellyt metallipinnoitteet ovat sopivia korotettuihin lämpötiloihin. Orgaanisten materiaalien / pinnoitteiden kestävyydestä tulee hankkia tiedot tapauskohtaisesti.

## 2.4 Raudoitusterästen hitsaamisesta

Standardi draft prEN 17660-1:2004 /20/ käsittelee betoniterästen hitsaamista. Siinä kuvataan hitsausprosessit, käsitellään erilaiset kantavat hitsausliitokset ja niiden vaatimukset, materiaalit ja liitoksen laatuvaatimukset kuten myös pätevyys- ja hitsausmenetelmän määrittelyyn (WPS) liittyvät asiat sekä hitsausliitosten tarkastaminen. Suomessa samoja asioita on käsitelty rakenneriippumattomasti Teräsnormikortissa 18/2005 /14/, joka kokoaa yhteen eri suunnitteluohjeissa ja sovellettavissa standardeissa annetut ohjeet koskien hitsausliitosten laadunvarmistusta. Standardi käsittelee sekä normaaleja että ruostumattomia hitsattavia raudoitusteräksiä, joita saa hitsata kiinni raudoitusterästankoihin. Hitsauksen lisäaineet tulee valita perusaineeseen sovellettavien standardien mukaisesti.

Kuormaa siirtävien hitsausliitosten lisäaineen pienin myötöraja-arvo on oltava vähintään 70 % raudoitusteräksen myötörajasta. Kuormaa siirtävillä päittäishitseillä lisäaineen myötörajan tulee olla sama tai korkeampi kuin hitsattavan raudoitusteräksen myötöraja-arvo.

Hitsausohje (WPS) pitää laatia sopusoinnussa tapauskohtaisen standardin EN ISO 15609-1, EN ISO 15609-2, EN ISO 15609-5 tai EN ISO 15620 kanssa. Hitsausohjetta tulee täydentää olennaisilla lisäparametreilla, joita käsitellään standardin prEN 17660-1 kohdassa 11 /20/.

Hitsausohjeen (WPS) osalta tulee ottaa huomioon, että jollakin teräslaadulla suoritettu koehitsaus ei kelpaa muille teräslaaduille. Kuitenkin, koehitsauksessa käytetyn materiaalin hiili- ja mangaanivälikvivalentti kelpaa materiaaleilla, joiden hiili- ja mangaanivälikvivalentti on sama tai pienempi, mutta se ei kelpaa jos hiili- ja mangaanivälikvivalentti on korkeampi. Koehitsaus, joka tehdään kuormaa kantavalle liitokselle, kelpaa kuormaa kantamattomille liitoksille, mutta toisinpäin ei kelpaa.

Huom! Nykyaikaisilla betoniteräksillä on täyden lujuuden päittäisliitoksien tekeminen erittäin vaikeata /Ålander, C. Betoniterästen hitsausliitokset. [www.betoniyhdistys.fi/julkaisut](http://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut) 12.7.2004 /. Erityisesti työmailla päittäisliitoksien hitsaamista pitää välttää.

## 2.5 Rakenne- ja ruostumattoman teräksen liittäminen

### 2.5.1 Eripariliitoksista

Musta / ruostumaton -eripariliitokset /29/ ovat yleisiä hitsatuissa rakenteissa. Niiden hitsaamiseen liittyy monia hitsausmetallurgisia ongelmia. Oikea hitsauslisäaine on avaintekijä eripari-liitosten hitsausten onnistumisessa.

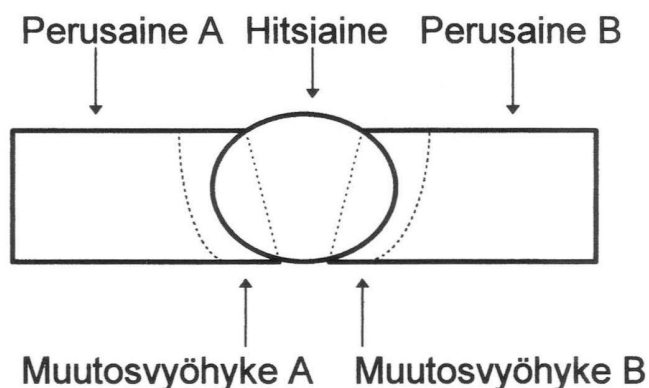
Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat erinomaisen korroosiokestävyytensä ja kuuma-lujuutensa ansiosta paljon käytettyjä materiaaleja mm. kemian-, selluloosa-, ja prosessi-teollisuudessa sekä voimalaitosten rakenteissa ja laitteissa. Ne ovat kuitenkin kalliita ja niillä on huoneenlämpötilassa suhteellisen matala lujuus verrattuna moniin rakenneteräksiin. Siksi ruostumatonta terästä käytetään yleensä kohteissa, missä sitä todella tarvitaan. Muualla voidaan käyttää vähemmän seostettuja ja halvempia teräksiä.

Rajakohdissa joudutaan liittämään hitsaamalla näitä erilaisia teräksiä toisiinsa. Näistä liitoksista ja vastaavasti hitseistä käytetään useita erilaisia nimityksiä, jotka viittaavat osapuolten seostukseen, ulkonäköön, mikrorakenteeseen tai muuhun erilaisuuteen. Tässä käytetään lyhyttä termiä eripariliitos.

Termi "musta teräs" tarkoittaa joko seostamatonta rakenneterästä, hienoraeterästä, lujaa tai kuuma-lujaa rakenneterästä. Kuuma-luja teräs voi olla kohteen mukaan joko seostamaton tai CrMo-seosteinen teräs. Eripariliitoksissa on toisena osapuolena yleensä austeniittinen ruostumaton teräs. Kuitenkin samaa käsittelytapaa voidaan soveltaa myös silloin, kun se on ruostumaton duplex-teräs tai ferriittinen ruostumaton teräs.

Eripariliitosten sulahitsauksessa ja erityisesti kaarihitsauksessa liitettävät perusaineet ja lisäaine sulavat runsaasti ja ne muodostavat sekoittuessaan keskenään yhdessä hitsiaineen. Jos käytetään puristushitsausmenetelmiä, sekoittumista tapahtuu vain hyvin vähän tai joillakin menetelmillä ei ollenkaan, mistä syystä niissä ei juuri esiinny ongelmia. Yleensä pieni sekoittuminen on edullisempaa eripariliitosten hitsauksessa.

Eripariliitosten hitsauksessa voi syntyä suuri määrä erilaisia hitsiaineen koostumuksia perusaineiden, lisäaineiden ja hitsausmenettelyn mukaan. Tärkein asia musta / ruostumaton -eripariliitosten hitsauksessa on juuri sopivan lisäaineen ja hitsausmenettelyn valinta.



**Kuva 5.** Hitsausliitoksen osat /29/.

Hitsausliitos käsittää viisi selkeästi eri osaa: perusaine A, perusaineen A muutosvyöhyke, hitsiaine, perusaineen B muutosvyöhyke ja perusaine B (kuva 5).

Hitsiaineen ja muutosvyöhykkeen välissä on sularaja-alue, johon kuuluu sekoittumaton vyöhyke, sularaja ja osittain sulanut vyöhyke. Sularajan alueelta voidaan tarkemmassa tarkastelussa löytää vielä muitakin vyöhykkeitä. Tärkein asia on yleensä syntyvä hitsiaine, joka muodostuu sulaneista perusaineista ja hitsiaineesta.

Perusaineiden muutosvyöhykkeet käyttäytyvät samalla tavalla kuin samanlaisten terästen hitsauksessa keskenään. Niiden vaatimat erityistoimenpiteet on otettava huomioon myös eripariliitosten hitsauksessa. Tällaisia toimenpiteitä ovat mm. esikuumennus, hitsausenergian rajoittaminen ja jälkilämpökäsittely.

Usein eripariliitoksessa toinen perusaine on austeniittinen ruostumaton teräs ja toinen seostamaton rakenneteräs, jotka kumpikin ovat hyvin hitsattavia teräksiä ilman mitään erityisiä ongelmia muutosvyöhykkeellä. Tärkein asia eripariliitosten hitsauksen onnistumisessa on sopivan riittävästi seostetun lisäaineen käyttö ja sekoittumisen hallinta, jotta vältetään seuraavilta hitsausongelmilta:

- vetyhalkeilu
- kuumahalkeilu
- haurastuminen
- hiilen diffuusio
- terminen väsyminen.

Eripariliitoksille joudutaan usein tekemään myös standardin SFS-EN 288-3 mukaisia menetelmäkokeita liitoksen ominaisuuksien testaamiseksi.

Hitsiaineen koostumus määräytyy perusaineiden koostumuksista ja lisäaineen koostumuksesta sekoittumisaineen osoittamassa suhteessa. Sekoittumisaineella tarkoitetaan sulaneen perusaineen osuutta hitsiaineessa (kuva 6). on seuraavassa luettelossa:

<p>Tyypillisiä sekoittumisasteita liitoshitsauksessa käyttäen eri hitsausmenetelmiä:</p>	<div style="text-align: center;"> <p>Päällehitsi:  <math display="block">= \frac{P}{L+P} \times 100 \text{ (\%)}</math> </p> <p>Liitoshitsi:  <math display="block">= \frac{P1 + P2}{L + P1 + P2} \times 100 \text{ (\%)}</math> </p> </div> <p><b>Kuva 6.</b> Sekoittumisasteen määrittely /29/.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- puikkohitsaus 15-30 %</li> <li>- TIG-hitsaus (lisäaineella) 20-50 %</li> <li>- MIG/MAG-pulssihitsaus 10-20 %</li> <li>- MIG/MAG-hitsaus 25-40 %</li> <li>- Jauhekaarihitsaus langalla 40-70 %</li> <li>- TIG-hitsaus (ilman lisäainetta) 100 %</li> </ul>	

Edellä mainitut luvut ovat vain lähtöarvoja, koska todellinen sekoittuminen railoissa voi vaihdella huomattavasti esikuumennuksen, aineenpaksuuden, railomuodon, lisäaineen hal- kaisijan, hitsausvirran, napaisuuden, kaarijännitteen ja hitsausnopeuden mukaan.

Lisäaineen ja valokaaren suuntauksella railossa on oma vaikutuksensa, koska toista perus- ainetta voi sulaa enemmän kuin toista. TIG-hitsauksessa sekoittumisasteeseen vaikuttaa myös lisäaineen tuonti, mistä hitsaaja huolehtii toisella kädellään. Tämä aiheuttaa helposti pienen tai suuren sekoittumisasteen ja lisäksi epätasaisuutta sekoittumisen määrään, koska lisäaineen määrä (osuus) vaihtelee syntyvässä hitsiaineessa. Päälle hitsauksessa tärkeä vaikuttava tekijä on vierekkäisten palkojen limitys. Näillä tekijöillä ja niiden hallinnalla on paljon suurempi merkitys hitsauksen onnistumiselle eripariliitoksissa kuin samanlaisten terästen liitoksissa.

### 2.5.2 Eriparihitsin koostumus

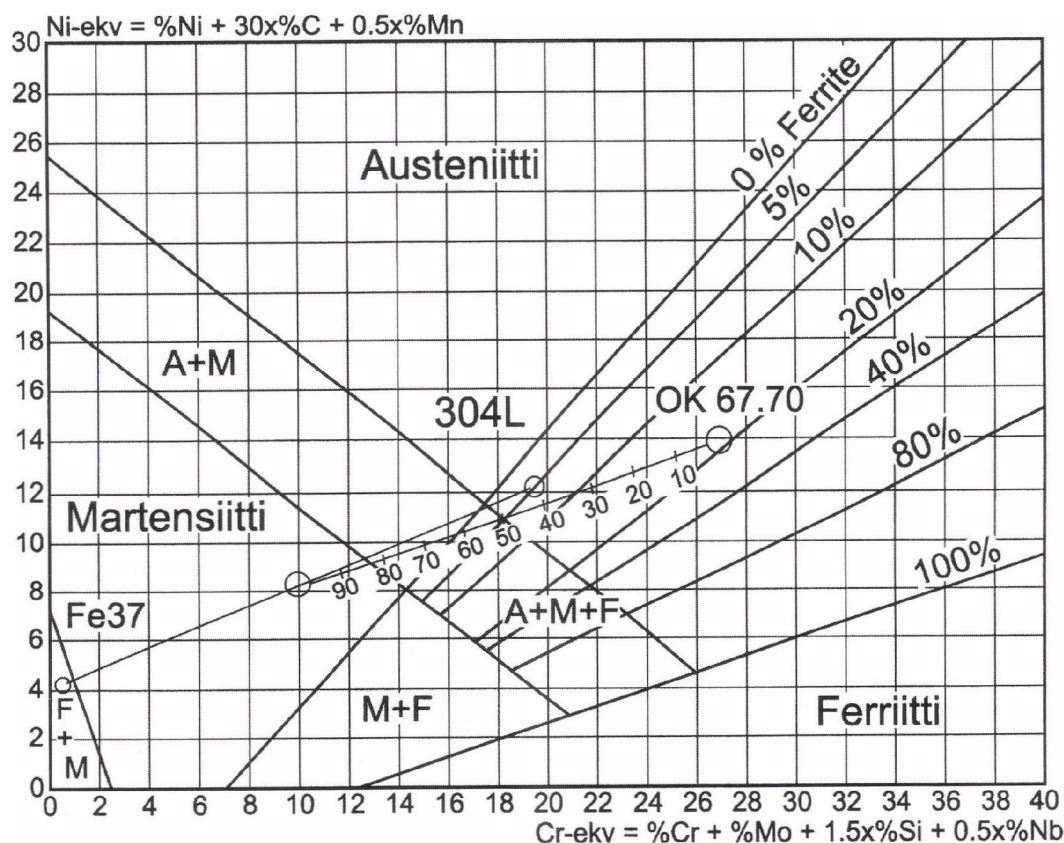
Eriparihitsin koostumus voidaan määrittää etukäteen laskemalla, kun tunnetaan perusaineiden koostumukset ja lisäaineen koostumus sekä sekoittumisaste. Lisäaineen koostumuksena las- kelmissa käytetään hitsauspuikon puhtaan hitsiaineen tai hitsauslangan valmistuseräkohtaista koostumusta tai niiden tyypillistä koostumusta, joka saadaan lisäaineluettelosta. Loppu- tuloksena saatavan hitsiaineen mikrorakenteita ja laatua ei kuitenkaan ole aina helppo päätel- lä pelkän koostumuksen perusteella, esim. ferriittipitoisuutta, haurastumis- tai halkeilu- alttiutta. Tämä tarkastelu voidaan tehdä esimerkiksi Schaefflerin (kuva 7), Bystramin ja WRC:n diagrammien avulla, jotka on kehitetty austeniittisen hitsiaineen ferriittipitoisuuden määrittämiseksi. Diagrammeja käytetään myös kun halutaan arvioida hitsin kuumahalkei- lualttiutta. Niitä käytetään paljon myös musta/ruostumaton -hitsien tarkasteluun ja lisäaineen valintaan ja myös päällehitsausaineiden tarkasteluun.

Hyvin käyttökelpoinen diagrammi on Bystramin täydentämä Schaeffler-diagrammi. Siihen on merkitty erilaisia halkeilu- ja haurastumisalueita, joita pitää välttää oikealla lisäaineen valinnalla.

Kun halutaan määrittää ferriittipitoisuus austeniittisessä hitsiaineessa, siihen käytetään nyky- ään etupäässä WRC-92 -diagrammia. Tätäkin diagrammia on täydennetty ns. martensiitti- viivoilla, jotka parantavat sen käyttökelpoisuutta eriparihitsien analysoinnissa. Schaeffler- ja Bystram-diagrammeja käytetään paljon eripariliitosten lisäaineen valintaan. Niiden etu on, että ne ulottuvat myös seostamattomiin ja niukkaseosteisiin teräksiin saakka.

### 2.5.3 Schaeffler-diagrammin käyttö

Diagrammin käyttö perustuu ajatukseen siitä, että hitsiaineen mikrorakenne riippuu ensi- jassa sen koostumuksesta, eikä niinkään hitsausolosuhteista, esimerkiksi hitsausenergiasta ja hitsin jäähtymisnopeudesta. Austeniittisen lisäaineen osalta tämä pitää paikkansa melko laa- jojen rajojen puitteissa. Schaeffler-diagrammissa (kuvassa 7) eriparihitsiainetta kuvaava piste sijaitsee viivalla, joka yhdistää käytettävän lisäaineen (puhdas hitsiaine tai hitsauslanka) pis- teen ja perusaineiden pisteiden yhdistysjanan keskipisteen (kuva 7). Paikka tällä viivalla riip- puu sekoittumisasteesta, jota numerot (%-luvut) kuvassa esittävät.



**Kuva 7.** Eriparihitsin koostumuksen muodostuminen Schaeffler-diagrammissa liitoksessa Fe37 (S235) - AISI 304L (EN 1.4306), kun käytetään yliseostettua puikkoa OK 67.70 (EN: E 23 12 2 L) /29/.

Diagrammissa (kuva 7) eriparihitsiainetta kuvaava piste sijaitsee viivalla, joka yhdistää käytettävän hitsiaineen (puhdas hitsiaine tai hitsauslanka) pisteen ja perusaineiden pisteiden yhdistysjanan keskipisteen. Paikka tällä viivalla riippuu sekoittumisasteesta, jota numerot (%-luvut) kuvassa esittävät.

Bystram täydensi alkuperäistä Schaeffler-diagrammia rajaamalla siihen "vaarallisia alueita", joissa voi esiintyä hitsiaineen haurastumista ja halkeilua. Uusin diagrammi on amerikkalainen WRC-92. Sopiva lisäaine haetaan ensin Schaeffer- ja Bystram-diagrammien avulla, ja hitsiaineen ferriittipitoisuus analysoidaan lopuksi tarkemmin WRC-diagrammin avulla.

Hitsin sularajan viereen syntyy sulahitsauksessa aina hyvin kapea heterogeeninen sekoittumaton tai osittain sekoittunut vyöhyke. Osittain sekoittuneen vyöhykkeen koostumus on seostamattoman teräksen ja sekoittuneen hitsiaineen väliltä. Siihen muodostuu väistämättä myös martensiittia, koska mm. seosainepitoisuudet muuttuvat tällä alueella vinosti eivätkä pystysuorasti. Vyöhykettä kutsutaan nimellä martensiittinen ylimenovyöhyke. Ilmiötä ei voi esittää millään lisäaineella. Kyseessä on kapea muutama sadasosa tai kymmenesosa milli-metriä leveä, hajanainen vyöhyke, jonka ei yleensä katsota huonontavan normaaliolo-suhteissa liitoksen käyttöominaisuuksia. Vyöhykkeellä voi syntyä myös paikallisesti suuria jopa 500 HV:n kovuuksia.

### 2.5.4 Lisäaineet ja niiden ominaisuudet

Oikealla hitsauslisäaineella ja hitsausmenettelyllä (so. Railomuoto, hitsausarvot yms.) ohjataan ja varmistetaan hitsiaineen koostumus sellaiseksi, että hitsiaineen mikrorakenne ei ole halkeilualtis eikä hauras ja sillä on käyttöolosuhteissa riittävät ominaisuudet ja stabiilius (pysyvyys). Hitsauslisäaineeksi pitää yleensä valita ns. yliseostettuja lisäaineita, jotka ovat riittävästi seostettuja lähinnä kromilla ja nikkelillä, jotta niillä on varaa laimentua hitsiaineessa yhdessä seostamattoman teräksen kanssa (taulukko 9). Tällöin sekoittumisen tuloksena on suurin piirtein tavanomainen 19-9- tai 19-12-3 -tyyppinen hitsiaine.

**Taulukko 9.** Musta / ruostumaton -sekaliitosten luokittelu ja lisäainesuosituksia /28/.

	1. Perusliitokset	2. Korroosiota kestävät liitokset	3. "Kuumat liitokset"
<b>Käyttöolosuhteet ("rasitukset")</b>	Matalat käyttölämpötilat T < 300 °C ja ei jälkilämpökäsittelyä	Kuten 1 ja lisäksi korroosiorasitus (mahdollinen jälkilämpökäsittely)	Korkeat käyttölämpötilat: T > 300 °C ja/tai voimakkaasti vaihtelevat lämpötilat
<b>Tyypillisiä kohteita</b>	Tavanomaiset tuki- ja kannattinrakenteet (esim. S235) ruostumattomiin rakenteisiin	Päällehitsaus (esim. teräksen S235) ruostumattomalla lisäaineella; compound-levyn hitsaus; ruostumattoman vuorauslevyn kiinnitys (monissa tapauksissa)	Kuumalujat putkistot: ferrittinen CrMo-teräs (esim. 10 CrMo 9-10) / austeniittinen teräs
<b>Ongelmia</b>	Martensiitti (haurastuminen ja kylmähalkeilu) Austeniitti (kuumahalkeilu) Crekv yli n. 23 % ja ferritti (sigmahauraus)	Kuten 1 ja lisäksi korroosionkestävyys	Kuten 1 ja 2 ja lisäksi hiilen diffuusio sekä erilainen lämpölaajenemiskäyttäytyminen
<b>Tyypillisiä lisäainetyyppejä</b>	A. 18 Cr - 8 Ni - 6 Mn B. 23 Cr - 13 Ni C. 23 Cr - 13 Ni - 3 Mo D. 29 Cr - 9 Ni	B. 23 Cr - 13 Ni C. 23 Cr - 13 Ni - 3 Mo (riittävän matala hiilipitoisuus ja stabilointi)	E. Nikkeliseos 70 Ni - 15 Cr - 8 Fe (Inconel)
<b>Puikko</b>	A. OK 67.45 B. OK 67.75, OK 67.60 C. OK 67.70 D. OK Selectrode 68.81, OK Selectrode 68.82	B. OK 67.60, OK 67.75 C. OK 67.70	E. OK 92.26
<b>MIG/MAG-lanka, jauhekaarilanka</b>	A. OK Autrod 16.95 B. OK Autrod 16.53 C. OK Autrod 16.54 D. OK Autrod 16.75	B. OK Autrod 16.53 C. OK Autrod 16.54	E. OK Autrod 19.85
<b>TIG-lanka</b>	A. OK Tigrod 16.95 B. OK Tigrod 16.53 C. OK Tigrod 16.54	B. OK Tigrod 16.53 C. OK Tigrod 16.54	E. OK Tigrod 19.85
<b>Täytelanka</b>	A. OK Tubrod 14.36 B. OK Tubrod 14.32 C. OK Tubrod 14.33 D. OK Tubrod 14.36	B. OK Tubrod 14.32 C. OK Tubrod 14.33	-

Lisäaineiden merkinnät /28/ poikkeavat hiiliteräksille käytettyjen merkinnöistä siten, että myötörajaa ja iskusitkeyttä kuvaavien lukujen sijasta käytetään seospitoisuuksia, esimerkiksi:

E 19 12 3 L,



missä 19 on kromi-, 12 on nikkeli- ja 3 on molybdeenipitoisuus prosentteina. Standardi SFS-EN 1600 antaa kullekin alkuaineelle mahdolliset sovellettavat vaihtelurajat. Kirjain L viittaa hiilen lisäykseen.

Betonielementtien välisissä teräsosaliitoksissa, kun yhdistellään osia joiden liitos pitää tehdä hiiliteräksen ja ruostumattoman teräksen välillä (eripariliitos), käytetään yleensä taulukon 9 "Perusliitokset" tai "Korroosiota kestävät liitokset" mainitsemia lisäaineita tai vastaavia muita tuotteita.

## 2.6 Pintojen suojaaminen ja säilyvyys

Galvaaninen korrosio, jota kutsutaan myös kontaktikorrosioksi, toimii kuin sähköpari: kahden metallin välillä on metallien jännitesarjan mukaisesti suuri potentiaaliero. Tällöin pariin vaikuttavan elektrolyytin (neste, kosteus) johdosta syntyy sähkövirta ja epäjalompi anodi syöpyy.

Eri metallien välillä on potentiaalieroja. Kts. oheinen metallien jännitesarja (kuva 8).

Mitä kauempana toisistaan yhdistettävät metallit ovat jännitesarjassa, sitä suurempi on potentiaaliero ja korroosioriski.



**Kuva 8.** Metallien jännitesarja.

### 2.6.1 Suojapinnoitusjärjestelmien suunnittelu

Rakenneteräkset suojataan joko metallisilla, ei-metallisilla epäorgaanisilla tai orgaanisilla pinnoitteilla. Pinnoittamisen syyt voidaan luokitella esimerkiksi seuraavasti:

- Perusmetallin korroosionesto eli suojaaminen ympäristön syövyttäviltä vaikutuksilta ja:
  - ulkonäön säilyttäminen,
  - hapettumisen estäminen,
  - tahraantumisen estäminen.
- tuotteen ulkonäön korostaminen
- tiettyjen fysikaalisten erityisominaisuuksien aikaansaaminen kuten
  - pintakovuuden lisääminen
  - kulutuksen kesto ja repeilyn esto
  - juotosominaisuuksien parantaminen
  - pintakerroksen sähkön- tai lämmönjohtavuuden parantaminen
  - tartuntakerroksen aikaansaaminen

- materiaalin tekeminen tiettyyn prosessiin tai käsittelyyn sopivaksi tai hygieniseksi
- korjaus-, huolto- tai kunnossapitokysymysten takia
- taloudellisuuden takia (hinta, saatavuus)
- tilapäissuojan aikaansaamiseksi kulutusta vastaan.

