



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Matti Kääntä

HAKEVARASTON LAAJENNUS

Suunnittelusta toteutukseen

Tekniikka ja liikenne
2014

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Matti Kääntä
Opinnäytetyön nimi	Hakevaraston laajennus, suunnittelusta toteutukseen
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	50 + 11 liitettä
Ohjaaja	Tapani Hahtokari

Opinnäytetyö suoritettiin WSP Finland Oy:n suunnittelutoimistossa Ylivieskassa. Rakennesuunnittelun kohteena oli Herrfors Oy:n hakevaraston laajennus. Voimalaitos pyrkii lisäämään hakkeen käyttöä polttoprosessissa ja tämän myötä syntyi tarve varaston laajentamiselle.

Työhön kuului teräsrakenteisen hakevarastohallin statiikan ratkaiseminen ja tuotantoon vaadittavien piirustusten laatiminen. Vanhan varastohallin piirustuksia voitiin käyttää hyväksi suunnittelussa. Hakevaraston laajennus toteutettiin heti rakennesuunnitelmien valmistuessa.

Opinnäytetyössä hahmotellaan miten kuormat muodostuvat ja että miten suunnitteluohjelmia voidaan hyödyntää rakennesuunnittelussa. Rakennesuunnittelussa käytettiin Staad-, Autocad-, ja Tekla Structures -ohjelmistoja. Ohjelmien avulla projekti saatiin valmiiksi tiukassa aikataulussa.

Suunnittelutyön ohella kävimme tarkkailemassa työmaan kehitystä. Työmaakäyntien avulla sai käsityksen koko rakennushankkeesta ja sen eri vaiheista. Osa näistä työmaakäynneistä ja niiden sisällöstä on esitetty opinnäytetyössä. Rakennuksen laskelmat ja rakennesuunnitelmat on pyritty esittämään suunnitteluvaiheessa tehtyjen ratkaisujen ja menetelmien mukaisesti. Näin lukijalle syntyy käsitys rakennesuunnittelun sisällöstä.

ABSTRACT

Author	Matti Kääntä
Title	Extension of a Wood Chip Warehouse, From Planning to Implementation
Year	2014
Language	Finnish
Pages	50 + 11 Appendices
Name of Supervisor	TapaniHahtokari

This thesis was done at the WSP Finland Oy design office in Ylivieska. The subject of this thesis was the extension of a wood chip warehouse for Herrfors Oy. The plant aims to increase the use of wood chips in their combustion process. Therefore they were in need of an extension for their wood chip storage.

The thesis included static calculations and creation of drawings which were needed in the production of the steel warehouse. The drawings of the old warehouses were used as a help for the construction planning. The extension of the warehouse was built as soon as the construction design was finished.

This thesis includes information on how different loads are formed and how different kind of programs can be used in planning. Programs, such as Staad, Autocad and Tekla Structures were used in the structural planning. By using these programs the designing process progressed on a tight schedule.

In addition to the design work visits to the site were made to observe the development. The site visits helped to gain an impression of the entire construction project and its various stages. Some of these site visits are presented in this thesis. Calculations and construction plans for this building are presented as they were at the time of designing. This way the reader can get a good idea of the structural designing.

Keywords	Structural design, steel warehouse, expansion, wood chip warehouse
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	HANKKEEN OSAPUOLIEN ESITTELY	10
	2.1 Herrfors Oy - Vieskan voima.....	10
	2.2 Rakennus Saarela Oy	10
	2.3 WSP Finland Oy	10
	2.4 Kalajoen teollisuusrakenne Oy	11
3	RAKENTEEN KUVAUS	12
	3.1 Vanha hakevarasto	12
	3.2 Uusi hakevarasto	12
4	KOKOUKSET JA NEUVOTTELUT	14
	4.1 Aloituskokous	14
	4.2 Työmaakäynnit	15
	4.3 Toimistopalaverit	15
	4.4 Puhelinneuvottelut	16
5	STATIIKAN RATKAISEMINEN.....	17
	5.1 Standardit ja kuormitukset	17
	5.1.1 Rakenteen oma paino	17
	5.1.2 Lumikuorma	18
	5.1.3 Tuulikuorma.....	21
	5.1.4 Lisävaakavoima.....	31
	5.2 Staad-laskentamalli	33
	5.3 Katto-orsien määrittäminen	34
	5.4 Katon kantavan peltiprofiilin määrittäminen	35
	5.5 Liitokset	35
	5.5.1 Perustusten liitokset	36
	5.5.2 Rakennusta jäykistävät sideliitokset	36
	5.5.3 Ristikon liitokset	37
	5.6 Muita rakenteellisesti huomioitavia asioita	39
6	RAKENNEMALLINNUS	42

	5
6.1 Tekla Structures -mallin luominen.....	42
6.2 Basic-suunnittelu.....	43
6.3 Detalji-suunnittelu.....	43
6.4 Piirustukset.....	45
6.4.1 Osakuvat.....	46
6.4.2 Kokoonpanokuvat	46
6.4.3 Teräsrakenteiden asennuspiirustus.....	46
6.4.4 Kuorikaavio.....	47
6.5 Kiinnikeluettelo.....	47
6.6 Piirustusluettelo.....	47
7 TYÖN AIKATAULU	48
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	49
LÄHTEET	50
LIITTEET	

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	Hakevaraston muoto rakennusvaiheessa	s. 13
Kuva 2.	Oletettu rakenne	s. 15
Kuva 3.	Lumen ominaisarvo s_k maan pinnalla	s. 19
Kuva 4.	Pulpettikaton lumikuorman kuormituskaavio	s. 19
Kuva 5.	Lumikuorman muotokertoimet	s. 20
Kuva 6.	Pintoihin kohdistuva paine	s. 21
Kuva 7.	Valittu maastoluokka	s. 24
Kuva 8.	Nopeuspaineen profiilin muoto	s. 25
Kuva 9.	Aukkosuhteen funktio	s. 25
Kuva 10.	Pystyseiniä vyöhykekaavio	s. 27
Kuva 11.	Seiniä painekertoimien C_{pe} suuruudet tuulen kohdistuessa pitkälle seinälinjalle	s. 27
Kuva 12.	Seiniä painekertoimien C_{pe} suuruudet tuulen kohdistuessa lyhyelle seinälinjalle	s. 28
Kuva 13.	Seiniä painekertoimien C_{pi} suuruudet tuulen kohdistuessa muille seinälinjoille	s. 28
Kuva 14.	Seiniä painekertoimien C_{pi} suuruudet tuulen kohdistuessa avonaiselle seinälinjalle	s. 29
Kuva 15.	Harjakaton C_{pe} painekertoimien suuruudet tuulen kohdistuessa lyhyelle seinälle	s. 29
Kuva 16.	Harjakaton C_{pe} painekertoimien suuruudet tuulen kohdistuessa pitkälle seinälle	s. 30
Kuva 17.	Stabiloivan voiman vaikutus kuvan 5.6 mukaisesti	s. 32

Kuva 18.	PurCalc-ohjelman tulokset	s. 35
Kuva 19.	Pilarin liitos sokkeliin	s. 39
Kuva 20.	Runkojen välinen liitos	s. 40
Kuva 21.	Vanhan rungon tuenta	s. 41
Kuva 22.	Tekla Structures -mallin projektiasetukset.	s. 43
Kuva 23.	Makron avulla suunniteltu liitos	s. 44
Kuva 24.	Yläpaarteen valureikä	s. 44
Kuva 25.	Selection filter -työkalu	s. 45
Taulukko 1.	Rakennesuunnittelun standardit ja ohjaava kirjallisuus	s. 17
Taulukko 2.	Tuulensuojaisuuskerroin C_e	s. 20
Taulukko 3.	Nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(Z)$ eri maastoluokissa	s. 24
Taulukko 4.	Ulkopuolisen paineen kertoimet	s. 26
Taulukko 5.	Kuormayhdistelyt	s. 34

LIITELUETTELO

LIITE 1. Staad-laskentaraportti

LIITE 2. Ruukki Poimu -laskentaraportti

LIITE 3. Putkipilarin yksinkertaistettu hitsin mitoitus

LIITE 4. Siteiden liitokset

LIITE 5. Kattoristikon päätylevyliitos

LIITE 6. Kattoristikon sideliitos

LIITE 7. Osakuva

LIITE 8. Kokoonpanokuva

LIITE 9. Teräsrakenteiden asennuspiirustus

LIITE 10. Poimulevykaavio

LIITE 11. Kiinnikeluettelo

LIITE 12. Tekla Structures -suunnitelma ja valmis rakennus

1 JOHDANTO

Rakennesuunnittelun kohteena oli Herrfors Oy:n kaukolämpövoimalaitoksen hakevaraston laajennus. Voimalaitos pyrkii lisäämään hakkeen käyttöä poltto-prosessissa ja tämän myötä syntyi tarve varaston laajentamiselle.

Rakennus Saarela Oy:n toimintaan kuuluu Autocad-piirustusten laatiminen työmaalle, mutta erillisellä suunnittelutoimistolla on paremmat resurssit toteuttaa rakennesuunnitelmat konepajalle. Tämän johdosta rakennesuunnittelu päätettiin ulkoistaa erilliselle rakennesuunnittelutoimistolle.

Rakennesuunnittelu on toteutettu WSP Finland Oy:n suunnittelutoimistossa syksyllä 2013. WSP Finland Oy:n toiminta on maailmanlaajuisesti tunnettua ja se on tälläkin hetkellä suomen kymmeneksi suurin rakennesuunnittelutoimisto. Suunnittelutoimiston isommat projektit kohdistuvat ulkomaille, mutta myös pieniä kotimaisia suunnittelukohteita otetaan aika-ajoin vastaan.

Rakennesuunnittelussa käytettiin rakenteiden mitoitukseen kaupallista FEM-laskentaohjelmaa, jonka nimi on StaadPro. Ohjelman käyttöön on perehdytetty aikaisempien kesätöiden ohessa. Tämän lisäksi apuna oli yrityksen sisäiseen käyttöön tarkoitetut käyttöoppaat ja SFS-standardit. /15/

Piirustusten tekeminen toteutettiin Tekla Structures -ohjelmalla, johon WSP Finland Oy:n toiminta on painottunut. Kaikki teräsrakenteiden suunnitelmat ja piirustukset saatiin tehtyä tällä kyseisellä ohjelmalla.

Suunnitteluvaiheessa tehtiin paljon yhteistyötä Rakennus Saarela Oy:n kanssa, joten urakoitsijan näkemykset ja toiveet tulivat hyvin esille. Yhteistyön merkeissä pääsin näkemään rakennushankkeen kehitysprosessin työmaalla ja myöhemmin lopullisen suunnittelukohteen valmistumisen.

2 HANKKEEN OSAPUOLIEN ESITTELY

2.1 Herrfors Oy – Vieskan voima

Herrfors kaukolämpövoimalaitos toimi tämän projektin tilaajana. Voimalaitos sijaitsee Ylivieskassa keskustan kupeessa. Voimalaitos tarjoaa kaukolämpöpalveluita Ylivieskan seudulla.

Kaukolämmön lisäksi Vieskan voima tuottaa sähköä ja teollisuuden prosessihöyryä. Voimalaitos tuottaa sähköenergiaa noin 6,2 MW. Prosessihöyryä siirretään Raision rehutehtaalle, jossa sitä tarvitaan rehun rakeistukseen.

Turpeen käytön vähentämisellä voimalaitos polttaa noin 45 % haketta ja 55 % turvetta. Poltettava hake on vuoden vanhaa ja sen kosteuspitoisuus on 35–45%. Hakevarastoissa ei ole mekaanista kuivatuslaitteistoa. Arinakattilassa voidaan polttaa myös kierrätyspuuta ja palaturvetta. /3/

2.2 Rakennus Saarela Oy

Rakennus Saarela on kokenut rakennusalan osaaja, joka toimi tämän projektin urakoitsijana. Sen toimialueena ovat Oulu ja Keski-Suomen läänit ja se on keskittänyt toimintansa asuin-, liike-, teollisuusrakennuksiin ja julkiseen rakentamiseen. Tämän lisäksi yritys suorittaa saneerauksia ja peruskorjauksia. Rakennus Saarelan toimisto sijaitsee Ylivieskassa, joten toimistotapaamisten sopiminen oli vaivatonta. /15/

2.3 WSP Finland Oy

WSP Finland on suunnitteluyritys, joka vastasi tämän projektin rakenne-suunnittelusta. Se on aloittanut toimintansa virallisesti vuonna 2007, jolloin siihen yhdistyi monta eri toimistoa:

- WSP LT-Konsultit Oy
- WSP Suunnittelu KORTES Oy
- WSP Tutkimus KORTES Oy
- Gridpoint Finland Oy:n liiketoiminta (WSP Gridpoint).
- Ins. toimisto Pekka Heikkilä Oy
- WSP Environmental Oy

Se tarjoaa tutkimus-, suunnittelu-, konsultointi- ja muotoilupalveluja yhdyskunta- ja rakennesuunnitteluun sekä korjausrakentamiseen. Työntekijöitä on noin 350 ja yhtiön liikevaihto oli 30 miljoonaa euroa vuonna 2012. Suomessa on toimistoja Helsingissä, Oulussa, Tampereella ja Jyväskylässä. /13/

Näiden toimistojen lisäksi on olemassa pienempiä etäpisteitä. Yksi näistä etäpisteistä oli Ylivieskassa, jossa tämä opinnäytetyö on suoritettu. Ylivieskan toimisto on tällä hetkellä suljettuna työntekijöiden siirryttyä muihin työtehtäviin.

2.4 Kalajoen teollisuusrakenne Oy

Kalajoen teollisuusrakenne on kokenut konepaja, jonka tehtävänä oli teräsrakenteiden valmistaminen työmaalle. Sen toimialaan kuuluu teräsrakenteiden toteuttamisen lisäksi myös suunnittelua ja alihankintatöitä. Työt toteutetaan ISO 9001-laadunhallintajärjestelmän mukaisesti. Yritys sijaitsee Kalajoella hyvien kuljetusyhteyksien lähellä ja sen toiminta on painottunut Pohjois-Pohjanmaalle. /14/

3 RAKENTEEN KUVAUS

Hakevaraston laajennus suunniteltiin vanhan hakevaraston kylkeen kiinni. Tämän myötä pystytään hyödyntämään vanhan hallin hakkeen ja turpeen siirtämiseen tarkoitettua nousukuljetinta. Teräsrakenteisen hallin suunnittelemisen vanhan hallin kylkeen kiinni tuottaa kuitenkin muita huomioon otettavia tekijöitä. Tämän takia on kuvattu myös vanhan hallin rakenteita.

3.1 Vanha hakevarasto

Vanhan hakevaraston kantavat rakenteet ovat teräsrakenteisia. Rakennus on perustettu betoniperustuksille, jotka oletetaan laskennassa siirtymättömiksi. Hakevaraston toinen pääty on jätetty avoimeksi, jonka kautta voidaan kuljettaa haketta. Rungon jokainen liitos on tehty hitsaamalla ja rakenteen jäykistäminen on toteutettu leveyssuunnassa mastopilareilla ja pituussuunnassa seinäsiteillä. Kehärakenne, seinäsiteet ja katto-orret ovat RHS profiilia.

Seinärakenteet ovat paikoittain vinossa. Tämä voi johtua mahdollisista törmäyksistä hakkeen siirtämisvaiheessa. Mittatarkkuuteen ja seinien vinouteen vaikuttaa myös se että hakevarasto on aikanaan hitsattu paikan päällä. Vinot seinärakenteet tulee ottaa huomioon uutta teräshallia suunniteltaessa.

3.2 Uusi hakevarasto

Uusi hakevarasto on perustettu toiselta puolelta vanhan hakevaraston betoniperustuksille. Toiselle puolelle on tehty omat betoniperustukset mastopilareille. Tämänkin hallin toinen pääty on jätetty avoimeksi.

Kehärakenne ja seinäsiteet ovat putkiprofiilia CFRHS. Katto-orret ovat kuumasinkittyjä Z-orsia, joiden profiilit ovat Z20025 ja Z15015. Pienempää profiilia on käytetty katon jyrkällä osuudella kattorakenteen tukemiseksi.

