

Opinnäytetyö AMK

Tekniikan koulutus

2023

Henri Hänninen

Rakennustyömaiden  
hitsausvirheiden  
korjaushitsausprosessi

Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tekniikan koulutus | Insinööri

2023 | 62 sivua

Henri Hänninen

## Rakennustyömaiden hitsausvirheiden korjaushitsausprosessi

Tässä opinnäytetyössä analysoidaan esimerkkejä yleisistä hitsausvirheistä ja niiden syistä. Hitsausvirheiden lisäksi esitetään asennuspintoihin liittyviä yleisiä ongelmia. Hitsausvirheiden ratkaisemiksi esitellään korjaushitsausprosessi ja asennuspintojen ongelmille esimerkkiratkaisuja. Opinnäytetyön tavoitteena on tarjota yksinkertaisia keinoja virheiden ja niiden syiden tunnistamiseen sekä välttämiseen. Tarkoitus on myös esitellä käytännön ratkaisuja näiden ongelmien korjaamiseksi.

Opinnäytetyö perustuu asiakkaille toimitettujen asennustöiden ja korjaushitsaustöiden aikana dokumentoituihin havaintoihin. Lopuksi käsitellään työkokemuksen perusteella yleisiä syitä virheille ja esitetään keinoja niiden välttämiseksi.

Opinnäytetyössä ilmenee, että esitettyjen hitsausvirheiden juurisyyt ovat koko työhierarkian epäonnistuminen. Ratkaisuksi esitetään standardin mukaista toimintaa, dokumentaatiota ja suunnittelua.

Asiasanat:

hitsaus, korjaushitsaus, hitsausvirheet, korjaus, asennus, rakennustyömaat, teräsrakenteet

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Bachelor of Engineering

2023 | 62

Henri Hänninen

## Repair welding process for on-site welding flaws and imperfections

The goal of this thesis is to present simple and easy-to-implement solutions for correcting, detecting, and preventing common welding flaws and issues related to SBKL fastening plates.

This thesis presents a collection of common welding imperfections and flaws, provides an analysis of them, and showcases an example of a repair welding process used to correct them. In addition to welding imperfections and flaws, common issues relating to SBKL fastening plates are presented along with example solutions. The thesis is based on documented observations from repair welding and on-site installation work provided to clients.

The conclusion of the thesis explains that the presented flaws, imperfections, and mistakes result from a complete failure of the work hierarchy. The presented solution to the root of the issue is the proper implementation and use of relevant standards.

Keywords:

welding, repair welding, welding flaws, installation, building sites, steel constructions

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Korjaushitsausprosessi</b>	<b>9</b>
<b>3 Esimerkkejä työmailta</b>	<b>12</b>
3.1 Työmaa A	12
3.1.1 Korjattavien rakenteiden tarkastelussa ilmenneet ongelmat	12
3.1.2 Ehdotus puuttuvan asennuspinnan korjaamiseksi	21
3.2 Työmaa B	22
3.2.1 Kulmarauodoissa havaitut ongelmat	23
3.2.2 Konsoleissa havaittuja virheitä	28
3.2.3 Vaurioitunut kierretanko	33
3.2.4 Esimerkkejä suoritetuista korjauksista	34
3.3 Työmaa C	40
3.3.1 Osissa havaittuja virheitä	40
3.3.2 Osien korjaus	43
<b>4 Asennuspintoihin liittyviä yleisiä ongelmia</b>	<b>44</b>
4.1 Kuvaesimerkkejä asennuspintoihin liittyvistä yleisistä ongelmista.	44
4.2 Ratkaisuja yleisiin asennuspintojen ongelmiin	48
4.2.1 Virheellinen paikoitus	49
4.2.2 Syvyyspaikoitusvirhe	49
4.2.3 Kallistumat	50
4.2.4 Puuttuvat asennuspinnat	52
<b>5 Virheiden syntyminen ja välttäminen</b>	<b>53</b>
5.1 Suunnittelu	53
5.2 Erityisiä huomioita hitsauksesta	54
5.2.1 Musta-ruostumaton-eripariliitoksien hitsaus	54
5.2.2 Sinkityt teräsosat	55
5.3 Hitsauspuikon koon valinta	57
5.4 Väärän lisäaineen tai prosessin käytön estäminen	58

5.5 Asennuksen ja hitsauksen ajoittaminen työmaalla.	58
5.6 Asennuksien ja hitsauksien aikataulutus	59
5.7 Kohteeseen pääsy ja työergonomia	59
5.8 Sääsuojaus	60
<b>6 Lopuksi</b>	<b>61</b>
<b>7 Lähteet</b>	<b>62</b>

## **Kaavat**

Kaava 1. Virhetyyppi 613 a-mittakompensaation laskentakaava (SFS 1090-2, 2018, 54).	16
Kaava 2. Pienahitsin a-mitan määrittäminen (SFS 1708-2:2018, 2018, 8).	50

## **Kuvat**

Kuva 1. Korjattavan kohteen merkintä.	9
Kuva 2. Elementin rakennukseen kiinnittävä osa.	13
Kuva 3. Puuttuva asennuspinta korvattu hitsaamalla kiinnitysrauta nostolenkkiin ja betoniruuviin.	14
Kuva 4. Väärin sovitettu kiinnitysrauta johtanut liian suureen ilmarakoon.	15
Kuva 5. Kaavaa 1 selventävä kuva.	17
Kuva 6. Vain sivuilta hitsattu kiinnitysrauta.	17
Kuva 7. Kuvan 6 hitsin valokaaren kuljetus.	19
Kuva 8. Vain yhdeltä sivulta hitsattu kiinnitysrauta.	20
Kuva 9. Kuvan 3 kohteen puuttuvan asennuspinnan korjausehdotus.	21
Kuva 10. Virheellisesti hitsattu kulmarauta, jonka hitsissä betonipölyn aiheuttamaa kontaminaatiota.	23
Kuva 11. Virheellisesti hitsattu kulmarauta, jossa on kuonasulkeumia.	24
Kuva 12. Kulmarauta, jossa sovitusvirhe, hitsausvirheitä ja ylisuuri ilmarako.	26

Kuva 13. Asennuspinta pilarin tason ulkopuolella, sovitusrinne kulmaraudassa ja riittämätön hitsi.	27
Kuva 14. Konsoli, jossa hitsausvirheitä ja huono sovitus.	28
Kuva 15. Kuvan 14 alapinnan hitsi poishiottuna.	29
Kuva 16. Konsoli, jossa hitsausvirheitä ja ahdas asennustila.	30
Kuva 17. Elementtitehtaalla hitsattu konsoli.	31
Kuva 18. Elementtitehtaalla hitsattu konsoli, jonka hitsin oli poishiottu.	32
Kuva 19. Vaurioitunut kierretanko.	33
Kuva 20. Kuvan 10 kohde korjattuna.	34
Kuva 21. Kuvan 11 kohde korjattuna.	35
Kuva 22. Kuvan 14 kohde korjattuna.	36
Kuva 23. Kuvan 14 kohteen väliaikainen tuenta.	37
Kuva 24. Virheellisesti betonivalumaksi oletettu hitsi.	38
Kuva 25. Kuvan 19 kohde korjauksen jälkeen.	39
Kuva 26. Työmaan C korjattava osa.	41
Kuva 27. Neljä esimerkkiä löytyneistä ongelmista.	42
Kuva 28. Huonossa asennossa oleva asennuspinta.	44
Kuva 29. Betonin alle piiloon jäänyt asennuspinta.	45
Kuva 30. Syvällä elementissä oleva asennuspinta.	45
Kuva 31. Väärässä paikassa oleva asennuspinta.	46
Kuva 32. Useita väärässä paikassa olevia asennuspintoja.	46
Kuva 33. Asennuspinta valupinnan ulkopuolella	47
Kuva 34. Vajaa betonivalu asennuspinnan takana.	47
Kuva 35. Kuvan 28 kohde sovitettuna esivalmisteltuun asennuspintaan.	48
Kuva 36. Kahden akselin kallistuman kompensointi sovittamalla teräsosa.	51
Kuva 37. Hitsattava kohde styroksieristeiden välissä.	54
Kuva 38. Musta-ruostumaton-eripariliitos, jossa liitettävä osa kuumasinkitty.	57

# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee korjaushitsausprosesseja, joita olen käyttänyt työssäni. Esitetyt esimerkit ovat dokumentoimiani aitoja korjauskohteita vuosien 2021–2023 ajalta. Näitä ei alun perin oltu dokumentoitu käytettäväksi tässä opinnäytetyössä. Kuvamateriaali oli tarkoitettu oman työprosessini, työmäärän ja tarvikkeiden kulutuksen seurantaan sekä asiakkaalle tehtävää selontekoa varten.

Nämä esitettävät kohteet ovat minut työllistäneen pienen konepajayrityksen Profiksaus OY asiakkaiden työmailta. Yritys on antanut minun suorittaa opintoja ja tehdä töitä joustavalla mallilla, kuten myös kannustanut ja ajoittain vaatinut opintojeni etenemistä, mistä yritys ansaitsee suuret kiitokset.

Valitsin käsiteltävän aiheen, koska tehdessäni korjauksia useilla eri työmailla havaitsin, että samat ongelmat ja virheet toistuvat eri työmailla rakennusyhtiöstä tai osallisena olevista alihankkijoista huolimatta. Asiasta keskustellessa työmaiden mestarien, työnjohtajien tai muiden vastaavien tahojen kanssa kävi ilmi, että heillä ei ole riittävästi tietämystä tai ymmärrystä hitsauksesta ja teräsrakenteista. Vastavalmistuneet insinöörit ja mestarit valittivat, että edes osana heidän opintojaan asiasta ei juuri puhuttu. Kaikki asiakkaat ovat aina halunneet enemmän helposti käytettäviä työkaluja ongelmien diagnosointiin ja ratkaisemiseen.

