

Opinnäytetyö (AMK)  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys  
2015

Erkan Pisirici

# TALLITILAN PARVIRAKENTTEEN SUUNNITTELU JA VALMISTUSVAIHEET



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Tuotekehitys

Marraskuu 2015 | 68

Jan Jansson

Erkan Pisirici

# TALLITILAN PARVIRAKENTEEN SUUNNITTELU JA VALMISTUVAIHEET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli monikäyttöisen parvirakenteen suunnittelu ja rakentamisen toteuttaminen pienteollisuushalliin (35 m<sup>2</sup>).

Rakenne suunniteltiin käyttäen Solidworksin FEA -analyysiä. Analyysillä pystyttiin testaamaan erilaisia palkkiprofiileja, sekä erilaisia rakenteita ja niiden käyttäytymistä kuorman alaisena.

Suunnittelun lähtökohdat, kuten materiaalivalinnat, kuormitusperusteet, rakenneratkaisu vaihtoehdot ja yksityiskohdat on esitetty. Tulevaisuuden parven käyttöä on hahmoteltu 3D-kuvilla.

Tuloksena on esitetty suunnitellun ratkaisun lujuuslaskelmat ja tietokonepohjainen suunnittelu. Suunnitellun parvirakenteen asentaminen kuvataan vaiheittain myös havainnollistavien kuvien kanssa.

ASIASANAT:

Parvirakenne, teräsrakenteen suunnittelu, Solidworks FEA -analyysi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and production engineering | Product development

2015 | 68

Jan Jansson

Erkan Pisirici

## DESIGNING AND MANUFACTURING A PARTIAL SECOND FLOOR INSIDE A GARAGE

The purpose of this thesis is to design and build a partial second floor inside a small industrial building (35 m<sup>2</sup>).

The structure was designed using Solidworks Finite Element Analysis. Different types of beam profiles and structures were tested.

Basis of the design, such as choosing materials, load criteria's, structural design and planning details are presented. Future use of the second floor is sketched in 3D-pictures.

Strength calculations and computer based designs are presented. The designed space and structure is demonstrated with pictures.

### KEYWORDS:

Partial second floor, steel construction design, Solidworks FEA

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO</b>	<b>8</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>9</b>
<b>2 PARVIRAKENTEET JA MATERIAALIT</b>	<b>11</b>
2.1 Parvirakenteita	11
2.2 Rakennemateriaalit	12
2.2.1 Puu	12
2.2.2 Teräs	13
2.2.3 Alumiini	13
<b>3 PARVEN SUUNNITTELU</b>	<b>14</b>
3.1 Rakenteen hahmottelu	14
3.2 Rakenteen kuormitus	15
3.3 Materiaalien valinta	16
3.4 Luonnostelu	16
3.5 Palkkien, pilareiden ja kiinnikkeiden valinta	18
3.5.1 Etummainen tukipalkki	18
3.5.2 Tukipilarit	19
3.5.3 Pilarien aluslevyt	20
3.5.4 Seinäkiinnikkeet	21
3.5.5 Lattian kannatinpalkit	21
3.6 Yhteenveto valituista rakenneosista	24
3.7 Portaiden suunnittelutyö	25
3.7.1 Etenemä ja nousu	25
3.7.2 Askelrytmi	26
3.8 Tulevaisuuden suunnitelma	28
<b>4 SOLIDWORKS FEA-SIMULAATIO</b>	<b>29</b>
4.1 Staattinen tutkimus	29
4.2 FEA -analyysin tulokset	29
4.2.1 Palkkiprofiilien vertailu	30
4.2.2 Parvirakenteen FEA -analyysi	32
4.2.3 Etummaisen L-palkin liitos	35

4.3 Portaat	37
<b>5 LUJUUSLASKELMAT</b>	<b>40</b>
5.1 Etummainen L-palkki ( 200 mm * 100 mm * 10 mm)	40
5.2 Takimmainen L-palkki (120 mm * 80 mm * 10 mm)	47
5.3 Tukipilarit	49
5.4 Lattian kantavuus	50
5.5 Lattian kannatinpalkit	51
5.6 Hitsien mitoitus (a-mitta)	52
5.7 Tulosten analyysi	54
<b>6 RAKENTEEN VALMISTUSVAIHEET</b>	<b>55</b>
6.1 Esivalmistelut	55
6.2 Materiaalien tilaaminen	55
6.3 Asennuksen esivalmistelut	56
6.4 Pilarien asennus ja liittäminen	58
6.5 Seinäkiinnikkeiden asennus	60
6.6 L-palkkien asennus ja liittäminen	61
6.7 Lattian asennus ja liittäminen	62
6.8 Puinen väliseinä	63
6.9 Parven tilat	64
6.10 Budjetti	65
<b>7 YHTEENVETO JA TYÖN ARVIOINTI</b>	<b>67</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>68</b>

## LIITTEET

LIITE 1. Parvirakenteen osakuvat ja piirustukset.

## KUVAT

Kuva 1. Tallirakennus.	10
Kuva 2. Pientuotantotilan pohjapiirustus.	10

Kuva 3. Puusta valmistettu parvirakenne.	11
Kuva 4. Puusta valmistettu parvirakenne kaitteella.	11
Kuva 5. Teräsparvirakenne.	12
Kuva 6. Luonnosteltu malli 1.	17
Kuva 7. Luonnosteltu malli 2.	17
Kuva 8. Valmistettu rakenne.	17
Kuva 9. 9 askelmaisten portaiden ja parvirakenteen profiili.	27
Kuva 10. Esimerkki porraskenteen ratkaisusta ilman kaidetta.	27
Kuva 11. Parvirakenne ja portaat.	28
Kuva 12. Parven ideoitu käyttösuunnitelma.	28
Kuva 13. Trukkikuormalavapalkin (Boracs box meam) tutkimuksen asettelu.	31
Kuva 14. Siirtymä tutkimus.	31
Kuva 15. Trukkikuormalavapalkin kokema jännitys.	31
Kuva 16. Parvirakenteen kokonaissiirtymä päältä ja edestä.	32
Kuva 17. Jännitys (Von Mises).	33
Kuva 18. Strain.	33
Kuva 19. Jännitykset palkkirakenteena.	34
Kuva 20. Teräsrakenteen paikallinen siirtymä.	34
Kuva 21. Parven lommahdus.	35
Kuva 22. Etupalkin, etupilarin ja etupilarin seinäkiinnikkeen liitos edestä ja takaa.	35
Kuva 23. Etummaisen L-palkin liitoksen tutkimukset.	36
Kuva 24. Portaiden tutkimus 1.	37
Kuva 25. Portaiden tutkimus 2.	37
Kuva 26. Askelmantukipalkin ( 40 mm * 25 mm * 2,5 mm) tutkimus.	38
Kuva 27. Portaiden esimerkki-mallin turvakerroin-tutkimus.	38
Kuva 28. Portaiden koko rakenteen analysointi palkkirakenteena.	39
Kuva 29. Aluslevyjien asettelua.	56
Kuva 30. Aluslevyjien alle hitsatut peltilevyt.	57
Kuva 31. Etummaisen tukipilarin seinäkiinnikkeen valmistus.	57
Kuva 32. Takimmaisten tukipilareiden keskittäminen tasolaserin avulla.	58
Kuva 33. Liitetty pilari ja aluslevy.	58
Kuva 34. Pilareiden juottaminen juotosbetonilla.	59
Kuva 35 Etupilarin seinäkiinnikkeen liitos edestä.	60
Kuva 36. Etupilarin seinäkiinnikkeen liitos parven alta.	60
Kuva 37. Etummainen L-palkki ”heftattu” tukipilareihin.	61

Kuva 38. Lattian kannatuspalkkien ja L-palkin liitokset.	62
Kuva 39. Lattian liittäminen.	62
Kuva 40. Parven alapuolinen kattonäkymä.	63
Kuva 41. Parven etuseinän rakenne.	63
Kuva 42. Parven alapuolinen valaistus.	64

## TAULUKOT

Taulukko 1. L- ja IPE-palkkien jännitysten ja taipuman vertailu taulukko.	18
Taulukko 2. Lattian kannatinpalkkien verrannolliset taipumat ja jännitykset.	23

## KUVIOT

Kuvio 1. L- ja IPE-palkkien taipumat.	18
Kuvio 3. Lattian kannatinpalkkien taipumat.	23
Kuvio 4. Lattian kannatinpalkkien jännitykset.	23
Kuvio 5. Leikkausvoimien jakautuminen etummaiseen tukipalkkiin.	43
Kuvio 6. Etupalkin leikkausjännitys-piirros.	44

## KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

FEA	Finite Element Analysis (Wikipedia)
FEM	Finite Element Method (Wikipedia)
HEFTAUS	Kappaleiden liittäminen toisiinsa pienellä hitsauksella. Heftauksen tarkoitus on pitää hitsattavat kappaleet kiinni toisissaan todellisen hitsauksen ajan. (Hitsaus.info)
KIMMOKERROIN	Kuvaa materiaalin jäykkyyttä vetävän ja puristavan kuormituksen alaisena. Mitä suurempi on kimmokertoimen arvo, sitä vähemmän materiaali taipuu. (Wikipedia)
LOMMAHDUS	Lommahdus tarkoittaa puristetun rakenneosan paikallista nurjahdusta. (Wikipedia)
MYÖTÖRAJA	Jännityksen arvo, jolla aineeseen syntyy pysyvä muodonmuutos. (RIL 90-1996)
PALKKI	Kannattelee rakenteessa ylempiä rakenteita kuten lattiaa, välipohjaa, kattoa, ovi- tai ikkuna-aukkoa. (Wikipedia)
PILARI	Rakennuksen vapaasti seisova pystytuki, joka on poikkileikkaukseltaan yleensä nelikulmainen tai pyöreä. (Wikipedia)
PROFIILI	Materiaalin poikkileikkaus
RIL	Rakennusinsinöörien Liitto
TUTKIMUS	Study (solidworks)
VERKKO	Mesh (solidworks)



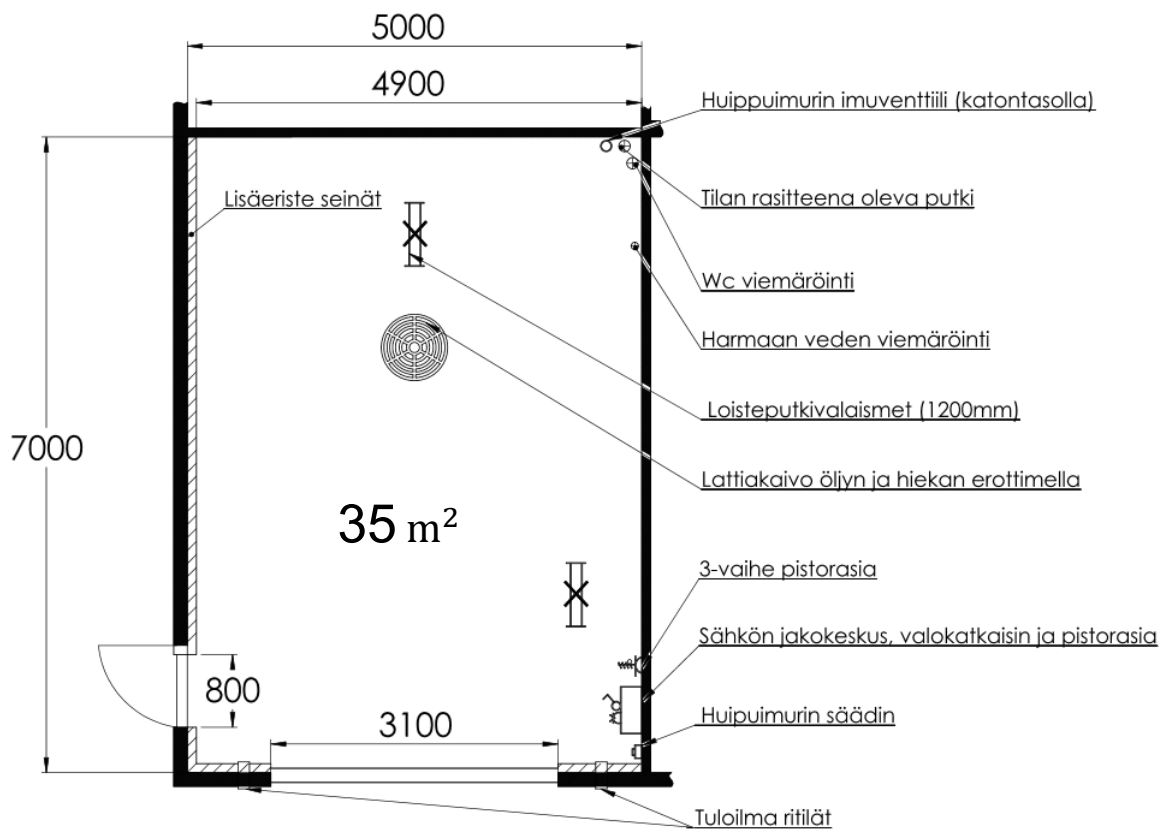
# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa pientuotantotilaan (35 m<sup>2</sup>) parvirakenneratkaisu. Pientuotantotila on uusi. Pientuotantotilaa voidaan käyttää jatkossa erilaisiin tarkoituksiin, kuten esimerkiksi maalaamokäyttöön. Parvea käytetään aluksi varastotilana ja myöhemmin vapaa-ajan tilana. Suunnittelun tavoitteisiin kuuluu parven tuoman lisätilan optimointi, sekä parvirakenteen esittäminen teknisin ja visuaalisin kuvin. Parvirakenteen suunnitteluun kuuluu esimerkiksi parven hahmottelu, parven luonnostelu, parven mitoitus, palkkien ja pilareiden valinta, sekä portaiden suunnittelu. Parven rakenne pyritään suunnittelemaan niin, ettei tilan käytettävyys kärsisi. Rakenne pyritään valmistamaan mahdollisuuksien mukaan itse. Suunnittelu ja mitoittaminen ovat isoin osa tätä opinnäytetyötä.

Suunnittelu toteutettiin käyttäen tietokoneavusteisia ohjelmia, lujuusopin laskuja, logiikkaa, sekä käytännön oppia. Tietokonepohjainen suunnittelu sekä rakenteiden esittäminen kuvina toteutettiin Solidworks 3D-ohjelmalla. Lujuuslaskelmat suoritettiin noudattaen mekaniikan laskusääntöjä, ja ne perustuivat yleisesti tiedossa oleviin lujuusopin kaavoihin ja merkkisäännöstöihin.



Kuva 1. Tallirakennus.



Kuva 2. Pientuotantotilan pohjapiirustus.

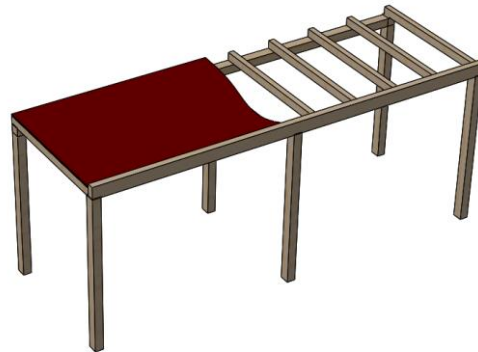
## 2 PARVIRAKENTEET JA MATERIAALIT

Yksityiskäytössä oleviin autotalleihin, teollisuushalleihin, pientuotantotiloihin, suuleihin ja muihin vastaaviin tiloihin rakennetaan usein tilaa säästäviä parviratkaisuja. Parvirakenteita käytetään muun muassa säilytys- ja harrastekäyttöön.

Rakenteen aineen vahvuudet ja muodot valitaan käyttötarkoituksen mukaan. Parvirakenteet ovat yleensä uniikkeja ja tilaan sidonnaisia. Rakenteeseen harkittuja rakennusmateriaaleja olivat puu, teräs ja alumiini.

### 2.1 Parvirakenteita

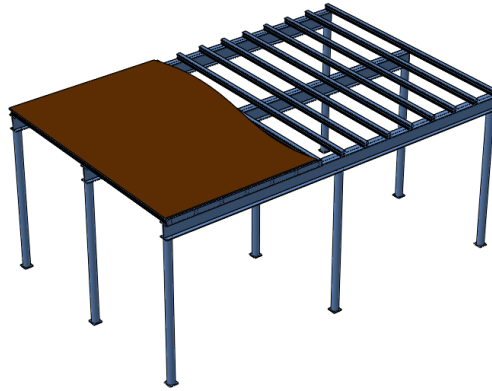
Esimerkkejä parvirakennusratkaisuista on kuvattu kuvissa 3, 4 ja 5. Kuvat ovat viitteellisiä ja niissä ei ole esitetty tarkkoja mittoja tai aineen vahvuuksia.



Kuva 3. Puusta valmistettu parvirakenne. Rakenne tuettu tukipilareihin ja seinään.



Kuva 4. Puusta valmistettu parvirakenne kaiteella. Tukipilarit tuettu pilarikenkiin, jotka valettu betoniin rakennusvaiheessa.



Kuva 5. Teräsparvirakenne. Teolliseen varastokäyttöön suunniteltu parvirakenne. Tuettu profiililtaan pyöreillä tukipilareilla, kannatinpalkkeina toimivat I-palkit. Rakenne on liitetty yhteen käyttäen pulttiliitoksia.

## 2.2 Rakennemateriaalit

### 2.2.1 Puu

Puun lujuuteen vaikuttaa oleellisesti se, missä suunnassa sitä kuormitetaan. Syiden suunnassa taivutuslujuus on verrannollinen puun tiheyteen. Puiden syiden suuntainen vetolujuus on 10–20-kertainen verrattuna sen lujuuteen kohtisuorassa. Leikkauslujuuksia heikentävät muun muassa oksat ja halkeamat. (puuinfo.fi 2015.)

Vanerit valmistetaan ohuista puuviiluista liimaamalla. Viilut ladotaan päällekkäin siten että, viilujen syysuunnat ovat kohtisuorassa toisiaan vasten. Viiluja on yleensä vähintään kolme. Vanerin suurin valmistuspaksuus on 50mm. Vanereita käytetään runkorakenteiden jäykistämiseen, sekä seinä- ja aluslattialevynä. (puuinfo.fi 2015.)

### 2.2.2 Teräs

Teräksen tärkeimpinä ominaisuuksina pidetään sen lujuutta ja sitkeyttä. Seitsemän standardisoitua (SFS-EN 10025:1993) rakenneteräslajia ovat S185, S235, S275, S355. Teräkset poikkeavat toisistaan mekaanisilta ominaisuuksiltaan. Luku kirjaimen jäljessä ilmoittaa ylemmän myötöraja-arvon. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1996, 18.)

Teräksen laatuluokat (iskusitkeysluokat) valitaan rakenteen kuormituksen ja käyttöolosuhteiden mukaan. Laatuluokkia kuvaavat teräksen iskusitkeyttä.

Teräslajin lujuuden eli iskusitkeyden kasvattaminen ei vaikuta rakenteen taipuman arvoon. Taipuman ja venymän arvoon voidaan vaikuttaa lähinnä teräslajin profiilin eli poikkileikkauksen valinnalla. (RIL 90-1996, 19,21.)

Rakenteiden laskentaperusteena pidetään teräksen myötöraja-arvoa, kun rakenteen tai kuorman painolla on suuri merkitys. Tällöin teräksen lujuutta kasvattamalla voidaan saada merkittäviä etuja. Etuna voi olla muun muassa kevyemmän rakenteen saavuttaminen. (RIL 90-1996, 21)

### 2.2.3 Alumiini

Alumiinissa yhdistyy matala paino ja suhteellisen korkea mekaaninen lujuus. Alumiini on melko joustavaa. Alumiinin kimmomoduuli on n.70 000 N/mm<sup>2</sup>, eli noin kolmasosa teräksen kimmomoduulista. Tämä tarkoittaa, että alumiiniseoksesta valmistetun kappaleen elastinen muodonmuutos on kolme kertaa suurempi kuin teräksisen kappaleen, jos molempiin kohdistetaan yhtä suuri voima. Alumiinilla on suuri kulumisen kestävyys ja hyvä korroosionkesto. Alumiinilla ei ole kuitenkaan selkeää myötörajaa. Alumiinissa myötörajaa sijasta käytetään 0,2 %:n myötörajaa, joka tarkoittaa tilaa, jossa kappaleeseen on muodostunut 0,2 %:n pysyvä venymä. Alumiinin eri laaduilla on erilaisia lujuusominaisuuksia. (Valuatlas 2015. Alumiiniseokset.)

## 3 PARVEN SUUNNITTELU

Suunnittelun pääkohtana oli parven rakenteen suunnittelu ja mitoitus.

Tila haluttiin pitää mahdollisimman avarana ja esteettömänä. Suunnittelussa vällettiin tukipilarien asettelua niin, että ne olisivat kulun tai käytön esteenä. Suunnittelussa piti ottaa huomioon mm. parven portaiden sijoitus, sähköjen läpiviennit, sekä valojen ja sähkörsioiden paikat. Parvitalan paloturvallisuutta piti pohtia tulevaisuuden käyttäjä ajatellen.