Kattoprofiilina on kantava poimulevy T45 30L 905. Julkisivun verhouksessa on käytetty poimulevyn profiileja T45 30 905 ja T20 30 1090.

Rakennuksen jäykistäminen on toteutettu toiselta sivulta mastopilareilla. Tämän lisäksi rakenne toimii kattotuolien osalta kehärakenteena. Kattotuolien alapaarteet on tuettu sivusuunnassa kahdella linjalla ja pitkillä sivuilla on käytetty seinäsiteitä rakennuksen jäykistämiseksi. Toisella seinällä on neljä metriä korkea betoniseinä, joka on ankkuroitu mastopilareihin. Seinäside on jätetty tällä sivulla pois, sillä raudoitettu betoniseinä jäykistää rakennusta pituussuunnassa.



Kuva 1. Hakevaraston muoto rakennusvaiheessa.

4 KOKOUKSET JA NEUVOTTELUT

Kokouksia ja neuvotteluita järjestettiin vähän, sillä rakennuskohde oli niin pieni. Tarvittaessa otettiin urakoitsijaan tai konepajaan yhteyttä, jonka jälkeen tavattiin WSP:n toimitiloilla tai työmaalla. Puhelinneuvottelut ovat nopea tiedonlähde yksinkertaisissa asioissa.

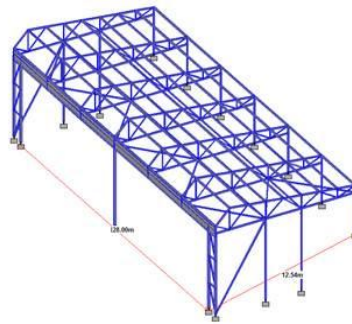
4.1 Aloituskokous

Aloituskokouksessa oli mukana hankkeen osapuolista urakoitsija ja rakennesuunnittelija. Tämän tapaamisen tarkoituksena oli kartoittaa hankkeen muutokset, vastualueet ja työtehtävät. Ensimmäisenä päätimme rakennesuunnittelijalle kuuluvat työtehtävät hankkeesta.

Ensimmäinen työtehtävä oli väliaikaisen tuennan suunnitseminen betoniseinään tulevalle oviaukolle, jonka jälkeen aloitettiin hakevaraston laajennuksen suunnitseminen. Uuden hakevarastonrakennesuunnitteluun kuului teräsrakenteiden laskenta ja suunnittelu eli konepajakuvien, poimulevykaavion ja niiden asennukseen tarvittavien piirustusten luominen. Rakennesuunnittelun sisältöön ei kuulunut pellitysosien ja sadevesijärjestelmien suunnittelu.

Teräsrakenteisen hakevaraston suljettuun päätyyn tuleva puurakenteinen katos kuului urakoitsijan suunniteltavaksi. Tämän lisäksi myös betonirakenteiden suunnitseminen kuului urakoitsijalle. Tässä voitiin käyttää hyödyksi vanhan hakevaraston suunnitelmia.

Aluksi oletettiin, että hakevarasto on pitkältä sivulta avonainen, mutta aloituskokouksessa paljastuikin, että oviaukko rakennetaan rakennuksen päätyyn. Tämän lisäksi lattian betonivalun kaadot oli toteutettu eri kaltevuuteen kuin urakoitsija oli suunnitellut. Tämä vaikutti lähtötietoina saatujen piirustusten joihinkin korkomerkitöihin, mutta se ei tuottanut muita ongelmia.



Kuva 2. Oletettu rakenne.

Aloituskokouksen jälkeen siirryttiin työmaalle, joka oli noin kahden kilometrin päässä suunnittelutoimistolta. Työmaalla voitiin tarkastella toimistolla käsiteltyjä asioita.

4.2 Työmaakäynnit

Työmaalla voitiin keskittyä asioihin, joista ei voitu saada varmuutta toimistolta käsin. Työmaalla tarkastettiin mitat ja tutkittiin vanhan hakevaraston rakenteita ja niiden kuntoa. Uusi hakevarasto perustettiin vanhan hallin perustuksille ja tämän takia perustusten kunto tuli tarkastaa ja ottaa huomioon.

Työmaakäynnit auttoivat hahmottamaan hankkeessa huomioon otettavia seikkoja. Työmaakäyntejä oli helppo järjestää, sillä työmaa oli lähellä. Tämän johdosta hankkeessa pysyi myös paremmin ajan tasalla.

4.3 Toimistopalaverit

Toimistopalaverit helpottivat asioiden käsittelyä. Puhelimen välityksellä voidaan käsitellä tietoja pintapuolisesti, mutta rakennesuunnittelussa on monta huomioon otettavaa asiaa. Palaverit järjestettiin rakennesuunnittelutoimisto WSP:n tiloissa Ylivieskassa. Tällöin voitiin näyttää Tekla Structures -rakennemallista

urakoitsijalle suunnitelmia. Rakennemallia läpi käytäessä urakoitsijan näkemykset tulivat myös hyvin esille. Ongelmakohtat ja tarvittavat muutokset voitiin kartoittaa tämän myötä paremmin. Palaverien mahdollisuutta kannattaa käyttää hyväksi, varsinkin jos työmaa sijaitsee lähellä suunnittelutoimistoa.

Rakennesuunnittelutoimiston sisäistä kommunikointia kannattaa hyödyntää projektin kehittyessä. Toisen rakennesuunnittelijan mielipiteellä on merkitystä ja varsinkin silloin jos muut suunnittelijat ovat kokeneempia rakennesuunnittelussa. Mielipiteen kysyminen saattaa viedä toiselta suunnittelijalta hetken, mutta se kannattaa.

4.4 Puhelinneuvottelut

Puhelimen välityksellä tapahtuvan neuvottelun merkitys korostuu varsinkin jos työmaa sijaitsee kaukana. Tässä neuvottelumuodossa on hyvä osata käyttää ammattitermejä, sillä se helpottaa neuvottelun kulkua. Asiat tulee esittää mahdollisimman selkeästi, jotta molemmilla on sama käsitys ongelmasta ja sen ratkaisemisesta. Puhelinneuvottelun tukena kannattaa käyttää esim. yhteistä sähköpostiviestiä tai piirustusta, sillä se myös helpottaa neuvottelun kulkua. Puhelinneuvottelussa on huomattavasti suurempi riski ymmärtää asia väärin kuin toimistopalaverissa.

5 STATIIKAN RATKAISEMINEN

5.1 Standardit ja kuormitukset

Seuraavassa taulukossa on esitetty määrääviä standardeja ja suunnittelua ohjaavia opuksia, joita on pyritty noudattamaan rakennesuunnittelun yhteydessä. Standardeista saadaan selville mm. kuormat, jotka asetetaan Staad-laskentaohjelmaan statiikan ratkaisemiseksi.

Taulukko 1. Rakennesuunnittelun standardit ja ohjaava kirjallisuus.

Teräsrakenteiden suunnittelu; yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt	SFS-EN-1993-1-1:2005
Teräsrakenteiden suunnittelu; Yleiset säännöt, lisäsäännöt kylmämuovatuille sauvoille ja levyille	SFS-EN-1993-1-3:2006
Teräsrakenteiden suunnittelu; Liitosten mitoitus	SFS-EN-1993-1-8:2005
Rakenteiden kuormat; yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino	SFS-EN-1991-1-1:2002
Rakenteiden kuormat; yleiset kuormat, Lumikuormat	SFS-EN-1991-1-3:2004
Rakenteiden kuormat; yleiset kuormat, tuulikuormat	SFS-EN-1991-1-4:2011
Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat	RIL 201-1:2011
Ruukki käsikirja 2012; Rakenneputket	EN 1993
Ruukki käsikirja 2012; Hitsatut profiilit	EN 1993

5.1.1 Rakenteen oma paino

Staad-laskentaohjelmalla voidaan ratkaista rakenteiden oma paino tarkasti, mutta on eräitä rakenteita, joita tulee arvioida käsin laskemalla. Tämän kohteen kehäraakenteiden ja seinäsiteiden paino saadaan laskettua Staad-laskentamallin

avulla, mutta katolle tulevien orsien ja rakennuksen peltiprofiilien paino tulee arvioida itse.

Katon peltiprofiili on valittu Rautaruukin Poimu-mitoitusohjelmalla. Ohjelman laskujen mukaan valitaan kantavaksi profiiliksi T45-30-905. Tämän ohjelman avulla saadaan selville rakenteen oma paino, joka on laskennan mukaan $4,88 \text{ kg/m}^2$. Kuorma lasketaan katto-orsille seuraavalla tavalla.

$$(4,88 \text{ kg/m}^2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 1,55 \text{ m})/1000 = 0,075 \text{ kN/m}$$

Painoon on lisätty kuormaa katto-orsien, peltiprofiilien ja mahdollisten muutostöiden takia.

$$0,075 \text{ kN/m} + (0,4 \text{ kN/m}^2 * 1,55 \text{ m}) = 0,62 \text{ kN/m}$$

5.1.2 Lumikuorma

Kattorakenne on yksinkertaistettu laskennassa pulpettikatoksi, sillä jyrkän kaltevuuden osuus on pieni. Pulpettikattorakenteena lumikuorman ominaisarvo on myös varman puolella, sillä jyrkälle osuudelle ei kinostu todellisuudessa niin paljon lunta kuin loivalle osuudelle. Lumikuorman mitoittamiseksi käytetään seuraavaa kaavaa. /10, 94/

$$S = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (1)$$

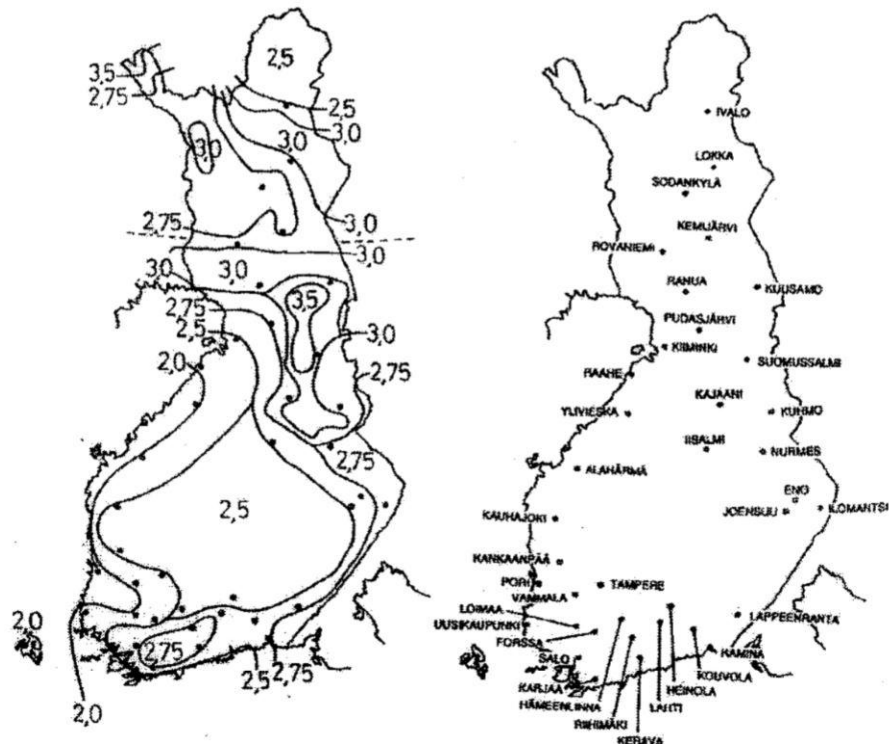
missä

μ_i on lumikuorman muotokerroin

s_k on paikkakunnan maassa olevan lumikuorman ominaisarvo [kN/m^2]

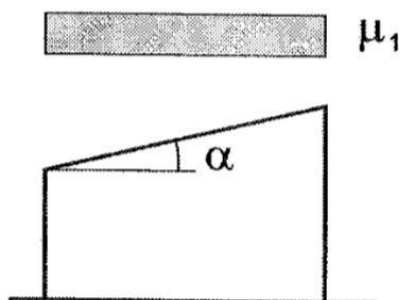
C_e on tuulensuojaiskerroin (1,0 tai 0,8)

C_t on lämpökerroin, yleensä 1,0.

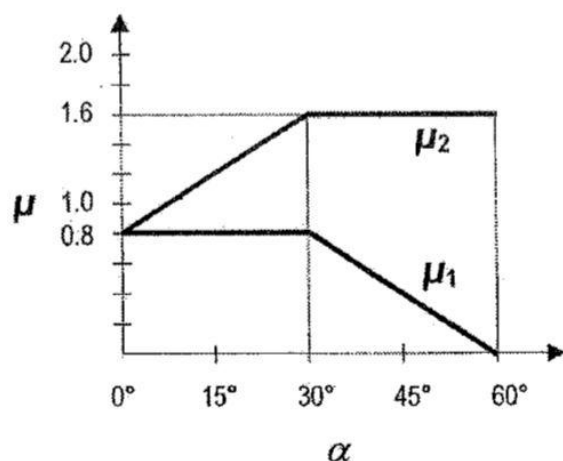


Kuva 3. Lumen ominaisarvo s_k maan pinnalla. /10, 112/

Lumikuorman muotokerroin μ_i saadaan ratkaistua seuraavista kuvioista.



Kuva 4. Pulttikaton lumikuorman kuormituskaavio. /10, 95/



Kuva 5. Lumikuorman muotokertoimet. /10, 96/

Tuulensuojaiskerroin C_e saadaan ratkaistua seuraavalla taulukolla. Maastotyyppi on rakennuskohteessa normaali. Kertoimena käytetään tavallisesti arvoa 1,0.

Taulukko 2. Tuulensuojaiskerroin C_e . /8, 28/

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen ^a	0,8
Normaali ^b	1,0
Suojainen ^c	1,2

^a *Tuulinen maasto:* laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.
^b *Normaali maasto:* alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.
^c *Suojainen maasto:* alue, jolla tarkasteltava rakennuskohde on huomattavasti alempana kuin ympäröivä maasto tai se on korkeiden puiden tai itseään korkeampien rakennuskohteiden ympäröimä.

Katolle tulevan lumikuorman laskeminen

Ylivieskassa maanpinnalla olevan lumikuorman ominaisarvo s_k on $2,0 \text{ kN/m}^2$. Lumikuorman muotokerroin μ_i saadaan ratkaistua kuvioista 3 ja 4. Katon kaltevuus on noin 6° , joten lumikuorman muotokerroin on 0,8. Lämpökertoimena on käytetty arvoa 1,0. Näillä tiedoilla voidaan ratkaista katolle tulevan lumikuorman ominaisarvo käyttämällä kaavaa (1).

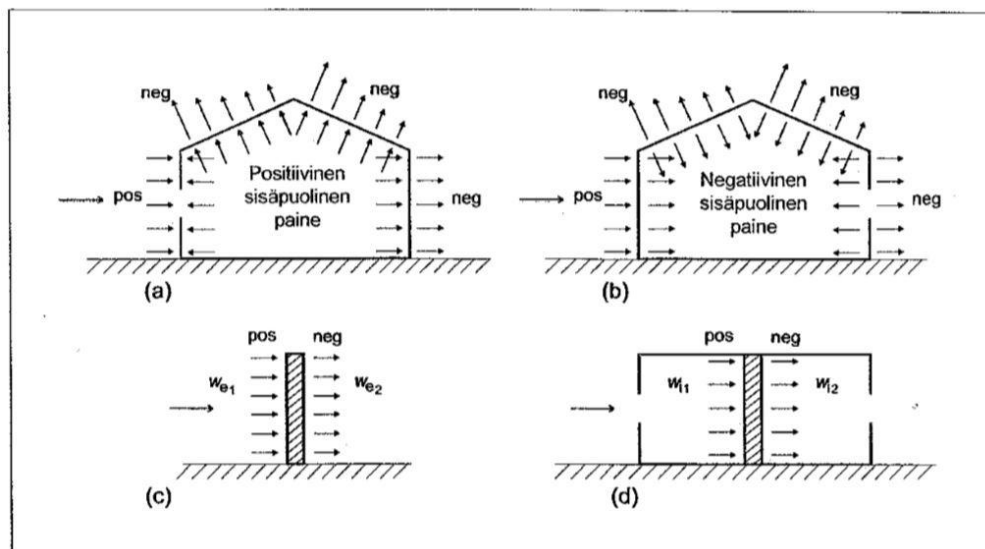
$$S = 0,8 * 1 * 1 * 2,0 \text{ kN/m}^2 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

Katto-orsille tuleva lumikuorma saadaan kertomalla katolle tulevan lumikuorman ominaisarvo katto-orsien jakovälillä. Kuormaa käytetään rakenteiden mitoitukseen tarkoitetuissa ohjelmissa.

$$1,6 \text{ kN/m}^2 * 1,55 \text{ m} = 2,48 \text{ kN/m}$$

5.1.3 Tuulikuorma

Tavallisesti rakennuksen tuulikuorma ratkaistaan voimakertoimen C_f avulla, jolloin oletetaan, että tuulenpaineella on kaikissa korkeusasemissa rakennuksen harjalla oleva arvo. Tässä rakennuksessa on yksi avoin sivu, joten tuulikuorma on ratkaistu pintapaineiden avulla. Tällöin seinien ja vesikaton tuulikuormaksi tulee sisäpuolisen ja ulkopuolisen kuormaresultantin vektorisumma. Kuormien suunnat huomioidaan seuraavan kuvion osoittamalla tavalla.