Tässä opinnäytetyössä käsittelen kolmea työmaata, joissa on jokaisessa visuaalisesti samankaltaisia ongelmia, mutta ne ovat todellisuudessa erilaisia luonteeltaan. Tämän lisäksi tarkastelen yleisiä ongelmia asennuspinnossa, sillä ne ovat osa ongelmakokonaisuutta, jota käsittelen tässä opinnäytetyössä.

Kuten mainittu, kuvamateriaali on henkilökohtaista ja tekijänoikeudenalaista materiaaliani. Se on taltioitu ennen tämän opinnäytetyön aloittamista.

Hyödynnän myös aiempaa työkokemustani levyseppänä, hitsaajana ja asentajana tehdas-, konepaja-, telakka- ja rakennustyömaaympäristöissä. Tätä työkokemusta, kuten myös tietoa, jota olen saanut vanhemmilta ja

kokeneemmilta työntekijöiltä, tulkitaan insinööriopintojeni kautta opitulla analyyttisellä ja kriittisellä ajattelulla.

On hyvä pitää mielessä, että kaikki tässä työssä esitettävät työmaat ja ongelmat ovat sellaisia, jotka asiakkaat ovat itse halunneet korjata. Ongelma ei ole, etteikö tahtoa näiden ongelmien ratkaisua varten ole, vaan se, että niiden havaitsemiseen ja ratkaisemiseen ei ole tarpeeksi työkaluja käytettävissä.

Tämä opinnäytetyö kykenee vain raapaisemaan esiteltävän ongelman pintaa. Siksi on toivottavaa, että myös muut innostuisivat tutkimaan aihetta. Erityisesti toivoisin, että he, jotka ovat jo olleet töissä teollisuudessa, motivoituisivat opiskelemaan ja tutkimaan aihetta – tätä työtä ei olisi voitu tehdä ilman minun aiempaa työkokemustani työntekijänä teollisuudessa.

Opinnäytetyö alkaa lyhyellä selvityksellä korjaushitsausprosessista. Tämän jälkeen esitetään esimerkkejä työmailta ja analysoidaan niitä. Lopuksi esitän omat näkemykseni siitä, miten virheet ja ongelmat voidaan välttää.



## 2 Korjaushitsausprosessi

Hitsit, jotka eivät vastaa suunnitteluohjeissa määritettyjä vaatimuksia, tulee aina korjata (SFS-EN 1011-2, 2001, 14).

Kun asiakas on tilannut korjaushitsaustyön, se aloitetaan asiakkaan kanssa selvittämällä tilanne. Yleisesti tämä suoritetaan työmaakerroksella, jossa korjattavat kohteet analysoidaan visuaalisesti, jotta saadaan selville seuraavat asiat:

- työkohteeseen pääsy,
- riskit,
- tarvittavat toimenpiteet ja työn määrä.

Korjattavat kohteet merkitään punaisella teipillä, johon merkitään suunnitellut toimenpiteet ja/tai muuta tietoa kohteesta. Merkinnot eivät seuraa mitään standardia, vaan ovat omia muistiinpanojani sellaisessa muodossa, että yrityksen muut työntekijät voivat tarvittaessa ne ymmärtää. Teippi asetetaan näkyvälle paikalle tavalla, joka yksilöi korjattavan kohteen selvästi.



Kuva 1. Korjattavan kohteen merkintä.

Kuvassa 1 esimerkkinä esitetyn korjattavan kohteen merkinnät kertovat toimenpiteet ja niiden suoritusjärjestyksen. Merkinnät on tehty englanniksi ja yksinkertaistetusti, jotta ne avautuvat myös ei-suomenkieliselle työntekijälle. Kuvassa 1 suoritettavat toimenpiteet ovat järjestyksessä:

1. *Remove* – poista. Asennettu osa poistetaan kokonaisuudessaan.
2. *Clean* – puhdistaa. Asennuspinta hiotaan puhtaaksi, mahdolliset reunahaavat tai huokokset poistetaan, täytetään ja hiotaan.
3. *Refit (new)* – uuden osan sovitus. Rakennusprojektin aikana rakenteen tueksi tarkoitetut tuet muutettiin toisenlaiseksi, mutta vanhoja osia ei päätetty vaihtaa, ellei niiden korjaaminen vaatinut erityisesti osan vaihtoa. Täten on toimenpiteeksi sovittu uuden mallisen tuen sovittaminen ja hitsaaminen.

Kuvan 1 korjaus oli osa suurempaa tilausta. Tilaus laajeni kattamaan enemmän toimenpiteitä kuin vain korjauksia, kuten luetelmassa esitetty kolmas toimenpide. Tämä jouduttiin suorittamaan johtuen osan väärästä asemasta suhteessa asennuspintaan. Koska tuessa ollut soikea reikä ei riittänyt elementissä olevan kierteisiin saakka, olivat sen asentaneet henkilöt päättäneet asettaa tuen ja asennuspinnan väliin täytteeksi levyn palasia ja levittäen hitsanneet nämä kiinni yhdeksi kokonaisuudeksi. Tämä ei ollut hyväksyttävä ratkaisu.

Merkintöjen ja alustavan dokumentaation jälkeen itse korjaustyö voidaan suorittaa. Jos tilauksessa on useita samalla tavalla suoritettavia korjauksia, dokumentoidaan vain selvästi yhden kohteen korjaus, jotta korjaustoimenpide voidaan tarvittaessa selvittää selonteossa vaihe vaiheelta. Muuten vain suunnitelluista toimenpiteistä poikkeaminen ja erityistä huomiota vaativat asiat, kuten hitsin sisältä löydetyt virheet, mahdolliset viat ja vahingot asennuspinoissa tai rakenteissa dokumentoidaan kuvilla, ellei toisin ole sovittu.

Koska korjaustyö on tunti-laskutukseen perustuvaa ja tarvittavat tarvikkeet sekä lisäaineet laskutetaan erikseen, on hyvä dokumentoida kuluneet tarvikkeet ja

hitsauslisäaineet joka kohteen tai tilauksen mukaan. Tällöin voidaan tarvittaessa selvittää asiakkaalle käytetyt tarvikkeet ja lisäaineet. Tätä dokumentaatiota käytetään myös yrityksen toiminnan kehittämiseen sekä sisäisessä kommunikaatiossa.

## 3 Esimerkkejä työmailta

Tässä osiossa esitetään tilattuja korjaushitsauksia ja koko toimintaprosessi, jolla operaatio suoritetaan. Esimerkit ovat Varsinais-Suomessa sijaitsevilta työmailta vuosien 2021–2023 ajalta. Yritykset ja työmaat on anonymisoitu. Esitettävä kuvamateriaali on henkilökohtaista työdokumentaatiotani.

### 3.1 Työmaa A

Asiakasyritys tilasi korjaushitsauspalvelun epäilyttävästi suoritettujen asennushitsauksien korjaamiseksi. Työmaalla suoritettuna palaverin aikana kävi ilmi, että asiakasyritys epäili asennushitsauksen suorittaneen hitsaajan käyttäneen väärää hitsaustekniikkaa ja lisäainetta. Kohteen tarkastamisen jälkeen oli selvää, että hitsaukset olivat virheellisiä ja elementtien asennuspinnossa oli virheitä.

#### 3.1.1 Korjattavien rakenteiden tarkastelussa ilmenneet ongelmat

Korjattavien kohteiden tarkastelusta tuli selvästi ilmi, että hitsaajalla ei ollut riittävää pätevyyttä ja kokemusta hitsien asianmukaiseen suorittamiseen. Hitsien ja osien yleisen kunnon visuaalisessa tarkastelussa tuli välittömästi ilmi, että hitsauksessa käytettiin väärää lisäainetta. Elementit rakennukseen sitovat teräsosat ja asennuspinnat oli valmistettu ns. haponkestävästä ruostumattomasta teräksestä (EN 1.4404).



Kuva 2. Elementin rakennukseen kiinnittävä osa.

Työmaalla A havaitut yleiset virheet ja ongelmat:

- Väärä hitsauslisäaine.
- Asennuspintoja ei oltu valmisteltu eikä puhdistettu asiallisesti.
- Kiinnitysrautoja ei oltu sovitettu oikein.
- Hitsien ja kohteen viimeistelyä ei oltu suoritettu.

**Lisähuomio asennuspintojen valmistelusta**

Asennuksen suorittanut ryhmä oli jättänyt asennuspintoihin valmistajan tuotetarrat. Näiden sulaminen ja palaminen oli havaittavissa hitsauksen aikana. Tämä on yleinen merkki laiskasta hitsin esivalmistelusta; jos tätä on havaittavissa, on kokemukseni perusteella yleisesti löydettävissä myös betonin, betonipölyn, bitumiinin sekä korroosio- ja palosuojamaalin aiheuttamia ongelmia ja virheitä hitseissä.



Kuva 3. Puuttuva asennuspinta korvattu hitsaamalla kiinnitysrauta nostolenkkiin ja betoniruuviin.

Kuvassa 3 havaitut virheet:

- Kohde ei ole asennettu asennussuunnitelmissa esitetyllä tavalla.

- Hitsaus on suoritettu väärällä lisäaineella.
- Hitsien mitat eivät ole riittävät.
- Elementistä puuttui asennuspinta.
- Hitsiä ja kohdetta ei ole viimeistelty.

### Lisätietoa kuvan 3 virheistä

Kiinnitysraudan materiaalin ollessa 316L luokan ruostumatonta terästä, nostolenkin materiaalin seostamatonta rakenneterästä ja betoniruuvin sinkittyä seostamatonta terästä, olisi hitsauslisäaine pitänyt valita eripariliitosta varten. Yleisesti musta-ruostumaton-eripariliitos, suoritetaan ns. "Rajapuikolla", eli yliseostetulla lisäaineella kuten 309L. Hitsauslisäainevalmistaja Elga suosittelee musta-ruostumaton-eripariliitoksiin Cromarod® 309L tai 309MoL lisäainetta (Elga, n.d). Koska kohteesta puuttui asennuspinta johon kiinnitysrauta olisi voinut hitsata, kohdetta ei korjattu.