Parvirakenteen lattian korkeuden minimointi oli suurimpia suunnittelutyön haasteista, kokonaiskorkeuden ollessa 4 m. Tilan leveydestä johtuen parven etuosan jänneväliksi muodostui noin 5 m.

Suunnittelussa käytettiin apuna Solidworksin FEA -analyysiä. Sillä pystyttiin nopeaan rakenteen ja materiaalien vertailuun. Solidworksin FEA -analyysi ei korvaa lujuuslaskelmia. Se oli viitteellinen työkalu parven rakennetta suunniteltaessa ja profiilien valinnassa. Lopulliset lujuuslaskut tehtiin kaikkien rakenteenosien määrittämisen jälkeen.

Parven sijainnissa päädyttiin tallin takaseinälle rakennettavaan parviratkaisuun. Hahmottelun tuloksena valittiin pinta-alaltaan noin 17 m<sup>2</sup>:n (4900 mm \* 3453 mm) kokoinen parvirakenne, joka oli tarkoituksen mukainen tallin kaikki toiminnot huomioon ottaen.

Portaat sijoitettiin seinän vierustalle, tallin sivuoven luokse. Vaihtoehtona olivat myös parven alle rakennettavat kierreportaat, jotka nousevat parven alta.

### 3.1 Rakenteen hahmottelu

Parven sijainnissa päädyttiin tallin takaseinälle rakennettavaan parviratkaisuun. Hahmottelu tuloksena valittiin pinta-alaltaan n.17m<sup>2</sup> (4900 mm \* 3453 mm) kokoinen parvirakenne, joka oli tarkoituksen mukainen tallin kaikki toiminnot huomioon ottaen.

Portaat sijoitettiin seinän vierustalle, tallin sivuoven luokse. Vaihtoehtona olivat myös parven alle rakennettavat kierreportaat, jotka nousevat parven alta.

### 3.2 Rakenteen kuormitus

Rakenteen mitoitettava hyötykuorma valittiin tulevan käyttötarkoituksen mukaan. Parven käyttötarkoitus on toimia vapaa-ajan tilana. Rakenteeseen kohdistuvien voimien arvioimisen sijaan mitoitettiin parvi asuin tilaksi. Parvirakenne tulee näin ylimitoitetuksi.

Suomen Rakennusinsinööriliitto Liiton julkaisemassa RIL 201-1-2008, s.67 on taulukoitu rakennuksen tilojen luokkia ja niihin liittyviä kuormia. Mitoitusperusteena asuinrakennusten välipohjissa ja portaissa käytetään 2 kN/m<sup>2</sup> hyötykuormaa, jota sovellettiin parven mitoituspäätöksenä. Mitoitusperustaksi valittu 2 kN/m<sup>2</sup> voima on vähintään riittävä.

Varasto- ja tuotantotiloissa käytetään hyötykuormana 7,5 kN/m<sup>2</sup> joka olisi ollut liioiteltu huomioiden parven käyttötarkoitus.

Parven suurimmaksi hyötykuormaksi valittiin 34kN ( $2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 17 \text{ m}^2$ ), joka vastaa noin 3466 kg.

Vaakakuormana taulukon mukaan asuin- ja majoitustilassa käytetään 0,5 kN/m<sup>2</sup> kuormaa. Vaakakuormat on tässä työssä jätetty mitoittamatta. Tallin puisten väliseinäpilareiden on oletettu tukevan rakennetta riittävästi vaakasuuntaisissa kuormissa. (RIL 201-1-2008, 67.)

Parven mitoituspäätöksenä käytettiin rakenteen taipuman arvoa, joka talonrakennuksen välipohjien palkeissa on:

$$\frac{f}{l} \leq \frac{1}{400} \quad f = \text{taipuma}, l = \text{jännemitta.} \quad (\text{RIL 90-1996, 38})$$

Maksimitaipuma parven tapauksessa on 12,5 mm ( $= \frac{1}{400} * 5000 \text{ mm}$ ). Parven suunnittelussa pyrittiin löytämään rakenne, jonka suurin taipuma olisi enimmillään 10 mm.

### 3.3 Materiaalien valinta

Rakenteen materiaali valittiin puun, teräksen ja alumiinin välillä. Teräs on kovaa ja painavaa. Puu on kevyttä ja helppo työstää. Alumiini on kevyttä ja sillä on hyvä korroosion kesto.

Etummaisena, suuren jännevälillä omaavan tukipalkin korkeuden piti olla sellainen, että parven etureunaan suunnitellusta oviaukosta ei tulisi liian lyhyttä ja vaikeakulkuista. Lattian rakenne pyrittiin pitämään ohuena, jotta seisomakorkeutta jäisi mahdollisimman paljon.

Rakenteen materiaalin valintaan vaikuttivat myös tilan tulevat käyttötarkoitukset. Materiaalin piti sietää vettä. Tilassa on tarkoitus käyttää vettä esimerkiksi autojen pesuun ja tilan rakenteiden pesuun. Hallitoiminnot edellyttävät myös hyvää paloturvallisuutta.

Rakenteen materiaaliksi valittiin teräs, koska se soveltui rakenteiden korkeuden minimointiin parhaiten. Pintakäsittelynä teräs sietää hyvin vettä. Teräksen hyvä palonkesto oli myös yksi valintakriteeri. Teräslajiksi valittiin S355.

Lattian pintamateriaaliksi valittiin vaneri, jonka päälle asennetaan laminaatti, joka sietää hyvin likaa ja kulutusta.

Portaat valmistetaan myöhemmin alumiinista sen hyvän korroosiokeston ja keveyden takia.

### 3.4 Luonnostelu

Solidworksillä pystyttiin luonnostelemaan parviratkaisuja ja testaamaan jännevälillä ja ainevahvuuksien vaikutusta parven staattisiin jännitystiloihin ilman lujuuslaskujen suorittamista. Lisää aiheesta Solidworks FEA Simulaatio-osuudessa luvussa neljä.

Kolme luonnosteltua teräsrakenne mallia on esitetty kuvissa 6, 7 ja 8.





Kuva 6. Luonnosteltu malli 1. Etummainen tukipalkki L-profiililla. Keskimmäinen tukipalkki I-profiililla. Takana L-profiili joka tuettu seinään. Lattian kannatuspalkkina T-profiili joiden väleissä kertopuut.



Kuva 7. Luonnosteltu malli 2. Vinotuki etummaiselle tukipalkille olisi mahdollistunut tukipalkin matalamman profiilin valitsemisen, koska sen jänneväli olisi puolittunut. Tämä olisi kuitenkin kohdistanut suuren voiman vinotuen liitokseen.



Kuva 8. Valmistettu rakenne. Rakennetta on selostettu tekstin kohdassa 3.6.

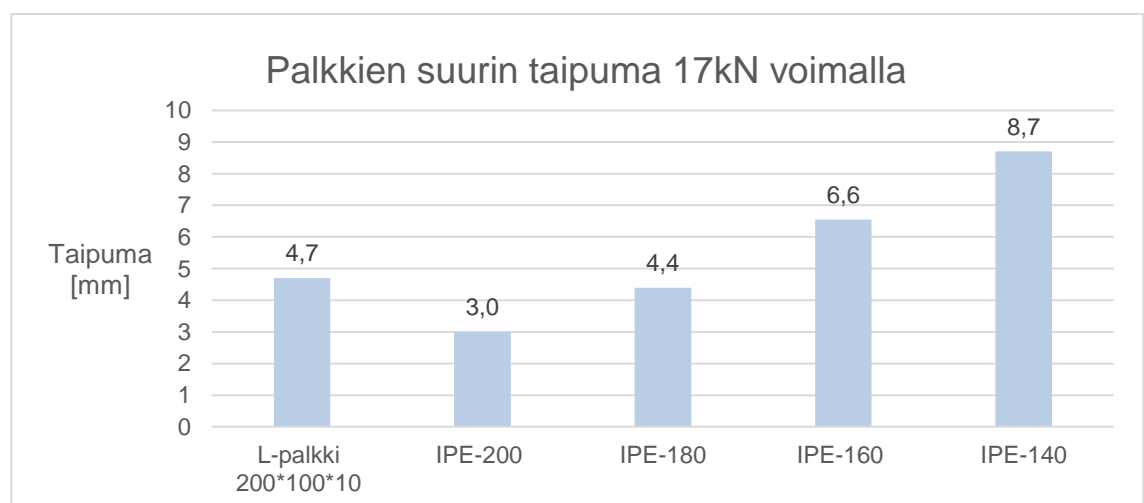
### 3.5 Palkkien, pilareiden ja kiinnikkeiden valinta

#### 3.5.1 Etummainen tukipalkki

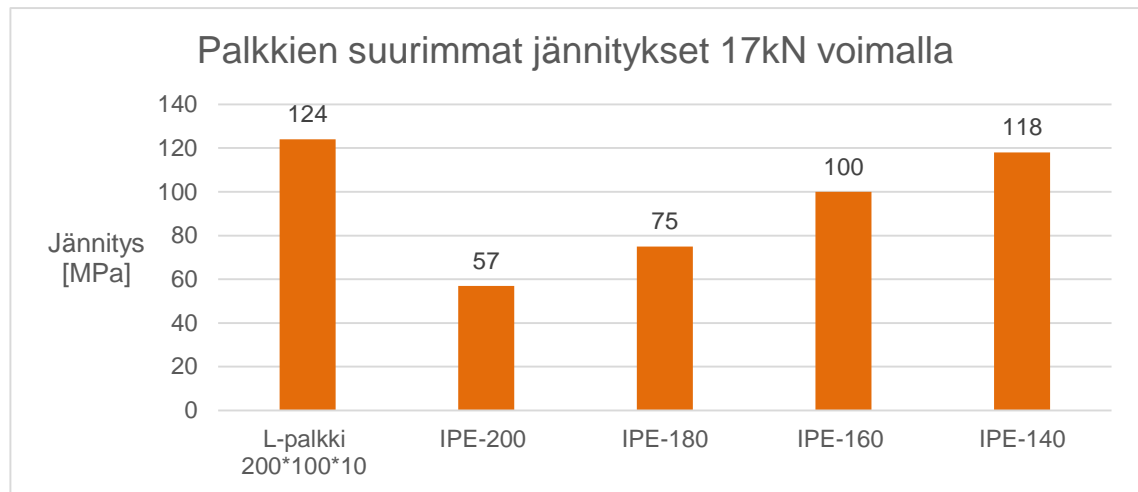
Etummaisen tukipalkin valinta tehtiin L-palkin ja I-palkin välillä. Tukipalkkeja testattiin Solidworksin staattisella tutkimuksilla. Tutkimuksissa palkkeja rasitettiin pistevoimalla jännevälin keskikohdasta. Kaikkiin palkkeihin asetettiin yhtä suuri voima. Tulosten perusteella valittiin oikean kokoinen ja muotoinen etummainen tukipalkki. Tutkimusten tuloksia on esitetty taulukoissa 1 ja 2, sekä kuvioissa 1 ja 2.

Taulukko 1. L- ja IPE-palkkien jännitysten ja taipuman vertailu taulukko.

	L-palkki 200*100*10	IPE-200	IPE-180	IPE-160	IPE-140
Kuormitus [kN]	17	17	17	17	17
Taipuma [mm]	4,7	3,0	4,4	6,6	8,7
Jännitys [MPa]	124	57	75	100	118



Kuvio 1. L- ja IPE-palkkien taipumat. Jänneväli 5m, 17 kN pistevoima jännevälin puolella välissä.



Kuvio 2. L- ja IPE-palkkien jännitykset. Jänneväli 5m, 17 kN pistevoima jännevälän puolessa välissä.

Tuloksista käy ilmi, että IPE-palkilla tai muulla I-palkilla olisi voitu valita L-palkkia kevyempi ja matalampi profiili.

IPE-palkkien nurjahduksen kesto on myös huomattavasti L-palkkia parempi. Tässä tapauksessa L-profiilin päälle asennettavat lattiapalkit kuitenkin tukevoittavat ja estävät L-palkin nurjahdusta.

Etummaisen tukipalkin profiiliksi valittiin L-profiili, joka mahdollisti lattian kannatinpalkkien latomisen ja asentamisen suoraan L-profiilin päälle.

L-palkki valittiin koska sen päälle oli I-palkkia helpommin toteutettavissa parven puurunkoinen väliseinärakenne. Myös väliseinän leveys pystyttiin L-palkilla pitämään muutaman sentin pienempänä.

### 3.5.2 Tukipilarit

Etupään tukipilareiksi valittiin kaksi profiililtaan (120 mm \* 120 mm \* 4 mm) pilaria. Muita mietittyjä profiileja olivat muun muassa (100 mm \* 100 mm \* 5mm) ja (120 mm \* 120 mm \* 5 mm) pilarit. Lopullinen pystypilarien valintaan vaikuttava asia oli pilareiden paino. Palkkeja olisi pystyttävä yhden henkilön toimesta liikutta-

maan. Etupilarit päätettiin myös täyttää betonilla nurjahduksen estämiseksi. Takapilareiksi valittiin kolme (80 mm \* 80 mm \* 4 mm) putkipalkkia. Niiden profiilien eli poikkileikkausten yhteinen pinta-ala on suurin piirtein yhtä suuri kuin etupilarien yhteensä. Takaseinän pilarien nurjahtaminen on epätodennäköisempää kuin edessä olevien, koska takimmainen L-palkki jota ne tukevat on kiinnitetty myös seinän tukipuupilareihin. Takapilarit jätettiin täyttämättä betonilla, sillä se olisi aiheuttanut turhaa rakenteen painonnousua.

### 3.5.3 Pilarien aluslevyt

Pilarien aluslevyiksi valittiin 10 mm lattateräs, jonka oletettiin jakavan pilarien voimat tasaisesti lattiaan. Lattian kantavuudesta saatiin selville, että se oli suunniteltu 15 tn akselikuormille.

Akselikuorman muodostuu kahdesta suorakaiteen muotoisesta kosketuspinnasta, joiden yhteenlaskettu suuruus on (0,2 m \* 0,6 m). Kosketuspinnat sijaitsevat 2 m päässä toisistaan. (Tiehallinto 1999.)

Lattian kantavuudeksi arvioitiin:

$$\frac{200\text{mm} \cdot 600\text{mm}}{15\,000\text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

Etupilarien aluslevyjen pinta-ala on  $(245\text{ mm} * 370\text{ mm}) = 90\,650\text{ mm}^2$ .

Takapilareiden aluslevyjen koot vaihtelivat hieman. Pienimmän pinta-ala on noin  $32\,500\text{ mm}^2$ . Pienimmän aluslevyn koko ja muoto määrittyivät tilan oikeassa takanurkassa sijainneen viemäriverauksen mukaan.

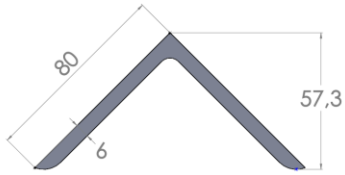
### 3.5.4 Seinäkiinnikkeet

Seinäkiinnikkeet suunniteltiin helposti liitettäväksi rakenteeseen ja seinään. Seinäkiinnikkeet tuotettiin erikokoisista L-profiilipalkeista, jonka jälkeen niihin porattiin kiinnityspultteja varten tarvittavat reiät. Kiinnikkeet liitettiin hitsaamalla takimaiseen L-palkkiin, sekä laitimmaisten lattian kannatinpalkkien alle. Kiinnikkeet liitettiin pientuotantotilan seinän puoleisiin tukipilareihin täkkipulteilla. Ilman seinäkiinnikkeitä teräksisiin pilareihin olisi tarvinnut lisätä poikittaistuet vaakakuormia varten.

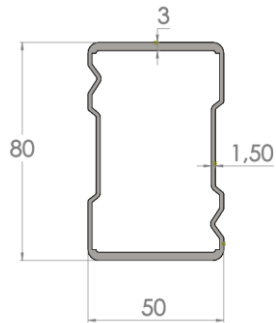
Etupilarit kiinnitettiin seiniin lattateräksestä valmistetuista kiinnikkeillä. Etupilarien kiinnikkeet valmistettiin 10 mm lattateräksestä ja niiden muoto määräytyi väliseinien puisten seinäpalkkien mukaan. Molemmat etupilarit kiinnitettiin kahteen väliseinäpilariin. Etupilarien kiinnikkeet varmistettiin seiniin täkkipulttien avulla. Pulttien lujuuksien, kiinnikkeiden kestävyys ja taivutusvastuksien oletettiin olevan riittävän vahvoja kyseiseen tarkoitukseen.

### 3.5.5 Lattian kannatinpalkit

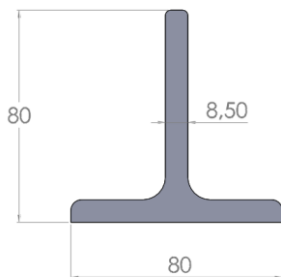
Lattian kannatin palkkiprofiilien muotoa ja kokoa mietittiin useasta vaihtoehdosta. Vaihtoehtoja olivat mm. putkipalkki, kulmateräs(tasasivuinen L-palkki), lattateräs, T-profiili sekä kuormalavahyllyissä käytetty ohutseinämäinen vaakapalkki. Palkkiprofiilien kesken tehtiin vertailutaulukko, jossa palkkeja rasiutettiin profiilien painoon suhteutettuna. Putkipalkkia (80 mm \* 80 mm \* 3 mm) rasiutettiin 2 kN voimalla. Muita profiileja rasiutettiin niiden painoon suhteutettuna, koska niiden lukumäärällä ei ollut suurta merkitystä. Solidworksin FEA -analyysi-osuudessa luvussa neljä on esitetty palkkien testausta.

Testatut profiilit:

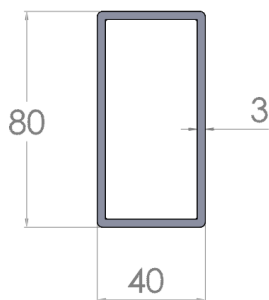
Kulmateräs (Tasakylkinen L-profiili)



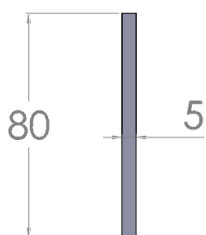
Kuormalavahyllyn vaakapalkki-profiili (Boracs box beam). Todellinen profiili on tehty liittämällä kaksi U-profiilia yhteen. Esitetty profiili on aproksimaatio todellisesta profiilista.



T-profiili



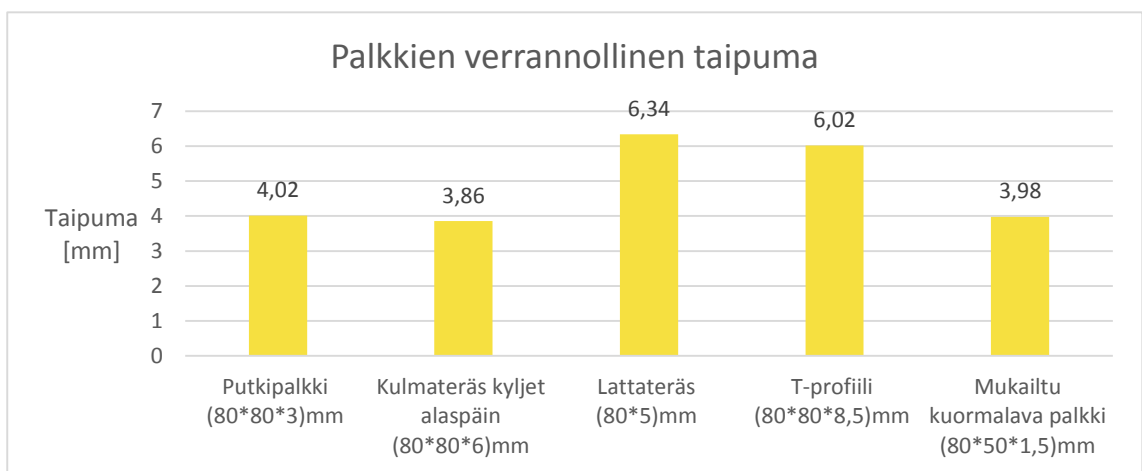
Putkipalkki



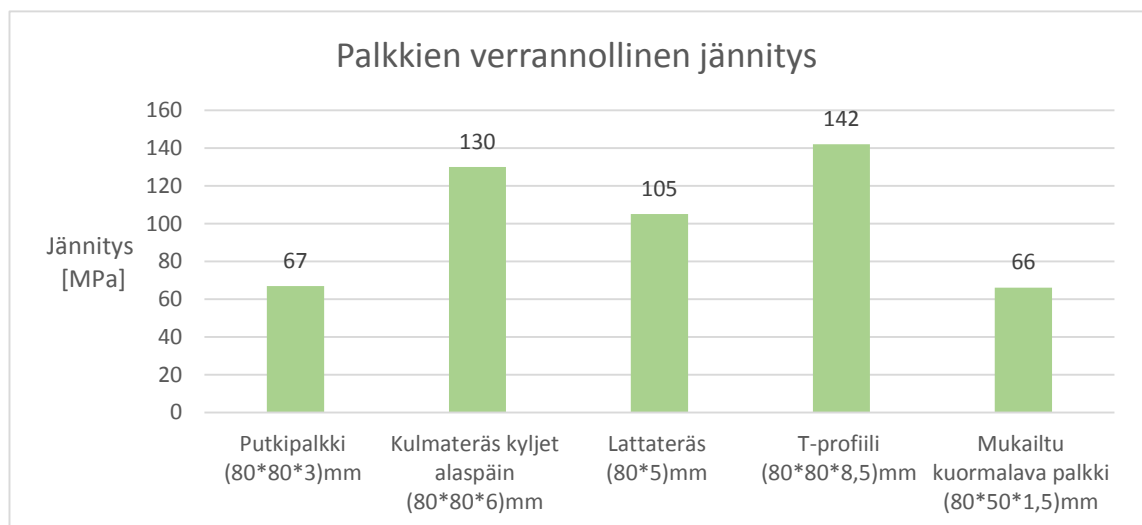
Lattateräs

Taulukko 2. Lattian kannatinpalkkien verrannolliset taipumat ja jännitykset.