Rakenteen suunnittelussa vaikutetaan suojapinnoitejärjestelmän valintaan. Seuraavat seikat tulee standardin SFS-EN ISO 14713 /21/ mukaan ottaa huomioon:

- a) etusijalle tulee asettaa kunnossapidon turvallisuus ja helppous,
- b) sellaisten taskujen ja onteloiden välttäminen, joihin lika voi kerääntyä,
- c) pinnat, joihin kokoonpanon jälkeen ei enää päästä käsiksi, vaativat suojapinnoitusjärjestelmän, joka on suunniteltu kestäväksi rakenteen käyttöä,
- d) mikäli korroosioparien muodostuminen on mahdollista kahden eri metallin välillä, saattaa olla tarpeen tehdä lisämittauksia tms.
- e) mikäli pinnoitettu teräs joutuu kosketukseen muiden rakennusmateriaalien kanssa, tulee kiinnityskohtiin kiinnittää erityistä huomiota, ja tulee harkita maalin, teippien tai muovikalvojen käyttöä,
- f) mikäli pinnoitus tehdään muualla kuin asennuspaikalla, työohjeen tulee kattaa kaikki vaiheet pintakäsittelyn teräksen vahingoittumisen välttämiseksi ja antaa ohjeet pinnoitteen korjaustoimenpiteiksi jos teräsrakenne vaurioituu,
- g) kuumasinkittävien terästen taivuttelu ja muut työtöt tulee tehdä ennen kuumasinkitystä,
- h) menetelmät osien merkitsemiseksi tulee valita ennen pinnoittamista.

Ilmastorasituksen vaikuttaessa suojapinnoitusmenetelmän valintaan vaikuttavat standardien mukaan /21/ lähinnä seuraavat tekijät:

- 1) mekaaninen kestävyys, missä vaihtoehtoisina vaatimuksina voivat olla mm. kulutuskestävyys, kovuus, kuormitettavuus, taivutettavuus, iskunkestävyys tai kuljetuskestävyys.
- 2) ulkonäkö, missä vaihtoehtoisina vaatimuksina ovat: kiilto, mattapinta, väri (muu väri).
- 3) lämmönkestävyys joissakin tapauksissa,
- 4) huollettavuusvaatimukset, kuten esimerkiksi korjattavuus tai puhtaana pysyvyys.
- 5) muu ominaisuus, joita voidaan vaatia esimerkiksi jokin seuraavista: hygieenisuus, juotettavuus, johtavuus, eristyskyky tai kitka.

## 2.6.2 Korroosion estäminen

Korroosio edellyttää käytännössä riittävää kosteutta. Kantavien rakenteiden liitoksiin saattavat vaikuttaa ulkoilman lämpötilan vaihtelut (pakkanen), joskus auringon säteily (lämpösäteily ja ultraviolettivalo), tuuli, sade ja mahdollisesti tiivistyvä kosteus /43/. Kosteutta saattaa tiivistyä, jos lämpötila vaihtelee. Myös rakenteisiin kerääntyvän sadeveden jäätyminen saattaa aiheuttaa ehjään rakenteeseen vaurioita, joista korroosio saa alkunsa.

Lämpöeristetyssä seinässä korroosiovaara seuraa sisätilojen ja välitilan lämpötilaerosta ja paine-eroista, jolloin seinän sisään päässyt kosteus saattaa tiivistyä kylmiin metalliosiin. Siksi ulkoseinän läpi lämmöneristeen ulkopuolelle menevien teräsosien on kestettävä korroosiota: esim. anodisoitua alumiinia, ruostumatonta tai haponkestävää terästä tai hiiliterästä, jonka pintakäsittely on ainakin kuumasinkitys.

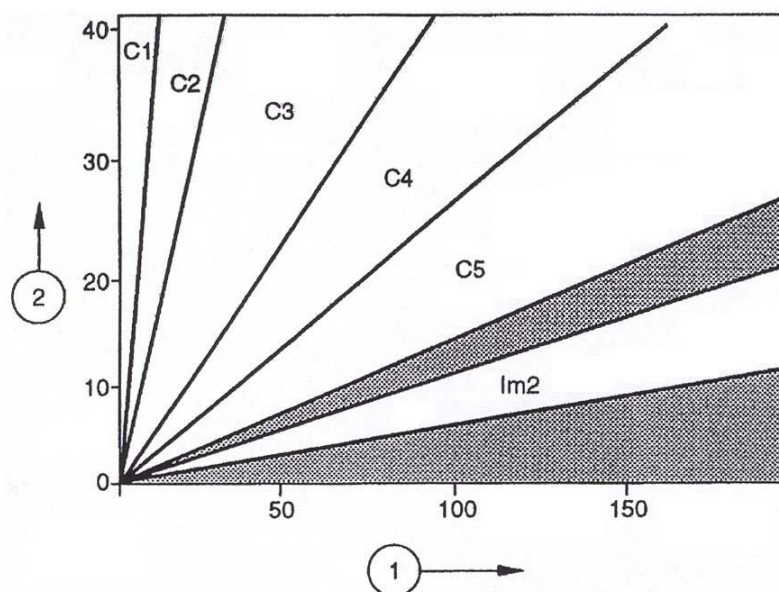
Ulkoseinää kannattavat kiinnikkeet voivat olla rakennuksen rungosta seinän sisään ulottuvia kannakkeita. Niiden kiinnitys rakennuksen runkoon saattaa tapahtua hitsaamalla ne betonirakenteeseen valettuun tartuntalevyyn.

Ruuvikiinnityksissä saattavat olla tarpeen jäykisteet tai päätylevyt. Näissä kiinnikkeissä ruostumattoman teräksen etuja ovat lujuus, sitkeys, hitsattavuus, alkalinkestävyys ja pieni lämmönjohtavuus.

Hiiliteräs voidaan suojata korroosiota vastaan maalaamalla tai metallipinnoitteella standardien SFS-EN ISO 12944-1...8, FS-EN ISO 14713 ja SFS-EN ISO 1461 mukaan. Maalattua terästä voi käyttää rakennuksen vaipparakenteen kastepistekohdan lämpimämmällä puolella. Myös välitilassa sääältä suojassa ja huoltomaalattavissa oleva rakenneteräs voi olla maalattua. Vaihtoehtona on kuumasinkitys, jolla myös saadaan pitempi huoltoväli. Sinkin hyvä korroosionkestävyys perustuu pintaan muodostuvaan suojakalvoon (karbonaattikerros). Kuumasinkityissä teräsrakenteissa sinkkikerroksen paksuus valitaan tavoiteltavan käyttöiän ja ympäristöolosuhteiden perusteella (kuva 9). Tarkempi ympäristöolosuhteiden jako rasiusluokkiin on esitetty standardissa SFS-EN ISO 14713 /21/.

Pitkäaikaisten korroosiokeiden mukaan sinkki syöpyy maaseutuilmastossa noin 0,5 µm/vuosi ja kaupunki-ilmastossa noin 1 µm/vuosi. Standardinmukaisen rakenneosien sinkityksen vähimmäispaksuuden voi olettaa kestävän ulkovaipan suojassa etelärannikon kaupungeissa ainakin kolmekymmentä vuotta ennen rakenteellisista syistä tarvittavaa ensimmäistä kunnostusta. Osiin voi tilata minimivahvuutta suuremmankin sinkkikerrospaksuuden (SFS-EN ISO 1461, liite F). Aina kuivana pysyvässä kohdassa ja sisämaassa yleensäkin kunnostus tulee ajankohtaiseksi olennaisesti myöhemmin.

Kuumasinkityn ja ympäristörasitukseen sopivalla maalausjärjestelmällä maalatun rakennusosan korroosionkestoikä on yleensä suurempi kuin erillisinä käytettyjen kuumasinkityksen ja maalipinnoitteen kestoikien summa. Tämä johtuu siitä, että maalikalvon vioittuessa tai halkeillessa iän myötä maalikalvon alla olevan sinkin korroosiotuotteet täyttävät halkeamat. Sinkin korroosiotuotteet eivät vaadi lisätilaa ruosteen tavoin, eivätkä siten irrota maalia, joten sinkki ja maali tekevät yhteistyötä. Sinkki suojaa maalia alta ja maali sinkkiä ilmastorasitukselta.



**Kuva 9.** Tyypillinen käyttöikä ensimmäiseen huoltoon eri rasitusluokissa perustuen tyypillisiin korroosionopeuksiin /21/. Kuvan vaaka-akselilla on pinnoituskerroksen paksuus mikrometerinä ja pystyakselilla on pinnoituksen kestoikä.

Kuumasinkittyä pinnoitetta hieman kestävämpiä mutta harvoin käytettyjä pinnoitteita /44/ ovat sinkki-alumiinipinnoitus (Zn + 5% Al) ja alumiini-sinkkipinnoitus (55% Al + 1,6% Si, loput Zn).

Ruostumattoman teräksen ja alumiinin korroosionkestävyys perustuu ohueen, korroosiolta suojaavaan oksidikalvoon. Se muodostuu puhtaan metallin pinnalle ajan myötä ilmassakin, mutta useimmiten rakenneosina käytettävä alumiini on käsitelty jo tehtaalla anodisoimalla ja ruostumaton teräs peittaamalla. Sekä ruostumaton teräs että alumiini kestävät siten erinomaisesti tasaista ilmastoon aiheuttamaa korroosiota. Näiden metallien yhteydessä kuitenkin paikalliset korroosionmuodot ovat mahdollisia. Galvaanista korroosiota saattaa esiintyä kahden eri metallin kosketuskohdissa ja samankin metallin liitoksissa, jos ne ovat kosketuksissa toisiinsa niin, että niiden väliin jää ahtaita, hapettomia rakosia, joissa on kosteutta ja ruostumattoman teräksen tai alumiinin suojaavaa oksidikalvoa ei pääse syntymään tai jo muodostunut tai tehty kalvo on tuhottu esim. asennustöiden yhteydessä hitsaamalla tai hiomalla. Hapot, emäkset ja suolat, varsinkin meriveden kloridit (ja uimahalliveden desinfioinnissa käytetty natriumhypokloriitti), voimistavat korroosiota.

Liitosdetaljien suunnittelun ja toteutuksen onnistuminen on keskeinen tekijä korroosionkestävyyden kannalta. Mikäli kahden eri metallia olevan rakenneosan liitos on alttiina korroosioolosuhteille, metallit on eristettävä sähköisesti toisistaan, ellei anodin ja katodin pinta-ala suhde ole kymmenen tai suurempi. Ruuveja, muttereita ja aluslevyjä ei siis tarvitse välttämättä eristää sähköisesti, jos ne ovat jalompaa materiaalia kuin liitettävät rakenneosat.

Suoraan ulkoilman rasituksille alttiiden kiinnikkeiden materiaalina käytetään yleensä kylmämuokkaamalla lujitettua ruostumatonta terästä (luokka A2) liitettävistä materiaaleista riippumatta. Aina on huolehdittava siitä, että kiinnike ei ole korroosion kannalta epäjalompaa kuin mikään kiinnitettävistä metalleista. Lujuusluokkien 70 ja 80 ruuvien ja mutterien korroosion-

kestävyys saattaa olla hieman huonompi kuin tavallisesti rakenteissa käytettyjen krominikkeliterästen 1.4301 (AISI 304) ja 1.4307 (AISI 304L), joten ruostumattomien terästen liitoksiin on hyvä käyttää haponkestävästä teräksestä tehtyjä ruuveja, muttereita ja aluslevyjä (luokka A4).

Ruostumatonta ja maalattua terästä voidaan hitsata työmaalla suoraan rakennuksen teräsrunkoon ja betoniin valettuihin levytartuntoihin, mutta ruostumattoman teräksen hitsien jälkikäsitteily ja hiiliteräksen hitsien kunnollinen paikkamaalaus ovat kuitenkin lisävaiva ja riskitekijä. Täten on suositeltavaa käyttää ruuviliitoksia. Betonin pintaan jäävien ruostumattomien kiinnikelevyjen tavallista hiiliterästä olevat betonin sisään ulottuvat tartuntatapit saattavat syöpyä galvaanisesti betonin kosteuden toimiessa elektrolyytinä, vaikka betoni yleensä terästä suojaakin. Kiinnikkeitten on siksi tarvittaessa oltava kauttaaltaan tartuntoineen samaa materiaalia.

### 2.6.3 Liittimet ja hitsaus pinnoitteiden kannalta

Ruuvien, niittien ja muiden rakenteellisten liittimien suojäkäsittely vaatii erityistä tarkastelua. Olisi hyvä, jos niiden suojäkäsittely vastaisi samaa standardia kuin yleisten pintojen ohjeet. Erityisvaatimuksia annetaan soveltuvissa tuotestandardeissa ja joukossa kiinnittimien pinnoitestandardeja.

Termisen ruiskutuksen ja kuumasinkityksen yhteydessä tulee käyttää kuumasinkittyjä tai muita teräskiinnittimien pinnoitteita. Vaihtoehtoisesti voidaan eräin ehdoin käyttää ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnittimiä.

Hitsaus on pinnoitteiden kannalta ongelmallista. Hitsaustekniikka vaikuttaa lopputulokseen olipa hitsattava alue suojattu tai ei. On suositeltavaa hitsata ennen kuumasinkitystä tai suojausta termisellä ruiskutuksella. Hitsauksen jälkeen tulee pinta esikäsitellä teräsrakenteelle yleisesti vaadittuun asteeseen ennen suojapinnoitusta.

### 2.6.4 Rakennusaineiden vaikutus kuumasinkittyynteräkseen

Laasti, rappaus ja puu

Kostea laasti ja rappaus syövyttävät sinkkiä jonkin verran. Syöpyminen lakkaa, kun materiaali on kuivunut. Kuivaan tai hieman kosteaan puuhun, sekä kyllästettyyn että kyllästämättömään, on voitu käyttää kuumasinkittyjä nauloja. Uudempien kyllästysaineiden osalta kuumasinkittyjen naulojen käytettävyyttä tulee selvittää valmistaja- tai tuotekohtaisesti.

Betoni

Betoniteräs voi joissakin olosuhteissa syöpyä, kun kosteutta tunkeutuu betoniin halkeamien ja huokosten kautta. Koska muodostuneilla korroosiotuotteilla on suurempi tilavuus kuin alkuperäisellä teräksellä, voi terästä peittävä betonikerros murtua. Osittain betoniin valettu teräs, kuten ruuvit ja kulmaraudat ovat usein heikosti ruostesuojattuja. Paitsi halkeamia ja lohkeamista, aiheuttavat ne ruosteen valumia alla oleviin betonipintoihin.

Tämäntyyppiset vahingot voidaan välttää kuumasinkitsemällä teräkset. Tästä on paljon etua, sillä mm. raudoitusta peittävää betonikerrosta voidaan ohentaa. Kuumasinkittyjä betoniteräksisiä tai verkkoja käytettäessä eliminoidaan tehokkaasti julkisivuelementteihin mahdollisesti tulevat rumentavat ruostealumat.

Englantilaisten tutkimusten mukaan ovat sileitten betoniterästen tartunta-arvot keskimäärin:

- kuumasinkitty teräs	3,3 – 3,6 MPa
- musta teräs	1,3 – 4,8 Mpa.

Mustan teräksen suuri hajonta johtuu erilaisista ruostumisasteista, valssihilseen määrästä ja koostumuksesta jne.

Suomalaisten tutkimusten mukaan ovat harjaterästen tartunta-arvot, kun 0,1 mm:n liukuma vetokokeessa on tapahtunut, seuraavat:

- musta teräs	150 Mpa,
- kuumasinkitty teräs	160 Mpa,
- kuumasinkitty ja kromatoitu teräs	190 Mpa.

Betonia valettaessa on sen pH-arvo noin 13. Näin korkeissa pH-arvoissa uusi sinkkipinta reagoi ja syntyy vetykaasua, jonka pinta voisi ajatella johtavan huonoon tartuntaan. Reaktio kuitenkin pysähtyy heti kun betoni on kovettunut. Muodostuneet kaasukuplat häviävät, joten pysyvää huokoisuutta ei synny.

Jotta vältettäisiin tuoreen sinkin ja kostean betonin väliset reaktiot, sinkittyjä teräksiä on varastoitava ilmassa joitakin viikkoja. Syntyvä emäksistä karbonaateista koostuva pinta-kerros vähentää korroosiota ja kaasun muodostusta ja parantaa tartuntaa. Lisäksi on mahdollista lisätä kromaatteja veteen n. 40 ppm sekoituksen painosta betonia sekoitettaessa. Kromatointi parantaa tarttuvuutta.

### 2.6.5 Teräs betonin sisällä tai pinnassa

Hyvälaatuisessa betonissa teräkset säilyvät hyvin. Terästen suojabetoninkerroksen tulee kuitenkin olla riittävä, jotta suojauksen teho säilyy koko rakenteen kestoajan useimmissa tapauksissa. Kloridit voivat kuitenkin muuttaa sähkökemiallista ympäristöä paikallisesti siten, että raudoitus muuttuu passiivisesta aktiiviseksi.

Jos syöpyminen on mahdollista, teräksen suojaamista pintaan sulatettavilla epoksipäällysteillä kannattaa harkita. Nykyisin useimmissa tapauksissa, missä raudoitus tai betonin pintaan kiinnittyvä teräs joutuu kosketuksiin ilman kanssa, käytetään mieluiten ruostumatonta terästä.

TKK:n korroosiotutkimuksen (Julkaisu TKK-TRT-111. Teräsbetonirakenteiden korroosioriskin rajoittaminen ulko-olosuhteissa /27/) tavoitteena oli selvittää, miten erityyppisten terästen käyttö vaikuttaa ulkoteräs-betonirakenteen käyttöikänsä. Eri terästyypit olivat tavallinen, kuumasinkitty, säänkestävä ja ruostumaton betoniteräs. Kokeellinen osuus koostui sekä betonoitujen että paljaiden raudoitteiden säilyvyyskokeista, joiden tarkoituksena oli selvittää erityyppisten raudoitteiden korroosioikäntymistä, kuten korroosionopeutta. Paljaiden raudoitteiden kokeissa selvitettiin erityyppisten raudoitteiden käyttäytymistä makean veden rasituksessa ja kloridirasituksessa. Betonoitujen raudoitteiden kokeissa haluttiin selvittää raudoitteiden käyttäytymistä karbonatisoituneessa betonissa ja kloridirasituksen alaisessa betonissa.

Paljaiden tankojen kokeiden perusteella säänkestävä teräs ruostui aivan yhtä nopeasti kuin tavallinen betoniteräs sekä makeassa että kloridipitoisessa vedessä. Sinkityissä raudoitteissa ei havaittu sinkin liukenemista makeassa vedessä, mutta kloridipitoisessa vedessä liukeneminen oli melko runsasta. Austeniittisessa ruostumattomassa teräksessä ei esiintynyt mitään merkkejä korroosiosta makeassa eikä kloridipitoisessa vedessä.

Halkaistuista koekappaleista havaittiin, että raudoitteet ruostuivat eniten betonin halkeamien välittömässä läheisyydessä. Korroosiotuotteiden kulkeutumista halkeamiin ei havaittu. Suoritetujen käyttökalaskelmien perusteella sinkityn raudoitteen käyttö lisää merkittävästi rakenteen käyttöikää karbonatisoitumisen aiheuttamassa korroosiossa. Kloridien aiheuttamassa korroosiossa käyttöiän lisäys riippuu siitä, ylittyykö sinkityn raudoitteen kestävä kriittinen kloridipitoisuus vai ei. Säänkestävän teräksen syöpymisnopeus verrattuna mustaan teräkseen voi olla hieman alhaisempi. Kloridien aiheuttamassa korroosiossa säänkestävän teräksen käyttöikä vastaa mustaa terästä. Austeniittinen ruostumaton teräs syöpyy erittäin hitaasti karbonatisoituneessa betonissa. Kloridipitoisessa betonissa sen kestävä kriittinen kloridipitoisuus on erittäin korkea. Käyttökalaskelmiin vaikuttaa oleellisesti kriittisen kloridipitoisuuden arvio.

Koetulosten perusteella sinkityt betoniteräkset soveltuvat hyvin rakenteisiin, joiden korroosio käynnistyy betonin karbonatisoitumisen seurauksena. Ne soveltuvat myös kevyehkön kloridirasituksen alaisiin rakenteisiin. Austeniittinen ruostumaton teräs on korroosionkestävyydeltään ylivoimainen muihin raudoitteisiin nähden, mutta ei sovellu käytettäväksi kaikkiin rakenteisiin, koska sen pituuden lämpötilakerroin on noin 1,5-kertainen verrattuna runkoaineesta valmistetun betonin pituuden lämpötilakertoimeen.

## **2.7 Teräsmateriaalin sitkeys ja ominaisuudet paksuuden suunnassa**

Liitosten teräsosien komponenttien materiaaleja valittaessa tulee ottaa huomioon kuorman vaikutussuunta. Tavallisilla levymäisillä hiiliteräksillä on hyvät lujuusominaisuudet levyn pinnan suunnassa, mutta niiden sitkeys pinnan normaalin suuntaisille rasituksille on melko rajallinen, ellei materiaalia tiivistetä lamellirepeilyn varalta. Kyseisiä asioita käsitellään ohjeessa EN 1993-1-10: 2005. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties /17/. Ohjeessa käsitellään ns. yleisten ohjeiden lisäksi materiaalin valintaa sen murtumissitkeyden ja paksuussuuntaisten ominaisuuksien suhteen. Lamellirepeilyriskiä voidaan pienentää muuttamalla muotoilua, hitsaustapaa tai teräslajia. Hitsattaessa suuremmalla energialla repeilyalttius on yleensä hieman pienempi.

Voimakkaasti paksuussuunnassa kuormitettaviin rakenteisiin suositellaan käytettäväksi va-kioteräslajien Z-versioita. Terästen muodonmuutoskykyä mitataan paksuussuuntaisen murto-kurouman eli Z-arvon perusteella (taulukko 10).

**Taulukko 10.** Murtokuroumariskit /17/.

Paksuussuuntainen murtokurouma Z	Lamellirepeilyn riski levyn paksuussuunnassa kuormitetuissa hitsausliitoksissa
< 10 %	Mahdollinen jo lievästi kuormitetuissa hitsausliitoksissa,
< 15 %	Mahdollinen kohtuullisesti kuormitetuissa hitsausliitoksissa,
< 20 %	Mahdollinen voimakkaasti kuormitetuissa hitsausliitoksissa,
> 20 %	Lamellirepeily erittäin harvinainen.

**2.7.1 Materiaalin sitkeys**

Teräsmateriaalin sitkeys tulee Eurocoden mukaan valita seuraavasti:

- (1) Ohjeet EN 1993-1-10 /17/ on tarkoitettu käytettäväksi uuden rakenteen materiaalia valittaessa. Niitä ei ole tarkoitettu vanhojen rakenteiden materiaalien arviointiin. Ohjeilla on tarkoitus valita sopiva teräslaji EU standardien mukaisille terästuotteille, jotka on lueteltu ohjeessa EN 1993-1-1 /16/.
- (2) Ohjeet soveltuvat vedetyille rakenneosille, hitsatuille tai väsytytkuormitetuille osille, joissa kuormitusjakson jokin osa on vetorasitusta.
- (3) Ohjeita tulee soveltaa koskien niitä materiaaliominaisuuksia, jotka on määritelty koskien sitkeyttä kyseisessä terästuotestandardissa. Vaikeasti työstettäviä teräslatuja ei pidä käyttää vaikka ne testitulosten perusteella olisivat kelpollisia määriteltyyn tarpeeseen.

**Sovellettava proseduuri (Eurocode):**

- (1) Teräslaji tulee valita perustuen seuraaviin seikkoihin:
  - a) Teräsmateriaalin perusominaisuudet:
    - myötölujuus riippuen materiaalin paksuudesta  $f_y(t)$ ,
    - sitkeysominaisuus ilmaistuna termillä  $T_{27J}$  tai  $T_{40J}$ ,
  - b) kappaleen ominaisuudet:
    - osan muoto ja detaljit,
    - jännityshuiput ohjeen EN 1993-1-9 määritysten mukaan,
    - osan paksuus (t),
    - asianmukaiset oletukset koskien valmistusvirheitä,
  - c) olennaiset suunnittelutilanteet:
    - suunnitteluarvot koskien osan alimpia käyttölämpötiloja,
    - suurimmat jännitykset pysyvistä ja hyötykuormista johdettuna ohjeen kohdassa (4) määriteltyä suunnittelutilannetta,
    - jäännösjännitykset,
    - oletukset koskien halkeamankasvua väsytytkuormitetussa osassa huoltovälin aikana,
    - venymänopeus & mahdollisessa onnettomuuskuormituksessa,
    - kylmämuovausaste ( $\epsilon_{cf}$ ).