Kuva 4. Väärin sovitettu kiinnitysrauta johtanut liian suureen ilmarakoon.

#### Kuvan 4 virheet

- Väärä hitsauslisäaine.
- Liian suuri ilmarako.
- Liian suuri lämmöntuonti.
- Väärä lopetustekniikka ja paikka.
- Roiskeita ei ole poistettu kiinnitysraudan pinnoista.
- Hitsiä ja kohdetta ei ole viimeistelty.

#### Kuvan 4 ylisuuren ilmaraon määrittäminen ja korjaaminen

Kuvassa 4 esitetyn kohteen hitsin ilmarako ylittää SFS 5817 standardissa esitetyn suurimman hitsin ilmaraon. Johtuen asennuspinnan lievästä kulmasta talon seinän suuntaan ja kiinnitysraudan liian korkeasta paikoituksesta on syntynyt sovitusvirhe. Sovitusvirhe on suurempi kuin SFS 5817 taulukossa 1 esitettyjen hitsausvirheiden raja-arvot. Suurin sallittu sovitusvirhe B hitsiluokan pienahitsissä on enintään 2 mm (SFS 5817, 2014, 19). Standardin SFS 1011-2 mukaan, jos toisin ei ole määritetty on suurin sallittu ilmarako 3 mm (SFS 1011-2, 2001, 10).

Jos hitsin ilmarako ylittää SFS 5817 hitsausvirhestandardin mukaisen asetetun raja-arvon, voidaan se kompensoida kasvattamalla hitsin a-mittaa (SFS 1090-2:2018, 53). Standardissa SFS 1090-2 kohdassa 7.5.8.1 (2018, 54) esitettävä kaava antaa uuden vaaditun hitsin a-mitan:

$$a = a_{nom} + 0,7h,$$

Kaava 1. Virhetyyppi 613 a-mittakompensaation laskentakaava (SFS 1090-2, 2018, 54).

jossa

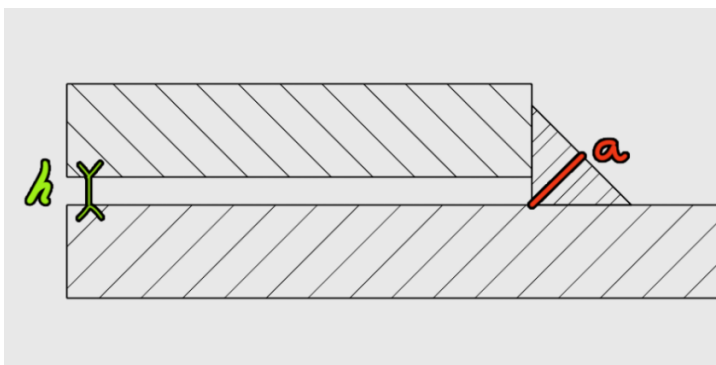
$a$  on kohteen hitsin a-mitta

$a_{nom}$  on rakenteen suunniteltu a-mitta

$h$  on ilmaraon mitta.



Vaikka uuden hitsin a-mitta on suurempi kuin rakenteelle laskettu a-mitta, on hitsin silti noudatettava SFS 5817 kohdan 5213 raja-arvoja (SFS 1090-2, 54).



Kuva 5. Kaavaa 1 selventävä kuva.



Kuva 6. Vain sivuilta hitsattu kiinnitysrauta.

Kuvan 6 virheet:

- Ei hitsausohjeiden mukainen hitsi. Hitsausohjeistuksessa kiinnitysraudat oli esitetty hitsattavaksi kaikilta mahdollisilta sivulta.
- Väärä hitsauslisäaine.
- Väärä hitsauksen suoritustekniikka.
- Liian suuri hitsauksen aikainen lämmöntuonti on johtanut kiinnitysraudan yläpinnan sulamiseen, reunahaavaan ja jyrkkään liittymiseen.
- Asennuspintaa ei ole valmisteltu asiallisesti. Asennuspinnalla ja kiinnitysraudassa on havaittavissa muovin palamisesta tyypillistä tahmeaa hiiltynyttä likaa. Kiinnitysraudan alla on havaittavissa betonipölyä ja hienoa betoniraetta.
- Kiinnitysrautaa ei ole sovitettu asiallisesti.

### **Lisähuomio kuvasta 6**

Hitsaus on suoritettu ensin kuvan oikealta puolelta ja valokaari kuljetettu kiinnitysraudan päältä vasemmalta puolelta. Tämä kuljetus on havaittavissa kiinnitysraudan päällä olevasta, sytytysjälkeä muistuttavasta kuljetuksen aiheuttamasta jäljestä. Kuvan vasemmalla puolella hitsausjälki on osittain peittynyt hitsauspuikon valokaaresta vapautuneen pölyn alle. Oikealla puolella olevassa hitsin päädyssä on havaittavissa valumaa, joka indikoi työntävää kuljetusliikettä. Tätä havaintoa tukee valokaaresta vapautuva pöly, joka on lentänyt hyvin pitkälle seinän suuntaan. Kuvan vasemmalla puolella oleva hitsi on suoritettu vetävällä kuljetusliikkeellä ja päätetty suoraan kiinnitysraudan nurkkaan.



Kuva 7. Kuvan 6 hitsin valokaaren kuljetus.

Kuvassa 7 on aloitus merkittynä oranssilla, vihreät nuolet indikoivat kuljetussuuntaan, sininen alue on kaaren nostosta aiheuttamasta puhalluksesta syntynyt pölyjälki ja punainen on hitsin lopetuspaikka.



Kuva 8. Vain yhdeltä sivulta hitsattu kiinnitysrauta.

Kuvan 8 virheet:

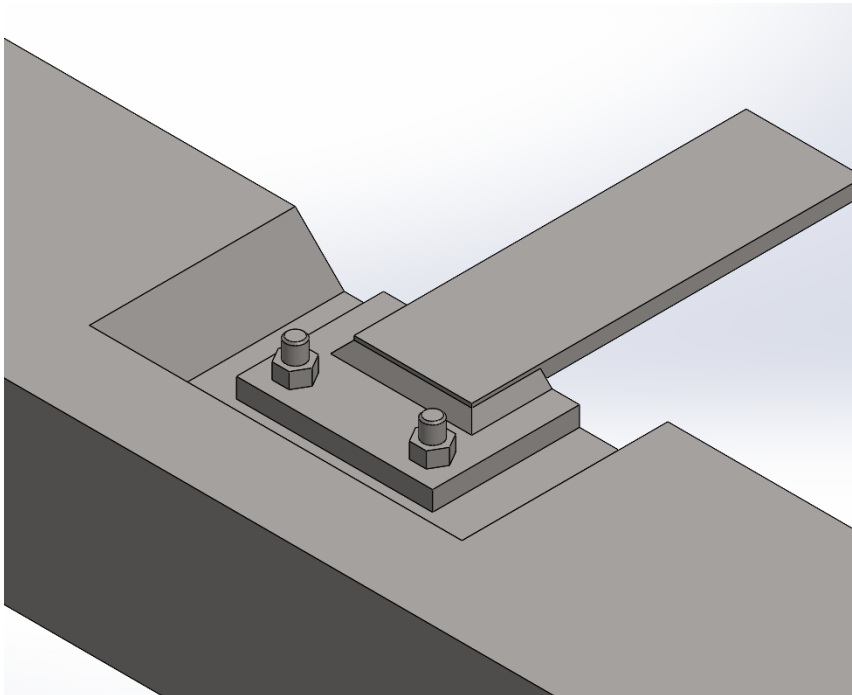
- Kiinnitysrauta on hitsattu vain yhdeltä sivulta. Vasemmalla sivulla oleva hitsi on liian lyhyt, jotta se voitaisiin määritellä hitsiksi.
- Väärä hitsauslisäaine.
- Liian suuri hitsauksen aikainen lämmöntuonti.
- Kiinnitysraudan yläpinnan reuna on sulanut.
- Sytytysjälki kiinnitysraudan yläpinnalla.
- Asennuspintaa ei ole puhdistettu eikä esivalmisteltu.
- Hitsiä ja kohdetta ei ole viimeistelty.
- Kiinnitysrautaa ei ole sovitettu asiallisesti.

### **Tarkentavaa analyysiä kuvasta 8**

Kuvan 8 kiinnitysrauta voidaan katsoa vain yhdeltä sivulta hitsatuksi. Vaikka hitsausohjeissa ei olisi määritetty minimipituutta, voidaan käyttää SFS-EN 1011-2 standardissa annettua opastavaa ohjeistusta, jossa määritetään liitteessä B kohdassa B.3 tehollisen pituuden minimimittaa. Standardin määritelmän mukaan tehollinen pituus ei tulisi olla pienempi kuin neljä kertaa kateettimitta eikä se saa olla vähemmän kuin 25 mm (SFS-EN 1011-2, 2001, 20).

Vaikka kuvassa 8 esitetty kiinnitysrauta on lyhennetty, sitä ei lyhennetty tarpeeksi, jotta hitsaus olisi voitu suorittaa asianmukaisesti kaikilta pinnoilta. Jos kiinnitysrudasta olisi leikattu noin 10 mm lisää, olisi asennushitsaus voitu suorittaa helposti suunnitelmien mukaisesti.

### 3.1.2 Ehdotus puuttuvan asennuspinnan korjaamiseksi



Kuva 9. Kuvan 3 kohteen puuttuvan asennuspinnan korjausehdotus.