	Putkipalkki (80*80*3)mm	Kulmateräs kyljet alaspäin (80*80*6)mm	Lattateräs (80*5)mm	T-profiili (80*80*8,5)mm	Mukaiitu kuormalavapalkki (80*50*1,5)mm
Paino kg/m	5,19	7,34	3,14	10,77	3,1
Kuormitus [N]	2000	2829	1210	4150	1195
Jännitys [Mpa]	66,6	130	105	142	130
Siirtymä [mm]	4,02	3,86	6,34	6,02	3,98
Jännitys [Mpa]	67	130	105	142	66



Kuvio 3. Lattian kannatinpalkkien taipumat. Jänneväli 5m, 17 kN voima jänneväli puolella välissä



Kuvio 4. Lattian kannatinpalkkien jännitykset. Jänneväli 5m, 17 kN voima jännevälillä puolella välissä.

Lattiankannatinpalkkiprofiilien vertailussa selkeästi paras oli kulmateräs kyljet alaspäin. Se kantaa putkipalkkia enemmän kuormaa, pienemmällä taipumalla, profiilin korkeuden ollessa pienempi kuin putkipalkin.

Mukailtu kuormalavaprofiili-palkki oli testauksen toiseksi paras profiili. Se pystyi kantamaan enemmän kuormaa painonsa nähden, sekä taipuu vähemmän kuin putkipalkki.

Lopullinen lattiakannatin palkki-profiilin valinta perustui profiilin muotoon ja sen liittämiseen.

Profiilin muodosta ja asennosta johtuen kulmateräs olisi kerännyt pölyä ja likaa. Kulmateräs olisi pitänyt levyttää myös parven alta, jotta likaa ja pölyä ei olisi pääsyt kertymään profiilin päälle.

Lattian liittäminen kulmateräkseen olisi ollut hankalampaa kuin putkipalkkeihin. Toisaalta valitsemalla putkipalkki seisomakorkeudessa hävitään noin 2 cm.

Kuormalavahyllyn vaakapalkki-profiili olisi ollut paras vaihtoehto tähän rakenneratkaisuun. Niiden käyttäminen olisi kuitenkin nostanut rakenteen materiaalikustannuksia suorakaideputkipalkkiin verrattuna.

Lattian kannatin-palkiksi valittiin (80 mm \* 40 mm \* 3mm) suorakaideputkipalkki, kustannussyistä. Valinta ei ollut optimaalinen.

### 3.6 Yhteenveto valituista rakenneosista

Etummaisten tukipilarien koko oli (120 mm \* 120 mm \* 4 mm). Takimmaisten tukipilarien koko oli (80 mm \* 80mm \* 4 mm). Takimmaiseksi vaakatukipalkiksi valittiin L-profiili (120 mm \* 80 mm \* 10 mm) ja etummaiseksi vaakatukipalkiksi L-profiili (200 mm \* 100 mm \* 10 mm). Lattian kannatinpalkeiksi hankittiin teräspalkit (80 mm \* 40 mm \* 4 mm) yhteensä 13 kpl. Parven lattialevynä toimii 1,5 cm:n paksuiset, jaon mukaan leikatut vanerilevyt. Vanerilevyn päälle asennetaan lattialaminaatti.

Yläkertaan jäi noin 193 cm:n seisomakorkeus. Alakerran pienimmäksi korkeudeksi jäi 196 cm, ylimmäksi korkeudeksi 204 cm, johtuen rakenteen muodosta.



Rakenne upotettiin sinkityllä pellillä päällystettyjen lisäeristysseinien sisään noin 10 cm. Parven etuseinän runko valmistettiin kertopuusta. Parven etuseinä ja pientuotantotilan seinät päällystettiin ruostumattomalla pellillä. Lopullisiin portaisiin tulee myös kaide. Ikkuna on turvalasia.

### 3.7 Portaiden suunnittelutyö

Portaiden tulee olla turvalliset ja hyvät kulkea. Portaille varataan riittävästi tilaa jo kohteen suunnitteluvaiheessa. Portaan leveyden tulee olla riittävä turvatakseen käyttäjän väljän liikkumisen. Porras tulee tarvittaessa varustaa kaiteella. Käsijohteen on oltava vähintään portaan toisella puolella. Kaiteen tarve ja korkeus määräytyvät putoamiskorkeuden mukaan. (puuinfo.fi 2015.)

Portaat suunniteltiin, mutta ei valmistettu opinnäytetyön luovuttamiseen mennessä. Tulevat portaat tullaan valmistamaan korkeammasta profiilista kuin on esimerkkiratkaisussa esitetty. Portaista tehtiin esimerkkiratkaisu.

#### 3.7.1 Etenemä ja nousu

Etenemä arvo tarkoittaa yhden askelman pituutta, nousu-arvo tarkoittaa askelkorkeutta.

Omakotitalon portaassa etenemän tulee olla vähintään 250mm ja askelmien välisen nousun korkeintaan 190mm. Mikäli nousu-arvoon voi vaikuttaa, tulisi tavoitella tasoa 170-180mm.

Jos etenemä-arvo on liian pieni, tuntuu kulku portaissa ”kipittämiseltä” Jos etenemä-arvo on liian suuri, on kulku ”harppovaa”. Hyvä etenemä-arvo asunnon portaissa on 270-280mm. (portaat.info 2015.)

### 3.7.2 Askelrytmi

Askelrytmin arvo kuvaa portaan nousu- ja etenemäarvon suhdetta toisiinsa.

Asuinhuoneiston normaalissa sisäisessä portaassa hyvä ja tavoiteltava askelrytmin arvo on 630mm. Jos puhutaan ulkoportaista, saa luku olla suurempi (ei kuitenkaan yli 660mm). (portaata.info 2015.)

Ylin askelma suunniteltiin muita portaita pinta-alaltaan suuremmaksi tasoksi ja sijoitettiin parven lattian korkeuteen, jotta parveen kulku olisi mahdollisimman turvallista.

Portaiden nousuna käytettiin 207 cm.

Etenemä sivuovelta parven reunalle on (2,3 m). Portaiden yläpäähän jäi n. 10cm kynnys, johtuen etummaisesta L-palkin profiilin korkeudesta.

Interpoloimalla askelrytmin kaava, saatiin muodostettua porrasmäärä. Erilaisia etenemän ja nousu-arvon kombinaatioita on rajallinen määrä, kun portaiden kapalemäärä on tasaluku.

Askelrytmiarvo lasketaan kaavalla:  $2n + e$  ( $n$ =nousuarvo,  $e$ =etenemä)  
(portaata.info 2015.)

Valitun porrasmäärän askelrytmikaava:

Askelmäärä 9 kpl

$$\text{Nousu-arvo } n = \frac{207 \text{ cm}}{9 \text{ kpl}} = 23 \text{ cm}$$

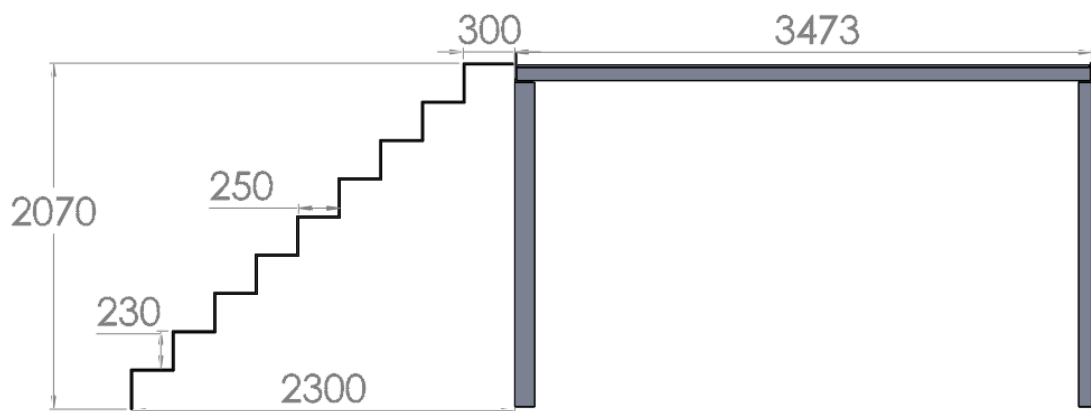
$$\text{Etenemä-arvo } e = \frac{200 \text{ cm}}{8 \text{ kpl}} = 25 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \text{Askelrytmi} = 2n + e = 71 \text{ cm}$$

Portaat jouduttiin suunnittelemaan hieman jyrkäksi, koska niille ei jäänyt riittävästi tilaa etenemän osalta. Pohdinnan jälkeen päädyttiin laskelmia apuna käyttäen 9 askelmaiseen porrasmäärään, jonka yhden askelman nousu-arvo on 23 cm ja etenemä-arvo 25 cm. Sen askelrytmi 71 mm ei ole lähellä tavoiteltavaa askelrytmiä (63 cm)(portaata.info), mutta parempi kuin 8 askelmaisen vaihtoehdon,

jonka askelrytmi oli 80,3 cm. 10 askelmaisen askelrytmi 63,6 cm, olisi ollut askelrytmiltään sopiva, mutta sen etenemä(20cm) olisi ollut aivan liian pieni.

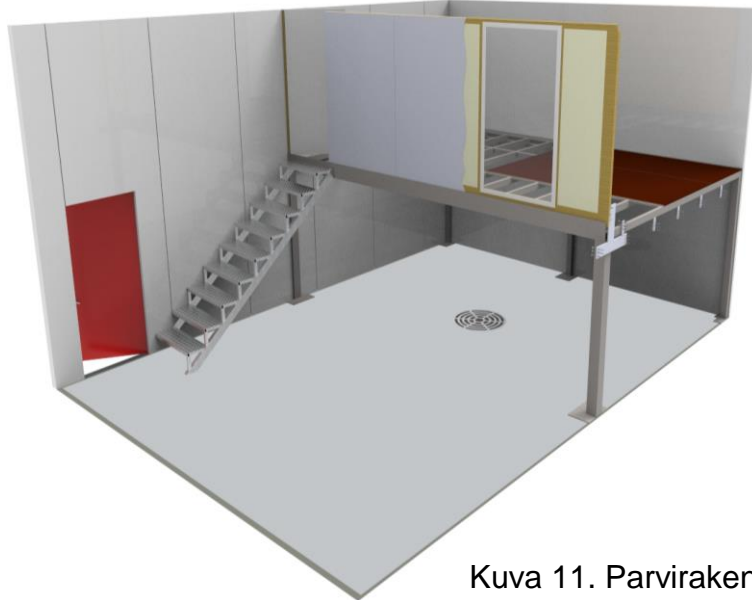
Määräysten mukaan asunhuoneiston portaan etenemä ei saisi alittaa 25 cm, eikä nousu ylittää askelmaa kohden 19 cm (Rakentaja 2015). Näitä arvoja ei pystytty saavuttamaan annetuissa mitoissa ja vaihtoehtoista piti valita toimivin mahdollinen. Portaot suunniteltiin niin, että niille mahtuisi koon 44 kenkä (28cm) mahdollisimman hyvin. Liian pienellä etenemällä kenkä ei mahdu kunnolla askelmalle ja kulusta saattaa tulla jopa vaarallista.



Kuva 9. 9 askelmaisten portaiden ja parvirakenteen profiili.



Kuva 10. Esimerkki porrarakenteen ratkaisusta ilman kaidetta.



Kuva 11. Parvirakenne ja portaat.

### 3.8 Tulevaisuuden suunnitelma

Wc ja komero, jossa vesimittarit ja ilmanvaihtoputket sijaitsevat parven oikeassa takanurkassa. Parvenovi aukeaa sisäänpäin turvallisuus syistä. Ikkuna toimii varatienä mahdollisessa palotilanteissa. Ikkuna on yksikerroksinen turvalasi. Kuvassa 12 on hahmoteltu parven tulevaa käyttöä.



Kuva 12. Parven ideoitu käyttösunnitelma.

## 4 SOLIDWORKS FEA-SIMULAATIO

Solidworks FEA(Finite Element Analysis)-simulaatio on osa Solidworks 3D-mallinnusohjelmistoa. FEA -simulaatio mahdollistaa rakenteellisten simulaatioiden toteuttamisen rakenteille, osille ja kokoonpanoille FEA -elementtimenetelmällä. Rakenteellista simulaatiota käytetään ensisijaisesti määrittämään rakenteen lujuutta ja jäykkyyttä raportoimalla rakenteen stressistä ja muodonmuutoksista. FEA on FEM:in (Finite element method) käytännön sovellus. (Solidworks 2015.)

FEM on numeerinen tekniikka osittaisdifferentiaaliyhtälöiden likimääräratkaisujen löytämiseen raja-arvo-ongelmissa. Siinä käytetään matemaattista menetelmää suurten ongelmien jakamiseksi yksinkertaisempiin paloihin=ääreellisiin elementteihin(finite elements). (Wikipedia 2015.)

### 4.1 Staattinen tutkimus

Tutkimuksessa mallinnetulle rakenteelle asetetaan vaikuttavat voimat Newtonineina, sekä pinta ja suunta jonne ne vaikuttavat. Rakenteelle valitaan kiinnityspisteet sekä määritetään rakenteen eri osille materiaalit (kuva 13).

Rakennetta voi tutkia sellaisenaan (=solid) tai palkkirakenteena (=treat as beam), jolloin ohjelma yksinkertaistaa mallinnetun rakenteen.

### 4.2 FEA -analyysin tulokset

FEA -analyysin tuloksena ohjelma antaa 3D-malleja, joissa on värein osoitettu rakenteeseen kohdistuvat rasitukset paikallisesti, sekä värikartta, joilla tuloksia tulkitaan. Kullakin tutkimuksella on oma 3D-malli ja värikartta. Värikartan skaala on punaisesta siniseen, punaisen ollessa suurin arvo. Värikartassa on merkattu väriä vastaava arvo, esimerkiksi rakenteen paikallinen siirtymä (mm) siirtymä tutkimuksessa (kuva 14).

Tuloksista on mahdollista saada selville rakenteeseen vaikuttavien jännityksien jakaantuminen (kuva 17), niiden suuruus, rasituksen määrä sekä paikallisen siirtymän eli taipuman tai venymän arvon (kuva 14).

Tuloksien avulla rakenteesta voi löytää voimien vaikutuskohdat ja mahdolliset heikot tai alimitoitettut kohdat, joita voi hyödyntää rakenteen suunnittelussa.

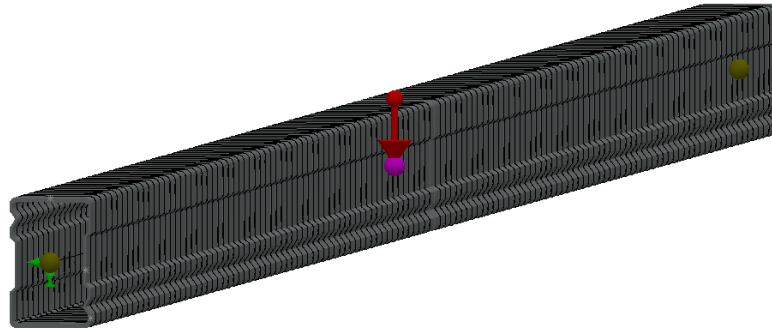
Tuloksiin suhtauduttiin varauksella ja rakenteiden kestävyys tarkastettiin lujuuslaskelmilla. Solidworksin tutkimuksissa jännitykset ovat joskus epätodellisia. Huonot tulokset liittyvät elementtien huonoihin muotoihin. Jännityksistä on vaikea laskea voimaresultantteja, jotka ovat ne aiheuttaneet.

#### 4.2.1 Palkkiprofiilien vertailu

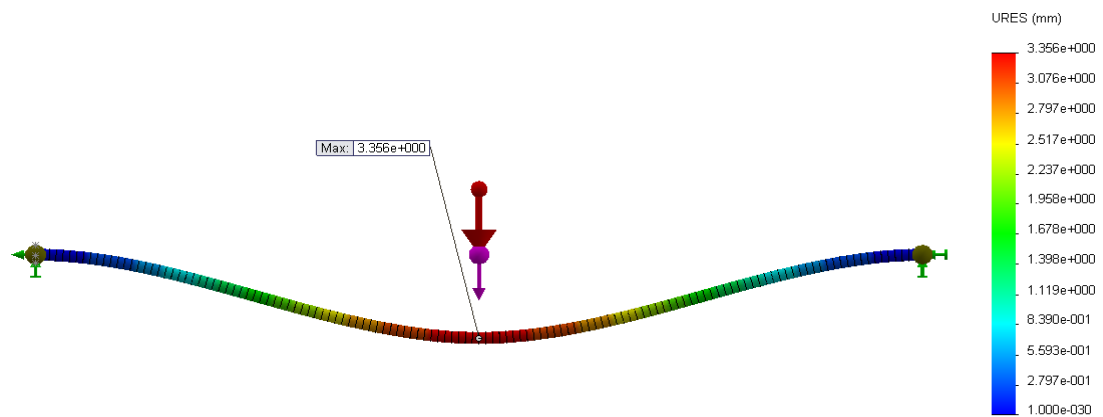
Erityyppisiä lattian kannatuspalkkiprofiileja tutkittiin 3,5 m jännevälillä. Palkkeja verrattiin toisiinsa profiilien painoon suhteutettuna. Putkipalkin (80 mm \* 80 mm \* 3 mm) jännemitan puoleenväliin kohdistettiin 2 kN alaspäin suuntautuva voima. Muille palkkiprofiileille asetetut voimat suhteutettiin putkipalkin painoon ja siihen asetettuun voimaan. Esimerkiksi kuormalavapalkkia rasiitettiin 2829N voimalla (kuva 13).

$$\frac{\text{kuormalavapalkin paino } \left(\frac{kg}{m}\right)}{\text{Putkipalkin paino } \left(\frac{kg}{m}\right)} * 2 \text{ kN} = \text{Rasitusvoima}$$

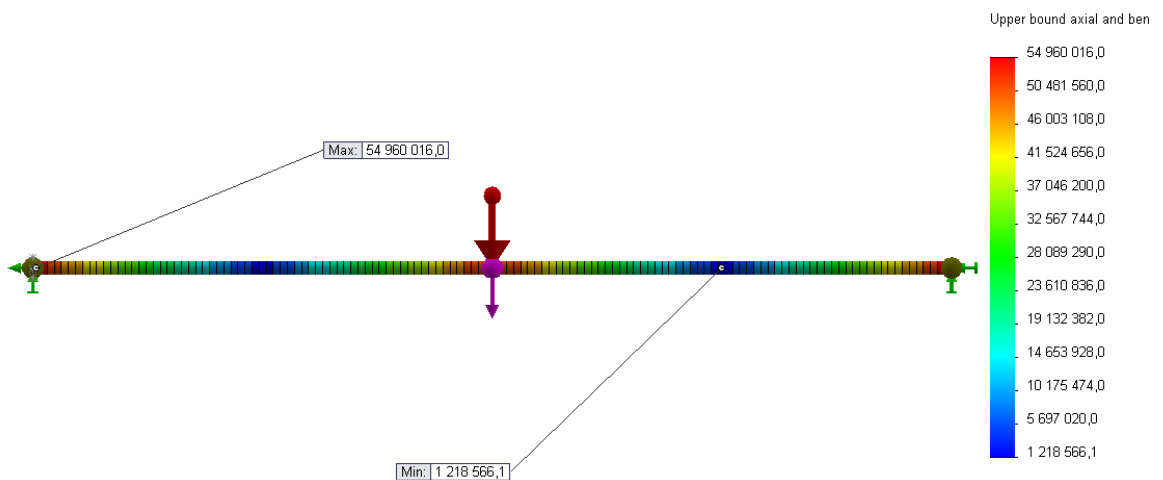
$$\rightarrow \frac{4,128 \left(\frac{kg}{m}\right)}{5,19 \left(\frac{kg}{m}\right)} * 2 \text{ kN} = 1591\text{N}$$



Kuva 13. Trukkikuormalavapalkin (Boracs box meam) tutkimuksen asettelu. Palkki kiinnitetty päistään (vihreät "nastat"). Palkin jännevälin keskikohtaan asetettu 1591 N voima (lila iso pallo), sekä asetettu maan vetovoiman suunta (punainen nuolikuviio).