(2) Teräsosien sallittu paksuus murron suhteen pitää valita ohjeen kohdan 2.3 ja taulukon 2.1 mukaisesti (kts. EN 1993-1-10 /17/).

(3) Sitkeysvaatimukset voidaan määrittää vaihtoehtoisilla menetelmillä seuraavasti:

- murtumismekaniikkaan perustuvalla menetelmällä,
- numeerisella arviointimenetelmällä.

Lisäksi valinnassa tulee käyttää soveltuvaa suunnittelutilannetta eli kuormitusyhdistelmää (EN 1993-1-10, kaava 2.1 /17/), johon liittyy mahdollisen murtumiskohdan referenssilämpötila  $T_{Ed}$  ohjeen kaavan 2.2 mukaisesti.

### 2.7.2 Materiaalin ominaisuudet paksuuden suunnassa

Yleisten ohjeiden lisäksi EN 1993-1-10 /17/ määrittelee menettelytavat ja seikat, jotka tulee ottaa huomioon, kun valitaan teräsrakenteen tai liitososan teräslaji siten, että siinä varaudutaan lamellirepeilyvaaran suhteen. Seuraavat asiat tulee selvittää:

- paikan kriittisyys suhteessa vaikuttaviin vetojännityksiin ja ylikuormaan,
- jännitys osan paksuussuunnassa, johon liitoksen kuormat vaikuttavat. Kyseinen venymä aiheutuu hitsausmetallin kutistumisesta, kun se jäähtyy. Sitä kasvattaa oleellisesti jos rakenteen muut osat rajoittavat jossakin vapaata muodonmuutosta,
- liitoksen yksityiskohdan muotoilu, erityisesti ristiin hitsatut osat, T-muotoiset liitokset ja kulmarakenteet,
- poikittaissuunnassa jännitettyjen materiaalien kemialliset ominaisuudet. Erityisesti korkea rikki pitoisuus, vaikka se olisi huomattavasti terässtandardien normaalien raja-arvojen alapuolella, voi lisätä lamellirepeilyvaaraa.

Materiaalin herkkyys määritellään mittaamalla sen paksuussuuntainen sitkeysominaisuus ohjeen EN 10164 mukaisesti, missä se ilmaistaan laatuluokilla, jotka tunnetaan Z-arvojen avulla.

Lamellirepeily on hitsauksen aiheuttama materiaalivirhe, joka tulee yleensä näkyville vain ultraäänitutkimuksessa. Repeytymisriski esiintyy pääasiallisesti ristikkäisissä, T- ja kulmalii-toksissa ja tunkeumahitsien yhteydessä (vähemmän pienahitsauksessa).

Lamellirepeilyvaara voidaan unohtaa, jos seuraava ehto toteutuu:

$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd} ,$$

missä  $Z_{Ed}$  on suunnittelussa vaadittu Z-arvo, joka aiheutuu hitsipalkojen alaisessa metallissa tapahtuvasta venymästä, joka puolestaan aiheutuu siitä, että materiaalin kutistuminen on estetty,

$Z_{Rd}$  on materiaalille käytettävissä oleva Z-arvon mitoitusarvo ohjeen EN 10164 mukaisesti, eli Z14, Z25 tai Z35.

Vaadittu mitoitusarvo  $Z_{Ed}$  voidaan määrittellä kaavalla:

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e$$

Missä  $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_c$ ,  $Z_d$  ja  $Z_e$  on annettu taulukossa 12.

Voimakkaasti paksuussuunnassa kuormitettaviin rakenteisiin suositellaan käytettäväksi va-kioteräslajien Z-versioita. Näiden Z-terästen sitkeys ja muodonmuutoskyky levyn paksuus-eli Z-suunnassa ovat parempia kuin tavanomaisilla teräslajeilla. Laatuluokat on määritelty taulukossa 11.

**Taulukko 11.** Z-terästen laatuluokat / Ruukki - Hitsaajan Opas /23/.

Z-laatuokka				Murtokurouma-arvo	
Standardi				Pienin kolmen kokeen keskiarvo %	Pienin yksittäisen kokeen arvo %
EN 10164	Ruukki	ISO/DIS 7778	SEL 096-88		
Z15	Z15	Z15	Z15	15	10
Z25	Z25	Z25	Z25	25	15
Z35	Z35	Z35	Z35	35	25
Paksuussuuntaista vetokoetta ei tehdä < 15 mm paksuille levyille, mutta ne valmistetaan Z-levyjen valmistustekniikalla. Z-takuu annetaan paksuusalueella 5...80 mm.					

### 2.7.3 Hitsaaminen profiilin kylmämuovattulle alueelle

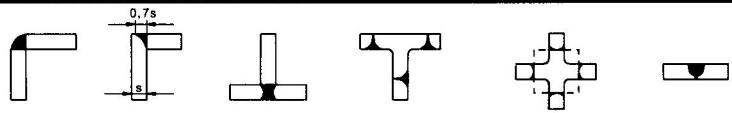

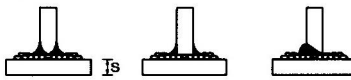

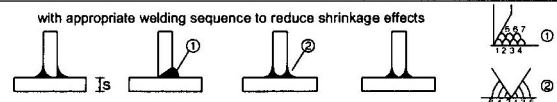
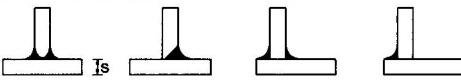

Materiaalin lamellirepeilyvaaran lisäksi suunnittelijan tulee ottaa huomioon kylmämuovattujen rakennustuotteiden osalta kylmämuovauksen vaikutus materiaalin ominaisuuksiin.

Hitsaaminen kylmämuovattujen putkiprofiilien kylmämuovattulle alueille aiheuttaa aina tarpeen tarkastella tilannetta kriittisesti, koska kylmämuovaus heikentää putken materiaalia.

Kylmämuovattulle alueelle tai 5t:n etäisyydellä sen molemmin puolin, ks. taulukko 13, saa hitsata, jos vähintään toinen seuraavista ehdoista on voimassa:

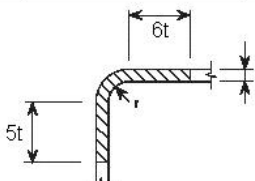
- kylmämuovattut alueet normalisoidaan kylmämuokkauksen jälkeen, mutta ennen hitsausta;
- r/t-arvo täyttää edellä olevassa taulukossa esitetyt kyseeseen tulevat vaatimukset.

Taulukko 12. Kriteerit mitoitusarvon  $Z_{Ed}$  määrittämiseksi /17/.

a)	Weld depth relevant for straining from metal shrinkage	Effective weld depth $a_{eff}$ (see Figure 3.2) = throat thckn. a of fillet welds		$Z_a$
		$a_{eff} \leq 7\text{mm}$	$a = 5\text{ mm}$	$Z_a = 0$
		$7 < a_{eff} \leq 10\text{mm}$	$a = 7\text{ mm}$	$Z_a = 3$
		$10 < a_{eff} \leq 20\text{mm}$	$a = 14\text{ mm}$	$Z_a = 6$
		$20 < a_{eff} \leq 30\text{mm}$	$a = 21\text{ mm}$	$Z_a = 9$
		$30 < a_{eff} \leq 40\text{mm}$	$a = 28\text{ mm}$	$Z_a = 12$
		$40 < a_{eff} \leq 50\text{mm}$	$a = 35\text{ mm}$	$Z_a = 15$
	$50 < a_{eff}$	$a > 35\text{ mm}$	$Z_a = 15$	
b)	Shape and position of welds in T- and cruciform- and corner-connections			$Z_b = -25$
		corner joints 		$Z_b = -10$
		single run fillet welds $Z_a = 0$ or fillet welds with $Z_a > 1$ with buttering with low strength weld material 		$Z_b = -5$
		multi run fillet welds 		$Z_b = 0$
		partial and full penetration welds with appropriate welding sequence to reduce shrinkage effects 		$Z_b = 3$
		partial and full penetration welds 		$Z_b = 5$
		corner joints 		$Z_b = 8$
c)	Effect of material thickness $s$ on restraint to shrinkage	$s \leq 10\text{mm}$		$Z_c = 2^*$
		$10 < s \leq 20\text{mm}$		$Z_c = 4^*$
		$20 < s \leq 30\text{mm}$		$Z_c = 6^*$
		$30 < s \leq 40\text{mm}$		$Z_c = 8^*$
		$40 < s \leq 50\text{mm}$		$Z_c = 10^*$
		$50 < s \leq 60\text{mm}$		$Z_c = 12^*$
		$60 < s \leq 70\text{mm}$		$Z_c = 15^*$
	$70 < s$	$Z_c = 15^*$		
d)	Remote restraint of shrinkage after welding by other portions of the structure	Low restraint: Free shrinkage possible (e.g. T-joints)	$Z_d = 0$	
		Medium restraint: Free shrinkage restricted (e.g. diaphragms in box girders)	$Z_d = 3$	
		High restraint: Free shrinkage not possible (e.g. stringers in orthotropic deck plates)	$Z_d = 5$	
e)	Influence of preheating	Without preheating	$Z_e = 0$	
		Preheating $\geq 100^\circ\text{C}$	$Z_e = -8$	
* May be reduced by 50% for material stressed, in the through-thickness direction, by compression due to predominantly static loads.				

**Taulukko 13.** Ehdot hitsaamiselle putkiprofiilin kylmämuovattulle alueelle.

r/t	Kylmämuokkauksesta aiheutuva venymä (%)	Suurin sallittu paksuus (mm)		
		Yleensä		Täysin tiivistetty teräs Alumiinilla tiivistetty teräs (Al ≥ 0,02 %)
		Pääasiassa staattinen kuormitus	Kun väsyminen on määräävä	
≥ 25	≤ 2	Kaikki	kaikki	Kaikki
≥ 10	≤ 5	kaikki	16	kaikki
≥ 3,0	≤ 14	24	12	24
≥ 2,0	≤ 20	12	10	12
≥ 1,5	≤ 25	8	8	10
≥ 1,0	≤ 33	4	4	6

Hitsausliitosten valmistus pitää standardin SFS 2373 /10/ mukaan tapahtua yhteisymmärryksessä suunnittelijan kanssa. Sitä on tarkennettu Teräsnormikortissa /14/.

Mikäli rakenne, mihin konsoli kiinnitetään, on kovin massiivinen tai ko. levyt ovat paksuja verrattuna konsolin levynpaksuuteen, ne saattavat vaatia runsaasti lämmitysenergiaa. Tällöin on olemassa vaara, ettei hitsiaine tartu lainkaan ko. riittämättömästi lämmenneeseen tai sulamatta jääneeseen pintaan. Massaltaan hyvin erilaisten kappaleiden hitsaaminen kiinni toisiinsa on suunnitteluvirhe, mikäli hitsauksen onnistumista ei varmisteta esimerkiksi työkohtaisella menetelmäkokeella.

Monissa tapauksissa, kun hitsaamisessa on tehty virheitä, on ollut luonteenomaista, että jokin rakenteen yksityiskohta on muotoiltu sellaiseksi, että siihen muodostuu jännityshuippu, eikä rakenne ole voiman edelleen vaikuttaessa tai kasvaessa kyennyt vastaanottamaan plastista muodonmuutosenergiaa. Leikkausrasitetuissa rakenteissa ja liitoksissa on runsaasti mahdollisuuksia tällaisiin virheisiin.

Esimerkiksi vedetyn teräsrakenteosan murtuminen tapahtuu siten, että aluksi kuormaa lisätessä vetosauva venyy koko pituudeltaan L. Saavutettuaan myötörajan poikkileikkaus alkaa plastisoitua (ja myötölujittua) myös sauvan koko pituudelta. Tällöin plastisoituva tilavuus on poikkileikkauksen pinta-ala A kertaa sauvan pituus L. Sauvan venymisnopeus lisääntyy, kunnes sen poikkileikkaus alkaa jostakin kohdasta kuroutua. Tällöin vetovoimaa ei voi enää lisätä. Huonosti muotoilluissa rakenteissa ja niiden yksityiskohdissa plastiset muodonmuutokset ja jännitykset keskittyvät tiettyyn yhteen kohtaan, jolloin rakenteen sitkeys ja plastisoituvuus on pieni.

Suomalaisten kylmämuovattujen putkipalkkien materiaalina käytetään kaikissa tapauksissa hitsattavaa alumiinilla tiivistettyä teräslaatu.

### 3. HITS AUSLIITOKSET

#### 3.1 Hitsausliitosten suunnittelu ja valmistus

Suomen RakMk ohjeessa B7 /1/ (Teräsrakenteet, ohjeet 1996) on käsitelty rakenteiden valmistusta (luku 9) ja rakenteiden vaatimuksenmukaisuutta (luku 11), ja esitetty, että teräsrakenteiden suunnitteluasiakirjojen tulee sisältää toteutusta varten rakenteen koko-, geometria- ja rakenneainetietojen lisäksi laatuvaatimukset valmistukselle ja asennustyön tulokselle siten, että toteuttajalla on tarvittavat perusteet laatusuunnitelman laatimiselle (kohta 1.3.2).

Samana /1/ kohdan 1.3.2 mukaan teräsrakenteiden piirustuksissa tai suunnittelijan hyväksymässä projektieritelmässä esitetään hitsauksesta vähintään:

- hitsiluokka,
- hitsien hyväksikäyttöaste niistä hitseistä, joissa se ylittää arvon 0,5,
- aineiden ja tarvikkeiden laatu,
- rakenteiden mitat, muoto ja sallitut mittapoikkeamat,
- muut tarpeelliset tiedot kuten esimerkiksi:
  - väsytySKUORMITETUN rakenteen valmistusta koskevat erityisvaatimukset,
  - lamellirepeilyvaaralle alttiiksi joutuvien aineiden hankintaa koskevat erityisvaatimukset,
- tarve erillisen laatusuunnitelman laatimisesta toteuttajalta, jonka sisäinen laadunvalvonta ei ole hyväksytyn tarkastuslaitoksen jatkuvassa valvonnassa.

#### **Hitsauksen koordinointi. Tehtävät ja vastuut.**

Standardissa SFS-EN 719 /35/ on esitetty, että hitsaus on erityisprosessi, joka vaatii hitsaus-toimintojen koordinointia, jotta hitsaustuotanto on luotettavaa ja käyttö turvallista. Henkilöille, jotka toimivat hitsaukseen liittyvissä tehtävissä, kuten suunnittelussa, toteutuksessa, valvonnassa ja tarkastuksessa, pitää selkeästi määritellä tehtävät ja vastuut.

Standardissa valmistusorganisaatio tarkoittaa saman teknisen ja laadunvalvonnan alaisia kyseisen valmistajan konepajoja ja valmistuspaikkoja. Hitsauksen koordinoitihenkilöstö koostuu henkilöistä, joilla on vastuu hitsauksesta ja siihen liittyvistä toiminnoista ja joiden pätevyys ja osaaminen on todennettu esimerkiksi harjoituksen, koulutuksen ja/tai asianmukaisen valmistuskokemuksen kautta.

Valmistusorganisaatiossa hitsauksen koordinoinnin voi suorittaa yksi tai useampi henkilö. Hitsauskoordinoinnin vaatimukset voidaan määrittää valmistajan toimesta, sopimuksessa tai sovellusstandardissa.

Annettaessa laatuun liittyviä tehtäviä ja vastuita hitsauksen koordinoitihenkilöstölle, ohjeena käytetään taulukkoa 14. Tehtäviä ja vastuita voidaan täydentää erityistapauksissa. Kaikki taulukon kohdat eivät välttämättä sovellu kaikille valmistusorganisaatioille tai laatujärjestelmään liittyviin vaatimuksiin. Jokaiseen taulukon toimintoon voi kuulua lukuisia tehtäviä ja vastuita, kuten:

- tehtävien määrittäminen tai esivalmistelu,
- koordinointi,
- valvonta,
- tarkastus, tarkistukset tai tapahtumapaikalla tehtävä valvonta.

Kun hitsauskoordinointi suoritetaan useamman henkilön toimesta, määritetään kunkin henkilön tehtävät ja vastuut. Valmistajan on nimettävä ainakin yksi valtuutettu hitsauskoordinoija, ja hitsauksen koordinointi on valmistusorganisaation vastuulla. Koordinoititehtäviä ja vastuita voidaan antaa alihankkijalle. Alihankintatoimintojen katsotaan edelleen kuuluvan tämän standardin mukaiseen hitsauskoordinointiin.

**Taulukko 14.** Hitsaukseen liittyviä toimia ja tehtäviä, joita tulee tarvittaessa harkita /35/.

Numero	Toiminnot
1.1	Sopimusnäkökohdat - valmistusorganisaation valmiudet hitsaukseen ja siihen liittyviin toimintoihin
1.2	Suunnitteluun liittyvät näkökohdat - asiaan kuuluvat hitsausstandardit, - hitsausliitosten sijainti suunnittelun vaatimukset huomioon ottaen, - luokse päästävyys hitsauksen, tarkastuksen ja testauksen kannalta, - hitsausliitosten yksityiskohdat, - hitsin laatu ja hyväksymisvaatimukset.
1.3	Materiaalit
1.3.1	Perusaine - perusaineen hitsattavuus, - materiaalin hankintaspesifikaatioissa olevat lisävaatimukset, aineodistus mukaan lukien, - perusaineen tunnistus, varastointi ja käsittely - jäljitettävyys.
1.3.2	Hitsausaineet - soveltuvuus, - toimitustila, - mahdolliset hankintaspesifikaatioissa esiintyvät lisävaatimukset, lisäainetodistus mukaan lukien, - hitsausaineiden tunnistus, käsittely ja varastointi.
1.4	Alihankinta - alihankkijan kelpoisuus.
1.5	Tuotannosuunnittelu - hitsausohjeiden (WPS) soveltuvuus ja hyväksymispöytäkirjat (WPAR), - työohjeet, - hitsauskiinnittimet ja -ohjaimet, - hitsaajien pätevyyksien soveltuvuus ja voimassaolo, - rakenteen eri osien kokoonpanojärjestys sekä hitsausjärjestys,

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- työkoevaatimukset,</li> <li>- hitsauksen tarkastusvaatimukset,</li> <li>- ympäristöolosuhteet,</li> <li>- työturvallisuus.</li> </ul>
1.6	<p>Laitteet</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hitsauslaitteiden ja niihin liittyvien varusteiden soveltuvuus,</li> <li>- lisävarusteiden toimitus, tunnistus ja käsittely,</li> <li>- työturvallisuus.</li> </ul>
1.7	Hitsaukseen liittyvä toiminta
1.7.1	<p>Alkutoiminnot</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- työohjeiden antaminen,</li> <li>- railonvalmistus, sovitus ja puhdistus,</li> <li>- työkoejärjestelyt,</li> <li>- hitsauspaikan soveltuvuus, ympäristöolosuhteet huomioon ottaen.</li> </ul>
1.7.2	<p>Hitsaus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hitsaajien nimeäminen ja opastaminen,</li> <li>- laitteiden ja varusteiden käyttö tai toiminta,</li> <li>- lisäaineet tai apuaineet,</li> <li>- silloituksen käyttö,</li> <li>- hitsausparametrien soveltaminen,</li> <li>- välitarkastusten käyttö,</li> <li>- esikuumennus- ja jälkilämpökäsittelymenetelmien valinta ja käyttö,</li> <li>- hitsausjärjestys,</li> <li>- hitsien jälkikäsittelyt.</li> </ul>
1.8	Tarkastus
1.8.1	<p>Silmämääräinen tarkastus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hitsauksen lopputarkastus,</li> <li>- hitsien mitat,</li> <li>- hitsattujen rakenneosien mitat, muodot ja toleranssit,</li> <li>- hitsausliitosten ulkonäkö.</li> </ul>
1.8.2	<p>Rikkova ja rikkomaton aineenkoetus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rikkomattoman ja rikkovan aineenkoetuksen soveltaminen,</li> <li>- erityistestaukset.</li> </ul>
1.9	<p>Hitsien hyväksyntä</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tarkastus- ja testaustulosten arviointi,</li> <li>- hitsien korjaus,</li> <li>- korjattujen hitsien uudelleenarviointi,</li> <li>- korvaavat toimenpiteet.</li> </ul>
1.10	<p>Dokumentointi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tarvittavien asiakirjojen laadinta ja ylläpito (alihankintatoiminnot mukaan lukien).</li> </ul>

Annettujen vastuiden määrittäminen:

- asema valmistusorganisaatiossa ja vastuut,
- valtuudet hyväksyä ja allekirjoittaa valmistusorganisaation puolesta esimerkiksi menettämöohjeita, valvontaraportteja, jotta annetut tehtävät voidaan toteuttaa,

- valtuudet suorittaa annettuja tehtäviä.

Kaikille määritetyille tehtäville hitsauksen koordinoitihenkilöstön on kyettävä esittämään riittävä tekninen tietämys pystyäkseen luotettavasti suoriutumaan tehtävistä. Seuraavat seikat tulee ottaa huomioon:

- yleinen tekninen osaaminen,
- erityinen tekninen osaaminen, joka koskee annettuja tehtäviä. Tämä voi koostua teoreettisesta tiedosta, koulutuksesta ja/tai kokemuksesta.

Vaaditusta valmistuskokemuksen, koulutuksen ja teknisen tietämyksen laajuudesta tulee valmistusorganisaation päättää, ja se riippuu annetuista tehtävistä ja vastuista.

Standardin liitteessä A (opastava liite) on annettu suositukset koskien koordinoitihenkilöstön teknistä osaamista. Sen mukaan eurooppalainen hitsausjärjestö EWF (European Welding Federation) on vapaaehtoiselta pohjalta laatinut suosituksia hitsauksen koordinoitihenkilöstön koulutusta, tutkintoa ja sertifiointia koskevista vähimmäisvaatimuksista. Suositukset on annettu asiakirjoissa:

- eurooppalainen hitsausinsinööri, asiakirja EWF 02-409-93;
- eurooppalainen hitsausteknikko, asiakirja EWF 02-410-93; ja
- eurooppalainen hitsausneuvoja, asiakirja EWF 02-411-93.

Hitsauksen koordinoitihenkilöstö, joka täyttää näiden asiakirjojen mukaiset vaatimukset tai jolla on hyväksyttävä kansallinen pätevyys, voidaan katsoa täyttävän standardissa esitetyt asianomaiset vaatimukset.

### 3.2 Hitsausliitosten toimivuusehdot

Pienahitsit ovat enemmistönä rakentamisessa käytetystä hitsausliitoksista. Mahdollisesti sen käyttökelpoisuudesta johtuu, että ne harvat tapaukset, milloin pienahitsausta ei voi käyttää, jäävät suunnittelijalta helposti huomiotta, eikä konepaja voi ilman työselitystä tehdä suunnitelmien vastaista päätöstä hitsata rakenteet muulla tavalla. Kohdassa 3.1 on käsitelty ehtoja pienahitsauksen käytölle ja toimivuudelle, ja kohdissa 3.2 - 3.5 on käsitelty erilaisia vaurio- ja testitapauksia, sekä sitä mikä niissä ehkä meni vikaan.

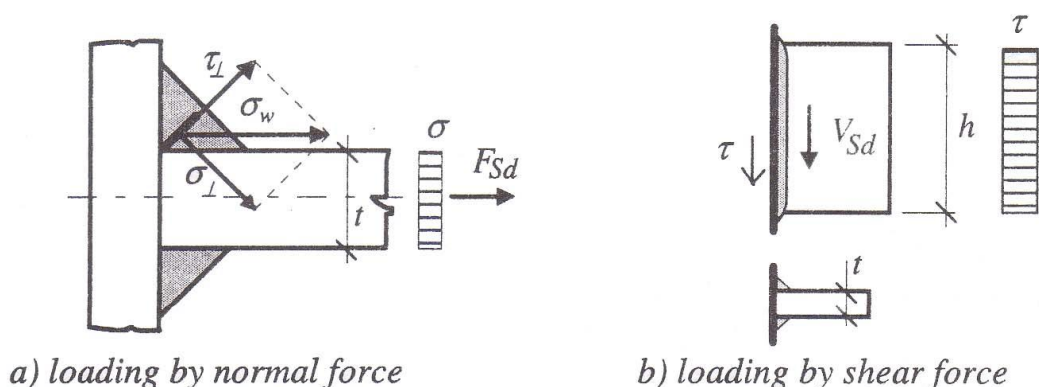
Teräsrakenneyhdistyksen (TRY) kotisivulla Internetissä ylläpidetyssä, ja kaikkien suunnittelijoiden käytettävissä ESDEP-koulutusaineistossa (on ECSC:n rahoituksella laadittu Eurocode 3:n koulutusmateriaali) on kohdassa 11.2.2, Hitsausliitosten mitoittaminen, annettu pienahitsaamiselle eräitä perusedellytyksiä (samat ehdot koskevat myös muita railomuotoja), joiden voimassa ollen pienahitsausta voi suositella käytettäväksi.

