



Mervi Toivonen

Ratapalkkien detaljikirjaston päivittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

28.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Mervi Toivonen
Otsikko: Ratapalkkien detaljikirjaston päivittäminen
Sivumäärä: 32 sivua + 1 liite
Aika: 28.4.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Rakennetekniikka
Ohjaajat: osastopäällikkö, Pekka Toivanen
teräsrakennesuunnittelija, Tero Niinimäki
lehtori, Anu Ilander

Tämän opinnäytetyön aiheena ja tarkoituksena oli päivittää siltanosturiradan teräs- ja betonipilareihin liittyvien ratapalkkien detaljikirjasto ja esimerkkipiirustukset ratapalkkien asennus- ja konepajakuvista Sweco Finland:n raskaan teräsrakentamisen osastolle.

Opinnäytetyön tärkeimpinä tietolähteinä olivat Sweco Finland:n omat dokumentit, teräseurokoodit, kanadalaiset ja saksalaiset ohjeet nosturiradan suunnittelusta ja ES-DEP:n (European Steel Design Education Programme) kurssi nosturiradan suunnittelusta.

Erilaiset detaljit mallinnettiin Tekla Structure- ohjelmalla, mistä ajettiin detaljipiirustukset. Tuotoksena syntyi ratapalkkien detaljikirjasto 25:lle eri detaljille, missä on eri liitostyypit teräs- ja betonipilareihin liittyville ratapalkeille. Detaljikirjasto on jaettu kolmeen eri osaan. Ensimmäinen osa sisältää kiintopistedetaljit, toinen osa liukuliitosdetaljit ja kolmas osa kiskon kiinnittämisen ratapalkkiin ja kiskon jatkosten detaljit.

Avainsanat: ratapalkki, siltanosturi, konsoli

Abstract

Author: Mervi Toivonen
Title: Updating of the Bridge Crane Runway Beam Library
Number of Pages: 32 pages + 1 appendix
Date: 28 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Degree Programme in Civil Engineering
Professional Major: Structural engineering
Supervisors: Pekka Toivanen, Department Manager
Tero Niinimäki, Steel structural engineer
Anu Ilander, Senior Lecturer

The aim of the graduate study was to update the library of bridge crane runway beams, including their connections to steel and concrete columns. The study was commissioned by the Heavy Steel Structure Department of Sweco Finland.

The methods used in the project were collect information about of runway beams from the Steel Eurocodes, design guides from Canadian and German and the course on crane runway girders by ESDEP (European Steel Design Education Project).

The project result is a library of 25 bridge crane runway beam details. All details were modelled by Tekla Structure program through which all details for steel and concrete columns were run. The runway beam detail library was divided into three parts: the first part includes fixing point connections, the second part sliding connections, and the third part connections of rails and joints of rails.

Keywords: crane runway beam, bridge crane, console

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ratapalkkiin kohdistuvat rasitukset	3
2.1	Pystysuuntaiset eli vertikaaliset voimat	3
2.2	Vaakasuuntaiset eli horisontaaliset voimat	4
2.3	Poikittaissuuntaiset voimat	6
3	Runkopilarit ja sidejäykistys	7
4	Ratapalkki	8
4.1	Profiili	8
4.2	Uuman vahvistaminen	8
4.3	Materiaali	9
5	Liitokset	11
5.1	Pilarin ja konsolin välinen liitos	11
5.2	Ratapalkin ja konsolin liitos	12
5.3	Ratapalkin ja pilarin välinen liitos	13
5.4	Kiskon ja ratapalkin liitos	14
5.4.1	Kiskon ominaisuudet ja materiaali	14
5.4.2	Kiskon kiinnittäminen hitsaamalla tai pulteilla	15
5.4.3	Kiskon jatkokset	16
5.4.4	Elastinen alusta	16
5.5	Päätypuskurin ja ratapalkin liitos	17
5.6	Suosittelavat hitsityypit	17
5.6.1	Pienahitsi	17
5.6.2	Katkopienahitsi	19
5.6.3	Ylälaipan ja uuman välinen kaulahitsi	21
5.6.4	Uumajäykisteiden hitsi	22
6	Pintakäsittely	23
6.1	Ilmatilakorroosio	23
6.2	Korroosionestomaalaus	24
7	Taipumarajat	25

7.1	Vaakasuuntaiset taipumarajat	25
7.2	Pystysuuntaiset taipumarajat	26
8	Asennus- ja valmistustoleranssit	27
8.1	Valmistustoleranssit	27
8.2	Asennustoleranssit	28
9	Ratapalkin asentamisen suunnittelu	30
10	Muut ratapalkistoon liittyvät rakenteet	31
10.1	Siltanosturin hoitotasojen kiinnitys	31
10.2	Siltanosturin virtakiskojen kiinnitys	31
11	Yhteenveto detaljikirjaston muodostamisesta	32

Lähteet

Liitteet

Liite 1: Ratapalkkien detaljikirjasto (vain Sweco Finlandin käyttöön)

Lyhenteet

a	pienahitsin a-mitta (mm)
A	tukireaktio
b	ylälaipan leveys (mm)
b_1	kiskon korkeus (mm)
E	kimmokerroin, Teräs 210 Gpa
e	lateraalinen jänneväli (m)
F	voima
f_u	vetomurtolujuus (N/mm ²)
F_{w^*}	käytön aikainen tuuli
$F_{w, Ed}$	hitsin pituusyksikköä kohtisuoraan vaikuttavan voiman mitoitusarvo
$F_{w, Rd}$	hitsin kestävyuden mitoitusarvo
f_y	teräksen myötöraja (N/mm ²)
$H_{B, 1}$	nosturin liikkeeseen liittyvä puskin kuorma
$H_{B, 2}$	nostovaunun liikkeeseen liittyvä puskin kuorma
H_c	etäisyys pilarin alapinnasta nosturin tuentatasolle, joko ratakiskon tai laipan yläpintaan (mm)
$H_{L, i}$	pituussuuntainen kuorma

$H_{S, i, j, k}$	poikittaissuuntaisia vaakakuormia
$H_{s, i, L}$	poikittaissuuntainen kuorma, lateraalinen
$H_{s, i, T}$	poikittaissuuntainen kuorma, torsionaalinen
$H_{T, 3}$	poikittaiskuorma
$H_{T, i}$	poikittaissuuntainen kuorma
H_{TA}	törmäyskuorma
I	jäyhyysmomentti
K	ajovoima
L	jänneväli (mm)
L_1	hitsaamattoman osan pituus, mihin kohdistuu vetoa (mm)
L_2	hitsaamattoman osan pituus, mihin kohdistuu puristusta tai leikkausta (mm)
L_{eff}	hitsin toimiva pituus (mm)
L_{we}	hitsatun osan pituus (mm)
Q_c	nosturin omapaino
Q_e	väsymiskuorma
Q_h	nosturin kokonaiskuorma
S	ohjausvoima
s	kahden ratapalkin väli (mm)

t_1	kiskon leveys (mm)
t_f	ylälaipan paksuus (mm)
t_w	uuman paksuus (mm)
r	profiilin nurkkapyöristys
β_w	hitsin lujuuskerroin, mikä riippuu teräslajista
γ_{M1}	osavarmuusluku 1,0
γ_{M2}	osavarmuusluku 1,25

1 Johdanto

Siltanosturi on nosturityyppi, joka muodostuu molemmin puolin olevista ratapalkkeista ratakiskoineen ja sillasta ratapalkkien välissä, mihin on kiinnitetty nosturivaunu ja nostin. Läheisesti nosturiradan suunnitteluun liittyy myös runkopilarit ja niiden välissä olevat jäykistyssiteet. Siltanosturi liikkuu ratapalkkien varassa lateraalisesti ratapalkin suuntaisesti ja nosturivaunu horisontaalisesti sillan suuntaisesti. Konsoli liitetään teräs- tai betonipilariin ja ratapalkki ja kisko asennetaan konsolin päälle. Yleensä ratapalkit suunnillaan 25 vuoden käyttöiälle, mutta 50 vuoden käyttöiän voi suunnitella ratapalkeille, jos nosturia ei käytetä aktiivisesti. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 10.]

