

Joni Santala

## **Teräsrakenteisen varastohallin suunnittelu**

## **Teräsrakenteisen varastohallin suunnittelu**

Joni Santala  
Opinnäytetyö  
Syksy 2020  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä(t): Joni Santala  
Opinnäytetyön nimi: Teräsrakenteisen varastohallin suunnittelu  
Työn ohjaaja(t): Risto Niva, Oulun Satama Oy  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2020  
Sivumäärä: 66 + 2 liitettä

---

Opinnäytetyössä perehdyttiin teräsrakenteisen varastohallin teräsosien ja kuorirakenteiden suunnitteluun. Työn tavoitteena oli laatia hiekan varastointiin tarkoitettun rakennuksen valmistuksen ja asennuksen vaatimat suunnitelmat.

Aluksi perehdyttiin tilaajan asettamiin vaatimuksiin rakennusta kohtaan, minkä jälkeen suunniteltiin rakennuksen ulkomitat. Ulkomittojen perusteella laskettiin rakennukselle tulevat lumi- ja tuulikuormat. Tämän jälkeen suunniteltiin rakennuksen jäykistävän rungon alustava geometria ja esivalittiin käytettävät poikkeileikkaukset. Jokainen rakenneosia mitoitettiin standardin SFS-EN 1993-1-1 mukaisesti SFS-EN 1990 mukaisien käyttö- ja murtorajatilan kuormia vastaan. Rakennuksen suoja-alue yhdistelmä valittiin ympäristöolosuhteiden mukaisesti.

Rakennus jäykistettiin katto- ja seinälinjoissa olevien vinositeiden lisäksi hallin eri puolille sijoitetuilla mastopilareilla. Kohteen kattokannattajiksi suunniteltiin yksiaukkoiset teräspalkit ja vesikatteeksi kantavat poimulevyt.

Rakennuksen kokonaisstabiilitetti ja -siirtymät sekä kantavan rungon teräsosien mitoitus varmistettiin Dlubal RFEM -ohjelmalla. Kuorirakenteiden mitoitus suoritettiin Ruukki PurCalc ja Ruukki Poimu -ohjelmilla. Hallirakennusta luonnosteltiin Autodesk AutoCad -ohjelmaa hyödyntäen. Lopullinen rakennus mallinnettiin ja sen tuotantoon sekä asennukseen liittyvät suunnitelmat tuotettiin Tekla Structures -ohjelmalla.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin laadittua tarvittavat suunnitelmat rakennuksen teräsosien valmistamiseen ja asentamiseen.

---

Asiasanat: rakenneanalyysi, rakennesuunnittelu, teräsrakenteet, teräsrakentaminen

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil engineering, Option of House Building Engineering

---

Author(s): Joni Santala

Title of thesis: Designing of steel framed storage building

Supervisor(s): Risto Niva, Oulun Satama Ltd

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2020

Pages: 66 + 2 appendices

---

In this thesis the designing of steel parts and shell structures of a steel framed storage building were examined. The purpose of the thesis was to produce required plans for manufacturing the steel parts and to assemble the building.

The requirements of the end user of the building was examined at the beginning of the thesis and after this the external dimensions were designed. The external dimensions were then used to determine the snow loads and wind loads. After this, the preliminary geometry of the steel hull was designed and the used cross sections were preselected. All the steel elements were designed according to SFS-EN 1993-1-1 standard against the ultimate limit state loads and serviceability limit state loads according to SFS-EN 1990. The protective paint was chosen according to the environmental factors.

The building was stiffened with vertical and horizontal bracing and with cantilever columns. The primary beams were designed as a single span and the load-bearing sheets were designed continuous.

The stability and global deformations of the building and the design of the steel parts were calculated using Dlubal RFEM. The shell structures of the building were designed using Ruukki PurCalc and Ruukki Poimu. The storage hall was sketched with AutoDesk AutoCad. The final version of the building was modelled and the necessary plans to manufacture and assemble the steel parts were produced with Tekla Structures.

The results of this thesis were the required plans to manufacture and assemble the steel parts.

---

Keywords: structural analysis, structural design, steel structures, steel construction

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 KUORMITUKSET	8
2.1 Onnettomuuskuormat	8
2.2 Sauvojen alkuepätkätkkyyksien huomioon ottaminen ekvivalenteilla vaakavoimilla	10
3 TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU	13
3.1 Korroosiosuojaus	13
3.1.1 Korroosio ja sen vaikutukset	14
3.1.2 Ympäristöolosuhteet	14
3.1.3 Pinnoitteen kestävyysluokka	19
3.1.4 Korroosiosuojauksen huomioiminen suunnittelussa	19
3.1.5 Pinnan esikäsitteilymenetelmän ja -asteen määrittäminen	21
3.1.6 Maalausjärjestelmän standardin mukainen merkintä ja maalausjärjestelmän valinta	24
3.2 Toteutusluokka	24
3.3 Teräksen lujuusluokka	27
3.4 Teräksen laatuluokat	29
3.5 Teräsrakenteiden mitoituksessa käytettävät aineominaisuudet ja varmuuskertoimet	31
4 HIEKANVARASTOINTIHALLIN SUUNNITTELU JA KUORMITUKSET	33
4.1 Rakenteiden korroosiosuojaus	34
4.2 Rakennuksen alustavat mitat	35
4.3 Kuormat ja kuormitusyhdistelmät	37
4.3.1 Lumikuorma	37
4.3.2 Tuulikuorma	37
4.3.3 Omapaino	37
4.3.4 Onnettomuuskuorma	38
4.3.5 Hiekan varastoimisen aiheuttama kuorma	38

4.3.6 Kuormitusyhdistelmät	39
5 KANTAVAN RUNGON SUUNNITTELU JA MITOITUS	40
5.1 Jäykistysjärjestelmän suunnittelu	40
5.2 Kantavien poimulevyjen suunnittelu	48
5.3 Palkkien suunnittelu	50
5.4 Kantavien pilareiden suunnittelu	53
5.5 Seinäorsien mitoitus	56
5.6 Pieliterästen suunnittelu ja mitoitus	56
5.7 Siteiden suunnittelu ja mitoitus	60
6 YHTEENVETO	62
LÄHTEET	64
Liite 1 Rakennuksen alustavat mitat	
Liite 2 Kuormitukset	

# 1 JOHDANTO

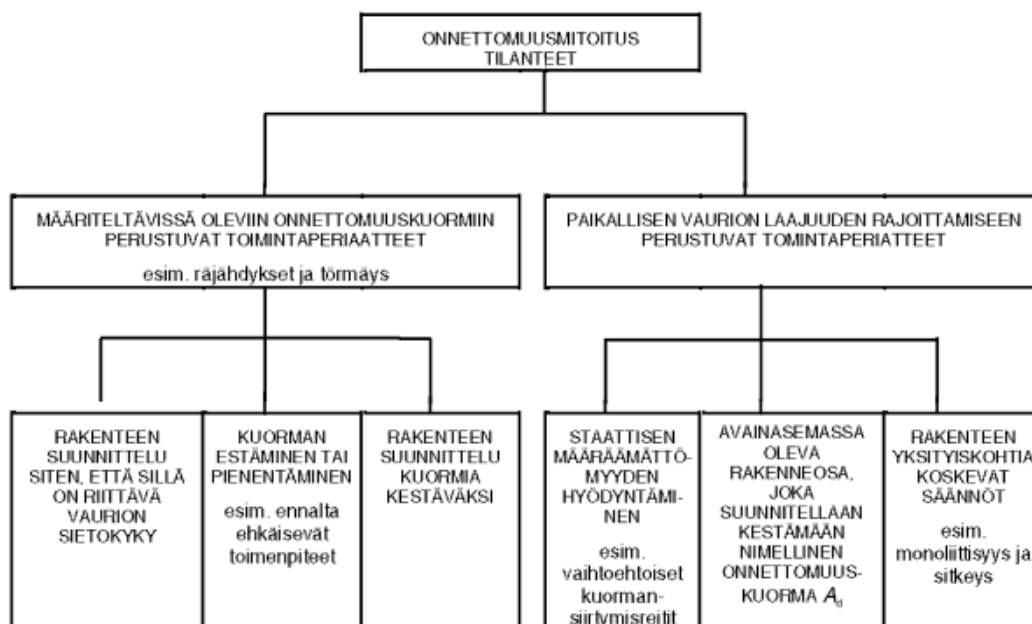
Oulun Sataman konttien ja puutavaran varastointiin tarkoitettujen alueiden määrä laajenee jatkuvasti ja näin ollen alueiden hiekoituksen tarve kasvaa kovaa tahtia. Sataman vanha, hiekan varastointiin tarkoitettu katos ei ole enää kapasiteetiltaan riittävän suuri, joten osa hiekasta on jo useita vuosia jouduttu varastoimaan ulos. Hiekan varastoiminen ulkona aiheuttaa useita ongelmia. Kesäisin kova tuuli puhaltaa hiekkaa kentille aiheuttaen ongelmia alueella operoiviin laitteisiin ja toisaalta hiekan pölyäminen on myös ulkona työskenteleville ihmisille epämukavaa. Talvisin märkä hiekka jäätyy, joten sitä on vaikea käyttää.

Tämän opinnäytetyön tavoitteina ovat rakennuksen kantava rungon suunnittelu ja mitoitus, kuorirakenteiden suunnittelu ja mitoitus sekä tarvittavien valmistus- ja työpiirustusten tuottaminen. Opinnäytetyössä ei käsitellä teräsosien välisiä liitoksia, tavanomaisten kuormitusten määrittämistä, betonirakenteita eikä konepaja- ja asennuskuvien tuotantoon liittyviä asioita. Rakennuksen kantavan rungon mitoituksessa käytetään Dlubal RFEM -ohjelmaa ja kantavan rungon sekä kuorirakenteiden mallintamiseen Tekla Structures 21 -ohjelmaa. Poimulevyt ja seinäorret mitoitetaan Ruukin Poimu- ja PurCalc -ohjelmilla.

## 2 KUORMITUKSET

### 2.1 Onnettomuuskuormat

Standardi SFS-EN 1991-1-7 käsittelee rakennusten ja siltojen onnettomuuskuormien määrittämistä. Standardi käsittelee törmäyksistä, sisäpuolisista räjähdyksistä ja määrittelemättömistä syistä syntyneistä paikallisista vaurioista seuraanneita kuormia. Tässä työssä käsitellään vain törmäyksen aiheuttamaa kuormaa jättäen kohteen kannalta epäolennaiset kuormitukset käsittelemättä. Standardi käsittelee useita toimenpiteitä onnettomuusmitoitustilanteessa. Toimintaperiaatteet esitellään kuvassa 1. (SFS-EN 1991-1-7. 2007, 24.)



KUVA 1. Onnettomuustilanteiden käsittelyn toimintaperiaatteet (SFS-EN 1991-1-7. 2007, 24)

Törmäyksestä aiheutuvat kuormat täytyy ottaa huomioon pysäköintitaloissa, rakennuksissa, joissa ajoneuvot tai haarukkatrukut liikkuvat, ja rakennuksissa, joiden välittömässä läheisyydessä on tie- tai rautatieliikennettä. Törmäyskuormina voidaan käyttää ekvivalenteja staattisia kuormia rakennetta suunniteltaessa. Tämän avulla rakenteeseen saadaan vaikuttamaan ekvivalentit voimasuureet.



Menetelmää voidaan käyttää riittävän kestävyuden osoittamiseen sekä rakenteen staattisen tasapainon ja siirtymien määrittämiseen. Törmäyskuorman resultantti asetetaan kuorma-auton törmäykselle 0,5 - 1,5 m:n korkeudelle tien pinnasta ja henkilöauton törmäykselle 0,5 m:n korkeudelle tien pinnasta. Ekvivalentit staattiset mitoituskuormat on esitetty taulukossa 1. (SFS-EN 1991-1-7. 2007, 30-32.)

*TAULUKKO 1. Ajoväylän yläpuolella tai vieressä olevia rakenteita tukeviin rakenneseen ajoneuvon törmäyksestä aiheutuvat ohjeelliset ekvivalentit staattiset mitoituskuormat talorakenteille (NA SFS-EN 1991-1-7. 2009, 9)*

Liikenteen luokka	Kuorma $F_{dx}^a$ [kN]	Kuorma $F_{dy}^a$ [kN]
Moottoritiet sekä valta- ja kantatiet	1 000	500
Maantiet	750	375
Taajamien tiet ja kadut	500	250
Pihat ja autotallit, joihin:		
- henkilö- ja pakettiautot pääsevät kulkemaan <sup>b</sup>	25	25
- kuorma-autot <sup>c</sup> pääsevät kulkemaan <sup>b</sup>	75	75
<sup>a</sup> x=normaali liikenteen suunta, y=normaalin liikenteen suuntaa vastaan kohtisuoraan		
<sup>b</sup> Jos piha-alueen ajoneuvoliikenteelle tarkoitettun osan reunan ja rakenteen vaakasuora välimatka on vähintään 2,0 m, ei rakennetta tarvitse mitoittaa ajoneuvon törmäyskuormalle		
<sup>c</sup> Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnia.		

Onnettomuustilanteiden kuormitusyhdistelmät muodostetaan kaavan 1 mukaisesti kun pääasiallinen kuorma ( $Q_{k,1}$ ) on lumi-, jää- tai tuulikuorma. Onnettomuustilanteiden kuormitusyhdistelmät muodostetaan kaavan 2 mukaisesti kun pääasiallinen kuorma ( $Q_{k,1}$ ) on muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma. (RIL 201-1-2011. 2011, 51.)

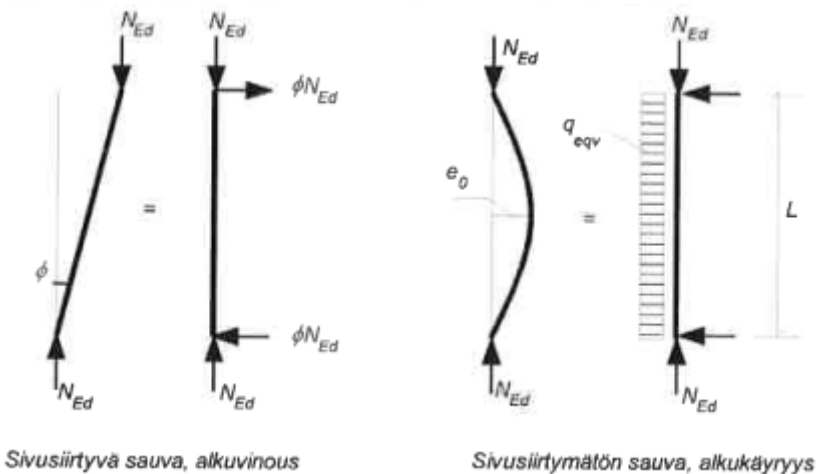
$$G_{k,j,sup} + G_{k,j,inf} + A_d + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{KAAVA 1}$$

$$G_{k,j,sup} + G_{k,j,inf} + A_d + \psi_{2,1}Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{KAAVA 2}$$

- $G_{k,j,sup}$  = epäedullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat  
 $G_{k,j,inf}$  = edullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat  
 $A_d$  = Määrävä onnettomuuskuorma tai maanjäristyskuorma  
 $Q_{k,1}$  = määrävä muuttuva kuorma  
 $Q_{k,i}$  = muut samanaikaisesti vaikuttavat muuttuvat kuormat  
 $\psi_{0,i}$  = muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

## 2.2 Sauvojen alkuepätkätkuoksien huomioon ottaminen ekvivalenteilla vaakavoimilla

Suunnittelussa käytettävien kuormien oletetaan vaikuttavan rakenneosien keskipisteessä, ellei tietyn rakenneosan suunnittelu edellytä muuta. Todellisuudessa kuormat vaikuttavat lähes poikkeuksetta hieman epäkeskisesti. Epäkeskinen normaalivoima voidaan ajatella vaikuttavan keskisesti, kun lisäksi otetaan huomioon epäkeskisyysmomentti. Kuormien epäkeskisyyttä aiheuttavat esimerkiksi sauvan alkukäyryys ja rakenteen poikkeama pystysuorasta. Alkuvinoudesta ja –käyrydestä aiheutuvat epäkeskisyydet otetaan huomioon kuvan 2 mukaisesti. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014, 59.)



KUVA 2. Alkuvinousuuden ja alkukäyryyden ekvivalentit korvausvoimat (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014, 59)

Rakennuksen poikkeama pystysuorasta aiheuttaa voimien lisäyksiä. Vinous lasketaan kaavalla 3. Alkukäyryyden ( $e_0$ ) huomioonottava tasainen vaakakuorma määritetään kaavalla 4. Alkukäyryys ( $e_0$ ) on tavallisesti sisällytetty sauvan kestävyyden laskentaan sisäänrakennettuna osana, jota ei erikseen käsitellä. Tästä huolimatta se voidaan ottaa tarkastelussa huomioon. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014, 59.)

$$\Phi = \Phi_0 \alpha_h \alpha_m$$

KAAVA 3

$\Phi_0 =$  vinouden perusarvo  $\Phi_0 = 1/200$

$\alpha_h =$  korkeudesta  $h$  [m] johtuva pienennystekijä  $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}$ ;  $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$

$\alpha_m =$  kehän peräkkäisten pilareiden vaikutuksen pienennystekijä

$\alpha_m = \sqrt{0,5 * (1 + \frac{1}{m})}$ ,  $m$ =peräkkäisten pilareiden lukumäärä, joissa kuorma on vähintään 50 % keskimääräisestä pilarikuormasta

$$q_{ekv} = \frac{8N_{Ed}e_0}{L^2}$$

KAAVA 4

$N_{Ed}$  = pilariin vaikuttava normaalivoima  
 $e_0$  = alkuepätkä tarkkuuden mitoitusarvo ks. taulukko 2  
 $L$  = pilarin pituus [m]

Sivusiirtymättömän sauvan alkukäyryden korvaavan korvausvoiman laskennassa tarvittava alkuepätkä tarkkuuden mitoitusarvo valitaan taulukosta 2 tarkasteltavan sauvan nurjahduskäyrän, pituuden ja käytettävän analyysin mukaisesti. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014, 59.)

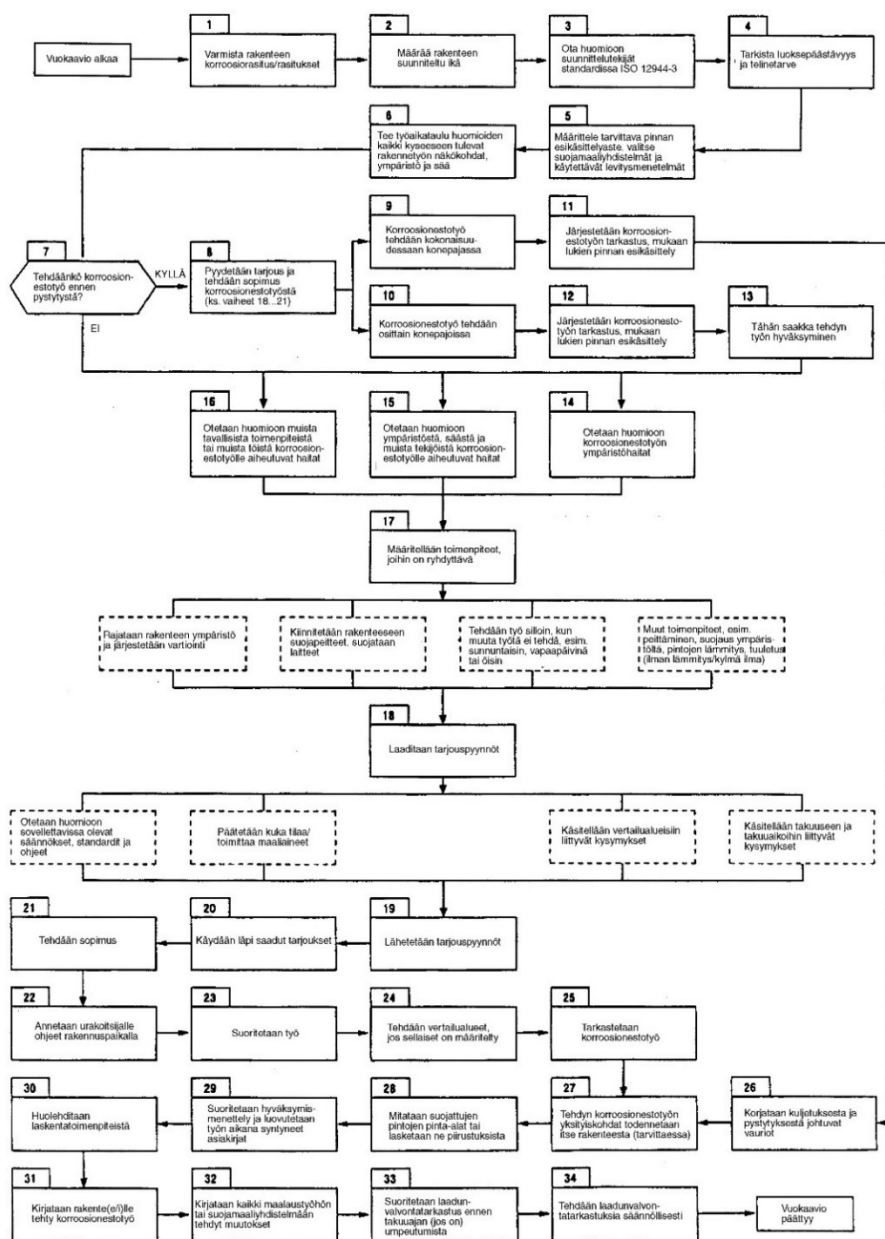
**TAULUKKO 2. Alkuepätkä tarkkuuden mitoitusarvo (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014, 59)**

Taulukko 6.1 mukainen nurjahduskäyrä	Kimmoteorian mukainen analyysi	Plastisuusteorian mukainen analyysi
	$e_0/L$	$e_0/L$
$a_0$	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

# 3 TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU

## 3.1 Korroosiosuojaus

Rakennuksen korroosiosuojaus suunnitellaan SFS-EN ISO 12944 –standardin mukaisesti. Suunnittelussa noudatetaan standardin 8:n osan liitteen C vuokaaviota kohtaan 5 asti. Vuokaavio esitellään kuvassa 3.