Hitsien mitoittamista varten tehdään kolme perusoletusta:



- Hitsit ovat homogeenisia ja isotrooppisia.
- Hitseillä liitettävät osat ovat jäykkiä ja niiden muodonmuutoksia ei oteta mitoituslaskelmissa huomioon.
- Vain ulkoisista kuormista aiheutuvia nimellisjännityksiä tarkastellaan. Jännösjännityksien, jännityskeskittymien ja hitsien muototekijöiden vaikutusta ei oteta huomioon staattisessa mitoituksessa.

Edellä olevan mukaisesti hitsausliitoksessa vaikuttava voima jaetaan tarkasteluja varten komponentteihinsa /1, 10, 16 ja 18/ hitsin pituusakselin suuntaan ( $\parallel$ ) ja sitä vastaan kohtisuoraan ( $\perp$ ) suuntaan, sekä hitsin määräävän tason suuntaan ja sitä vastaan kohtisuoraan suuntaan (kuva 10). Jännityskomponentteja, jotka periaatteessa otetaan mitoituksessa huomioon, on siis yhteensä neljä kappaletta. Kuvan 10 mukaisesti ne on määritelty siten, että ne ovat vakioita hitsin pituudella. Jos voidaan todistaa, että liitoksessa on lineaarinen jännitystila, samoja laskentakaavoja voi soveltaa myös yksittäisille hitsin poikkileikkauksille, esimerkiksi hitsin päät tai sen keskikohta.



**Kuva 10.** Hitsausliitoksessa vaikuttavat (vakiot) voimasuureet suunnitteluohjeissa, a) normaalivoima, b) leikkausvoima.

Hitseissä oletetaan vaikuttavan tasainen jännitys ja muodonmuutostila koko hitsin pituudella. Todellisuudessa jännityskeskittymät ja jäännösjännitykset voivat paikallisesti saavuttaa myötörajan. Materiaalin sitkeydestä johtuen hitsissä tapahtuu kuitenkin jännityksien uudelleenjakautumista materiaalin plastisoitumisen myötä. Uudelleenjakautumista voi tapahtua myös hitsin ulkoisen kuorman vuoksi. Plastisuusteorian mukaan lopullinen jännitysjakautuma on edullisin, kun myötöraja saavutetaan koko hitsin pituudella /10/.

Hitsivirheiden määrää ja laatua on rajoitettu standardissa SFS 2373 /10/ siten, että hitsien virheiden ollessa standardin **SFS-EN 25817: Terästen kaarihitsaus. Hitsiluokat.** /12/ rajoissa, hitsi pystyy toimimaan (plastisoitumaan) koko pituudeltaan.

### 3.3 Hitsausliitosten mitoittaminen osavarmuuslukuihin perustuen

#### 3.3.1 Perusoletukset

Pienahitsien mitoitusta varten tehdään joukko oletuksia, jotka ovat Eurocode 3:n mukaisia ja koskevat hitsien mekaanisia ja geometrisia ominaisuuksia. Ne mainittiin aikaisemmin kohdassa 3.1. Lisäksi hitsiaineen tulee olla yhtä hyvää kuin perusmetalli. Hitsin tehollinen pinta-ala on a-mitan ja hitsin mitoituspituuden tulo. Yleensä mitoituspituus on sama kuin täysikokoisen hitsin pituus, johon kuuluvat hitsin käännteet nurkissa, jos hitsi on jatkuva. Pitkissä hitseissä ja katkositseissä tehollista pituutta pitää pienentää.

Rakenteellisten pienahitsien a-mitan tulee yleensä olla vähintään 4 mm /10/. Jos hitsin tehollinen pituus l on pienempi kuin 40 mm tai 6 kertaa a-mitta (suurempi valitaan), hitsin ei katsota siirtävän voimia. Tämä tulee usein esille erityisesti arvioitaessa työmaalla tehtyjä hitsejä.

#### 3.3.2 Perusmitoitusmenetelmä - komponenttimenetelmä

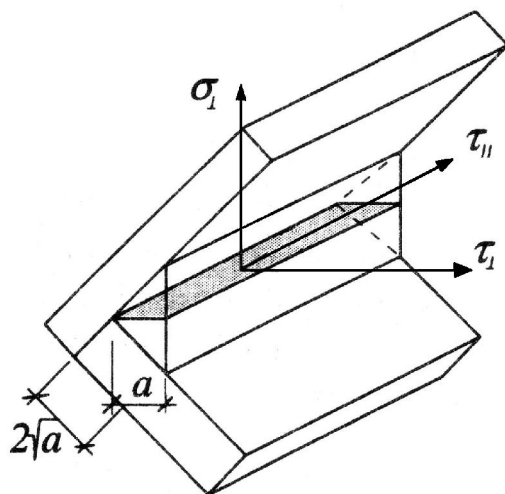
Hitsien perusmitoitusmenetelmänä on ns. komponenttimenetelmä, joka on esitetty ohjeessa EN 1993-1-8:2005 Design of joints /18/, päävaihtoehtona. Pienahitsiin vaikuttava ulkoinen kuormitus jaetaan siinä komponenteiksi hitsin pituusakselin suuntaan ( $\parallel$ ) ja sitä vastaan kohtisuoraan suuntaan ( $\perp$ ), sekä hitsin laskentapoikkipinnan suuntaan ja sitä vastaan kohtisuoraan suuntaan. Näitä vastaavat jännityskomponentit (kuva 11) ovat:

$\sigma_{\perp} = F_{\sigma_{\perp}} / (al)$  on normaali-jännitys hitsin laskentapoikkipinnassa.

$\tau_{\perp} = F_{\tau_{\perp}} / (al)$  on leikkausjännitys hitsin laskentapoikkipinnassa kohtisuoraan hitsin pituussuuntaa vastaan.

$\tau_{\parallel} = F_{\tau_{\parallel}} / (al)$  on leikkausjännitys hitsin laskentapoikkipinnassa hitsin pituus suuntaan.

$\sigma_{\parallel}$  on hitsin suuntainen normaali-jännitys hitsin poikkileikkauksessa (laskentapoikkipinta).



**Kuva 11.** Pienahitsin jännitykset ja niiden suunnat.

Normaalijännitystä  $\sigma_{\parallel}$  ei oteta huomioon, koska sillä on häviävän pieni vaikutus muihin komponentteihin verrattuna.

Hitsin jännitys ja sen raja-arvo lasketaan von Misesin myötöehdon mukaisesti:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{ja} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

missä

$f_u$  on liitettävistä osista heikomman materiaalin vetomurtolujuuden nimellisarvo.

$\gamma_{M2}$  on hitsiliitoksien osavarmuusluku (= 1,25).

Jälkimmäisessä kaavassa kerroin 0,9 on Suomen soveltamisohjeen mukainen arvo.

Korrelaatiokerroin  $\beta_w$  otetaan seuraavasta taulukosta 15. Vetomurtolujuuden  $f_u$  arvo valitaan standardeista SFS-EN 10025-1...4 riippuen ainepaksuudesta ja teräslajista.

**Taulukko 15.** Korrelaatiokerroin  $\beta_w$  teräslaaduittain.

SFS-EN10025-1...4 Teräslaatu	S235	S275	S355	S420	S460
Vetomurtolujuuden nimellisarvo $f_u$ 1)	360	430	510	500(-660)	530(-720)
Korrelaatio- kerroin $\beta_w$ 2)	0,8	0,85	0,9	1,0	1,0

1) taulukossa mainitut vetomurtolujuuden nimellisarvot on esitetty suunnitteluohjeissa. Ne soveltuvat normaaleille teräksille ja rakennepaksuuksille noin 40 mm asti. Lujempien terästen arvot eri ainepaksuuksille löytyvät sovellettavista standardeista.

2) korrelaatiokerroimen  $\beta$  väliarvot voi tarvittaessa laskea suoraviivaisesti interpoloimalla.

### 3.3.3 Yksinkertaistettu menetelmä

Eurocode 3:ssa esitetään myös yksinkertaistettu kaava, joka ei vaadi jännityskomponenttien tuntemista itse hitsissä, eli käytännössä voiman suuntaa ei ole rajoitettu. Kaava perustuu keskiarvojännitysmenetelmään, jossa oletetaan hitsin kestävyuden olevan yhtä suuri kuin leikkauslujuus riippumatta siitä, missä suunnassa voima vaikuttaa. Koska hitsi on heikoin puhtaasti leikattuna, keskiarvojännitysmenetelmä antaa varmalla puolella olevan tuloksen.

Pienahitsin tulee täyttää mitoitusehto:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

missä  $F_{w,Ed}$  on hitsiin vaikuttava ulkoinen rasitus =  $F / l$ , eli pituusyksikköä kohti ja  $F_{w,Rd}$  on hitsin vastaava kestävyuden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti.  $F_{w,Rd}$  lasketaan kaavasta:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad \text{ja} \quad f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

missä

$a$  on hitsin  $a$ -mitta ja  $l$  on hitsin pituus,  
 $F$  on hitsiin vaikuttavien ulkoisten voimien, ja  
 $f_{vw,d}$  on hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo.

### 3.3.4 Pitkät liitokset

Pitkän hitsin jännitysjakautuma limiliitoksessa on periaatteeltaan samanmuotoinen kuin pitkässä ruuvi- tai niittiliitoksessa. Liitoksen päissä esiintyy suurimmat jännitykset. Murto-rajatilassa juuri ennen murtumista plastinen deformaatio päiden lähellä tasaa leikkausjännityksiä. Jos liitos on tarpeeksi pitkä, jännitysjakautuma ei kuitenkaan muutu täysin tasaiseksi.

Ohjeen Eurocode 3 ENV 1993-1-1 /16/ mukaan pitkän hitsin mitoituskestävyys limiliitoksessa tulee kertoa pienennyskertoimella  $\beta_{Lw,1}$ , jotta todellinen jännitysjakautuma tulee huomioon otetuksi. Jos pituus on suurempi kuin 150a, kerroin on

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - \frac{0,2 \cdot L_j}{150 \cdot a} \leq 1,0$$

missä

$L_j$  on limityksen kokonaispituus voiman suunnassa.

Kerroin  $\beta_{Lw} = \beta_{Lw,2}$  on 1,7 metriä pitemmissä pienahitseissa, jotka ovat levyrakenteiden poikkittaisissa jäykisteissä :

$$\beta_{Lw,2} = 1,1 - \frac{L_w}{17}$$

mutta kuitenkin  $0,6 \leq \beta_{Lw,2} \leq 1,0$

missä

$L_w$  on hitsin pituus metreissä.

### 3.4 Rakennuspaikalla hitsaaminen

#### 3.4.1 Yleistä

Työmaalla tapahtuvaa hitsaamista koskevat samat vaatimukset kuin tehtaassa tapahtuvaa hitsaamista. Työmaalla hitsattaessa voidaan tarvita hitsaustyön suojaksi sääsuojia kelvollisten olosuhteiden varmistamiseksi. Hitsauksen lisäaineiden säilytyksestä ja kuivana pysymisestä on huolehdittava ohjeiden mukaisella tavalla. Hitsattava kohta on aina kuivattava esim. lämmittämällä. Alhaisissa lämpötiloissa hitsattaessa esilämmitys on aina suositeltavaa hitsin suojelemiseksi kosteudelta. Pakkasen rajalämpötilana pidetään lämpötilaa  $-5\text{ °C}$ . Työkappaleen tai ilman lämpötilan ollessa tämän alle, on hitsaamistavasta neuvoteltava tilaajan ja teräksen valmistajan kanssa. Hitsausolosuhteet on lisäksi järjestettävä niin, että mahdollisimman suuri osuus voidaan hitsata jalkoasennossa. Hitsattavilla pinnoilla oleva kosteus lisää sekä kylmähalkeilualttiutta että huokosmuodostusta. Liitosten tarkastuksia suunniteltaessa pitää ottaa huomioon, että vedyn aiheuttama viivästynyt murtuma saattaa käytännössä tulla esiin (ydintyä) vasta useita päiviä hitsauksen jälkeen.

Hitsausliitosten laatu voidaan parhaiten varmistaa kohdistamalla valvontatoimenpiteet työvaiheiden ja käytettyjen työmenetelmien oikeellisuuteen, koska jälkikäteen tehtävällä rikkomattomalla aineenkoetuksella ei enää saada täysin luotettavaa kuvaa hitsauksen onnistumisesta. Hitsaustyön toteutukselle on siten välttämätöntä asettaa vaatimuksia. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden B7 /1/ vaatimukset koskevat samanlaisina sekä teräsrakennetehtaassa että työmaalla tapahtuvaa hitsaustyötä /4, 32-35, 42/.

#### 3.4.2 Rakennesuunnitelmat ja rakenteiden vaatimuksenmukaisuus

Hitsaus suunnitellaan ja toteutetaan päteväksi todetun vastaavan teräsrakennesuunnittelijan hyväksymien rakennesuunnitelmien ja piirustusten pohjalta. Suunnitelmien riittävyys hitsaustyön suorittamiseksi varmistetaan sopimus- ja suunnittelukatselmuksessa. Ohjeiden B7 (kohta 1.3.2) mukaan hitsien hyväksikäyttöaste tulee esittää teräsrakennesuunnittelijan hyväksymissä piirustuksissa tai projektieritelmässä niistä hitseistä, joissa se ylittää arvon 0,5 /1/.

Työmaahitsaukseen ei voida soveltaa hyväksytyyn tarkastuslaitoksen suorittamaa valvontaa. Ohjeiden B7 rakenteiden vaatimustenmukaisuutta koskevassa kohdassa 11 esitetään projekti-kohtaisesta valvonnasta:

Mikäli teräsrakenteiden valmistaja ja/tai asentaja ei ole hyväksytyyn tarkastuslaitoksen valvonnassa, rakenteiden vaatimustenmukaisuus todetaan ohjeiden B7 kohdan 11.3 mukaan ja vaadittujen laadunvarmistustoimenpiteiden dokumenteista kootaan laatupassi, joka toimitetaan rakennustyömaalle.

### 3.4.3 Toteutus ja valvonta

Teräsrakenteiden valmistuksen ja asennuksen tulee tapahtua vastaavan teräsrakennetyönjohtajan valvonnassa. Vastaavan teräsrakennetyönjohtajan pätevyysvaatimukset on esitetty ohjeiden B7 kohdassa 1.2.3.

Kun teräsrakenteiden suunnittelun vaativuusluokka on AA, tulee valmistuksessa ja asennuksessa noudattaa rakenneluokkaa 1 koskevia vaatimuksia. Vastaavasti vaativuusluokassa A ovat voimassa rakenneluokkaa 2 ja vaativuusluokassa B rakenneluokkaa 3 koskevat vaatimukset (B7) /1/.

Teräsrakenteiden piirustuksessa tai suunnittelijan hyväksymässä projektieritelmässä tulee esittää hitsaustyöltä vaadittava hitsiluokka (merkitään yleensä piirustuksiin!). Kantavissa teräsrakenteissa hitsiluokan on oltava vähintään C, koska staattisesti kuormitettujen hitsiliitosten lujuslaskentaan ja mitoitukseen tarkoitettu standardi SFS 2373 /10/ pätee vain hitseille, joiden luokka on vähintään C.

Hitsaajilta edellytetään voimassa oleva standardin SFS-EN 287-1 /33/ mukainen pätevyys (RakMk B7/11.3.2.3). Voimassaolon säilyminen edellyttää hitsaajan työn puolivuositista seuranta, joka vahvistetaan pätevyystodistukseen valmistajan vastuullisen henkilön tai hitsauskoordinoijan toimesta pätevyystodistukseen tehdyllä merkinnällä.

Käsite ”luokkahitsari” on vanhentunut. Pätevyyskokeella on tietyt erikseen määritellyt hyväksymisvaatimukset. Rakennustieto-säätiön RATU-kortti 08-3035 käsittelee hitsaajan pätevyyden toteamista ja rakennustyömaan hitsauksia.

### 3.4.4 Suunnitelmat ja hitsaustyön ohjeistus

Hitsausta varten laaditaan suunnitelma (B7 /1/ kohta 9.4). Betonielementtien suunnitteluohjeissa B4 /2/ vastaavan suunnitelman ohjeistus löytyy kohdasta 4.2.5.2. Suunnitelman tulee sisältää ainakin seuraavat asiat:

- Hitsiluokka
- Lisäaineiden valinta ja käsittely (lisäaineiden tulee olla ohjeiden B7 sovellettavien standardien mukaisia). Erityisesti työmaalla hitsattaessa on ensiarvoisen tärkeää, että lisäaineiden käsittely, säilytys ja varastointi on ohjeistettu lisäaineen valmistajan esittämien vaatimusten mukaisesti. Irralliset puikot tulee säilyttää lämpimässä säiliössä
- Käytettävät railomuodot (esitetään piirustuksissa, valmistajan yleisohjeistus voi kattaa tois-tuvat tapaukset)
- Hitsaustyön ohjeistus (esim. WPS)
- Hitsausohjeiden hyväksymistapa (SFS-EN ISO 15610...15614)

Rakenneluokkaan 1 ja 2 kuuluvien rakenteiden valmistajalla tulee olla valmistuksessa ja asennuksessa käytettävistä hitsausmenetelmistä hitsausohjeet (WPS) (B7/9.4). Hitsausohjeella osoitetaan, kuinka hitsaus on ajateltu tehtäväksi. Hitsauksen jälkeen hitsausohje toimii dokumenttina hitsauksen toteutuksesta. Hitsausohjeen tulee olla kyseiseen työhön ja olosuhteisiin soveltuva ja asianmukaisesti hyväksytty. Standardit SFS-EN ISO 15610...15614 esittävät vaihtoehtoisia hyväksymistapoja hitsausohjeelle. Hyväksyminen voi tapahtua:

- Menetelmäkokeen perusteella
- Testattuja hitsausaineita käyttäen
- Aikaisemman hitsauskokemuksen perusteella
- Standardihitsausohjeen perusteella
- Esituotannollisella kokeella.

Menetelmäkokeella tarkoitetaan hitsausmenetelmän toimivuuden varmistamista valmistamalla ja tarkastamalla tuotantoa vastaava hitsausliitos standardikoekappaleella. Tarkastamisessa edellytetään yleensä myös ainetta rikkovaa testaamista (esim. vetokokeita, juuri- ja pinta-taivutuskokeita, iskukokeita, kovuuskokeita).

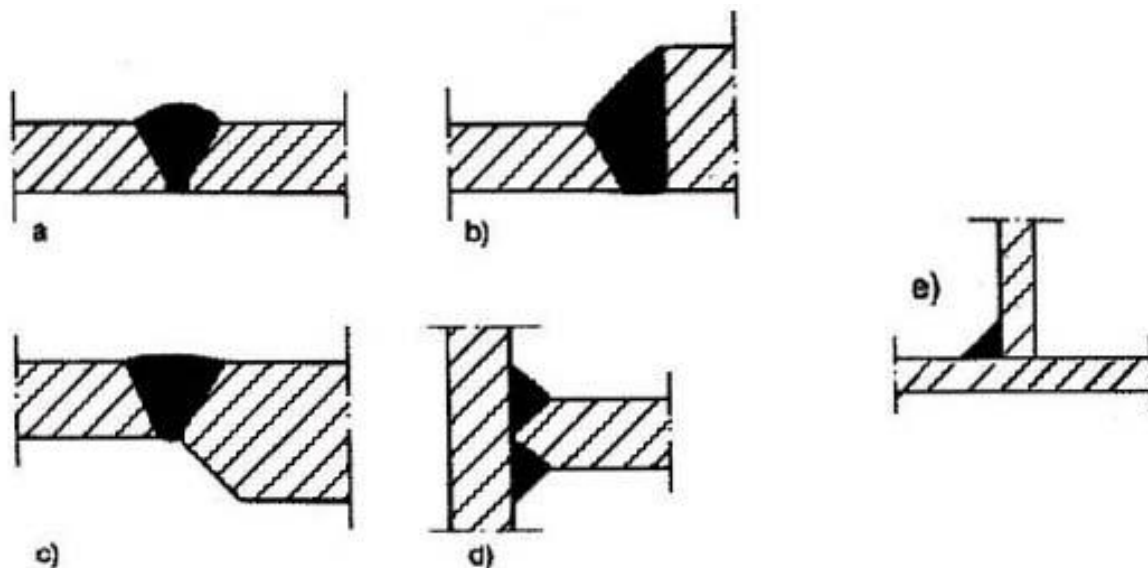
Ohjeissa B7 ei esitetä yksityiskohtaisia vaatimuksia sen suhteen mitä edellä esitetyistä vaihtoehdoista hitsausohjeen hyväksynnässä on käytettävä.

### 3.4.5 Hitsien tarkastus (B7/11.3.2)

Kaikki hitsit tulee tarkastaa silmämääräisesti.

Päittäis- ja läpihitsattujen T-liitosten rikkomattoman aineenkoetuksen (ultraääni- tai röntgen-tarkastus) vähimmäislaajuus silmämääräisen tarkastuksen lisäksi esitetään ohjeessa B7 taulukossa 11.7. Yleisimmät asennustyömaan hitsausprosessit ovat:

- Puikkohitsaus (111)
- MAG-täytelankahitsaus (136).



**Kuva 12.** a), b), c) Läpihitsattuja päittäisliitoksia, d) Läpihitsattu T-liitos, e) Pienahitsi /14/.

Pienahitseille (kuva 12) ja läpihitsaamattomille päittäis- ja T-liitoksille hyväksytään yleensä silmämääräinen tarkastus. Jos liitosvirhe tai halkeamisvaara käytetystä aineesta, aineenpaksuudesta ja hitsausprosessista johtuen on ilmeinen, edellytetään 10 %:n magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastus.

Pistokoetarkastuksessa (tarkastuslaajuus alle 100%) tarkastetaan kestävyyskannalta tärkeät hitsit siten, että vähintään vaadittu määrä hitseistä tulee tarkastetuiksi. Tarkastettavat hitsit valitaan siten, että jokaisen hitsaajan työ tulee tarkastettua. Vaatimukset täyttämättömän liitoksen pistokoetarkastus laajennetaan kaksinkertaiseksi. Jos tällöinkin löytyy vaatimukset täyttämättömiä hitsejä, suoritetaan 100% tarkastus.

### 3.4.6 Tarkastajien pätevyys (B7 11.3.2)

Ainetta rikkomattomia tarkastuksia suorittavalta henkilöstöltä edellytetään standardin SFS EN 473 /36/ mukainen tason 2 pätevyys kaikissa rakenneluokissa.

Ohjeissa B7 ei esitetä yksityiskohtaisia vaatimuksia silmämääräistä tarkastusta suorittavan henkilöstön pätevyydelle. Oleellista on, että silmämääräisen tarkastuksen suoritus on yrityksessä ohjeistettu. Silmämääräisen tarkastuksen voivat suorittaa esim. hitsaajat tai tehtävään erikseen koulutetut henkilöt.

## 3.5 Hitsien tarkastusmenetelmät

Hitsausliitosten yleisimmät ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät /22, 32, 34, 36 ja 37/ ovat radiografinen kuvaus, ultraäänitarkastus, magneettijauh tarkastus, tunkeumanestetarkastus ja silmämääräinen tarkastus. Ne soveltuvat eri tarkoituksiin, ja siksi käytännössä tulee usein käyttää useampia tarkastusmenetelmiä, joista toisilla löydetään vain hitsausliitosten pinnassa olevia vikoja ja toisilla syvemmillä olevia näkymättömiä vikoja.

Ainetta rikkovia menetelmiä käytetään lähinnä hitsaus- ja menetelmäkokeissa, eivätkä ne kuulu varsinaisesti jokapäiväiseen tarkastustoimintaan konepajassa.

Teräsrakenteiden suunnittelussa lähes 80% kaikista hitseistä on pienahitsejä, joiden erityisesti syvemmillä olevien vikojen tarkastaminen ainetta rikkomattomilla menetelmillä on vaikeaa tai mahdotonta. Siksi erityisesti kuormaa siirtävien primäärirakenteen välisissä kokoonpanoliitoksissa esiintyvien pienahitsien valmistuksen laadunvarmistus (WPS ja menetelmäkoe) tulee suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Tarkastamiseen liittyvien puuttuvien mahdollisuuksien takia on sanottu, että pienahitsi on kaikkein vaikein hitsi.