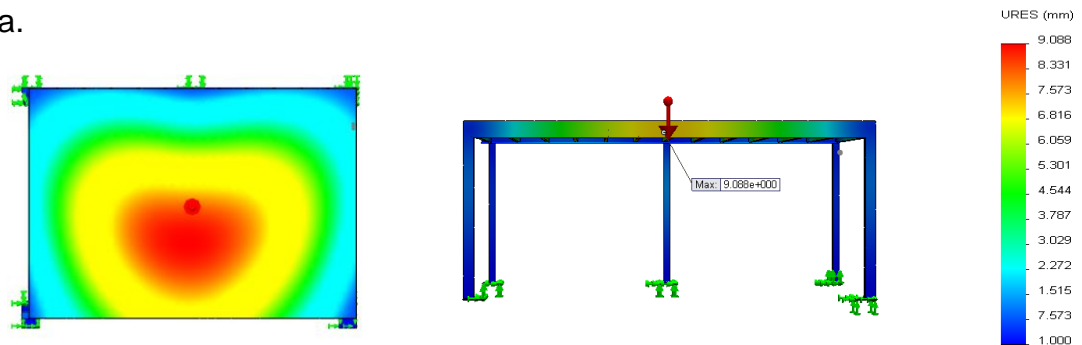
Kuva 14. Siirtymä tutkimus. Tuloksena saatu kuvan mukainen värikartta josta selviää paikallinen siirtymä millimetreissä värikartan avulla. Kuvan taipuma on 100-kertaiseksi liioiteltu.



Kuva 15. Trukkikuormalavapalkin kokema jännitys. Tuloksena saatu kuvan mukainen värikartta josta selviää palkin kokemat jännityksen arvot palkin eri kohdissa. Rasitettu 1591N voimalla

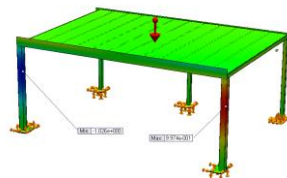
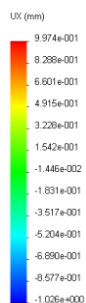
#### 4.2.2 Parvirakenteen FEA -analyysi

Parven rakenteen analysointiin luotiin useita yksinkertaistettuja 3D-malleja, ilman hitsisaumoja ja pyöristyksiä. Parven FEA -analyysissä käytettiin rakennemateriaalina terästä, sekä rakenteen päällä vanerilevy-materiaalia. Analyysiin käytettiin 34 kN voimaa vasten parven lattiaa. Kuvissa 16-21 on esitetty saatuja tuloksia.



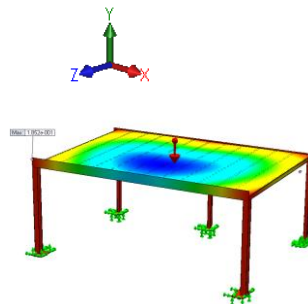
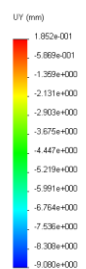
Kuva 16. Parvirakenteen kokonaissiirtymä päältä ja edestä. Tulos millimetreissä. Suurin siirtymä noin 9 mm 34 kN voimalla parven lattiaa vasten.

Parven tasosuuntaiset siirtymät:



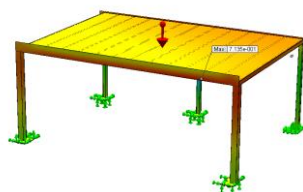
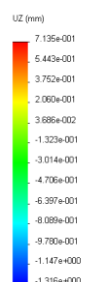
Vaakasuuntainen siirtymä (X-taso).

Suurin arvo 1 mm



Pystysuuntainen siirtymä (Y-taso).

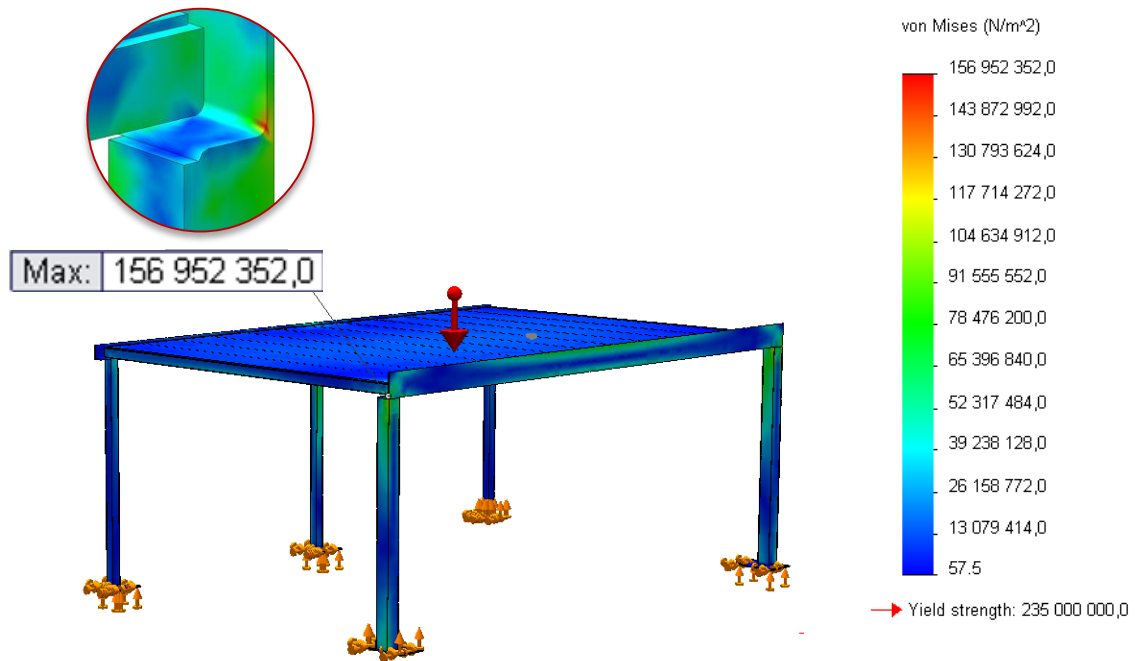
Suurin arvo 9 mm



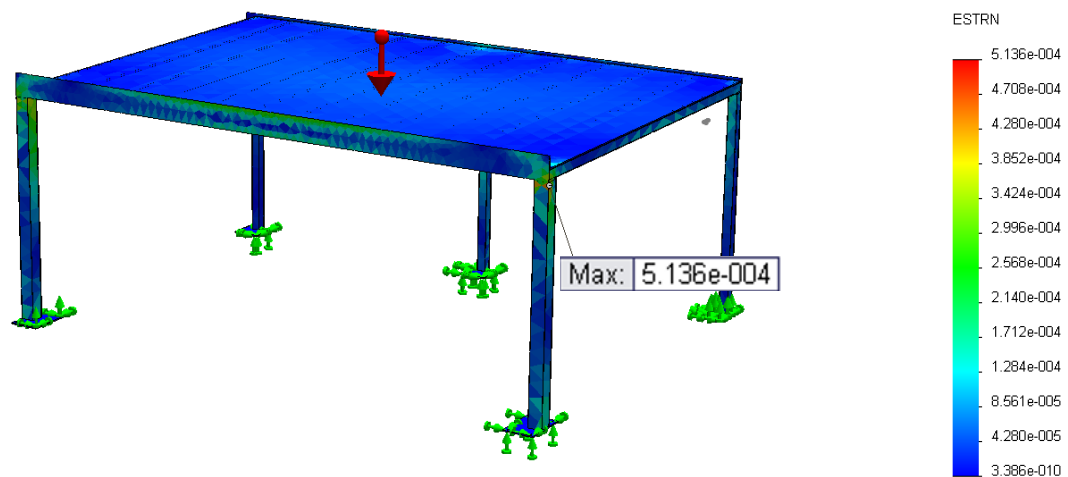
Pitkittäinen siirtymä (Z-taso).

Suurin arvo 0,7 mm

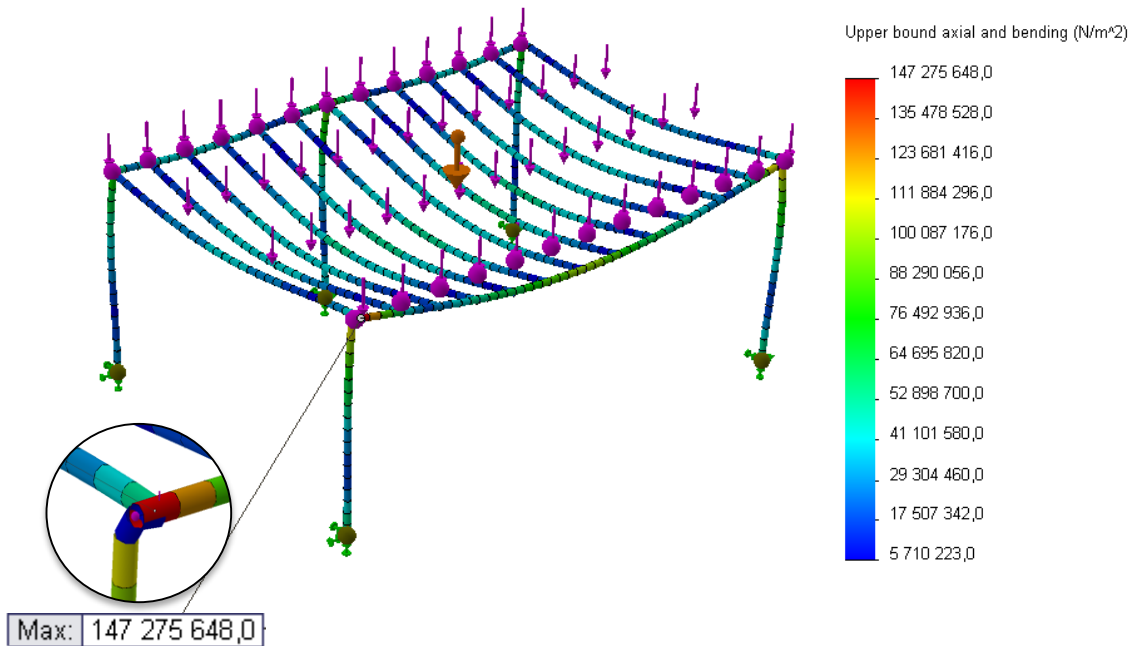




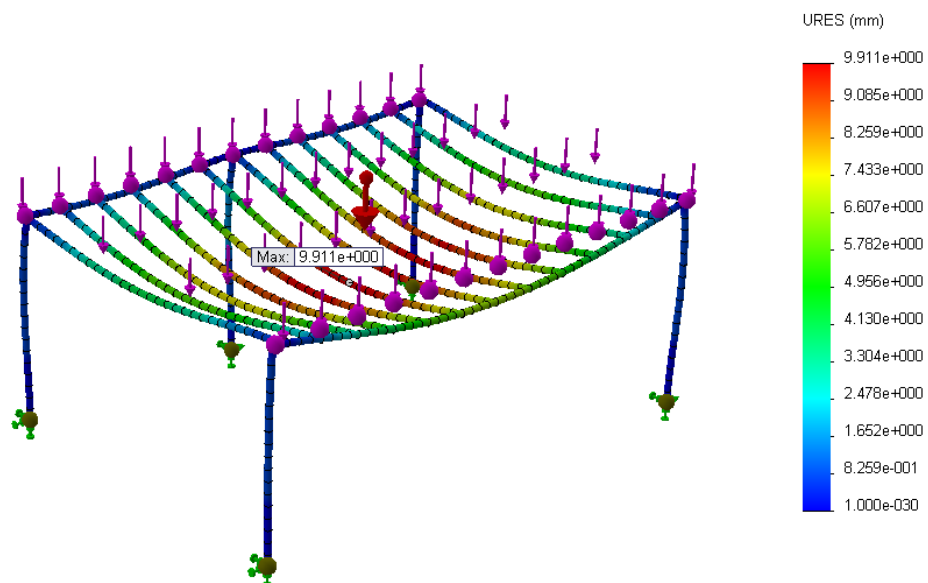
Kuva 17. Jännitys (Von Mises). Suurin jännitys kohdistuu L-palkin päähän johtuen etupalkin synnyttämästä suuresta momentista.



Kuva 18. Strain. Kuvaa materiaalin paikallista pituuden muutosta prosenttiyksiköissä. Suurimmat paikalliset materiaalin pituuden muutokset kohdistuvat etumaisiin tukipilareiden yläosaan.

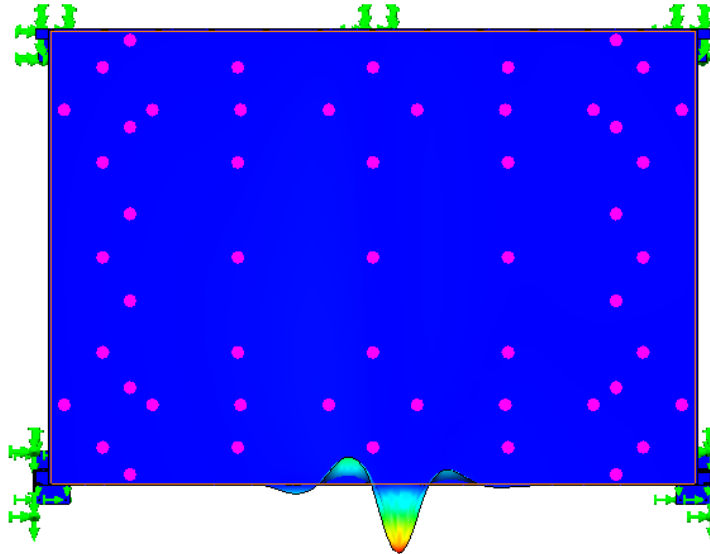


Kuva 19. Jännitykset palkkirakenteena. Teräsrakenteen suurin jännitys 147 MPa. Tutkittu palkkirakenteena ilman lattiamateriaalia. Lattiankantajan palkkeja vasten asetettu voima yhteensä 34kN voima.



Kuva 20. Teräsrakenteen paikallinen siirtymä. Suurin siirtymä 9,9 mm 34 kN voimalla, ilman lattiaa jäykistävää vanerilevyä.

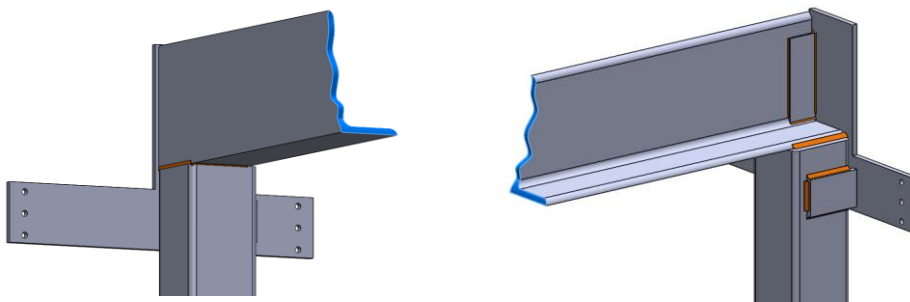
Parvirakenteen lommahdusta (kuva 21) tutkittiin dynaamisella tutkimuksella. Mahdollinen lommahdus tapahtuu etupalkin keskivaiheilla.



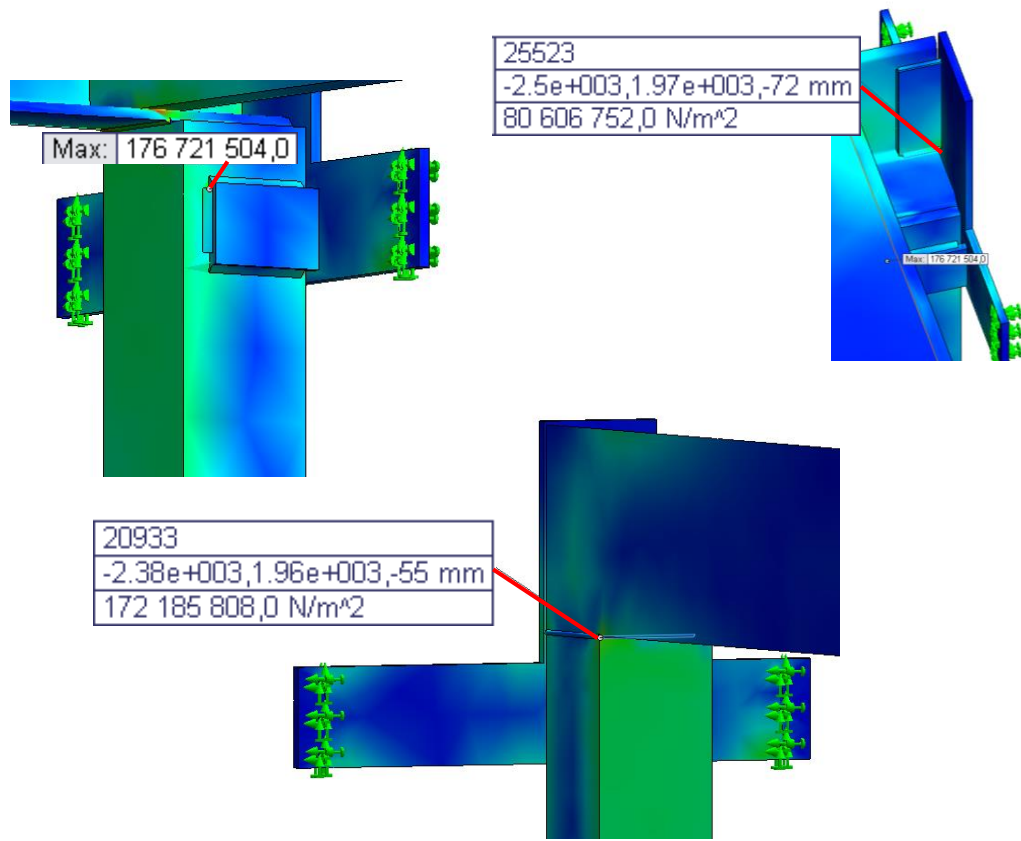
Kuva 21. Parven lommahdus. Lommahdus kuvattu ylikorostetuna .

#### 4.2.3 Etummaisien L-palkin liitos

Etummaisten pilarien, seinäkiinnikkeiden ja etummaisien L-palkin liitos suunniteltiin kuvan 22 mukaisesti. Liitoksen hitsisaumoihin kohdistuvaa rasitusta tutkittiin Solidworksin staattisella tutkimuksella. Tutkimusten perusteella hitsisaumoihin kohdistuu suuret jännitykset suurimmillaan noin 180 MPa jännitys. Tutkimuksia vääristää rakenteeseen jäykiksi määritellyt kiinnityspisteet (kuva 23).



Kuva 22. Etupalkin, etupilarin ja etupilarin seinäkiinnikkeen liitos edestä ja takaa. Hitsisaumat kuvassa oranssin



Kuva 23. Etummaisen L-palkin liitoksen tutkimukset. Liitoksen hitsisaumojen jännityksiä merkattu kuvaan.

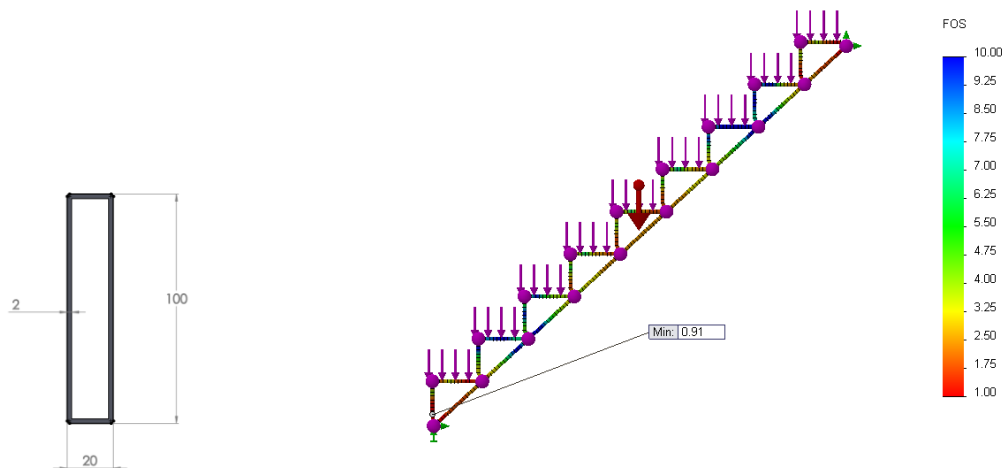
Tutkimusten perusteella etummaisen L-palkin ja etummaisen pystypilarin liitokseen kohdistuu suurimmat rasitukset. Liitosta ja sen hitsisaumoja tutkittiin tarkemmin (kuva 23). Liitokseen kiinnitettiin rakennusvaiheissa erityistä huomiota.