KUVA 3. Vuokaavio uudisrakentamisen suunnitteluun (SFS-EN ISO 12944-8, s. 40)

### **3.1.1 Korroosio ja sen vaikutukset**

Metallin korroosio on määritelty fysiokemialliseksi reaktioksi. Korroosiovaurio heikentää metallin ja metallisten järjestelmien ominaisuuksia ja jatkuessaan johtaa metallisten järjestelmien toiminnan virheeseen, joka aiheuttaa koko järjestelmän toiminnan loppumisen. (SFS-EN ISO 8044. 2015, 6.)

Metallien korroosion nopeuteen vaikuttavat monet ulkoiset tekijät. Ilman korkea suhteellinen kosteus, yli 0 °C:n lämpötilat, veden kondensoituminen rakenteisiin ja ilmatilan korkea epäpuhtauksien määrä ovat korroosionopeutta kasvattavia tekijöitä. (SFS-EN ISO 12944-2. 1998, 8.)

### **3.1.2 Ympäristöolosuhteet**

Ilmastorasitusluokkien määrittelyssä olisi suositeltavaa valmistaa standardi-koekappaleita, joita säilytetään kiinnostuksen kohteena olevissa olosuhteissa vuoden ajan. Koekappaleesta mitatut paino- ja paksuushäviöt määrittävät ilmastorasitusluokat taulukon 3 mukaisesti. Mikäli paino- tai paksuushäviöt antavat tulokseksi eri rasitusluokat, valitaan rasitukseltaan suurempi rasitusluokka. Olosuhdekokeen aikataulun mukainen suorittaminen on tärkeää, koska paino- ja paksuushäviöiden ekstrapoloiminen vuotta lyhemmästä tai pidemmästä ajasta antavat epäluotettavia tuloksia. (SFS-EN ISO 12944-2. 1998, 10.)

**TAULUKKO 3. Ilmastorasitusluokat ja esimerkkejä tyyppillisistä ympäristöistä**  
(SFS-EN ISO 12944-2. 1998, 12)

Rasitusluokka	Painohäviö pinta-alayksikköä kohden/paksuushäviö (ensimmäinen koestusvuosi)				Esimerkkejä tyyppillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa (vain opastava)	
	Niukkahiilinen teräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	Painohäviö g/m <sup>2</sup>	Paksuushäviö µm	Painohäviö g/m <sup>2</sup>	Paksuushäviö µm		
C1 hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	–	Lämmitetyt rakennukset, joissa puhtaat ilmatilat, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit.
C2 lievä	> 10...200	> 1,3...25	> 0,7...5	> 0,1...0,7	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä on alhainen. Enimmäkseen maaseutualueita.	Lämmittämättömät rakennukset, joissa voi esiintyä kondensoitumista, esim. varastot, urheiluhallit.
C3 kohtalainen	> 200...400	> 25...50	> 5...15	> 0,7...2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	Tuotantotilat, joissa korkea kosteuspitoisuus ja jossain määrin epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit.
C4 ankara	> 400...650	> 50...80	> 15...30	> 2,1...4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen.	Kemianteollisuuden tuotantolaitokset, uima-altaat, rannikolla sijaitsevat telakat ja veneveistämöt.
C5-I hyvin ankara (teollisuus)	> 650...1500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmatila on syövyttävä.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.
C5-M hyvin ankara (meri)	> 650...1500	> 80...200	> 30...60	> 4,2...8,4	Rannikkoalueet ja rannikon ulkopuoliset alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.

HUOMAUTUKSIA

1 Rasitusluokissa käytetyt häviöarvot ovat yhtäpitävät standardin ISO 9223 arvojen kanssa.

2 Kuumien ja kosteiden vyöhykkeiden rannikkoalueilla paino- ja paksuushäviöt voivat ylittää luokan C5-M rajat. Suojamaaliyhdistelmän valintaan on kiinnitettävä erityisesti huomiota.

Koekappaleita valmistetaan vähintään kolme kappaletta ja niiden tulee olla noin 1-3 mm:n paksuisia ja mielellään 100 x 150 mm:n kokoisia. Olosuhteille altistettavien koekappaleiden lisäksi valmistetaan kontrollikoekappaleita, joita säilytetään olosuhteissa, joissa korroosion muodostumiselle ei ole edellytyksiä. Koekappaleiden mittoihin tulee kiinnittää huomioita, jotta koekappaleet selviävät suunnitellusta koejaksosta. (SFS-EN ISO 8565. 2011, 1-3.)

Koekappaleiden epäpuhtaudet poistetaan ja ne merkitään siten, että ne ovat tunnistettavissa myös kokeen loputtua. Koepaikan sijainnin tulee edustaa paikkaa, missä materiaaleja todennäköisesti tullaan käyttämään. Koepaikalle rakennettavat telineet suunnitellaan siten, että koekappaleet altistuvat sääolosuhteille

45 asteen kulmassa. Koekappaleet tulee kiinnittää telineisiin tavalla, jolla voidaan varmistaa, että ne eivät vaikuta toistensa korroosiokäyttämiseen. (SFS-EN ISO 8565. 2011, 2-6.)

Ilmastorasitusluokan arvioimisen kannalta on tärkeää, että koepaikan ilmasto-olosuhteita pystytään luonnehtimaan. Tämä luonnehdinta tehdään koekappaleiden korroosionopeuden (kaava 5 ja 6), koepaikan mittausolosuhteiden tai muista lähteistä kerättyjen mittaustietojen perusteella. Koepaikan mittaustietojen arvot mitataan ja kirjataan säännöllisesti taulukoiden 4 ja 5 sekä SFS-EN ISO 9225 -standardin mukaisesti. (SFS-EN ISO 8565. 2011, 6-9.)



TAULUKKO 4. Ohje koepaikan ympäristötekijöiden mittaamiseen (SFS-EN ISO 8565. 2011, 10)

Environmental factor	Unit	Type and number of measurements	Expression of results
Air temperature	°C	Continuous or at least four times per day with 6 h difference	Average per month and per year
Relative humidity	%	Continuous or at least four times per day with 6 h difference	Average per month and per year
Precipitations	mm	Monthly	Monthly sum or yearly sum
Concentration of SO <sub>2</sub> or SO <sub>2</sub> deposition rate	µg/m <sup>3</sup> mg/(m <sup>2</sup> ·d)	Continuous — monthly	Average per month and per year
Chloride deposition rate (marine atmospheres)	mg/(m <sup>2</sup> ·d)	Continuous — monthly	Average per month and per year
NOTE The frequency of measurements with diffusive samplers may be bi-monthly or even tri-monthly, but not less frequent.			

TAULUKKO 5. Ohje koepaikan ympäristötekijöiden mittaamiseen (SFS-EN ISO 8565. 2011, 10)

Environmental factor	Unit	Type and number of measurements	Expression of results
Solar radiation	MJ/m <sup>2</sup>	Continuous — monthly	Yearly sum
Concentration of NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	Continuous — monthly	Average per month and per year
Concentration of O <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>	Continuous — monthly	Average per month and per year
Concentration of HNO <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>	Continuous — monthly	Average per month and per year
Hydrogen ions in precipitations (pH)	—	Monthly	Average per year
Particulate deposition	mg/m <sup>2</sup>	Monthly	Average per year
PM <sub>10</sub>	mg/m <sup>3</sup>	Continuous — monthly	Average per year
NOTE 1 The frequency of measurements with diffusive samplers can be bi-monthly or even tri-monthly, but not less frequent.			
NOTE 2 Measurement of particulate deposition is recommended in industrial atmospheres. Analytical evaluation of anions in particulate matter (i.e. sulfates, chlorides) defines the possible stimulating effect of particulate matter.			
NOTE 3 Measurement of pollution components indicated as informative, such as HNO <sub>3</sub> and others, can be recommended in urban and industrial atmospheres or for characterization of multi-pollutant environmental conditions. Other pollutants in specific environments can be measured (e.g. NH <sub>3</sub> ).			
NOTE 4 The pH value is measured in monthly sum of precipitation.			

Koetuloksiin voi vaikuttaa kokeen aloittamisajankohta. Tämän takia koe tulisi aloittaa ajanjaksolle, jolloin korroosio on voimakkaimmillaan, esimerkiksi syksyllä tai keväällä. Kokeen aikaisia tarkastuksia tulee tehdä säännöllisesti ja materiaalien merkittävät muutokset tulee kirjata ja valokuvata. Koetuloksia arvioidaan visuaalisen tarkastamisen, puhdistettujen koekappaleiden massan muutoksen, metallurgisten ominaisuuksien, mekaanisten ominaisuuksien muutosten

ja materiaalien suorituskykyominaisuuksien (esim. pinnan heijastavuuden) perusteella. Koetulosten perusteella laaditaan raportti SFS-EN ISO 8565 -standardin sivun 8 perusteella. (SFS-EN ISO 8565. 2011, 8-9.)

Koekappaleiden korroosionopeus lasketaan kaavoilla 5 ja 6 (SFS-EN ISO 9226. 2012, 2).

$$r_{corr} = \frac{\Delta m}{A * t}$$

KAAVA 5

$r_{corr}$  = korroosionopeus [g/(m<sup>2</sup>a)]

$\Delta m$  = massan muutos (g)

$A$  = koekappaleen pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$t$  = koekappaleen altistumisaika (a)

$$r'_{corr} = \frac{\Delta m}{A * \rho * t}$$

KAAVA 6

$r'_{corr}$  = korroosionopeus ( $\mu$ m/a)

$\rho$  = teräksen tiheys (g/m<sup>3</sup>)

$\Delta m$  = massan muutos (g)

$A$  = koekappaleen pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$t$  = koekappaleen altistumisaika (a)

Rasitusluokka voidaan myös arvioida yksinkertaisesti taulukon 3 (sivulla 15) ympäristöesimerkkien mukaisesti. Arviointi saattaa olla joissain tapauksissa harhaanjohtava, joten arviointia ei tulisi käyttää, mikäli koekappaleet voidaan altistaa todellisille olosuhteille. (SFS-EN ISO 12944-2. 1998, 10.)

Ilmastorasitusluokka voidaan myös arvioida tarkastelemalla vuosittaisen märkäajan, vuosittaisen rikkidioksidipitoisuuden keskiarvon ja vuotuisen kloridilaskeuman keskiarvon yhteisvaikutusta. Hiiliteräksen korroosionopeus lasketaan kaavalla 7. (SFS-EN ISO 9223. 2012, 4-5.)

$$r_{corr} = 1,77 * P_d^{0,52} * \exp(0,020 * RH + f_{St}) + 0,102 * S_d^{0,62} * \exp(0,033 * RH + 0,040 * T)$$

KAAVA 7

$$f_{st} = 0,150 * (T - 10), \text{ kun } T \leq 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$f_{st} = -0,071 * (T - 10), \text{ kun } T > 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$r_{corr}$  = koekappaleen ensimmäisen koeistusvuoden korroosionopeus ( $\mu\text{m/a}$ )

$T$  = vuotuisen lämpötilan keskiarvo ( $^\circ\text{C}$ )

$RH$  = vuotuisen suhteellisen kosteuden keskiarvo (%)

$P_d$  = vuotuisen rikkidioksidipitoisuuden keskiarvo [ $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ]

$S_d$  = vuotuisen kloridipitoisuuden keskiarvo [ $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ]

### 3.1.3 Pinnoitteen kestävyysluokka

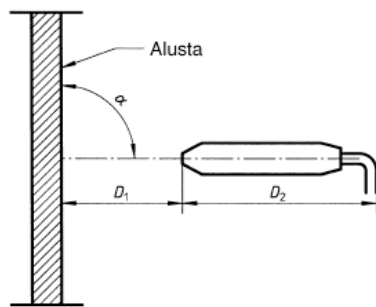
Maalipintojen kestävyys on jaettu kolmeen luokkaan:

- alhaiseen (L), jolloin pinta kestää 2-5 vuotta ennen suurempaa huolto-  
maalausta
- kohtalaiseen (M), jolloin pinta kestää 5-15 vuotta ennen suurempaa huol-  
tomaalausta
- korkeaan (H), jolloin pinta kestää yli 15 vuotta ennen suurempaa huolto-  
maalausta.

Kestävyysluokka on arvio kestävydestä, joka auttaa tilaajaa rakennuksen kun-  
nossapidon suunnittelussa. Maaliyhdistelmiä valittaessa tulee muistaa, että kes-  
tävyysluokka ei ole sama asia kuin maalipinnoitteelle annettu takuu-aika. (SFS-  
EN ISO 12944-1. 1998, 10.)

### 3.1.4 Korroosiosuojauksen huomioiminen suunnittelussa

Rakenteen teräsosien suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota luokse päästä-  
vyyteen. Tämä voidaan mahdollistaa esimerkiksi koneellisilla nostotasoilla. Ra-  
kenteen kaikki korroosiosuojattavat pinnat tulee olla huolto- ja korjaustöiden  
ulottuvissa kuvan 4 ja taulukon 6 tavalla. Pinnan maalaukseen ja tarkastuksiin  
osallistuvien henkilöiden turvallinen liikkuminen rakenteiden läheisyydessä on  
taattava. (SFS-EN ISO 12944-3. 1998, 8.)



$\alpha$  työkalun lävistäjän ja alustan välinen kulma

$D_1$  työkalun etäisyys alustasta

$D_2$  työkalun pituus

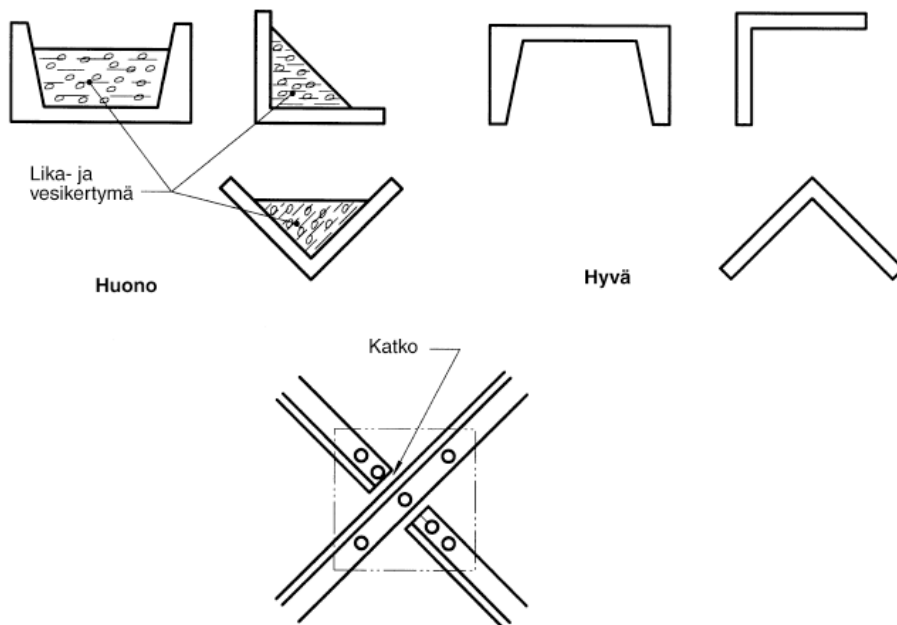
**KUVA 4. Luokse päästävyys - korroosionestotyössä käytettävien työkalujen tarvitsemia tyypillisiä etäisyyksiä (SFS-EN ISO 12944-3. 1998, 14)**

**TAULUKKO 6. Luokse päästävyys - korroosionestotyössä käytettävien työkalujen tarvitsemia tyypillisiä etäisyyksiä (SFS-EN ISO 12944-3. 1998, 14)**

Toiminta	Työkalun pituus ( $D_2$ ) mm	Työkalun ja alustan välinen etäisyys ( $D_1$ ) mm	Työskentelykulma ( $\alpha$ ) astetta
Raesuihkupuhdistus	800	200...400	60...90
Koneellinen puhdistus			
— neulapistoolilla	250...350	0	30...90
— hirtämällä/hiomalla	100...150	0	—
Puhdistus käsitökaluilla			
— harjaamalla/hakkurilla	100	0	0...30
Metalliruiskutus	300	150...200	90
Maalin levitys			
— ruiskuttamalla	200...300	200...300	90
— siveltimellä	200	0	45...90
— telalla	200	0	10...90

Suunnittelussa tulee välttää sellaisia pinnanmuotoja, joihin kerääntyy vettä. Vedden kerääntymistä voidaan välttää suunnittelemalla pinnat kalteviksi tai viistetyiksi, välttämällä taskuja ja koloja, käyttämällä ylhäältä umpinaisia rakenteita

sekä johtamalla vesi pois rakenteesta. Kuvassa 5 on esitetty sopivia esimerkkejä veden varastoitumisen estämiseksi. (SFS-EN ISO 12944-3. 1998, 8-10.)



*KUVA 5. Suunnittelukeinoja, joita voidaan käyttää laskeuma- tai vesikertymien estämiseksi (SFS-EN ISO 12944-3. 1998, 22)*

### **3.1.5 Pinnan esikäsittelymenetelmän ja -asteen määrittäminen**

Pinnan esikäsittelyn tarkoituksena on poistaa haitalliset aineet käsiteltävästä pinnasta ja varmistaa pohjamaalin tyydyttävä tartunta teräkseen. Pinnan esikäsittelyllä voidaan myös vähentää korroosiota aiheuttavia epäpuhtauksia. Pinnoittamattomien teräspintojen ruostumisasteet tulee arvioida ISO 8501-1 –standardin mukaisesti. (SFS-EN ISO 12944-4.1998, 10-12.)

Teräspintojen ruostumisasteet on määritelty neljään eri ruostumisasteeseen. Ruostumisasteet on määritelty sanallisesti kuvailemalla asteisiin A...D taulukon 7 mukaisesti. (SFS-EN ISO 8501-1. 2007, 10.)