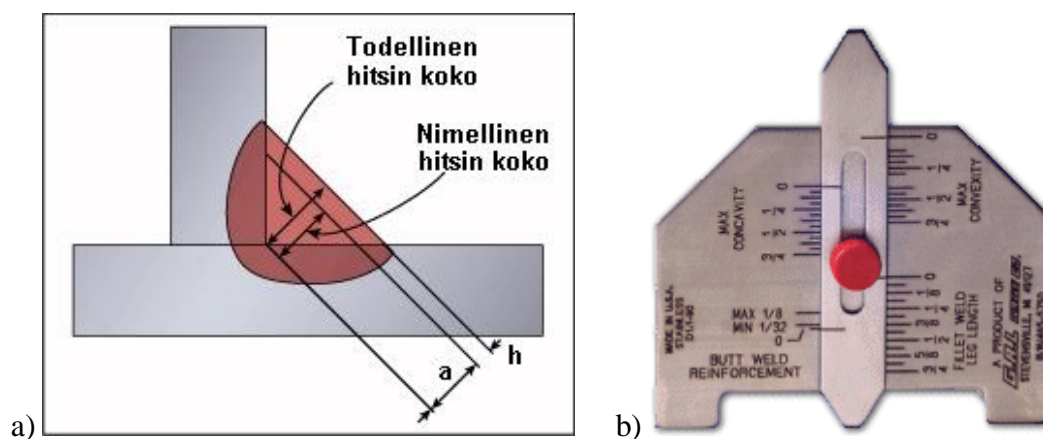
### 3.5.1 Silmämääräinen tarkastus

Hitsaamalla valmistettujen rakenteiden valmistuksessa on periaatteena, että hitsin laadusta pitää aina varmistua tavalla tai toisella.

Kaikki hitsit tarkastetaan heti hitsauksen jälkeen koko pituudeltaan silmämääräisesti. Tarkastukseen osallistuvat sekä hitsaajat että työnjohtajat ja tarkastajat. Tarkastaminen ei vaadi toisiksi muodollista pätevyyttä, mutta tarkastajalta vaaditaan kokemusta ja tietämystä hitsauksen tarkastamisesta ja hitsaustyöstä. Apuvälineinä voidaan käyttää taskulamppua ja peiliä. Silmämääräiseen tarkastukseen kuuluu hitsien sijainnin, koon ja muodon tarkastus, pienahitsin a-mitan tarkastus (kuva 13), pintojen tarkastus sekä pintavirheiden (esim. reunahaava), sytytysjälkien ja roiskeiden havaitseminen. Tarkastuksessa tarvitaan lisäksi suoraa kulmaa, jolla tarkastetaan hitsin pinnan suoruus ja kohtisuoruus.



Rakennusalalla hitseistä on 80 % pienahitsejä eikä niitä läheskään kaikissa tapauksissa pystytä valmistuksen yhteydessä tarkastamaan tehokkaasti, joten silmämääräinen tarkastus liittyy aina hyvää hitsaustyön laadunvarmistukseen.



**Kuva 13.** Pienahitsi. a) a-mitan tarkastus, b) pienahitsitulkki.

Yleensä hitsin hyvännäköinen pinta kertoo korkeasta laadusta, vaikkei se kerrokaan mitään hitsin sisäisestä laadusta. Hitsin silmämääräinen tarkastus on kaikkein halvin tarkastusmenetelmä. Monissa muissa menetelmissä se vaaditaan ennakkotarkastuksena, koska ei ole mieltä alistaa ilmeisen huonoa hitsiä muihin tarkastuksiin.

Ennen hitsausta materiaalien puhtaus ja eheys tulee tarkastaa. Tällöin pitää poistaa rasvat, maali, öljy, ruoste tms., ja tarkastaa liitettävien kappaleiden tasomaisuus, suoruus ja mitat sekä osien yhteensopivuus. Lisäksi hitsausprosessi ja sen muuttujat tulee tarkistaa, kuten lisäainepuikot ja niiden tyyppi, laitteiden asetukset ja esilämmitys tai jälkijännitystarpeet. Nämä edellytykset pätevät luonnollisesti kaikkiin tarkastusmenetelmiin.

Valmistuksen (hitsauksen) aikana hitsin palon ja hitsin pään kraatterin tarkastus voi paljastaa mahdollisia ongelmia, kuten halkeamia, epämääräisiä lävistyksiä ja kaasua tai epäpuhtausulkeumia. Hitsivirheet, joita voidaan tunnistaa silmämääräisesti hitsauksen aikana, ovat halkeamat, pintaviat, pinnan huokoisuus tms.

Yhden palon hitseissä riittää useinkin hitsin tarkastus kunkin hitsausoperaation jälkeen ja aika ajoin työn edistyessä. Kun hitsi muodostuu useammasta palosta, saattaa olla järkevää tarkastaa kukin palko erikseen ennen seuraavan hitsaamista. Juuren hitsaaminen monipalkoisessa hitsausliitoksessa on kaikkein riskialttein työvaihe. Juurihitsi on erityisen herkkä halkeamiselle, ja koska se kiinteytyy nopeasti, siihen voi kertyä kaasua tai likaa. Tällöin seuraavia palkoja hitsattaessa ongelmat saattavat helposti lisääntyä.

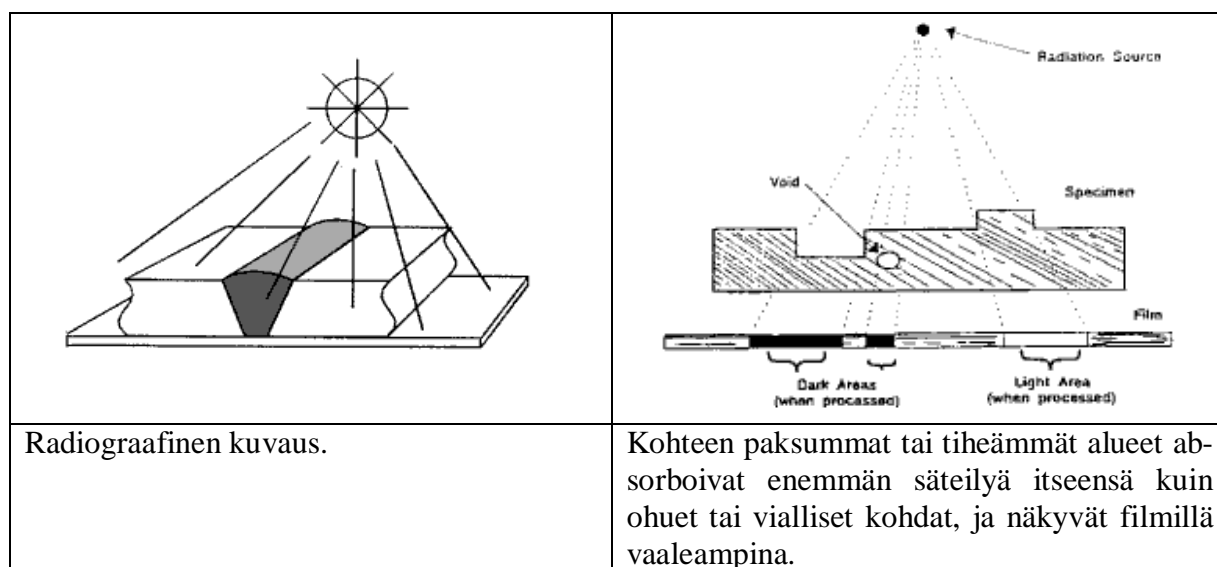
Silmämääräisellä tarkastuksella voidaan välttää yli- ja alihitsaamista. Liian pieniä hitsejä ei voi sietää. Liian suuret hitsit taas maksavat turhan paljon, ja voivat lisäksi aiheuttaa ongelmia rakenteiden vääristymisen tai kutistumisen muodossa.

Hitsauksen jälkeen voidaan silmämääräisesti havaita useita erilaisia hitsivirheitä ja pintavikoja, kuten epätasaisuutta, halkeamia, huokoisuutta ja hitsikraattereita. Myös mittaamalla voidaan todeta erilaisia esiintyviä virheitä. Pintavikojen toteamiseksi hitsipinnat pitää puhdistaa roiskeista. Hiekkapuhallusta ei kuitenkaan saa tehdä pinnalle ennen sen tarkastusta, koska se saattaa sulkea ohuet halkeamat ja tehdä niiden havaitsemisen mahdottomaksi.

Visuaalisella tarkastuksella voidaan havaita pelkästään hitsin pinnan virheitä. Projektieritelmässä saatetaan vaatia tietyille hitsausliitoksille käytettäväksi myös muita NDT-menetelmiä. Tarkemmilla NDT-menetelmillä voidaan havaita virheitä, mutta niillä ei voi mitata virheiden vaikutusta hitsien käytettävyyteen tai toimintaan. Sitä voidaan selvittää lähes pelkästään rikkovilla tarkastusmenetelmillä.

### 3.5.2 Radiografinen kuvaus

Radiografinen kuvaus (kuva 14) suoritetaan yleensä kun tarkastuskohde on valmistuksen loppuvaiheessa, esim. hionnan tai lämpökäsittelyn jälkeen. Yleensä käytetään seuraavissa kuvissa esitettyjä kuvaustekniikoita, missä säteilylähde on kuvattavan kappaleen etupuolella ja filmi sen vastakkaisella puolella. Radiografinen kuvaus ei ole mahdollista, jos säteilylähde tai filmiä ei voida sijoittaa kuvattavan kohteen eri puolille. Tällainen tilanne esiintyy esimerkiksi kattoristikoissa putkiprofiilien liitoksissa, kun putkien päät ovat suljettuja. Sama pulma koskee myös useimpia putkiprofiilien sivuun liitettyjä varusteluosia tai putkien päihin kiinnitettyjä laippoja ja niiden hitsiliitoksia, jos valmiin rakenteen sisään ei voi sijoittaa filmiä tai säteilylähdetä.



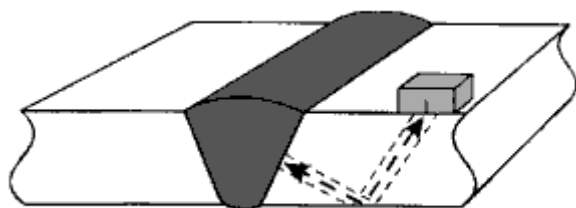
**Kuva 14.** 1) Säteilylähde ja kappale, 2) Kuvauksen periaate.

Filmiin, kuvamääriin, filmin kehittämiseen, kuvaamistapoihin ja -etäisyyksiin sekä kuvien tulkitsemiseen liittyvät ohjeet löytyvät standardista SFS 3207. Kuvien tulkintaa ja mm. teräs-rakenteiden hitsiluokille asetettuja hyväksymisrajoja on esitetty standardissa SFS 5067.

### 3.5.3 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastusta (kuva 15) käytetään rikkomattomana aineenkoestusmenetelmänä tutkittaessa ja määrittäessä kappaleen mittoja ja sen sisältämiä epäjatkuvuuksia kuten ainevikoja tai liitoskohtia sekä eräitä aineominaisuuksia kuten kimmovakioita.

Suurtaajuuksinen (0,1 ... 25 MHz) ääni lähetettynä tarkastettavaan kappaleeseen pulsseina tai jatkuvana värähtelynä aikaansaa ilmiöitä, joiden avulla poikkeaman etäisyys tai paikka voidaan määrittää. Hyväksyttäviä ultraäänitarkastustapoja ovat esimerkiksi kaikumenetelmä, läpäisymenetelmä ja resonanssimenetelmä, joita kuvat havainnollistavat. Ultraäänimittaus voidaan suorittaa kappaleen yhdeltä puolelta, mikäli tutkittava ainepaksuus on riittävän suuri tai huolehditaan siitä, että luotaimen ns. kuollut alue minimoituu.



**Kuva 15.** Ultraäänitarkastusmenetelmän periaate.

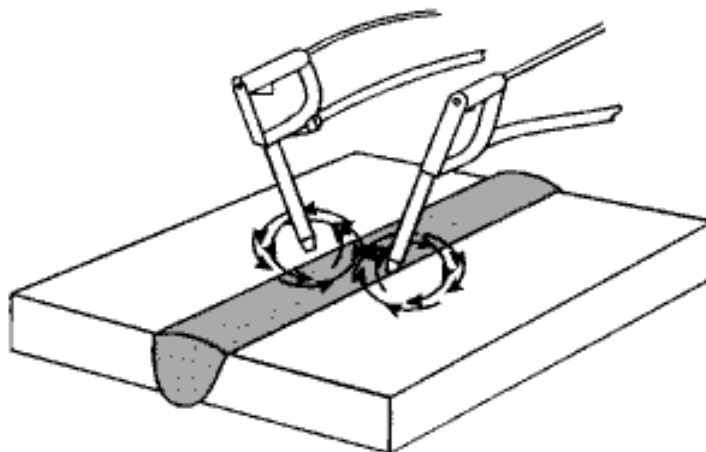
Tarkastuskohdan pinnan tulee olla sellainen, että saadaan hyvä akustinen yhteys ilman että pintaan jääneet kiinteät kerrokset aiheuttavat virhenäyttöjä. Tämä edellyttää yleensä pinnan puhdistamista tutkittavaan aineeseen saakka. Ruoste, hilse, pinnoitteet ym. poistetaan ja pinta tasoitetaan tarvittavalta alueelta.

Ultraäänitarkastus soveltuu hyvin erilaisten tunkeumahitsien tarkistukseen, kuten V- ja K-hitseillä tehdyt hitsausliitokset, esimerkiksi laippaliitokset putkiin, missä hitsien pinnat ovat suunnilleen samansuuntaisia liittyvien levyjen kanssa. Ultraäänitarkastus ei yleensä sovellu pienahitsien (fillet) tarkastamiseen siksi, että siinä liittyvien kappaleiden väliin jää rakoja, ja pienahitsin pinta ei ole liittyvien kappaleiden pintojen suuntainen.

### 3.5.4 Magneettijauh tarkastus

Magneettijauh tarkastus (kuva 16) on rikkomaton aineenkoestusmenetelmä, joka soveltuu ferromagneettisten aineiden pintaan asti avoimien tai pinnan läheisyydessä olevien vikojen kuten halkeamien, ylivalssautumien, taontapojen, huokosten ja kuonasulkeumien havaitsemiseen. Magneettijauh tarkastuksella saadaan esille myös muita aineesta tai rakenteesta johtuvia epäjatkuvuuskohtia, jotka eivät ole luonteeltaan vikoja.

Menetelmässä tarkastettava kappale magnetoidaan ja sen pinnalle levitetään magneettijauhetta. Kappaleen pinnassa tai sen läheisyydessä olevat viat tai muut epäjatkuvuuskohtat aiheuttavat magneetikenttään häiriökohtia, joihin magneettijauhe kerääntyy. Kerääntyneen magneettijauheen sijainnin, koon ja muodon perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä epäjatkuvuuskohtadista

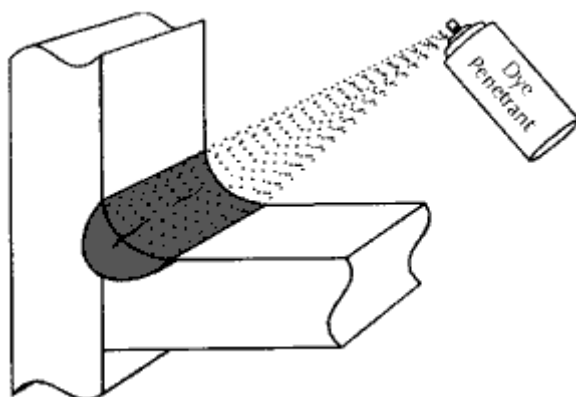


**Kuva 16.** Magneettijauhetarkastus - kaaviokuva.

Tarkastus sopii puhtaille hitsatuille, valssatuille ja taotuille pinnoille, hiekkapuhalletuille tai karkeahiotuille valukappaleille sekä työstetyille pinnoille. Tarkastus ei sovi kaikille kierteille, rouhintatyöstetyille pinnalle tai karkealle valupinnalle. Tarkastettavan pinnan tulee olla kuiva ja puhdas. Ohut maalikalvo ei vaikuta tarkastustulokseen. Jos kappale tarkastetaan myös ulträänellä, suositellaan magneettijauhetarkastus tehtäväksi ensin.

### 3.5.5 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastus (kuva 17) on rikkomaton aineenkoetusmenetelmä, joka soveltuu pintaan asti avoimien vikojen, kuten halkeamien, ylivalssautumisen, huokosten, kerrostumien, liitosvikojen, vuotokohtien ja vastaavien epäjatkuvuuksien havaitsemiseen kappaleissa, joiden aine ei ole luonnostaan huokoista.



**Kuva 17.** Tunkeumanesteen avulla tapahtuva hitsitarkastus.

Tarkastus tehdään siten, että kappale puhdistetaan ja tunkeumaneste levitetään kappaleen pinnalle, josta se tunkeutuu kapillaarivoiman johdosta halkeamaan. Nesteen saatua aikaa tunkeutua vikoihin, pestään ylimääräinen neste pois ja pinnalle levitetään kehite, johon imeytyy ja leviää osa vikaan jääneestä tunkeumanesteestä. Kehitteeseen imeytyneen tunkeumanesteen näyttämän sijainnin ja muodon perusteella voidaan viasta tehdä johtopäätöksiä.

Tarkastettaviksi soveltuvat pinnoittamattomat ja puhtaat hitsatut, valssatut ja taotut pinnat, hiekkapuhalletut tai karkeahiotut valukappaleet sekä työstetyt pinnat. Tarkastettavan kappaleen pinna tulee olla kuiva ja puhdas.

## 3.6 Hitsausvirheet

### 3.6.1 Hitsi – liitosrakenteen heikko kohta

Hitsatun rakenteen hitsausvirheistä ja laadusta löytyy runsaasti kokemusperäistä tietoa. Hitsaukseen liittyvät nopeat lämpötilojen muutokset vaikuttavat materiaalin ominaisuuksiin sekä rakenteen ja liitosten jännitystiloihin. Lämpötila aiheuttaa rakenteeseen helposti myös muodonmuutoksia ja jälkijännityksiä. Lisäksi hitsausliitosten kohdalla kappaleen geometriassa esiintyy usein epäjatkuvuuskohtia, jotka aiheuttavat jännityskeskittymiä ja -huippuja, jotka erityisesti ovat herkkiä väsyttävälle kuormille, mutta aiheuttavat myös staattisissa tilanteissa kuormituksissa ongelmia.

Vauriot hitsatuissa rakenteissa lähtevät usein liikkeelle hitsien alueelta /22/. Siihen, että hitsausliitos on koko liitosalueen ”heikoin lenkki”, on useampia syitä:

- hitsausvirheet
- hitsausjännitykset
- hitsausmuodonmuutokset
- materiaalin ominaisuuksien muuttuminen
- geometrinen epäjatkuvuuskohta.

Hitsausliitosten lujuus- ja sitkeysominaisuudet sekä muut ominaisuudet täyttävät yleensä käyttövaatimukset staattisesti kuormitetuissa rakenteissa, mikäli hitsaustyö on tehty huolella ja riittävän virheettömästi ja on käytetty oikeita lisäaineita ja noudatettu teräksen ja lisäaineen toimittajan hitsausohjeita, mm. lujuuden ja iskusitkeyden kannalta oleellisia lämmöntuontisuosituksia.

Väsyttävästi kuormitetuissa rakenteissa hitsausliitokset heikentävät väsymiskestävyyttä. Ne edustavat geometrisia epäjatkuvuuskohtia, jotka aina aiheuttavat jännityshuippuja. Huolellisestikin valmistettu rakenne saattaa heiketä (”väsyä”) ajan mittaan, jolloin sen kestoikä jää rajalliseksi. Hitsien väsymislujutta voidaan parantaa mm. hitsaamalla palot mahdollisimman juoheviksi tai hitsauksen jälkeen tekemällä hitsin ja perusaineen liittyminen juohevaksi esim. hiomalla tms.

Laadunvarmistuksella tarkoitetaan kokonaisvaltaista yrityksen kaikkiin toimintoihin ulottuvaa laadunohjausta. Se alkaa tuotteen suunnittelusta ja päättyy tuotteen toimitukseen asiakkaalle, ja mahdollisesti tästä vielä eteenpäin aina tuotteen käyttöön asti. Yrityksellä voi olla laatujärjestelmä, joka kattaa nämä toiminnot, mutta sen hyvyys riippuu kuitenkin siitä kuinka laatua johdetaan. Hitsaaville yrityksille on hitsauksen laatuvaatimuksia käsittelevä eurooppalainen standardisarja:

### **SFS-EN 729-1...4: Hitsauksen laatuvaatimukset**

Sarjassa on useampia eritasoisia laatuvaatimuksia, joista yritysjohto voi valita yritykseensä sopivan laatutason:

osa 2: Kattavat laatuvaatimukset

osa 3: Vakiolaatuvaatimukset

osa 4: Peruslaatuvaatimukset.

#### **3.6.2 Hitsausvirhe**

Hitsausvirheellä /22/ tarkoitetaan poikkeamaa ”ihanteellisesta” hitsistä ja hitsausviialla tarkoitetaan varsinaisesti sellaista ei-sallittua virhettä, joka on aina korjattava. Hitseissä sallitaan virheitä hitsiluokan mukaan.

Hitsausvirheet syntyvät rakenteiden valmistuksen yhteydessä ja ovat siten erilaisia valmistusvirheitä. Myös käytössä voi hitsattuihin rakenteisiin syntyä erilaisia vikoja ja vaurioita, joiden syntyyn esimerkiksi aiemmat valmistuksessa syntyneet hitsausvirheet voivat olla osallisia.

Hitsausvirheet heikentävät liitoksen kestävyyttä tai muita ominaisuuksia. Kustannukset ja työn vaikeus kasvavat kuitenkin yleensä virheettömyyspyrkimysten myötä. Virheiden esiintyminen hitsausliitoksessa ei kuitenkaan välttämättä tee sitä käyttökelvottomaksi. Täysin virheetöntä hitsiä ei tarvita, elleivät rakenteen kuormitukset ja olosuhteet sitä ehdottomasti vaadi. Tuotannossa vaadittava hitsin laatutaso sallittuine virheineen osoitetaan hitsiluokalla B, C tai D (SFS-EN 25817). Rakennusteollisuudessa vaadittu laatutaso on yleisesti C.

Hitsausvirheistä on julkaistu suomeksi kansainvälinen standardi, jossa määritellään kaikki mahdolliset hitsausvirheet ja annetaan jokaiselle virheelle oma numerotunnuksensa:

#### **SFS-EN ISO 6520-1: Hitsaus ja lähiprosessit – Geometristen hitsausvirheiden luokittelu metallisissa materiaaleissa. Osa 1: Sulahitsaus. 1999**

Standardissa hitsausvirheet on ryhmitelty kuuteen pääryhmään. Niissä päätyyppejä on 53 kappaletta ja niiden alatyyppejä 69 kappaletta :

- halkeamat
- ontelot
- sulkeumat
- liittymisvirheet
- muoto- ja mittavirheet
- muut virheet.

Hitsien NDT-tarkastuksissa /36/ käytetään yleensä näitä standardin SFS-EN ISO 6520 mukaisia numerotunnuksia. Hitsausvirheet voidaan jakaa myös karkeasti kolmeen ryhmään, vaikka tätä jakoa ei ole tehty standardeissa:

- muotovirheet
- pintavirheet
- sisäiset virheet.

### Hitsausvirheiden vaikutukset

Tarkastusten avulla konepajoissa pidetään yllä ohjeiden mukaista laatutasoa, joka on kohtuullisin ponnistuksin saavutettavissa. Tarkastajan on työssään onnistuakseen osattava arvioida, millaisia virheitä on mahdollisesti odotettavissa tarkastettavissa hitseissä. Se edellyttää tarkastajalta tarkastusmenetelmien tuntemuksen lisäksi myös tietoja mm. eri hitsausprosesseista ja niille tyypillisistä virheistä.

Tarkastuksia ei tehdä kaikille hitseille, vaan niistä tarkastetaan tietty prosenttiosuus esim. hitsien pituudesta. Tarkastuslaajuus vaihtelee huomattavasti kohteen vaativuuden, käyttötaroituksen, olosuhteiden jne. mukaan. Se annetaan sovellusstandardissa, viranomais määräyksissä tai sovitaan osapuolten kesken.

Kun vaatimuksena on ”hyvän konepajakäytännön mukainen” hitsiluokka C /10/, niin yleensä riittää 10 %:n tarkastuslaajuus, paitsi päittäishitseissä ja läpihitsatuissa T-liitoksissa, missä tarkastuslaajuus riippuu rakenneluokasta ja hitsin hyväksikäyttöasteesta Z (katso B7, taulukko 11.7). Pienahitseissä ja läpihitsaamattomissa päittäis- ja T-liitoksissa hyväksytään yleensä silmämääräinen tarkastus. Jos liitosvirhe tai halkeamisvaara käytetyistä aineesta, ainevahvuudesta tai hitsausmenetelmästä johtuen on ilmeinen, suoritetaan 10 %:n magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastus. Samassa tuotteessa voi hitsiluokka kuten myös tarkastuslaajuus olla erilainen eri hitseille.