Nosturiin liittyvät rakenteet sekä liikkuvat että paikallaan olevat ovat tiiviissä vuorovaikutuksessa toisiinsa ja se tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Rakenteesta ei tule toimiva, jos nosturiin liittyviä rakenteita käsitellään yksittäisinä osina. [Crane Runway Girders]. Ympäristön vaikutukset eli korroosio, kuluminen ja väsyminen tulee ottaa huomioon materiaali- ja pintakäsittelyvalinnoilla. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 10.]

Siltanosturiradan suunnittelun erikoispiirteitä on se, että siltanosturirataan kohdistuu kuormia pysty- ja vaakasuunnan lisäksi myös vinottaissuuntaisia vaakavoimia nosturin aiheuttamasta vinoon ajosta. Siltanosturiradan valmistus- ja asennustoleranssit ovat hyvin pieniä, koska epätasainen nosturin ajo kuluttaa sekä nosturia että ratapalkin rakenteita.

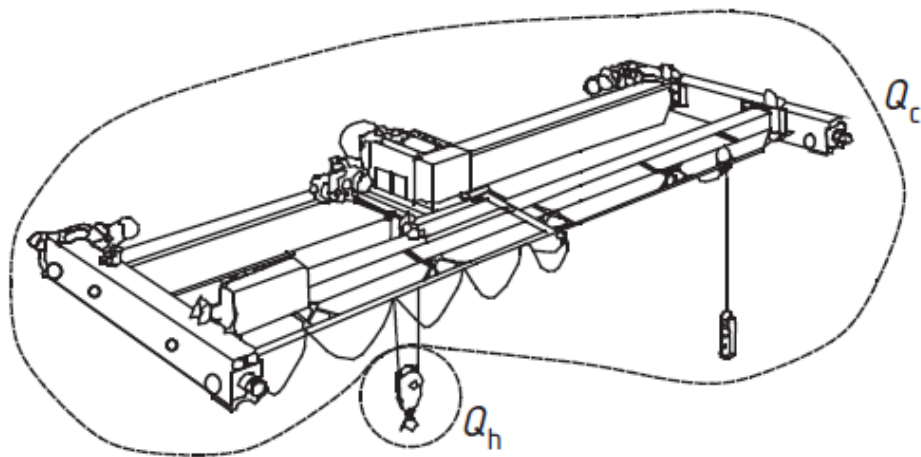
Sweco Finland:n raskaan teräsrakentamisen osaston tämänhetkinen ratapalkkien detaljikirjasto oli keskeneräinen ja puutteellinen, mikä tarvitsi päivitystä. Opinnäytetyön tavoitteena oli päivittää Sweco Finland:n teollisuuden teräsrakenteiden osastolle ratapalkkien detaljikirjasto sekä teräs- että betonipilareille, jota rakennesuunnittelijat voisivat käyttää suunnittelun tukena tulevilla projekteilla. Keinona tavoitteeseen pääsynä oli mallintaa jokainen ratapalkin liitosdetalji Tekla Structure -ohjelmistolla ja luoda detalji-, kokoonpano- ja asennuspiirustukset PDF- ja autoCAD-formaatteineen.

Sweco on ruotsalainen monikansallinen rakentamisen ja teollisuuden suunnittelun- ja konsultoinnin asiantuntijayritys. Se on muodostettu vuonna 1997 ruotsalaisten yritysten FFNS AB:n ja VBB:n yhdistyessä. Toimintaa Swecolla on Ruotsissa, Norjassa, Suomessa, Tanskassa, Virossa, Liettuassa, Bulgariassa, Tsekin tasavallassa, Saksassa, Belgiassa, Alankomaissa, Isossa-Britanniassa ja Puolassa. Swecolla on asiakkaita ympäri maailmaa ja vuosittain projekteja tehdään kymmeniä tuhansia. Sweco Finlandilla työskentelee 3000 asiantuntijaa 18500:sta. [Sweco.]

2 Ratapalkkiin kohdistuvat rasitukset

2.1 Pystysuuntaiset eli vertikaaliset voimat

Ratapalkkiin kohdistuvia pystysuuntaisia voimia ovat oma paino ja kokonaiskuorma (kuva 1). Omapainoon Q_c kuuluvat kaikki ratapalkin ja nosturin kiinteät ja liikkuvat osat pois lukien nostoköydet ja ketjut. Kokonaiskuorma Q_h käsittää hyötykuorman, kuormauselimen painon ja nostolaitteen nostoköydet ja ketjut. [SFS-EN 1991-3 + AC, 14.]



Kuva 1 Siltanosturin omapaino Q_c ja kokonaiskuorma Q_h [SFS-EN 1991-3 + AC, 14]

Väsymiskuorma Q_e tulee myös huomioida laskennassa ottamalla huomioon käytönaikaisen kokonaiskuorman jakauma ja nosturin sijainnin muutokset. [SFS- EN 1991-3 + AC, 56.] Väsyminen voi aiheuttaa paljon ongelmia ratapalkkirakenteissa, kun perusmetalli, pultit ja hitsit voivat säröillä väsymisen vuoksi. Lisäksi väsyminen on aiheuttanut ongelmia myös ristikkorakenteissa ja palkeissa, jotka ovat suunniteltu nosturia tukeviksi rakenteiksi ilman väsymistarkastelua. Väsymiskuormitustarkastelu suositellaan tekemään kaikissa nosturin

käyttöluokissa kaikille osille, joiden vauriot vaikuttaisivat haitallisesti nosturia kannatteleviin rakenteisiin. [MacCrimmon, R-A. 2004, 8.]

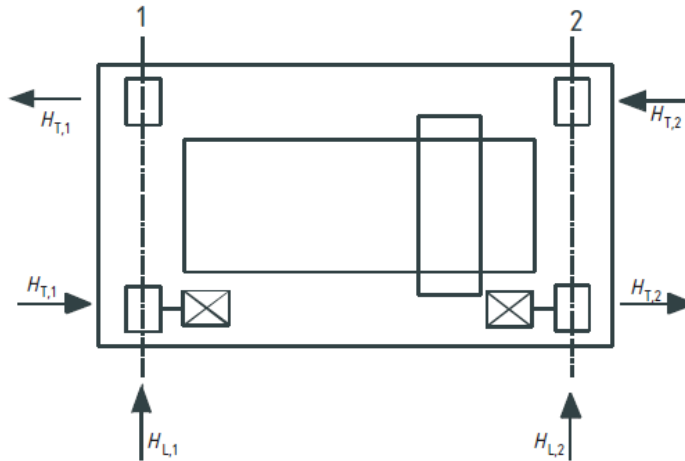
Pystysuorat pyöräkuormat jakaantuvat ratapalkille, jolloin ylälaippa vastaanottaa ylälaipan kautta tulevat kuormat, kuten siltanosturissa ja alalaippa vastaanottaa alalaipan kautta tulevat kuormat, kuten riippunosturissa. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 16.]

Kiskoon kohdistuvat kuormat siirtyvät ylälaippaan ja aiheuttavat siellä kolmiakselisen jännitystilän. Puristusjännitys esiintyy laipassa pituus suunnassa ja uumassa pystysuunnassa. Paikallinen taivutusjännitys esiintyy uumassa poikittais suunnassa. Leikkausjännitykset esiintyvät uumassa. [Crane Runway Girders]

2.2 Vaakasuuntaiset eli horisontaaliset voimat

Kiihtyvyys ja jarruttaminen aiheuttavat pituussuuntaisia voimia $H_{L,i}$ eli ratapalkin suuntaisia voimia ja poikittaisvoimia $H_{T,i}$ eli ratapalkin suunnassa kohtisuorassa olevia voimia. Lisäksi pituussuuntaisia voimia $H_{L,i}$ synnyttää ajovoiman kiskon ja nosturin pyörän kosketuspinnasta (Kuva 2). [SFS- EN 1991-3 + AC, 30-32.]

Poikittaisvoimilla $H_{T,1}$ ja $H_{T,2}$ on tarkoitus tasapainottaa ajovoimasta syntyvä momentti. [SFS- EN 1991-3 + AC, 38.] Dynaamiset nosturikuormat muutetaan staattisesta dynaamiseksi kertomalla ne dynaamisella suurennuskertoimella. [SFS- EN 1991-3 + AC, 36-40.] Staattiset kuormat pysyvät vakioina ja muuttumattomina, kun taas dynaamisissa kuormissa kuorman suuruus ja/tai suunta muuttuvat. Staattisia kuormia on esimerkiksi nosturin oma paino ja dynaamisia nosturiin kohdistuvat pyöräkuormat. [Tente.]