TAULUKKO 7. Ruostumisasteiden sanallinen määrittely (SFS-EN ISO 8501-1. 2007, 10)

Ruostumisaste	
A	teräspinta, jota laajalti peittää hyvin kiinni oleva valssihilsekerros, mutta jossa ruostetta on hyvin vähän tai ei lainkaan
B	teräspinta, jolla on alkavaa ruostumista ja jolta valssihilsekerros on alkanut irrota
C	teräspinta, jolta valssihilse on ruostunut pois tai jolta se voidaan kaapia, mutta jossa paljain silmin tarkasteltaessa on havaittavissa vähäistä kuoppakorroosiota
D	teräspinta, jolta valssihilse on ruostunut pois ja jossa paljain silmin tarkasteltaessa on havaittavissa yleistä kuoppakorroosiota

Teräspinnan esikäsitteilymenetelmän valintaan ohjaavat pinnan kunto, esikäsitteilyaste, esikäsitteilyyn laajuus, valittu pinnoiteyhdistelmä, taloudellisuus ja esikäsitteilyyn käytännöllisyys. Esikäsitteilyasteen valinnassa tulee huomioida käsiteltävän pinnan kunto, valittu pinnoiteyhdistelmä, ympäristöluokka, jolle pinta altistetaan, esikäsitteilyyn laajuus, valitun esikäsitteilymenetelmän käyttömahdollisuudet valittavaan esikäsitteilyasteeseen ja taloudellisuus. (SFS-EN ISO 8504-1. 2001, 16.)

Esikäsitteily suihkupuhdistuksella merkitään kirjaimilla "Sa". Puhdistettava pinta tulee olla puhdas näkyvältä öljyltä, rasvalta, lialta ja paksuilta ruostekerroksilta. Pinnat tulee puhdistaa pölystä ja roskista esikäsitteilyyn jälkeen. Suihkupuhdistusasteet on esitelty taulukossa 8. (SFS-EN ISO 8501-1. 2007, 12.)

**TAULUKKO 8. Suihkupuhdistusasteet (SFS-EN ISO 8501-1. 2007, 12)**

<b>Sa 1</b>	<b>Kevyt sulhkupuhdistus</b>	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa, likaa eikä heikosti kiinni tarttunutta valssihilsettä, ruostetta, maaliainnoitteita tai vieraita aineita (ks. kohdan 3.1 huom. 1). Ks. valokuvat B Sa 1, C Sa 1 ja D Sa 1.
<b>Sa 2</b>	<b>Huolellinen sulhkupuhdistus</b>	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa ja siinä saa olla vain vähän valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Jäljelläolevien epäpuhtauksien tulee olla tiukasti kiinni tarttuneita (ks. kohdan 3.1 huomautus 2). Ks. valokuvat B Sa 2, C Sa 2 ja D Sa 2.
<b>Sa 2½</b>	<b>Hyvin huolellinen sulhkupuhdistus</b>	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa eikä valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Jäljelläolevat epäpuhtauksien jäämät saavat näkyä ainoastaan lievinä pistemäisinä tai raitamaisina tahroina. Ks. valokuvat A Sa 2½, B Sa 2½, C Sa 2½ ja D Sa 2½.
<b>Sa 3</b>	<b>Sulhkupuhdistus metallin puhtaaksi</b>	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa tai likaa eikä valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Pinnalla tulee olla yhtenäinen metallinen väri. Ks. valokuvat A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3 ja D Sa 3.

Koneellinen tai käsityökaluilla tehty esikäsitteily merkitään kirjaimilla "St". Esikäsitteilytapoja ovat esimerkiksi kaavinta, koneellinen harjaus ja teräsharjaus. Ennen pinnan esikäsitteilyä puhdistetaan pinnasta näkyvä öljy, rasva, lika ja paksut ruostekerrokset. Esikäsitteilyn jälkeen pinnalta poistetaan irtopöly ja puhdistusjätteet. Koneellisesti tai käsityökaluilla saavutetut puhdistusasteet on esitelty taulukossa 9. (SFS-EN ISO 8501-1. 2007, 12.)

**TAULUKKO 9. Käsityökaluilla tai koneellisesti saavutetut puhdistusasteet (SFS-EN ISO 8501-1. 2007, 12)**

<b>St 2</b>	<b>Huolellinen käsityökaluilla tai koneellisesti tehty puhdistus</b>	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa, likaa eikä heikosti kiinni tarttunutta valssihilsettä, ruostetta, maaliainnoitteita tai vieraita aineita (ks. kohdan 3.1 huom. 1). Ks. valokuvat B St 2, C St 2 ja D St 2.
<b>St 3</b>	<b>Hyvin huolellinen käsityökaluilla tai koneellisesti tehty puhdistus</b>	Kuten St 2, mutta pinta tulee käsitellä paljon perusteellisemmin, jotta saadaan esiin metallialustan metallinkiilto. Ks. valokuvat B St 3, C St 3 ja D St 3.

Liekkipuhdistuksella suoritettujen pinnan esikäsitteilyn tunnus on "FI". Pintojen tulee olla puhtaat paksuista ruostekerroksista ennen liekkipuhdistusta. Pinta puhdistetaan liekkipuhdistuksen jälkeen koneellisella teräsharjauksella, koska käsin suoritettava teräsharjaus ei luo tarvittavan laadukasta maalausalausta. Liekkipuhdistusasteet on esitelty taulukossa 10. (SFS-EN ISO 8501-1. 2007, 14.)

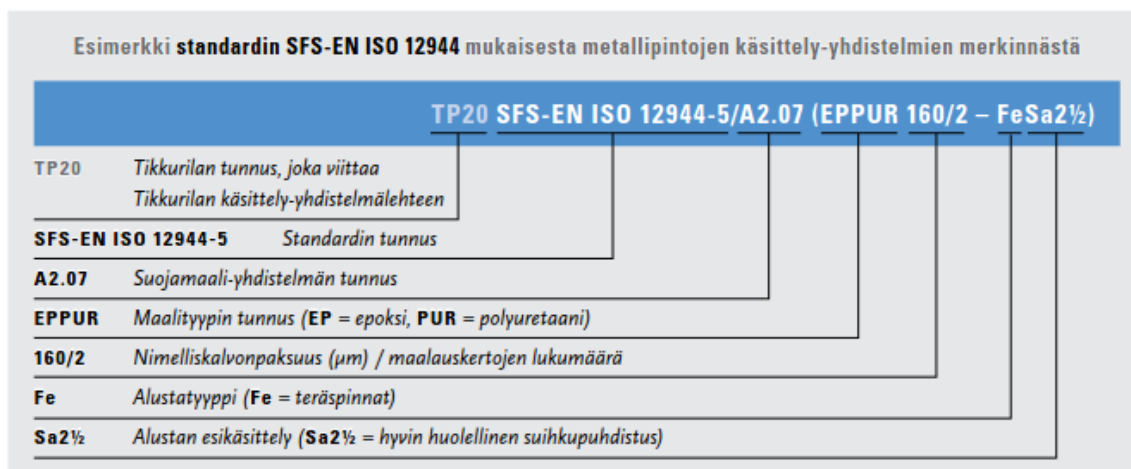
## TAULUKKO 10. Liekkipuhdistusasteet (SFS-EN ISO 8501-1. 2007, 14)

<b>FI</b>	<b>Liekkipuhdistus</b>	Paljain silmin tarkasteltaessa pinnassa ei saa olla valssihilsettä, ruostetta, maalikerroksia eikä vieraita epäpuhtauksia (ks. kohdan 3.1 huom. 1). Jäänteenä saa pinnassa näkyä vain värjäytymistä (eri värisävyjä). Ks. valokuvat A FI, B FI, C FI ja D FI.
-----------	------------------------	---

### 3.1.6 Maalausjärjestelmän standardin mukainen merkintä ja maalausjärjestelmän valinta

Suojamaaliyhdistelmä valintaan vaikuttaa taulukossa 3 määritetty rasisitusluokka, jossa rakennus sijaitsee. Rasisitusluokan valinnassa täytyy huomioida paikkakohtaiset erityisolosuhteet, jotka johtavat korkeampaan ilmastorasisitusluokkaan. Maalinpinnalta vaadittava kestävyys määritellään luvun 3.1.3 mukaisiin luokkiin. Valitaan standardin SFS-EN ISO 12944-5 liitteestä A rasisitusluokkaa vastaava taulukko ja rajataan valinta niihin suojamaaliyhdistelmiin, joilla on luvun 3.1.3 mukaisesti valittu kestävyys. (SFS-EN ISO 12944-5. 1998, 30.)

Maalausjärjestelmän standardinmukainen merkintä esitetään kuvassa 6.



KUVA 6. Standardin SFS-EN ISO 12944-5 mukainen metallipintojen käsittely-yhdistelmien merkintä (Teollinen pintakäsittely, 10)

### 3.2 Toteutusluokka

Eri toteutusluokat asettavat rakentamiselle useita eri vaatimuksia. Vaatimukset voivat liittyä esimerkiksi rakenteiden asentamiseen, hitsauksen jälkeisiin tarkasteluihin, hitsausmenetelmien ja hitsaushenkilöstön hyväksymiseen sekä doku-



mentointiin ja laadunvarmistukseen. Standardin SFS-EN 1090-2+A1 liite A käsittelee toteutusluokkien asettamia vaatimuksia. (SFS-EN 1090-2+A1. 2012, 92-101.)

Standardi SFS-EN 1090-2 määrittelee 4 toteutusluokkaa: EXC 1, EXC 2, EXC 3 ja EXC 4. Suunnittelija voi soveltaa valitsemaansa toteutusluokkaa koko rakennukseen tai tiettyyn osaan, jolloin yhdessä teräsrakenteessa voi olla useampia toteutusluokkia. Toteutusluokka valitaan taulukon 11 seuraamusluokan, taulukon 12 mukaisen käyttöluokan ja taulukon 13 mukaisen tuotantoluokan perusteella taulukosta 14. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –opikirja. 2014, 42.)

**TAULUKKO 11. Seuraamusluokkien määrittely (NA SFS-EN 1990. 2007, 7)**

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	<b>Suuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko <sup>1)</sup> jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten <ul style="list-style-type: none"> <li>– yli 8-kerroksiset<sup>2)</sup> asuin-, konttori- ja liikerakennukset</li> <li>– konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot</li> <li>– raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset</li> </ul> Erikoisrakenteet kuten esim. suuret mastot ja tornit Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet hienorakeisten maalajien alueilla siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä.
CC2	<b>Keskisuuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1
CC1	<b>Vähäiset</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä kuten esim. varastot Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten <ul style="list-style-type: none"> <li>– matalalla olevat alapohjat, ilman kellaritiloja</li> <li>– ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne</li> <li>– sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana</li> <li>– standardin SFS-EN 1993-1-3:n rakenneluokkien (structural class) II ja III muotolevyrakenteet.</li> <li>– standardin SFS-EN 1993-1-3:n rakenneluokan (structural class) I</li> </ul>

TAULUKKO 12. Käyttöluokille ehdotettavat kriteerit (SFS-EN 1090-2+A1. 2012, 103)

Luokat	Kriteerit
<b>SC1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rakenteet ja kokoonpanot, jotka suunnitellaan pääosin vain staattisille kuormituksille (Esimerkki: Rakennukset)</li> <li>– Rakenteet ja kokoonpanot ja niiden kiinnitykset, jotka suunnitellaan seismisille vaikutuksille matalan seismisen aktiviteetin perusteella ja luokassa DCL*</li> <li>– Rakenteet ja kokoonpanot, jotka suunnitellaan nostureista aiheutuville väsytytkuormille (luokka S<sub>0</sub>)**</li> </ul>
<b>SC2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rakenteet ja kokoonpanot, jotka suunnitellaan standardin EN 1993 mukaisille väsytytkuormille. (Esimerkkejä: Maantie- ja rautatiesillat, nosturit (luokat S<sub>1</sub>...S<sub>9</sub>)**, rakenteet, jotka ovat alltiina tuulesta, väkijoukosta tai pyörivästä laitteesta aiheutuville värähtelyille</li> <li>– Rakenteet ja kokoonpanot ja niiden kiinnitykset, jotka suunnitellaan seismisille vaikutuksille keskimääräisen tai korkean seismisen aktiviteetin perusteella ja luokissa DCM* ja DCH*</li> </ul>
*	DCL, DCM, DCH: standardin EN 1998-1 mukaisia sitkeysluokkia.
**	Ks. nostureista aiheutuvien väsytytkuormitusten luokittelu standardeista EN 1991-3 ja EN 13001-1.

TAULUKKO 13. Tuotantoluokille ehdotettavat kriteerit (SFS-EN 1090-2+A1. 2012, 103)

Luokat	Kriteerit
<b>PC1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Terästuotteista valmistetut kokoonpanot, joissa ei ole hitsejä</li> <li>– Hitsatut kokoonpanot, jotka on valmistettu terästuotteista, joiden lujuusluokka on alempi kuin S355</li> </ul>
<b>PC2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hitsatut kokoonpanot, jotka on valmistettu terästuotteista, joiden lujuusluokka on S355 tai enemmän</li> <li>– Rakenteellisen toimivuuden kannalta tärkeät kokoonpanot, jotka kootaan hitsaamalla työmaalla</li> <li>– Kokoonpanot, jotka valmistetaan kuumamuovamalla tai joita lämpökäsitellään valmistuksen aikana</li> <li>– Pyöreistä rakenneputkista valmistetut ristikkokokoonpanot, joissa putkien päitä joudutaan leikkaamaan erityiseen muotoon.</li> </ul>

TAULUKKO 14. Suositusmatriisi toteutusluokan määrittämiseen (SFS-EN 1090-2+A1. 2012, 104)

Seuraamusluokat		CC1		CC2		CC3	
Käyttöluokat		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Tuotantoluokat	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC3 <sup>a</sup>
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC4
<sup>a</sup> Toteutusluokkaa EXC4 käytetään kansallisten sääntöjen edellyttämällä tavalla erityisrakenteille tai rakenteille, joiden vaurio voi aiheuttaa äärimmäisiä seuraamuksia.							

### 3.3 Teräksen lujuusluokka

Standardin EN 10025-2 mukaiset teräksen lujuusluokat ovat S235, S275, S355 ja S450. Teräslajin valintaa ohjaa usein kyseisen teräslajin saatavuus. Mikäli suunnitteluvaiheessa valitaan käytettäväksi teräslajia, joka ei ole yleinen varastotuote, joudutaan varautumaan pitkiin toimitusaikoihin. Teräslaji S355 on saavuttanut yleisesti käytettävän teräslajin aseman. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014, 28-32.)

Staattisesti kuormitetuissa rakenteissa, mitoituksen tapahtuessa pelkän lujuuden perusteella, korkean myötörajan omaavan teräslajin valinta on perusteltua. Teräslajin korkea myötöraja pienentää hitsaus- ja työkustannuksia sekä pienemmän materiaalimenekin myötä pienentää rakenteiden omaa painoa. Rakenteiden oman painon pienentäminen puolestaan johtaa perustusten rasituksen pienentymiseen ja täten alentaa edelleen kustannuksia. Teräslajien myötörajojen ja vetomurtolujuuksien nimellisarvot on esitetty taulukossa 15 ja rakenneputkien nimellisarvot taulukossa 16. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014, 28-32.)

TAULUKKO 15. Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan ( $f_y$ ) ja vetomurtolujuuden ( $f_u$ ) nimellisarvot (SFS-EN 1993-1-1. 2005, 26)

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

TAULUKKO 16. Rakenneputkien myötörajan ( $f_y$ ) ja vetomurtolujuuden ( $f_u$ ) nimellisarvot (SFS-EN 1993-1-1. 2005, 27)

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 65 mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10210-1</b>				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NHL	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
<b>EN 10219-1</b>				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

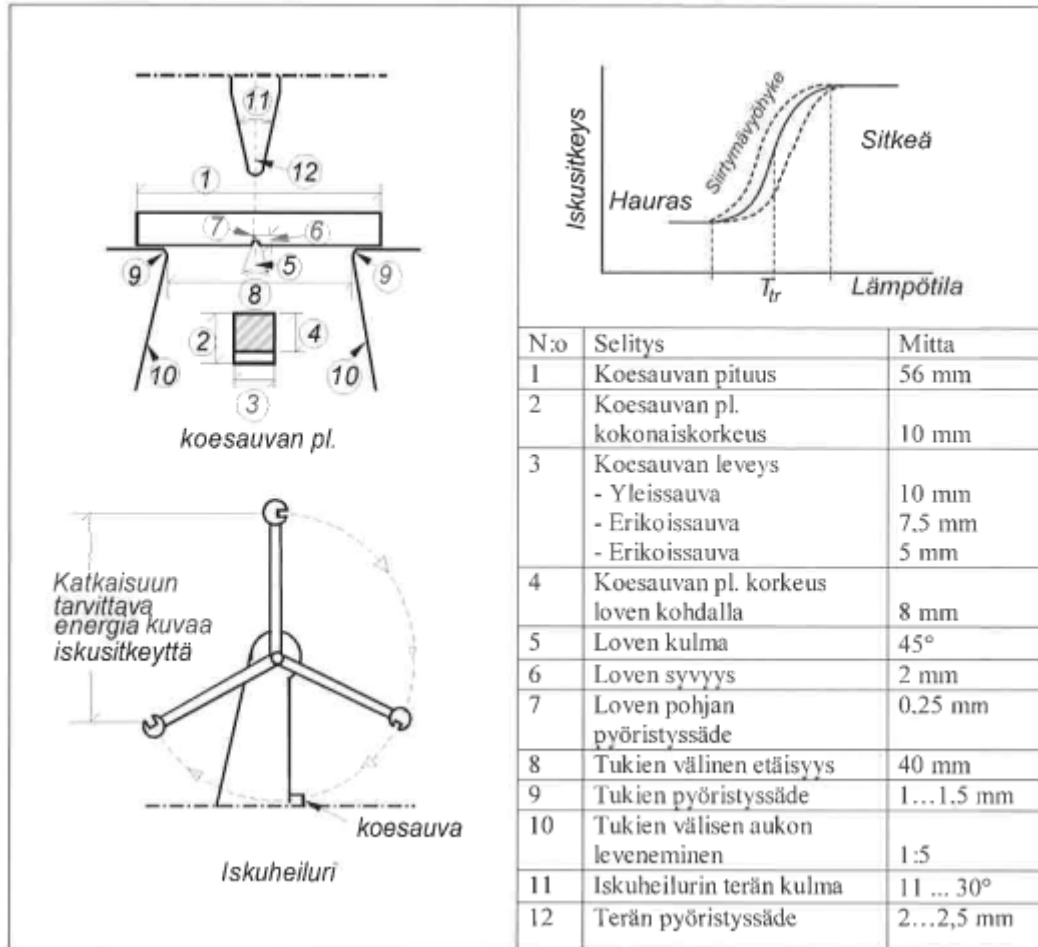
### 3.4 Teräksen laatuluokat

Teräksen laatuluokka määritellään teräksen iskutkeyden mukaan. Teräksen iskutkeys määritellään Charpy V –nimisellä iskukokeella. Kokeessa päistään tuettu koisauva isketään keskeltä poikki heilurivasaralla ja koisauvan murtamiseen tarvittu energia mitataan. Koe toistetaan useassa eri lämpötilassa. Periaate kuva Charpy V –iskukokeesta on esitetty taulukossa 17. (Teräs. Perustietoa arkkitehtiopiskelijoille. 2007, 28.)

Iskutkeyden määrittäminen eri lämpötila-alueilla on tärkeää, sillä tietyn lämpötilan alapuolella esiintyvä murto on sitkeän sijaan haurasta. Haurasmurtuma voi tapahtua lähes äänen nopeudella ilman selkeää plastista muodonmuutosta. Murtuma tapahtuu niin nopeasti, että se ei mahdollista kuormien uudelleenjaakautumista, jonka takia haurasmurtuman aiheuttamat vauriot ovat usein tuhoisia. Mikäli taulukon 18 mukaiset ehdot täyttyvät, ei haurasmurtuman suhteen

tarvitse tehdä erillisiä tarkasteluja. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014, 21; 30-31; 157.)