Tarkastuksista ja hyväksymisrajoista on ilmestynyt suomeksi eurooppalaiset standardit:

SFS-EN 12062: Hitsien rikkomaton aineenkoetus: Yleisohjeet metallisille materiaaleille

SFS-EN 970: Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus

SFS-EN 571-1: Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet

SFS-EN 1289: Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat

SFS-EN 1290: Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien magneettijauhetarkastus

SFS-EN 1291: Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien magneettijauhetarkastus. Hyväks.rajat

SFS-EN 1435: Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten radiograafinen kuvaus

SFS-EN 12517: Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien radiograafinen tarkastus. Hyväks.rajat

SFS-EN 1714: Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus

SFS-EN 1713: Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Hitsausvirheiden tyypin määrittäminen

SFS-EN 1712: Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien ultraäänitarkastus. Hyväksymisrajat

**Taulukko 16.** Pienahitsien hitsausvirheiden toleranssit eri hitsausluokissa /12/.

Virhetyyppi		Hitsausluokka (EN 25817)		
		D Tyydyttävä	C Hyvä	B Vaativa
9. Vajaa hitsautumissyvyys <sup>1)</sup>		Lyhyet virheet <sup>2)</sup> $h \leq 0,2s$ max 2 mm Pitkät virheet <sup>3)</sup> Ei sallita	Lyhyet virheet <sup>2)</sup> $h \leq 0,1s$ max 1,5 mm Pitkät virheet <sup>3)</sup> Ei sallita	Virheitä ei sallita
10. Sovitusvirhe <sup>1)</sup>		$h \leq 1\text{ mm} + 0,3a$ max 4 mm <sup>1)</sup>	$h \leq 0,5\text{ mm} + 0,2a$ max 3 mm <sup>1)</sup>	$h \leq 0,5\text{ mm} + 0,1a$ max 2 mm
11. Reunahaava <sup>1)</sup>		$h \leq 1,5\text{ mm}$	$h \leq 1,0\text{ mm}$	$h \leq 0,5\text{ mm}$
13. Korkea kupu		$h \leq 1\text{ mm} + 0,25b$ max 5 mm	$h \leq 1\text{ mm} + 0,15b$ max 4 mm	$h \leq 1\text{ mm} + 0,1b$ max 3 mm
14. Ylisuuri a-mitta		$h \leq 1\text{ mm} + 0,3a$ max 5 mm	$h \leq 1\text{ mm} + 0,2a$ max 4 mm	$h \leq 1\text{ mm} + 0,15a$ max 3 mm
15. Vajaa a-mitta		Lyhyet virheet <sup>2)</sup> $h \leq 0,3\text{ mm} + 0,1a$ max 2 mm Pitkät virheet <sup>3)</sup> Ei sallita	Lyhyet virheet <sup>2)</sup> $h \leq 0,3\text{ mm} + 0,1a$ max 1 mm Pitkät virheet <sup>3)</sup> Ei sallita	Virheitä ei sallita
20. Kateetti-poikkeama		$h \leq 2\text{ mm} + 0,2a$	$h \leq 2\text{ mm} + 0,15a$	$h \leq 1,5\text{ mm} + 0,15a$

<sup>1)</sup> Suomessa käytetään B-luokan vaatimuksia kaikissa hitsausluokissa [7]  
<sup>2)</sup> Lyhyt hitsausvirhe on yksi tai useampi hitsausvirhe, joiden kokonaispituus on enintään 25 mm 100 mm hitsin pituudesta tai enintään 25 % hitsin pituudesta, kun hitsin pituus on alle 100 mm.  
<sup>3)</sup> Pitkä hitsausvirhe on yksi tai useampi hitsausvirhe, joiden kokonaispituus ylittää 25 mm 100 mm hitsin pituudesta tai vähintään 25 % hitsin pituudesta, kun hitsin pituus on alle 100 mm.

Perusstandardi SFS-EN 12062 antaa ohjeet tarkastusmenetelmän valintaan ja tarkastustulosten arviointiin perustuen vaatimuksiin, materiaaliin, hitsin paksuuteen, hitsausprosessiin ja tarkastuslaajuuteen. Standardin SFS-EN 25817 hitsiluokkia ei voida käyttää sellaisenaan NDT-tarkastuksen hyväksymisrajoina. Standardin SFS-EN 12062 liitteessä on kuitenkin ao. taulukko 16, jossa annetaan yksittäisten tarkastusstandardien hyväksymisrajojen ja hitsiluokkien välinen yhteys.



### 3.6.3 Hitsausvirheiden vaarallisuus

Hitsausvirheiden vaikutusten kannalta on tärkeä ryhmitellä ne pinta- ja sisäisten virheiden osalta kaksi- ja kolmiulotteisiin virheisiin. Kaksiulotteinen virhe on tasomainen virhe eli halkeamatyyppinen virhe. Koska nämä virheet ovat teräväkärkisiä, ne ovat erityisen vaarallisia virheitä liitoksen kestävyydelle. Tärkeimpiä kaksiulotteisia virheitä ovat erilaiset halkeamat, liitosvirheet ja vajaa hitsautumissyvyys.

Kolmiulotteinen eli volymetrinen virhe on muodoltaan esimerkiksi pallomainen tai lieriömäinen. Siltä puuttuu kapea terävä kärki. Tärkeimpiä kolmiulotteisia virheitä ovat:

- huokokset ja muut vastaavat ontelot
- sulkeumat, jos ne eivät ole teräväkärkisiä
- reunahaavat, kun ne ovat pyöreäpohjaisia.

Kolmiulotteiset virheet ovat pyöreämuotoisia, kuten huokokset, ja niiden vaikutus ilmenee lähinnä poikkipinnan pienentymisenä. Hitsausvirheen merkitys liitoksen kestävyydelle riippuu mm. virheen luonteesta, liitoksen rasiutavasta, kysymykseen tulevasta vaurioitumisvasta ja virheen sijainnista rasiuksen suuntaan nähden.

Hitsausvirheiden vaikutuksista hitsien tai rakenteiden kestävyysarvoihin on olemassa melko vähän tietoa. Toisaalta hitsiluokkastandardia sovellettaessa tiedetään, että hitsausvirheiden ollessa kooltaan tai määrältään enintään tietyn vaatimuksena olevan hitsausluokan rajoissa, rakenteen kestävyys voidaan olettaa vaatimustenmukaiseksi. Siksi rakenteita valmistettaessa on ensiarvoisen tärkeää saada riittävästi dokumentoitua tietoa hitseille tehdyistä tarkastuksista (myös työmaahitsauksessa) ja niihin käytetyistä menetelmistä. Rakennusalalla suurin osa hitseistä on pienahitsejä, joiden virheitä on lueteltu taulukossa 16.

### 3.6.4 Hitsiluokka ja hitsausvirheiden estäminen

Hitsiluokka on valmistettavan hitsin laatua kuvaava tunnus. Hitsiluokkastandardi ei määrittele hitsiluokan valintaa, vaan sen tekee rakenteen suunnittelija (tai rakennushankkeeseen ryhtyvä taho) ennen tuotannon (valmistuksen) alkua, tai joissakin tapauksissa se annetaan erikseen sovellettavassa standardissa. Eri vikatyypeille sallitut arvot ao. hitsiluokkastandardissa ovat staattisessa kuormitustapauksessa likimain suhteessa niiden merkitykseen liitoksen kestävyydelle murtumismekaniikan kannalta.

Terästen hitsiluokista on julkaistu eurooppalainen standardi: *SFS-EN 25817: Terästen kaarihitsaus. Hitsiluokat /12/*.

Standardissa hitsit on jaettu sallittavien hitsausvirheiden ja niiden koon perusteella kolmeen eri hitsiluokkaan:

- D: tyydyttävä**
- C: hyvä**
- B: vaativa**

Luokkaa D ei sallita rakentamisessa. Luokkien C ja B välinen ero on siinä, kuinka suuria ja miten paljon tiettyjä virheitä sallitaan.

Väsyttävästi kuormitetuille rakenteille valitaan yleensä hitsiluokka B ja staattisesti kuormitetuille rakenteille luokka C. Luokan C voidaan sanoa edustavan ”hyvää konepajakäytäntöä”, mutta myös luokassa C eräät virhetyypit on kokonaan kielletty. Standardissa on virheille annettu tunnusnumero, ja lueteltu ne järjestyksessä 1–26. Kullekin virheelle on annettu mittojen raja-arvot eri hitsiluokissa D, C ja B. Standardin käyttämät tunnusnumerot ovat siis eri lukuja kuin ISO 6520:n tunnuksat, vaikkakin kunkin virheen kohdalla on viittaus myös ISO 6520:n tunnusnumeroon. Standardissa SFS-EN ISO 6520-1 virheet on ryhmitelty kuuteen ryhmään: halkeamat, ontelot, sulkeumat, liittymisvirheet, muoto- ja mittavirheet, muut virheet.

Hitsiluokkastandardin SFS-EN 25817 virheet ovat numerojärjestyksessä (suluissa ISO 6520 mukaisia virheiden numeroita):

- 1 Halkeamat (100)
- 2 Kraatterihalkeamat (104)
- 3 Huokokset (2011, 2012, 2014, 2017)
- 4 Huokosryhmä (2013)
- 5 Pitkänomaiset huokokset (2015, 2016)
- 6 Sulkeumat, muut kuin kuparisulkeumat (300)
- 7 Sulkeumat. Kuparisulkeumat (3042)
- 8 Liitosvirhe (401)
- 9 Vajaa hitsautumissyvyys (402)
- 10 Sovitusvirhe pienahitsissä (–)
- 11 Reunahaava (5011, 5012)
- 12 Korkea kupu pättäishitsissä (502)
- 13 Korkea kupu pienahitsissä (503)
- 14 Ylisuuri a-mitta pienahitsissä (5214)
- 15 Vajaa a-mitta pienahitsissä (5213)
- 16 Korkea juurikupu (504)
- 17 Paikallinen juuren valuma (5041)
- 18 Sovitusvirhe (507)
- 19 Vajaa kupu (511) ja vajonnut hitsi (509)
- 20 Kateettipoikkeama (512)
- 21 Vajaa juuri ja reunahaava juuressa (515, 5013)
- 22 Pintapalon valuma (506)
- 23 Uudelleenaloitusvirhe (517)
- 24 Sytytysjälki (601)
- 25 Roiskeet (602)
- 26 Useat virheet samassa poikkileikkauksessa (–).

Hitsausvirheiden syyt ja estämistoimenpiteet ovat yleisluontoisia. Ne vaihtelevat tapauskohtaisesti ja lisäksi eri hitsausprosessien kesken, joten oikean syyn ja estämistoimenpiteen löytäminen edellyttää hyviä perustietoja hitsauksesta.

Erityisesti pienahitsien osalta (ks. edellä taulukko 16) eräät toleranssit ja virheet ovat sellaisia, joiden toteutumista ei voida valvoa silmämääräisesti. Sellaisia ovat "vajaa hitsautumissyvyys" ja "sovitussvirhe". Kumpikin virhe on hitsiliitoksen kestävyys suhteen kriittisellä polulla, eli hitsaustyön laadun valvonta tulee voimaliitoksissa ulottaa koskemaan juuri näiden

(yleensä NDT-menetelmillä testaamattomien) virheiden välttämistä. Samoin hitsaajien koulutuksessa tulee korostaa tällaisten virhemahdollisuuksien olemassaoloa ja keinoja välttää niitä. Jos sovitusrvirhe havaitaan hitsauksen yhteydessä, se voidaan kompensoida hitsin a-mitassa.

### 3.7 Sinkityn teräksen hitsaaminen

Sinkittäväksi tarkoitetut teräsrakenteet pitää pyrkiä suunnittelemaan siten, ettei niitä sinkittämisen jälkeen tarvitse hitsata.

Kuumasinkityt teräsosat pitää työmaalla liittää toisiinsa ensisijaisesti ruuviliitoksella. Mikäli tällaisia teräksiä joudutaan hitsaamaan, sinkki pitää ensin poistaa hitsattavalta alueelta (hionta tai hiekkapuhallus), ja ne tulee suojata uudelleen hitsauksen jälkeen.

Sinkittyä terästä voidaan hitsata samoilla menetelmillä kuin pinnoittamatontakin terästä /39, 40/, mutta sitä ei voi suositella. Sinkkikerroksen häiritsevän vaikutuksen takia ei voida käyttää mustalle teräkselle tarkoitettuja hitsausarvoja. Se kuinka suuri tämä häiritsevä vaikutus on, riippuu sinkki-pinnoitteen paksuudesta, koostumuksesta ja rakenteesta.

Pääasialliset ongelmat ovat:

- lisääntyvä roiskeenmuodostus,
- pienempi tunkeuma,
- lisääntyvä huokosmuodostus,
- lisääntyvä raerajamurtumisvaara hitsatussa kappaleessa,
- lisääntyvä savunmuodostus.

#### 3.7.1 Roiskeet, tunkeuma, huokokset ja halkeamat

**Roiskeet** ovat suuri ongelma MIG-hitsauksessa. Roiskeet voivat vaikeuttaa pienahitsausta tietyissä asennoissa ja langansyöttö saattaa häiriintyä roiskeiden juuttuessa hitsauspistoolin suukappaleeseen. Roiskeet voivat kiinnittyä hitsin viereisiin pintoihin ja huonontaa hitsausliitoksen ulkonäköä.

**Tunkeuma** pienenee, koska sinkkikerros teräksen päällä alentaa kaarijännitettä ja hitsausvirta pienenee.

**Huokosia** muodostuu, kun höyrystynyt sinkki ja kaasut eivät ehdi poistua sulasta ennen sen jähmettymistä. Puikkohitsauksessa tämä ongelma ei ole kovin tavallinen. MIG-hitsauksessa erityisesti silloin, kun kyseessä ovat kaksipuoliset pienahitsit, huokoisuus on yleisempää.

**Hitsin raerajamurtumia** voi esiintyä lähinnä T-liitoksissa, jos ainevahvuudet puikkohitsauksessa ovat yli 13 mm ja MIG-hitsauksessa yli 6,5 mm.

Edellä mainitut erilliset ongelmat voidaan helposti poistaa tai niitä voidaan vähentää hyväksyttävän tason saavuttamiseksi seuraavilla keinoilla:

- käytetään "roiskespraytä", jotta roiskeiden tarttuminen pinnoille ja hitsauspistooliin MIG-hitsauksessa estyisi.

- käytetään normaalia suurempia ilmarakoja kuten 1,5 mm MIG-hitsauksessa ja 2,5 mm puikkohitsauksessa. Tämän ansiosta tunkeuma paranee, huokosmäärä pienenee ja murtumisvaara (sinkkitunkeuma) pienenee.
- alennetaan hitsausnopeutta. Liikutetaan puikkoa hieman railon suunnassa niin, että sinkki höyrystyy pois railosta. Tällöin huokosmäärä vähenee ja murtumisvaara pienenee.
- viistetään T-liitoksen päätylevy siten, että syntyy K- tai 1/2 V-railo. Täten murtumisvaara pienenee ja huokosmäärä vähenee. Tämä pätee myös pinnoittamattomalle aineelle.

### 3.7.2 Hitsauspuikkojen valinta

Pääasiallisesti tulee käyttää puikkoja, joiden piipitoisuus on alhainen. Tällöin T-liitosten rae-  
rajamurtumien vaara massiivisessa materiaalissa vähenee. Sopivia puikkotyyppejä on taulu-  
kossa 17.

**Taulukko 17.** Esimerkkejä sinkityn teräksen hitsaukseen soveltuvista puikoista.

Tyyppi	ISO-merkintä
Rutiili	E 332 R 22
Rutiili	E 332 R 32
Rutiili	E 333 R 12
Rutiili, suuririittoinen	E 432 R 32
Emäksinen	E 445 B 20 hitsatessa jätä
Emäksinen	E 445 B 26 pienaliitoksiin ilmarako
CO <sub>2</sub> -hitsaus	AWS / ASTM E 60 - S3

### 3.7.3 Hitsaussavut

Pinnoittamattoman teräksen hitsauksessa syntyy aina savua, joka sisältää vaihtelevia määriä rautaoksidia, otsonia, vetyä, hiilimonoksidia, typpioksideja ja fluorideja. Sinkityn teräksen hitsauksessa ja leikkauksessa höyrystyy sinkkiä. Muodostuva sinkkioksidi on valkoinen, suuri-tilavuuksinen yhdiste, ja siten hyvin näkyvä kaasu.

Hengitettäessä vasta muodostunutta sinkkioksidia, voi seurauksena olla sinkkikuume. Oireet muistuttavat influenssaa; on kuumetta, vilunväristyksiä, päänsärkyä ja vaikeammassa tapauksissa pahoinvointia ja oksentelua.

Sinkki ei kuitenkaan varastoidu kehoon samalla tavoin kuin esimerkiksi lyijy, kadmium ja muut raskasmetallit vaan poistuu eritteiden mukana. Sinkkikuumeen oireet häviävät sen vuoksi normaalisti muutamassa tunnissa. Sinkkikuumeella ei tiedetä olevan pysyviä seurannaisvaikutuksia.

Kaikessa hitsauksessa, sekä pinnoitetun että pinnoittamattoman materiaalin hitsauksessa, tulee järjestää savukaasujen poisto. Ulkona hitsaus voidaan suorittaa yleensä ilman että tarvitaan erityisiä toimenpiteitä savun poistamiseksi, kun huolehditaan, etteivät savukaasut nouse suoraan hitsaajan hengitysvyöhykkeeseen.

### 3.7.4 Sinkkikerroksen vaurioiden korjaus - hitsien korroosiosuojaus

Joskus mekaaniset vauriot, jotka syntyvät esimerkiksi kuljetuksessa ja/tai kappaleen varomatoman käsittelyn johdosta, voivat olla niin suuria että korjaus hitsaamalla on tarpeellinen.

Sinkityn teräksen hitsauksessa itse hitsipalko jää ilman pinnoitetta. Sen molemmilla sivuilla myös osa sinkkipinnoitteesta höyrystyy. Vauriot on suojattava mahdollisimman pian. Hitsauksen kyseessä ollen korjaus tulee tehdä mieluummin heti hitsauksen päätyttyä, koska pinta on silloin ruostevapaa, eikä siinä ole muitakaan epäpuhtauksia, ja se on helppo käsitellä. Korjaus voi tapahtua seuraavilla tavoilla:

- **Maalaus sinkkipölymaalilla.** Jos toimenpide suoritetaan heti, kun hitsi on jäähtynyt, ei tarvita suihkupuhdistusta. Irralliset oksidi- ja hitsauskuonajäänteet poistetaan teräsharjalla. Jos hitsauksesta on kulunut niin pitkä aika, että pinta on ehtinyt ruostua, se on puhdistettava joko suihkupuhdistamalla tai hiomalla. Puhdistus tulee tehdä varovasti, niin että lähellä oleva sinkkipinnoite ei vaurioidu.

Kuumasinkitysprosessissa jää joskus pieniä alueita ilman pinnoitetta. Se korjataan näitä alueita, tulee ratkaista tapaus tapaukselta. Nyrkkisääntönä on, että pitkänomaiset alueet, joiden leveys on joitakin millimetrejä, jätetään yleensä korjaamatta. Vaurio "korjautuu itsestään". Paikalliset laikut, jotka ovat suurempia kuin n. 500 mm<sup>2</sup>, tulee kuitenkin korjata. Kuumasinkityksessä mahdollisesti syntyneet mustat laikut johtuvat useinmiten jostakin pinnalla olleesta epäpuhtaudesta. Kyseessä voivat olla valssihilsejänteet, maali, rasva tms. Jollei vaurio ole niin suuri, että uudelleensinkitys on välttämätön, on tapana suositella laikun suihkupuhdistusta.

Maalauksessa voidaan käyttää joko yksi- tai kaksikomponenttista sinkkipölymaalia. Yksikomponenttimaaleja suositellaan käytännössä tämän tyyppisessä maalauksessa. Maalaus on suoritettava huolellisesti ja sen tulee olla vähintään saman paksuinen kuin viereinen sinkkipinnoite.

- **Ruiskusinkitys.** Ennen ruiskusinkitystä pinta on puhdistettava huolellisesti aivan kuten ennen maalausta. Termisesti ruiskutetut metalliset pinnoitteet tehdään /44/ ruiskuttamalla sulaan tilaan kuumennettu pinnoitemetalli kaasuvirtauksen avulla pinnoitettavaan pintaan. Eri tarkoituksiin suositeltavia minimipaksuuksia on lueteltu taulukossa 18.

**Taulukko 18.** Eri tarkoituksiin suositeltavat ruiskusinkityksen vähimmäispaksuudet (mikrometreinä) /44/.

Ympäristö	Metalli							
	Sinkki		Alumiini		Al Mg 5		Zn Al 15	
	ei maal.	maalattu	ei maal.	maalattu	ei maal.	maalattu	ei maal.	maalattu
Suolavesi	N.R. 1)	100	200	150	250 2)	200 2)	N.R. 1)	100
Talousvesi	200	100	200	150	150	100	150	100
Kaupunki-ympäristö	100	50	150	100	150	100	100	50
Teollisuus-ympäristö	N.R. 1)	100	200	100	200	100	150	100
Meri-ympäristö	150	100	200	100	250 2)	200 2)	150	100
Kuivat sisätilat	50	50	100	100	100	100	50	50
Huom. Taulukon suosittelemat minimiarvot ovat raja-arvoja, joilla voidaan olettaa pelättävän ennenaikaisia vaurioita. Ne eivät edusta valintakriteerejä, koska eri tekijät ja oletetut kestävyysarvot kyseisissä olosuhteissa eivät välttämättä ole samanlaisia								
1) N.R. = ei suositella								
2) Meriolosuhteissa								

### 3.7.5 Pistehitsaus

Mustalle teräkselle soveltuvia hitsausmenetelmiä voidaan käyttää myös sinkitylle teräkselle. Yleisesti voidaan todeta, että hitsausta koskevat arvot kuten aika, virta ja puristusaine lisääntyvät verrattuna pinnoittamattoman levyn hitsaamiseen. Ne tulee valita siten, että sinkkikerros poistuu hitsauskohdasta. Muussa tapauksessa sinkkikerrosten väliin tulee vain juotos. Koska sinkillä on taipumus seostua kupariin, tulee myös elektrodit puhdistaa useammin kuin pinnoittamattoman materiaalin hitsauksessa.

Sopivia elektrodimateriaaleja ovat kupari-kromi tai kupari-kromi-zirkonium -yhdisteet. Hyviä tuloksia on saatu myös wolfram -kärkikappaleella varustetuilla kuparielektrodeilla. Puikon kärjen tulee olla katkaistun kartion muotoinen kärkikulman ollessa 120...140 °. Hyvällä jäähdytyksellä on suuri merkitys hitsauselektrodien kestoille.

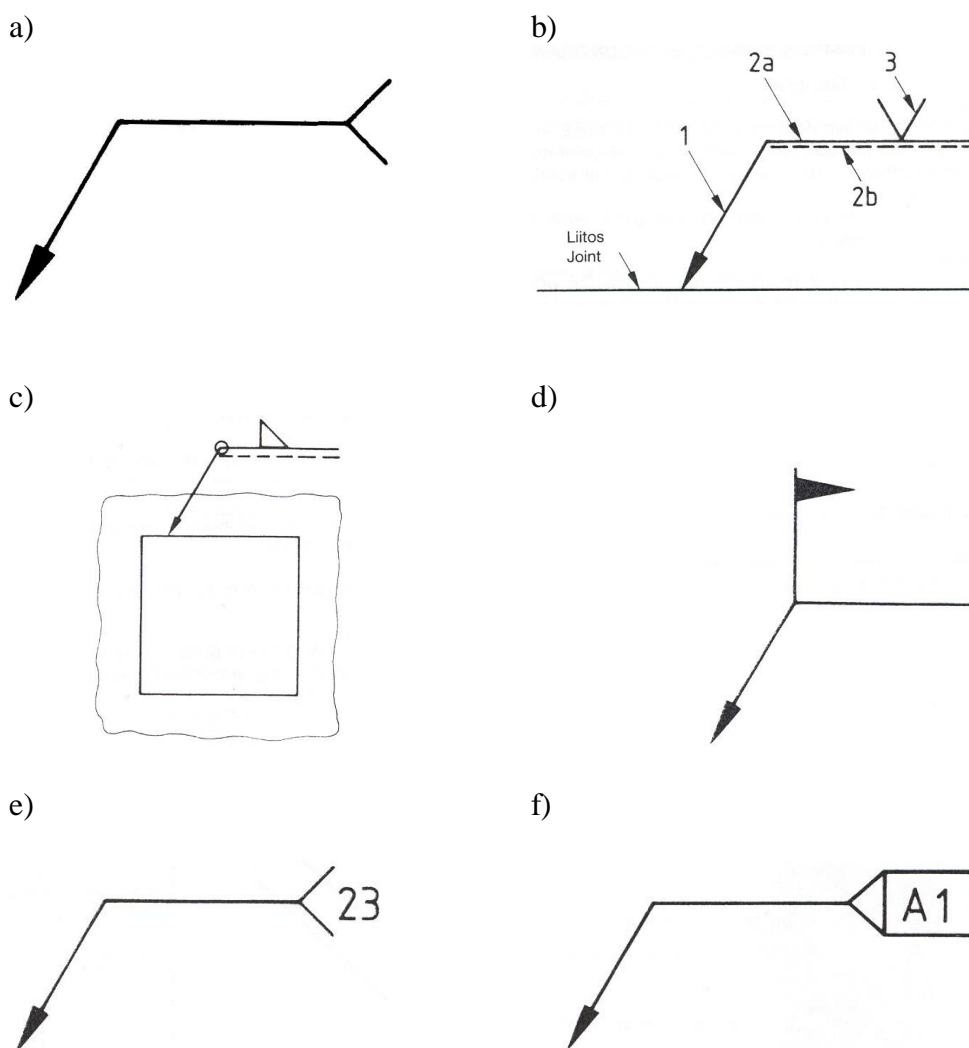
Kunnolla tehdyt piste- ja saumahitsit eivät yleensä vaadi korroosionestokäsittelyä hitsauksen jälkeen.