Kuva 6. Pintoihin kohdistuva paine. /10, 103/

Tuulikuorman määrittäminen pintapaineiden avulla

Kokonaistuulivoima määritetään käyttämällä seuraavaa kaavaa. /10, 140/

$$\mathbf{F}_{w,net} = \gamma_e * \mathbf{F}_{w,e} + \mathbf{F}_{w,i} + \mathbf{F}_{fr} \quad (2)$$

Kaavassa olevat $\mathbf{F}_{w,e}$, $\mathbf{F}_{w,i}$, γ_e ja \mathbf{F}_{fr} ratkaistaan seuraavalla tavalla. /10, 139/

Ulkopuolinen kuorma:

$$\mathbf{F}_{w,e} = C_s * C_d * \sum_{pinnat} W_e * A_{ref} \quad (3)$$

missä

$W_e = q_p(Z_e) * C_{pe}$ on yksittäiseen pintaan korkeudella Z_e vaikuttava ulkopuolinen paine

C_{pe} on ulkoisen paineen kerroin

Z_e on nopeuspainekorkeus

$C_s C_d$ on rakennekerroin

A_{ref} on yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala

Sisäpuolinen kuorma:

$$\mathbf{F}_{w,e} = C_s * C_d * \sum_{pinnat} W_e * A_{ref} \quad (4)$$

missä

$W_e = q_p(Z_e) * C_{pi}$ on yksittäiseen pintaan korkeudella Z_e vaikuttava ulkopuolinen paine

C_{pi} on sisäisen paineen kerroin

Z_e on nopeuspainekorkeus

$C_s C_d$ on rakennekerroin

A_{ref} on yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala

Kitkakuorma:

$$F_{fr} = C_{fr} * q_p(Z_e) * A_{fr} \quad (5)$$

missä

C_{fr} on kitkakerroin

A_{fr} on kitkakuorman vaikutusala

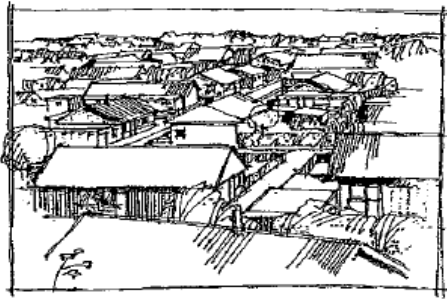
Rakennekertoimelle $C_s C_d$ käytetään arvoa 1, sillä rakennuksen korkeus on alle 15m. Tämän johdosta sitä ei oteta laskuissa huomioon. /10, 141/

Kertoimen γ_e avulla otetaan huomioon se, että rakennuksen etu- ja takapuolella esiintyvät paine- ja imuvoimien huippuarvot eivät esiinny samaan aikaan. Tämä efekti ei sisälly rakennekertoimeen $C_s C_d$. Tässä tapauksessa γ_e kerroin on 0,85. /10, 139/

$$\gamma_e = 1.0, \quad \text{jos } h/d \geq 5 \quad \text{tai}$$

$$\gamma_e = 0,85, \quad \text{jos } h/d \leq 1$$

Kuormien ratkaisemiseen tulee selvittää maastoluokka, jonka avulla saadaan selville tuulen puuskanopeuspaine $q_{p0}(Z)$. Maastoluokkia kuvataan opuksessa RIL 201-1-2011, jonka perusteella on valittu tämän kohteen maastoluokaksi kolme. Maastoluokkia voidaan tarkentaa eurokoodin EN 1991-1-4 kansallisen liitteen avulla. Tämä rakennus sijaitsee kuitenkin suojaisalla alueella, rakennusten ja metsän ympäröimänä, joten maastoluokan tarkentamiselle ei ole tarvetta.



Maastoluokka III: Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä).

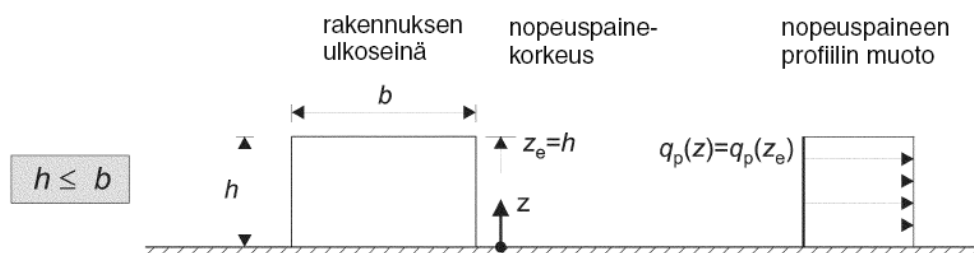
Kuva 7. Valittu maastoluokka. /10, 156/

Taulukko 3. Nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(Z)$ eri maastoluokissa. /10, 133/

z (m)	Maastoluokka				
	0	I	II	III	IV
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60

Rakennus kuuluu maastoluokkaan kolme ja se on 7,7 metriä korkea. Nopeuspaineen arvona on kuitenkin käytetty laskennassa 10 metrin ominaisarvoa, joten kuormitus on suurempi kuin todellisuudessa ja se jää tämän myötä varman puolelle. Ominaisarvo on valittu näillä tiedoilla taulukosta 3 ja sen suuruus on $0,47 \text{ kN/m}^2$. Ympäröivä maasto on tasainen, joten $q_{p0}(Z_e)$ arvona voidaan käyttää $q_p(Z_e)$ arvoa. /10, 132/

Rakennukset, joiden korkeus h on pienempi kuin leveys b , tarkastellaan yhtenä osana. Tämän myötä kuormitus voidaan toteuttaa laskennassa seuraavan kuvion mukaisesti. /10, 144/



Kuva 8. Nopeuspaineen profiilin muoto. /10, 145/

Seinien ulkoisen ja sisäisen paineen kertoimet C_{pe} ja C_{pi}

Ulkoisen paineen kertoimet voidaan ratkaista kuvasta 9 ja taulukosta 4. Taulukoiden lisäksi painekertoimien ratkaisemiseen on käytetty Excel-laskentapohjaa. Excel-laskentapohjaa on hyödynnetty etenkin sisäpuolisen paineen kertoimien C_{pi} laskemisessa. Tämä kyseinen laskentapohja määrittää painekertoimet ns. aukkosuhteen funktiona, joka ottaa huomioon avonaisen seinälinjan.

$$\mu = \frac{\sum \text{niiden aukkojen pinta -ala, joiden kohdalla } c_{pe} \leq 0,0}{\sum \text{kaikkien aukkojen pinta -ala}}$$

Kuva 9. Aukkosuhteen funktio. /10, 158/

Rakennus on suunniteltu vanhan teräshallin kylkeen kiinni, joten laskennassa on oletettu niiden jakavan myös tuulikuormia toisilleen. Tämän johdosta paineen kertoimet on otettu huomioon myös seinälinjalla, joka on vanhan hallin vieressä. Paineiden suuntaa ja yhteisvaikutusta huomioidessa kannattaa käyttää apuna kuvaa 5.

Tasopiirokselta tarkastellaan aluksi tuulen aiheuttamat ulkoisen paineen C_{pe} kertoimet vyöhykkeille, kun tuuli kohdistuu pidempään seinälinjaan. Taulukosta 4 saadaan ratkaistua, että tuulenpuoleiselle vyöhykkeelle D tulee paine (+0.8). Kertoimen positiivinen arvo viittaa kohtisuoraan paineeseen rakennetta kohti. Vastakkaiselle vyöhykkeelle E tulee puolestaan imu (-0.5). Kertoimen negatiivinen arvo viittaa imuun rakenteesta pois päin.

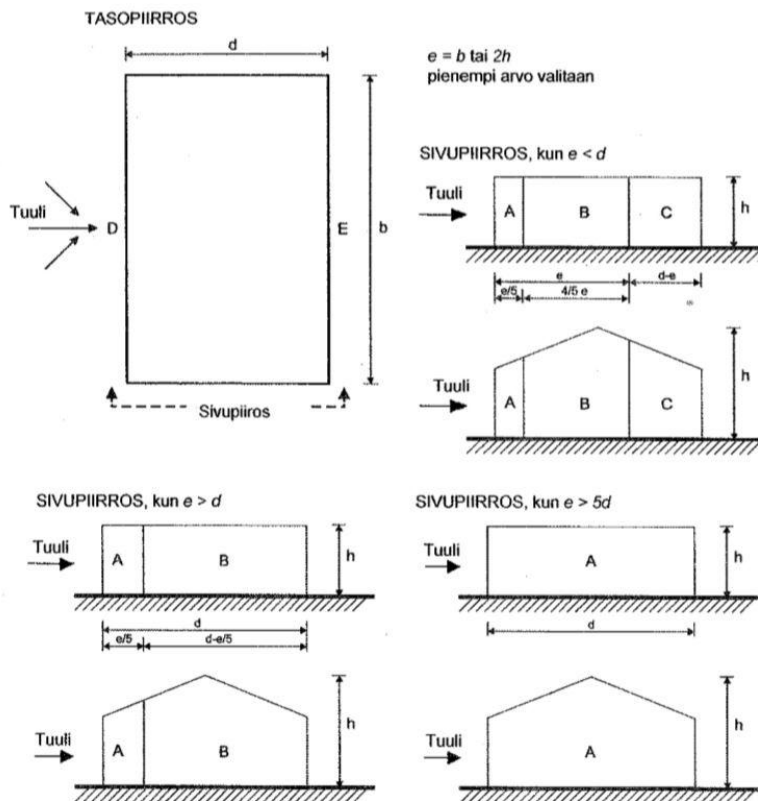
Samanaikaisesti tuuli aiheuttaa lyhyelle päätyseinälle imua, jonka vyöhykkeet saadaan sivupiirokselta, kun $e \geq d$. Vyöhykkeelle A kohdistuu (-1.2) imu ja vyöhykkeelle B kohdistuu (-0.8) imu. Nämä ulkoisen paineen kertoimet vaikuttavat samanaikaisesti tuulen kohdistuessa D-vyöhykkeelle. Normaalisti sivuseinille tulevat tuulen paineet kumoavat toisensa ja sitä ei oteta kantavien runkorakenteiden mitoituksessa huomioon. Tässä rakennuksessa on yksi avonainen seinälinja, joten lyhyen päätyseinän tuulikuorma otetaan huomioon mitoituksessa.

Tuulen kohdistuminen rakennuksen päätyyn aiheuttaa samalla tavalla tuulenpuoleiselle vyöhykkeelle D paineen (+0.8) ja vastakkaiselle vyöhykkeelle E imun (-0.5). Pidempi seinälinja jakautuu tällöin kolmeen vyöhykkeeseen. Vyöhykkeet jaotellaan Kuvassa 9, kun $e < d$.

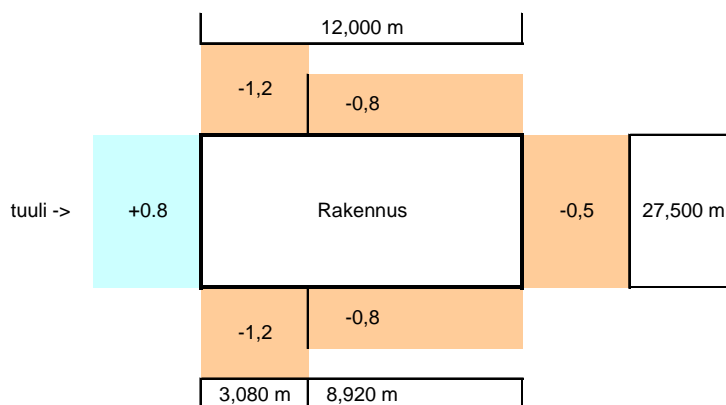
Taulukosta ratkaistaan, että vyöhykkeelle A tulee imu (-1.2), vyöhykkeelle B tulee imu (-0.8) ja vyöhykkeelle C tulee imu (-0.5). Seinän sivuille tulevat tuulenpainet vaikuttavat molemmille puolille samanaikaisesti, joten vektorisummana ne kumoavat toisensa. Kuvissa 10 ja 11 on esitetty Excel-laskentapohjan tulokset seinän C_{pe} kertoimille.

Taulukko 4. Ulkopuolisen paineen kertoimet. /10, 146/

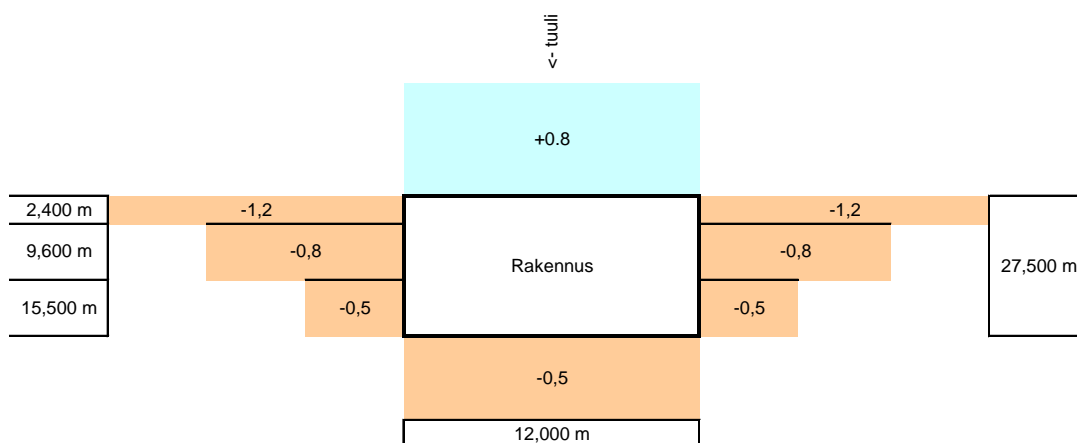
Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
≥ 5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0		-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0		-0,5
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0		-0,3



Kuva 10. Pystyseiniä vyöhykekaavio. /10, 146/

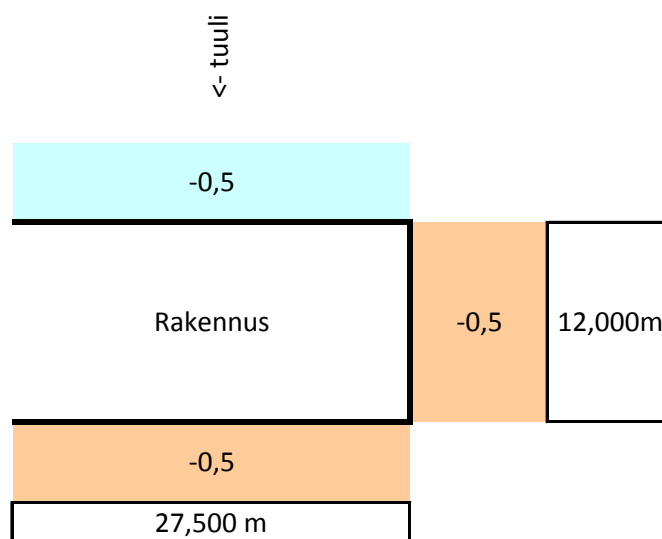


Kuva 11. Seinien painekertoimien C_{pe} suuruudet tuulen kohdistuessa pitkälle seinälinjalle.