Kuvassa 3 olevan kohteen puuttuva asennuspinta olisi voitu korjata kuvassa 9 esitetyllä tavalla. Betonielementtiin olisi voitu piikata kouru, johon riittävän kokoinen levy pala olisi ankkuroitu kiinni asennuspinnaksi. Kiinnitysrautojen tuli

olla elementin yläpinnan tason alapuolella, jotta se ei häiritsisi julkisivumuurausta. Korjausehdotus esiteltiin asiakkaalle, mutta asiakas valitsi ratkaista ongelman itse.

### 3.2 Työmaa B

Rakennustyömaalla suoritettiin hitsaustarkastus, jonka toimesta havaittiin huomattavia ongelmia ja virheitä teräsosien asennushitsauksissa. Työmaalla suoritetusta tarkastuksesta saatu raportti tuli huomattavasti myöhemmin kuin aloitetut korjaustoimenpiteet. Täten vaadittavat korjaukset ja kohteet valikoituivat oman harkintani mukaan. Asia sovittiin rakennuttajan ja elementtiasentajien kanssa. Korjauksista kommunikointiin elementtiasentajien sekä rakennuttajan kanssa ja molemmat tahot toimittavat tarvittavia tietoja ja vaatimuksia.

Tässä osioissa esitetään ja analysoidaan vain tiettyjä korjauksia kyseiseltä työmaalta. Esitettävät virheet ovat työkokemukseni perusteella yleisiä ongelmia kaikilla rakennustyömailla. Täten siis valitut virheet eivät erityisesti edusta tätä kyseistä työmaata kokonaisuutena.

### 3.2.1 Kulmarauoissa havaitut ongelmat



Kuva 10. Virheellisesti hitsattu kulmarauta, jonka hitsissä betonipölyn aiheuttamaa kontaminaatiota.

Kuvan 10 virheet:

- Asennuspintaa ei ole puhdistettu betonipölystä.
- Hitsauspintaa ei ole esivalmisteltu.
- Hitsauksen suorituksessa virheellinen tekniikka.
- Yläpinnan hitsissä huomattavaa kateettipoikkeamaa, vajaa a-mitta sekä pitkä yhtenäinen reunahaava.

- Pystypienassa huomattavaa betonipölyn aiheuttamaa kontaminaatiota, valumaa, kuonasulkeumaa, reunahaavaa, väärä hitsaustekniikka sekä liian kuuma valokaari.



Kuva 11. Virheellisesti hitsattu kulmarauta, jossa on kuonasulkeumia.

Kuva 11 saattaa sisältää visuaalista samankaltaisuutta kuvan 11 kanssa, mutta pystypienassa ei ole selvää betonipölyn aiheuttamaa kontaminaatiota.

Kuvan 11 virheet:

- Pystypienassa on havaittavissa valumaa ja kuonasulkeutumia.



- Pystypienassa väärä suoritustekniikka.
- Pystypienassa ylikuuma valokaari ja liiallinen lämmöntuonti hitsauksen aikana, joka on johtanut kulmaraudan levykulman sulamiseen.
- Kuonahakun iskujälkiä johtuen liiallisesta voimankäytöstä.

### **Lisähuomio kuonasta hitsausvirheindikaattorina**

Oikein suoritettuna ja hyvillä hitsausvirroilla hitsattuna kuonat tyypillisesti irtoavat helposti ja itsestään hitsin jäätyessä. Tämä ilmiö on vielä yleisempää ruostumattomissa teräksissä niiden suuren lämpölaajenemiskertoimen takia. Useasti ruostumattoman teräksen kuona irtoaa lähes räjähdysmäisesti: jos hitsiä tarkastelee sen ollessa kuuma, on siksi hyvä suojata kasvot ja silmät.

Itsestään irtoava kuona tunnetaan englanninkielisellä termillä ”*Slag peel*”. Tämä on yleensä hyvä kokemuseräinen indikaattori puikkohitsin laadulle, sillä epäpuhtaudet ja muut haitat ilmenevät yleensä selvästi kuonassa. Tämä ei ole täysin pätevä tai universaali indikaattori, mutta yleisesti helposti irtoava kuona on hyvä merkki ja huonosti irtoava kuona huono merkki. Kuonan ollessa tahmeaa, sitkeää tai öljyistä voidaan epäillä, että hitsauspinnoilla on ollut:

- palosuoja-, korroosio tai muuta maalia,
- osavalmistajan tarroja (yleistä asennuspinnoilla),
- muovia,
- eristelevyjen kiinnityksessä käytettävää liimaa,
- tiivistysvaahtoa.

Jos mainittuja merkkejä on havaittavissa, on turvallista olettaa, että hitsiaineessa on löydettävissä huokosia sekä vajaata hitsautumissyvyttä.



Kuva 12. Kulmarauta, jossa sovitusvirhe, hitsausvirheitä ja ylisuuri ilmarako.

Kuvassa 12 seuraavat virheet ja ongelmat:

- Asennuspinta on vajonnut betonielementtiin.
- Kulmarautaa ei ole sovitettu vajonneeseen asennuspintaan.
- Ylisuuri ilmarako.
- Liian lyhyt hitsi.
- Hitsi ei ole vaatimusten mukainen, reunaliitos ei ollut määritetty sallituksi liitosmuodoksi.



Kuva 13. Asennuspinta pilarin tason ulkopuolella, sovitusvirhe kulmaraudassa ja riittämätön hitsi.

Kuvan 13 virheet:

- Asennuspinta on betonielementin ulkopuolella.
- Reunaliitos ei ollut hitsausohjeistuksissa sallittu liitosmuoto.

### **Lisähuomio kohteesta 13**

Kuva 13 otettiin kulmaraudan irrottamisen jälkeen. Ennen irrotusta kohde oli oletettu olevan vain virheellisesti sovitettu ja sen taakse oli asetettu täytelevy. Todellisuudessa irrotukseen jälkeen selvisi, että asennuspinta oli kokonaisuudessaan elementin ulkopuolella ja virheellisesti paikoitettu.

Johtuen kohteen rajallisesta tilasta, kulmaraudan irrotusprosessi oli työläs. 125 mm laikkoja käyttävä kulmahiomakone ei sopinut kohteeseen niin, että hitsi olisi voitu kokonaisuudessaan hiota pois. Tämän vuoksi hionnan jälkeen kulmarautaan hitsattiin levypala, joka toimi moukarin lyöntipisteenä. Lyöntipisteen avulla kulmarauta pakotettiin taipumaan auki ja avautumaan iskettiin kiiloja, joilla pakotettiin aukeama mahdollisimman suureksi. Avauskulman saavutettua maksimin, joka käsivoimin oli mahdollista, kiilat poistettiin ja avauskulma suljettiin lyömällä iskupisteeseen moukarilla. Toistamalla näitä toimenpiteitä hitsi saatiin murtumaan.

### 3.2.2 Konsoleissa havaittuja virheitä



Kuva 14. Konsoli, jossa hitsausvirheitä ja huono sovitus.

Kuvan 14 virheet:

- Ylisuuri ilmarako.
- Hitsin mitat eivät ole hitsausohjeiden mukaiset.
- Sovitusvirhe.
- Konsoli on hitsattu myös yläpuolelta, mikä oli erikseen kiellettyä.
- Asennuspintaa ei ole puhdistettu eikä valmisteltu.

Kohteessa on huomattava sovitusrvirhe, joka johtui konsolin yläpuolella olevasta hitsistä. Asennuksen suorittanut hitsaaja ei ollut huomionnut hitsin lämpölaajenemista ja sen vaikutuksia osan paikoitukseen. Konsoli olisi pitänyt ennen hitsausta kiinnittää hyvin silloittamalla. Hitsin poishionta paljasti lisää virheitä:

- Erittäin suuri ilmarako
- Hitsi ei ollut jatkuva eikä yhtenevä



Kuva 15. Kuvan 14 alapinnan hitsi poishiottuna.



Kuva 16. Konsoli, jossa hitsausvirheitä ja ahdas asennustila.

Kuvan 16 virheet:

- Hitsin mitat eivät ole vaaditut.
- Hitsille ei ole annettu riittävästi väliä betoniin, vaikka tämä olisi ollut mahdollista vasaroimalla tai piikkaamalla betonia pois.
- Asennuspintaa ei ole puhdistettu eikä esivalmisteltu.



Kuva 17. Elementtitehtaalla hitsattu konsoli.

Kuvan 17 kohde oli hitsattu elementtitehtaalla. Kuvan orientaation mukaan yläpinnassa oleva hitsi näyttää riittävältä kuvassa, mutta todellisuudessa sen koveran muodon takia todellinen a-mitta oli 3 mm. Vaadittu a-mitta oli 6 mm.

Kuvan 17 virheet:

- Kuvan suhteen yläpinnassa oleva pienahitsi on a-mitalta liian pieni.
- Pystypiena on suoritettu väärin, a-mitta on liian pieni ja liittyminen on jyrkkä.
- Asennuspintaa ei ole puhdistettu eikä esivalmisteltu.



Kuva 18. Elementtitehtaalla hitsattu konsoli, jonka hitsin oli poishiottu.

Kuvassa 18 tehtaalla suoritettu hitsi oli hiottu pois, ja elementti toimitettiin työmaalle sen jälkeen. Tämä ei ollut sovittu toimenpide eikä työmaata informoitu tästä. Poishiotussa hitsissä on havaittavissa seuraavia virheitä:

- Reunahaava.
- Kuonasulkeumia.
- Vajaa hitsautumissyvyys.
- Liitosvirhe.



Kuvan suhteen yläpinnassa olevassa pienahitsissä oli lievä kateetipoikkeama ja vajaa a-mitta. Korjaavana toimenpiteenä hitsiä hiottiin pinnan puhdistamista varten, jonka jälkeen hitsiä lisättiin hitsaamalla päälle lisäpalko, jotta vaadittu a-mitta saavutettiin.

### 3.2.3 Vaurioitunut kierretanko



Kuva 19. Vaurioitunut kierretanko.