Selite

- 1 Kisko $i = 1$
 2 Kisko $i = 2$

Kuva 2 Pituussuuntaisten ja poikittaisten vaakasuuntaisten pyöräkuormien jakautuminen kiihdytyksestä ja jarrutuksesta johtuen [SFS 1991-3 + AC, 32.]

Ajovoima K on pituussuuntainen voima, joka tulee saada tietoon nosturintoimitajalta. [SFS- EN 1991-3 + AC, 40.]

Puskurivoima $H_{B,1}$ on pituussuuntainen puskuriiin kohdistuva voima nosturin liikkua ja puskurivoima $H_{B,2}$ nostovaunun liikkua. Nämä otetaan huomioon onnettomuuskuormana. Kolmas onnettomuuskuorma on törmäyskuorma H_{TA} . [SFS- EN 1991-3 + AC, 50–52.]

Pituussuuntaiset voimat välitetään jäykistysristikolla perustuksille ja poikittaisuuntaiset sivuvoimat pilareiden ja kattokannattajan muodostamalla kehällä perustuksille. (Ongelin, P 2010, 519.)

Poikittaisvoima $H_{T,3}$ jää vaakasuuntaisen puskurivoiman $H_{B,2}$ alle. [SFS- EN 1991-3 + AC, 48.]

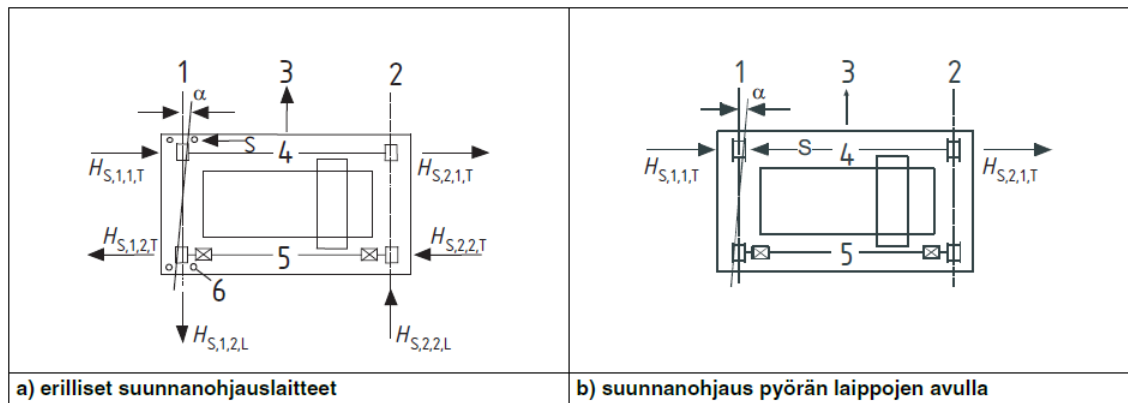
Poikittaiset vaakakuormat jakaantuvat ylälaipalle tai ylälaipan tason vaakapalkille kuormien kohdistuessa ratapalkkiin ylälaipan kautta ja vastaavasti

poikittaiset vaakakuormat jakaantuvat alalaipalle kuormien kohdistuessa alalaipaan. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 16.]

Vaakasuuntainen voima käytön aikainen tuuli F_w^* otetaan myös huomioon laskennassa tuulen nopeudella 20 m/s. [SFS- EN 1991-3 + AC, 24 & 66.]

2.3 Poikittaissuuntaiset voimat

Nosturin kulkiessa nosturin vino liike aiheuttaa poikittaissuuntaisia vaakavoimia $H_{S,i,j,k}$ ja ohjausvoimaa S (Kuva 3). [SFS- EN 1991-3 + AC, 32.]



Selite

- 1 Kisko $i = 1$
- 2 Kisko $i = 2$
- 3 Liikkeen suunta
- 4 Pyöräpari $j = 1$
- 5 Pyöräpari $j = 2$
- 6 Suunnanohjauslaitteet

Kuva 3 Pituussuuntaisten ja poikittaisten vaakasuuntaisten voimien jakautuminen nosturin vinoon ajosta johtuen [SFS 1991-3 + AC, 32]

Ennen nosturin käyttöönottoa nosturille tehdään sekä dynaaminen että staattinen koekuormitus. Dynaamisessa koekuormituksessa nosturia kuormitetaan vähintään 110 % nimellisellä pahimmalla mahdollisella kokonaiskuormalla, mikä kerrotaan vielä dynaamisella suurennuskertoimella. Staattisessa koekuormituksessa kuorman määrä on 125 % nimellisestä pahimmasta mahdollisesta kokonaiskuormasta. [SFS- EN 1991-3 + AC, 50.]

3 Runkopilarit ja sidejäykistys

Runkopilarit, jotka kannattelevat nosturikuormia ja siirtävät ne perustuksille ovat tässä työssä joko betoni- tai teräspilareita. Yleensä ratapalkkia kannatteleva konsoli kiinnitetään suoraan pilarin sivuun. On mahdollisuus myös lisätä pilarin syvyyttä ratapalkin alapinnan korkoon asti tai ratapalkin alapuolelle voidaan lisätä erillinen pilari, mikä on kytketty siteillä runkopilariin kiinni. Erillisen pilarin liittäminen liittyy tosin riski sille, että runkopilarin siirtyminen voi aiheuttaa ylikuormitusta kahden pilarin välille. Siksi tarkoituksenmukaisempaa on tarkastella nosturiin liittyvät rakenteet yhtenä kokonaisuutena. [Crane Runway Griders.]

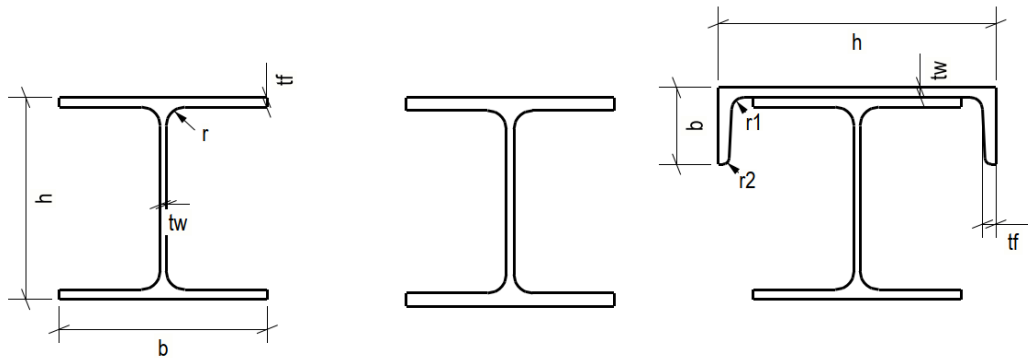
Runkopilareiden jäykistäminen suositellaan tehtäväksi rakennuksen liikuntasauvojen puolivälissä tai rakennuksen keskellä. Liikuntasauvojen välinen maksimietäisyys on noin 150 m. Rakenteen tavoitteena on estää lämpötilan noususta johtuvien aksiaalisten puristusvoimien muodostuminen ja sitä kautta ratapalkkien nurjahdus. Kokonaisliike minimoituu, koska rakenne on pakotettu laajenemaan kahteen suuntaan. [Crane Runway Girders, MacCrimmon, R-A. 2004, 33.] Samaan kohtaan seinäsiteiden läheisyyteen suunnitellaan myös niin sanottu fixing point eli ratapalkin kiintopiste.

Suurille voimille suositellaan lisäksi horisontaalista sidejäykistystä pilareiden välille myös ratapalkin tasossa. Väsymiselle alttiille rakenteille ja liukuliitoksille suositellaan kaksoispilareiden käyttöä. [MacCrimmon, R-A. 2004, 33-34.]

4 Ratapalkki

4.1 Profiili

Ratapalkin profiilina voi käyttää valssattua tai hitsattua I-profiilia yleensä leveälaippaista HEA- tai HEB-palkkia, ylälaippavahvistettua I-profiilia, jäykisteillä vahvistettuja profiileita tai hitsattuja kotelopoikkileikkauksia. Ylälaippaa voi vahvistaa sivuttaisvoimien vastaanottamiseksi esimerkiksi laipan päällä mahallaan olevalla UNP-profiililla tai ylälaippaan kiinnitetyillä L-profiileilla. (Kuva 4) Ylälaipan vahvistaminen levyllä tosin huonontaa ratapalkin väsymisikää. Hitsattuja kotelopoikkileikkauksia käytetään harvemmin. [Crane Runway Girders.]