TAULUKKO 17. Teräksen iskutkeyskoe ja siinä käytettävä koekappale (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014, 21)



TAULUKKO 18. Rakenneosan suurin sallittu paksuus  $t$  [mm] (SFS-EN 1993-1-10, 2005, 12)

Teräs-laji	Laatu-luokka	Charpy energia CVN		Referenssilämpötila $T_{Ed}$ [°C]																							
		T [°C]	$J_{min}$	$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$							
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50			
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60			
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75			
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100			
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55			
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70			
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95			
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110			
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145			
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45			
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60			
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80			
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95			
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130			
S420	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85			
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120			
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70			
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80			
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95			
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115			
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130			
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45			
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50			
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60			
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75			
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85			
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30	160	135	115	95	80	65	55	200	200	190	165	140	120	100			

### 3.5 Teräsrakenteiden mitoituksessa käytettävät aineominaisuudet ja varmuuskertoimet

Laskennassa käytettävien standardin SFS-EN 1993-1-1 mukaisten rakennete-räksien materiaalivakioiden mitoitusarvot ovat (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja, 2014, 32):

- kimmokerroin  $E=210\ 000\ \text{N/mm}^2$
- liukkerroin  $G=81\ 000\ \text{N/mm}^2$
- Poissonin luku kimmoisella alueella  $\nu=0,3$
- lineaarinen lämpölaajenemiskerroin  $\alpha=12 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , kun  $T \leq 100\ ^\circ\text{C}$
- tiheys  $\rho=7\ 850\ \text{kg/m}^3$

Teräsrakenteiden poikkileikkauksien kestävyys laskennassa yleisesti käytetyt osavarmuusluvut (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppi-kirja. 2014, 36).:

- poikkileikkauksen kestävyys  $\gamma_{M0}=1,00$
- sauvojen kestävyys stabiiliuden suhteen  $\gamma_{M1}=1,00$
- poikkileikkauksen vetokestävyys  $\gamma_{M2}=1,25$



## 4 HIEKANVARASTOINTIHALLIN SUUNNITTELU JA KUORMITUKSET

Oulun Sataman konttien ja puutavaran varastointiin tarkoitettujen alueiden määrä kasvaa jatkuvasti ja näin ollen alueiden hiekoituksen tarve kasvaa kovaa tahtia. Sataman vanha, hiekan varastointiin tarkoitettu katos ei ole enää kapasiteetiltaan riittävän suuri, joten osa hiekasta on jo useita vuosia jouduttu varastomaan ulos. Suunnittelun kohteena olevan hallin tulisi siis palvella sataman nykyistä ja tulevaa hiekan kulutusta.

Hiekan varastointi ulkona aiheuttaa useita ongelmia. Kesäisin kova tuuli puhaltaa hiekkaa kentille aiheuttaen ongelmia alueella operoiviin laitteisiin, ja toisaalta hiekan pölyäminen on myös ulkona työskenteleville ihmisille epämukavaa. Talvisin märkä hiekka jäätyy, joten sitä on vaikea käyttää.

Tilaaajan toiveena oli, että rakennuksessa säilöttävä hiekka tuettaisiin kantavaan runkoon kiinnitettävällä lankkuseinällä. Kantaviin rakenteisiin tuettuna rakenne säilyy yksinkertaisena ja siinä olevat puuosat olisivat tarpeen tullen helppo vaihtaa. Tämä aiheuttaa kuitenkin kantaville pilareille huomattavia kuormituksia, josta suuriin profiilikokoihin ja tukimomentteihin.

Tilaaajan kanssa sovittiin, että suunnittelu toteutetaan lähtökohtaisesti käytettävyyttä ja kestävyyttä silmällä pitäen. Tämän takia tässä opinnäytetyössä esitetyt ratkaisut eivät aina ole kaikkein kustannustehokkaimpia, mutta rakenteista saatiin näin ollen tilaaajan toiveiden mukaisesti massiivisempia.

Rakennuksen liitokset päätettiin toteuttaa mahdollisimman yksinkertaisina ruuviliitoksina, jotta osien asennus olisi mahdollisimman helppoa. Ruuviliitoksilla toteutettuna halli olisi myös mahdollista purkaa, jos hallia joudutaan joskus siirtämään.

Suunnittelun kohteena olevassa varastohallissa oleskelee ihmisiä vain tilapäisesti, joten oletettiin rakennuksen kuuluvan taulukon 11 mukaisesti seuraamusluokkaan CC1. Kuormitusyhdistelmissä käytettävän kuormituskertoimen arvoksi

$K_{FI}$  valittiin standardin mukaisesti 0,9. Rakennuksen kantavat rakenteet suunniteltiin kuumavalssatuilla I-profiileilla ja kylmämuovatuilla rakenneputkilla. Taulukoiden 12, 13 ja 14 (sivulla 26) mukaisesti rakennus kuuluu käyttöluokkaan SC1, tuotantoluokkaan PC2 ja toteutusluokkaan EXC2.

#### **4.1 Rakenteiden korroosiosuojaus**

Etenevä korroosio pienentää mm. teräspoikkileikkauksen nettoalaa ja neliömomenttia. Tämä voi pahimmillaan aiheuttaa rakenteiden muodonmuutosten kasvamista ja rakenteiden romahtamista johtaen mahdollisesti taloudellisiin vahinkoihin ja henkilövahinkoihin.

Korroosion ehkäisyyn kiinnitettiin huomiota jo suunnitteluvaiheessa. Rakenteet suunniteltiin siten, että kokoamisen jälkeen rakenteiden osat olisivat mahdollisimman hyvin ulottuvissa huolto- ja uusimistöitä varten. Ulottumattomiin jäävien rakenteiden, kuten ulkovuorauksen peittämien rakenneosien huolto- ja korjaustyöt mahdollistettiin julkisivun ruuviliitoksilla. Hallirakennus on sisältä avara, mikä mahdollistaa sisäpuolisten maalausten suorittamisen turvallisesti. Hallin teräsrakenteiden huolto- ja korjausmaalaukset voidaan suorittaa henkilönostimella, jolloin maalaustyön tekeminen ei aseta hallin rakenteille erityisiä vaatimuksia.

Hallin kantavat pilarit suunniteltiin rakenneputkiprofiileiksi ja kattokannattajat I-profiileiksi. Vesikaton pääkannattajina toimivat I-profiilit muodostavat riskin veden kerääntymiselle, mikäli vesikate ei ole vesitiivis. Putkiprofiilit aiheuttavat riskin veden kondensoitumiselle. Tämän ehkäisemiseksi putkiprofiilien reunat päätettiin sulkea jatkuvilla hitseillä ilma- ja kosteustiiviin liitoksen saavuttamiseksi.

Koekappaleiden altistaminen vuodeksi todellisille sääolosuhteille ei ollut tässä työssä tarkoituksen mukaista, joten rasisluokka valittiin taulukon 3 ympäristöesimerkkien mukaisesti. Suunnittelun kohteena oleva teräsrakenteinen varastohalli tulee sijaitsemaan Oritkarin satama-alueella, Oulussa. Satama-alueen välittömässä läheisyydessä sijaitsee Stora Enson Oy:n paperi- ja sellutehdas.

Stora Enson lisäksi alueen ilmansaasteita kasvattavia tekijöitä ovat alueella toimivien kulkuneuvojen ja laivojen päästöt sekä alueella oleva muu kemianteollisuus. Perämeren veden alhaisen suolapitoisuuden ansiosta rakenteen sijaintia meren rannalla ei tarvitse pitää erityisen rasittavana tekijänä. Perämeren veden suolapitoisuus vaihtelee 3:n ja 5:n promillen välillä riippuen siitä, kuinka syvältä suolapitoisuus mitataan (Bottniska viken).

Alueen rikkioksidipitoisuuksien ja rannikkoalueen alhaisen suolapitoisuuden vuoksi voitiin olettaa, että alue täyttää taulukon 3 (sivulla 15) rasisluokka C3:n ympäristöesimerkin (SFS-EN ISO 12944-2. 1998, 12). Ympäristön rasisluokka määrittelee käytettävän maalausjärjestelmän valintaa ja maalikalvon paksuuksia. Rasisluokan lisäksi valintaa ohjaavat pinnoitteen kestävyysluokka sekä rakennuksen käyttäjän omat vaatimukset pinnoitetta kohtaan. (SFS-EN ISO 12944-5. 2008, 30)

Rakennusta suunniteltaessa oli lähtökohtaisesti selvää, että rakennuksen maali-pinnalta edellytettiin hyvää mekaanista kestävyyttä, jotta maalikerros säilyttäisi toimintakykynsä pienien iskujen jälkeenkin. Edellä mainitut vaatimukset saavutettiin polyuretaanimaaleilla. Polyuretaanijärjestelmien vahvuuksia ovat kiillon ja värisävyn säilyvyys, liitumaton pinta sekä hyvä mekaaninen kulutuskestävyys (Metallipintojen teollinen maalaus, 40). Haittapuolena voidaan pitää maalauksen korkeaa hintaa ja kohtalaista kestävyyttä korkeissa rasisluokissa. Rakennuksen maalausjärjestelmäksi valittiin SFS-EN ISO 12944-5/A3.08 (EPPUR160/2-FeSa2½). Valitulla maalausjärjestelmällä saavutetaan C3-rasisluokassa 5-15 vuoden pinnan kestävyteen (SFS-EN ISO 12944-5. 2008, 40).

#### **4.2 Rakennuksen alustavat mitat**

Rakennuksessa varastoidaan hienoa ja karkeaa hiekkaa, joten heti alussa oli selvää, että eri raekoon hiekat tulisi säilöä kahdessa eri osastossa. Alustavia mittoja suunniteltaessa käytettiin apuna Excel-laskentapohjaa, joka on esitetty liitteessä 1. Laskentapohja laskee lähtötietojen mukaan rakennuksen leveyden ja pituuden lisäksi myös korkeuden. Laskentapohjaan syötettäviä lähtötietoja

ovat raekoon mukainen irtotilavuuspaino, varastoitavan hiekan kokonaismassa, varastoinnin korkeus, ulkoseinän paksuus ja kattokaltevuus.

Rakennuksen ulkomittoja määritettäessä käytettiin hiekan toimittajan ilmoittamia irtotilavuuspainoja. Hiekkaa tulisi mahtua molempiin osastoihin noin 380 tonnia. Mikäli hiekkaa varastoidaan 3 m:n korkeuteen, osaston sivumitoiksi tulisi noin 8,5 x 8,5 m. Ottaen huomioon pilarien poikkileikkauksen korkeuden, rakennuksen leveydeksi muodostui noin 18 m. Rakennuksen pituudeksi saatiin 15 m. Pituudessa otettiin huomioon pyöräkuormaajan tarvitseman tilan lisäksi osaston leveys ja pilarien leveydet.

Rakennuksen symmetrisyys oli suuri etu suunnittelu- ja tuotantovaiheessa. Useamman eri osan mitat pystyttiin osoittamaan yhdellä piirustuksella ja tuotantovaiheessa samanlaiset osat ovat helpompi ja nopeampi valmistaa. Suunnitteluun käytetty aika oli huomattavasti lyhyempi, koska piirustusten määrä oli vähäisempi.

Kattorakenne päätettiin toteuttaa pulpettikattona, koska tällöin katon vapaa korkeus pysyisi samana hallin leveyssuunnassa. Katon kaltevuutta ja alhaalla olevan räystään korkeutta suunniteltaessa otettiin huomioon käytettävä vesikatemateriaali ja hallissa käytettävän pyöräkuormaajan korkeus sekä ulottuma.

Rakennuksessa käytettävän pyöräkuormaajan malliksi sovittiin tilaajan kanssa Volvo L120G. Pyöräkuormaajan tulisi voida operoida rakennuksen jokaisessa kohdassa, jolloin katon korkeus muodostui tärkeäksi tekijäksi. Volvo L120G pyöräkuormaajan hytin korkeus on 3,38 m (Volvo wheel loaders L110G, L120G. 2011. Volvo construction equipment). Vaaditun korkeuden saavuttamiseksi rakennuksen alaräystään alapinnan koroksi valittiin 4,5 m ja kattokaltevuudeksi 1:5, jolloin pyöräkuormaaja pystyisi toimimaan rakennuksessa ja mahdollisilta vahingoilta välttyttäisiin, mikäli kuljettaja nostaisi kauhaa hieman yli hytin.

Tällä kaltevuudella saavutettiin etuja loivempaan kattoon nähden. Pilarit voitiin suunnitella lyhemmiksi alueilla, joissa korkeutta ei vaadita ja korkeammiksi alueilla, joissa työkone asettaa korkeudelle vaatimuksia. Pilareiden pituuksien valitseminen hallin käyttötarkoituksen mukaisesti pienensi pilarien teräsmäärää ja

rakennuksesta saatiin kustannustehokkaampi. Valitulla kattokaltevuudella säävutettiin myös huomattavia etuja kantavien poimulevyjen suunnittelussa, jota on käsitelty luvussa 5.2.

### **4.3 Kuormat ja kuormitusyhdistelmät**

#### **4.3.1 Lumikuorma**

Rakennukseen suunniteltiin pulpettikatto. Rakennus ei sijaitse muiden rakennusten läheisyydessä eikä sen katolla ole kinostumia aiheuttavia esteitä. Rakennuksen lumikuormat määritettiin standardin SFS EN 1991-1-3 mukaisesti ja niiden määrittäminen esitetään liitteessä 2.

#### **4.3.2 Tuulikuorma**

Tuulikuormat määritettiin standardin SFS EN 1991-1-4 mukaisesti painekertoimien avulla, koska paikallisia tuulenpaineita tullaan tarvitsemaan myös poimulevyjen ja seinäorsien mitoituksessa. Rakennukseen vaikuttavien tuulikuormien laskenta esitetään liitteessä 2.

#### **4.3.3 Omapaino**

Dlubal RFEM –ohjelmaan ei tarvitse määrittää erikseen rakenteiden omapainoa, koska ohjelma laskee automaattisesti rakenteiden omapainon käytettävän poikkileikkauksen ja materiaalin mukaisesti. FEM-mallin ulkopuolisten rakennosien, kuten ripustuskuorman tai kantavan poimulevykatteen omapaino, tulee määrittää ohjelmaan manuaalisesti. Poimulevyjen omapaino esitetään luvussa 5.2. Rakenteille määritettiin ripustuskuormaa liitteen 2 mukaisesti, joka muodostui rakenteisiin kiinnitettävien valaisimien massasta ja etuoville jätetyn presuoven varauksista.

#### **4.3.4 Onnettomuuskuorma**

Rakennus suunniteltiin kestäväksi normaalissa käytössä aiheutuvia törmäyksiä. Törmäyskuormien oletettiin syntyvän pyöräkuormaajan kauhan törmäyksestä pilariin. Taulukossa 1 on esitelty törmäyksestä aiheutuvia staattisia mitoituskuormia. Kohteessa käytettävän pyöräkuormaajan bruttopaino on 27 tonnia, joten taulukon 1 mukaan se luokitellaan kuorma-autoksi (Volvo wheel loaders L110G, L120G. 2011. Volvo construction equipment).

Liikenteen nopeus rakennuksen läheisyydessä ja sen sisällä on erittäin pieni, joten voitiin olettaa, että liikenteen luokka vastaa pihaa tai autotallia, missä kuorma-autot pääsevät kulkemaan. Tällöin onnettomuuskuormaksi muodostuu taulukon 1 mukaisesti pilariin kohdistuva 75 kN:n suuruinen ekvivalentti piste-kuorma, joka asetettiin vaikuttamaan 1 m:n korkeudelta maanpinnasta. Standardi SFS-EN 1991-1-7 mahdollistaisi pistekuorman sijoittelun myös matalammalle, mutta tällöin törmäyksestä syntyvä momentti pilarin pohjalevyliitokselle jää pienemmäksi. Törmäyskuorma vaikuttaa vain yhteen pilariin ja suuntaan kerrallaan.

Tässä työssä huomioitiin ainoastaan hallin normaalin kulkusuunnan mukaiset törmäyskuormat, koska hallin koko ei mahdollista pyöräkuormaajan aiheuttaa hallin normaalista kulkusuunnasta poikkeavia merkittäviä törmäyksiä.

#### **4.3.5 Hiekan varastoimisen aiheuttama kuorma**

Hallissa varastoitava hiekka aiheuttaa suuria vaakakuormia kantaville pilareille. Hiekan lepopaineen aiheuttama kuormitus esitetään liitteessä 2. Suunnittelun edetessä todettiin kuitenkin, että hiekan tuentatapaa tuli muuttaa, koska se kasvatti kantavien pilareiden poikkileikkauksien kokoa kohtuuttomasti ja peruspulttiliitoksille tuleva rasitus oli liian suuri yksinkertaisen ja jäykistämättömän pohjalevyliitoksen suunnitteluun. Hiekan tuentatavan muutoksia käsitellään tarkemmin luvussa 5.1.

#### **4.3.6 Kuormitusyhdistelmät**

Rakenteita kuormittavat niiden omapainon lisäksi tuuli, lumi, alkuvirheet ja törmäyskuormat. Kuormitusyhdistelmien määrä kasvoi todella suureksi, kun kaikkien kuormitustapausten eri yhdistelmät otettiin huomioon. Käsin mitoituksessa täytyy osata havaita määräävät kuormitusyhdistelmät suunnittelun kohteena olevalle rakennukselle tai sen osalle. Useimmat FEM-ohjelmat kuitenkin osaa-  
vat tehdä eri kuormitustapausten yhdistelyt automaattisesti ja käyttävät kaikkia kuormitusvaihtoehtoja rakenteiden mitoituksessa. Tässä opinnäytetyössä käytettiin suunnittelussa kaikkia mahdollisia murtorajatilan kuormitusyhdistelmiä, käyttörajatilan ominaisyhdistelmiä ja onnettomuustilanteen yhdistelyjä.

## 5 KANTAVAN RUNGON SUUNNITTELU JA MITOITUS

Kantavan teräsrunгон stabiliteetti, siirtymät ja teräsosien mitoitus laskettiin Dlubal RFEM -ohjelmaa käyttäen. Sisäisten voimien ja momenttien laskennassa käytettiin kimmoteorian mukaista kokonaistarkastelua, jossa materiaalin käyttäytyminen on lineaarista riippumatta poikkileikkauksen jännitystasosta. Laskennassa huomioitiin toisen kertaluvun vaikutukset, alkuvinoudet ja -kaarevuudet mukaan lukien. Kuumavalsattujen profiilien materiaaliksi valittiin S355J2 ja kylmämuovattujen putkiprofiilien materiaaliksi S355J2H näiden hyvän saatavuuden ja ominaisuuksien vuoksi.

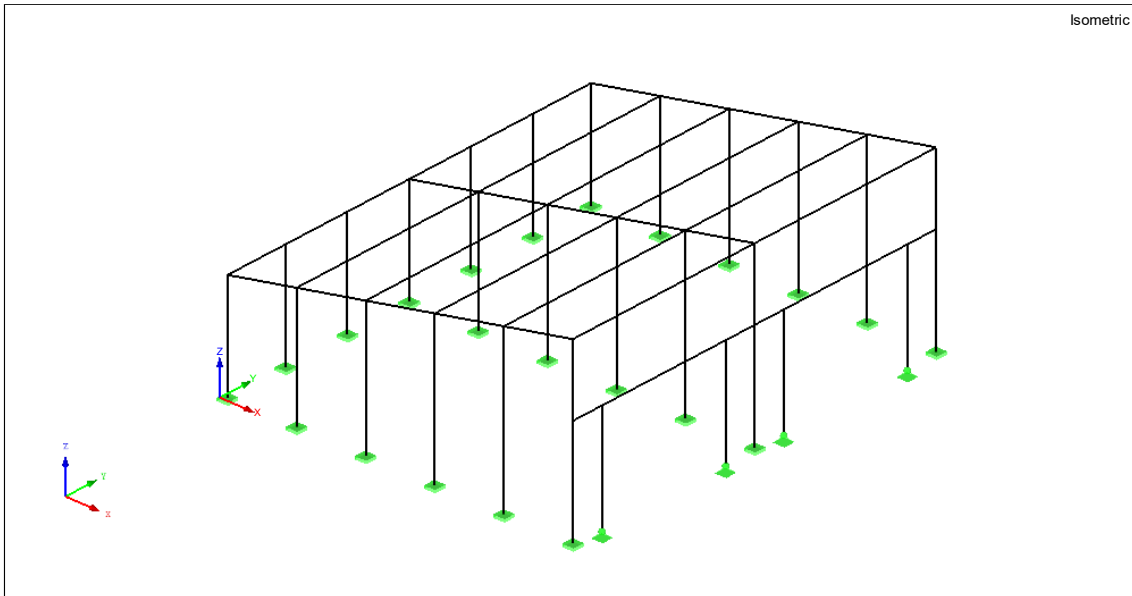
### 5.1 Jäykistysjärjestelmän suunnittelu

Tilaaajan kanssa pohdittiin suunnittelutehtävän alussa, että hallin jäykistysjärjestelmäksi valittaisiin jäykistävät mastokehät. Mastojäykistyksen etuna ovat yksinkertaisemmat pilari-palkkiliitokset, kun kehänurkissa ei tarvita liitosjäykkyyttä. Tämä kuitenkin johtaa siihen, että pilareiden alapäähän muodostuu usein kuormituksen mukaan suuri tukimomentti, joka puolestaan johtaa suuriin pilarikokoihin, perustusliitoksiin ja jopa haasteellisiin perustuksiin.