Kuvan 19 kohteessa on vaurioitunut kierretanko. Kierretangon tehtävänä on siirtää jännitystä vasemmanpuoleiseen pilariin oikeanpuoleisesta palkista. Kierretanko oli taipunut ja sen kierteet olivat vahingoittuneet. Asennusryhmä yritti itse korjata viat leikkaamalla kierretangon irti ja hitsaamalla sen paikoilleen.

### 3.2.4 Esimerkkejä suoritetuista korjauksista



Kuva 20. Kuvan 10 kohde korjattuna.

Kuvan 10 kohteen asennuspinnassa ja kulmaraudassa oli erittäin paljon huokosia, joten kulmarautaa leikattiin noin 15 mm puhtaan perusaineen löytämiseksi. Huom. kuvassa 20 oikeassa laidassa on havaittavissa poistetun hitsin reunahaavoja.



Kuva 21. Kuvan 11 kohde korjattuna.

Vaikka kuvan 11 kohde oli visuaalisesti samankaltainen, kuin kuvan 11 kohde, oli virheiden luonne erilainen. Pystypienen poishionta paljasti seuraavia virheitä:

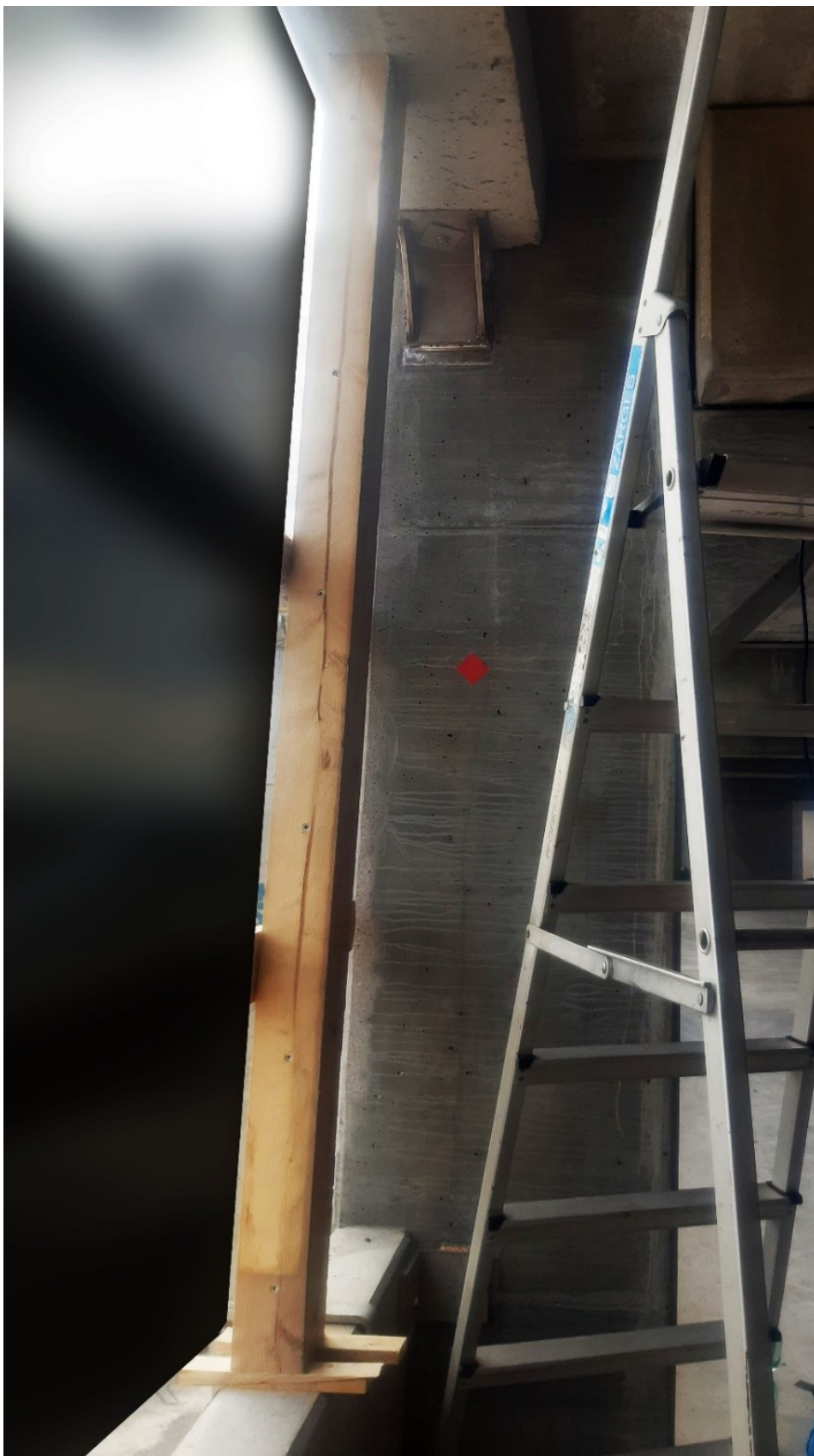
- kuonasulkeutumia,
- vajaan hitsautumissyvyyden,
- reunahaavoja.

Näiden virheiden poishionta vaati hiontaa syvälle asennuspinnan perusaineeseen. Poishiottu perusaine paikattiin ja kulmaraudan levyn kulmat paikattiin sekä lopuksi kohde hitsattiin vaaditusti.



Kuva 22. Kuvan 14 kohde korjattuna.

Kuvan 14 kohde oli tarkoitus sovittaa kokonaan uudelleen, mutta johtuen konsolin yläpinnassa olevasta hitsistä ja kuvassa 24 esitetystä hitsistä konsolin vasemmalla pinnalla, konsolin irrottaminen ei ollut mahdollista. Kyseinen konsoli oli myös aktiivinen osa rakennetta, joten työturvallisuussyistä sille tehtiin väliaikainen tuenta.



Kuva 23. Kuvan 14 kohteen väliaikainen tuenta.

Kuvassa 24, kuvan 14 kohteen väliaikainen tuenta. Kohteen tunnistettavuuden estämiseksi näköala on sensuroitu. Kuvassa on myös nähtävissä punainen korjausmerkintätarra.



Kuva 24. Virheellisesti betonivalumaksi oletettu hitsi.



Kuva 25. Kuvan 19 kohde korjauksen jälkeen.

Kuvan 19 kohteen korjaus oli erittäin työläs ja monimutkainen prosessi, joka vaati 2 täyttä työpäivää. Suoritetut toimenpiteet olivat seuraavat:

- Kuvan suhteen vasemmalla olevasta pilarista piikattiin noin 20 mm betonia pois, jotta saatiin riittävä työtila.
- Kohde oli liian ahdas kulmahiomakoneella hiottavaksi, joten vaurioitunut kierretanko ja korvake kaasuleikattiin pois.
- Uusi kierretanko hitsattiin yläpuolelta hyödyntäen U-railoa. Ympärihitsaus ei ollut mahdollinen tilan ahtauden takia.

- Uusi korvake valmistettiin levystä kaasuleikkaamalla.
- Uusi korvake hitsattiin paikoilleen pilarin puolelta pienahitsillä ja pystypienahitsillä sekä edestä V-railoa hyödyntäen osittain läpihitsattuna päittäisliitoksena.

### **Lisähuomio vaurioituneesta kierretangosta**

Jälkikäteen tietoisuuteni tuli, että kyseisen kierretangon vauriot olivat tiedossa elementtiasentajilla jo korjausta edeltävänä viikkona. Huonon kommunikaation takia tämä ei ollut tullut työmaan mestarien tietoisuuteen. Jos kommunikaatio olisi toiminut, kierretanko olisi voitu helposti korjata kuumataivutuksella. Vialliset kierteet olisi voitu korjata käsiviilalla. Aikainen puuttuminen ongelmaan ja selvä kommunikaatio olisivat mahdollistaneet huomattavasti vähemmän riskialttiin ja työlään korjauksen.

## **3.3 Työmaa C**

Työmaan C korjaustyössä korjattiin julkisivun asennukseen liittyviä rakenteellisia osia. Yrityksemme oli alun perin tarkoitus suorittaa kyseisten osien asennus, mutta osien laadun ja kunnon selvityksessä yrityksemme omistaja kieltäytyi asentamasta niitä, ellei niitä korjata ensin. Täten näistä vastaava mestari antoi osat korjattavaksi. Korjattavia osia oli yhteensä noin 50 kappaletta.

### **3.3.1 Osissa havaittuja virheitä**

Osien saavuttua konepajalle yrityksemme omistaja pyysi minua tulemaan tarkastamaan osat ja suunnittelemaan korjaustoimenpiteet. Koska osissa oli huomattavia ongelmia, nämä ja vaaditut korjaustoimenpiteet haluttiin raportoida asiakkaalle selkeästi. Diagnosointia varten suoritettiin yksinkertainen hietutkimus, josta esimerkki kuvassa 27.