Lujuusopin laskuissa ei käsitellä 2-niveltukista palkkia, jossa molemmissa päissä on jäykkä tuenta. Liitoksen jännitystiloja ei voitu lujuusopin laskuilla todeta.

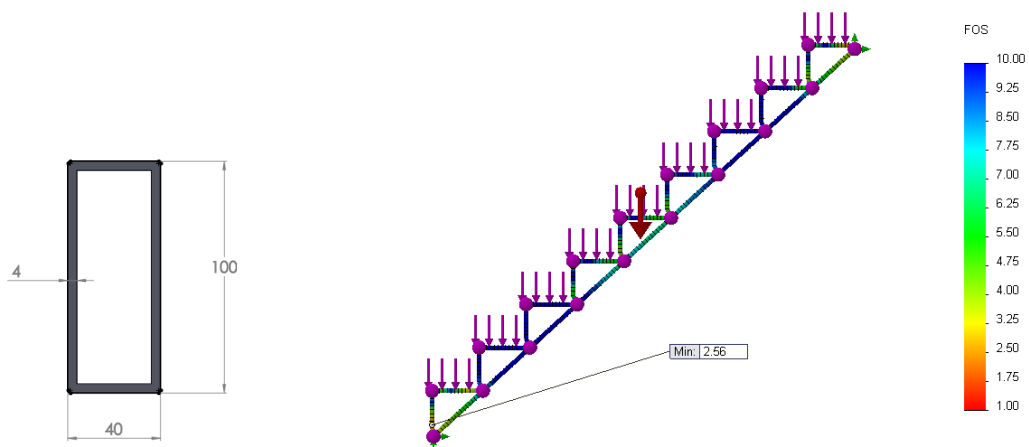
### 4.3 Portaat

Portaiden haluttiin kestävän 1 kN per askelma, joka vastaa noin sadan kilon painoja kaikilla askelmilla.

Portaiden rakennetta ja sen osia tutkittiin staattisella tutkimuksella. Tutkimiseen käytettiin turvakerroin-tutkimusta (=Factor of safety), joka kuvaa rakenteen kokeen suurimman jännityksen ja materiaalin suurimman sallitun jännityksen suhdetta. Materiaalina tutkimuksissa käytettiin Alumiinia (Al 6063). Tutkimusten tuloksia on esitetty kuvissa 24, 25, 26, 27 ja 28.

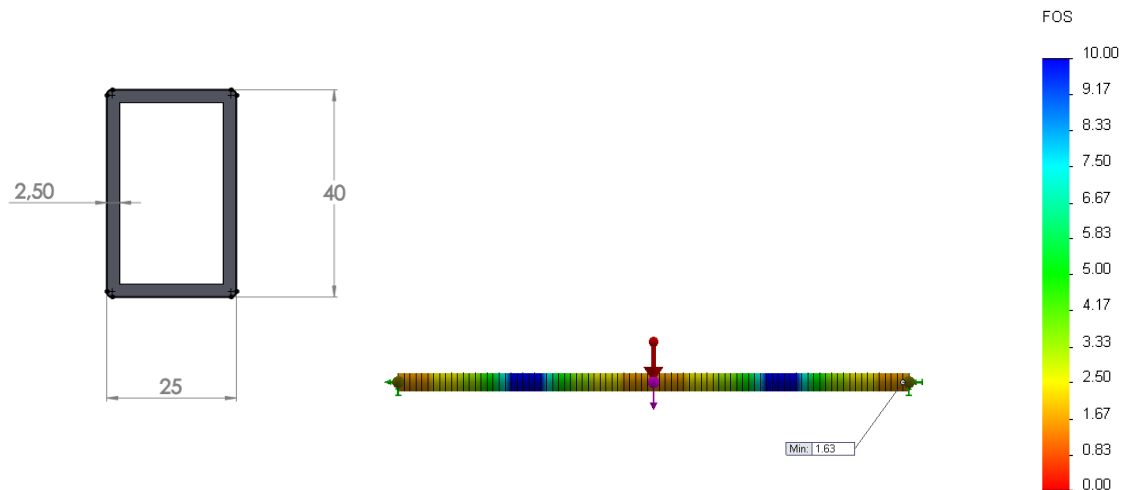


Kuva 24. Portaiden tutkimus 1. Tutkittu (100 mm \* 20 mm \* 2mm) alumiininen (Al 6063) palkkiprofiili. Tuloksena turvakerroin 0,91. Tästä voidaan päätellä, että kuvan rakenne ei kestä mitoitettua voimaa

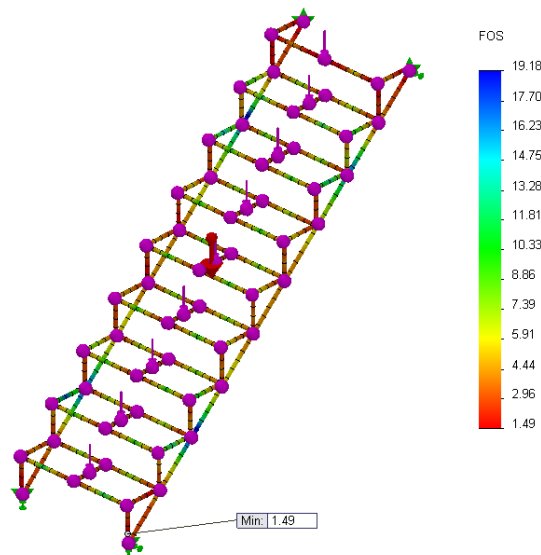


Kuva 25. Portaiden tutkimus 2. Portaiden tukipilarina käytetty (100 mm \* 50 mm \* 4mm). Tuloksena turvakerroin 2,5, joka vaikuttaa riittävältä.

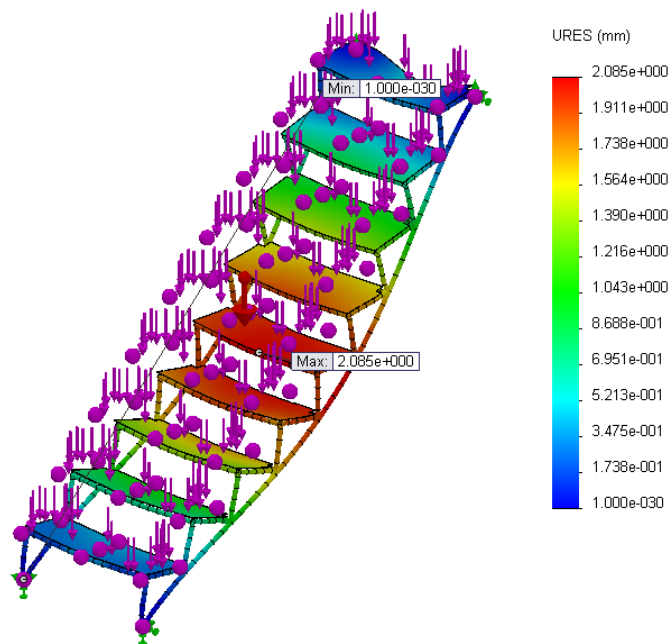
Portaiden vaakatukia testattiin (kuva 26). Tuet ovat suorakaidepalkkia (20 mm \* 40 mm \* 2,5 mm). Jokaisen tuen päälle on asetettu 1000 N voima. Materiaali alumiini (Al 6063).



Kuva 26. Askelmantukipalkin ( 40 mm \* 25 mm \* 2,5 mm) tutkimus. Voimana on käytetty 1000 N. Turvakerroin 1,63.



Kuva 27. Portaiden esimerkki-mallin turvakerroin-tutkimus. Kul-lekin askelmalle on asetettu 1000 N voima. Tutkittu palkkirakenteena. Tuloksena heikohko 1,49 turvakerroin.



Kuva 28. Portaiden koko rakenteen analysointi palkkirakenteena. Kullekin askelman keskimmäiselle tuelle asetettu 1000 N voima. Tuloksena saatu paikalliset taipumat. Kuvassa suurin taipuma keskellä portaita noin 2 mm.

Tutkimusten tuloksista pystyttiin päättämään valittujen profiilien olevan liian heikkoja. Portaiden profiilien muotoa ja kokoa, sekä askelmille kohdistuvaa voimaa pitää pohtia tarkemmin. Portaiden toteutus on keskeneräinen ja kuvatut tutkimukset ovat alustavia. Lujuuslaskelmia ei tehty portaiden osalta.

Lopulliset portaat suunnitellaan siirräviksi tai taittaviksi pois edestä, jotta tarvittaessa tilaa olisi enemmän. "Väliaikaiset" portaat rakennettiin höylätystä puusta.

## 5 LUJUUSLASKELMAT

Lujuuslaskelmilla varmistettiin Solidworksilla mitoitettun parvirakenteen osien staattinen kestävyys.

Laskuissa on keskitytty parven lattiaa vasten oleviin voimiin. Parven mitoitukseen on käytetty 34 kN hyötykuormaa vasten parven lattiaa. Hyötykuormasta ja rakenteen painosta puolet oletetaan kohdistuvan etummaiseen L-palkkiin.

Suurimmalle rasitukselle altistuvat rakenteen osat laskettiin. Pääosin laskut liittyvät etummaisen L-palkin mitoitukseen. Laskuista on jätetty huomiotta parven etuosaan rakennettujen puisten seinien antamat tukivoimat, mutta seinien paino on huomioitu. Vaakakuormat on jätetty huomioimatta; niiden on oletettu kohdistuvan seinäkiinnikkeiden kautta tallin seinien tukipuupilareihin.

Parvirakenteen taipumaa ei laskettu lujuusopin kaavoilla. Taipumaa tarkasteltiin ainoastaan Solidworksin staattisen analyysin avulla.

### 5.1 Etummainen L-palkki ( 200 mm \* 100 mm \* 10 mm)

L-palkin laskuissa käytettiin 2 niveltukisen kannattimen lujuusopin laskuja. (Tekniikan kaavasto, s.148).

Laskuissa tarvittavien  $I_z$ - ja  $I_y$ -arvojen laskeminen aloitettiin L-palkin pintakeskiön tasojen Y1 ja Z1 laskemisella (s.39). Steinerin lauseella (s.39 ja 40) saatiin laskettua  $I_z$ - ja  $I_y$ -arvot. Voimakomponentit määritettiin (s.40). Leikkausvoimat on kuvattu (s.41). Tukivoimat eli tukipilarit nimettiin  $A_y$ :ksi ja  $B_y$ :ksi. Tukivoimien määrittäminen (s.41 ja 42). Leikkausjännityspiirroksen (s.42) avulla määritettiin maksimitaivutusmomentti (s.43), jonka jälkeen laskettiin taivutusjännitys (s.43). Viimeiseksi laskettiin taivutusjännitys leikkauksen yhteydessä (s.44).



Ensin L-palkki jaettiin kahteen alaan A1 ja A2, jotta pintakeskiöt saatiin laskettua.

$$A1 = 190 \text{ mm} * 10 \text{ mm} , A2 = 100 \text{ mm} * 10 \text{ mm}$$

$$\text{kokonaispinta-ala} = A1 + A2 = 2900 \text{ mm}^2$$

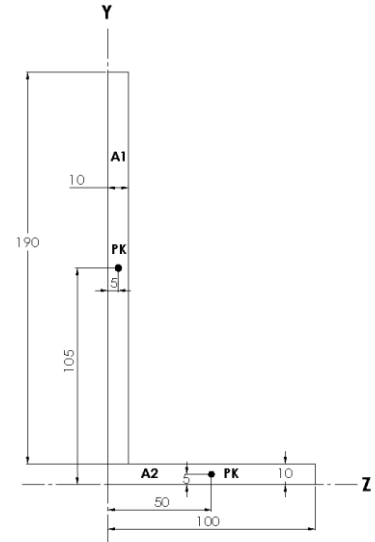
### Z1 ja Y1 tasot pintakeskiön laskemiseen

$$Z1(\text{alhaalta}) = \frac{A1*105\text{mm}+A2*5\text{mm}}{2900\text{mm}^2} = 70,52 \text{ mm}$$

$$Z1(\text{ylhäältä}) = 200\text{mm} - Z1 = 129,48 \text{ mm}$$

$$Y1(\text{vasemmalta}) = \frac{A1*5\text{mm}+A2*50\text{mm}}{2900\text{mm}^2} = 20,52 \text{ mm}$$

$$Y1(\text{oikealta}) = 100\text{mm} - Y1 = 79,48 \text{ mm}$$



### Pintakeskiön PK paikka

Pintakeskiöiden siirto Z1 tasoon

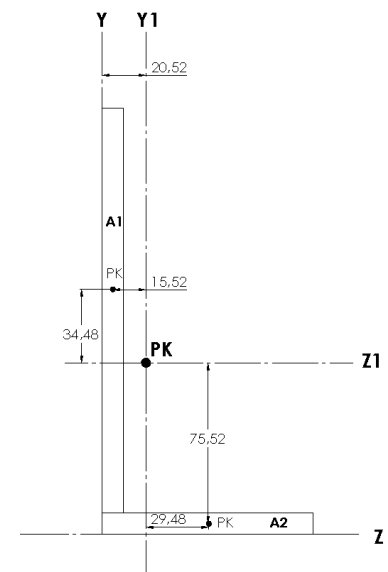
$$A1 z_1 = 105\text{mm} - Z1 = 34,48 \text{ mm}$$

$$A2 z_1 = Z1 - 5\text{mm} = 65,52 \text{ mm}$$

Pintakeskiöiden siirto Y1 tasoon

$$A1 y_1 = 5\text{mm} - Y1 = -15,52 \text{ mm}$$

$$A2 y_1 = 50\text{mm} - Y1 = 29,48 \text{ mm}$$



### Steinerin lauseella Iz ja Iy arvot (jäyhyysmomentti arvot)

$$Iz = I\zeta + A * y_0^2$$

$$Iz = \frac{10 \text{ mm} * (190 \text{ mm})^3}{12} + A1 * (-34,48 \text{ mm})^2 + \frac{100 \text{ mm} * (10 \text{ mm})^3}{12} + A2 * (65,52 \text{ mm})^2$$

$$Iz = 12,27 * 10^6 * \text{mm}^4$$

$$I_y = I_{\zeta} + A * z_0^2$$

$$I_y = \frac{190 \text{ mm} * (10 \text{ mm})^3}{12} + A1 * (-15,52 \text{ mm})^2 + \frac{10 \text{ mm} * (100 \text{ mm})^3}{12} + A2 * (29,48 \text{ mm})^2$$

$$I_y = 2,18 * 10^6 * \text{mm}^4$$

Taulukkoarvot L-palkille (200\*100\*10) mm ovat :

$$I_z = 12,2 * 10^6 * \text{mm}^4 \text{ cm}^4 \quad \text{ja} \quad I_y = 2,1 * 10^6 * \text{mm}^4 \quad (\text{b2bmetal.eu 2015})$$

Käytettiin laskuissa tästä eteenpäin taulukkoarvoja.

### Voimakomponentit [F\*]

Lattiankannatuspalkit nimettiin F1, F2, ..F13. Niihin kohdistuvat voimat arvioitiin ja laskettiin. Portaiden ja parven etuseinän kautta kohdistuvat voimat arvioitiin.

$$F1 + F2, \dots + F13 = \frac{34\,000 \text{ N}}{2} + \left( 13 * 5,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * \frac{3,453 \text{ m}}{2} + 9 \text{ m}^2 * 10,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) \left( 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$F1 + F2, \dots + F13 = 19\,085 \text{ N}$$

(lattiankannatin palkkien paino  $5,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ , Vanerilevyjen paino  $10,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ )

$$\mathbf{F1, F2, \dots F13} = \frac{19085 \text{ N}}{13} \approx 1\,468 \text{ N}$$

$$\mathbf{Fseinä} = 100 \text{ kg} * \left( 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \approx 1000 \text{ N}, \text{ arvioitu seinän aiheuttama voima.}$$

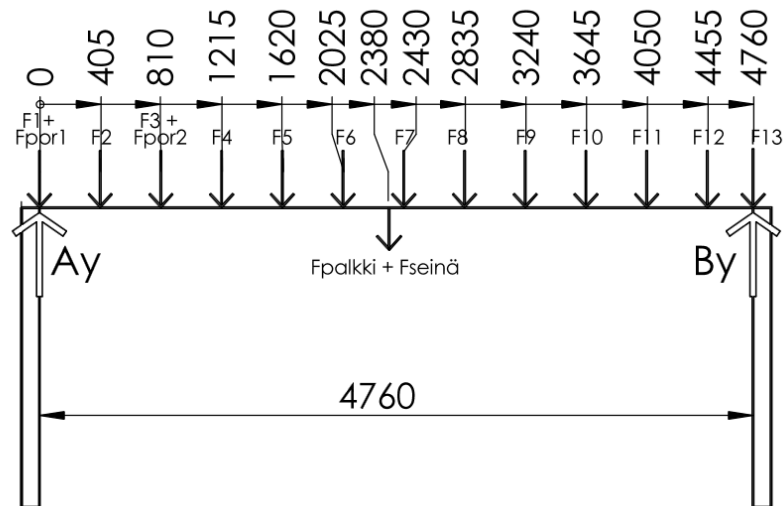
**Fpor1, Fpor2**  $\approx 1000$  , portaiden aiheuttamat arvioidut voimat.

**Fpalkki** =  $23 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 5 \text{ m} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1\,128 \text{ N}$  , L-palkin painosta johtuva kuorma laskettu pistekuormana jännevälän puolella välissä.

$$\mathbf{Voimat yhteensä} = 19\,085 \text{ N} + 1\,000 \text{ N} + 2\,000 \text{ N} + 1\,128 \text{ N} = 23\,213 \text{ N}$$

### Leikkausvoimat [Q\*]

Leikkausvoimat jakaantuvat kuvion 5. osoittamalla tavalla ja mitoilla etummaiseen tukipalkkiin. Tukipalkin oma paino ja seinän paino huomioitu pistepainona jännevälin puolessa välissä.



Kuvio 5. Leikkausvoimien jakautuminen etummaiseen tukipalkkiin.

### Tukivoimat Ay ja By

Valittiin L-palkkiin momenttia aiheuttavat voimat. Niiden avulla laskettiin momenttitasapainoehdosta tukivoimien Ay ja By voimien suuruudet. Ay ja By kohtisuoraan vaikuttavat voimat F1, Fpor1 ja F13 jätetään laskematta momenttitasapainoyhtälössä.