Kuva 4 a) HEA-profiili

b) HEB-profiili

c) HEA-profiili

4.2 Uuman vahvistaminen

ESDEP-kurssin "Crane Runway Girders" mukaan uuman vahvistamista jäykisteillä suositellaan ja I-profiilia yleensä vahvistetaan jäykisteillä sivuttaisvoimia vastaan. Uumajäykisteet ehkäisevät uuman nurjahtamista ja lisäävät kiertymis-kykyä ylälaipassa. Jäykisteitä tulee suunnitella ratapalkin matkalle riittävästi, jotta ylälaippa ei väännä liikaa keskikohdassa.

Eurokoodin "Nosturia kannattavat rakenteet- standardin SFS- EN 1993- 6 + AC, s 33" mukaan jos nosturin väsymisluokka on korkea, poikittaiset uumajäykisteet tulee hitsata vain alalaippaan ja uumaan kiinni.

Kanadalaisessa R-A MacCrimmon:n, R-A:n 2004 julkaisussa ohjeessa "Crane-Supporting Steel Structures Design Guide" pohditaan kannattaako uumaa vahvistaa jäykisteillä ollenkaan ja valita sen tilalta profiili paksummalla uumalla yksinkertaisuuden vuoksi. Tällöin myös uuman ja laipan välinen liitos olisi lujempi ja väsymisen aiheuttamat yksityiskohdat olisi myös eliminoitu jännitysalueella. Poikittaissuuntaisia uumajäykisteitä ei suositella käytettäväksi ollenkaan uudisrakentamisessa, mutta korjausrakentamiseen ne voivat olla yksi ratkaisu rakenteen elinkaareen pidentämiseksi.

Pystyjäykiste hitsataan vain uumasta ja ylälaipasta kiinni ja jäykisteen ja alalaipan väliin tulisi jäädä minimissään $4 t_w$:n ja maksimissaan $6 t_w$:n verran tilaa alalaipan hitsin päältä mitattuna. [MacCrimmon, R-A. 2004, 8.]

4.3 Materiaali

Ratapalkin materiaalina käytetään yleensä S355J2-terästä, jossa merkinnät tarkoittavat:

- S = steel = teräs
- 355
 - Kuumavalssatun rakenneteräksen myötöraja $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ nimellispaksuuden ollessa alle 40 mm
 - Kuumavalssatun rakenneteräksen myötöraja $f_y = 335 \text{ N/mm}^2$ nimellispaksuuden ollessa 40...80 mm ja
 - Kuumavalssatun rakenneteräksen vetomurtolujuus $f_u = 490 \text{ N/mm}^2$ nimellispaksuuden ollessa alle 40 mm ja

- Kuumavalssatun rakenneteräksen myötöraja $f_u = 470 \text{ N/mm}^2$ ni-mellispaksuuden ollessa 40... 80 mm.
- J2 = Charpy-V-iskutkeys vähintään 27 joulea -20 C° lämpötilassa

[2022. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus 1.]

Korkealujuusteräksen käyttäminen ei ole tarkoituksenmukaista ratapalkeissa, koska väsyminen rajoittaa sallittuja jännityksiä. Hitsattujen rakenteiden väsymislujuudet ovat samat matalasta tai korkeasta lujuudesta riippumatta. Lisäksi taipuma ja sivuttainen nurjahdus ovat myös määrääviä tekijöitä, jolloin korkealujuusteräksen käyttö ei ole kustannustehokasta. [Crane Runway Girders.]

5 Liitokset

5.1 Pilarin ja konsolin välinen liitos

Pilarin ja konsolin välinen liitos suunnitellaan rakenteiden mekaniikan periaatteiden mukaisesti jäykäksi mahdollisimman pienellä epäkeskisyydellä ja yleensä se tehdään ympärähitsatulla pienähitsillä konepajalla. Vallitseva kuorma on vertikaalinen. [Crane Runway Girders.]

Jäykästi tuetun ulokepalkin momentin ja tukireaktion laskukaavat ovat:

Tukireaktio (kaava 1)

$$A = F$$

Momentin lauseke (kaava 2)

$$M(x) = -Fx$$

Maksimimomentti (kaava 3)

$$M_{max} = -FL$$

Taipuma (kaava 4)

$$f = \frac{-FL^3}{3EI}$$

missä

A = tukireaktio

F = voima

L = voiman varsi eli sauvan pituus

E = Kimmokerroin, Teräs 210 Gpa

I = jäyhyysmomentti

[Leppä, M 2020].

5.2 Ratapalkin ja konsolin liitos

Ratapalkit suunnitellaan yleensä kaksi- tai kolmiaukkoiseksi palkeiksi jatkosten minimoimiseksi ja nosturin tasaisemman liikkumisen vuoksi. Jatkuvalle palkilla momentti on suurimmillaan juuri tuen eli tässä tapauksessa konsolin kohdalla, jonka vuoksi liitoksen tulee kestää myös nostetta.

Ratapalkin ja konsolin liitos suunnitellaan nivelliitokseksi pakkovoimien minimoimiseksi tuella. Nivelliitos sallii vapaan kiertymisen. Ratapalkilta rajoitetaan vaakasuuntainen liike joko jäykisteeseen hitsatuilla L-teräksillä, mihin tulee pulttikiinnitys tai konsoliin hitsatuilla klipseillä. Pitkät pultit venyvät ja sietävät väsymistä paremmin. Pulttikiinnityksessä pulttien reiät suunnitellaan ylisuuriksi ja soikeiksi horisontaalisesti molempiin suuntiin.

Ratapalkki kiinnitetään yläreunasta pilariin joko ylälaippaan ja jäykisteeseen hitsatuilla levyillä ja pulteilla tai suoraan uumasta pilariin liittyvillä pulteilla. Pieni pituussuuntainen liike sallitaan tukireaktiopalan haarukkakiinnityksellä. Haarukkakiinnitys eli ratapalkin kiintopiste ns. fixing point suunnitellaan joko rakennuksen keskelle tai liikuntasauvojen puoliväliin, kuten aikaisemmin on jo mainittu. Muut liitokset suunnitellaan siten, että palkki saa liukua pituussuunnassa vapaasti, mutta kuitenkin ratapalkin kiintopiste pitää ratapalkin paikoillaan lateraalisuunnassa.

Ratapalkit liitetään toisiinsa tuen kohdilla pohjalevyillä. Ratapalkin päihin hitsataan levyt, joissa on yksirivinen vaakapulttikiinnitys ja täytelevy mahdollista lateraalista säätöä varten. Tämä liitos sallii palkkien uumien ja ylälaippojen liikkumisen pituussuunnassa alalaippojen pysyessä yhdessä vaakapulttikiinnityksellä. Muutoin liitos on samanlainen kuin jatkuvassa palkissa.

Vältettävä vaarallinen liitos on hitsata levy uumaan pulttikiinnityksellä pulttirivin ylettyessä ylälaippaan asti, jolloin liitos on jäykkä. Seurauksena voi olla liian suuri leikkausvoima levyssä ja pulteissa ja paikallinen jännitys ja halkeamat uumassa. [Crane Runway Girders.]

5.3 Ratapalkin ja pilarin välinen liitos

Vaakasuuntaisten kiinnittimien pilarin ja ratapalkin välissä tulee kestää pystysuuntaisten kuormien aiheuttama ratapalkin pään kiertymisen ja liikkeet, vaakasuuntaisten kuormien aiheuttama ratapalkin ylälaipan kiertymä ja liikkeet ja pystysuuntaisten liikkeiden aiheuttama puristus, kiskon kuluminen ja ratapalkkien tukien painuminen. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 33.] Vaakakiinnittimet suunnitellaan sellaisiksi, että niillä voi säätää ratapalkkia suoraksi pysty- ja vaakasuunnassa toleranssien mukaan. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 34.]

Ylälaipan ja runkopilarin välissä olevan kiinnittimen tulee kestää pituussuuntaista liikettä, johon taipuisa levy on yksi vaihtoehto, jos siirtymä on alle 1 mm. Liitos soikeilla reillä on suositellumpi ratkaisu pituussuuntaisen liikkeen vastaanottamiseksi. [Crane Runway Girders.]