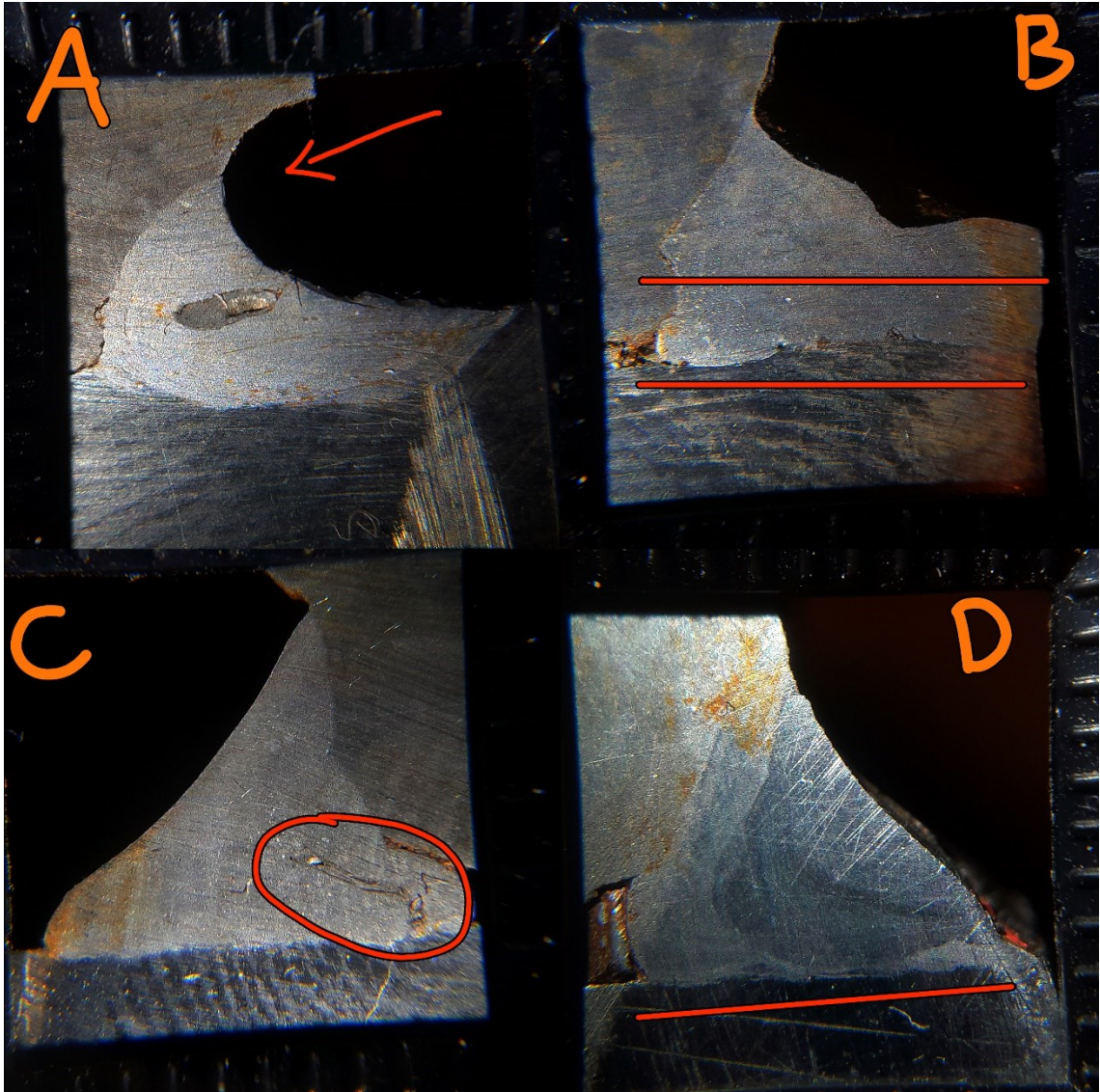




Kuva 26. Työmaan C korjattava osa.

Kuvassa 26 esitetään Työmaan C osa, josta tarkasteluun otetut palat otettiin. Näiden analyysin perusteella luotiin korjausehdotus, joka myöhemmin hyväksyttiin.

Korjattavat osat olivat asiakkaan antamien tietojen mukaan alun perin tarkoitus valmistaa kokonaan 316L ruostumattomasta teräksestä. Levyosan oli myös tarkoitus olla ainevahvuudeltaan 20 mm ja raudoitteet vahvuudeltaan 16 mm. Ilmeisesti näitä suunnitelmia oli muutettu monesti ja jossain vaiheessa levyosan ainevahvuudeksi vaihtui 10 mm sekä raudoitteiden vahvuudeksi 10 mm. Asiakkaalta ei saatu tietoa siitä, oliko mahdollisesti myös raudoitteiden materiaali vaihdettu tarkoituksella. Jos alkuperäinen suunnitelma oli, että raudoitteet ja levyosa olisivat 316L ruostumattomasta terästä, olisi hitsaus pitänyt suorittaa 316L lisäaineella. Jos raudoite oli tarkoitus olla seostamatonta terästä, olisi ollut kyseessä musta-ruostumaton-eripariliitos, jolloin hitsaus olisi tullut suorittaa 309Mo lisäaineella. Piirustuksissa oli määritetty hitsausprosessiksi puikkohitsaus, mutta ei vaadittua lisäainetta.



Kuva 27. Neljä esimerkkiä löytyneistä ongelmista.

Kuvassa 27 esitetystä osasta leikattiin 4 palaa, valikoiden kohtia hitsien aloitus- ja lopetuskohtien läheisyydestä ja keskeltä hitsiä. Osat hiottiin ja hapotettiin. Kuvissa on 10x suurennos luupin läpi kuvattuna, 10x10 mm alue ja asteikko 1mm välein. Kuvassa esitetään 4 esimerkkiä havaituista virheistä:

- A. Ontelo ja jyrkkä liittyminen.
- B. Huokosia, liitosvirhe ja valuma.
- C. Erittäin pitkä ontelo.
- D. Liitosvirhe, ei liittymistä levyosaan.

### 3.3.2 Osien korjaus

Asiakkaalle esitettiin ehdotus korjaustoimenpiteistä ja asiakas hyväksyi ne. Hyväksynnän jälkeen osien korjaus aloitettiin ja suoritettiin seuraavasti:

1. Raudoitteet poistettiin kokonaisuudessaan.
2. Hitsit ja niiden tunkemat hiottiin pois.
3. Poistettu perusaine korvattiin pinnoitushitsaamalla oikealla lisäaineella.
4. Pinnat jysittiin tasaisiksi.
5. Pinnat kiillotettiin lamellilaikalla, jotta roiskeet saatiin poistettua.
6. Osat puhdistettiin RST-hoitoaineella.

## 4 Asennuspintoihin liittyviä yleisiä ongelmia

Yleinen ongelma, joka tulee vastaan käytännössä jokaisella työmaalla, on asennuspintoihin liittyvät virheet. Näitä esiintyy niin valetuissa rakenteissa kuin tehdasvalmisteisissa elementeissäkin. Nämä ongelmat ovat hyvin merkittäviä, sillä ne vaativat huomattavia toimenpiteitä asennuksessa ja muutoksia rakenteissa. On turvallisempaa olettaa, että pinnat heittävätkin huomattavasti, kuin että ne ovat paikoillaan. Perustuen omiin muistiinpanoihini työmaista ajalta 2021–2023, suurin heitto on  $\pm 500$  mm, ja yleisesti paikoitus voi heittää leveys-, korkeus- ja syvyysmitoissa - 30 mm pintatasosta. Orientaatiovirheet ovat myös yleisiä. Tällöin asennuspinta on vinossa ja tämän takia osittain liian syvällä tai betonin pinnan ulkopuolella. Myös puuttuvat asennuspinnat ovat hyvin yleinen ongelma.

### 4.1 Kuvaesimerkkejä asennuspintoihin liittyvistä yleisistä ongelmista.



Kuva 28. Huonossa asennossa oleva asennuspinta.



Kuva 29. Betonin alle piiloon jäänyt asennuspinta.



Kuva 30. Syvällä elementissä oleva asennuspinta.



Kuva 31. Väärässä paikassa oleva asennuspinta.



Kuva 32. Useita väärässä paikassa olevia asennuspintoja.



Kuva 33. Asennuspinta valupinnan ulkopuolella



Kuva 34. Vajaa betonivalu asennuspinnan takana.

#### 4.2 Ratkaisuja yleisiin asennuspintojen ongelmiin

Koska asennuspintojen ongelmat ovat yleisiä, mutta harvoin erittäin vakavia, on ongelmien ratkaisu tai kompensointi yleisesti helppoa. Usein pelkästään osan sovittaminen asiallisesti on riittävä ratkaisu.



Kuva 35. Kuvan 28 kohde sovitettuna esivalmisteltuun asennuspintaan.

Asennuspintojen ongelmat voidaan yleisesti jakaa seuraavasti:

1. Virheellinen paikoitus
2. Syvyyspaikoitusvirhe
3. Kallistumat
4. Puuttuvat asennuspinnat



Perustuen esitettyyn jakoon voidaan luoda yleinen ratkaisumalli, joilla näiden aiheuttamat ongelmat voidaan ratkaista tai minimoida. Asennustyömaalle mentäessä on hyvä olettaa, että ainakin kohdat 1, 2 ja 3 esiintyvät kohteessa. Kohdan 2 määritelmä perustuu suunnittelussa ja piirustuksissa määritetyn pinnan suhteen.

#### 4.2.1 Virheellinen paikoitus

Jos paikoitusvirhe on niin pieni, että asennuksessa vaadittavat hitsin minimimitat voidaan saavuttaa, ei korjaavia toimenpiteitä suoriteta – ellei asiakas toisin vaadi.

Yleisesti käytetyin ja helpoin keino korjata tilanne on asentaa uusi asennuspinta. Tämä tehdään poraamalla reiät betonirakenteeseen ja ankkuroimalla ne kemiallisella ankkurointimassalla. Samalla tavalla kuin kuvassa 31, on kulmarauta asennettu vesileikkaamalla osaan reiät ja asentamalla rakenteeseen kemiallisesti ankkuroidut kierretangot. Tämä voidaan myös tehdä osittain hyödyntäen aiempaa asennuspintaa, esim. hitsaamalla uusi asennuspinta väärässä paikassa olevaan asennuspintaan.

#### 4.2.2 Syvyyspaikoitusvirhe

##### **Negatiivinen syvyyspaikoitusvirhe**

Negatiivisessa syvyyspaikoitusvirheessä tarkoitan tilannetta, jossa asennuspinta on uponnut betonirakenteeseen suhteessa sen pintaan, kuten esimerkiksi kuvassa 30.