### 3.8 Hitsausmerkinnät piirustuksiin

Hitsausliitokset ja juotokset tulee merkitä piirustuksiin. Standardi SFS-EN 22553 /38/ antaa ohjeet hitseistä ja hitsausten suoritustavoista ja niihin liittyvistä merkinnöistä. Hitsausliitoksesta ei yleensä tarvitse piirtää lisäprojektioita.

Tavanomaisen hitsausliitoksen tunnuksena on merkki, joka yleensä kuvaa railoa tai liitoksen poikkileikkausta (kuva 18 a). Merkki ei esitä käytettäviä hitsausprosesseja. Standardin kohdan 3.4 mukaan on suositeltavampaa viitata tiettyjä yksityiskohtia täydentäviin railojen valmistusta ja/tai hitsausta ja juottamista koskeviin erillisiin ohjeisiin kuin esittää tiedot hitsattavien osien piirustuksissa. Jos ohjeita ei ole (esimerkiksi kun hitsaaminen tapahtuu työmaalla), voidaan railon valmistukseen liittyvät mitat ja/tai hitsaus- tai juottamismenetelmä ilmoittaa piirustuksessa hitsausmerkinnän vieressä.

Jos hitsausliitoksen yksityiskohtia ei määritetä, niin käytetään perusmerkintää 18 a. Yleensä merkintä kuitenkin sisältää perusmerkin (standardissa taulukko n:o 1), jota voidaan täydentää lisämerkillä, mitoituksella ja joillakin lisämerkinnöillä.



**Kuva 18.** Merkinnät: a) perusmerkintä, b) hitsin esittämistapa ja osat, c) kehähitsi (ympäri), d) asennushitsi, e) hitsausprosessin merkitseminen ja f) erityisohjeet hitsaukselle.

**Hitsin merkintä (kuva 18 b) sisältää:**

- perusmerkin, tai perusmerkkien yhdistelmän,
- viitenuolen liitoskohtaisesti,
- merkintäviivan, joka muodostuu kahdesta yhdensuuntaisesta viivasta, ehyt viiva ja katkoviiva (symmetrisillä hitseillä katkoviiva on tarpeeton ja se tulee jättää pois!),
- tietyn määrän mittoja ja muita tavanomaisia merkkejä.

Hitsausmerkinnässä katkoviiva voidaan piirtää joko ehyen viivan ylä- tai alapuolelle ja viivon merkitys on:

- hitsausmerkki sijoitetaan ehyen merkintäviivan puolelle, kun hitsi (hitsin pinta) on liitoksen nuolenpuolella, ja
- hitsausmerkki sijoitetaan katkoviivalla esitetyn merkintäviivan puolelle, kun hitsi on liitoksen vastapuolella.

**Lisämerkinnät**

Hitsausmerkinnän lisämerkinnät saattavat olla tarpeen esitettäessä muita hitsien ominaisuuksia:

- kehähitsit - kun kappale on ympärihitsattu, käytetään ympyrätunnusta kuvan 18 c osoittamalla tavalla (hitsattu vain näkyvältä puolelta),
- asennushitsit - kun hitsaus on tarkoitus tehdä asennuspaikalla, eikä siihen liity erityisiä vaatimuksia, käytetään lipputunnusta kuvan 18 d esittämällä tavalla,
- hitsausprosessi - merkitään tarvittaessa merkintäviivan päässä olevaan haarukkaan kirjoitetulla numerotunnuksella, kuten kuvassa 18 e. Luettelo hitsausprosesseista ja niitä vastaavista numerotunnuksista on esitetty standardissa ISO 4063.
- muunlaisia, liitoksia koskevia tietoja ja mittoja voidaan täydentää merkintäviivan pyrstössä olevilla lisätiedoilla (kuvat 18 e-f) seuraavassa järjestyksessä:
  - prosessi (esim. standardin ISO 4063 mukaisesti),
  - hitsiluokka (esim. standardien ISO 5817 ja ISO 10042 mukaisesti, jos pitää olla muu kuin C),
  - hitsausasento (esim. standardin ISO 6947 mukaisesti),
  - lisäaineet (esim. standardien ISO 544, ISO 2560 ja ISO 3581 mukaisesti).

Yksittäiset tiedot erotetaan kauttaviivalla (/). Lisäksi on mahdollista esittää kuvan 18 f mukaisesti pyrstössä suorakaide, jossa viitataan erityisohjeeseen (esim. hitsausohjeeseen).



## 4. VAKIOLIITOKSET - SUUNNITTELUESIMERKKEJÄ

### 4.1 Vakioliitokset – vaatimukset

Betonielementtien välisten liitosten suunnittelussa on sovellettava samoja yleisohjeita kuin muidenkin kantavien rakenteiden liitosten suunnittelussa. Liitossuunnittelua koskeva pikaohje on tämän tekstin liitteenä 2. Kaikille liitoksille asetettavat perusvaatimukset ovat:

- Kuormitukset
  - omapaino, lumi- ja tuulikuormat
  - törmäyskuormat (esim. työkoneiden törmäyskuormat, RIL 144, kohta 5.52)
  - ripustukset
- Lämpöliikkeet, kutistumat
- Ympäristön rasitusluokka - materiaalivalinta, suojaus
  - vaatimusten luokitus betoninormien mukaan paitsi huollettaviksi jäävillä metallipinnoilla, jotka voidaan suojata orgaanisilla tai epäorgaanisilla pinnoitteilla.
  - teollisuuskohteissa on otettava tarvittaessa huomioon kemiallisen rasituksen ympäristöluokkien rasitukset (esim. puunjalostusteollisuus, maatalousrakennukset tms.).
- Käyttöikä
- Käyttötarkoitus - kloridirasitus
- Palonkestävyys erikoistapauksissa

Liitoksiin ja niiden osiin tai komponentteihin voi kohdistua myös muita erityisvaatimuksia, joista voidaan mainita erikseen:

- Asennusvaiheen kuormitustilanteet (ilman valuja / tuettuna)
- Mahdollisen maanjäristyksen aiheuttamat rasitukset
- Sitkeysvaatimukset / jatkuvan sortuman estämiseen tähtäävät vaatimukset

Seuraavissa kohdissa on käsitelty kuusi erilaista liitosta siltä osin, mitä erityisvaatimuksia niihin kohdistuu ja mitä mahdollisia muita seikkoja tulee suunnittelussa tarkastaa.

## 4.2 Esimerkki 1 - P4-liitos betonikaiteessa

Betonikeskus ry - Peikko / P4-liitos betonikaiteessa

### 1. Vaatimukset

Kuormitukset

- omapaino, tuulikuormitus
- törmäyskuorma
- ripustuskuormat

Lämpöliikkeet

Rasitusluokka - materiaalit / suojaus

Betoninormien mukaan vaatimusluokitukset parvekkeen:

- kaiteelle on yleensä joko XC3 tai XC4 ja XF1.
- betonilaatalle yläpuoli: XC4 ja XF3, ja alapuoli: XC3 ja XF1.

Käyttöikä

Käyttötarkoitus

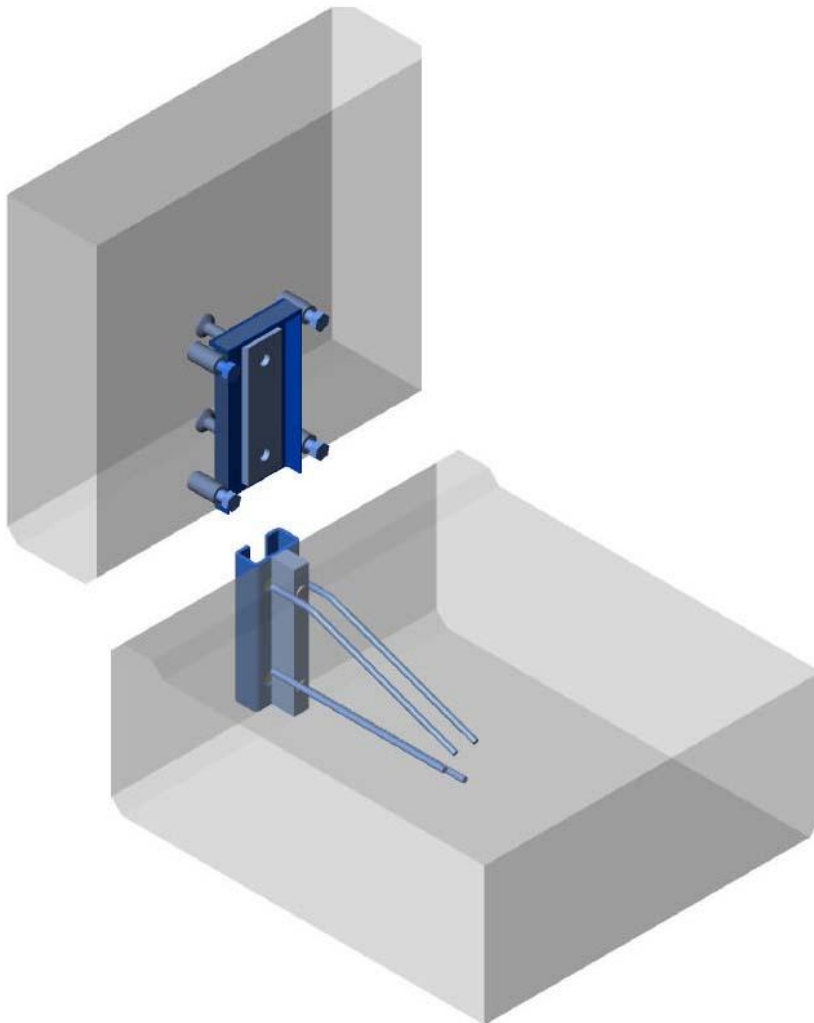
Palonkestävyys

### 2. Suunnittelussa huomioon otettavat seikat

P4-liitoksen vakioteräsovat ja niiden materiaali valitaan käyttöselosteen perusteella

Työnaikainen tuenta

Kaiteen lukitseminen paikoilleen

**Peikko / P4-liitos**

**Huom!** Liitoksessa ei tarvita hitsaamista työmaalla.

Oheinen esimerkki osoittaa kuitenkin, että kaikissa, myös pelkillä vakioteräsoilla toteutettavissa liitoksissa on suunnittelutyötä. Liitosten suunnittelua ei yleensä saa tai voi korvata pelkästään viittaamalla käyttöselosteisiin.

## 4.3 Esimerkki 2 - Tason liitos kaide-elementtiin

Betonikeskus ry - Parma Oy / Tason liitos kaide-elementtiin

### 1. Vaatimukset

Kuormitukset

- omapaino, tuulikuorma,
- törmäyskuormat (esim. työkoneiden törmäyskuormat, RIL 144, kohta 5.52)
- ripustukset / mainostaulut / lipputangot / viirit / valaisimet

Lämpöliikkeet, kutistumat

Rasitusluokka - materiaalivalinta, suojaus

Betoninormien mukaan vaatimusluokitukset:

- kaiteen kiinnitykselle ovat yleensä joko XC3 tai XC4 ja XF1.
- Huom! Kaide-elementin pinnassa oleville kiinnityksille 0,5 metrin korkeuteen asti vaatimuksena ovat XD1, XF2 ja XC3 tai XC4 (suolaroiskealue).

Käyttöikä

Käyttötarkoitus - kloridirasitus

Palonkestävyys erikoistapauksissa

### 2. Suunnittelussa huomioon otettavat seikat

Liitososien kestävyys ja koko - mitoitus

- Lattateräksen mitoitus / valinta
- Konsolituennan suunnittelu / neopreeni

Hitsausliitokset - hitsikoot / merkinnät / lisäainevalinta / jälkikäsitteily

Liitoksen säätövarojen suunnittelu

Rakenteen työnaikainen tuenta

Käyttöiän suunnittelu ja varmistaminen

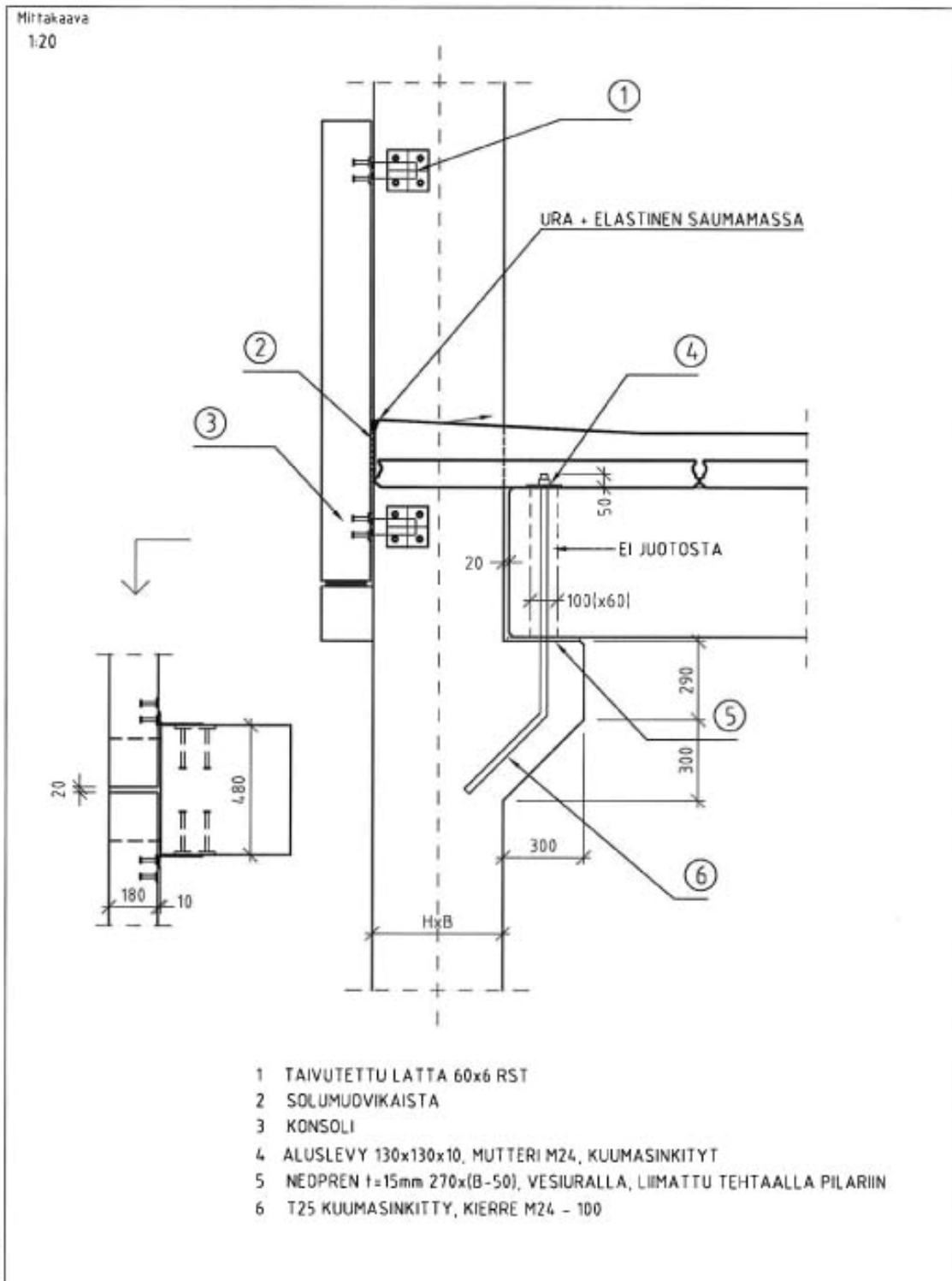
Palonsuojaus

Detaljipiirustuksen täydentäminen

**Huom!** Kaide-elementin kiinnitys voidaan tehdä myös ilman hitsaamista esim. käyttämällä kiinnitysalustana ankkurikiskoa ja siihen tulevaa kiinnityspulttia sekä pilarissa että kaiteessa.

**Parma Oy / Tason liitos kaide-elementtiin**

Rakennuskohde	Sisältö TASON LIITOS KAIDE-ELEMENTTIIN		
Suunnittelija  PARMA OY	Työn nro	Piir. nro	
	Päiväys	Tekijä	P_DET 6



## 4.4 Esimerkki 3 - Kuorielementin kiinnitys

Betonikeskus ry - Vakioliitosdetalji DKE001 - Kuorielementin kiinnitys

### 1. Vaatimukset

Omapaino - pystykuormat

Tuulikuorma

Ripustuskuormat

Rasitusluokka

Betoninormien mukaan vaatimusluokitukset kuorielementin kiinnitykselle:

- yleensä joko XC3 tai XC4 ja XF1.
- jos sokkelissa, jonka vierustaa suolataan: XD1, XF2 ja XC3 tai XC4.

Lämpöliikkeet, kutistuma

### 2. Suunnittelussa huomioon otettavat seikat

Elementin oman painon kannatteleva

Terästangon (2) mitoitus / tuulen paine ja imu

Elementin aseman säätäminen pystysuunnassa / pystykuormituksen siirtyminen

Hitsausmerkinnät / hitsin mitoitus / lisäainevalinta / jälkikäsittely

Betonijuotomateriaalin valinta

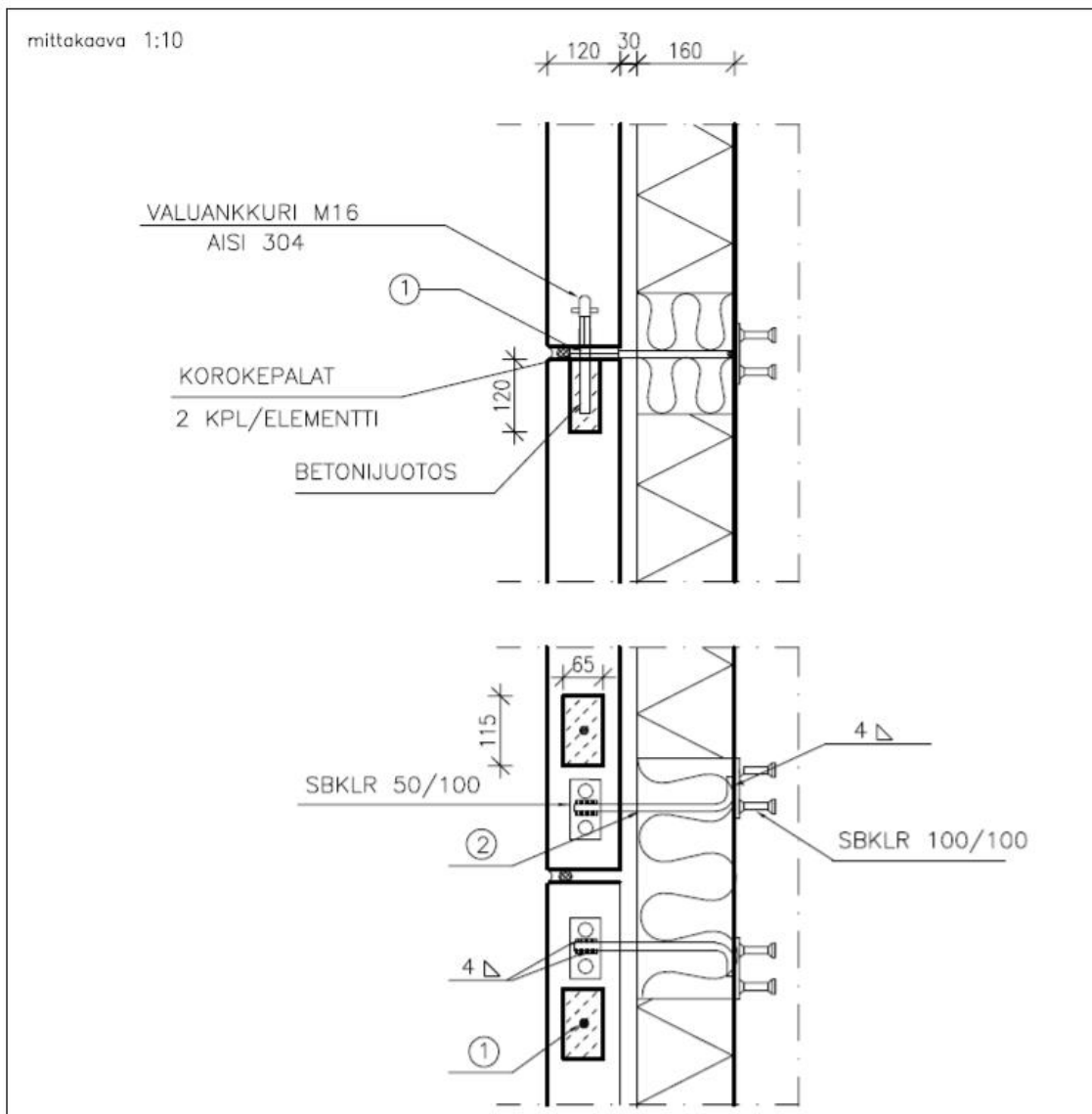
Detaljipiirustuksen täydentäminen

Reunaetäisyyksien tarkistaminen betonielementissä

Huom! Elementin kiinnitys voidaan tehdä myös ilman hitsaamista esim. käyttämällä kiinnitysalustana ruostumattomia ankkurikiskoja ja väliin tulevaa kiinnityspulttia.

**Tyypiliitos DKE001**

	Sisältö KUORIELEMENTIN KIINNITYS	
Suunnittelija	Työn nro	DKE001
	Päiväys	



- TERÄSOSAT RUOSTUMATTOMIA

MATERIAALI- JA TARVIKELUETTELO						TUNNUS:	
RY	PO	MAT/TAR	TYYPPI	KOKO	LAATU	MÄÄRÄ	HUOM.
TKP	1	KIERRETANKO		M16	AISI304	2 kpl	
RS	2	TERÄS		ø10	AISI304	2 kpl	

## 4.5 Esimerkki 4 - Tuulipilarin ja TT-laatan liitos

Betonikeskus ry - Vakioliitosdetalji DP501 - Tuulipilarin ja TT-laatan liitos / lämmin

### 1. Vaatimukset

Pilarin ja TT-laatan kuormitukset

- pilarin tuulikuormat
- muut mahdolliset julkisivukuormitukset

Lämpöliikkeet, kutistumat

Rasitusluokkavaatimukset (riippuu päälle tulevasta rakenteesta)

Lämmin sisätila:	Esim. 1	tai	Esim 2
	vesieristys		vesieristys
	betonilaatta		kova kattovilla
	kevytsora (kallistumat)		aluskattovilla (uritettu)
	höyrysulku		höyrysulku
	TT-laatta		TT-laatta
vaatimus:	X0		X0

Huom., jos kylmä tila:	Esim.
	pintabetoni + vesieristys + TT-laatta
vaatimus:	yläpinta: XC4, XF2 ja XD1
	alapinta: XC3 ja XF1

Taipumaerot

Käyttötarkoitus - kloridirasitus

### 2. Suunnittelussa huomioon otettavat seikat

Lattateräkseen kohdistuvat rasitukset

- vetorasitus (puristus välissä olevan kiilan kautta)
- taiputus, johtuen taipumaeroista
- leikkausvoimat laatan sivusuunnassa

Hitsausliitokset / hitsien mitoitus yksinkertaistelulla menetelmällä (Eurocode) / lisäaineet

Materiaalit / teräslajit (käyttötarkoitus) / lämmöneriste

Valmistustapa / asennus / rakennettavuus

Pintakäsittely työmaalla - maalaus

Mahdollisen pintabetonin irroitukset

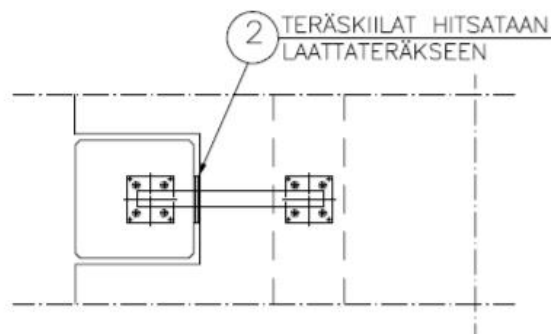
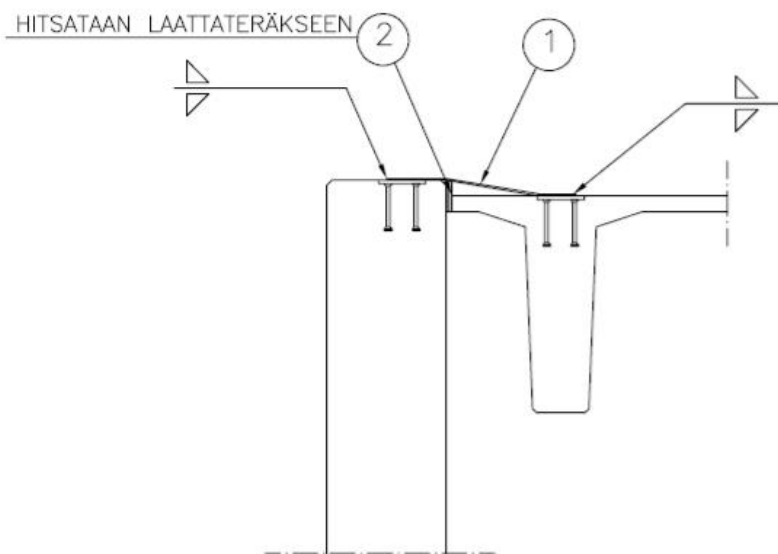
Huom. On käytettävissä myös vastaava ruuviliitos.