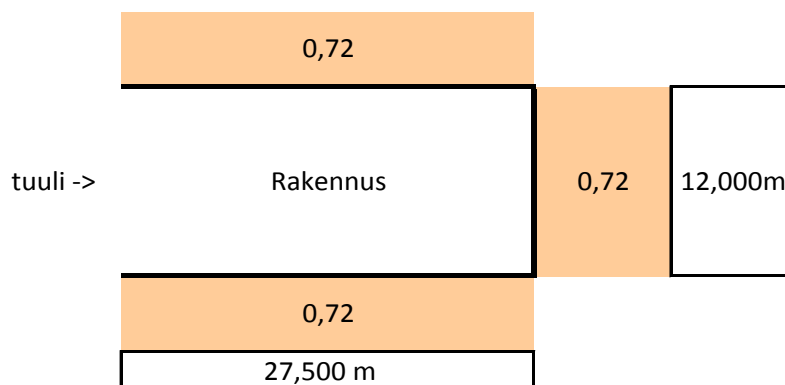


Kuva 12. Seinien painekertoimien C_{pe} suuruudet tuulen kohdistuessa lyhyelle seinälinjalle.

Sisäpuolisten painekertoimien C_{pi} arvot ratkaistiin pääasiassa käyttämällä Excel-laskentapohjaa. Saadut arvot on esitetty kuvissa 12 ja 13.



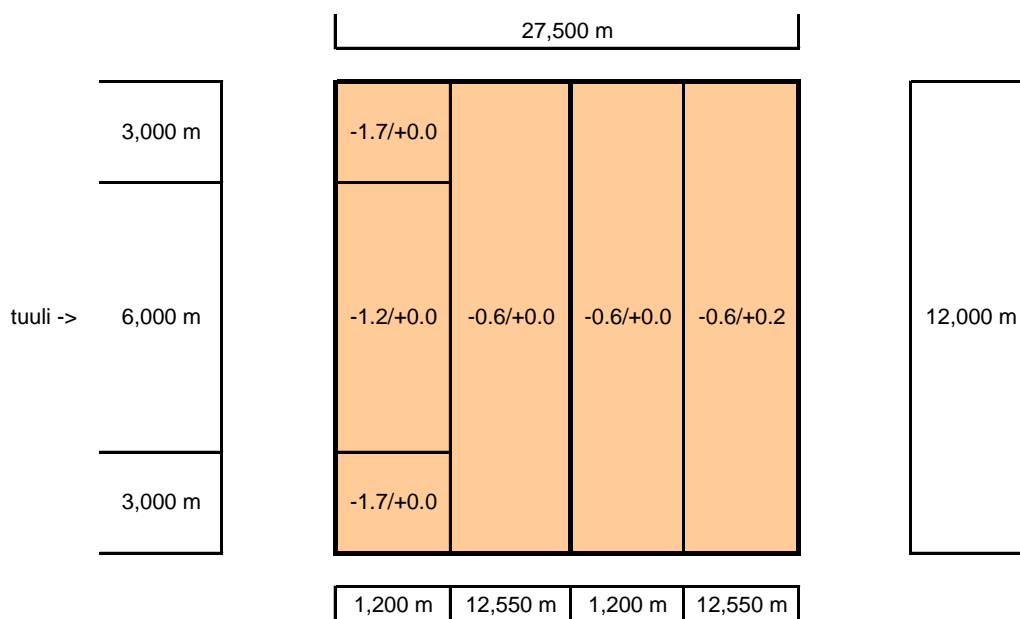
Kuva 13. Seinien painekertoimien C_{pi} suuruudet tuulen kohdistuessa muille seinälinjoille.



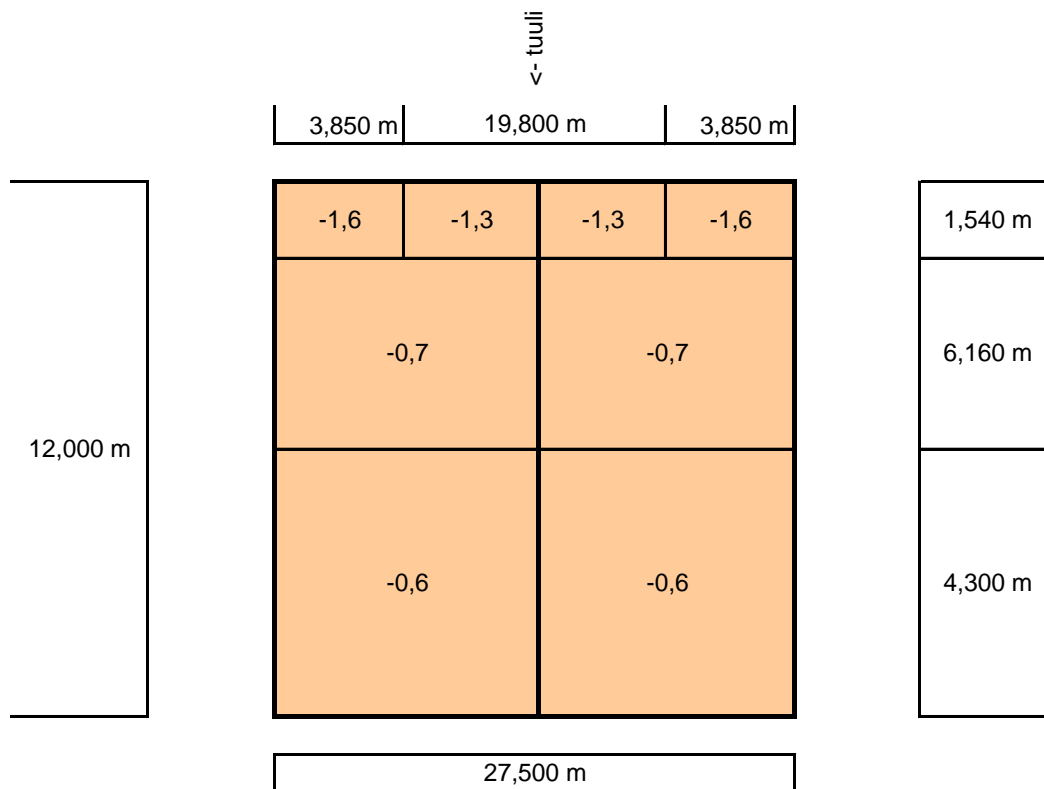
Kuva 14. Seinien painekertoimien C_{pi} suuruudet tuulen kohdistuessa avonaiselle seinälinjalle.

Katolle tulevanulkoisen ja sisäisen paineen kertoimet C_{pe} ja C_{pi}

Katolle tulevan ulkopuolisten paineiden C_{pe} arvot on ratkaistu käyttäen Excel-laskentapohjaa. Laskentapohjasta saadut arvot vaikuttavat varsinkin kattokiinnikkeiden valintaan. Kuormayhdistelmissä käytetään pahimmaksi arvioitua C_{pe} kertoimen arvoa. Kuvissa 14 ja 15 on esitetty laskentapohjasta saadut arvot.



Kuva 15. Harjakaton C_{pe} painekertoimien suuruudet tuulen kohdistuessa lyhyelle seinälle.



Kuva 16. Harjakaton C_{pe} painekertoimien suuruudet tuulen kohdistuessa pitkälle seinälle.

Katon sisäpuolisina painekertoimina C_{pi} käytetään seinille saatuja sisäpuolisen paineen arvoja, jotka on esitetty kuvissa 12 ja 13. Tämä toimintamenetelmä perustuu kuvaan 5.

Tuulikuormien laskeminen:

Saaduilla ulkopuolisten ja sisäpuolisten paineiden arvoilla voidaan laskea seinille ja katolle tulevien kuormien suuruus soveltaen kaavaa (2). $C_s C_d$ kertoimen arvo on 1, joten se on jätetty pois laskulausekkeesta.

$$F_{w,net} = (\gamma_e * C_{pe} + C_{pi}) * q_p(Z_e) * A_{ref} \quad (6)$$

Edellä olevasta lausekkeesta saadaan ratkaistua ulkopuolisen ja sisäpuolisen kuorman vektorisumma käsin laskemalla. A_{ref} arvona käytetään pilareiden ja

katto-orsien jakoväliä, jotta saadaan tuulikuorma viivakuormaksi. Tätä viivakuorman arvoa käytetään laskentamallissa.

Nurkka-alueella sijaitseville pilareille ja katto-orsille tulee kuormaksi puolet $F_{w,net}$ arvosta, sillä niiden kuormitusalue on noin puolet keskipilareiden ja keskialueella sijaitsevien katto-orsien kuormitusalueesta. Nurkka-alueen kuorman vähennys on otettu huomioon Staad-laskentamallissa.

Kitkakuorma vaikuttaa rakennuksen pitkittäissuunnassa ja se ei sisälly edellä mainittuihin $F_{w,net}$ kuormiin. Se on ratkaistu seuraavalla kaavalla.

$$F_{fr} = C_{fr} * q_p(Z_e) * A_{fr} \quad (5)$$

missä

C_{fr} arvo on 0,04 /10, 165/

A_{fr} arvona käytetään 96 m^2 . Arvo on suurempi kuin todellisuudessa. /10, 166/

$$F_{fr} = 0,04 * 0,47 \text{ kN/m}^2 * 96 \text{ m}^2 = 1,8 \text{ kN}$$

Tuulesta syntyvän kitkan vaikutukset pintaan voidaan jättää huomiotta, kun kaikkien tuulen suuntaisten (tai lähes tuulen suuntaisten) pintojen kokonaisala on enintään 4 kertaa kaikkien tuulta vastaan kohtisuorien (tuulenpuoleisten ja suojanpuoleisten) ulkopintojen kokonaisala. /9, 46/

Tämän standardin ohjeen mukaan tuulesta aiheutuva kitkakuorma voidaan jättää laskentamallissa huomiotta.

5.1.4 Lisävaakavoima

”Epätarkkuuksien vaikutukset otetaan huomioon jäykistysjärjestelmien analysississä, kun jäykistysjärjestelmä stabiloii palkkeja tai puristettuja sauvoja poikittaissuunnassa. Tämä otetaan huomioon käyttämällä tuettaviin sauvoihin liittyviä ekvivalentteja geometrisia epätarkkuuksia, jolloin alkueperätarkkuus alkukaarevuuden muodossa on”. /4, 38/

$$e_0 = \alpha_m * L/500 \quad (6)$$

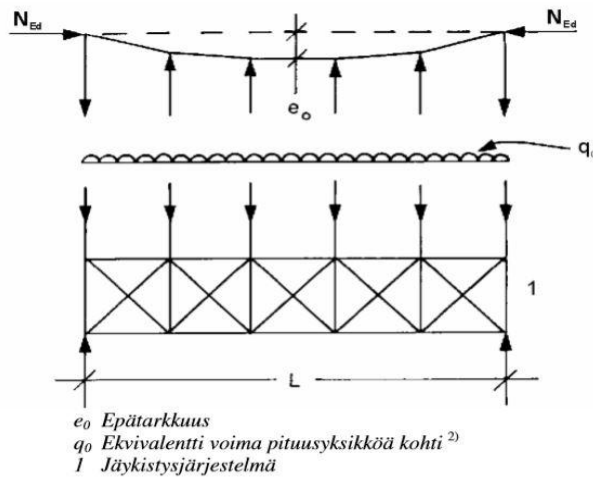
missä L on jäykistysjärjestelmän jänneväli

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad (7)$$

missä m on tuettavien sauvojen lukumäärä.

”Jäykistysjärjestelmien tukemien sauvojen alkukaarevuuden muodossa olevien alkuepäätarkkuuksien vaikutukset voidaan korvata käyttämällä kuvan 5.6 mukaista ekvivalenttia stabiloivaa voimaa, joka lasketaan kaavasta”. Stabiloivan voiman lauseke on esitetty kaavassa (8). /4, 38/

$$q_d = \sum N_{Ed} \cdot 8 \frac{e_0 + \delta q}{L^2} \quad (8)$$



Voiman N_{Ed} oletetaan olevan vakio jäykistysjärjestelmän pituudella L .
 Jos N_{Ed} ei ole vakio, menetelmä on jonkin verran varmallaa puolella.

Kuva 5.6: Ekvivalentti stabiloiva voima

Kuva 17. Stabiloivan voiman vaikutus kuvan 5.6 mukaisesti. /4, 39/

Edellä mainituilla kaavoilla saadaan ratkaistua lisävaakavoima q_d , joka on 0,042 kN/m. Ratkaistusta arvosta saadaan pilareille kohdistuva lisävaakavoiman pistekuorma kertomalla q_d arvo rakennuksen leveyden puolikkaalla.

$$0,042 \text{ kN/m} * 6\text{m} = 0,25 \text{ kN}$$

Staad-laskennassa on käytetty arvoa 0,4 kN, joka on suurempi laskettu arvo. Tämän avulla on huomioitu viereisen rakennuksen vinoudesta aiheutuvat epäkeskisyydet.

5.2 Staad-laskentamalli

Rakennuksen statiikka ratkaistiin kaupallisella FEM-ohjelmalla (StaadPro). Ohjelmassa mallinnetaan aluksi rakennus sauvoina määritellyille linjoille, jonka jälkeen valitaan sauvojen vapautukset ja tukipisteet. Mastopilareiden perustukset määritetään jäykiksi, joten niille ei tullut vapautuksia. Näin saadaan momentin arvo oikein perustuksille ja hitsin mitoitukselle. Mallintamisessa voidaan hyödyntää kopioimisen mahdollisuutta. Työssä mallinnettiin aluksi yksi kehärakenne, jota kopioitiin linjojen mukaan eteenpäin.

Vapautusten määrittämisen jälkeen sauvoille valitaan profiilit. Katto-orret ovat Z-profiilia ja sille ei löydy vastaavaa profiilia Staad-laskentamallin kirjastosta. Tämän myötä orret mallinnettiin putkiprofiiliksi, jotta saadaan ratkaistua kattoristikoiden tulevat kuormat. Putkiprofiilien oma paino jätettiin laskentamallista pois ja se korvattiin käsin lasketulla viivakuormalla. Tämä viivakuorma on suurempi kuin rakenteiden oma paino todellisuudessa.

Profiilien alustavan valinnan jälkeen määritetään kuormat eri rakenneosille. Kuormiin kuuluu oma paino, lumikuorma, tuulikuorma ja lisävaakavoima. Tuulikuorma ja lisävaakavoima mitoitetaan vaikuttavan jokaiselle seinälinjalle erillisinä tapauksina.

Kuormista muodostetaan statiikan ratkaisemiseksi kuormayhdistelyt. Näissä yhdistelyissä huomioidaan erilaiset kuormien vaikutukset. Kuormayhdistelyt ja niiden kertoimet on esitetty taulukossa (5). Kuormayhdistelyistä on tehty Staad-laskentaan erilliset tapaukset, joissa huomioidaan kuormien vaikutus eri suunnissa. /10, 38/

Taulukko 5. Kuormayhdistelyt.