Vältettävä vaarallinen rakenne on kiinnittää ratapalkin uumaan esimerkiksi levy ja kiinnittää se pilariin. Levykiinnitys ratapalkin uuman ja pilarin välissä aiheuttaa uumalle rasitusta ja kiinnitys ei ota poikittaissuuntaisia voimia vastaan vaan sallii ylälaipan liikkumisen poikittaissuunnassa. Ylälaippaan ja jäykisteeseen levyn kiinnittäminen on turvallisempi vaihtoehto, mikä ottaa myös poikittaissuuntaiset voimat vastaan ja estää palkin heilumisen poikittaisessa suunnassa. [Crane Runway Girders.]

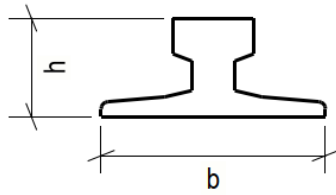
5.4 Kiskon ja ratapalkin liitos

5.4.1 Kiskon ominaisuudet ja materiaali

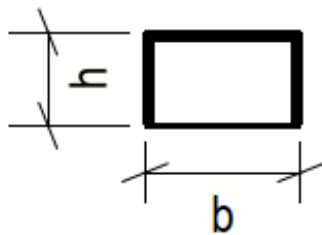
Kiskojen suunnittelun lähtökohtana voidaan pitää nosturivalmistajalta saatavia lähtötietoja. Kiskoissa tulee olla riittävä kulutuskestävyys ja taivutusjäykkyys. [Crane Runway Girders.]

A-kiskot (kuva 5) valmistetaan erityisestä kiskoteräksestä, jonka vetomurtolujuus tulee olla $500 \text{ N/mm}^2 \dots 1200 \text{ N/mm}^2$. Suorakaiteen muotoiset profiilit saa tehdä myös tavallisesta rakenneteräksestä, kuten lattakisko (kuva 6). [SFS- EN 1993- 6 + AC, 13.] Kiskon poikkileikkauksen saa ottaa huomioon kestävyys laskennassa, mikäli se on jäykästi kiinnitetty palkkiin sekä ruuvi-, että hitsiliitoksissa. Kiskon kulumisen on otettava tällöin huomioon. Yleensä vähennetään kiskon kantopinnan alapuolisesta nimellisestä minimikorkeudesta 25 %. Kantopinnan alapuolisen nimellisen minimikorkeuden määrittäminen riippuu kiskon poikkileikkauksesta. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 16 & 35.]

Ruuvien tulee olla soviteruuveja tai ruuvikiinnitysluokka C:hen kuuluvia esijännitetyjä ruuveja ja mitoituksen on tapahduttava murtorajatilassa liukumisen kestävinä liitoksina. Ruuveihin ja hitseihin kohdistuu taivutuksesta aiheutuvaa pituus-suuntaista leikkausvoimaa ja vaakasuuntaista voimaa nosturikuormista. Kiskon materiaali, pyöräkuorma, pyörän materiaali, pyörän halkaisija, nosturin käyttöaste ja nosturin ja kiskojen suunniteltu käyttöikä vaikuttavat kiskojen valintaan. Mikäli kiskojen käyttöikä on pienempi kuin nosturin, on se syytä ottaa huomioon kiskon kiinnittämisen suunnittelussa ja sen vaihtamisessa. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 16 & 35.]



Kuva 5 Poikkileikkaus A-kiskosta



Kuva 6 Poikkileikkaus lattakiskosta eli suorakaiteen muotoisesta kiskosta

5.4.2 Kiskon kiinnittäminen hitsaamalla tai pulteilla

Kisko voidaan kiinnittää joko jäykästi tai liukumisen sallivalla kiinnityksellä ratapalkkiin. **Jäykän** kiinnityksen voi tehdä hitsaamalla kiskot ratapalkkeihin tai kiinnittämällä kisko pulteilla tai niiteillä ratapalkin laipan läpi. **Liukumisen** sallivissa kiinnityksissä kiinnitys tehdään pulteilla, niiteillä tai klipseillä. Liukumisen sallivaan kiinnitykseen kiskon ja ratapalkin väliin voidaan laittaa elastinen kantava alusta. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 36.]

Oli kyseessä jäykkä tai liukumisen salliva kiinnitys molempiin liittyy sekä hyviä että huonoja puolia. Hitsauksen hyötynä kisko saadaan sijoitettua tarkasti palkin keskiviivalle, mutta hitsiliitoksiin liittyy myös haasteita. Hitsiliitoksen huoltaminen ja uusiminen voi olla hankalaa. Hitsiliitokset kannattaa suunnitella tehtäväksi suurimmaksi osaksi konepajalla, mutta liitoskohtiin työmaahitsejä joutuu osaksi tekemään. Työmaahitsien paikat kannattaa sijoittaa taivutusmomentin minimikohtaan. Kiskon epäkeskisyyttä ratapalkin suhteen on ehdottomasti vältettävä

ja suositeltavaa on yhdistää kiskot toisiinsa hyvin pienillä toleransseilla käyttämällä mieluiten konepajahitsausta. [Crane Runway Girders.]

Kiskon kiinnittäminen liukumisen sallivalla kiinnityksellä, mikä rajoittaa kiskon liikkumisen pysty- ja sivusuunnassa, mutta puristimet sallivat kiskon liikkumisen pituussuunnassa on suosittu tapa kiskon kiinnittämiseksi. Toinen tapa liukumisen sallivalle kiinnitykselle on hitsata sivuttaissuuntaisen liukumisen ehkäisemiseksi ohjauslevyt kiskon molemmille puolille ja pystysuuntainen siirtymä rajoitetaan pulttikiinnityksellä. Etuna on se, että ei tarvitse käyttää sivuttaissuuntaisen liukumisen ehkäisemiseksi niin järeitä pultteja. Palkin väsyminen on tarkistettava jälkimmäisessä kiinnitystavassa. [Crane Runway Girders.]

5.4.3 Kiskon jatkokset

Kiskojen jatkoksia tehdään kahdella tapaa joko jatkuvina ulottuen ratapalkkien jatkosten yli tai jatkumattomina liikuntasauman kanssa. Kiskojen jatkoksien syyksien tulee olla minimoituja eli kiskojen ja ratapalkkien päiden tulisi alkaa eri kohdasta. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 36.] Hitsaamalla tehdyt jatkokset ovat suositeltavampia, mitä pulttijatkokset, sillä hitsaamalla saadaan tasainen kulkupinta ja vältetään rako. Kiskojen päät viistetään tai muotoillaan yhteensopiviksi, jotta pyöräkuorma siirtyy kiskolta toiselle tasaisesti. [Crane Runway Girders.]

5.4.4 Elastinen alusta

Elastinen alusta kiskon alla sallii kiskon vähäisen liikkumisen. Jännitys jakaantuu tasaisemmin nosturin pyörän ja kiskon välillä ja kiskon ja ratapalkin välillä käytettäessä elastista alustaa. Elastista alustaa voi käyttää sekä jatkuvasti tuetun kiskon että yksiaukkoisesti tuetun kiskon alla. Pehmeämpi elastinen alusta on suunniteltu yksiaukkoisesti tuettuun kiskoon. Jatkuvasti tuettujen kiskojen alle on suunniteltu teräsvahvisteiset pehmusteet. Alusta vähentää tärinää, meliä ja kiskon ja ratapalkin välistä naarmuuntumista. Pehmuste auttaa myös pyöräkuormaa jakaantumaan laajemmalle alueelle, jolloin tukirakenteet väsyvät vähemmän, koska pehmuste tasoittaa epätasaisuuksia kiskossa. [Gantrail.]

5.5 Päätypuskurin ja ratapalkin liitos

Päätypuskuri suunnitellaan ratapalkin loppuun estämään nosturin tipahtaminen nosturiradalta. Päätypuskurina käytetään yleensä valssattua tai hitsattua I-profiilia, joka voidaan kiinnittää ratapalkkiin joko hitsaamalla tai pulttikiinnityksellä päätylevyn avulla. Päätypuskuriprofiiliin lisätään yleensä nosturintoimittajan joustava puskuripehmuste, mikä kiinnitetään myös hitsaamalla tai pulttaamalla. Liitokset tulee suunnitella puskurivoiman mukaisesti. [MacCrimmon, R-A. 2004, 38.]