Tasapainoehto  $\sum F_y = 0$

$$\begin{cases} A_y + B_y = 23\,213\,N - F_{p1} - F_1 - F_{13} = 19\,277\,N \\ M_A = \left( -\sum_{k=1}^{11} (F(k+1) * ((k)405\text{mm})) \right) - F_{p2} * 810\text{mm} - L_{palkki} * 2380\text{mm} - F_{seinä} * 2380\text{mm} + B_y * 4\,760\text{mm} = 0 \end{cases}$$

$$\rightarrow -45\,114\,Nm + 4\,760\,mm * B_y = 0$$

$$\rightarrow (B_y) = \frac{45\,114\,Nm}{4\,760\,mm} = 9\,478\,N$$

$$(A_y) = 19\,277\,N - 9\,478\,N = 9\,799\,N$$

→

Todelliset tukivoimat saatiin kun lisättiin momenttiyhtälössä laskematta jätetyt voimat  $F_1$ ,  $F_{por1}$  ja  $F_{13}$  tukivoimille  $A_y$  ja  $B_y$

$$A_y = 9\,799\text{N} + F_{por1} + F_1 = 12\,267\text{N}$$

$$B_y = 9\,478\text{N} + F_{13} = 10\,946\text{N}$$

### Leikkausjännitys-piirros

Leikkausvoimat:

$$Q_1 = A_y - F_1 = 9\,799\text{N}$$

$$Q_2 = Q_1 - F_2 = 8\,331\text{N}$$

$$Q_3 = Q_2 - F_3 + F_{por2} = 5\,863\text{N}$$

$$Q_4 = Q_3 - F_4 = 4\,395\text{N}$$

$$Q_5 = Q_4 - F_5 = 2\,927\text{N}$$

$$Q_6 = Q_5 - F_6 = 1\,459\text{N}$$

$$Q_7 = Q_6 - L\text{-palkki} - F_{seinä} = -669\text{N}$$

$$Q_8 = Q_7 - F_8 = -2\,137\text{N}$$

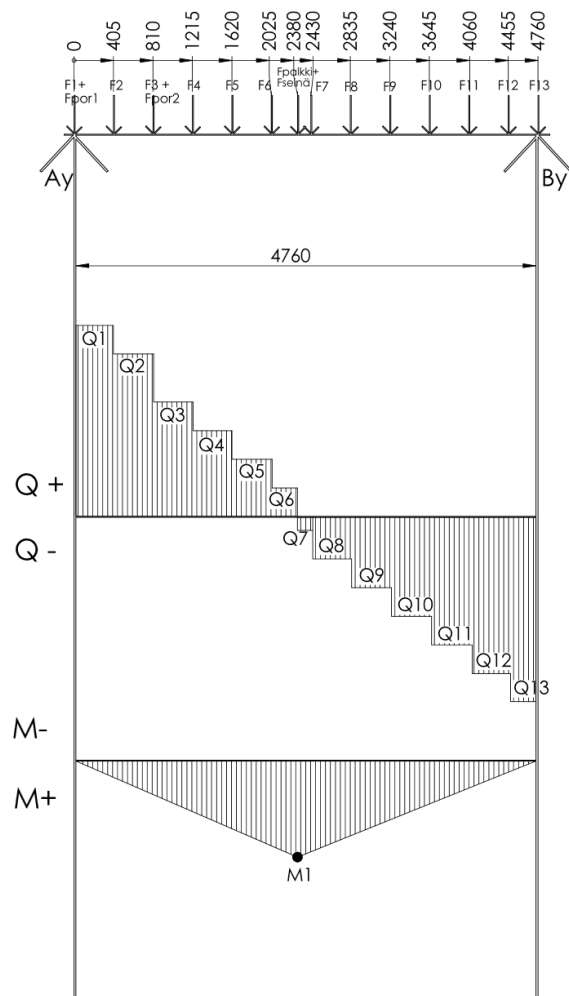
$$Q_9 = Q_8 - F_9 = -3\,605\text{N}$$

$$Q_{10} = Q_9 - F_{10} = -5\,073\text{N}$$

$$Q_{11} = Q_{10} - F_{11} = -6\,541\text{N}$$

$$Q_{12} = Q_{11} - F_{12} + B_y = -8\,009\text{N}$$

$$Q_{13} = Q_{12} - F_{13} = -9\,447\text{N}$$



Kuvio 6. Etupalkin leikkausjännitys-piirros.

Maksimi taivutusmomentti

Tarkastelukohta M1 valittiin leikkausjännitys-piirroksen (kuvio 5) perusteella kohdasta, jossa leikkauspiirros ylittää keskilinjan. Momentti leikkausvoiman Q7 vasemmalta puolelta laskettuna:

$$-M1 + Ay * 2380 \text{ mm} - (F1 + F_{por1}) * 2380 \text{ mm} - F2 * 1975 \text{ mm} - (F3 + F_{por2}) * 157 \text{ mm} - F4 * 1165 \text{ mm} - F5 * 760 \text{ mm} - F6 * 355 \text{ mm} = 0$$

$$\rightarrow M1 = 13\,201 \text{ Nm} \quad (= \text{Maksimimomentti})$$

Taivutusjännitys  $[\sigma]$ 

$$\sigma = \frac{M_t * y}{I_z} = \frac{13\,201 \text{ Nm} * 129 \text{ mm}}{1\,220 \text{ cm}^4} = 140 \text{ MPa}$$

(y = pidempi etäisyys kappaleen reunasta Z1-akseliin)

Rakenneteräksen sallitut jännitykset tavallisessa kuormituksessa:

$$\sigma_{sall} = \frac{\sigma_{sa}}{1,5} \quad (\text{RIL 90 - 1996, s33})$$

$\sigma_{sall}$  = sallittu jännitys

$\sigma_{sa}$  = materiaalin alempi myötöraja

1,5 = varmuuskerroin

$$\sigma_{sall} = \frac{335 \text{ MPa}}{1,5} = 223,3 \text{ MPa}$$

(140 MPa ≤ 223,3 MPa) → Ok. (L-palkille kohdistuvan taivutusjännityksen arvo ei ylitä sallittua taivutusjännitystä.)

Leikkausjännitys ( $\tau$ ) taivutuksen yhteydessä

$$\tau = \frac{Q * S}{b * I} \quad (\text{Tekniikan kaavasto 2000, 140.})$$

$Q =$  Leikkausvoima

$S =$  Pinnan staattinen momentti painopisteakselin suhteen

$b =$  Laskentakohdan aineenleveys

$I =$  Poikkipinnan neliömomentti neutraaliakselin suhteen

$$Q = Ay_2 = 12\,267 \text{ N}$$

$$S = 129.5 \text{ mm} * 10 \text{ mm} * \frac{129.5 \text{ mm}}{2} = 83\,851 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{12\,267 \text{ N} * 83\,851 \text{ mm}^3}{10 \text{ mm} * 12\,200\,000 \text{ mm}^4} = 8,43 \text{ MPa}$$

## 5.2 Takimmainen L-palkki (120 mm \* 80 mm \* 10 mm)

Tutkittiin takimmaisen L-palkin yhtä jänneväliä. Suurin jänneväli oli 2325 mm, laskuissa käytetty 2430 mm. Käytetään samoja edellä esitettyjä kaavoja.

L-palkin omasta painosta aiheutuva voima on

$$15 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 2,43 \text{ m} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 358 \text{ N}$$

Lattiantuki palkeista  $F1 + F2 + \dots + F7$  välittävät voimat = 10 276 N

### Tukivoimat $Ay2$ ja $By2$

$$Ay2 + By2 = 10\,276 \text{ N} + 358 \text{ N} = 10\,634 \text{ N}$$

Symmetrinen kuorma  $Ay2$  ja  $By2$  välillä

$$\rightarrow Ay2 = By2 = \frac{10\,634 \text{ N}}{2} = 5\,317 \text{ N}$$

### Leikkausvoima [Q]

$$Q1 = Ay2 - F1 = 3\,849 \text{ N}$$

$$Q2 = Q1 - F2 = 2\,381 \text{ N}$$

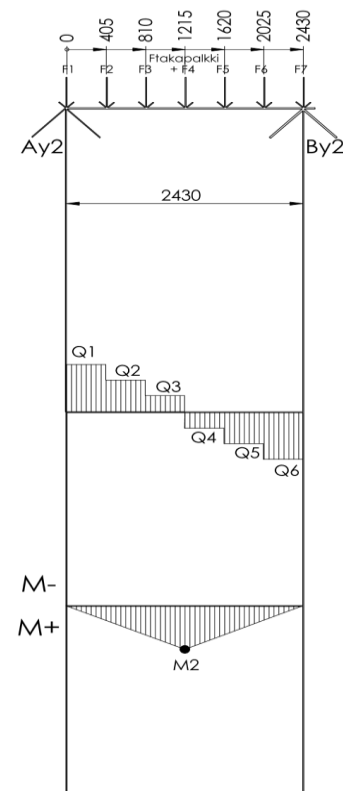
$$Q3 = Q2 - F3 = 913 \text{ N}$$

$$Q4 = Q3 - F4 - F_{\text{takapalkki}} = -913 \text{ N}$$

$$Q5 = Q4 - F5 = -2\,381 \text{ N}$$

$$Q6 = Q5 - F6 = -3\,849 \text{ N}$$

$$Q7 = Q6 - F7 + By = 0 \text{ N}$$



Kuvio 7. Takimmaisen L-palkin Leikkausjännitys-piirros

Maksimi taivutusmomentti [Mt]

Tarkastelukohta valittu leikkausjännitys piirroksen perusteella kohdasta, jossa piirros ylittää keskiviivan. Momentti tarkastelukohdan Q4 vasemmalta puolelta laskettuna:

$$-M2 + Ay2 * 1215 \text{ mm} - F1 * 1215 \text{ mm} - F2 * 810 \text{ mm} - F3 * 405 \text{ mm} = 0$$

$$\rightarrow \text{Maksimimomentti } M2 = 2\,893 \text{ Nm}$$

Taivutusjännitys  $\sigma$ 

$$\sigma = \frac{Mt * y}{Iz}$$

$$y = 120 \text{ mm} - 39,2 \text{ mm} \approx 80, \quad Iz = 276 \text{ cm}^4 \quad (\text{b2bmetal.eu 2015})$$

$$Mt = 2\,893 \text{ Nm}$$

$$\sigma = \frac{2\,893 \text{ Nm} * 80 \text{ mm}}{276 \text{ cm}^4} = 83,8 \text{ MPa}$$

$$(83,8 \text{ MPa} \leq 223,3 \text{ MPa}) \rightarrow \text{Ok.} \quad (\text{taivutusjännitys alittaa sallitun jännityksen})$$

Leikkausjännitys ( $\tau$ ) taivutuksen yhteydessä

$$\tau = \frac{Q * S}{b * I}$$

$$Q = Ay2 = 5\,317 \text{ N}, \quad S \approx 80 \text{ mm} * 10 \text{ mm} * \frac{80 \text{ mm}}{2} = 32\,000 \text{ mm}^3, \quad b = 10 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{5\,317 \text{ N} * 32\,000 \text{ mm}^3}{10 \text{ mm} * 2\,760\,000 \text{ mm}^4} = 6,16 \text{ MPa}$$



### 5.3 Tukipilarit

Tutkitaan voimaa jolla pilarit nurjahtavat.

$$f_n = \frac{\pi^2 * E * I}{4 * l^2} \quad (\text{Tekniikan kaavasto 2000, 148})$$

$$f_n = \text{nurjahdusvoima} \quad I = \text{neliömomentti}$$

$$E = \text{kimmokerroin} \quad l = \text{sauvan pituus}$$

#### Etupilarien (120 mm \* 120 mm \* 4 mm) nurjahdusvoima

( $I_z = I_y = 410 \text{ cm}^4$  (b2bmetal.eu 2015))

$$f_n = \frac{\pi^2 * 210\,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 410\,000 \text{ mm}^4}{4 * (1960 \text{ mm})^2}$$

$$f_n = 553\,007 \text{ N}$$

#### Takapilarien (80 mm \* 80 mm \* 4mm) nurjahdusvoima

( $I_z = I_y = 114 \text{ cm}^4$  (b2bmetal.eu 2015))

$$f_n = \frac{\pi^2 * 210\,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 114\,000 \text{ mm}^4}{4 * (1960 \text{ mm})^2}$$

$$f_n = 153\,763 \text{ N}$$

#### 5.4 Lattian kantavuus

Lattian kantavuudeksi on oletettu  $1,2 \frac{N}{mm^2}$  (perustelut s.20 ).

##### Etummaisten aluslevyjen puristusjännitys

Etupilarin aluslevyn pinta-ala  $90\,650 \text{ mm}^2$

etupilarin aluslevyyn kohdistuva voima  $A_y = 12\,267 \text{ N}$ .

$$\rightarrow \frac{F}{A} = \frac{12\,267 \text{ N}}{90\,650 \text{ mm}^2} = 0,14 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$0,14 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 1,2 \frac{N}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{ok}$  (Aluslevyyn kohdistuva voima on pienempi kuin lattian kantavuus.)

##### Takimmaisten aluslevyjen puristusjännitys

Keskimmäiseen takapilariin ja sen aluslevyyn kohdistuu kaksinkertainen voima verrattuna reunimmaisiiin. Keskimmäiseen takapilariin kohdistuva voima on:

$$2 * A_{y2} = 2 * 5\,317 \text{ N} = 10\,634 \text{ N}$$

Aluslevyyn pinta-ala on:  $(250 \text{ mm} * 250 \text{ mm}) = 62\,500 \text{ mm}^2$ .

$$\rightarrow \frac{F}{A} = \frac{10\,634 \text{ N}}{62\,500 \text{ mm}^2} = 0,17 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$0,17 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 1,2 \frac{N}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{ok}$  (Aluslevyyn kohdistuva voima on pienempi kuin lattian kantavuus.)

## 5.5 Lattian kannatinpalkit

Lattian kannatinpalkit (80 mm \* 40 mm \* 3mm)

$I_z=54,7 \text{ cm}^4$ ,  $I_y=17,6 \text{ cm}^4$  (Ksteel 2014.)

Yhteen lattiatukipalkkiin kohdistuva voima = 2 936 N, palkki on ajateltu tasaisesti kuormitetuksi.

### Maksimi momentti [Mt]

$$M_{t_{max}} = M_t * \left(\frac{l}{2}\right) = \frac{Fl}{8} \quad (\text{Tekniikan kaavasto 2000, 148.})$$

$$M_{t_{max}} = \frac{2936 \text{ N} * 3,453 \text{ m}}{8} = 1267 \text{ Nm}$$

Lattian kannatinpalkkien laskuissa ei ole huomioitu palkkeihin kiinnitettävien vanerilevyjen taivutusvastusta.

### Taivutusjännitys [σ]

$$\sigma = \frac{M_t * y}{I_z} = \frac{1\,267\,000 \text{ Nmm} * 40 \text{ mm}}{54\,700 \text{ mm}^4} = 92,6 \text{ MPa}$$

### Leikkausjännitys (τ) taivutuksen yhteydessä

$$\tau = \frac{Q * S}{b * I}$$

$$S = 40\text{mm} * 3\text{mm} * 38,15\text{mm} + 2 * 3\text{mm} * 37\text{mm} * 18,5 = 8685 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{2\,936\text{ N} * 8685\text{ mm}^3}{(2*3\text{mm})*5\,470\,00\text{mm}^4} = 7,8\text{ MPa}$$

### 5.6 Hitsien mitoitus (a-mitta)

Rakenne suunniteltiin niin, ettei hitsisaumoihin kohdistuisi suuria leikkausjännityksiä. Vaikka hitsit eivät kestäisi mitoitettua kuormaa vuosien rasituksen aikana, on rakenne suunniteltu niin, ettei ole rakenteen osien romahtamisen vaara.

Voimana etupalkin hitseissä on käytetty tukivoiman  $A_y$  voimaa (12 267N). Momentin aiheuttamaa vaikutusta hitseihin ei pystytty osoittamaan. Niiden tutkimiseen käytettiin Solidworksin staattista tutkimusta.

Pienahitsin kestävyys on riittävä, jos molemmat seuraavat ehdot ovat voimassa:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}}$$

$f_u$  = heikoimman liitettävän osan vetomurtolujuus.

$\beta_w$  = korrelaatiokerroin (S355 = 0,9) ,

$\gamma_{M2} = 1,25$  (varmuuskerroin)

(Välimaa 2012.)

(Laskuissa käytetty 1,25 varmuuskertoimen sijasta 1,5)

Etummaisen L-palkin hitsin a:n mitta

hitsin pituus  $l = 120$

$$\sigma = \sqrt{0 + 3 * \tau_{\perp}^2 + 0} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$f_u$  s355JR=510MPa (ruukki)

$$\tau_{\perp} = \frac{Q}{A} = \frac{f}{a * l}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{3} * f}{a * l} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\rightarrow a = \frac{\sqrt{3} * f * 0,9 * 1,5 * \beta_w * \gamma_{M2}}{a * l * f_u}$$

$$\rightarrow a = \frac{\sqrt{3} * 12\,267\,N * 0,9 * 1,5}{120\,mm * 510 \frac{N}{mm^2}}$$

$a = 0,468\,mm \rightarrow$  valitaan hitsin a:n mitaksi 3mm.

Lattian kannatinpalkin hitsin a-mitta

hitsin pituus  $l = 60\,mm$

$$\rightarrow a = \frac{\sqrt{3} * 2\,936\,N * 0,9 * 1,5}{60\,mm * 510 \frac{N}{mm^2}}$$

$a = 0,224\,mm \rightarrow$  valitaan hitsin a:n mitaksi 3mm

## 5.7 Tulosten analyysi

Lasketut jännitykset vastaavat melko pitkälle Solidworksin staattisessa FEA -analyysissä saatuja tuloksia.

Lujuusopin kaavoilla laskettu suurin taivutusjännitys etupalkissa oli 140 MPa. Vastaavat jännitysarvot olivat Solidworksin staattisessa tutkimuksessa 157 MPa (kiinteänä tutkittu) ja 147 MPa (palkkirakenteena tutkittu).

Etummaisen L-palkin ja etummaisten tukipilarien liitosta ei voitu lujuusopin laskuilla riittävän hyvin analysoida. Liitoksen kestävyyttä tutkittiin Solidworksin FEA -analyysillä.

## 6 RAKENTEEN VALMISTUSVAIHEET

Parvirakennetta rakennettiin useassa vaiheessa, kesän ja syksyn 2015 aikana.

### 6.1 Esivalmistelut

Suunnittelu vaiheen jälkeen tarvittiin muun muassa seuraavia työkaluja: kolmi-jalka, tasolaser, porakone, betoninsekoittaja, kompressori, poravasara, vasara, vesivaaka, kulmahiomakone, mig-hitsauskone, puikkohitsauskone, pylväspara-kone.

### 6.2 Materiaalien tilaaminen

Tilattujen ja valmistettujen terästen piirrokset ovat liitteenä (Liite 1). Piirrokset ovat tehty terästen tilauksia varten ja ovat mahdollisimman helposti ymmärrettäviä. Niissä ei ole käytetty toleranssimerkintöjä tai hitsausmerkintöjä.

Ensimmäisenä tilattiin pilarien aluslevyt. Pilarien aluslevyt tilattiin valmiiksi leikat-tuna ja rei'itettyinä. Yhteen aluslevyistä tuli myös polttoleikkaus. Aluslevyt tilattiin ensimmäisinä, jotta ne pystyttiin asettamaan paikoilleen ja tarvittaessa vaihta-maan vielä lopullista suunnitelmaa.

Pilarien asennuskorko vaihteli ja pystypilarit tilattiin sen takia vasta aluslevyjen sovittamisen jälkeen. Pystypilarit tilattiin määrämittaen leikattuna.

Kahteen pilareista tuli erikoisleikkaus, joissa yksi pilarin sivuista jätettiin muita si-vuja 10 mm pidemmäksi, jotta sen liittäminen olisi helpompaa. Leikkaus viimeis-teltiin itse, sillä se tuli halvemmaksi kuin valmiiksi teetettynä.

Isoin teräserä kilpailutettiin muutamalla toimijalla. Yksi tarjous oli selvästi muita edullisempi. Reiät teräksiin porattiin pylväsporakoneella itse, sillä niiden teettä-minen olisi ollut kallista.

### 6.3 Asennuksen esivalmistelut

Patterit jouduttiin purkamaan asennuksen tieltä. Kipsiseinälevyjä leikattiin niin, että aluslevyt voitiin sijoittaa seinien sisään. Asennettuja lisäeriste-elementtejä purettiin (kuva 29). Yksi etupilari sijoitettiin niiden sisään. Elementit hankaloittivat rakenteen suunnittelua ja valmistusta.



Kuva 29. Aluslevyjen asettelua.

Lattiaa hiottiin aluslevyjen kohdalta kulmahiomakoneella betonin tasoituslaikalla. Hionnan jälkeen pilarien aluslevyt asetettiin vatupassiin ja kohdennettiin toisiinsa ja tilaan nähden käyttäen ristikko laseria ja vesivaakaa. Aluslevyjen alle hitsattiin peltilevyjä (kuva 30), jotta aluslevyt saatiin asetettua vaakasuoraan. Pilarien aluslevyjen kohdalla lattiassa oli kaatoa lattiaviemärin suuntaan. Varsinkin etummais-ten aluslevyjen kohdalla lattian kaatoa oli reilusti.

Aluslevyjen kiinnittämiseksi lattiaan hankittiin 12mm Ø kiila-ankkurit (kuvissa 30, 33 ja 34). Niille tehtiin 12 mm Ø reiät betonilattiaan. Reiät tehtiin aluslevyjen reikien mukaisesti. Lattiahalkeamia korjattiin epoksiliimalla injektointi menetelmää käyttäen ennen aluslevyjen asentamista.

Seinäkiinnikkeiden kohdilta Gyproc-levyä leikattiin seinistä pois.



Etupilarien seinäkiinnikkeet valmistettiin itse 10mm paksuisesta teräslevyistä (kuva 31). Kiinnikkeet hitsattiin yhteen puikkohitsausmenetelmällä.



Kuva 30. Aluslevyjien alle hitsatut peltilevyt.



Kuva 31. Etummaisen tukipilarin seinäkiinnikkeen valmistus.

#### 6.4 Pilarien asennus ja liittäminen

Tukipilarit keskitettiin toisiinsa sekä aluslevyihin nähden suoraan tasolaserin avulla kuvassa 32.



Kuva 32. Takimmaisten tukipilareiden keskitäminen tasolaserin avulla.