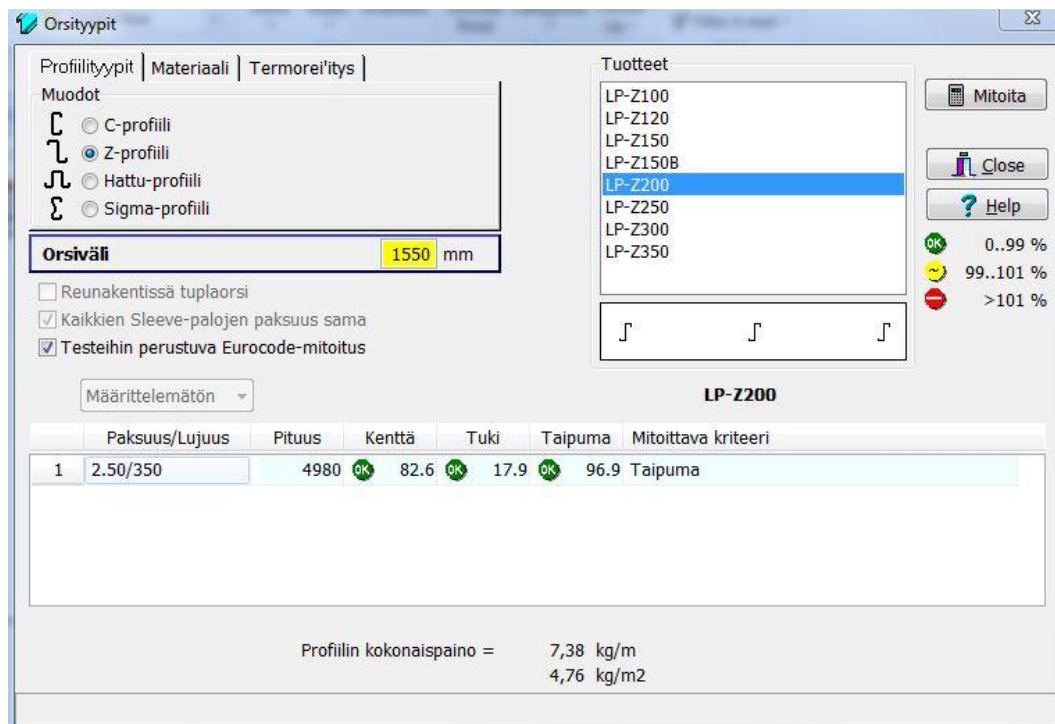
Kuormayhdistelyt	
tapaus 1	$1,35 \cdot \text{Oma paino} + 1 \cdot \text{Lisävaakavoima}$
tapaus 2	$1,15 \cdot \text{Oma paino} + 1,5 \cdot \text{Lumi} + 0,9 \cdot \text{Tuuli} + 1,15 \cdot \text{Lisävaakavoima}$
tapaus 3	$1,15 \cdot \text{Oma paino} + 1,5 \cdot \text{Lumi} + 1,15 \cdot \text{Lisävaakavoima}$
tapaus 4	$1,15 \cdot \text{Oma paino} + 1,05 \cdot \text{Lumi} + 1,5 \cdot \text{Tuuli} + 1,15 \cdot \text{Lisävaakavoima}$
tapaus 5	$1,15 \cdot \text{Oma paino} + 1,5 \cdot \text{Tuuli} + 1,15 \cdot \text{Lisävaakavoima}$
tapaus 6	$1,0 \cdot \text{Oma paino} + 1,0 \cdot \text{Tuuli} + 1,0 \cdot \text{Lisävaakavoima}$

Kuormayhdistelyjen jälkeen määritetään laskentaparametrit. Laskentaparametreihin valitaan kohteen mitoituksessa tarvittavat arvot. Näitä on mm. teräslaadun, nurjahduspituuksien ja eräänlaisten laskennan raja-arvojen määrittäminen.

Kun tarvittavat tiedot on määritetty parametreihin, niin rakennus voidaan mitoittaa. Mitoituksessa on tärkeintä käyttöasteiden tarkastaminen ja profiilien määrittäminen niiden mukaisiksi. Laskentamallista saadaan myös liitoksille tulevien voimien suuruudet, joiden avulla voidaan mitoittaa liitokset. (Liite 1)

5.3 Katto-orsien määrittäminen

Katto-orsien mitoitus on toteutettu Ruukin PurCalc-mitoitusohjelmalla. Ohjelman avulla voidaan mitoittaa orret murto- ja käyttörajatilassa. Ohjelman avulla voidaan myös mitoittaa kattopeltien ruuvit ja orsien kiinnityspultit. Kuormituksissa on otettu huomioon mahdollisten muutostöiden aiheuttamat lisäkuormat. Seuraavassa kuvassa on esitetty PurCalc-ohjelman tulokset.



Kuva 18. PurCalc-ohjelman tulokset.

5.4 Katon kantavan peltiprofiilin määrittäminen

Kattorakenteena toimii kantava poimulevy T45-30-905 ja sen mitoitus on toteutettu Ruukin Poimu-mitoitusohjelmalla. Ohjelman avulla voidaan mitoittaa peltiprofiili murto- ja käyttörajatilassa. Kestävyyssmitoituksen lisäksi ohjelmalla voidaan tarkastella erilaisten kiinnikkeiden toimivuutta rakennuskohteessa. Kattoprofiilin levyvaikutusta ei ole otettu laskennassa huomioon. Tällöin päädytään varman puolella olevalle laskentatulokselle. (Liite 2)

5.5 Liitokset

Kohteen kokoluokan ja kiireellisen aikataulun perusteella liitokset on mitoitettu alustavasti varman puolelle. Liitokset on tarkastanut vanhempi rakennesuunnittelija ja hän on tehnyt omat johtopäätökset liitosten kestävydestä aikaisempien suunnittelukohteiden ja laskelmien perusteella.

Olen tutkinut liitosten kestävyyttä myöhemmin itse tehdyillä ja Vaasan ammattikorkeakoulun käyttämällä Excel-laskentapohjilla. Vaasan ammattikorkeakoulun laskentapohjia on käytetty teräsrakenteiden jatkokurssilla. Laskentapohjat toimivat SFS-EN 1993-1-8-standardin mukaisesti. Liitoksien valinnassa olen käyttänyt apuna myös Ruukin valmistamia käsikirjoja hitsatuille profiileille ja rakenneputkille. /1;2;6/

Itse tehtyjä laskentapohjia ei oteta jatkokäyttöön yrityksessä. Ne on tarkoitettu opinnäytetyön laskelmien osoittamiseen. Itse tehdyt laskentapohjat on tehty osittain Ruukin Rakenneputket käsikirjan esimerkkien mukaan. /1;2/

5.5.1 Perustusten liitokset

Perustusten liitoksessa mastopilarin ja SBKL-kiinnityslevyn välisen hitsin suuruus on laskettu itse tehdyillä Excel-laskentapohjalla. Pienahitsin mitoitus perustuu yksinkertaistettuun menetelmään. /6, 47/

Hitsiliitoksen suuruus oli valittu ennen detaljisuunnittelun aloittamista. Tällöin valittiin hitsikooksi 6mm piena putkipilarin ympäri. Valittu 6mm piena osoittautui myöhemmin Excel-pohjalla tehtyjen laskujen perusteella ylimitoitetuksi. Laskelmien mukaan 4mm piena olisi ollut riittävän suuri kestämään Staad-laskentaohjelmasta saadut kuormat.

Laskentapohjassa ei tosin oteta työmaan olosuhteita huomioon. Työmaalla tehdyn hitsin kestävyys ei ole välttämättä yhtä suuri kuin konepajalla tehdyn hitsin suuruus. Tämän johdosta 6mm piena ei ole huono vaihtoehto. (Liite 3)

5.5.2 Rakennusta jäykistävät sideliitokset

Rakennusta jäykistävien sideliitoksien alustava valinta perustuu Ruukin käsikirjoissa esitettyihin raja-arvoihin ja edellisissä projekteissa olleisiin liitoksiin.

Arvot ovat varman puolella ja niitä on laskettu myöhemmin itse tehdyllä Excel-laskentapohjalla.

Tässä kohteessa on aluksi mitoitettu yksi seinäsideliitos pahimmalle kuormitukselle. Sideliitosten kuormat ovat tässä kohteessa todella pieniä, joten yksi sideliitos on mitoitettu itse tehdyllä Excel-laskentapohjalla 100kN kuormalle. Näin suurta kuormaa ei esiinny todellisuudessa missään rakennuksen sideliitoksessa, joten liitos on laskelmien mukaan ylimitoitettu. Tämän kuormituksen kestäväää liittostyyppiä on käytetty jatkossa jokaiselle rakennusta jäykistävälle sideliitokselle. (Liite 4)

Sideliitosten valitseminen todellisten kuormien perusteella johtaisi tässä kohteessa todella pienikokoisiin liitoksiin. Tämä näyttäisi visuaalisesti epävarmalta ja huonolaatuiselta rakenneratkaisulta. Samalla liitoksissa otetaan huomioon mahdolliset kuormien odottamattomat ylitykset.

5.5.3 Ristikon liitokset

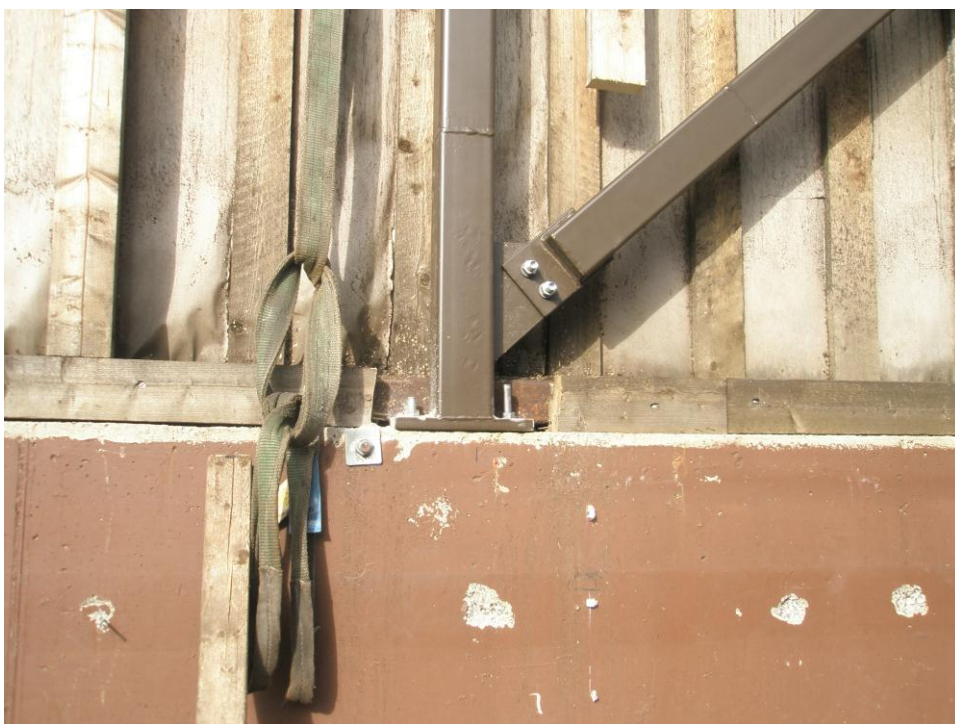
Ristikon vertikaalien ja diagonaalien liitoksia on tarkasteltu Excel-laskentapohjalla, jota on käytetty Vaasan ammattikorkeakoululla. Staal-laskentamallista on tarkastettu kuormat, jotka sijoitetaan Excel-laskentapohjaan. Laskelmien mukaan kattoristikon väliset liitokset kestäväät katolta tulevat kuormitukset. /11/

Ristikon liitos pilariin on toteutettu kahdella eri tavalla. Rakennuksen päädyissä liitos on toteutettu sideliitoksella ja keskilinjalla päätylevyliitoksella. Keskilinjän liittostyyppiä oli aluksi tarkoitus käyttää kaikissa ristikon ja pilareiden välisissä liitoksissa. Tähän tuli kuitenkin muutos, sillä se olisi haitannut rakennuksen pellitystöitä. Liitokset on ylimitoitettu ja tarkastettu myöhemmin itse tehdyillä Excel-laskentapohjilla. Suunnitellut liitokset toimivat kehärakenteen tavoin rakennusta jäykistävinä. (Liite 5;6)

Ristikon liitoksissa tulee huomioida myös vaakasuuntaiset kuormat. Tuulesta aiheutuva vaakasuuntainen kuormitus aiheuttaa ristikon yläpaarten liitospulteille leikkausvoiman ja ristikon alapaarten pulteille puolestaan vetovoiman. Rakennuskohteen koko on kuitenkin niin pieni, että suurin tuulesta aiheutuva pulttien leikkausvoima ristikon yläpaarten liitoksessa on 28 kN. Alapaarten pulttien vetovoimaksi muodostuu 17 kN vetovoima. Nämä kuormitukset eivät siis vaikuta juurikaan ristikon liitoksien mitoittamiseen, sillä ne ovat jo valmiiksi ylimitoitettuja.

5.6 Muita rakenteellisesti huomioitavia asioita

Vanhan hallin betonisokkeliä käytetään myös uuden hallin perustuksina. Työmaalla huomattiin, että betonissa oli havaittavissa pieniä halkeamia ja murtumia. Tämän takia uuden hallin pilareiden kiinnitys sokkeliin toteutettiin vain kahdella ankkuripultilla jokaista pilaria kohden. Neljällä ankkuripultilla reunaetäisyys pultin ja betonisokkelin reunan välillä olisi saattanut jäädä liian pieneksi. Tällöin betoni olisi saattanut haljeta jos uuden hallin seinärakenteeseen syntyisi värähtelyä tai törmäyksiä hakkeen siirtämisvaiheessa.



Kuva 19. Pilarin liitos sokkeliin.



Kuva 20. Runkojen välinen liitos.

Vanhan ja uuden hakevaraston välille syntyy värähtelyä tuulikuormasta. Teräsrakenteiden asennuspiirustukseen on tämän takia merkitty, että uuden hallin pilarit hitsataan vanhan hallin runkoon kiinni. Työmaalla runkojen välinen liitos on kuitenkin toteutettu L-teräksellä. Tämä menettelytapa onnistuu käytännössä paremmin, sillä vanhan hallin runko on kierossa ja hitsaamisen takia jouduttaisiin hiomaan maalipintoja.



Kuva 21. Vanhan rungon tuenta.

Vanhaan betonisokkeliin tehtiin oviaukko hakkeen siirtoa varten. Oviaukon kohdalla on vanhan hallin putkipilari, jota tuli tukea väliaikaisesti. Väliaikainen tuenta suunniteltiin toteutettavaksi UPE 160-profiililla. Tuennan jälkeen oviaukon kohdalle asennettiin pitkäaikainen tuki, joka siirtää kuormia vanhan ja uuden hallin putkipilareilta perustuksille.

Sadevesijärjestelmän suunnitteluun uuden ja vanhan hallin väliin kuului urakoitsijalle. Rakennesuunnitelmia lähetettiin urakoitsijalle myös Autocad-muodossa, jotta hän pystyi suunnittelemaan rännejä niiden avulla.

6 RAKENNEMALLINNUS

Rakennemallinnus on toteutettu kokonaisuudessaan Tekla Structures -ohjelmalla. Rakennemallinnuksen avulla saadaan aikaan kaikki tarvittavat kuvat niin konepajalle, kuin työmaallekin. WSP Finland Oy on kehittänyt ohjelman hyödyntämistä teräsrakenteiden suunnittelussa ja tämä näkyy sen käyttömukavuudessa.

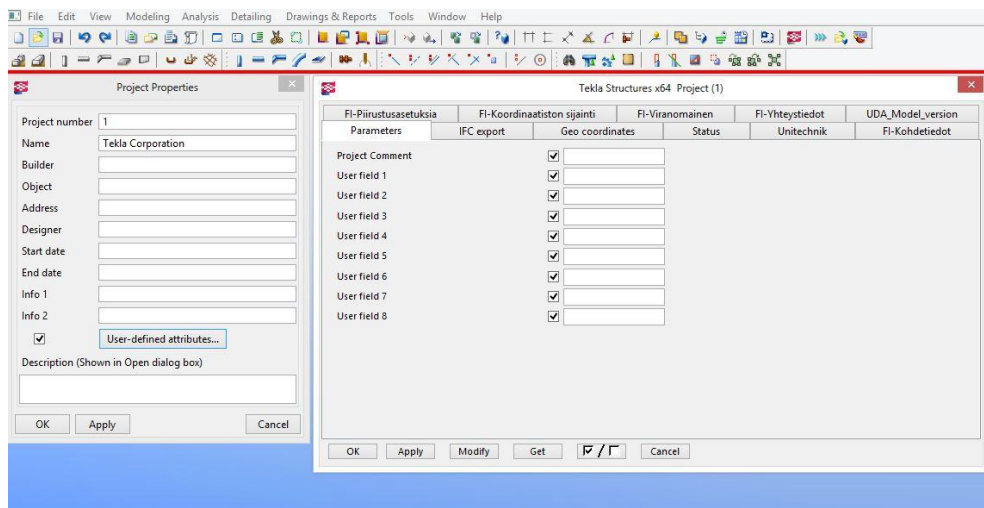
Tekla Structures on 3D-mallinnusohjelma, jolla voidaan suunnitella monimuotoisia rakennuksia. Ohjelmalla saadaan aikaan tarvittavien työmaa- ja konepajakuvien lisäksi myös Tekla BIMsight -malli. BIM-mallin avulla voidaan tarkastella rakennusta työmaalla 3D-muodossa. Tekla BIMsight -ohjelma on kaikille ilmainen, joten sen hyödyntäminen suurilla rakennustyömailla kannattaa.