5.6 Suositeltavat hitsityypit

5.6.1 Pienahitsi

Pienahitsi on kolmion muotoinen hitsi liitospintojen muodostaessa 60–120 asteen kulman. Alle 60 asteen kulmassa pienahitsin käyttäminen on sallittua, mutta hitsin ominaisuudet ovat verrattavissa läpihitsattuun päittäishitsiin. Pienahitsin lopettaminen rakenneosan päättyyn tai sivulle ei ole sallittua. Suositus on jatkaa hitsiä täysikokoisena ja jatkuvana kulman ympäri kaksi kertaa hitsin kyljen pituiseksi. Pienahitsin mitoitus tehdään joko komponenttimenetelmällä tai siitä johdetulla yksinkertaistetulla alla esitetyllä neliöjuuriluokittelulla. [SFS-EN 1993-1-8, 42.] Pienahitsin tehollisen pituuden (l_{eff}) minimimitta on 30 mm tai 6a mm ja a-mitan täytyy olla vähintään 3 mm, jotta hitsi siirtää voimia eteenpäin. [Ongelin, P 2010, 344-345.]

Hitsin kestävyuden mitoitusarvon $F_{w, Rd}$ tulee olla suurempi kuin hitsin pituusyksikköä kohti vaikuttavan voiman mitoitusarvon $F_{w, Ed}$. [SFS-EN 1993-1-8, 47.]

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

Riippuen kuorman suunnasta hitsin laskentapintaan kohdistuessa mitoitusarvo lasketaan kaavoilla (5)-(7):

- kohtisuora puristus tai veto (kaava 5):

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u a L_{eff}}{\sqrt{1} B_w \gamma_{M2}}$$

- kohtisuora puristus tai veto 45 asteen kulmassa (kaava 6):

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u a L_{eff}}{\sqrt{2} B_w \gamma_{M2}}$$

- pelkkä leikkausvoima (kaava 7):

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u a L_{eff}}{\sqrt{3} B_w \gamma_{M2}}$$

missä

f_u = vetomurtolujuus (N/mm²)

a = pienahitsin a-mitta (mm)

L_{eff} = hitsin toimiva pituus (mm)

γ_{M2} =osavarmuusluku 1,25

β_w =Hitsin lujuuskerroin, mikä riippuu teräslajista

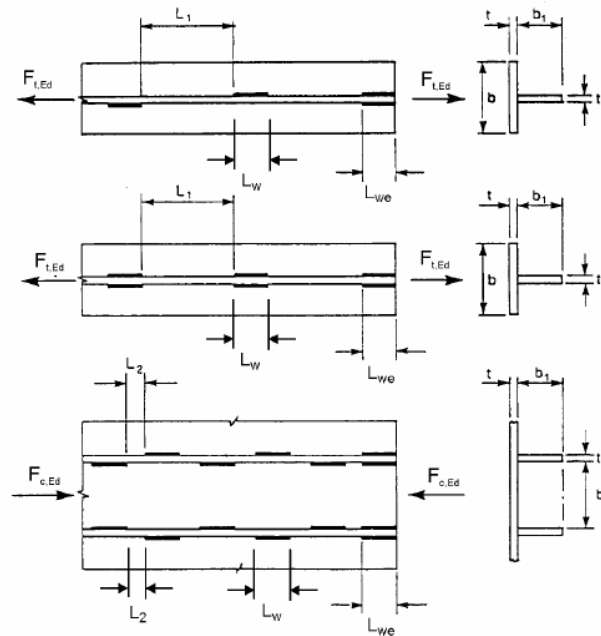
[2022. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus 1.]

5.6.2 Katkopianahitsi

Katkopianahitsi on pienahitsi, missä hitsataan tiettyjen etäisyyksien mukaisesti osapienahitsi L_w jättäen hitsien väliin tietyn pituisen tyhjän välin (L_1 ja L_2) (kuva 7). Katkopianahitsiä käytetään yleensä lattakiskon kiinnittämiseen. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 33 & SFS-EN 1993-1-8, 42.] Ratapalkkien tapauksessa tyhjä väli täytetään liimakitillä, jotta väliin ei pääse roskaa ja epäpuhtauksia.

Katkopianahitsien käyttö on kielletty, jos vaarana on ruostetaskumuodostumat. Mikäli kiinnitys on säältä suojattu, katkopianahitsejä saa käyttää. Myös syövyttävissä olosuhteissa käyttö on kielletty. [SFS- EN 1993- 6 + AC, 33 & SFS-EN 1993-1-8, 42.]

Liitettävän osan päihin tulee suunnitella molemmille puolille hitsi, jonka pituus on L_{we} . (Ongelin, P 2010, 346.)



Pienempi arvoista:	$L_{we} \geq 0,75 b$	ja	$0,75 b_1$	
Vedetyt hitsatut rakenneosat:				
Pienempi arvoista:	$L_1 \leq 16 t$	ja	$16 t_1$	ja 200 mm
Hitsattu rakenneosa, johon kohdistuu puristus tai leikkaus:				
Pienempi arvoista:	$L_2 \leq 12 t$	ja	$12 t_1$	ja $0,25 b$ ja 200 mm

Kuva 7 Katkopianahitsin mitoitus [SFS-EN 1993-1-8, 43.]

missä

L_w = Hitsatun osan pituus (mm)

L_{we} = Hitsatun osan pituus lopussa (mm)

b = ylälaipan leveys (mm)

b_1 = kiskon korkeus (mm)

L_1 = Hitsaamattoman osan pituus, mihin kohdistuu vetoa (mm)

L_2 = Hitsaamattoman osan pituus, mihin kohdistuu puristusta tai leikkausta (mm)

t = Ylälaipan paksuus (mm)

t_1 = kiskon leveys (mm)

5.6.3 Ylälaipan ja uuman välinen kaulahitsi

Jos ratapalkkina käytetään hitsattuja profiileita, ylälaipan ja uuman välinen kaulahitsi suositellaan tehtäväksi v-hitsinä molemmin puolin läpitukevana, koska hitsi kestää silloin paremmin väsymistä. [Crane Runway Girders.] Hitsit ovat yleensä halkeilleet, jos uuma on hitsattu laippaan pienahitsillä ja rakenteeseen on kohdistunut väsymistä. [MacCrimmon, R-A. 2004, 37.]

Uuman ja laipan välinen kaulahitsin mitoituskaava (kaava 8) on symmetrisessä I-profiilissa seuraava:

$$a > \eta \frac{\beta_w \gamma_{M1} f_{y_w}}{2 \gamma_{M2} f_{u_w}} t_w$$

missä

η = uuman leikkauskestävyydessä muokauslujittumisen huomioon ottava tekijä

- S235-S460-teräksellä 1,2
- S500-S700 teräksellä 1,0

β_w = hitsin lujuuskertoimet

- S355-teräksellä 0,9
- S500-S700 1,0

f_{y_w} = uuman nimellinen myötölujuus

f_{u_w} = uuman nimellinen murtolujuus

γ_{M1} = osavarmuusluku 1

γ_{M2} = osavarmuusluku 1,25

t_w = uuman paksuus

Edellä mainitulla kaavalla voi laskea myös uuman ja pitkittäisjäykisteen ja uuman ja poikittaisjäykisteen väliset hitsit. [Ongelin, P 2010, 76, 153, 349 & 359-360.]

5.6.4 Uumajäykisteiden hitsi

Uumajäykisteet suositellaan myös hitsattavaksi läpitukevana päittäishitsinä täyteen lujuteen, koska hitsin väsyessä ja mahdollisessa halkeilussa voi väsymishalkeama levitä uumaan asti. Valitsemalla profiilin paksummalla uumalla ja välttämällä horisontaalisia uumajäykisteitä välttää varmuudella mahdolliset ongelmat jäykisteiden hitseissä. [MacCrimmon, R-A. 2004, 37.]

Hitsatuissa profiileissa uumajäykisteitä ei kannata hitsata ylälaipan ja uuman välisiin kaulahitseihin asti, koska jännittymiskeskittymän vuoksi halkeama saa helpommin alkunsa sieltä. [Ongelin, P 2010, 461.]