Hallin käyttötarkoitus on satama-alueen hiekan varastointi. Satamassa on ollut aiemmin huomattavasti pienempi, sivuiltansa avoin katos, jossa hiekkaa oli tuettu teräspilarilta toiselle kiinnitettyihin puulankkuihin, samaan tapaan kuten setiteinissä. Tilaaja oli todennut tämän tuentatavan hyväksi, koska vaurioituneet lankut olivat olleet helppo vaihtaa uusiin.

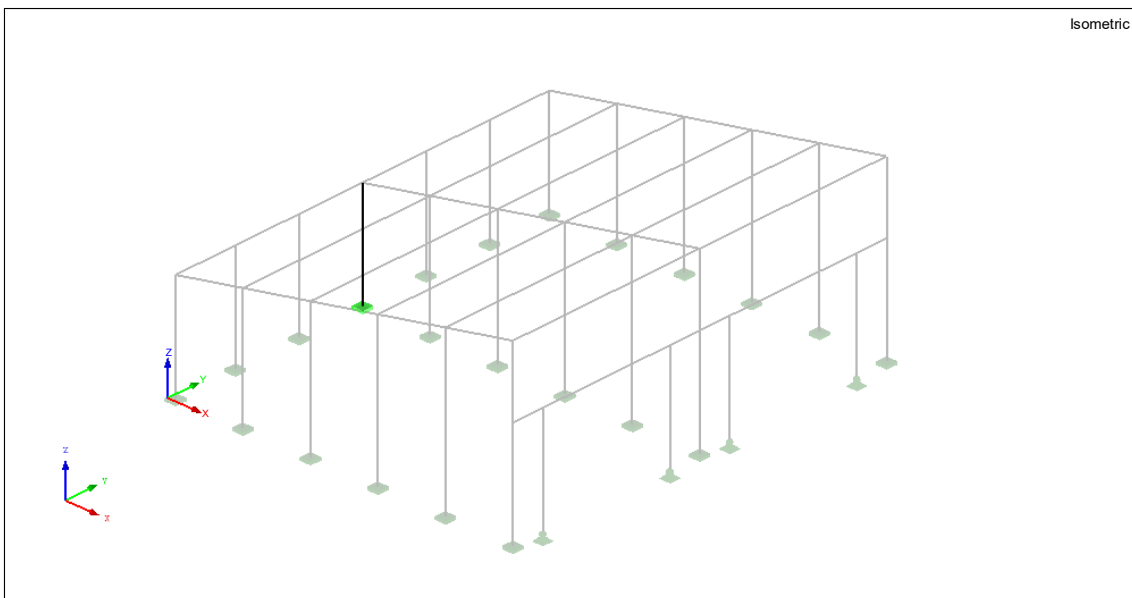
Tilaaajan toiveiden mukaisesti hallin jäykistysjärjestelmän ensimmäisenä mallina kokeiltiin mastokehiä, joissa pilarien liitokset perustuksiin olivat jäykkiä ja pilari-palkkiliitokset nivelöityjä. Hiekka tuettiin satama-alueen aiemman katoksen mukaisesti siten, että hiekan varastoimisesta aiheutuva lepopaine kuormitti katoksen kantavia pilareita. Kuvassa 7 esitetään hallin jäykistävän rungon ensimmäinen malli.



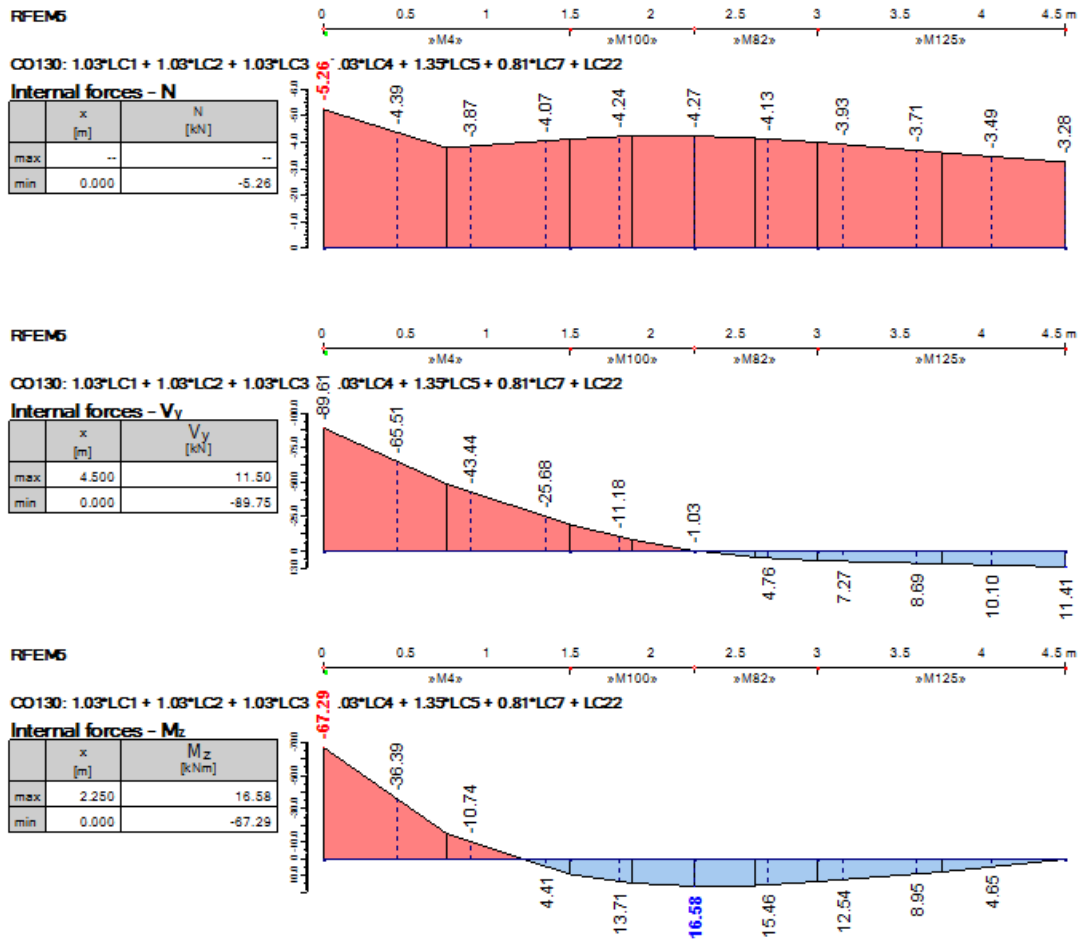


*KUVA 7. Jäykistävän rungon ensimmäinen malli*

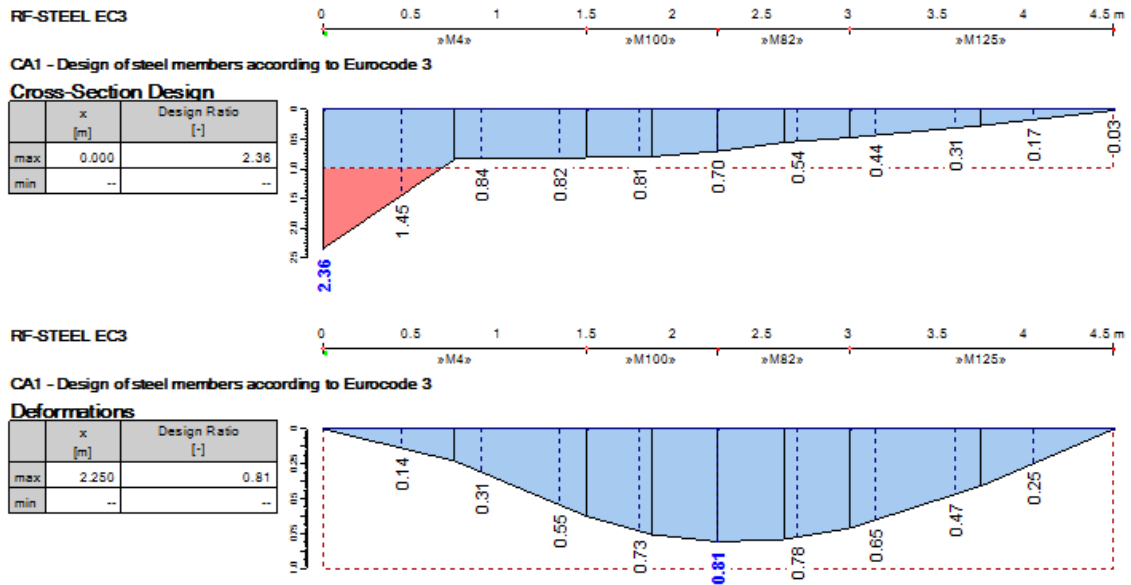
Kuvassa 8 esitettyyn pilariin vaikuttaa kuvan 9 mukaisesti suuren heikomman akselin tukimomentin lisäksi suuri heikomman suunnan leikkausvoima. Kuvassa 10 esitetään pilarin murto- ja käyttörajatilojen käyttöasteet.



*KUVA 8. Mastopilarin sijainti*



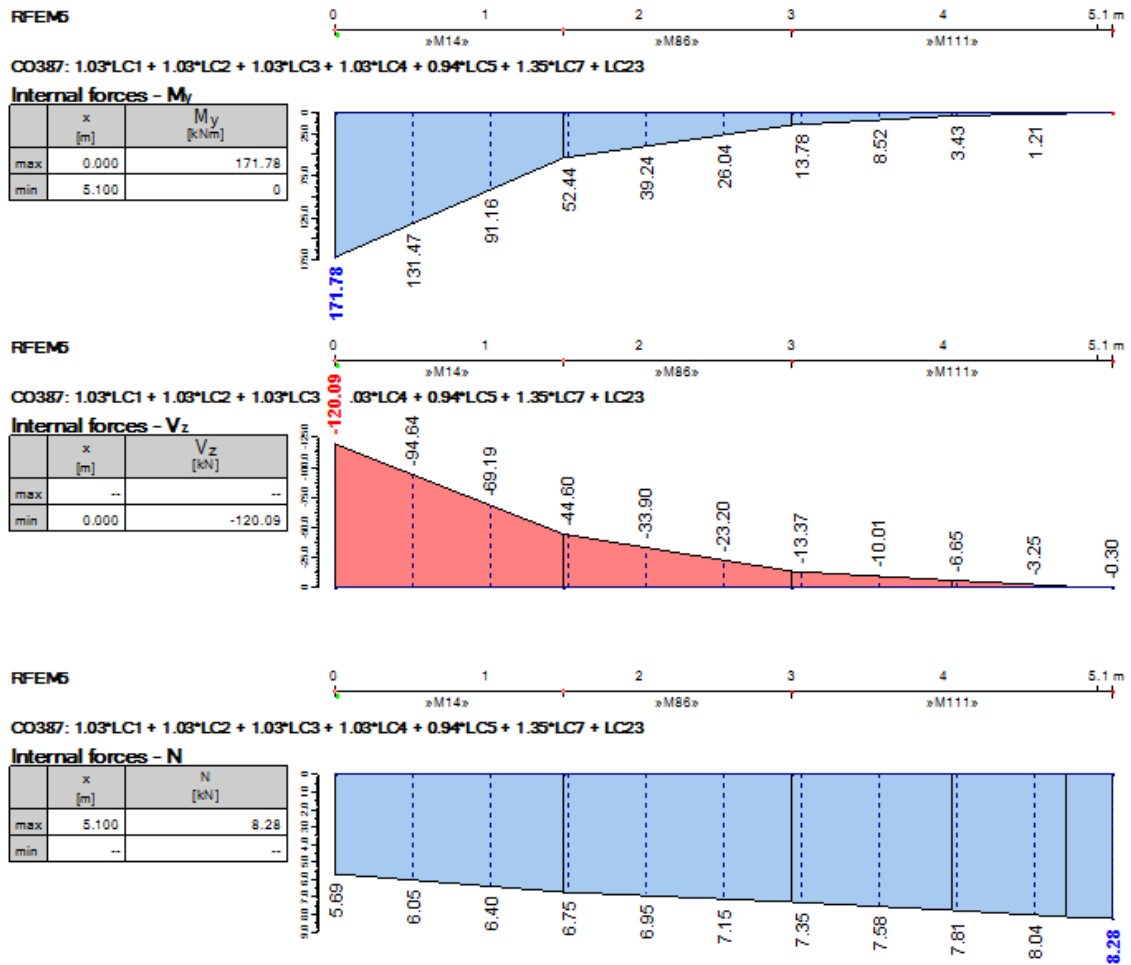
KUVA 9. Pilarin sisäiset voimat määrävssä kuormitusyhdistelmässä



KUVA 10. Pilarin käyttöasteet profiilin ollessa IPE300

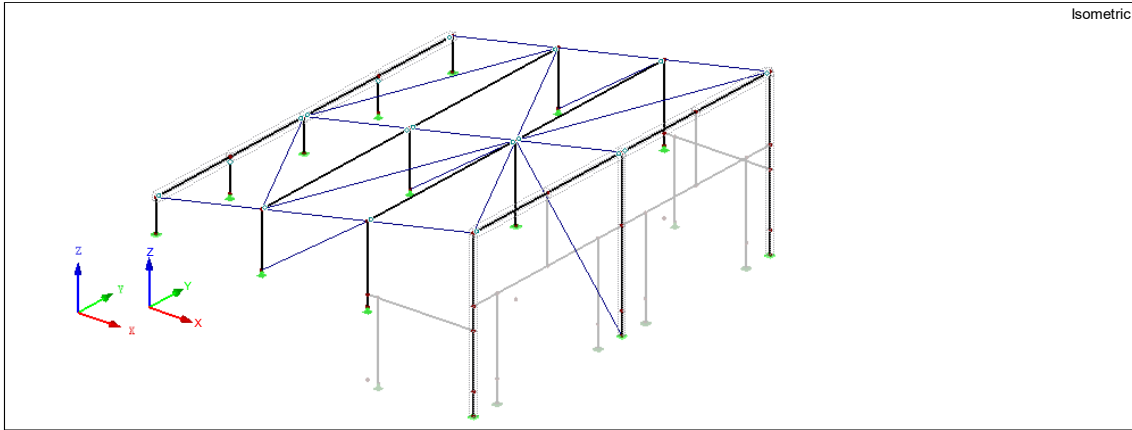
Suunnittelun edetessä huomattiin, että pilarien tukimomentit kasvoivat erittäin suuriksi hiekan lepopaineen ja tuulikuormien yhteisvaikutuksesta. Kuvassa 11 esitetään raskaimmin kuormitetun pilarin sisäisiä voimia, joissa vahvemman akselin tukireaktioiden itseisarvot voidaan lukea pilarin alkupäästä. Suuren momentin ja leikkausvoiman vuoksi pilareiden koko olisi tullut kasvamaan huomattavan suuriksi ja pilarijaot olisivat jääneet tiiviiksi.

Pilarien pohjalevyille ja peruspulteille kohdistuvat rasitukset olisivat niin suuret, että pohjalevyä olisi jouduttu jäykistämään todella paljon sekä peruspulttien lukumäärää ja halkaisijaa olisi jouduttu kasvattamaan huomattavasti. Tästä syystä tilaajan kanssa sovittiin, että hiekka tuettaisiin teräsbetonisilla tukiseinillä ja hallin teräsrunko rakennettaisiin näiden seinien varaan. Tämän ansioista pilarien poikkileikkauksien kokoja pystyttiin pienentää huomattavasti, pilarijako kasvatettiin ja samalla useat perustusliitokset pystyttiin mitoittamaan nivelöityinä.



KUVA 11. Raskaimmin kuormitetun pilarin sisäiset voimat

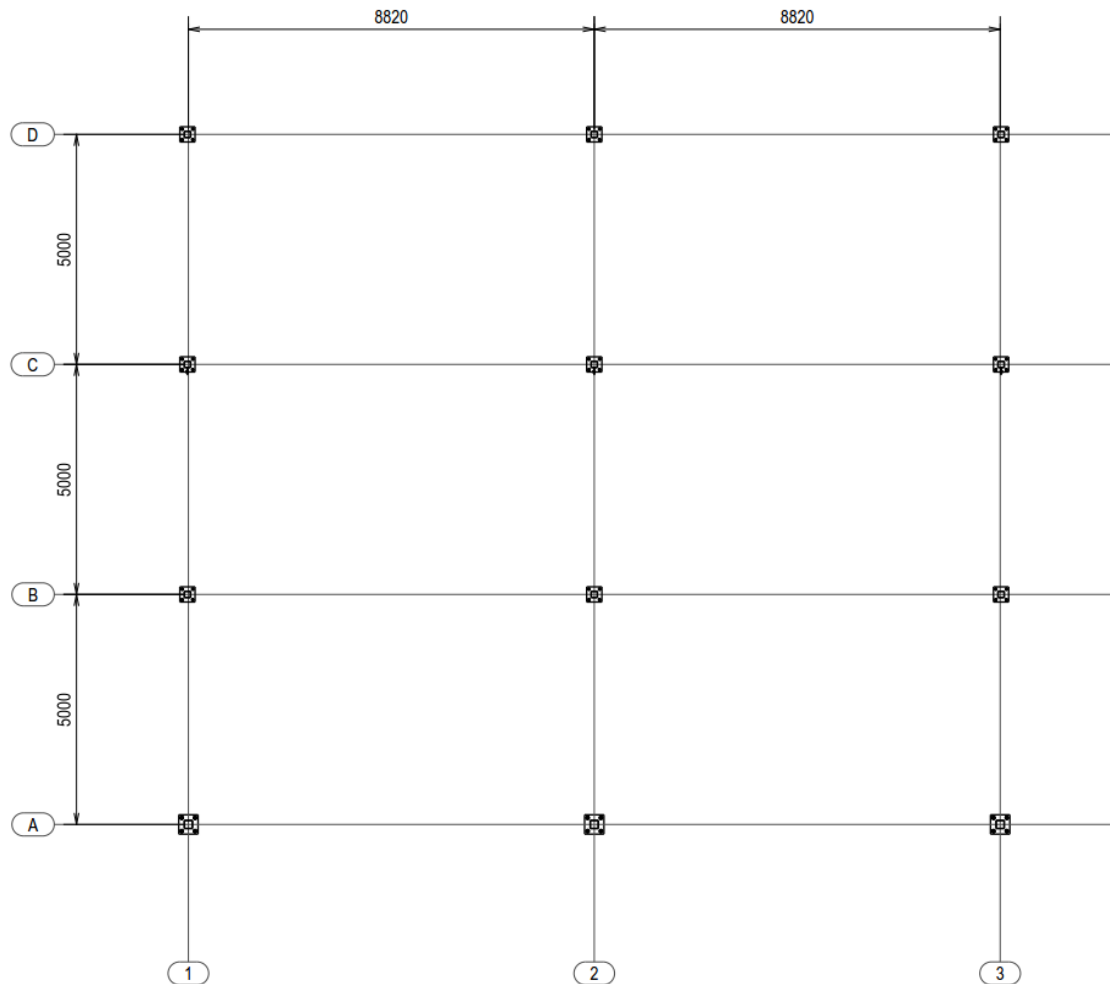
Rakennus päätettiin jäykistää hallin kulkusuunnassa vinositein ja kattoon sijoite-  
tuilla tasositeillä. Varsinaiseen kulkusuuntaan kohtisuorassa suunnan jäykistys  
koettiin haasteelliseksi rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisen esteettömän  
liikenteen ja avonaisen seinustan vuoksi. Rakennus päätettiin jäykistää tähän  
suuntaan mastopilareilla. Periaatekuva lopullisesta jäykistysjärjestelmästä esite-  
tään kuvassa 12.