Tekla-mallinnuksen hyötyjä ovat mm. tarkka törmäysten tarkastelu ja detalji-suunnittelu. Törmäykset ovat havaittavissa paljon helpommin kuin esimerkiksi Autocad-ohjelmistolla. Liitosten suunnittelu 3D-muodossa helpottaa rakenteen ongelmakohtien hahmottamista ja ratkaisemista, etenkin ahtaissa liitoskohdissa.

6.1 Tekla Structures -mallin luominen

Ennen itse mallintamisen aloittamista projekti lisätään projektikansioon Oulun toimistossa. Tällöin projektikansioon luodaan alustava malli, jossa on määritetty kohteessa käytettävä pulttistandardi ja piirustusasetukset. Valmiit asetukset nopeuttavat mallintamista ja piirustusten luomista.

Projektitiedot kirjattiin projektiasetukseen Ylivieskassa. Projektitietojen merkinnät, kuten kohdetiedot ja yhteystiedot näkyvät kohteen piirustusten merkinnöissä. Tämä takaa sen, että jokaisessa piirustuksessa on samat merkinnät edellä mainituissa kohdissa.



Kuva 22. Tekla Structures -mallin projektiasetukset.

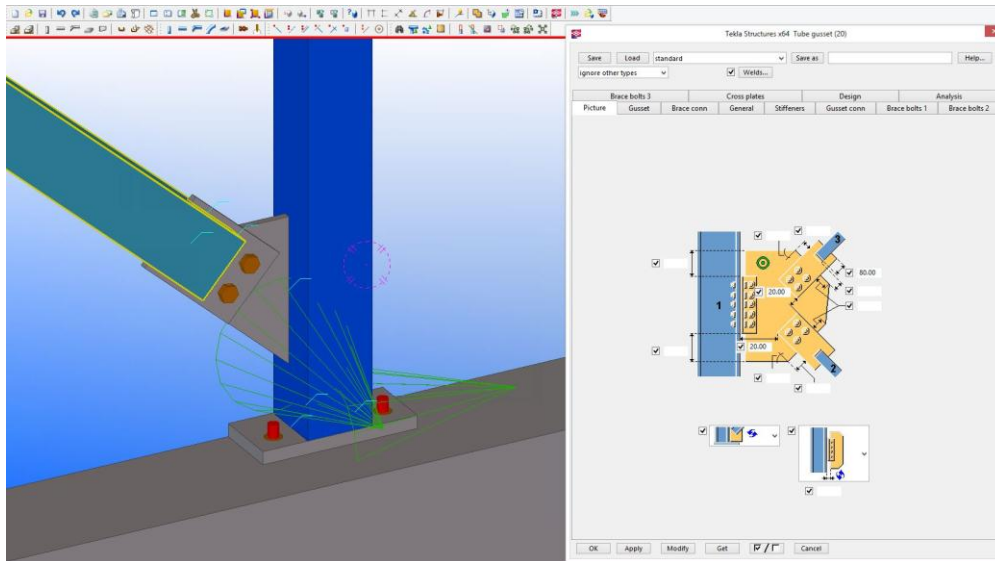
6.2 Basic-suunnittelu

Basic-suunnittelu sisältää kohteen pilareiden, palkkien, siteiden ja vanhojen rakenteiden mallintamisen. Tällöin määrätään rakennuksen muoto, joka perustuu Staad-laskelmissa päädyttyihin mittoihin. Oikein tehdyn Basic-suunnittelun jälkeen rakenteita on helpompi muokata myöhemmissä vaiheissa.

Basic- ja detalji-suunnittelussa tulee määrätä tarkasti asetuksiin prefix- ja class-merkinnät. Näille merkinnöille on WSP:n omat suositukset, joita on noudatettu tässä kohteessa. Oikein tehdyt asetukset helpottavat kuvien luontia.

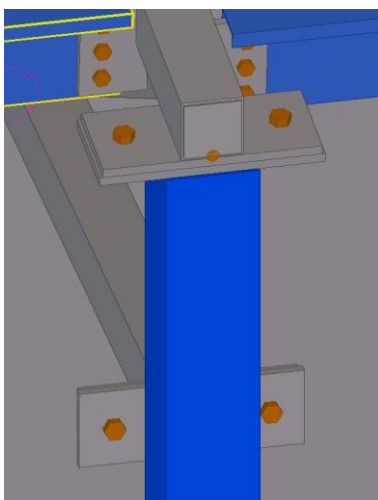
6.3 Detalji-suunnittelu

Detalji-suunnittelu tarkoittaa liitosten ja yksityiskohtien suunnittelemista Tekla-malliin. Liitosten mallintamisessa käytettiin apuna makroja. Niiden avulla voidaan luoda monta liitosta täsmälleen samoilla asetuksilla. Ennen makrojen käyttöä tulee kuitenkin perehtyä liitoksen toimivuuteen laskennallisessa mielessä ja määrittää sen jälkeen niitä vastaavat asetukset. Seuraavassa kuvassa on esimerkki seinäsiteen ja pilarin välisestä liitoksesta, joka on toteutettu makrolla.



Kuva 23. Makron avulla suunniteltu liitos.

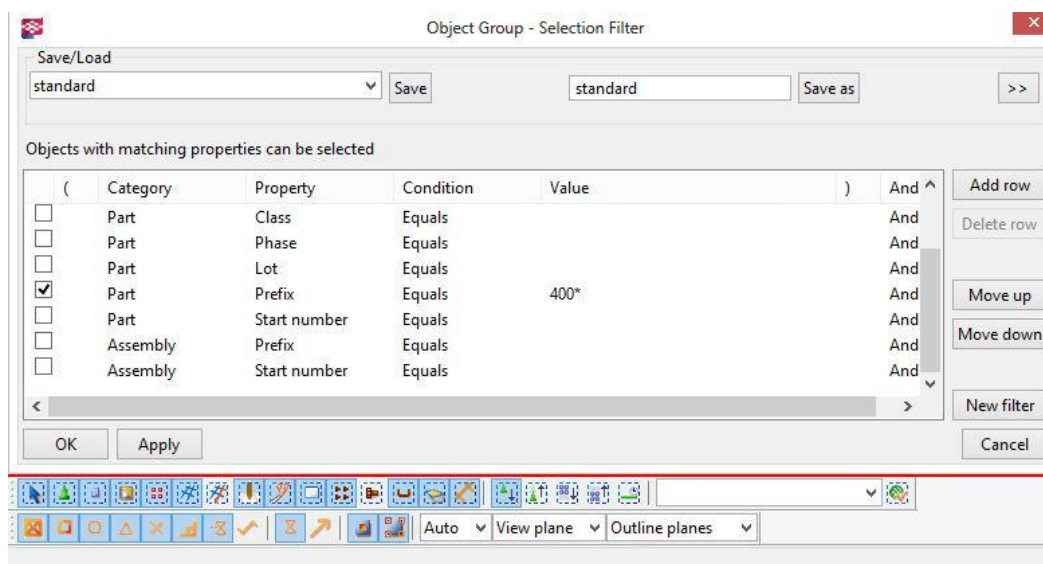
Detaljisuunnittelussa tulee ottaa myös huomioon käytännön asioita, jotka voivat vaikuttaa suunnitteilla olevan hallin rakenteelliseen toimintaan. Esimerkiksi kattopellit saatetaan ruuvata työmaalla suoraan kattotuolin yläpaarteeseen kiinni. Tällöin mahdolliset kattovuodot saattavat aiheuttaa ruostumista yläpaarteen sisällä. Näin ollen kattotuolin matalan päädyn päätylevyyden suunnitteluaan valureikä veden poistumisen mahdollistamiseksi.



Kuva 24. Yläpaarteen valureikä.

6.4 Piirustukset

Piirustusten tekemisessä on hyödynnetty WSP:n valmiita asetuksia. Ladatuilla asetuksilla voidaan luoda kuvat halutuista kokoonpanoista, osista ja teräsrakenteista. Piirustusten tekemisessä on hyödynnetty myös selection filter -työkalua, jonka avulla voidaan luoda piirustuksia erikseen. Esimerkiksi palkkien ja pilareiden kokoonpanoista luodaan kuvat A3-koossa, mutta pilareille ja palkeille on omat piirustusten asetukset.



kuva 25. Selection filter -työkalu.

Rakennesuunnitelmista luotiin piirustukset dwg- ja pdf-muodossa, jonka jälkeen ne lähetettiin urakoitsijalle ja konepajalle kommentoitavaksi. Kommenttien ja muutosehdotusten jälkeen tehtiin korjaukset rakennemalliin ja luotiin uudet kuvat. Tarvittaessa luotiin revisiokuvat, joissa on liitettynä vain ne kuvat, joihin oli tullut muutoksia. Revisiokuvia luodaan, jos on tullut muutoksia sen jälkeen, kun suunnitelmat on lähetetty jo konepajalle ja työmaalle toteutettavaksi.

6.4.1 Osakuvat

Osakuvat tehtiin valitsemalla selection filter -työkalulla halutut osat, jonka jälkeen luotiin kuvat WSP:n ladattavilla asetuksilla A4-koossa. Levykuvat ja profiilikuvat on luotu erikseen eri asetuksilla.

Ladattavat asetukset mitoittaa osakuviin tulevat reiät ja viisteet, mutta niihin on tehtävä kuitenkin lähes aina pieniä muutoksia. Pituusmitat annetaan juoksevina mittoina, joka helpottaa monesti konepajan työskentelyä. Tämän lisäksi osamerkinnot saattavat olla kuvissa päällekkäin, joten niitä joudutaan siirtämään. Osakuvat ovat kuitenkin yksinkertaisia, joten niissä ei ole paljoa muokattavaa. (Liite 7)

6.4.2 Kokoonpanokuvat

Kokoonpanokuva sisältää osista kootun rakenteen, kuten palkin ja pilarin. Tämän lisäksi kokoonpanokuvassa määrätään osien välisiin liitoksiin tulevat hitsikoot ja kokoonpanon tarkat mitat, jotta konepaja voi koota tarvittavan kokoonpanon. Kokoonpanokuvissa on hitsien lisäksi mainittu hitsausluokka, pintakäsittelyohje ja muut työmaalla tarvittavat tiedot.

Kokoonpanokuvat luotiin samalla tavalla kuin osakuvat, mutta erilaisilla asetuksilla. Kokoonpanokuvissa on paljon erilaisia osia, joten niiden mitoitus on toteutettava mahdollisimman selkeästi. Tämän johdosta suurin osa mitoituksesta joudutaan tekemään lähes alusta loppuun. Tämän takia Kokoonpanokuvien muokkaamiseen on varattava enemmän aikaa kuin osakuvien muokkaamiseen. Kokoonpanokuvissa huomataan myös helpommin mallinnuksessa tehdyt virheet, joten kokoonpanokuvat kannattaa tehdä ja tarkastaa ensin. (Liite 8)

6.4.3 Teräsrakenteiden asennuspiirustus

Teräsrakenteiden asennuspiirustus tehdään osapiirustuksien ja kokoonpanopiirustuksien jälkeen. Tässä piirustuksessa esitetään rakennuskohteen kaikki

kokoonpanot ja niiden liitosten sijainti työmaalla. Asennuspiirustuksessa esitetään myös työmaahitsien koko ja niiden sijainti. Asennuspiirustukseen sisällytetään kaikki työmaalla tarvittavat tiedot rakennuksen kokoamiseen. (Liite 9)

6.4.4 Kuorikaavio

Teräsrakenteiden asennuspiirustuksen jälkeen alkoi kuorirakenteiden suunnitteleminen. Katon ja seinien poimulevyn suunniteltiin Tekla-malliin, jonka jälkeen luotiin poimulevykaavio ladattavilla asetuksilla.

Poimulevykaaviossa esitettiin peltiprofiilien tunnuksot, sijainnit, mitat ja lukumäärät. Lisäksi poimulevykaaviossa tuli esittää saumakohtien limityspituudet ja niihin tarvittavat asennustarvikkeet, kuten tiivistenaugat. Lisämainintoihin merkittiin kohteessa käytettävät ruuvityypit ja niiden jakoväli. (Liite 10)

6.5 Kiinnikeluettelo

Kiinnikeluettelossa on esitetty kohteessa tarvittavien pulttien määrä, laatu ja pituus. Kiinnikeluettelon saa tulostettua Tekla-mallista valitsemalla kaikki kohteen pultit, jonka jälkeen tulostetaan raportti WSP:n valmiiseen nimiöpohjaan. Tarvittavat muutokset tehtiin Excel-pohjassa. (Liite 11)

6.6 Piirustusluettelo

Piirustusluettelossa esitetään kaikki piirustukset, niille kuuluvat piirustusnumerot ja mahdolliset muutosten päivämäärät. Tämä selkeyttää piirustusten käsittelyä. Suurissa projekteissa on monta piirustusluetteloä, jotka on jaettu eri lohkoihin, mutta tämän projektin kokoluokkaan riitti yksi luettelo.

7 TYÖN AIKATAULU

Rakennesuunnittelu tuli tehdä valmiiksi nopeimmalla mahdollisella aikataululla. Urakoitsija odotti suunnittelutyön valmistuvan viikossa, mutta tämän kokoluokan suunnitelmissa tulee ottaa monta asiaa selville ennen kuvien luomista.

Teräsrakenteiden osapiirustukset ja kokoonpanopiirustukset olivat valmiina lähetettäväksi konepajalle vajaan kahden viikon kuluttua suunnittelun aloittamisesta. Muutostöihin ja poimulevykaavion valmisteluun kului aikaa lähes yhtä paljon.

Haastattelin Vieskan voiman voimalaitospäällikköä kohteen valmistumisen jälkeen ja hänen mielestä rakennus valmistui aikataulussa ja on toiminut hyvin. Tämän haastattelun perusteella voidaan päätellä että suunnittelutyö on saatu valmiiksi odotettuun aikatauluun nähden nopeasti. /3/

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Vieskan voimalle teräsrakenteinen hakevaraston laajennus ja mielestäni siinä on onnistuttu aikatauluun nähden hyvin. Rakennus saatiin valmiiksi aikataulussa ja se on vieläkin toimintakunnossa.

Urakoitsijan toimisto sijaitsi samalla paikkakunnalla kuin suunnittelutoimisto, joten yhteistyön mahdollisuutta voitiin käyttää hyödyksi. Tämän johdosta pääsin käymään työmaalla aina kun oli tarvetta ja sain näkemyksen työmaan haasteista. Yhteistyön haasteena oli kuitenkin aikataulun sovittelu rakennesuunnittelun tarpeisiin.


Olen ollut WSP:llä aikaisempina kesinä työharjoitteluissa, mutta tämä oli suunnittelutöistäni ensimmäinen kokonainen suunnittelukohde. Kiireellisen aikataulun johdosta tuli tehtyä pieniä huolimattomuusvirheitä mm. piirustusmerkinnöissä, mutta ne eivät kuitenkaan olleet rakenteellista kestävyyttä pienentäviä tekijöitä.

Haasteena oli myös se, että opinnäytetyöni ohjaaja suunnittelutoimiston puolelta joutui lähtemään työmatkalle ensimmäisen viikon ajaksi. Tämä vaikeutti tietojen selvittämistä, ja siten myös hidasti suunnittelun etenemistä.

Opin rakennesuunnittelun aikana todella paljon ja olen kiitollinen WSP Finland Oy:lle tästä mahdollisuudesta toteuttaa opinnäytetyöni käytännön tasolla.