6 Pintakäsittely

6.1 Ilmatilakorrosio

Korroosiorasitusta voi yleisesti tapahtua ympäröivästä ilmatilasta, vedestä ja maaperästä. Ratapalkkiin kohdistuva korroosiorasitus tulee ympäröivästä ilmatilasta. Ympäristöolosuhteet luokitellaan kuuteen eri ilmatilakorroosiorasitusluokkaan: C1 hyvin lievä, C2 lievä, C3 kohtalainen, C4 ankara, C5 hyvin ankara ja CX äärimmäinen korroosiovaikutus. Esimerkiksi Suomessa sisällä olevat ratapalkit kuuluvat vähintään C3-luokkaan. [SFS-EN ISO 12944-2:2017, 8–12.]

Teräksen pinnalla on ohut paljaalla silmällä erottamaton kosteuskalvo, jonka kautta ilmatilakorrosio tapahtuu. Korroosioprosessi nopeutuu, kun

- 1) ilman suhteellinen kosteus nousee,
- 2) esiintyy kondensoitumista eli pinnan lämpötila on sama tai alhaisempi kuin kastepiste ja kosteutta tiivistyy kylmälle pinnalle ja
- 3) epäpuhtauksien määrä ilmatilassa kasvaa ja ne reagoivat teräksen kanssa.

Kun suhteellinen kosteus on yli 80 % ja lämpötila yli 0 °C korroosiota tapahtuu, mikä tarkoittaa ns. märkäaikaa tuntia/vuosi. Korroosiota esiintyy myös alhaisemmassa suhteellisessa kosteudessa epäpuhtauksien ja hygroskooppisten suolojen kasvaessa. Ilmasto-olosuhteet on suuntaa antavia korroosiokäyttäytymistä arvioitaessa. Erittäin kylmällä ja kuivalla alueella märkäaika on lyhyempi kuin lämpimässä ja kosteassa. [SFS-EN ISO 12944-2:2017, 8–12.]

Kemiallinen rasitus eli hapot, emäkset, suolat, orgaaniset hiukkaset, syövyttävät kaasut ja pölyhiukkaset lisäävät korroosion muodostumista, mitä esiintyy erityisesti teollisuuslaitoksissa, mikä nostaa vaatimuksia suojamaaliyhdistelmän toimivuudelle. [SFS-EN ISO 12944-2:2017, 8–12.]

6.2 Korroosionestomaalaus

Yleensä pääsideaineina korroosionestomaalauksessa käytetään

- epoksia (EP)
- polyuretaania (PUR)
- etyyliisilikaattia (ESI)
- sinkkipölymaalia (Zn (R))
- alkydia (AK) ja
- akryylia (AY)

Maalien eri kerroksien levitys suositellaan tehtäväksi konepajalla, koska levitys, lämpötila ja suhteellinen kosteus on hallittavissa paremmin, mahdollisten vaurioiden korjaaminen on yksinkertaisempaa, tuotanto saadaan suuremmaksi ja kierrätys on helpommin hallittavissa. Toki konepajalla tehtävä pintakäsittely aiheuttaa myös mahdollisia rajoituksia esimerkiksi rakenneosien koosta riippuen ja mahdollisia vaurioita voi syntyä kuljetuksen, käsittelyn ja pystytyksen aikana. Mahdolliset vauriot korjataan, kun rakennetta ei tarvitse enää työstää. Rata-palkki ja kisko maalataan muuten kauttaaltaan, mutta kiskon alta ei maalata. [SFS-EN ISO 12944-5:2019, 8 & 13.]

Maaliyhdistelmä valitaan määrittelemällä ensin rakennuksen ympäristön rasisitusluokka, jonka jälkeen arvioidaan, tarvitseeko rasisitusluokkaa korottaa erityisolosuhteiden vuoksi. Maaliyhdistelmät valitaan SFS-EN ISO 12944-5:2019 löytyvästä taulukosta. [SFS-EN ISO 12944-5:2019, 15.]

7 Taipumarajat

Sekä vaaka- että pystysuuntaiset taipumarajat määritellään yksilöllisesti jokaiseen projektiin asiakkaan ja nosturitoimittajan kanssa käytettävissä olevien raja-arvojen pohjalta. [SFS-EN 1993-6 + AC, 29.]

7.1 Vaakasuuntaiset taipumarajat

- Ratapalkin vaakasuuntainen taipuma saa olla enintään $L/600$ rataiskon yläpinnan tasolla
- Pilarin vaakasuuntainen siirtymä saa olla enintään $h_c/400$.
- Ulkona olevilla nostureilla vaakasuuntainen siirtymäero ratapalkkeja kannattelevilla pilareilla saa olla enintään $L/600$, kun vaakasuuntaiset nosturikuormat ja käytönaikaisen tuulikuorman yhdistelmä vaikuttaa
- Ulkona olevilla nostureilla vaakasuuntainen siirtymäero ratapalkkeja kannattelevilla pilareilla ja $L/400$, kun vain tuulikuorma vaikuttaa.
- Sisällä olevilla nostureilla vaakasuuntainen siirtymäero on aina enintään $L/600$.
- Kahden ratapalkin välinen etäisyys saa muuttua lämpötilaerojen kanssa maksimissaan 10 mm

[SFS- EN 1993- 6 + AC, 30.]

missä

L = jänneväli (mm)

H_c = etäisyys pilarin alapinnasta nosturin tuentatasolle, joko rataiskon tai laipan yläpintaan (mm)

7.2 Pystysuuntaiset taipumarajat

- Ratapalkin pystysuuntainen taipuma saa olla enintään $L/600$ ja enintään 25 mm
- Kahden ratapalkin välisten pystysuuntaisten taipumien ero saa olla enintään $s/600$
- Pystysuuntainen taipuma yksikiskonostimen ollessa kyseessä vain hyötykuormasta aiheutuva taipuma saa olla enintään $L/500$. [SFS- EN 1993-6 + AC, 31.]

missä

L = jänneväli (mm)

s = kahden ratapalkin väli (mm)

8 Asennus- ja valmistustoleranssit

8.1 Valmistustoleranssit

Valmistustoleranssit on jaettu kahteen luokkaan, josta luokka 2 on tiukempi. Valmistusluokka määräytyy nosturiin kohdistuvien vaatimusten perusteella.

- Nosturiratapalkin ylälaippa saa olla maksimissaan 1 mm käyrä laskettuna keskeltä kiskon leveys + 10 mm molemmin puolin. (Luokka 1 ja 2)
- Kisko saa olla sijoitettu epäkeskisesti uuman suhteen maksimissaan (Luokka 1 ja 2)
 - 5 mm, kun uuma on enintään 10 mm paksu
 - $0,5 \cdot$ uuman paksuus, kun uuma on alle 10 mm paksu
- Kisko saa olla poikkileikkauksen yläpinnasta kalteva maksimissaan \pm kiskon leveys /100 mm (Luokka 1 ja 2)
- Jatkoksissa kiskon yläpinnan taso saa poiketa toisesta kiskosta maksimissaan $\pm 0,5$ mm (Luokka 2) ja ± 1 mm (Luokka 1).
- Jatkoksessa kiskon reuna saa poiketa toisesta kiskosta maksimissaan $\pm 0,5$ mm (Luokka 2) ja ± 1 mm (Luokka 1).

[SFS-EN 1090-2:2018, 113.]

8.2 Asennustoleranssit

Rakennneosien toteutustyössä asennustoleranssit ovat tiukkoja, mutta niillä vältetään radan ja nosturin liikaa kulumista. Mikäli asennuksen jälkeen huomataan ongelmia nosturiradan käytössä, on sen korjaaminen huomattavasti kalliimpaa ja vaikeampaa kuin, se että asian ottaa huomioon jo etupainotteisesti suunnittelussa. [Rantala, 2013.]

Asennustoleranssit riippuvat nosturin luokasta, jotka ovat jaettu neljään eri luokkaan riippuen siitä, kuinka monta kilometriä nosturi liikkuu koko elinkaarensa aikana. [ISO 12488-1: 2012, 3.]

Esimerkkitoleranssit tässä kappaleessa on esitetty standardin ISO 12488-1:2012 luokan 1 mukaan, missä toleranssit ovat kaikista tiukimmat.