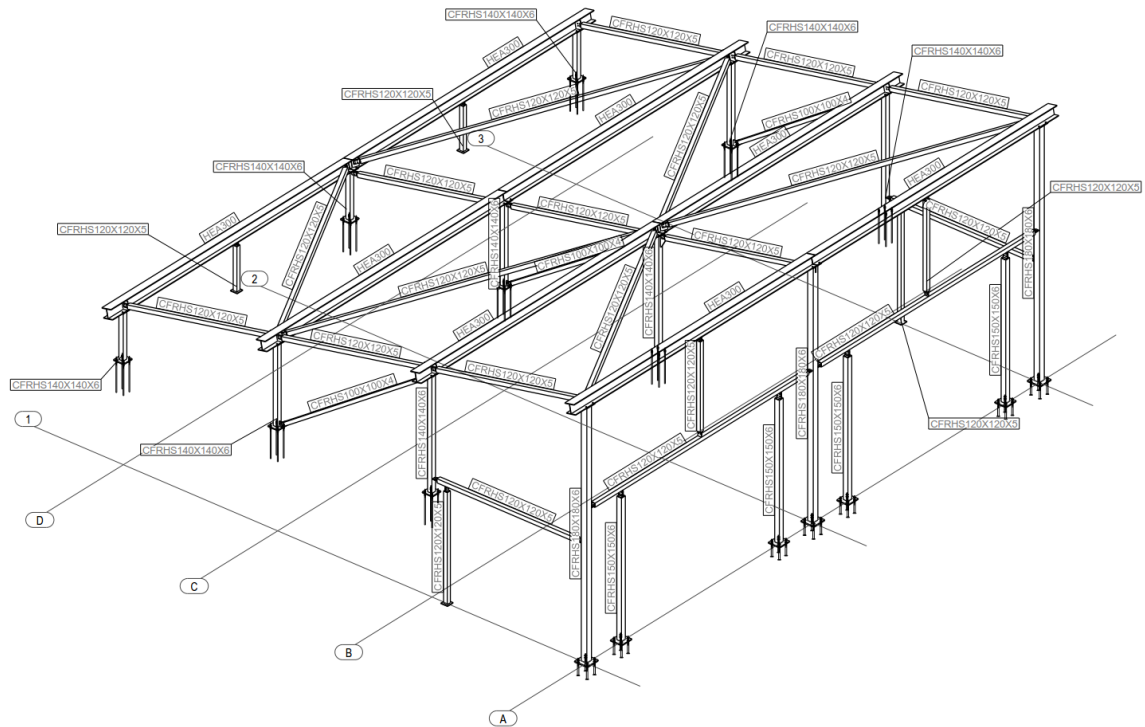
*KUVA 12. Hallin jäykistävä runko*

Rakennuksen katto jäykistettiin palkkien uumaan liitettävillä rakenneputkilla. Rakenneputket siirtävät rakennuksen pätyihin tulevan tuulikuorman mastopilareiden ja seinäsiteiden kautta perustuksille. Seinäsiteet mitoitettiin vain normaali-

voimaa siirtävinä sauvoina, jotka siirtävät tuulikuormaa rakennuksen perustuksille. Kantavien pilareiden sijainnit esitetään kuvassa 13. Teräsrunossa käytetyt poikkileikkaukset ja rungon havainnekuva esitetään kuvassa 14.

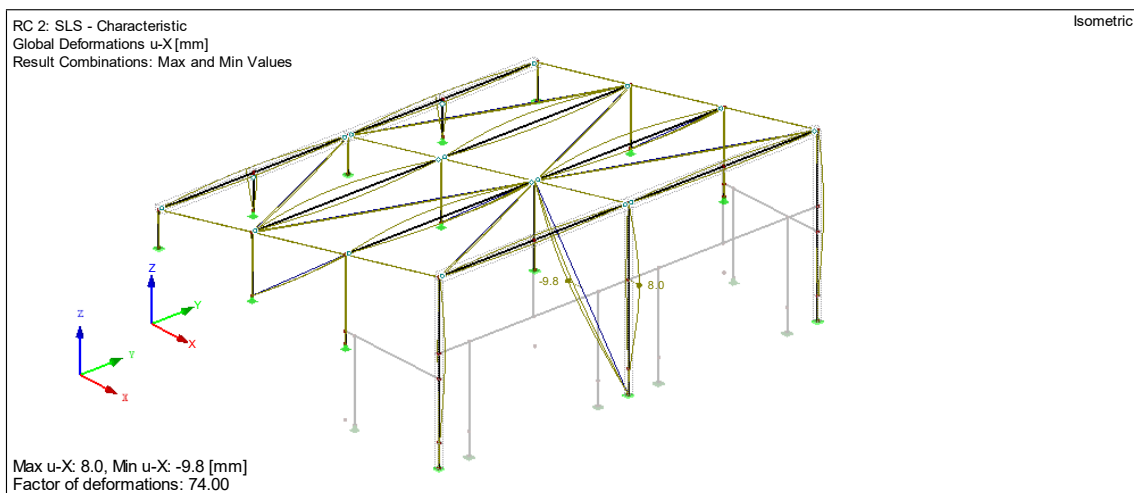


*KUVA 13. Kantavien pilareiden sijainti*

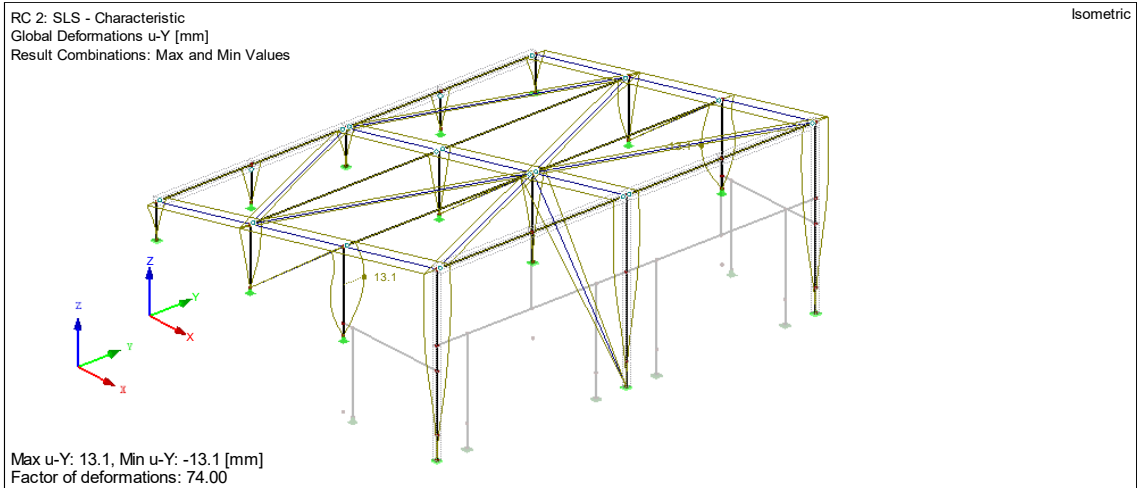


KUVA 14. Teräsrungon havainnekuva

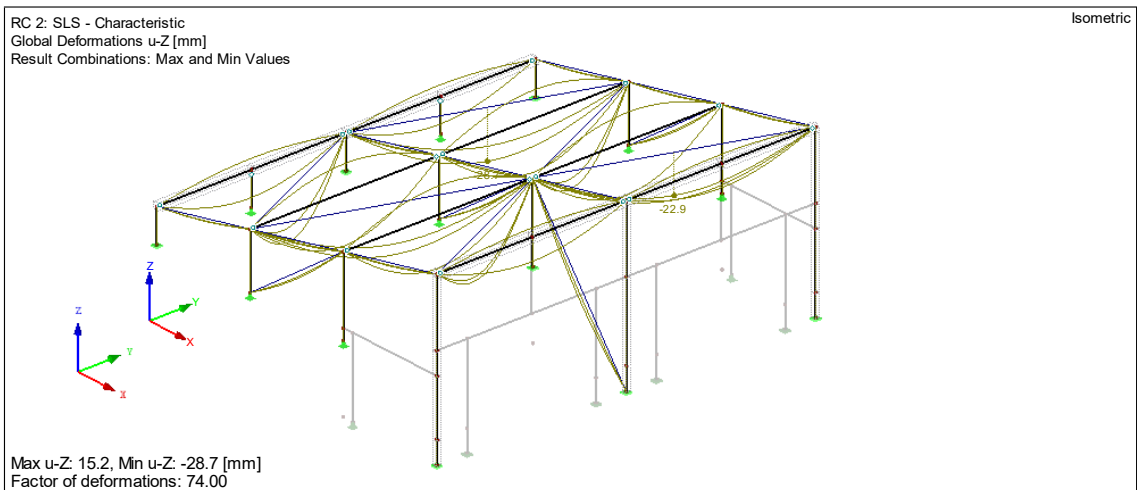
Valitulla jäykistyksellä saavutettiin käyttörajatilamitoituksessa standardin SFS EN1993-1-1 Suomen kansallisen liitteen vaatimukset. Kuvissa 15, 16 ja 17 esitetään kantavan rungon enimmäissiirtymiä käyttörajatilan ominaisyhdistelmillä, laskentamallin globaalien X-, Y- ja Z-akselin suuntaisesti.



KUVA 15. Kantavan rungon enimmäissiirtymä globaalien X-akselin suuntaisesti



*KUVA 16. Kantavan rungon enimmäissiirtymä globaalin Y-akselin suuntaisesti*



*KUVA 17. Kantavan rungon enimmäissiirtymä globaalin Z-akselin suuntaisesti*

## 5.2 Kantavien poimulevyjen suunnittelu

Rakennuksen vesikatteeksi suunniteltiin kantava poimulevy. Kantavat poimulevyt mitoitettiin Ruukin PurCalc-ohjelmalla.

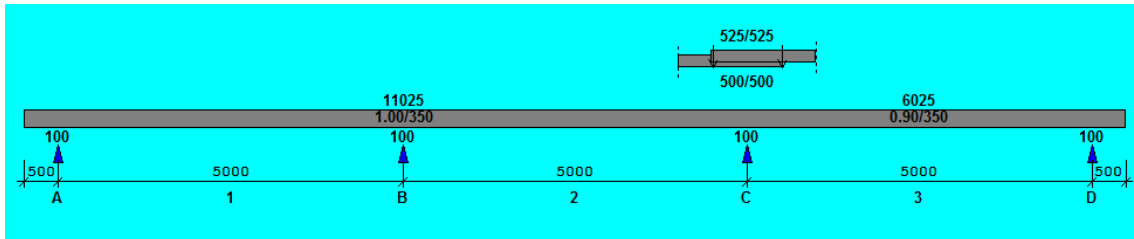
Vesikatto jaettiin kolmeen 5 m:n levykenttään linjan 1 suuntaisesti. Pitkän jännemitan vuoksi poimulevyjen profiiliksi esivalittiin Ruukin T130M-75L-930. Valmistajan tietojen mukaan kyseisen poimulevyn tyypilliset jännemitat ovat yli 5 m.

Kantavat poimulevyt suunniteltiin 3-aukkoisena levynä, jossa on levyjatkos kuvan 14 mukaisesti linjan B tuella. Tämän lisäksi levykenttien päihin suunniteltiin



0,5 m:n mittaiset ulokkeet räystääksi. Momenttijäykän levyjatkoksen ansiosta taipumia saatiin vähennettyä.

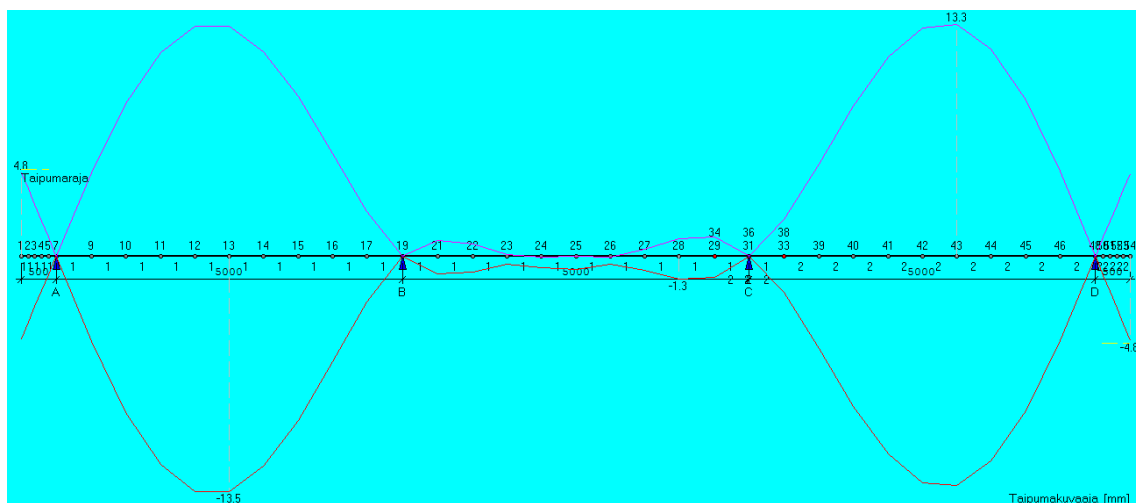
Mitoittavassa kuormitustapauksessa poimulevyä kuormittavat levyn omapaino, ripustuskuorma, määrävänä lumikuorma ja tuulikuorma. Poimulevyjen mitoittavaksi tekijäksi muodostui taipuma ulokkeella. Profiilipellin rakennemalli esitetään kuvassa 18, käyttöasteet kuvassa 19 ja taipumakuvaaja kuvassa 20.



KUVA 18. Profiilipeltien rakennemalli

	Jatkokset, pituus	Levy	Voimat				Käyttöasteet [%]			Taipumat						
			M	R/V	M	R/V	M	R/V	M,R/V	mm	L/	%				
0	Uloke 500	1	1.00/350													
A	Reunatuki			0.5	9.0	-0.2	9.0	2.3	43.7	43.7						
1	5000	1	1.00/350	-7.1	0.0	0.0	0.0	36.3	-	-	-13.5	369.9	54.1			
B	Jatkuva			8.9	19.0	-8.0	19.0	44.8	46.3	69.2						
2	5000	1	1.00/350	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-1.3	>999	5.2			
C	Limitys 500/500			5.0	8.8	4.8	8.8	30.1	26.8	45.0						
3	5000	2	0.90/350	-6.6	0.0	0.0	0.0	40.5	-	-	13.3	376.6	53.1			
D	Reunatuki			0.5	8.7	-0.2	8.7	2.8	53.5	53.5						
4	Uloke 500	2	0.90/350								-4.8	103.4	96.7			

KUVA 19. Profiilipeltien käyttöasteet



KUVA 20. Profiilipeltien taipumakuvaaja

Ohjelmasta saatiin poimulevyjen oma paino mitoituksen jälkeen. Ohjelma ilmoitti valittujen levyjen omapainoksi 13,02 kg/m<sup>2</sup>. Rakennuksen kantavaa runkoa suunniteltaessa käytettiin kuitenkin vesikatteen omana painona 0,15 kN/m<sup>2</sup>. Tämä on varmalla puolella oleva pyöristys.

Valmistajan ohje vesikatteenä käytettävien 130 mm korkeiden poimulevyjen kaltevuudesta on vähintään 1:10. Kattokaltevuudeksi valittu 1:5 täyttää tämän vaatimuksen.

Lämpötilaerojen vuoksi kylmissä varastohalleissa käytettävien poimulevyjen alapintaan voi kondensoitua vettä. Kondensoituvan veden tippumisen estämiseksi poimulevyjen alapintaan ruiskutetaan antikondenssimassa, koska erillistä aluskatetta ei haluttu esteettisistä syistä käyttää.

### **5.3 Palkkien suunnittelu**

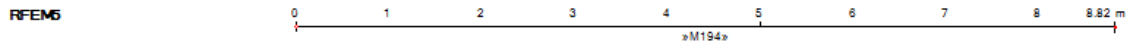
Yläpohjan pääkannattajiksi suunniteltiin aluksi primääri- ja sekundääripalkistot. Suunnittelun alkuvaiheessa palkkien profiiliksi valittiin IPE-poikkileikkaus suuren taivutusvastuksen ja pienen massan ansiosta. Palkkijaoksi valittiin k2500. Katon jyrkän kulman takia palkit olivat kuitenkin alttiita heikomman suunnan taivutukselle, joten sekundääripalkkien profiiliksi vaihdettiin leveälaippainen HEA240 -profiili.

HEA-profiilin suuremman heikomman suunnan taivutuskestävyyden ansiosta palkkijako voitiin kuitenkin kasvattaa kaksinkertaiseksi, kun poikkileikkaus kasvatettiin kokoon HEA300. Tällöin yläpohjan pääkannattajien massa väheni noin 1 200 kg:lla edellisestä suunnitelmasta. Palkkien poikkileikkauksen jaon muutokset olivat perusteltuja, sillä palkkien kokonaismassa väheni huomattavasti.

Palkit suunniteltiin päistään nivelöityinä, yksiaukkoisina palkkeina. Palkkien yksiaukkoisuuden vuoksi mitoittavaksi tekijäksi muodostui palkkien taipuma. Palkkien taipuman vähentämiseksi palkit oltaisiin suunniteltu kaksiaukkoisina, mutta suurten jännevälien vuoksi kuljetuksista tulisi haasteellisia. Ruukki toimittaa

HEA300 -profiilia 18 m:n mittaisina, mutta yli 16 m:n kappaleet tulee kuljettaa erikoiskuljetuksena. Toisena vaihtoehtona olisi ollut suunnitella palkkeihin momenttijäykkä jatkos, mutta yläpohjan vesikatteen vuoksi palkkien momenttijäykät jatkokset olisi vaikea toteuttaa siten, että vesikatteena toimivaa kantavaa poimulevyä ei tarvitsisi puhkaista.

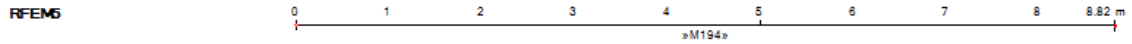
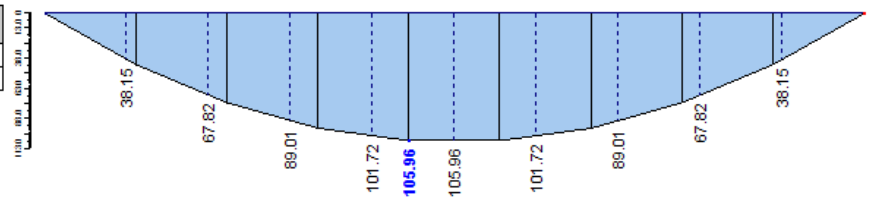
Palkkien mitoittavaksi kuormitustapaukseksi muodostui CO135, kun palkkia rasisittavat vesikatteen omapaino, ripustuskuorma, määräävänä muuttuvana kuormana lumi ja kattoa alas painava tuulenpaine. Rasitetuimman palkin sisäiset voimat ja suurin taipuma esitetään kuvassa 21 sekä käyttöasteet kuvassa 22.