Etupilarit ja takapilarit keskitettiin ja "heftattiin" kiinni aluslevyihin jonka jälkeen pilarit pystytettiin siirtämään parempaan paikkaan liittämistä varten. Pilarit liitettiin käyttäen puikkohitsausmenetelmää. Liitetty pilari ja aluslevy kuvassa 33.



Kuva 33. Liitetty pilari ja aluslevy.

Aluslevyt pilareineen asennettiin juotosbetonilla lattiaan kolmessa erässä (kuva 34). Juotosbetonina käytettiin Fescon 600/3, jonka lujuusluokka on C 50/60 (K60) ja käyttökohteita ovat mm. pilareiden juotosvalut ja ankkurointijuotokset. Se on erittäin korkealujuuksinen ja ennen sitoutumistaan paisuva vaativien valukohteiden betoni. Sen työstettävyyssäika on 1h.

Kiila-ankkureiden reikien suulle laitettiin saumamassaa ennen juotosbetonin kaatamista valumuottiin, jotta juotosbetoni ei valuisi kiila-ankkureita varten betoniin porattuihin reikiin.

Aluslevyt pilareineen asetettiin puupaloista tehdyn valumuotin sisään, johon oli kaadettu juotosbetonia riittävästi, jotta betoni täyttäisi koko aluslevyn alan ja aluslevyjen alle ei jäisi ilmataskuja (kuva 34).

Etupilareiden aluslevyt valettiin yksi kerrallaan jotta pilarit saataisiin asennettua mahdollisimman tarkasti ja vaakasuoraan. Aluslevyjen asettamisen jälkeen kiila-ankkurit iskettiin paikoilleen.

Kiila-ankkureilla saatiin pilarit juotosvaiheessa kiristettyä vaakasuoraan ja oikeaan korkoon. Lopulliseen kireyteen ne kiristettiin juotosbetonin kuivuttua. Pilarit valettiin 196 cm lattia koron mukaan. Keskimäinen takapilareista jätettiin noin 1 mm muita pilareita matalammalle. Puumuotit (kuva 34) tehtiin hieman aluslevyjä suuremmiksi. Muotti ja ylimääräinen juotosbetoni poistettiin, kun betoni oli hieman jähmettynyt.



Kuva 34. Pilareiden juottaminen juotosbetonilla. Kiila-ankkurit isketty paikoilleen.

Pilareiden juotosbetonin kuivuttua etupilarit täytettiin tavallisella betonilla lähes täyteen. Etupilareihin hitsattiin päätylaput betonilla täyttämisen jälkeen. Päätylapuihin tehtiin pilareiden lopullista täyttämistä varten pienet lovet, jotta ne voitaisiin täyttää hitsaustöiden loputtua täyttää epoksilla.

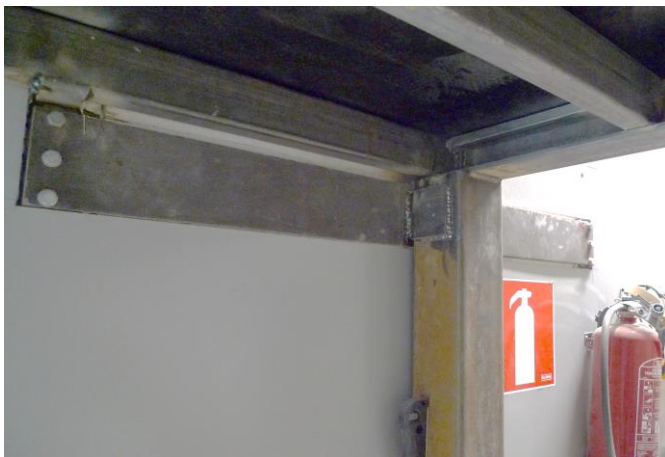
Etupilarit varmistettiin seiniin niitä varten valmistettujen kiinnikkeiden avulla (kuva 31). Kiinnikkeet kiinnitettiin täkkipultein ulkoseinän ja väliseinien puupilareihin. Seinäkiinnikkeet kiinnitettiin ensin puupilareihin, jonka jälkeen ne liitettiin pilareihin puikkohitsausmenetelmällä. Etupilareiden seinäkiinnikkeet valmistettiin 10 mm vahvuisesta katkaistuista teräslevystä. Kiinnikkeet valmistettiin valmiiksi leikatuista levyistä.

Muut seinäkiinnikkeet teetettiin määrämittaen 45 mm leveistä erimittaisista L-palkkiprofiileista ja ne kiinnitettiin seinien puupilarirakenteisiin.

## 6.5 Seinäkiinnikkeiden asennus

Seinäkiinnikkeet liitettiin runkotolppiin  $\varnothing$  10 mm täkkipultein.

Teräksisten seinäkiinnikkeiden ja puisten runkotolppien väliin laitettiin noin 3mm paksuiset bitumisokkelikaistat, joiden toivottiin estävän seinäkiinnikkeiden ja väliseinien puupilarien liitosten natinaa. Etupilarien seinäkiinnikkeet hitsattiin kiinni L-palkkiin ja etupilariin paksuin hitsisaumoin (kuvat 35 ja 36).



Kuva 36. Etupilarin seinäkiinnikkeen liitos parven alta.



Kuva 35 Etupilarin seinäkiinnikkeen liitos edestä.

## 6.6 L-palkkien asennus ja liittäminen

Takimmaiseen L-palkkiin porattiin kaksi Ø 13 mm reikää, jonka jälkeen se nostettiin kahden miehen voimin paikoilleen takimmaisten tukipilarien päälle. Palkin paino oli noin 78 kg. Palkki varmistettiin kahdella Ø 10mm pultilla takaväliseinän puupilareihin, jotta se ei asennuksen aikana putoaisi ja aiheuttaisi vaaraa. Pultin kannan ja L-palkin väli jätettiin n. 2 cm väli, jotta palkkia voitaisiin säätää sen päälle tulevien pitkittäispilarien mukaan. Takimmainen L-palkki kiinnitettiin pysyvästi hitsaamalla vasta kaikkien muiden palkkien liittämisen jälkeen.

Etummaisen L-palkin nostamiseen tarvittiin hydraulinen nostin. L-profiili painoi noin 120 kg. Palkki ”heftattiin” ensin kiinni etupilareihin (kuva 37), jonka jälkeen se hitsattiin paksuin hitsisaumoin puikkohitsausmenetelmää käyttäen etupilareihin ja seinäkiinnikkeisiin (kuvat 35 ja 36).



Kuva 37. Etummainen L-palkki ”heftattu” tukipilareihin.



Lattian kannatinpalkit (13 kpl) asetettiin jakoon, joka oli noin 405mm. Palkit hitsattiin puikkohitsausmenetelmällä kiinni etummaiseen- ja takimmaiseen L-palkkiin (kuvat 38 ja 39).



Kuva 38. Lattian kannatuspalkkien ja L-palkin liitokset.

#### 6.7 Lattian asennus ja liittäminen

Lattian filmipäällystetyt koivuvanerilevyt leikattiin ja asennettiin paikoilleen liimamassalla ja itseporautuvilla ruuveilla n. 20 cm jaolla (kuva 39). Lattian liittämistä varten mig-hitsattiin vanerilevyjen jaon mukaan poikittaiset lattiaankannatin palkit (kuvat 38,39 ja 40). Filmivanerilevyt olivat (2500 mm \* 1250 mm \* 15 mm) kokoisia.

Vanerilevyjen asennuksen jälkeen takimmainen L-palkki hitsattiin tukevasti pystypilareihin ja seinäkiinnikkeisiin



Kuva 39. Lattian liittäminen. Lattia liitettiin kannatintukipalkkeihin itseporautuvilla ruuveilla ja liimamassalla.

Parven alapuoli jätettiin levyttämättä. Parven alapuolisen tilan korkeus vaihtelee lattian kannatintuki palkkien mukaan. Parven ulkoseinän seinäkiinnikkeet upotettiin lisäeristysseinän sisään (kuva 40).



Kuva 40. Parven alapuolinen kattonäkymä.

#### 6.8 Puinen väliseinä

Etummaisena L-palkin päälle asetettiin 120 mm\*3,9 mm kertopuu, joka liitettiin kulmarautoilla ja elastisella liimamassalla parven lattiaan.

Parven väliseinätolpat olivat (60 mm \* 3,9 mm) vahvuisia kertopuita. Seinien vierustalla ja oviaukon kohdalla kertopuun vahvuus oli (120 mm \* 3,9 mm). Väliseinätolpat tuettiin kattoon ja L-palkin päälle kiinnitettyyn kertopuupalkkiin nau-lauskulmilla ja ruuveilla. Väliseinän tolppa jako oli noin 550 mm. Kuvassa 39 par-ven seinärakenne.



Kuva 41. Parven etuseinän rakenne.

Parven väliseinän levytettiin parven puolelta 9mm filmivanerilla (kuvassa 45). Parven väliseinä levytettiin pohjamaalatuilla rosteri-pelleillä (kuva42). Väliseinä täytettiin 40mm paksuilla Finfoam-eristelevyillä, jotka estävät peltilevyjen ”huminan”.

### 6.9 Parven tilat

Parven alapuolelle oikealle seinustalle asennettiin lavuaari. Parven alapuolinen-tila valaistaan pystyyn asennettavilla 150 cm pituisilla loisteputkivalaisimilla. Parvessa tullaan käyttämään seinä ja lattiavalaisimia. Väliaikaiset portaat valmistettiin höylätystä (250 mm \* 49 mm) puuprofiilista.



Kuva 42. Parven alapuolinen valaistus.

Hallioven kiskoja lyhennettiin ja sen pysäytysmekanismeja siirrettiin noin 50 cm (kuva 44), jotta väliseinä pystyttiin rakentamaan ja mekanismi ei rikkoisi ikkunaan. Tulevaisuudessa tullaan pyytämään tallirakennuksen päätyseinään (kuva 46) pohdittuun varauloskäyntiin rakennuslupaa.



## 6.10 Budjetti

Työssä pyrittiin mataliin rakenteen valmistus- ja materiaalikustannuksiin.

Säästöjä tarvikemateriaalikustannuksissa pystyttiin toteuttamaan jonkin verran. Vanerit ostettiin 2-laatuisina. Jonkin verran säästöjä saavutettiin myös tarvikkeiden hintavertailulla. Käytännössä tarvikkeet ostettiin tarpeen mukaan eri toimittajilta. Suurin ja isoin teräserä kilpailutettiin. Näin saatiin aikaan huomattavia säästöjä.

Työkalujen hankintakustannuksia ei laskettu budjetissa.

Teräsrakenteen kustannukset jakautuvat yleensä likimäärin seuraavasti:

materiaalit 38%

konepajavalmistus 27%

suunnittelu 13%

asennus 12%

pintakäsittely 10%

(Ruukki 1993.)

Parven valmistamisesta aiheutuneet materiaalikustannukset (luvut pyöristetty):

Teräkset 1 tilaus	100 €
Teräkset 2 tilaus	249€
Teräkset 3 tilaus	746€
Kuljetus	100€
Peltiseinä-levyt	50€
Hitsauspuikko P48S 2,5*350 4,2kg	31€
Filmivaneri 6kpl 15mm 1250*2500 2-llaatu	250€
Filmivaneri 3kpl 9mm 3x1250*2500 2-llaatu	97€
Viilupuu 4kpl 39*66*6000 ja 2kpl 39*66*6000	68€
Poraruuvi ZN TTAP20 200kpl	22€
Puuruuvit	18 €
Liimamassat	100€
Kuivabetoni C25 4*25kg	17€
Naulauskulmat	40€
Täkkipulttien aluslevyt	10€
Täkkipultit	30€
Ikkuna ja karmit	60€
Ovi	30€
Nosturin vuokraus	40€
Yhteensä	2058€

Lisäksi hankittiin työhanskoja, poranteriä, korjattiin työkaluja jne... Polttoaineita tai muita kustannuksia ei myöskään laskettu.

## 7 YHTEENVETO JA TYÖN ARVIOINTI

Työn tavoitteena oli parvirakenteen suunnittelu ja rakentaminen pienteollisuustilaan.

Rakenteen suunnittelu oli monimuotoinen projekti, jossa huomioonotettavia yksityiskohtia oli paljon. Rakenteen palkkien ja pilareiden profiileja mietetiin useista vaihtoehdoista. Solidworksin FEA –analyysi helpotti rakenteen osien valintaa. Lujuuslaskelmilla varmistettiin rakenteen mitoitus.

Parven rakennusvaiheita oli useita. Osassa työvaiheita tarvittiin vähintään kaksi henkilöä. Tarvikkeiden ja materiaalien hankinta vei aikaa. Materiaalien hankkiminen yhdessä erässä olisi ollut halvempaa ja nopeampaa. Suunnitelmia muutettiin ja hienosäädettiin projektin eri vaiheissa.

Pintakäsittelyä ei toteutettu ennen rakenteen asentamista, jonka vuoksi myöhemmin tehtävä rakenteen pintakäsittely tulee olemaan hankalaa. Lattiankannatinpalkkien profiilin paremmalla valinnalla olisi voitu saavuttaa noin 2 cm pienemmän lattiarakenteen paksuuden.

Tarkkaa aikataulua ei laadittu. Suurin osa suunnittelutyöstä toteutettiin keväällä 2015 ja parvirakenne valmistettiin kesällä 2015. Parven ja sen alapuolisen tilan seisomakorkeuksien maksimoinnissa onnistuttiin hyvin. Teräsrakenteiden suunnittelusta tuli hyvää kokemusta.

## LÄHTEET

B2BMetal 2015. Online marketplace. Viitattu 1.8.2015

<http://b2bmetal.eu>

Ksteel 2014. Teräsluettelo. Viitattu 3.9.2015

[http://ksteel.fi/wordpress/wp-content/uploads/2014/02/KSteel\\_tuoteluettelo\\_2014.pdf](http://ksteel.fi/wordpress/wp-content/uploads/2014/02/KSteel_tuoteluettelo_2014.pdf)

Portaat.info 2015. Viitattu 9.10.2015. <http://portaat.info>

Puuinfo 2015. Viitattu 5.11.2015. <http://puuinfo.fi/node/1513>

Rakentaja 2015. Mitoita portaat oikein. Viitattu 2.10.2015.

<http://rakentaja.fi/artikkelit/8533/mitoita-portaat-oikein.htm>.

Ruukki 1993. Hitsatut profiilit EN 1993 – käsikirja. Viitattu 8.8.2015

[http://software.ruukki.com/Handbooks+and+Guides/Ruukki-Hitsatut-Profiilit-Kasikirja-2010\\_PDF-versio.pdf](http://software.ruukki.com/Handbooks+and+Guides/Ruukki-Hitsatut-Profiilit-Kasikirja-2010_PDF-versio.pdf)

Solidworks 2015. FEA simulaatio. Viitattu 2.6.2015.

<http://solidworks.com/sw/products/simulation/structural-analysis.htm>.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL 1996. RIL 90-1996 Teräsrakenteiden suunnitteluohjeet.

Suomen Rakennusinsinööri Liitto RIL 2008. RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat.

Tekniikan kaavasto 2000. 4 painos. Tammertekniikka.

Tiehallinto 1999. Siltojen kuormat. Viitattu 12.8.2015 <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/skuoro00.pdf>

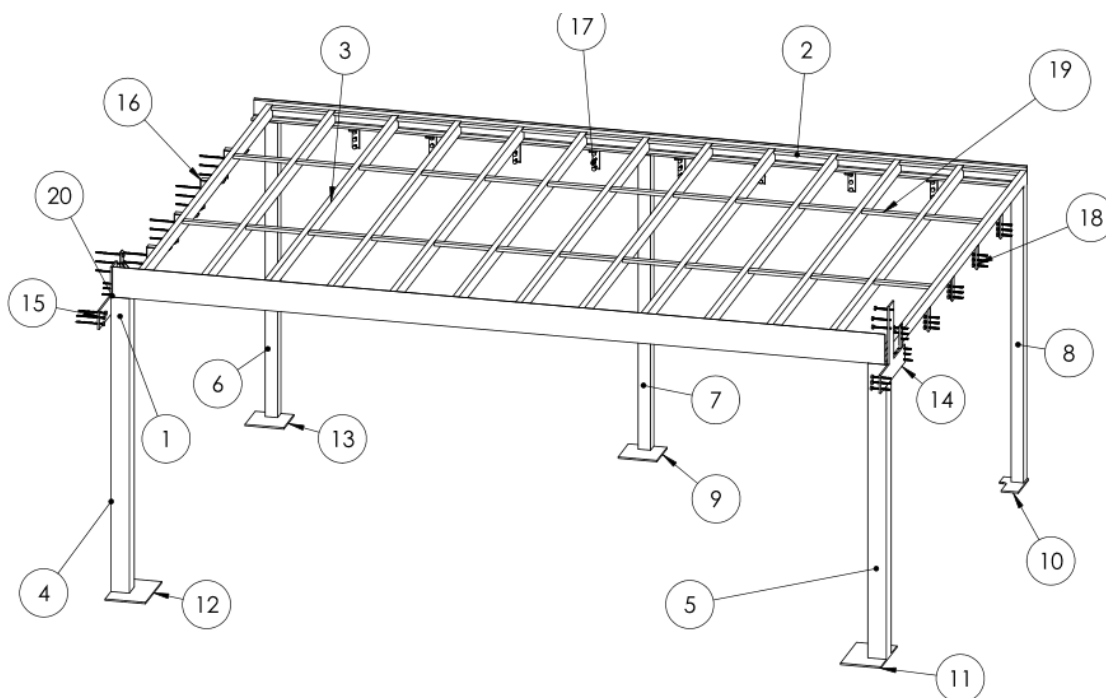
Valuatlas 2015. Viitattu 7.7.2015. [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/metals\\_aluminum\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/metals_aluminum_FI.pdf)

Välimaa, V. 2012. Koneenosien suunnittelu II monistemateriaali (TurkuAMK).

Wikipedia 2015. Finite element method. Viitattu 22.10.2015 [http://en.wikipedia.org/wiki/Finite\\_element\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Finite_element_method).