- Jännevälän toleranssi $A = \pm [3+0,25(S-16)]$
 - Jos S on ≤ 16 m maksimi ± 3 mm
 - Jos S on > 16 m maksimi ± 10 mm
- Kiskon korkeussuunnan toleranssi $\pm 0,5$ mm
- Molempien ratojen päätypuskurit saavat olla enintään $F = \pm 0,8 \cdot S$ (m) mutta enintään 8 mm lateraalisesti eri tasossa
- Kiskon kaltevuus G saa olla enintään 4 mm
- Pyörien korkeusero minkä tahansa pyörän välillä $\Delta h_r = 0,8 \cdot S$
 - Jos S on ≤ 2 m maksimi $\pm 1,6$ mm
 - Jos S on > 2 m maksimi $\pm 3,2$ mm

- Kiskon epäkeskisyys K suunnitellusta saa olla enintään $\pm 0.5 * t_w$

missä

S = horisontaalinen jänneväli (m)

e = lateraalinen jänneväli (m)

t_w = uuman paksuus (mm)

9 Ratapalkin asentamisen suunnittelu

Ratapalkin liitoksiin on suunniteltu soikeita ja ylisuuria ruuvin reikiä ja välilevyjä, jotka mahdollistavat sen, että ratapalkki saadaan asetettua suunniteltuun koon ja sijaintiin. Kaikista tärkein toleranssi on se, että kiskon yläpinnassa toleranssia on vain $\pm 0,5$ mm. Suunnittelijan on suunniteltava myös asennus- ja kohdistusjärjestys tarkasti ja se tulee esittää yksityiskohtaisesti piirustuksissa ja esimerkiksi työmaahitsaus tehdään vasta kohdistuksen jälkeen. Virheet asennuksessa voivat johtaa epätasaiseen laakerointiin tai epäkeskisyyksiin, joten asentamisessa vaaditaan suurta tarkkuutta. Toleranssit on tarkistettava asennuksen jälkeen ja mahdollisista ylityksistä on kerrottava suunnittelijalle, jonka jälkeen suunnittelijan velvollisuus on määritellä tarvittavat korjaukset. [MacCrimmon, R-A. 2004, 41.]

Ratapalkkiin on suunniteltava myös nostoreiät nostamisen turvallisuuden takaamiseksi sekä konepajalla että työmaalla. Kuumavalssatuille I-palkeille laippaan voi suunnitella esimerkiksi M22 sisäkierrereiän palkin keskelle 1500 mm etäisyydelle molemmin puolin palkin painon ollessa alle 3000 kg. (Alamylläri, L, 56 & 61) Lisäksi nosturin asennusvaiheessa rakennuksen pitää olla tuettu asianmukaisesti molempiin suuntiin. [Crane Runway Girders.]

10 Muut ratapalkistoon liittyvät rakenteet

10.1 Siltanosturin hoitotasojen kiinnitys

Nostureita tulee päästä myös huoltamaan säännöllisesti, jolloin hoitotason suunnittelu on myös yleensä tarpeellista riippuen kohteesta. Hoitotasot suunnitellaan runkopilarien väliin aivan ratapalkin viereen ja ne tuetaan ratapalkista ja/tai erillisestä palkista. Nosturin hoitotasot eivät ole virallisia kulkureittejä ja niissä ei välttämättä ole kaiteita tilanpuutteen vuoksi, jolloin runkopilareihin on tärkeää suunnitella paikka, mihin nosturinhoitaja saa valjaiden ripustinkoukun kiinni putoamisen ehkäisemiseksi.

10.2 Siltanosturin virtakiskojen kiinnitys

Suunnittelijan tehtävänä on suunnitella ja se tulee mainita myös piirustuksissa, kuinka siltanosturin virtakiskot kiinnitetään, koska ratapalkkeihin ei saa kiinnittää mitään, mitä ei ole suunniteltu. Nosturin virtakiskot kiinnitetään yleensä ruuvamalla palkin uumaan tai ripustamalla alalaipasta puristusliitoksella. Uumaan kiinnitettävät virtakiskot on ruuvattava suoraan ja sijainti tulee olla ratapalkkien neutraaliakselin yläpuolella. [MacCrimmon, R-A. 2004, 38.]

11 Yhteenveto detaljikirjaston muodostamisesta

Detaljien piirtämien tehtiin Tekla-Structure -ohjelman avulla ensin liitokset mallintamalla ja sen jälkeen detaljikuvat ajettiin ja tarvittavat merkinnät lisättiin detaljeihin. Mallintaminen osoittautui hyödylliseksi tavaksi perehtyä rakenteen yksityiskohtiin ja antoi paremman käsityksen rakenteen toiminnasta. Detaljikirjaston muodostaminen osoittautui haasteelliseksi, mutta eri ohjeista löydettyjen detaljien ja opinnäytetyöohjauksen avulla se saatiin viimeisteltyä.

Detaljien tekeminen ensin ja sen jälkeen vasta lähdemateriaaliin kunnollinen perehtyminen johti siihen, että detaljeja jouduttiin muokkaamaan useaan otteeseen. Lähdemateriaalin löytäminen osoittautui toisinaan hankalaksi, mutta eri ohjeista löydettyjen detaljien avulla työ eteni. Detaljikirjaston ja teoreettisen osuuden tekeminen rinnakkain oli opettavainen työtapa.

Vaikka esimerkkipiirustusten tekeminen asennus- ja kokoonpanokuvista jäi alkuperäisestä suunnitelmasta pois, ne on tarkoitus tehdä oikeasta projektista, kun sen aika on – mahdollisimman pian. Opinnäytetyön teko antaa mahdollisuuden soveltaa oppimaansa käytännön tilanteissa ja syventää ymmärrystä silta-nosturiradasta. Kaiken kaikkiaan projekti oli haasteellinen, mutta antoisa, ja se auttoi kehittämään myös taitoja Tekla Structure -ohjelman käytössä ja yleisesti rakenteiden yksityiskohtien tarkastelussa.

Lähteet

Alamylläri, Laura. 2020. Ohje teräsrakenteiden nostojen suunnitteluun. Opinnäytetyö.

Crane Runway Girders. ESDEP COURSE. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~pmoze/ESDEP/master/wg14/l0400.htm#SEC_1 Luettu 5.2.2023

Gantrail. Products. Crane rail pads. <https://www.gantrail.com/products/crane-rail-pads/> Luettu 13.2.2023

ISO 12488-1: 2012. Cranes – Tolerances for wheels and travel and traversing tracks – Part 1 : General. International standard. Ladattu 21.12.2022

Lehtimäki, Eki. 2022. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus 1. Kaavakokoelma. Luentomuistiinpanot.

Leppä, Matti. 2020. Rakenteiden mekaniikan perusteet – kaavakokoelma. Luentomateriaali.

MacCrimmon, R-A. 2004. Crane-Supporting Steel Structures Design Guide. Canadian Institute Of Steel Construction.

Ongelin, Petri & Valkonen, Ilkka. 2010. Hitsatut profiilit. EN 1993 – käsikirja. Otavan kirjapaino Oy, Keuruu. Rautaruukki Oyj.

Rantala, Hannu. 2013. Nosturistandardien ja Eurocode-järjestelmän rajapinnat – nosturiradat. Power point- esitys. https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/106/cdebcec/rantala_nosturiradat_try_2013.pdf Luettu 26.2.2023

SFS- EN 1991-3 + AC. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 3: Nostureiden ja muiden koneiden aiheuttamat kuormat. 2007. Standardi. Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS Online. Ladattu 21.12.2022.

SFS- EN 1993- 6 + AC. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 6. Nosturia kannattavat rakenteet. 2007. Standardi. Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS Online. Ladattu 21.12.2022.

SFS-EN 1090-2: 2018. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2. Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Standardi. Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS Online. Ladattu 15.2.2023

SFS-EN ISO 12944-5:2019. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmällä. Osa 5: Suojamaaliyhdistelmät. Standardi. Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS Online. Ladattu 12.3.2023

SFS-EN 1993-1-8. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. 2005. Standardi. Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS Online. Ladattu 15.2.2023

SFS-EN ISO 12944:2:2017 Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmällä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Standardi. Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS Online. Ladattu 12.3.2023

Sweco. Tietoa Swecosta. <https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/> Luettu 2.3.2023

Tente. Dynaaminen kuormitus: voimien monimuotoinen yhteisvaikutus. <https://www.tente.com/fi-fi/ratkaisut/kestaevyys/dynaaminen-kuormitus-voimien-monimuotoinen-yhteisvaikutus> Luettu 6.4.2023