Helpoin korjaava toimenpide on yleisesti hitsata asennettavaan osaan jatko, tai jos asennuspinnan mitat mahdollistavat sen, hitsata itse asennuspintaan jatkava levyosa. Tämän levyosan hitsin a-mitta voidaan määrittää SFS-EN 1708-2:2018 standardissa, kohdassa 5.2.4 (2018, 8) esitettävällä kaavalla:

$$3 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 \times t_2$$

Kaava 2. Pienahitsin a-mitan määrittäminen (SFS 1708-2:2018, 2018, 8).

jossa

$a$  on a-mitta,

$t_2$  on liitettävän osan ainevahvuus.

Tapauksissa, joissa betonivalussa on tapahtunut virhe tai vahinko, jossa betoni on selvästi valunut pinnan päälle, suoritetaan ylimääräisen betonin poistaminen piikkaamalla.

### **Positiivinen syvyyspaikoitusvirhe**

Tilanteissa kuten kuva 13 ja kuva 33 kompensoidaan virhe sovittamalla asennettava osa tai rakenne asianmukaisesti, niin että rakenteen tai osan toiminnallisesti määrittävä paikka säilyy.

#### 4.2.3 Kallistumat

Asennuspinnan kallistumisen toimesta voi esiintyä samanaikaisesti positiivista ja negatiivista syvyyspaikoitusvirhettä, jolloin tämä kompensoidaan asianmukaisesti kohdassa 4.2.2 määritetyn tavan mukaisesti. Kallistuma voi myös esiintyä useammassa kuin vain yhdessä akselissa kuten kuvassa 36.



Kuva 36. Kahden akselin kallistuman kompensointi sovittamalla teräsosa.

Kuvassa 36 on kompensoitu huomattavaa kallistumaa asennuspinnassa. Kompensaatiossa käytetty levyosan ainevahvuus on 20 mm. Huom. kompensoiva osa on riittävä alapinnassa sellaisenaan, mutta yläpinnassa on jouduttu hiomalla työstämään osaa sopivaksi. Kuvan vasemmalla puolella kompensoitiin sovittamalla osa asennuspintaan normaalisti. Koska

syvyystoleranssi asennettavassa osassa oli 10 mm, voitiin tätä hyödyntää vasemman puolen sovituksessa. Tärkein määrittävä tekijä osan asennuksessa oli suoruus suhteessa rakennuksen julkisivuun.

#### 4.2.4 Puuttuvat asennuspinnat

Puuttuvat asennuspinnat ja erittäin suuren paikoitusvirheen tapauksissa kuten kuvassa 32, on helpointa suorittaa kuvan 31 kaltainen muutos osaan tai asentaa asennuspinta kemiallisella ankkurointimassalla. Riippuen kohteen vaatimuksista, myös kiila-ankkureita voidaan käyttää.

## 5 Virheiden syntyminen ja välttäminen

Tässä raportissa esiteltävien kohteiden ja oman työkokemukseni perusteella: virheet eivät koskaan johdu vain yhdestä tekijästä, henkilöstä tai asiasta. Lähes poikkeuksetta viallisissa ja virheellisissä kohteissa kyse on aina koko työhierarkian virheestä. Sen sijaan että mietitään, miten virhe on tapahtunut, tulisi miettiä, miksi virhe oli mahdollista tapahtua. Tässä osiassa käsittelen kokemusperäisesti virheiden syitä ja annan ehdotuksia niiden välttämiseksi.

### 5.1 Suunnittelu

- Yleisesti seuraavia asioita ei ole huomioitu tai tehty asiallisesti:
- Kohteeseen pääsy.
- Työskentelylle vaadittu tila.
- Asennettavan kohteen tuenta ja paikoittaminen.
- Muita alueella olevia rakenteita, putkia ja läpivientejä ei ole huomioitu.
- Hitsaukset ja niiden vaatimukset on merkitty väärin tai ne puuttuivat täysin dokumentaatiosta.

Esiteltujen työmaiden tapauksissa osallisena virheisiin oli myös suunnittelun ja dokumentaation virheet. Työtä ei voida suorittaa oikein ilman riittävää tietoa siitä, mikä on vaadittu lopputulos. Jos suunnittelu ja dokumentaatio suoritettaisiin aina standardien mukaisesti, suurimmilta ongelmilta ja virheiltiltä vältyttäisiin.

Eryyisesti ongelmia aiheuttaa piirustuksissa olevat hitsausmerkinnät, jotka ovat käytännössä aina väärin tehtyjä tai ei toteutettavissa. Kuvassa 37 oleva kohteen päälle tuleva levy oli merkitty ympärähitsattavaksi 5 mm a-mittaisella hitsillä. Tämä hitsi on mahdotonta toteuttaa, sillä se vaatisi hitsata myös seinän puoleiselta pinnalta. Muuta tietoa vaadituista mitoista tai hitsin vaatimuksista ei myöskään ollut annettu.



Kuva 37. Hitsattava kohde styroksieristeiden välissä.

## 5.2 Erityisiä huomioita hitsauksesta

### 5.2.1 Musta-ruostumaton-eripariliitoksien hitsaus

Yleisesti musta-ruostumaton-eripariliitokseen suositellaan ns. rajapuikkoa, joka on ylikas hitsauslisäaine. Näitä lisäaineita merkitään AWS standardin mukaisesti 309 numerotunnuksella. Näistä yleisimmät ja käytetyimmät ovat 309L ja 309Mol. Hitsaustekniikka-lehdessä 4/2011 Juha Lukkarin (2011, 36–39) artikkelissa avataan koko eripariliitoksen prosessissa huomioitavia asioita,

kuten sekoittumisaste, hitsiaineen halutut kemialliset ominaisuudet ja Schaeffler-diagrammin käyttö.

Yleisesti nyrkkisääntöjä eripariliitoksien hitsauksessa: hitsauslisäaineen tulee olla seostetumman perusaineen lisäainetta. Tätä sääntöä hyväksikäyttäen voidaan etsiä sopiva aine lisäainevalmistajien katalogeista – etsintä aloitetaan seostetumman perusaineen mukaan. Jos ei ole selvyyttä tai varmuutta sopivasta lisäaineesta, on asiantuntevan henkilön konsultointi aina suositeltavaa.

### 5.2.2 Sinkityt teräsosat

Yleisesti hitsarien keskuudessa on käsitys, että sinkitettyjen pintojen hitsaaminen on erityisen hankalaa, mutta tämä ei pidä paikkaansa. Hyödyntäen oikeaa tekniikka ja sopivaa lisäainetta ne ovat yhtä helposti hitsattavissa kuin ei-sinkityt.

Seuraava tekniikka perustuu omaan työkokemukseeni. Tekniikan perusteita voidaan soveltaa kaikissa asennoissa.

- Sinkkiä poistetaan mahdollisimman paljon. Suositeltavaa on käyttää teräsharjaa tai harjalaikkoja, sillä sinkki tarttuu hiomalaikkoihin ja estää niiden toiminnan.
- Hitsausvirta asetetaan materiaalin ja lisäaineen ominaisuudet huomioiden mahdollisimman kuumaan päähän, mutta niin, että valokaari on edelleen hallittavissa.
- Kuljetusnopeus on normaalia hitaampaa ja valokaaren pituus mahdollisimman lyhyt.
- Hyödynnetään materiaalin omaa lämmönjohtavuutta, joka polttaa suurimman osa sinkistä kaaren edestä.

Tekniikka suoritetaan seuraavasti:

1. Sytytys suoritetaan vähän normaalia kauempana aloituskohdasta ja viedään vähän hitaammin aloituspisteeseen; tarkoituksena on saada lisäaine kuumaksi ja kaaren ominaisuudet vakioitumaan.
2. Aloituskohdassa puikkoa pidetään hyvin vetävässä asennossa, jotta valokaaren tuottama kaaripaine toimii kaaritalttana ja puhdistaa aloituskohdan.
3. Kun aloituskohta on selvästi puhdas sinkistä, asetetaan puikko normaalin vetävään kulmaan. Hitsaus suoritetaan lievästi vetävässä asennossa ja normaalia hitaammin.
4. Hitsauksen aikana valokaarta ei koskaan päästetä hitsisulan edelle.
5. Lopetuskohdan lähestyessä asetetaan puikko työntävään kuljetusasentoon, jolloin lopetuskohta saadaan puhdistettua samalla tavalla kuin aloituskohta.
6. Lopetus suoritetaan normaalilla lopetustekniikalla.

Jos perusaineen vahvuus on pieni tai hitsaustekniikka aiheuttaa riskiä läpipalamiselle, voidaan vaihtaa hitsauspolariteetti negatiiviseksi – olettaen, että käytettävä hitsauslisäaine sallii negatiivisella polariteetilla hitsaamisen.

On myös mahdollista hitsata sinkittyjä materiaaleja hyödyntäen vaihtovirtahitsausta. Tällöin voidaan hyödyntää vaihtovirran ”puhdistavaa” ominaisuutta. ESAB suosittelee vaihtovirtaa galvanoidulle teräksille ja E7018 OK48.15 lisäainetta (ESAB, n.d). Jos vaihtovirtahitsausprosessi ei ole käytettävissä, omat suositukseni ovat rutiliinipuikot kuten, E6013 ja E6012. Näitä on esim. ESAB OK GoldRox, Würth SUPRA ja OMNIA.





Kuva 38. Musta-ruostumatonta-eripari-liitos, jossa liitettävä osa kuumasinkitty.

Kuvassa 38 on hitsi, jonka perusaineet ovat 316L ruostumatonta terästä (levyosa) ja seostamaton neliöputki, joka oli kuumasinkitty. Hitsaus suoritettiin käyttäen 2,5 mm 309Mol hitsauspuikkoa. Kuten kuvasta on havaittavissa, voidaan näin epätavallinen ja hankalaksi mielletty liitos suorittaa niin, että siitä tulee ns. julkisivuun kelpaava.

### 5.3 Hitsauspuikon koon valinta

Hitsauspuikkojen ”normaali” koko mielletään olevan 3,2 mm puikot. Tämä on yleisesti hyvä puikkokoko, mutta olisi suositeltavaa harkita 2,5 mm puikkoja, jotka ovat monipuolisempia käyttää ja helpommin hallittavissa asentohitsauksessa.