**Tyypiliitos DP501**

	Sisältö TUULIPILARIN JA TT-LAATAN LIITOS	
Suunnittelija	Työn nro	DP501
	Päiväys	

mittakaava 1:20



MATERIAALI- JA TARVIKELUETTELO						TUNNUS:	
RY	PO	MAT/TAR	TYYPPI	KOKO	LAATU	MÄÄRÄ	HUOM.
TLA	1	LAATTATERÄS		50*6 L	S235J2G3	1 kpl	
VPU	2	TERÄSKIILAT		100*150*..	S235J2G3		

## 4.6 Esimerkki 5 - Sisäkuoresta tuettu parvekelaatta

Betonikeskus ry - Vakioliitosdetalji DSK001 - Sisäkuoresta tuettu parvekelaatta / 2...4. kerros / julkisivumuuraus

### 1. Vaatimukset

Kuormitukset

- omapaino - hyötykuormat

Lämpöliikkeet

Laatan kutistuminen

Rasitusluokka

Betoninormien mukaan ympäristörasitukset parvekkeen laatalle:

- yläpinta: XC4 ja XF3, ja alapuoli: XC3 ja XF1.
- huonetilan puolella luokitus X0 (lämmin tila).

Palonkestävyysvaatimus

Säädettävyys / rakennettavuus

### 2. Suunnittelussa huomioon otettavat seikat

Harjateräslenkin mitoitus

Tukena olevan putkiprofiilin (5) mitoitus

Tukipintojen alojen tarkistus

Harjateräslenkin ja putken liitos

- harjateräksen asentaminen paikoilleen

Korotusten suunnittelu / asennuspalat

Putken liitos kiinnityslevyyn elementin päällä

- työturvallisuus

Lämmöneristysten asennus ja paikkaus

Parvekelaatan tukiputken materiaalivalinta

Palonsuojausten tarkastaminen

Piirustuksen mittojen täydentäminen



## 4.7 Esimerkki 6 - Pilarin pulttikiinnitys

Betonikeskus ry - Vakioliitosdetalji DP112 - Pilarin pulttikiinnitys (pilarin lujuusluokka >60)

### 1. Vaatimukset

Kuormitukset

- aksiaalivoimat
- taivutusmomentit, leikkausvoima
- törmäyskuormat (esim. RIL144, kohta 5.52)
- mahdollisesti maanpainekuorma

Rasitusluokka

Betoninormien mukaan vaatimusluokitukset:

Lämmin tila: XC1

Kylmä tila:

- perustapaus (esim. varastohalli): XC3 tai XC4 ja XF1.
- esim. pysäköintitalossa: XC3 tai XC4 ja XF2, XD1.

Käyttötarkoitus – ulkotiloissa mahdollisesti kloridirasitus

### 2. Suunnittelussa huomioon otettavat seikat

Peruspulttien (kehikkojen) mitoitus

Rakenteen asennusaikainen tuenta

- ohjeiden mukaiset asennuskehikot
- asennuspalojen käyttö
- mutterien kiristys ja varmistaminen

Jälkivalu - valun ajoitus – talvirakentamisessa valun jäätyminen esto

- valut valmiiksi ennen ylempien osien asennusta!

Pilarin työnaikainen tuenta

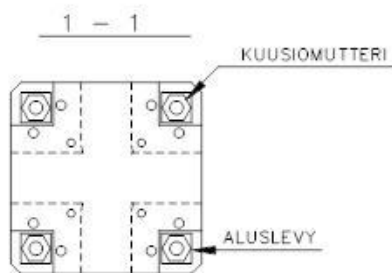
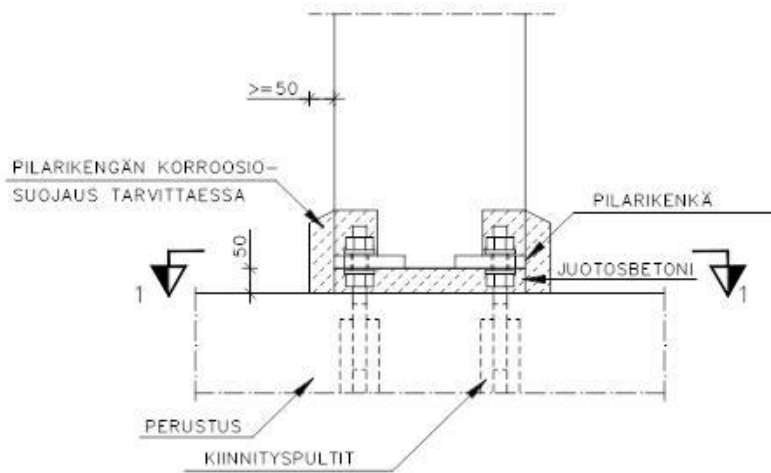
Liitoksen käyttöikäsuunnittelu - suojaus betonilla - materiaalivalinta

Maanpaine - upotuskolo

**Tyypiliitos DP112**

	Sisältö PILARIN PULTTIKIINNITYS (PILARIN LUJUUSLUOKKA >60)	
Suunnittelija	Työn nro	DP112
	Päiväys	

mittakaava 1:10



PULTIN KOKO	ALUSLEVYN KOKO
M 16	60*60*6, TAI ø 38
M 20	60*60*6, TAI ø 46
M 22	60*60*6, TAI ø 55
M 24	60*60*8, TAI ø 55
M 27	60*60*8, TAI ø 65
M 30	60*60*8, TAI ø 65
M 36	60*60*8, TAI ø 80
M 45	100*100*10, TAI ø 100
M 52	100*100*10, TAI ø 100

MATERIAALI- JA TARVIKELUETTELO						TUNNUS:	
RY	PO	MAT/TAR	TYYPPI	KOKO	LAATU	MÄÄRÄ	HUOM.

## Kirjallisuus

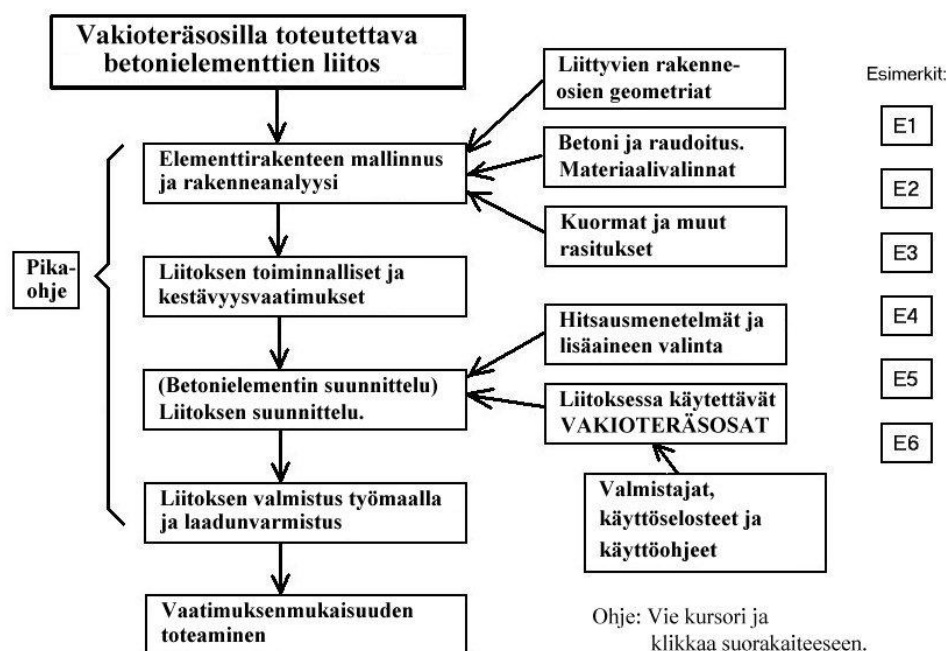
1. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B7. Teräsrakenteet. Ohjeet 1988. Ympäristöministeriö.
2. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B4. Betonirakenteet. Ohjeet 2005. Ympäristöministeriö.
3. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa A1. Rakennustyön valvonta. Määräykset ja ohjeet 2000. Ympäristöministeriö.
4. Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Määräykset ja Ohjeet A2. Ympäristöministeriö 2002.
5. Valtioneuvoston asetus elementtirakentamisen työturvallisuudesta, N:o 578. 2003.
6. EN 1990. Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures. Part 1: Basis of Design. ENV 1990-1. CEN/TC250. 1993. 76 s.
7. EN 1991-1. Eurocode 1: Execution of steel structures - Part 1: General rules and rules for buildings.
8. EN 1991-1-7: Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-7: General actions - Accidental actions. 66 s.
9. prEN 1991-1-6. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-6: General actions - Actions during execution. 29 s.
10. SFS 2373. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 38 s.
11. SFS 2378. Hitsaus. Väsyttävästi kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 51 s.
12. SFS-EN 25817. Hitsaus. Terästen kaarihitsaus. Hitsiluokat. 20 s. Aiempi vastaava standardi oli SFS-EN ISO 5817.
13. RIL 144-2002. Rakenteiden kuormitusohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. Helsinki 2002, 205 s.
14. TRY Teräsnormikortti N:o 18/2005. Hitsausliitosten laadunvarmistus ohjeiden B7 mukaan. 11 s.
15. Teräsrakenneyhdistys ry. TSP - Teräsrakenteiden suunnittelun uudet pelisäännöt. Projektiraportti 1990.
16. EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for building. 91 s.

17. EN 1993-1-10. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties. 16 s.
18. EN 1993-1-8. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of Joints. 133 s.
19. Kalamies, U. Teräsrakenteiden toteutuksen uudet standardit prEN 1090-1 ja prEN 1090-2. Teräsrakenne 2 / 2005. s. 38-41
20. prEN 17660-1:2004 Welding - Welding of reinforcing steel - Part 1: Load bearing welded joints. 38 s.
21. SFS-EN ISO 14713. Teräs- ja rautarakenteiden korroosionesto. Sinkki- ja alumiinipinnoitteet. Ohjeisto. 63 s.
22. Lähde: Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Hitsausuutisissa julkaistut artikkelit, osat 1–5. Juha Lukkari. OY ESAB
23. Hitsaajan Opas 2003. Rautaruukki Steel. Raahe. 104 s.
24. Ratu-kortti 31-0241. Teräsrunkotyö. 2002. 12 s.
25. Ratu-kortti 25-0278. Ontelo- ja TT-laattaelementtityö. 2004. 9 s.
26. Ratu-kortti 25-0281. Väli- ja ulkoseinäelementtityö. 2004. 8 s.
27. Sistonen, E., Tukiainen, P., Peltola, S. Skriko, S. ja Huovinen, S. Teräsbetonirakenteiden korroosioriskin rajoittaminen ulko-olosuhteissa - osa II. Julkaisu TKK-TRT-121. 313 s.
28. Hitsauslisäaineet 2003. ESAB. Vantaa 2003. 316 s.
29. Lukkari Juha. Musta / ruostumaton teräs -eripariliitosten hitsaus. Kunnossapito-lehti, erikoisliite. N:o 59. Lehti 7. v. 2000. s. 3-24.
30. Tapio Leino. Taustaselvitys vuoden 2003 aikana tapahtuneista rakenneaurioista ja niiden syistä. VTT tutkimusraportti RTE608/04. 8 s.
31. Rautaruukin terästuotteet. Suunnittelijan opas. Rautaruukki. v. 2000. 319 s.
32. SFS-EN ISO 5817, Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. 2004.
33. SFS-EN 287-1, Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset. 2004
34. SFS-EN 729-3, Hitsauksen laatuvaatimukset. Metallisten materiaalien sulahitsaus. Osa 3: Vakiolaatuvaatimukset. 1995
35. SFS-EN 719, Hitsauksen koordinointi. Tehtävät ja vastuut. 1994
36. SFS-EN 473 Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet. 2001

37. SFS-EN 970 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. 1997
38. SFS-EN 22553. Hitsausliitokset ja juotokset. Merkinnät piirustuksiin. 1994. 1+55 s.
39. Wallin T. (suom. Harju T.) Kuumasinkitys. Käsikirja. v. 2000. 37 s.
40. PSK 2702. PSK Standardointi. Kuumasinkittyjen teräsrakenteiden hankinta ja maalaus. Käyttösuositus prosessiteollisuudelle. 2004. 26 s.
41. Kalle Tanskanen & Jukka Jokela, Betoniin tehtävien kiinnitysten turvallisuus, VTT Tiedotteita nro 1290, Espoo, 1991, 100s. + liitt. 16 s.
42. ECCS NO 93. Eurocode 3 ja 4 mukaisten teräsrakenteiden toteuttaminen: Opas ENV 1090-1:n käyttöön. Epävirallinen käännös. Ensimmäinen painos. 1997. 24 s.
43. Tenhunen, O. Lisensiaattityö. Metallilasirakenteisen kaksoisjulkisivun materiaalien soveltamiskriteerit. TKK-TER-28, Teknillisen korkeakoulun teräsrakennetekniikan laboratorion julkaisuja 28. Espoo 2003. 104 s. + liitt. 43 s.
44. SFS-EN 22063. Metalliset ja muut epäorgaaniset pinnoitteet. Terminen ruiskutus. Sinkki, alumiini ja niiden seokset. 1994. 23 s.



## LIITOSSUUNNITTELUN YDINOHJE



### 1. Suunnitteluohjeet

Betonielementtirakenteiden valmistamista ja asentamista on käsitelty valtioneuvoston asetuksessa elementtirakentamisen työturvallisuudesta, jonka mukaan "Elementtirakentamiseen sovelletaan rakennustyön turvallisuudesta annettua valtioneuvoston päätöstä (629/1994) sekä työtelineiden ja putoamisen estävien suojarakenteiden käytöstä rakennustyössä annettua sosiaali- ja terveysministeriön päätöstä (156/1998)". Betonielementtien liitosten suunnittelua, valmistusta ja asennusta käsitellään Betoninormeissa 2004 (By 50) seuraavissa kohdissa (taulukko 1):

**Taulukko 1.** Betonielementtien välisten liitosten suunnittelu ja valmistus.

Kohta	Otsikko/sisältö
1.1 ja 1.2	Rakennesuunnittelijan ja betonityönjohtajan pätevyydet
1.3	Asiakirjat, piirustukset ja työselitys, elementtipiirustuksessa elementtien osalta esitettävät asiat (liittyen asennukseen ja nostoihin)
1.3.5	Muut asiakirjat (asennussuunnitelma, kelpoisuuden toteaminen)
2.6.1	Eriyisohjeet, elementtirakenteet
3.4	Säilyvyysuunnittelu, muut säilyvyysuunnittelun ohjeet
4.2.5	Rakenteiden valmistus, betonielementtejä koskevat erityisohjeet
5.3	Rakenteiden valmistuksen laadunvalvonta
6.4.4	Kuormia siirtävät metalliosat ja ankkurit

## 2. Suunnittelun lähtötiedot

Betonielementtirakenteiden suunnittelu tapahtuu betoninormien mukaan. Elementtirakenteita koskevat erityisohjeet on mainittu luvuissa 2.6.1 ja 4.2.5. Suunnittelu perustuu elementtien välisiin rasituksiin ja voimiin, sekä rakenteen geometriaan.

<b>Kuormista selvittävät asiat</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• liittyvien rakenneosien / elementtien geometriatiedot ja tuennat,</li><li>• vaikuttavat normaalikuormitukset (omapaino ja hyötykuormat),</li><li>• muut rasitukset (lämpötilamuutokset, epäkeskeisyydet),</li><li>• erityis- ja onnettomuuskuormat sekä palonkestovaatimus</li><li>• maanjäristyskuormitus seismisillä alueilla,</li></ul>
<b>Kuormien yhdistelyssä selvittävä</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• osavarmuuskertoimet, ja <b>määräävä</b> kuormitusyhdistely liitokselle ja sen kullekin rakenneosalle.</li><li>• onko kyseessä voimaliitos, ja niissä käytetyt liitostavat, vai</li><li>• onko kyseessä rakenne-elementtien sivuttaistuenta tai muu sekundäärirakenteiden liitos.</li></ul>
<b>Liitoksen määräävät rasitukset (yhteisvaikutus)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Liitoksen suurimmat rasitukset ja vastaavat muut kuormituskomponentit sekä rakennusaikana että valmiina rakenteena:<ul style="list-style-type: none"><li>- suurin Normaalivoima N, vastaavat leikkausvoima Q ja taivutusmomentti M</li><li>- suurin leikkausvoima Q, vastaavat normaalivoima N ja taivutusmomentti M</li><li>- suurin taivutusmomentti M, vastaavat normaalivoima N ja leikkausvoima Q.</li></ul></li></ul>
<b>Tarkistettavat käyttörajatilaehdot</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• sallitut kuormitusten aiheuttamat muodonmuutokset (käyttörajatila) oletetuilla reunaehdoilla,</li><li>• liitoksen toiminnalliset vaatimukset (nivel, jousto, muodonmuutoskyky):</li><li>• muut työmaalla tarkastettavat ominaisuudet (esim. liikevarat).</li></ul>

Betoninormin kohdan 2.6.1 mukaan suunnitelmissa osoitetaan rakenteen ja sen osien vakaavuus rakennusaikana ja valmiina rakenteena. Rakentamista varten tehdään elementtien asennussuunnitelma, jonka rakenteiden pääsuunnittelija hyväksyy.

## 3. Liitossuunnittelu

Teräsrakenteiden suunnitteluohje RakMk B7 esittää kohdassa 9.4 hitsauksesta, että rakenne-  
luokkaan 1 ja 2 kuuluvien rakenteiden valmistajalla tulee olla valmistuksessa ja asennuksessa käytettävistä hitsausmenetelmistä hitsausohjeet (WPS). Hitsausohjeet hyväksyy sovellettavan standardin mukaisen järjestelmän ainetta rikkomattomia tarkastuksia tekevän 2. tason tai hitsausinsinöörin pätevyyden omaava henkilö. Kyseinen kohta koskee myös rakennuspaikalla suoritettavaa hitsaamista.

Hitsauksesta laaditaan suunnitelma, jota tehtäessä selvitetään tarpeen mukaan mm. seuraavat asiat: hitsausolosuhteet, menetelmät ja laitteet, hitsausjärjestys, railon muodot, hitsausasennot, hitsausenergia, esilämmityksen tarve, lisäaineet, hitsien jälkikäsittely, hitsien tarkastus (menetelmät ja laajuus), tarvittavat menetelmäkokeet.

Elementtien välisiä kiinnikkeitä ei kaikissa tapauksissa ole tuoteistettu ja hyväksytetty vakio-teräsosiksi. Kyseiset osat ja liitokset, missä niitä käytetään, tulee suunnitella ja mitoittaa kuhunkin kohteeseen soveltuvilla ohjeilla ja lähtötiedoilla.

<b>Betonin ja rauditusteräksen välinen tartunta</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Onko tartunnat ja lujuus betoniin selvitetty RakMk:n ohjeen B4 mukaan</li><li>• Mitkä ovat mitta- ja valmistustoleranssit, vaikutukset</li></ul>
<b>Vaatimukset teräsosille</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Korroosiovaara, pinnoitustarpeet (standardi)</li><li>• Löytyykö koon puolesta soveltuva vakioteräsosa</li><li>• Onko sovellettavat standardit ja käyttöselosteet valmistajan käytettävissä tai työmaalla</li><li>• Kattaako teräsosan käyttöseloste kyseisen käyttötavan</li></ul>
<b>Liitoksen vaurioitumismahdollisuudet</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mahdolliset murtumistavat / mitoitustarve</li><li>• Mahdolliset onnettomuustilanteet</li></ul>
<b>Hitsausliitokset vakioteräsosaan</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Onko laadittu hitsausohje (WPS)</li><li>• Tuleeko eripariliitoksia</li><li>• Onko mukana sinkittyjä hitsattavia liitososia</li><li>• Betoniterästen liitokset teräsosaan</li><li>• Käytettävät hitsauslisäaineet (tai vast.)<ul style="list-style-type: none"><li>- Teräs/teräs</li><li>- Teräs/ruostumaton teräs</li><li>- Ruostumaton/ruostumaton teräs</li></ul></li></ul>
<b>Vaatimukset liitoksen muille teräsosille</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Materiaalit</li><li>• Löytyykö liitostyypille soveltuva mitoitusohje, joka vastaa testituloksia</li><li>• Liitoksen kokonaistoimivuus ja sen mitoitus, (kestävyys, jäykkyys, muodonmuutoskyky), Onko jatkuvan sortuman estäminen tarkastettu (B4: kohdat 2.6.1.2.2-3)</li></ul>

## 4. Valmistus

Betonielementtien teräsosin tehtävä liittäminen tapahtuu työmaalla. Elementin sisällä oleva rauditus liittyy yleensä hitsausliitoksella sen pintaan valettuihin teräksisiin liitokkappaleisiin (vakioteräsosat), ja eri elementtien vakioteräsosien välille hitsataan muita kiinnikkeitä ja/tai metalliosia, joiden tulee kyetä siirtämään kuormat ja muut rasitukset.

<b>Liitokset luokittelu</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Valittu liitostekniikka, onko tarkoitus käyttää vakioliitoksia ja/tai vakioteräsosia</li><li>• Liitoksen ympäristöolosuhteet ja rasitusluokka</li></ul>
<b>Liitoksen metalliset osat</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Vakioteräsosat, valitut tuotteet, valmistajat, vakioteräsosien käyttöselosteet ja -ohjeet</li><li>• Muut kiinnityksessä tarvittavat metalliosat</li></ul>

**Materiaalivaatimukset**

- Käytettävät materiaalit ja niiden vaatimukset, teräslajit (lamellirepeilyvaara, Z-teräkset)
- Osien iskusitkeys- ja hitsattavuusvaatimus
- Onko käytetty ruostumatonta ja/tai sinkittyä terästä, hitsausohje
- Lisäosien materiaalien valinta, hitsauslisäaineen valinta
- Hitsi-, materiaali- ja muut merkinnät piirustuksiin.

**Liitoksen valmistuksen suunnittelu**

- Liitososien suojaaminen vaurioilta kuljetuksen aikana
- Hitsaajan pätevyys, hitsausohje (WPS). Soveltuuko pienahitsaus
- Hitsausliitosten laaduntarkastus ja dokumentointi (kuka kokoaa aineiston laaduntarkastusta varten)

**Liitosten valmistus rakennuspaikalla osana elementtiasennusta**

- Asennustyönjohtajan pätevyys / työnjohtotehtävän vaativuus
- Rakennustuotteiden vastaanottotarkastus ja korjaus
- Rakenteiden nostot ja tuenta vs. liitokset
- Hitsaaminen työmaaolosuhteissa - toimenpiteet - vastuut
- Ruostumattoman ja rakenneteräksen (eripariliitokset) hitsaaminen
- Työmaahitsien tarkastus - työmaakohtaiset ohjeet

Betoninormien mukaan (kohta 4.2.5.2) elementtiasennusta johtavan työnjohtajan tulee omata riittävät tiedot valmiin ja asennusaikaisen rakenteen toiminnasta, työnsuunnittelusta, asennuksesta ja työturvallisuudesta sekä riittävä käytännön kokemus elementtiasennustyön johtamisesta.

Työmaalla tulee olla elementtien asennussuunnitelma, jonka vastaava rakennesuunnittelija osaltaan on hyväksynyt.

## 5. Liitosten vaatimuksenmukaisuuden toteaminen

**Liitoksen vaatimuksenmukaisuuden toteaminen**

- Löytyykö liitostyyppin testituloksia / vrt. Eurocode (EN 1993-1-6, kohta 2.1)
- Missä säilytetään liitosten mitoituslaskelmat ja muut dokumentit
- Valmiin liitoksen tarkastustarve

**Liitoksen kunnossapitomahdollisuudet ja huolto**

- Liitosten tarkastettavuus ja huollettavuus
- Liittyvien osien vaihdettavuus
- Käyttöikäarviot osille, jos pienempiä kuin muun rakenteen käyttöikä,