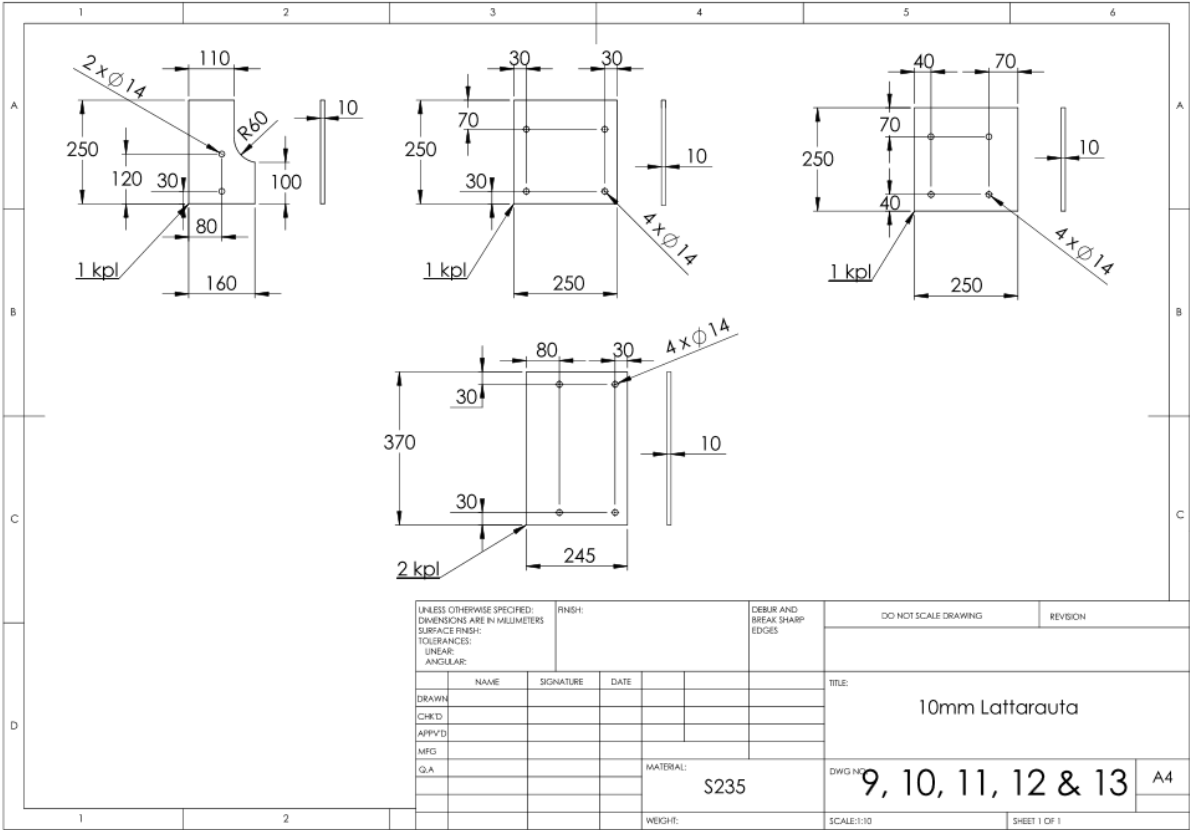
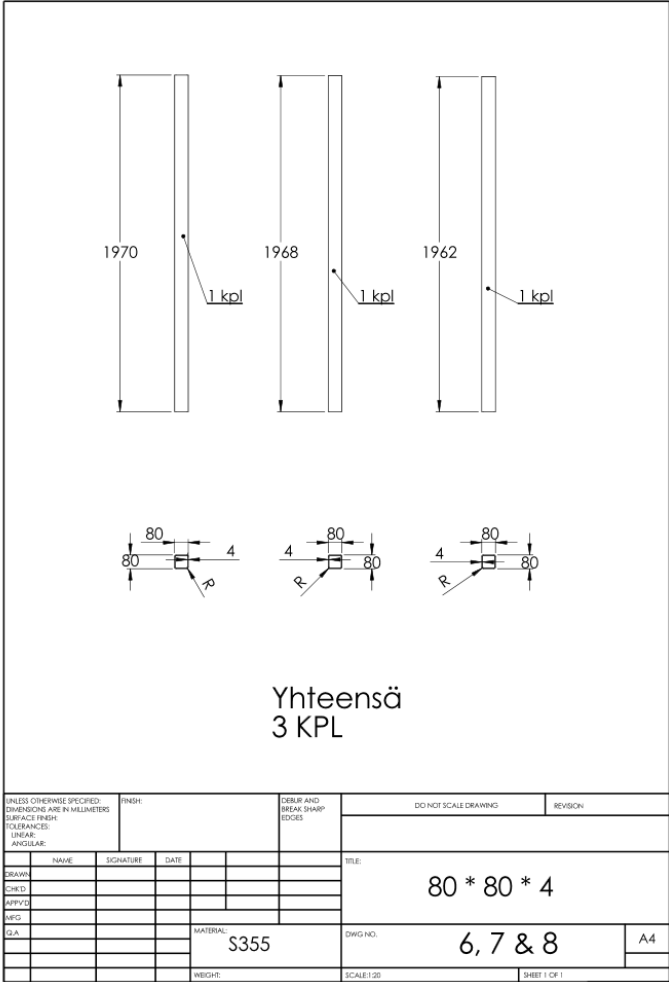
## Parvirakenteen osakuvat ja piirustukset

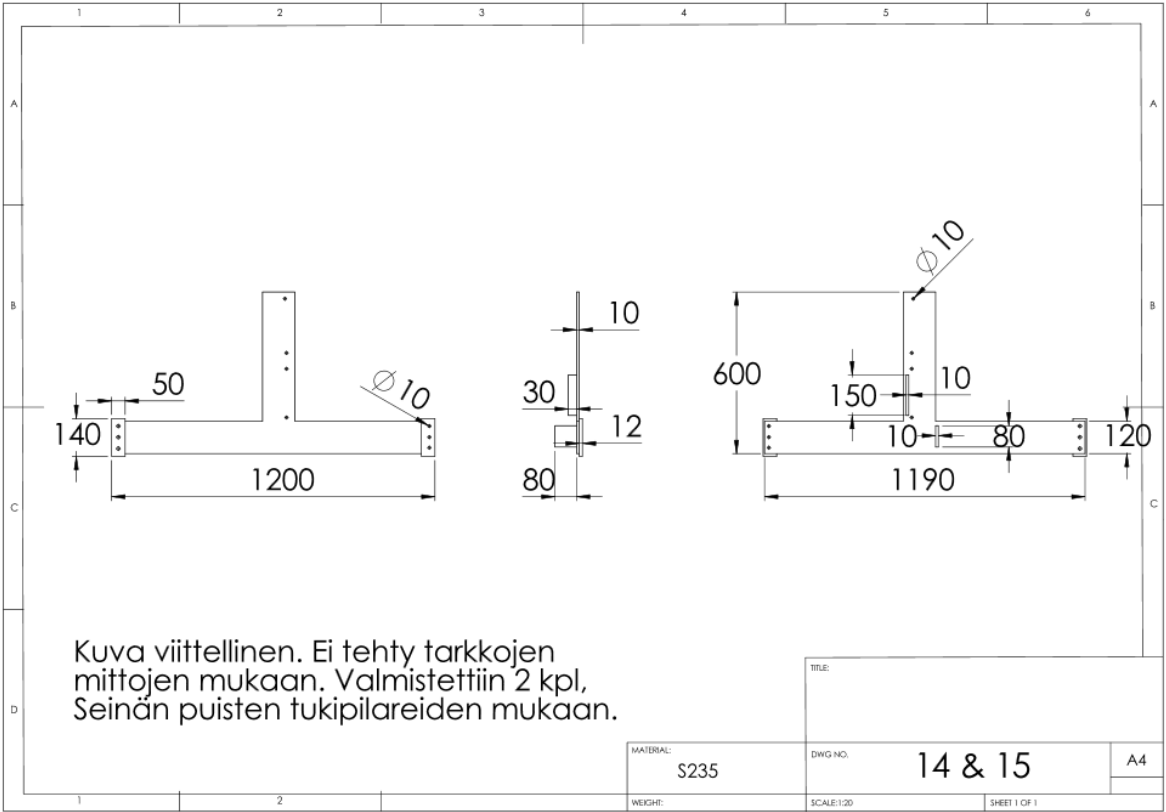
Rakenne on kuvattu ilman sen päälle asennettuja vanerilevyjä, sekä etureunaan tehtyä puukehikkoa. Vanerit ovat ainevahvuudeltaan 15 mm, molemmin puolin päällystettyä koivufilmivaneria. Koivuvanerit ovat ruuvattu sekä liimattu teräsraakenteen 13 pitkittäiseen tuki pilariin.



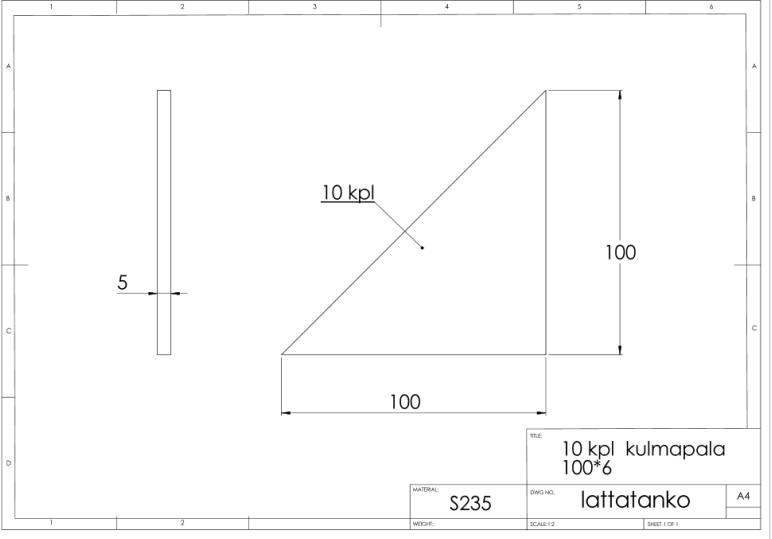
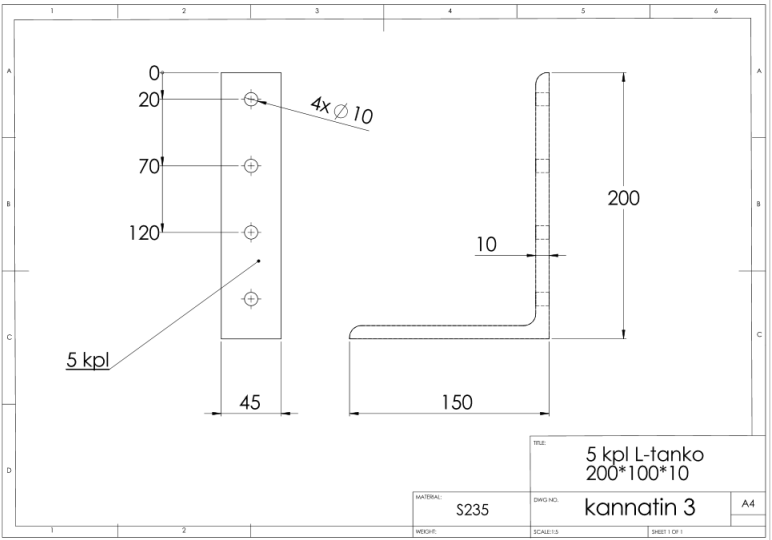
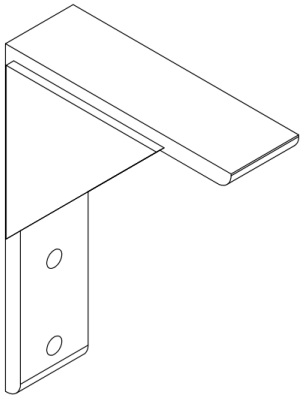
- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. Etummainen L-palkki         | 11. Oikea etummainen aluslevy    |
| 2. Takimmainen L-palkki        | 12. Vasen etummainen aluslevy    |
| 3. Lattian kannatinpalkki      | 13. Vasen takimmainen aluslevy   |
| 4. Vasen etupilari             | 14. Oikea pilarin seinäkiinnitin |
| 5. Oikea etupilari             | 15. Vasen pilarin seinäkiinnitin |
| 6. Keskimmäinen takapilari     | 16. Vasen seinäkiinnitin         |
| 7. Oikea takapilari            | 17. Takimmainen seinäkiinnitin   |
| 8. Oikea etupilari             | 18. Oikea seinäkiinnitin         |
| 9. Keskimmäinen aluslevy       | 19. Poikittainen lattiankannatin |
| 10. Oikea takimmainen aluslevy | 20. Etupilarin lätkä             |



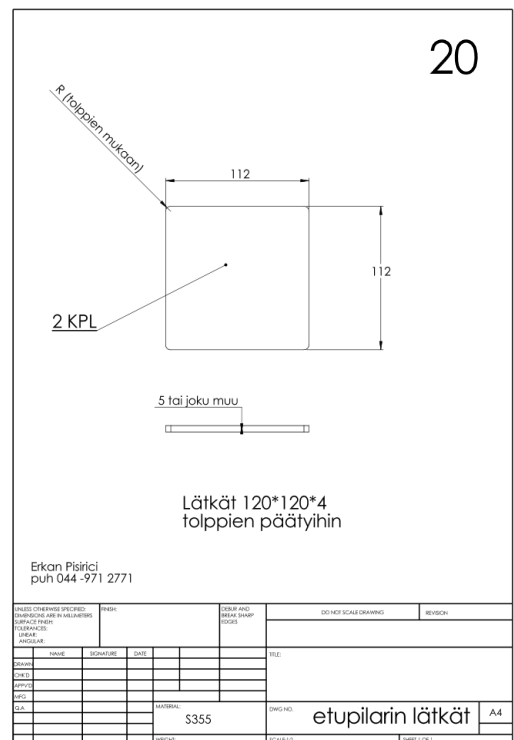
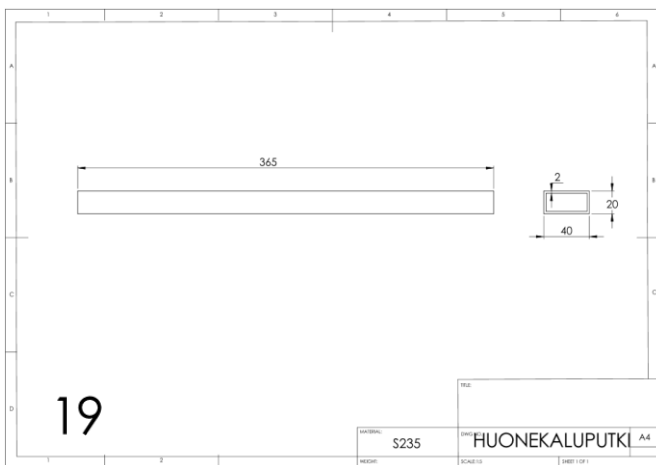
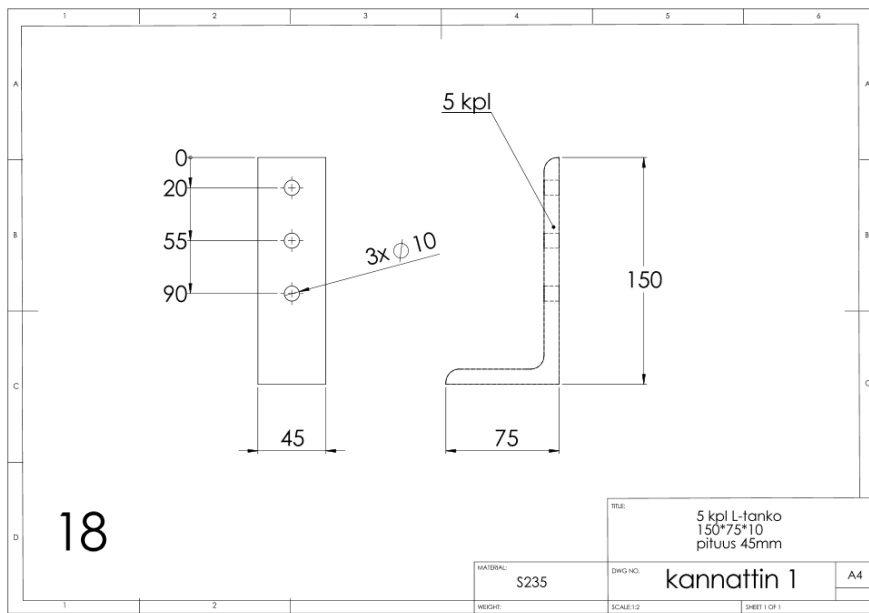
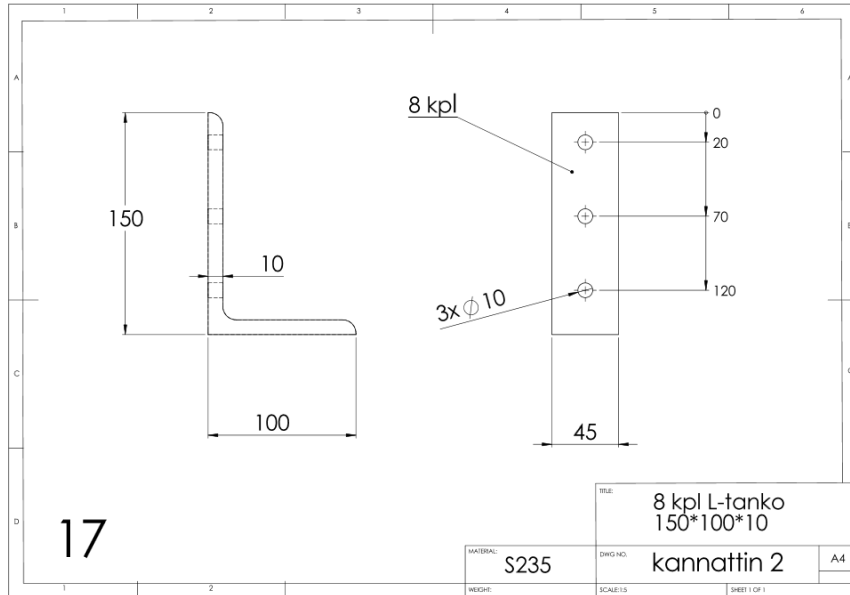




16

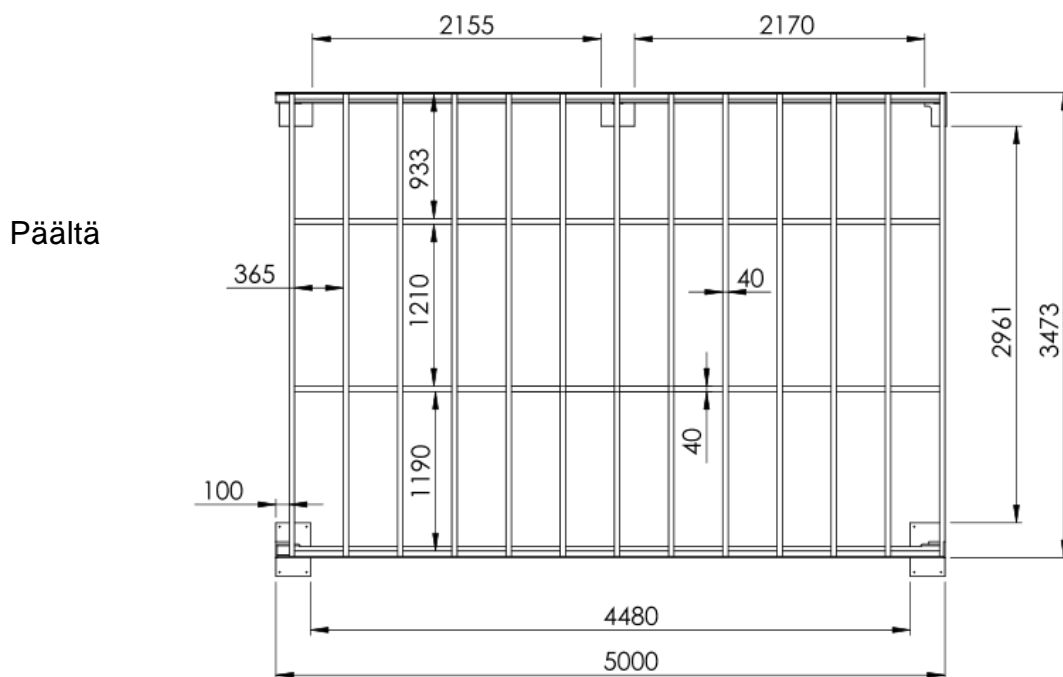
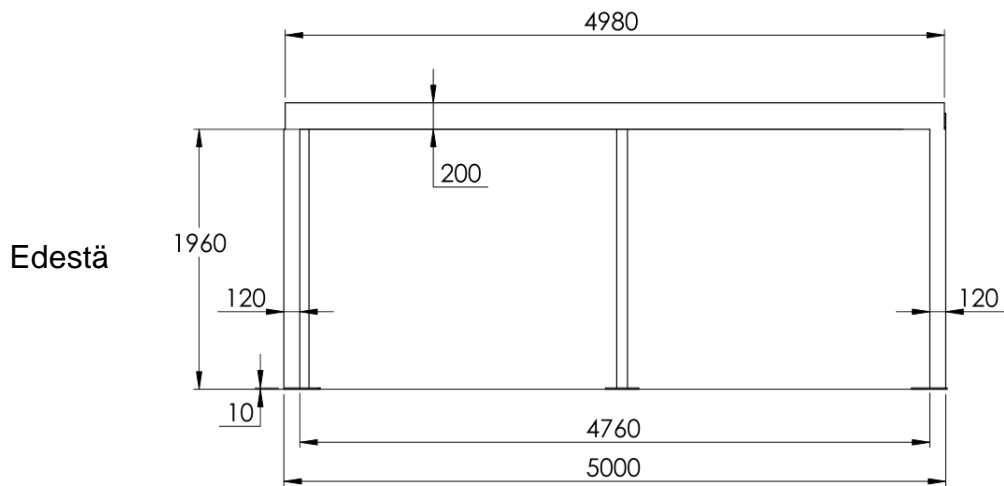




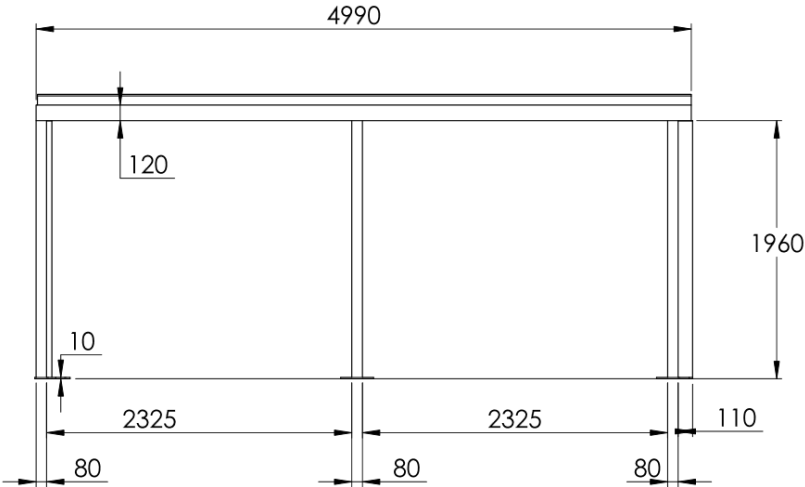


## Rakenteen mitat

Kuvien selkeyttämisen takia vain tärkeimmät mitat on merkattu. Hitsausmerkintöjä tai toleransseja ei tehty.



Takaa



Sivulta