CO135: LC1 + LC2 + LC5 + 0.6\*LC6 + LC23

Internal forces -  $M_y$

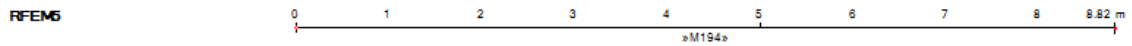
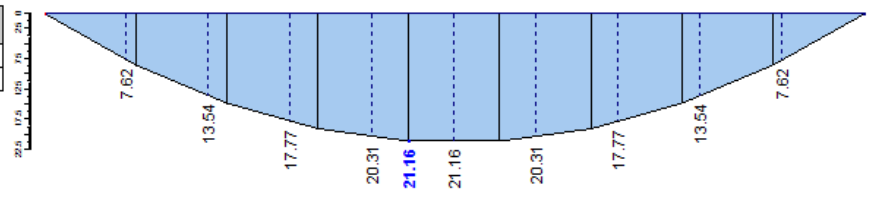
	x [m]	$M_y$ [kNm]
max	3.920	105.96
min	8.820	0



CO135: LC1 + LC2 + LC5 + 0.6\*LC6 + LC23

Internal forces -  $M_z$

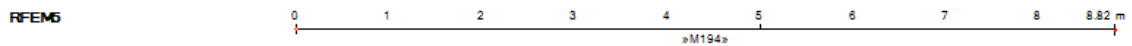
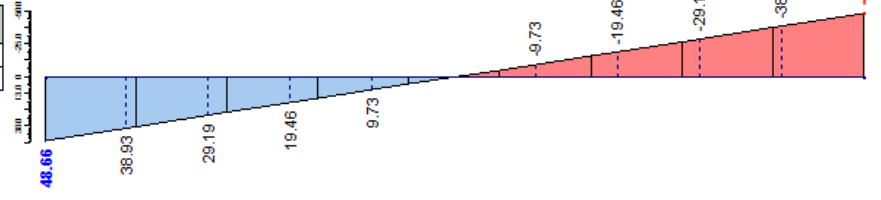
	x [m]	$M_z$ [kNm]
max	3.920	21.16
min	0.000	0



CO135: LC1 + LC2 + LC5 + 0.6\*LC6 + LC23

Internal forces -  $V_z$

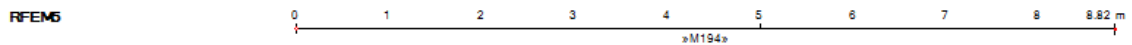
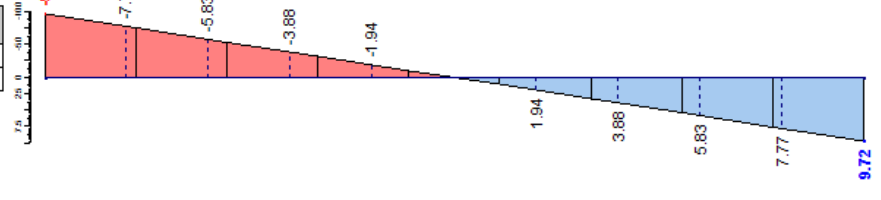
	x [m]	$V_z$ [kN]
max	0.000	48.66
min	8.820	-48.66



CO135: LC1 + LC2 + LC5 + 0.6\*LC6 + LC23

Internal forces -  $V_y$

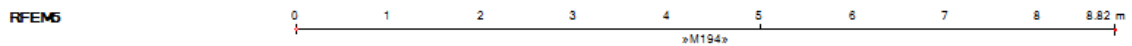
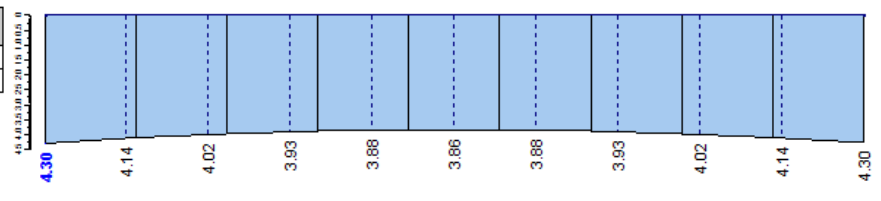
	x [m]	$V_y$ [kN]
max	8.820	9.72
min	0.000	-9.72



CO135: LC1 + LC2 + LC5 + 0.6\*LC6 + LC23

Internal forces - N

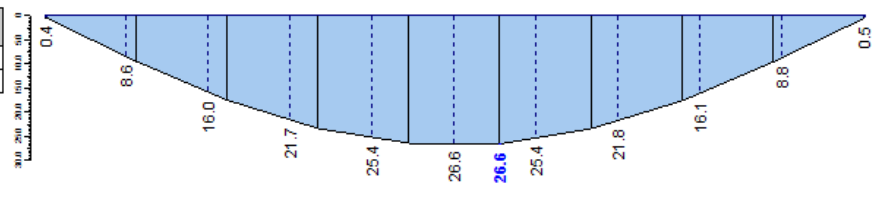
	x [m]	N [kN]
max	0.000	4.30
min	-	-



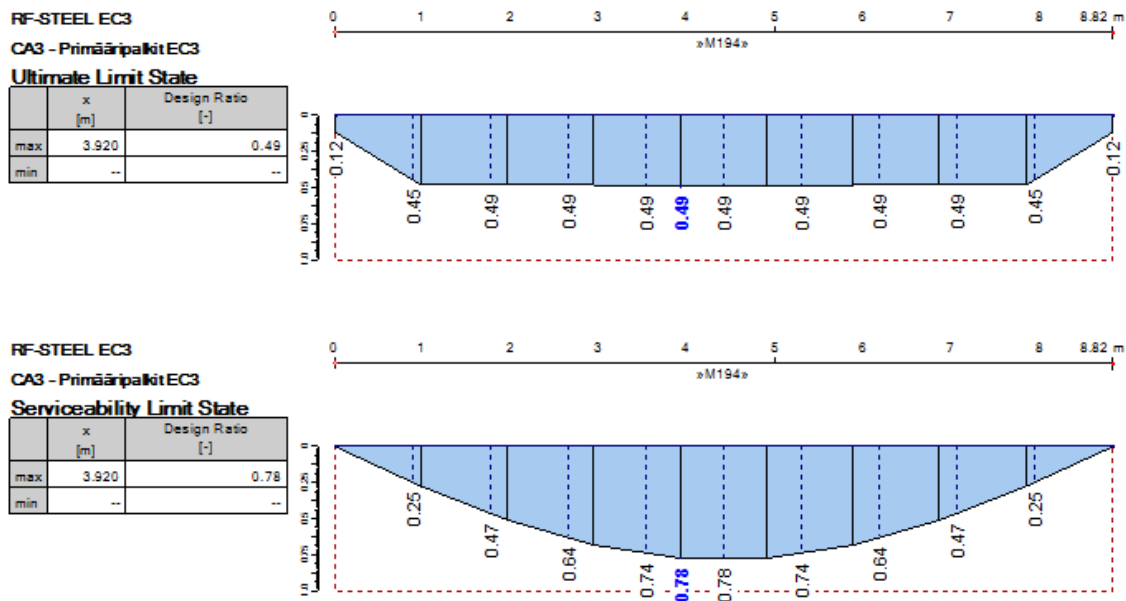
CO135: LC1 + LC2 + LC5 + 0.6\*LC6 + LC23

Global Deformations - u

	x [m]	u [mm]
max	4.900	26.6
min	-	-



KUVA 21. Palkin sisäiset voimat ja globaali taipuma



KUVA 22. Palkin käyttöasteet murtorajatilassa ja käyttörajatilassa

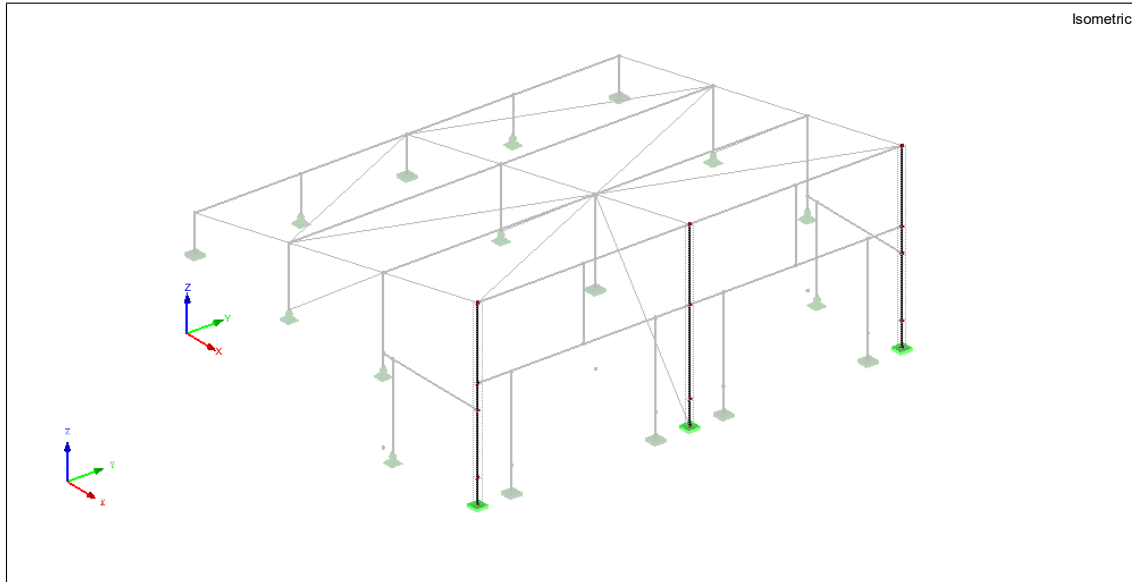
## 5.4 Kantavien pilareiden suunnittelu

Rakennuksen jäykistysjärjestelmän ja hiekan tuentatavan muuttamisen ansiosta pilareiden profiileja pystyttiin keventämään ja pilarijako kasvatamaan. Pilarijako suunniteltiin siten, että seinäorsien aukkomitat eivät kasvaisi liian suuriksi. Tämän takia hallin 15 m:n pitkä sivu päätettiin jakaa neljälle pilarille, jolloin seinäorren aukkojen pituus olisi noin 5 m. Pilarijako esitetään kuvassa 13.

Muutosten ansiosta pilarijako kasvatettiin 3 m:stä 5 m:iin, jolloin pilarien lukumäärä väheni kuudella. Linjan A suuntaisten pilareiden poikkileikkaukset muutettiin suunnittelun edetessä IPE330:stä CFRHS180x180x6:een, jolloin käytettävän pilaripoikkileikkauksen massa väheni 17 kg/m.

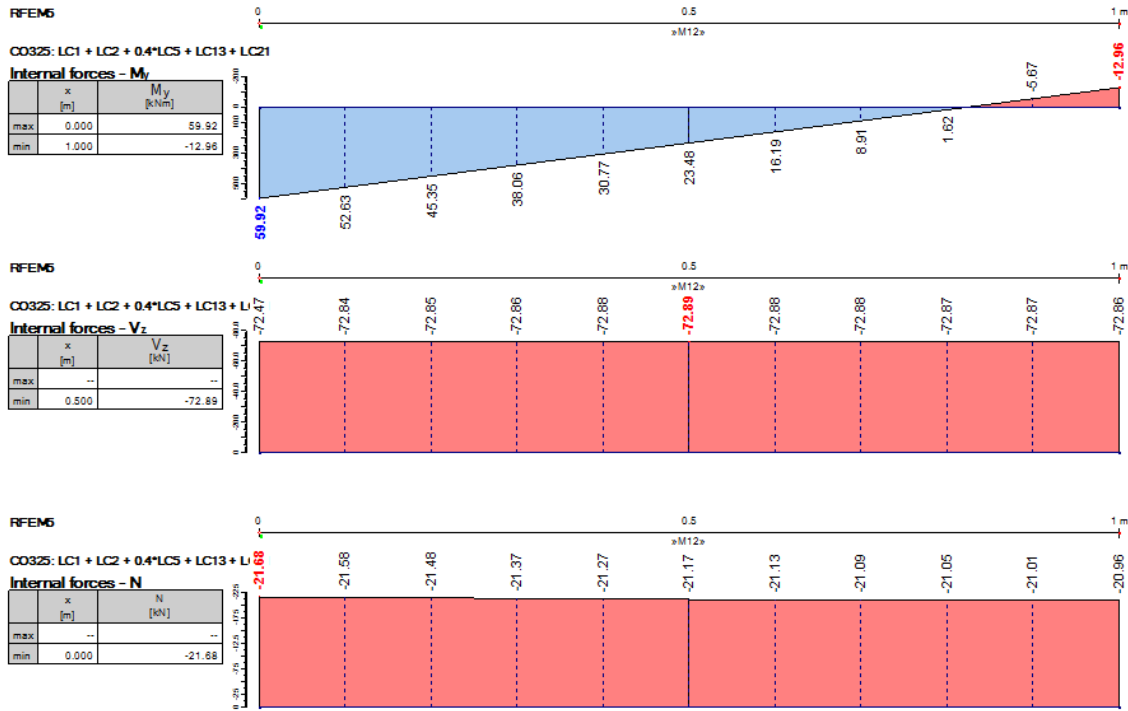
Kuvan 23 mukaisiin pilareihin kohdistuu kuormia yläpohjarakenteiden omapainosta, ripustuskuormista, tuulesta, lumesta, epätarkkuuksista ja törmäyskuormista. Onnettomuustilanteessa pilariin kohdistuu 75 kN:n suuruinen piste-kuorma, joka vaikuttaa pilariin 1 m:n korkeudelta maanpinnasta rakennuksen kulkusuunnassa.

Pilareiden mitoituksessa määrääviksi kuormitusyhdistelmiksi muodostuivat useat eri onnettomuustilanteiden yhdistelyt. Kaikille edellä mainituille kuormitusyhdistelmille ominaista on se, että ne aiheuttavat pilareille yhden tai kahden akselin suuntaista taivutusmomenttia, normaalivoimaa ja leikkausvoimaa.

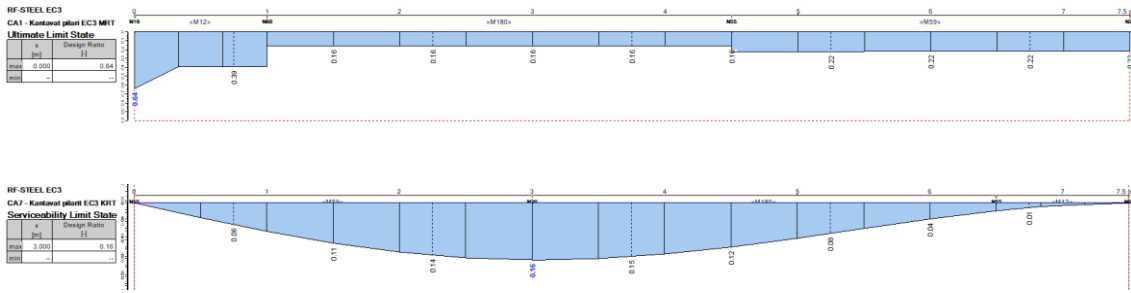


*KUVA 23. Törmäykselle alttiit kantavat pilarit*

Raskaimmin kuormitettu kantava pilari sijaitsee kuvan 23 korostetuista pilareista keskellä. Määräävässä kuormitustapauksessa CO325 pilaria kuormittavat yläpohjarakenteen omapaino, ripustuskuorma, määräävänä muuttuvana kuormana lumikuorma, epätarkkuuksien aiheuttamat kuormat ja törmäyskuorma. Pilarin sisäiset voimat esitetään kuvassa 24 ja pilarin käyttöasteet määräävässä kuormitustapauksissa esitetään kuvassa 25.



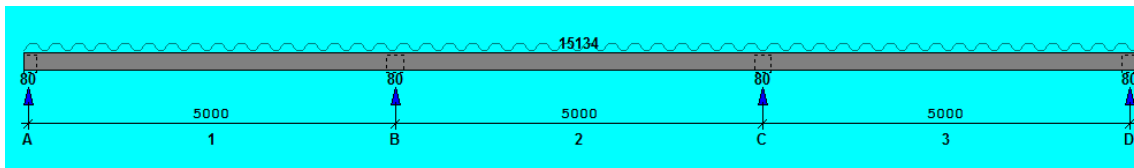
KUVA 24. Pilarin sisäiset voimat määrävssä kuormitustapauksessa



KUVA 25. Pilarin käyttöasteet murto- ja käyttörajatilassa

## 5.5 Seinäorsien mitoitus

Seinäorsien tehtävänä on jakaa seinään asennettavilta profiililevyiltä tuleva tuulikuorma kantaville rakenteille ja toimia profiililevyjen tukirakenteina. Seinäorret suunniteltiin vaakatasoon, koska seinäpellit asennetaan tässä kohteessa pystysuuntaisesti. Suuren pilarijaon vuoksi orsien profiiliksi esivalittiin Ruukin H-orsin suuren poikittaisjäykkyyden vuoksi. H-orren huonoina puolina voidaan kuitenkin mainita se, että H-orsi tarvitsee aina erillisen tukikappaleen välituilla ja liitostuilla. Orret suunniteltiin 3-aukkoisina jatkuvina seinäorsina, koska orsien taipumat ovat tällöin pienemmät. Tämän lisäksi asennettavien osien määrä vähenee johtaen pienempään asennustyön määrään. Orsijaoksi valittiin k2000, koska hallin reunakentissä orsia rasittaa suuri tuulikuorma, kun tuulee hallin avonaisesta seinästä hallin sisälle. Seinäorsien rakennemalli esitetään kuvassa 26 ja käyttöasteet kuvassa 27



KUVA 26. Seinäorren rakennemalli

	Paksuus/Lujuus	Pituus	Kenttä	Tuki	Taipuma	Mitoittava kriteeri
1	2.00/350	15134	OK 67.4	OK 47.4	OK 63.2	Interaktio kentässä

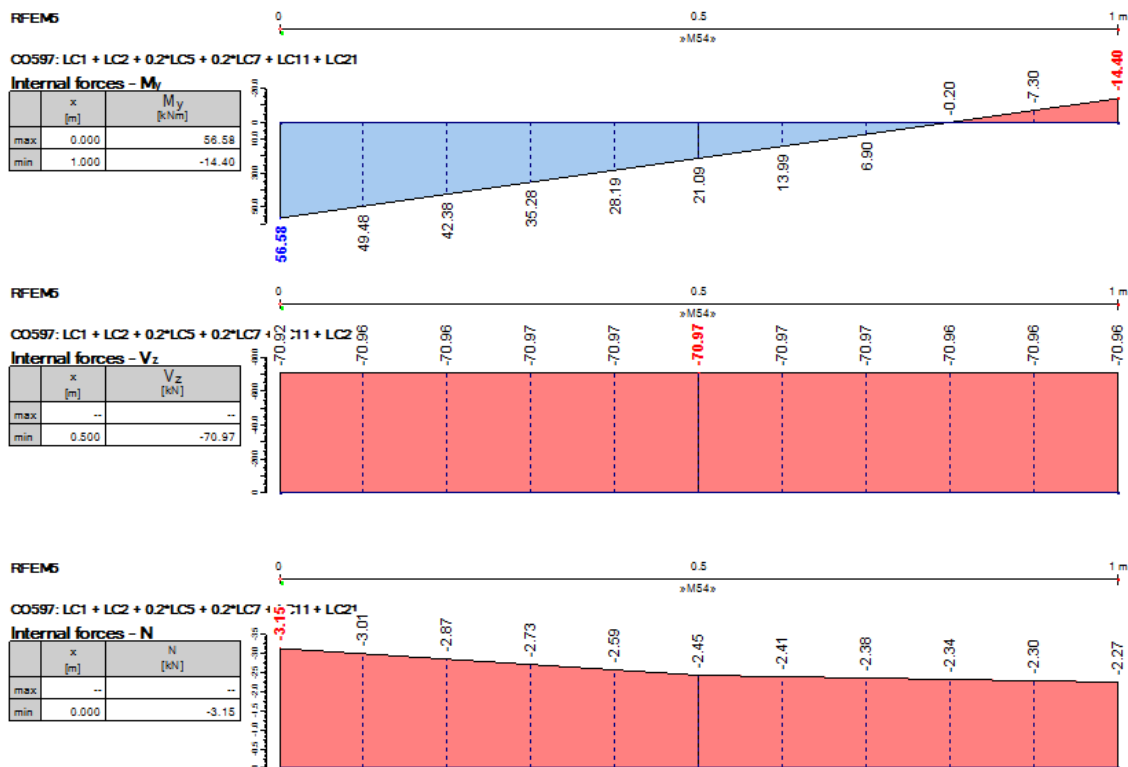
KUVA 27. Seinäorren käyttöasteet

## 5.6 Pieliterästen suunnittelu ja mitoitus

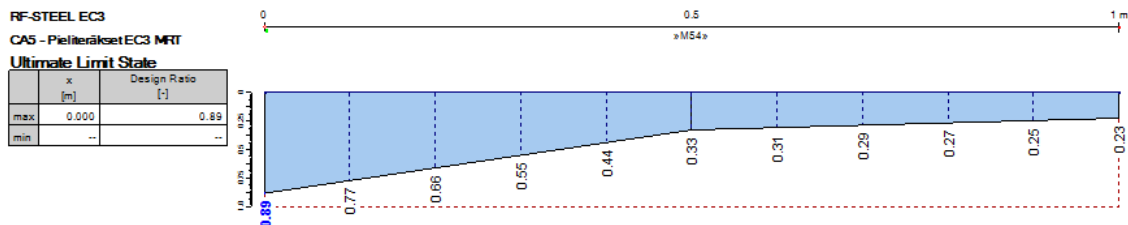
Rakennuksen yksinkertaisen muodon ja vähäisten aukkojen lukumäärän vuoksi kohteessa joudutaan käyttämään hyvin vähän pielirakenteita. Pieliterästen tehtävänä on toimia aukkojen tukirakenteina, seinäorsien kiinnityksen pohjamateriaalina ja jakaa tuulikuormia kantavalle rungolle. Kulkuaukkojen pieliteräkset suunniteltiin aluksi vain jakamaan seinäorsilta tulevaa tuulikuormaa kantaville



pilareille sekä toimimaan orsien tukena, mutta suuren törmäysriskin vuoksi niiden tulisi kestää myös hallissa kulkevien koneiden aiheuttamat pienet törmäykset. Tämän vuoksi pieliterästen poikkileikkauksien koot kasvoivat huomattavasti. Profiilikoon kasvattamisella saavutettiin pieliteräspilarin stabiilius staattista 75kN:n törmäyskuormaa vastaan. Pieliteräspilareiden profiiliksi valittiin CFRHS150x150x6. Pilareiden sisäiset voimat määräävässä kuormitustapauksessa esitetään kuvassa 28 ja käyttöasteet kuvassa 29.