LÄHTEET

- /1/ Ruukki Oy. 2012. Käsikirja. Hitsatut profiilit.
- /2/ Ruukki Oy. 2012. Käsikirja. Rakenneputket.
- /3/ Salo, T.2014 Herrfors Oy, Vieskan voima. Voimalaitospäällikkö. Haastattelu 8.1.2014.
- /4/ SFS-EN 1993-1-1 Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki. 2005.
- /5/ SFS EN 1993-1-3 Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt, lisäsäännöt kylmämuovatuille sauvoille ja levyille. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki. 2006.
- /6/ SFS EN-1993-1-8 Teräsrakenteiden suunnittelu. Liitosten mitoitus. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki. 2005.
- /7/ SFS EN-1991-1-1 Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki. 2002.
- /8/ SFS EN-1991-1-3 Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat, Lumikuormat. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki. 2004.
- /9/ SFS EN-1991-1-4 Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat, tuulikuormat. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki. 2011.
- /10/ Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 201-1 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki. 2011.
- /11/ Vaasan ammattikorkeakoulu. Teräsrakenteiden jatkokurssi 2013–2014. Excel-laskentapohja. Kattoristikon diagonaalien liitokset.
- /12/ WSP Oy:n opetusmateriaali. StaadPro 2006-ohje. Perttula, J.
- /13/ WSP Finland. 2014. Viitattu 9.5.2014. <http://www.wspgroup.com/fi/WSP-Finland/>
- /14/ Kalajoen Teollisuusrakenne Oy. 2014. Viitattu 9.5.2014. <http://www.kalajoenteollisuusrakenne.com/>
- /15/ Rakennus Saarela Oy. 2014. Viitattu 9.5.2014. <http://www.rakennussaarela.fi/>

 Software licensed to WSP Europe	Job No	Sheet No 1	Rev
	Part		
Job Title	Ref		
	By	Date 05-Aug-11	Chd
Client	File Herrforsr_Hakevarasto_01	Date/Time 02-May-2014 17:25	

Job Information

	Engineer	Checked	Approved
Name:			
Date:	05-Aug-11		

Structure Type	SPACE FRAME
-----------------------	-------------

Number of Nodes	157	Highest Node	226
Number of Elements	311	Highest Beam	669

Number of Basic Load Cases	9
Number of Combination Load Cases	28

Included in this printout are data for:

All	The Whole Structure
------------	---------------------

Included in this printout are results for load cases:

Type	L/C	Name
Primary	1	OMAPAINO
Primary	2	LUMI
Primary	3	TUULI_+X
Primary	4	TUULI_-X
Primary	5	TUULI_+Z
Primary	6	TUULI_Z
Primary	7	MASSA
Primary	8	LISÄVAAKAVOIMAT X
Primary	9	LISÄVAAKAVOIMAT Z
Combination	101	COMBINATION LOAD CASE 101
Combination	102	COMBINATION LOAD CASE 102
Combination	103	COMBINATION LOAD CASE 103
Combination	104	COMBINATION LOAD CASE 104
Combination	1001	
Combination	1002	
Combination	1003	
Combination	1004	
Combination	2001	
Combination	2002	
Combination	2003	
Combination	2004	
Combination	2005	
Combination	2006	
Combination	2007	
Combination	2008	
Combination	3001	
Combination	3002	
Combination	3003	
Combination	3004	
Combination	3005	
Combination	3006	
Combination	3007	

Software licensed to WSP Europe	Job No	Sheet No 2	Rev
	Part		
Job Title	Ref		
Client	By	Date: 05-Aug-11	Chd
	File	Herrforsr_Hakevarasto_01	Date/Time 02-May-2014 17:25

Job Information Cont...

Type	L/C	Name
Combination	3008	
Combination	3009	
Combination	3010	
Combination	3011	
Combination	3012	

Section Properties


Prop	Section	Area (cm ²)	I _{yy} (cm ⁴)	I _{zz} (cm ⁴)	J (cm ⁴)	Material
1	CFRHS1004	14.950	226.400	226.400	362.000	STEEL
2	RHS1401003	13.810	233.520	390.710	459.630	STEEL
3	CFRHS803	9.010	87.840	87.840	139.930	STEEL
4	CFRHS603	6.610	35.130	35.130	57.090	STEEL
5	CFRHS1004	14.950	226.400	226.400	362.000	STEEL
6	CFRHS1505	28.360	982.000	982.000	1.55E+3	STEEL
7	CFRHS703	7.810	57.530	57.530	92.420	STEEL
8	CFRHS1005	18.360	271.100	271.100	440.500	STEEL
9	CFRHS803	9.010	87.840	87.840	139.930	STEEL

Materials


Mat	Name	E (kN/mm ²)	ν	Density (kg/m ³)	α (1/°C)
1	STEEL	205.000	0.300	7.83E+3	12E-6
2	STAINLESSSTEEL	197.930	0.300	7.83E+3	18E-6
3	ALUMINUM	68.948	0.330	2.71E+3	23E-6
4	MASSLESS	205.000	0.300	0.000	12E-6
5	CONCRETE	21.718	0.170	2.4E+3	10E-6

Basic Load Cases

Number	Name
1	OMAPAINO
2	LUMI
3	TUULI_+X
4	TUULI_-X
5	TUULI_+Z
6	TUULI_Z
7	MASSA
8	LISÄVAAKAVOIMAT X
9	LISÄVAAKAVOIMAT Z

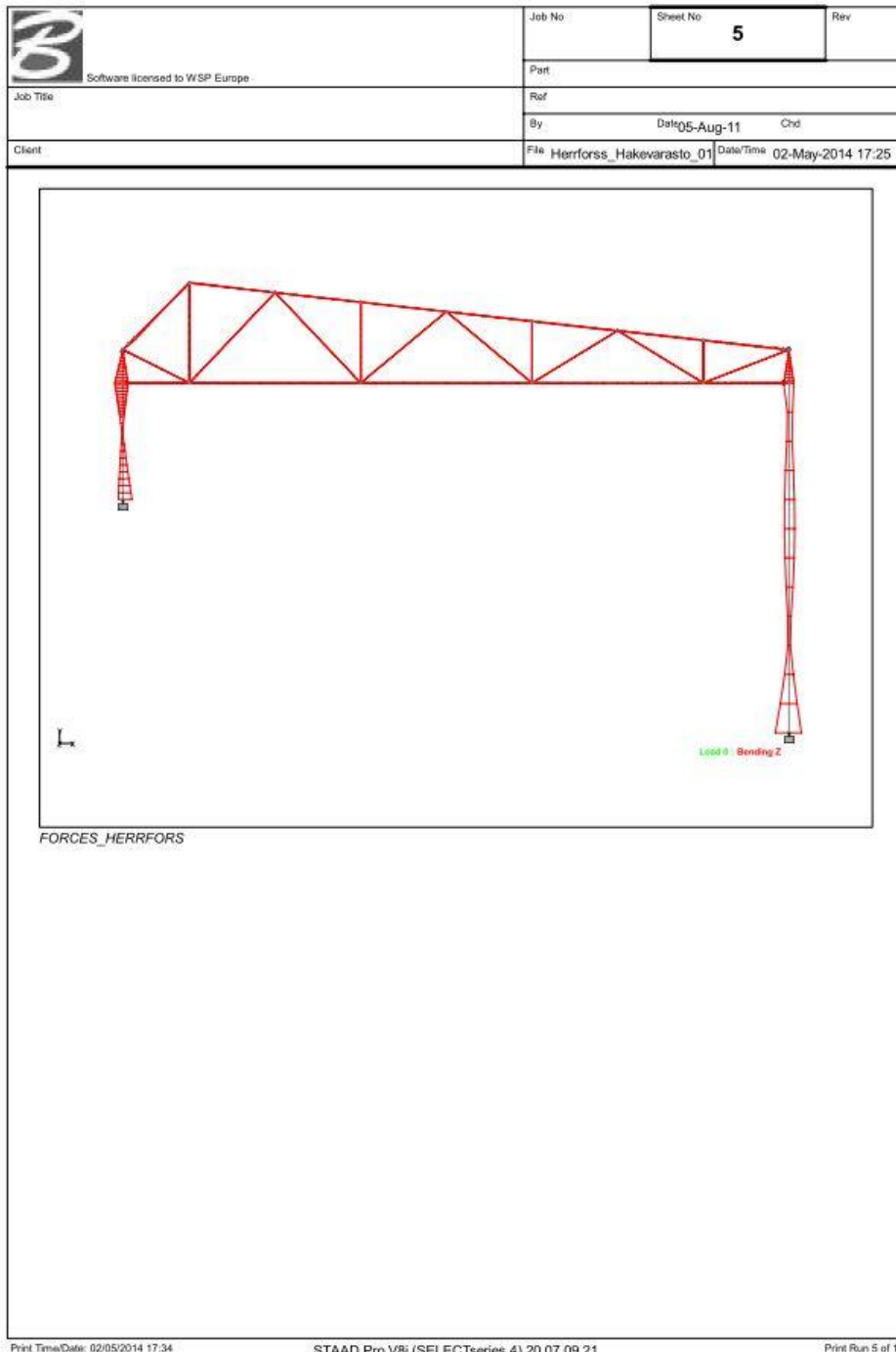
 Software licensed to WSP Europe	Job No	Sheet No	3	Rev
	Part			
Job Title	Ref			
Client	By	Date	05-Aug-11	Chd
	File	Herrforsss_Hakevarasto_01	Date/Time	02-May-2014 17:25

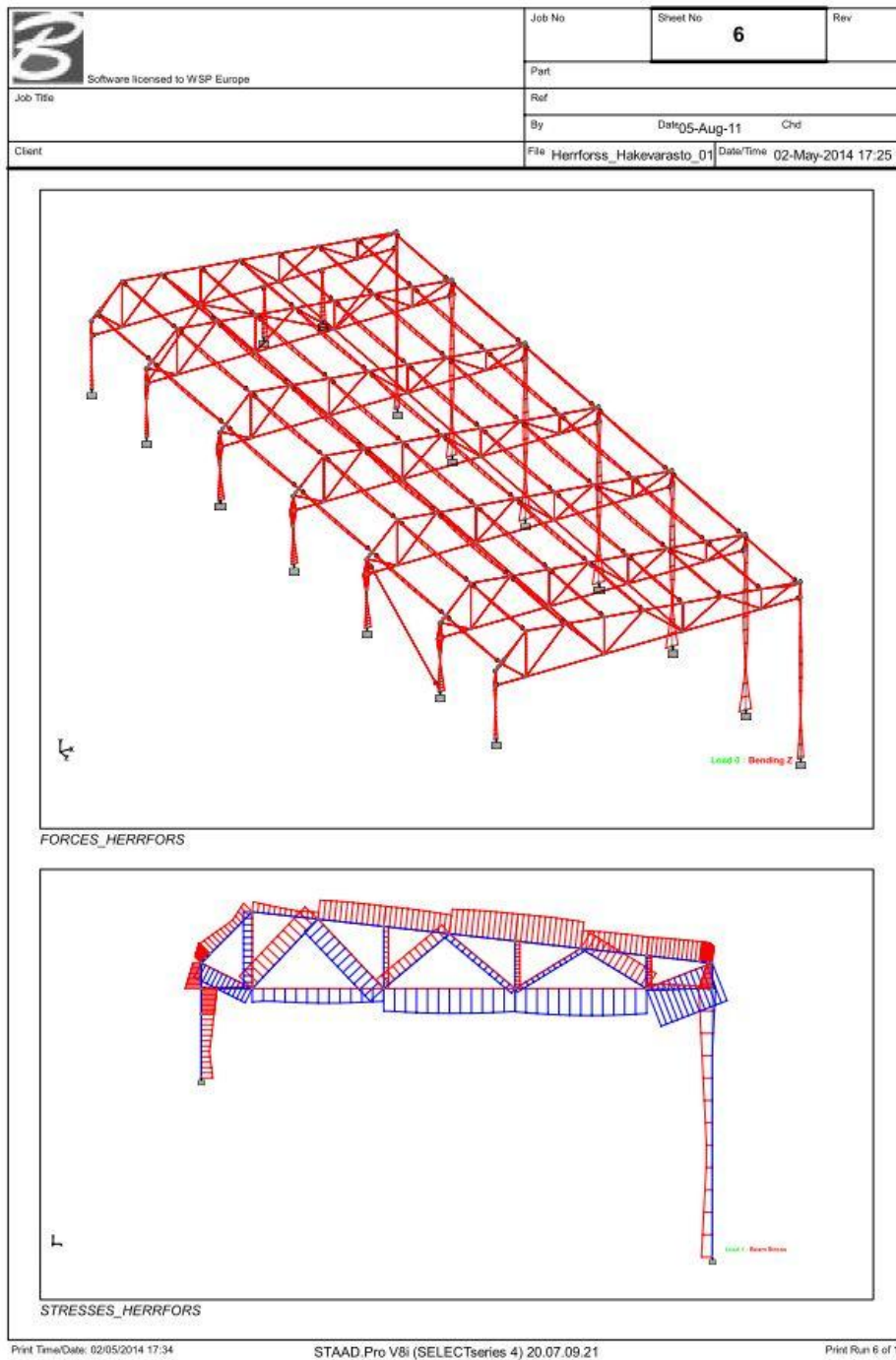
Combination Load Cases				
Comb.	Combination L/C Name	Primary	Primary L/C Name	Factor
1001		1	OMAPAINO	1.35
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	1.00
1002		1	OMAPAINO	1.35
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	1.00
1003		1	OMAPAINO	1.35
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	-1.00
1004		1	OMAPAINO	1.35
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	-1.00
2001		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.50
		3	TUULI +X	0.90
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	1.15
2002		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.50
		4	TUULI -X	0.90
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	-1.15
2003		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.50
		5	TUULI +Z	0.90
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	1.15
2004		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.50
		6	TUULI Z	0.90
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	-1.15
2005		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.50
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	-1.15
2006		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.50
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	1.15
2007		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.50
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	-1.15
2008		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.50
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	1.15
3001		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.05
		3	TUULI +X	1.50
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	1.15
3002		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.05
		4	TUULI -X	1.50
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	-1.15
3003		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.05
		5	TUULI +Z	1.50
3004		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	1.15
		1	OMAPAINO	1.15


 Software licensed to WSP Europe	Job No	Sheet No	4	Rev
	Part			
Job Title	Ref			
Client	By	Date	05-Aug-11	Chd
	File	Herrfors_Hakevarasto_01	Date/Time	02-May-2014 17:25

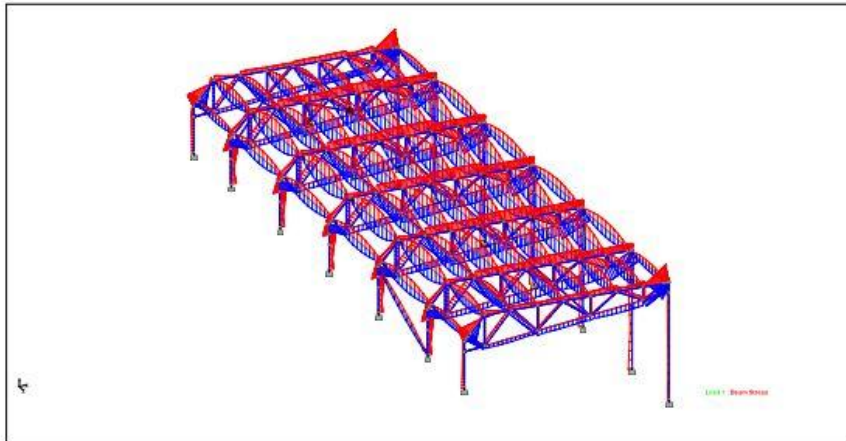
Combination Load Cases Cont...				
Comb.	Combination L/C Name	Primary	Primary L/C Name	Factor
		2	LUMI	1.05
		6	TUULI_Z	1.50
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	-1.15
3005		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.05
		3	TUULI_+X	1.50
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	1.15
3006		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.05
		4	TUULI_-X	1.50
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	-1.15
3007		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.05
		5	TUULI_+Z	1.50
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	1.15
3008		1	OMAPAINO	1.15
		2	LUMI	1.05
		6	TUULI_Z	1.50
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	-1.15
3009		1	OMAPAINO	1.15
		3	TUULI_+X	1.50
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	1.15
3010		1	OMAPAINO	1.15
		4	TUULI_-X	1.50
		8	LISÄVAAKAVOIMAT X	-1.15
3011		1	OMAPAINO	1.15
		5	TUULI_+Z	1.50
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	1.15
3012		1	OMAPAINO	1.15
		6	TUULI_Z	1.50
		9	LISÄVAAKAVOIMAT Z	-1.15
101	COMBINATION LOAD CASE 101	1	OMAPAINO	1.00
		2	LUMI	1.00
		3	TUULI_+X	1.00
102	COMBINATION LOAD CASE 102	1	OMAPAINO	1.00
		2	LUMI	1.00
		4	TUULI_-X	1.00
103	COMBINATION LOAD CASE 103	1	OMAPAINO	1.00
		2	LUMI	1.00
		5	TUULI_+Z	1.00
104	COMBINATION LOAD CASE 104	1	OMAPAINO	1.00
		2	LUMI	1.00
		6	TUULI_Z	1.00