#### 5.4 Väärän lisäaineen tai prosessin käytön estäminen

Väärän lisäaineen ja prosessin käytöstä johtuvat virheet, kuten työmaaesimerkeissä A ja C, voidaan välttää vaatimalla yksinkertaista dokumentaatiota hitsaustyöstä kuten:

- käytetty prosessi ja arvot,
- käytetty lisäaine, valmistaja ja erätunnus.

Tällöin epäselvyydet tulee selvitettyä, dokumentoitua ja mahdolliset virheet havaittua. Jos väärää lisäainetta käytetään, voidaan selvittää voiko se tuottaa hitsiltä vaaditut ominaisuudet, koska nämä voidaan laskea jälkikäteen, kts. kappale 5.2.1 Musta-ruostumaton-eripariliitoksien hitsaus.

Työmaalla A työmaanjohto epäili väärän hitsauslisäaineen käyttöä ja yksinkertaisella dokumentaatiolla asia olisi selvinnyt helposti. Työmaan C osalta epäselvyydet prosessin ja lisäaineen osalta olisivat myös selvinneet. Jos nämä olivat vahingossa jääneet osien dokumentaatiosta pois, olisi valmistaja joutunut varmistamaan oikean prosessin ja lisäaineen tilaajalta.

#### 5.5 Asennuksen ja hitsauksen ajoittaminen työmaalla.

Kuvassa 37 on tyypillinen tilanne, joka tulee usein eteen työmaalla. Lämpö-, kosteus- ja vesieristeet asennetaan ennen hitsattavia rakenteita. Asennetut eristeet ovat paloturvallisuusriski. Tämän lisäksi jotkut eristemateriaalit, kuten bitumi likaavat asennuspinnat ja ovat hankalia puhdistaa. Järkevällä aikataulutuksella ja suunnittelulla sekä kommunikaatiolla riskit ja virheet on helposti vältettävissä.

Hitsattavat tuet ja osat voidaan myös kiinnittää väliaikaisesti silloitushitseillä, jos esim. betonielementtien asennus pitää suorittaa nopeammin kuin hitsaaminen mahdollistaa. Tällöin on välttämätöntä varmistaa asiallinen tuenta sopivan standardin mukaisesti.

## 5.6 Asennuksien ja hitsauksien aikataulutus

Asennuksille ja lopulliselle hitsaamiselle tulee antaa tarpeeksi aikaa, jotta työ voidaan suorittaa oikein ja asiallisesti. Hitsauksessa on aina esivalmisteluja kuten hitsauspintojen hiomista ja railojen valmistelua. Hitsaustapahtumaa ei voi nopeuttaa nostamalla virtoja, eikä jälkitoimenpiteitä kuten kuonan poistoa tai hitsin harjausta voida jättää tekemättä. Kaikilla näillä vaiheilla on merkitystä kokonaisuuden osalta ja näiden tekemättä jättäminen on usein myös virhe. Aikataulutuksessa tulee myös antaa jonkin verran marginaalia ongelma- ja häiriötilanteille. Jos ongelma- ja häiriötilanteet aiheuttavat aikataulupainetta, kiritään aikaa kiinni jättämällä esivalmisteluja ja viimeistelyä tekemättä.

## 5.7 Kohteeseen pääsy ja työergonomia

Kappaleessa 5.1 mainitaan työkohteeseen pääsy asioina, joita tulisi huomioida suunnittelussa. Tämä mainitaan myös SFS-EN 1090-2:2018 standardissa 9.2 Rakennusolosuhteet ja kohdassa 9.3.2 Toteuttajan asennusmenetelmä.

On kriittistä huolehtia, että asennus ja hitsaus voidaan suorittaa hyvällä ergonomialla. Huono ergonomia ja hankala kohteeseen pääsy on henkisesti ja fyysisesti uuvuttavaa. Uupumisen takia työn laatu kärsii ja riski onnettomuuksille ja tapaturmille kasvaa. Uupuminen altistaa myös huolimattomuudelle ja kiirehtimiselle.

Asentohitsauksissa, kuten vaakahitsauksia tehdessä tai lakiasennossa hitsatessa, on hyvä varmistaa pääsy ja ergonomia niin, että hitsaajan ei tarvitsisi nostaa käsiään korkeammalle kuin hänen oma leukansa. Tällöin on mahdollista ylläpitää hyvää asentoa ja ryhtiä, mikä on fyysisesti ja henkisesti vähemmän uuvuttavaa. Asennot kuten:

- seisova hitsausasento
- polvillaan seisominen
- istuva asento

ovat yleisesti vähän uuvuttavia, jos ne voidaan suorittaa hyvällä ergonomialla. Näiden asentojen välimuotoja tulisi välttää. Makuuasennossa hitsaamisessa tulee harkita näkyvyys ja pääsy kohteeseen. On myös suositeltavaa harkita hitsaustyynyn tai muun pehmusteen käyttöä pään tueksi, jos hitsaus suoritetaan kyljellä maaten.

Hitsaustyynyt ja muut pehmusteet ovat myös suuri apu hankalissa asentohitseissä. Ne vähentävät fyysistä ja henkistä rasitusta, antavat ergonomista tukea ja suojaavat hitsaria kylmissä olosuhteissa. Myös penkkien, pukkien ja korokkeiden käyttöä tulee harkita.

## 5.8 Sääsuojaus

Asennuksen ja hitsauksen suorittamisessa tulee myös harkita sääsuojausta. Erityisesti märät olosuhteet aiheuttavat erityistä vaaraa sähköhitsauksessa. Märät suojarusteet ja hitsausvälineet aiheuttavat sähköiskuvaaran. Sähköiskun voi saada jopa vain kostean betonin ja suojarusteiden kautta. Myös vikavirtasuojan laukeaminen näissä olosuhteissa on yleistä, kun hitsaaja asettaa esimerkiksi uuden hitsauspuikon puikkopitimeen. Myös hitsauksen takia sulava lumi ja jää aiheuttaa riskejä sähköiskuille, tämän lisäksi riskinä on veden päätyminen hitsausrailoon. Märissä olosuhteissa on myös tärkeää hitsausrailon kuivaaminen esim. kuumailmapuhaltimella tai kaasupolttimella. Hitsauspuikot tulee myös suojata kosteudelta ja vedeltä, tarvittaessa ne tulee kuivata uudelleen valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Erityisesti hitsaustyössä vaaditut henkilökohtaiset suojarusteet ovat esimerkiksi helteillä lähes mahdottomia käyttää, erityisesti jos ei ole suoja auringolta. Helteen ja auringon kuumentamat teräsosat voivat myös aiheuttaa palovamman kosketuksesta, jolloin näiden käsittely tulee hankalaksi.

## 6 Lopuksi

Tässä opinnäytetyössä oli mahdollista tuoda esille vain hyvin pinnallisesti aiheen laajuus, ongelmien ja virheiden yleisyys ja laatu. Esitetyt esimerkit ovat asiakkailta ja työmailta, jotka ovat omasta aloitteestaan halunneet korjata virheet ja ongelmat. Tämän vuoksi ne eivät anna täyttä kuvaa ongelman laajuudesta. Virheissä on aina ollut osallisena koko työhierarkian epäonnistuminen, ja ongelmat vaikuttavat hyvin syväälle työkuultuuriin iskostuneilta. Täten aihetta olisi hyvä tutkia syvemmin.

Esitetty materiaali ja sen analyysi ja lopuksi esitetyt syyt sekä niiden yleiset ratkaisut voivat toimia suuntaa antavina esimerkkeinä sille, miten virheet ja ongelmat voidaan havaita ja miten niihin voidaan puuttua.

Tämän opinnäytetyön tekemisen aikana nousi mieleeni useita kysymyksiä ja ajatuksia. Esitettyjen virheiden ja ongelmien ratkaiseminen ja korjaaminen oli hankalaa, työlästä ja kallista. Täten virheiden välttämiseksi on oletettavasti huomattavia hyötyjä. Esitän täten seuraavat kysymykset ja aiheet jatkotutkimusta sekä kehitystä varten:

- Työhierarkian vaikutukset hitsaus- ja asennusvirheissä.
- Aikaisen puuttumisen työkaluja virheiden hallintaan.
- Työmaan- ja työnjohdon työkalut virheiden diagnosoimista varten.
- Asenteiden vaikutukset hitsausvirheiden syntymiseen.
- Vaihtoehtoiset liitosmuodot rakentamisessa.

## 7 Lähteet

Elga, n.d, Pikaopas Hitsauslisäaineet. Viitattu 26.3.2023

[https://elgawelding.com/wp-content/uploads/2020/04/Elga-Quick-Guide\\_MARCOMEL00101FI\\_v2.pdf](https://elgawelding.com/wp-content/uploads/2020/04/Elga-Quick-Guide_MARCOMEL00101FI_v2.pdf).

ESAB, n.d, Hitsauslisäaineet OK48.15, Viitattu 01.04.2023

[https://esab.com/fi/eur\\_fi/products-solutions/product/filler-metals/covered-stick-electrodes-smaw/mild-steel-electrodes/ok-48-15/](https://esab.com/fi/eur_fi/products-solutions/product/filler-metals/covered-stick-electrodes-smaw/mild-steel-electrodes/ok-48-15/).

Juha Lukkari, 2011, Musta/Ruostumaton-eripariilitosten hitsaus ja kuumahalkeamat TIG eriparihitseissä, Hitsaustekniikka 4/2011, Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.

SFS-EN 1011-2 Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. Osa 2: Ferriittisten terästen kaarihitsaus. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 1090-2:2018 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 1708-2:2018 Hitsaus. Hitsausliitosten liitosmuodot teräksille. Osa 2: Osa, joihin ei kohdistu sisäistä painetta. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 5817 Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.