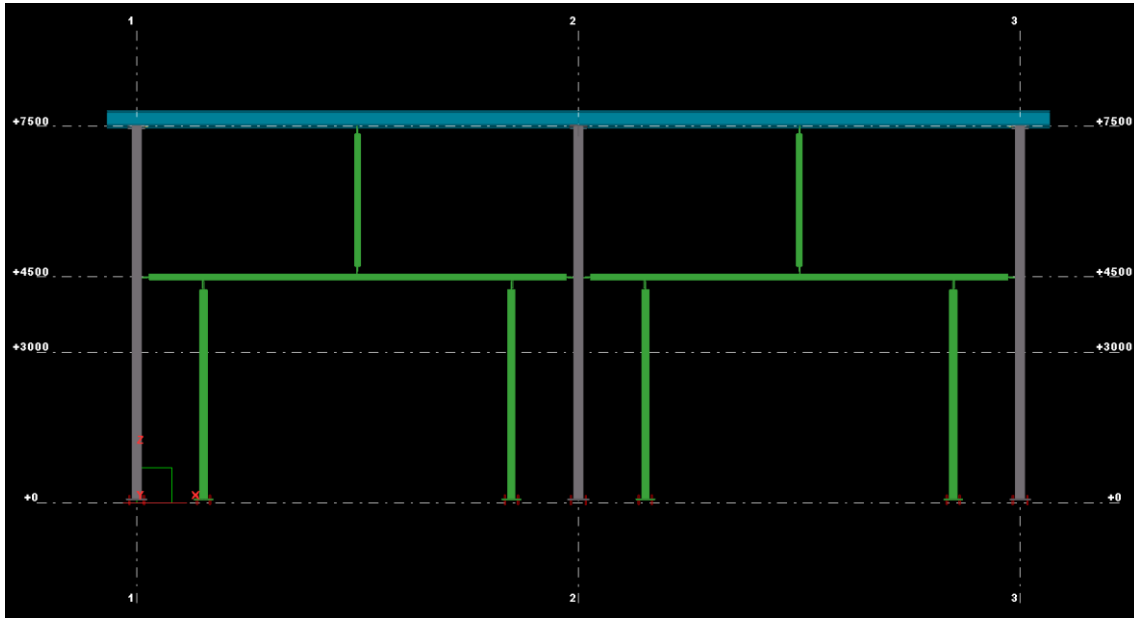


KUVA 28. Pieliteräspilarin sisäiset voimat määräävässä kuormitustapauksessa



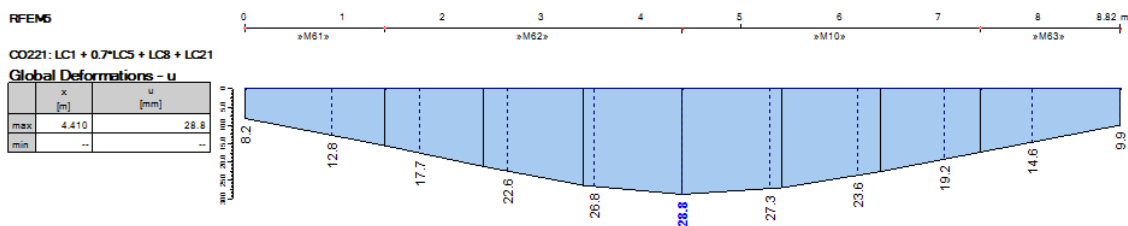
KUVA 29. Pieliteräspilarin käyttöasteet murtorajatilassa

Aukollisen sivun pilariväli 9 m on liian suuri H-orrelle, joten väli jouduttiin puolittamaan putkiprofiililla. Lisätty sauva toimii myös tukena alapuolella olevalle pielteräkselle. Pielteräspalkit valittiin siten, että pilarin ja palkin välisen liitoksen suunnittelu olisi helppoa. Linjan A pielteräsrakenteet esitetään vihreällä kuvassa 30.

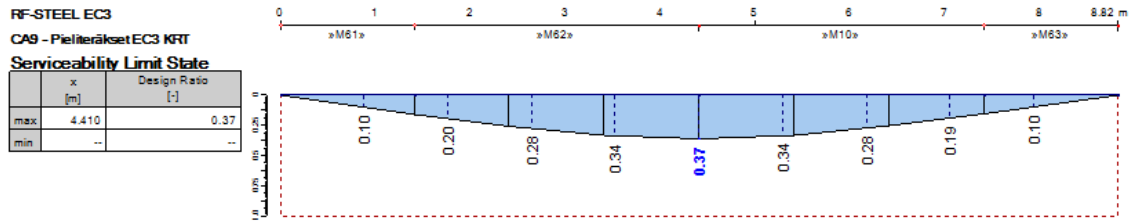


KUVA 30. Linjan A pielteräsrakenteet

Tilaaajan pyynnöstä pielteräspalkkien suunnittelussa otettiin myös huomioon vaaraus pressuoville. Pressuovien aiheuttamat muutokset tuulikuormiin tulee arvioida, mikäli ovia asennetaan rakennukseen. Pielteräspalkkien mitoittavaksi tekijäksi muodostui tuulesta aiheutuva taipuma. Pielteräspalkkien taipuma määrävässä kuormitustapauksessa esitetään kuvassa 31 ja käyttöasteet käyttörajatilassa esitetään 32.

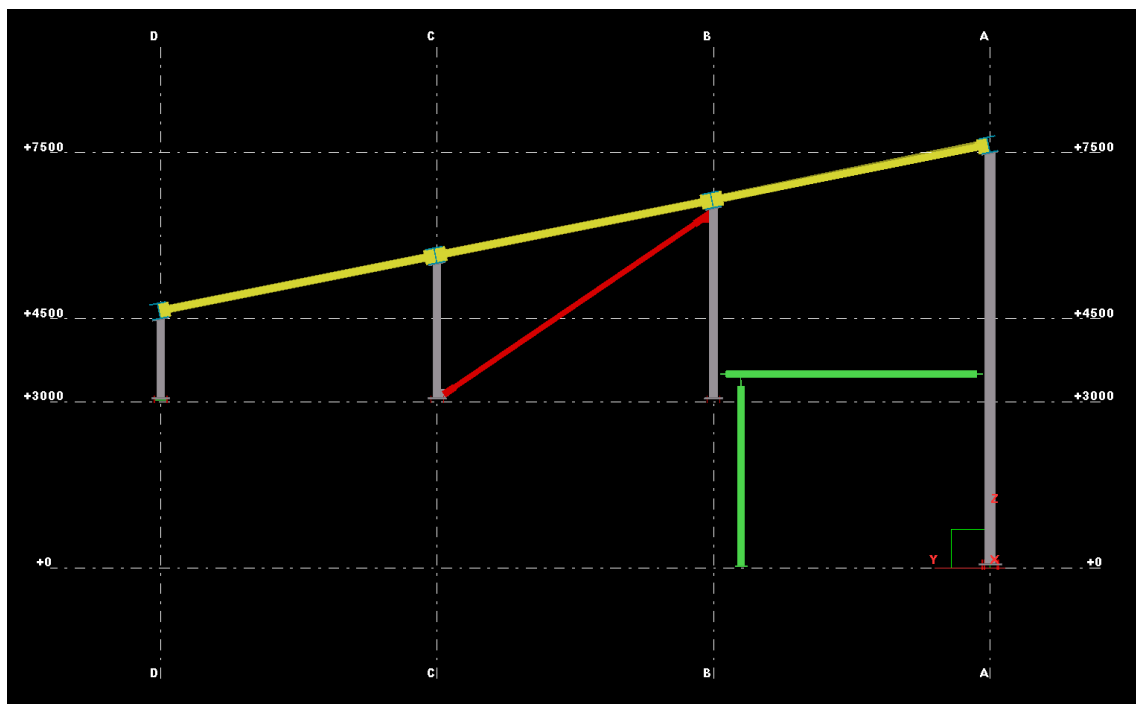


KUVA 31. Pielteräspalkin taipuma määrävässä kuormitustapauksessa



KUVA 32. Pieliteräspalkin käyttöaste käyttörajatilassa

Seinäorsien kiinnitys linjoilla 1 ja 3 huomattiin ongelmalliseksi, koska linjan B pilarit on perustettu betoniseinän päälle. Seinän ulkopinta on eri tasossa pilareiden pintaan nähden. Ongelman ratkaisemiseksi linjoille 1 ja 3 suunniteltiin pielteräsrakenteita. Linjojen 1 ja 3 pielteräsrakenteet esitetään kuvassa 33 vihreällä.



KUVA 33. Linjojen 1 ja 3 pielteräsrakenteet

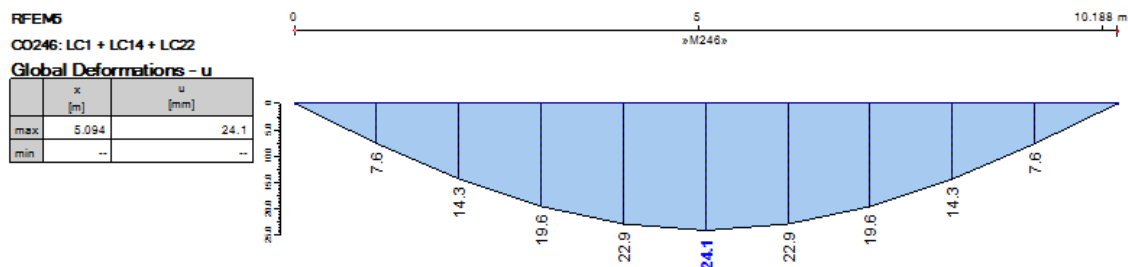
## 5.7 Siteiden suunnittelu ja mitoitus

Rakennus jäykistettiin momenttijäykkien perustusliitoksien lisäksi seiniin ja kattoon sijoitettavilla siteillä. Siteiden tehtävänä on siirtää rakenteiden vaakakuormia perustuksille ja momenttijäykille pilareille.

Kattoihin sijoitettavat siteet jäykistävät kattotason yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin rakennuksen heikomman suunnan vaakakuormat siirtyvät nurkkiin sijoitettujen mastopilareiden kautta perustuksille. Rakennuksen jäykistyksessä tehtiin varmallalla oleva oletus, että katon kantavat poimulevyt eivät osallistu rakennuksen jäykistämiseen, vaikka niillä voidaan ajatella olevan rakennusta jäykistävä vaikutus.

Mastopilareiden sijainnin ja lukumäärien vuoksi siteissä vaikuttavat voimat jäivät vähäisiksi. Vähäisen aksiaalisen voiman vuoksi siteiden profiili valittiin 80x80x5 kokoiseksi. Ongelmaksi muodostui kuitenkin siteiden taipuminen oman painon vuoksi. Tämän lisäksi kapeat siteet näyttäisivät epäsuhtaisilta verrattuna suurempiin pilareihin. Siteiden profiileja päätettiin kasvattaa seinissä kokoon 100x100x4 ja katossa kokoon 120x120x5, jolloin taipumat saatiin pysymään sallituissa rajoissa ja siteet sopimaan pilareiden kanssa ulkonäöllisesti paremmin yhteen.

Siteiden poikkileikkauksen suurentamisen myötä myös liitosten suunnitteleminen yksinkertaistuu, koska sideliitoksissa käytettävien pulttien sallitut reuna- ja keskiöetäisyydet tullaan saavuttamaan helpommin. Siteiden sijainnit ja profiilit on esitetty kuvassa 14 (sivulla 46). Kattositeiden taipuma määräävässä mitoitustapauksessa esitetään kuvassa 34 ja käyttöasteet kuvassa 35.



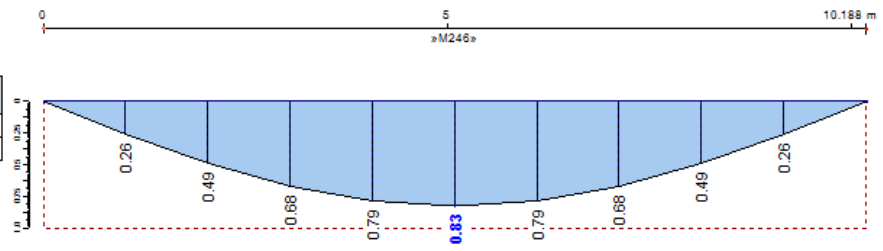
KUVA 34. Mitoittavan kattositeen taipuma määräävässä kuormitustapauksessa

RF-STEEL EC3

CA6 - Kattositeet EC3

Serviceability Limit State

	x [m]	Design Ratio [-]
max	5.094	0.83
min	--	--



KUVA 35. Mitoittavan kattositeen käyttöaste käyttörajatilassa

## 6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja mitoittaa teräsrakenteisen varastohallin kantava runko sekä kuorirakenteet. Opinnäytetyön tuloksena ovat rakennuksen valmistamiseen ja asentamiseen tarvittavat teräs- ja kuorirakenteiden valmistus- sekä työpiirustukset. Käsittelin työssäni eri rakenteiden suunnittelun vaiheita, huomioonotettavia asioita, RFEM-ohjelmasta saatuja tuloksia ja profiilivalintoja. Opinnäytetyössä ei käsitelty piirustusten tuottamista eikä liitosten mitoittamista. Nämä asiat on tehty opinnäytetyön ulkopuolella ja niistä saatuja tietoja on hyödynnetty opinnäytetyössä kuvien muodossa.

Opinnäytetyöprosessi opetti minulle paljon ja lisäsi ymmärrystäni teräsrakenteiden suunnittelussa. Työn aikana opin teräsrakenteiden korroosiosuojauksesta suojamaaliyhdistelmillä ja maaliyhdistelmän valintaa ohjaavista tekijöistä. Aloitin voimasuureiden ja teräsrakenteiden mitoituksen käsin, mutta huomasin nopeasti käsinlaskennan olevan haasteellista ja aikaa vievää monimutkaisissa rakenteissa. Tämän vuoksi päätin laskea rakenteiden voimasuureet ja mitoittaa teräsrakenteet laskentaohjelmilla. Ennen opinnäytetyön aloittamista FEM-laskentaohjelmat olivat minulle vieraita, mutta työn aikana opin käyttämään RFEM-laskentaohjelmaa ja sen lukuisia lisämoduuleita hyvin. Nykyisin FEM-laskentaa käytetään useasti suunnittelussa, joten tämä opinnäytetyö oli oivallinen mahdollisuus opetella FEM-laskennan perusteita.

Työn kannalta haasteelliseksi muodostui itse rakennuksen käyttötarkoitus. Rakennuksessa varastoitavan hiekan tuenta muodostui suunnitteluvaiheessa suureksi ongelmaksi, joka ratkaistiin tilaajan kanssa sovittuna betonirakenteilla. Rungon jäykistystavan valinta osoittautui myös haasteelliseksi avonaisen seinän vuoksi. Avonaista seinää ei pystytty jäykistämään siteillä, joten jäykistämässä päädyttiin jäykkiin perustusliitoksiin. Suunniteltu jäykistysjärjestelmä olisi voitu toteuttaa myös kevyemmin, mutta tilaajan toiveiden mukaisesti rakenteet suunniteltiin massiivisiksi.

Tilaajan toivomuksesta rakennuksen korroosiosuojaus toteutettiin suojamaaliyhdistelmillä, mutta itse ajattelen, että käyttöiän parantamiseksi olisi voitu harkita

myös rakenteiden kuumasinkitsemistä. Suunnitelmat eivät tällä hetkellä sovellu kuumasinkitsemiseen, mutta pienillä muutoksilla ja reikien lisäämisellä rakennuksen teräsosat voitaisiin muuttaa kuumasinkitsemiseen soveltuviksi.

Tämän opinnäytetyön tulokset vastaavat mielestäni tilaajan vaatimuksia.

## LÄHTEET

Bottniska viken. havet.nu. Saatavissa: <http://www.havet.nu/?d=42>. Hakupäivä 2.2.2016.

Maalipintojen teollinen maalaus. 2009. Tikkurila Oy, Industrial Coatings. Esite. Saatavissa: [http://www.tikkurila.fi/teollinen\\_maalaus/metalliteollisuus/metalliteollisuuden\\_esitteet](http://www.tikkurila.fi/teollinen_maalaus/metalliteollisuus/metalliteollisuuden_esitteet). Hakupäivä 25.4.2016.

NA SFS-EN 1990. 2007. Eurocode. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Ympäristöministeriö.

NA SFS-EN 1991-1-7+AC. 2009. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. Ympäristöministeriö.

RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. 2011. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

SFS-EN 1090-2+A1. 2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 1990. 2002. Eurocode. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 1991-1-4+AC+A1. 2011. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 1991-1-3+AC. 2004. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 1991-1-7+AC. 2007. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.



SFS-EN 1993-1-1. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN ISO 8044. 2015. Corrosion of metals and alloys. Basic terms. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN ISO 8501-1. 2007. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 1: Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsittelyasteet. Maalaamattomat teräspinnat ja aiemmista maaleista kauttaaltaan puhdistetut teräspinnat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN ISO 8504-1. 2001. Teräspintojen esikäsittely ennen maalien ja vastaavien tuotteiden levitystä. Esikäsittelymenetelmät. Osa 1: Yleiset periaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN ISO 8565. 2011. Metals and alloys. Atmospheric corrosion testing. General requirements. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN ISO 9223. 2012. Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Classification, determination and estimation. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN ISO 9226. 2012. Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN ISO 12944-2. 1998. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN ISO 12944-3. 1998. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 3: Rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN ISO 12944-8. 1998. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 8: Erittelyjen laatiminen uudisrakenteille ja huolto-maalaukseen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

Teollinen pintakäsittely. Tikkurila Oyj. Esite. Saatavissa: [www.tikkurila.fi/files/7079/Teollinen\\_pintakasittely.pdf](http://www.tikkurila.fi/files/7079/Teollinen_pintakasittely.pdf). Hakupäivä 25.4.2016.

Teräs. Perustietoa arkkitehtipiskelijoille. 2007. TKK Arkkitehtiosasto. Saatavissa: <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneteollisuus/teras-materiaalina/terasta-ja-rautaa/>. Hakupäivä 30.4.2016.

Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 –oppikirja. 2014. Helsinki. Teräsrakenneyhdistys Ry.

Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus sähköiset liitteet. 2014. Helsinki. Teräsrakenneyhdistys Ry.

Volvo wheel loaders L110G, L120G. 2011. Volvo construction equipment. Esite. Saatavissa: <http://www.volvoce.com/CONSTRUCTIONEQUIPMENT/NA/EN-US/PRODUCTS/WHEELLOADERS/WHEELLOADERS/L120G/Pages/specifications.aspx>. Hakupäivä 6.5.2016.