Print Time/Date: 02/05/2014 17:34 STAAD Pro V8i (SELECTseries 4) 20.07.09.21 Print Run 4 of 10

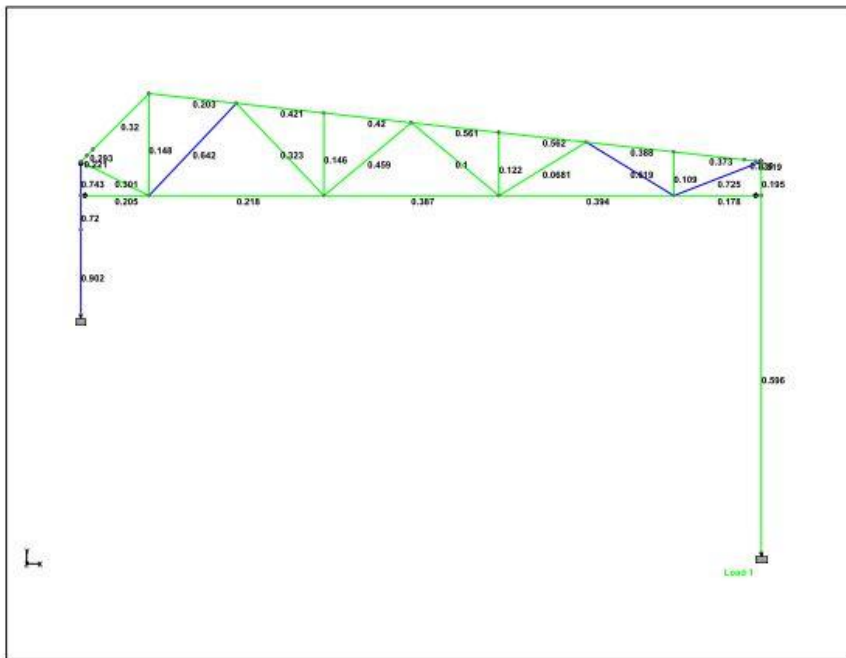




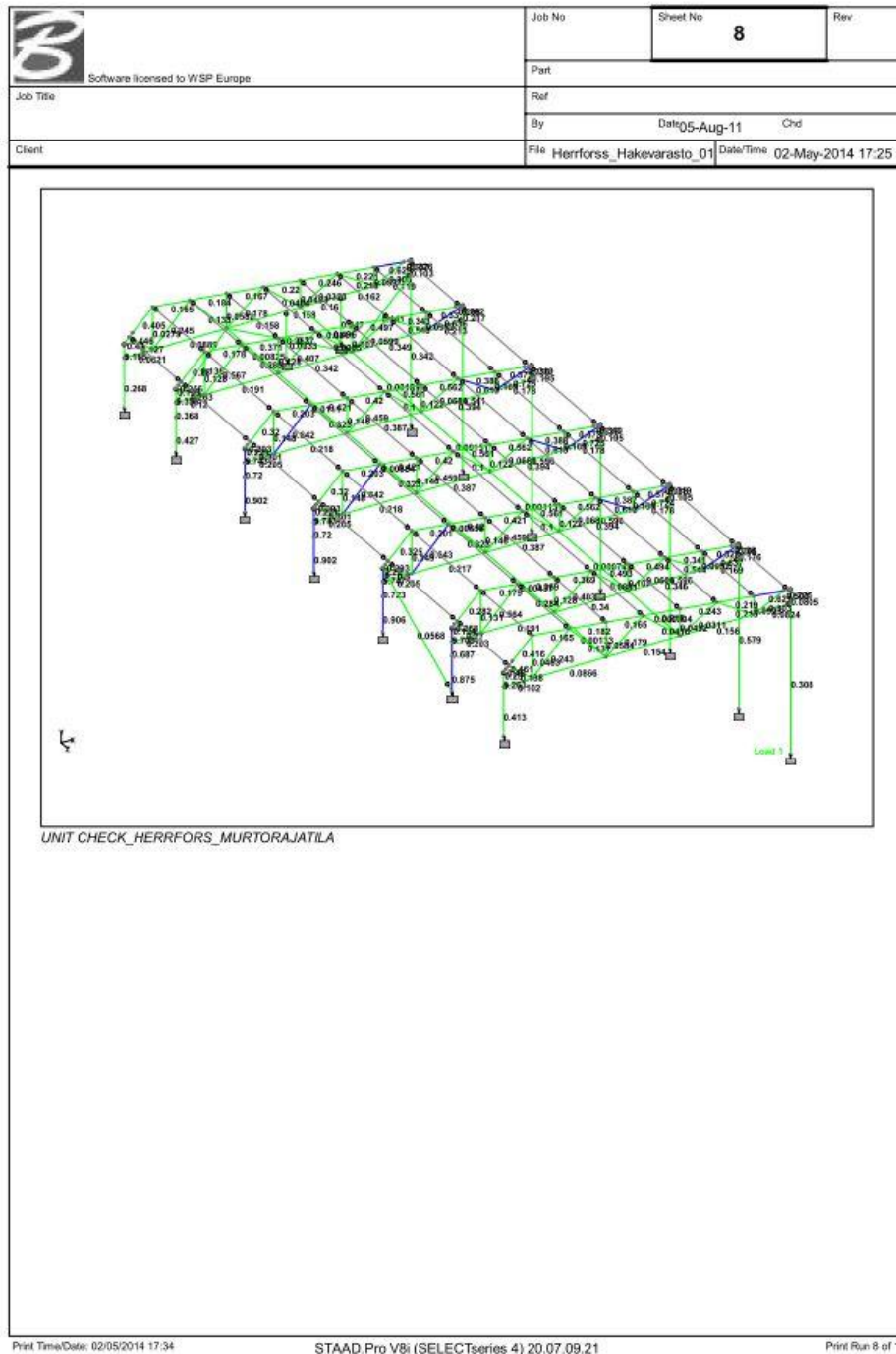
 Software licensed to WSP Europe	Job No	Sheet No	Rev.
			7
Job Title	Part		
	Ref		
Client	By	Date	Chd
	Herrfors_Hakevarasto_01	05-Aug-11	
	File	Date/Time	
		02-May-2014 17:25	

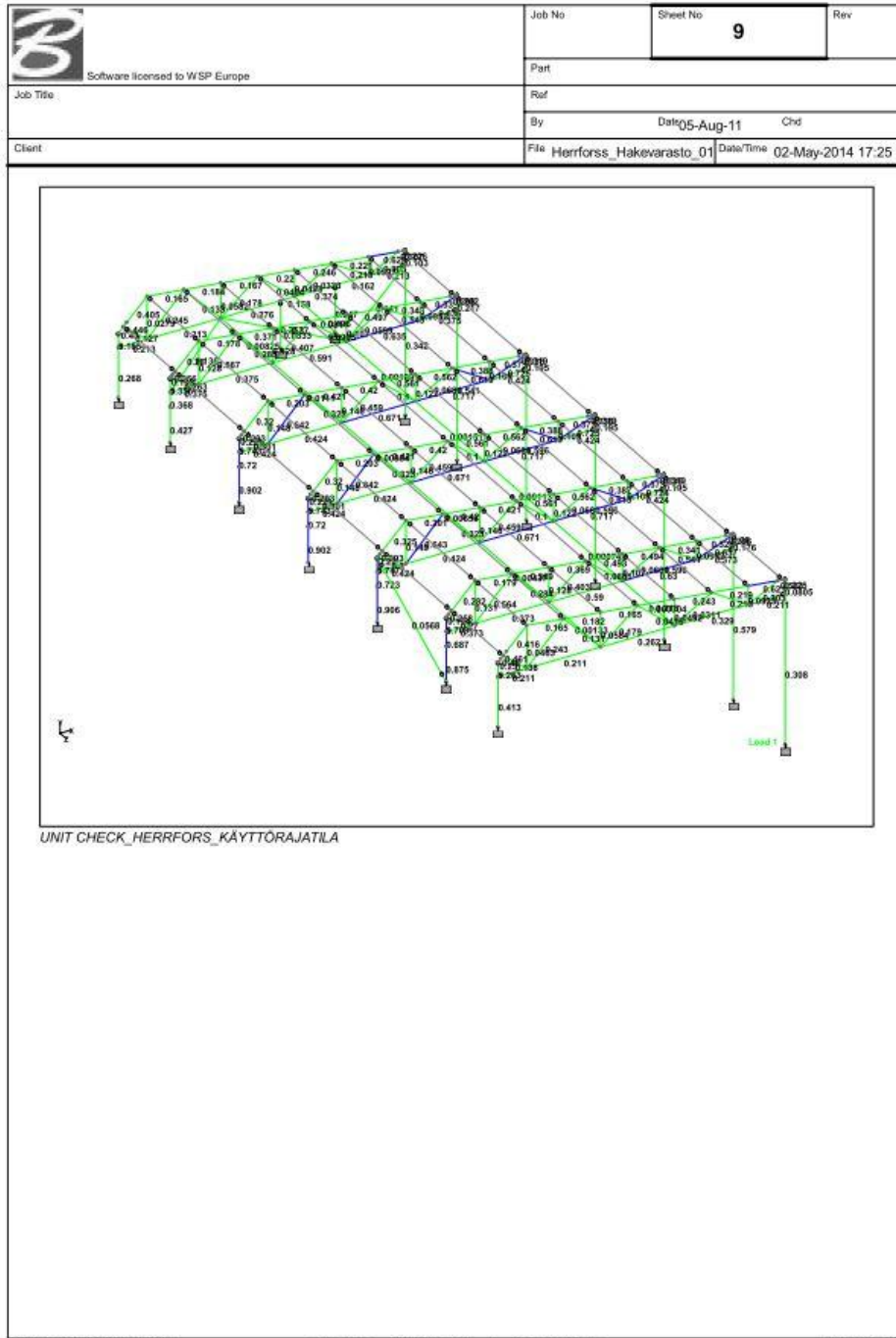


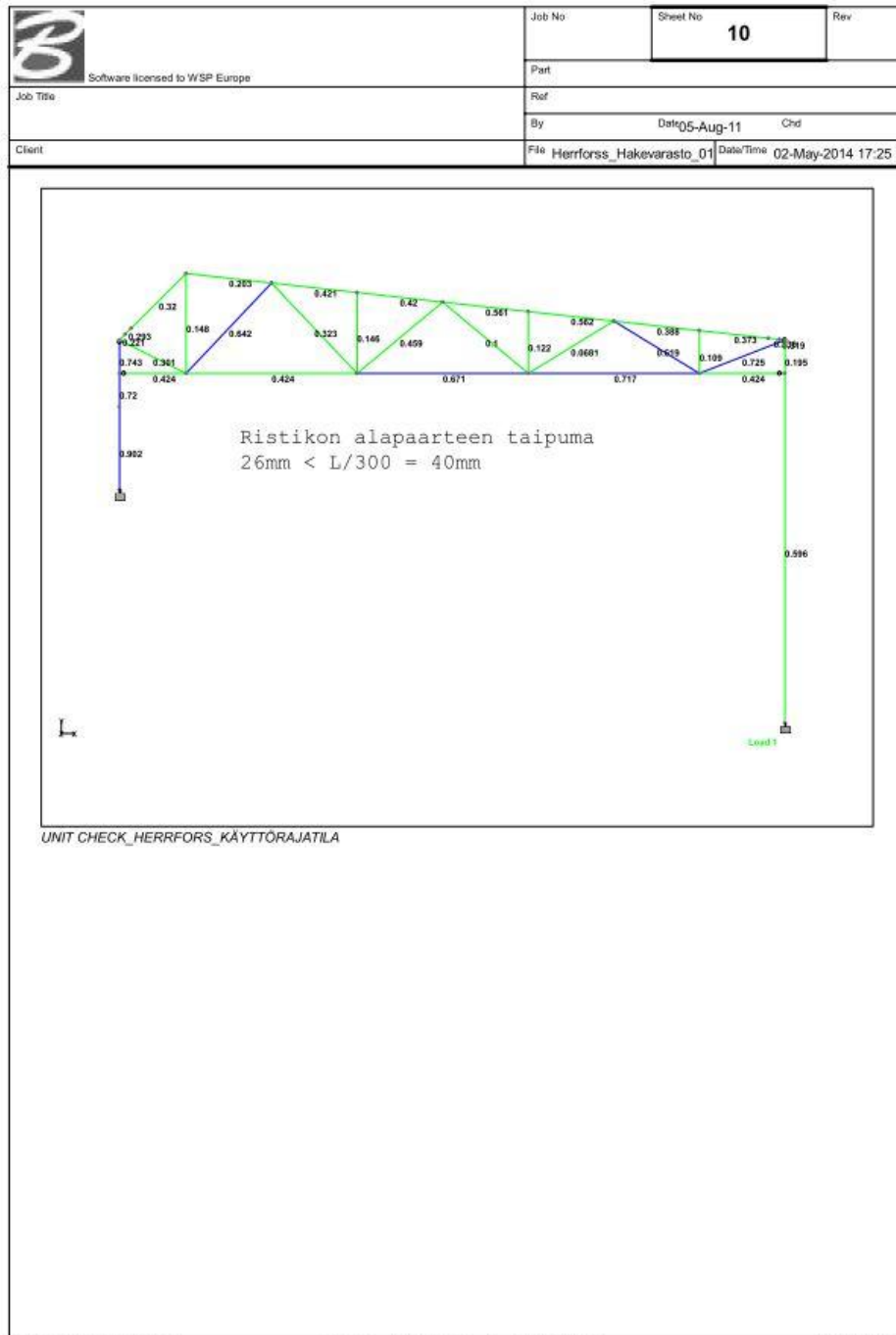
STRESSES_HERRFORS



UNIT CHECK_HERRFORS_MURTORAJATILA







P O I M U Poimulevyjen mitoitusohjelma (2011-12-02 Ver 5.20.0.0)
 TulostusPVM 5.5.2014 Klo 16:23:32 (poimu_oppari.pmu) Sivu 1
 WSP Europe, WSP Europe
 RAKENTEEN LUJUUSLASKELMAT

Laskentatiedot:
 Asiakas: Herrfors, Vieskan voima
 Osoite: Ylivieska

Tiedostonimi:
 F:\opparioppari\poimu ja orsi\poimu_oppari.pmu

Mitoitusnormi: EN 1993-1-3:2006, Euronormi EC3

*** RAKENTEEN YLEISTIEDOT ***

Rakenteen tiedot

Varmuusluokka: RC2
 Käyttörajatilan yhdistelytyyppi: Harvinainen yhdistely
 Rakennetyyppi: Määrittelemätön rakenne
 Taipumaraja: L/250
 Katon kaltevuus: 6.0°
 Tuet kiertyvät poimulevyn mukana

Poimulevy: T45-905
 - materiaali: Rakenneteräs
 - sinkitys: Zn275
 - kimmokerroin: 210000 N/mm2
 - profiilin rei'itys: Ei rei'itystä

Tuet ja jatkokset

Tuki	Tukileveys	Jatkostyyppi	Tukipala
A	50	Reunatuki	Ei
B	50	Jatkuva, sama levy	Ei
C	50	Jatkuva, sama levy	Ei
D	50	Jatkuva, sama levy	Ei
E	50	Päittäislimitetty 150/150	Ei
F	50	Jatkuva, sama levy	Ei
G	50	Jatkuva, sama levy	Ei
H	50	Reunatuki	Ei

Vasen reunatuki: Nivel tuki
 Oikea reunatuki: Nivel tuki

Valitut poimulevyt

T45-905 Leveä laippa tukea vasten

N:o	Paksuus/Lujuus [mm]/[N/mm2]	Limitys* [Poimua kpl]	Pituus [mm]	Paino [kg/kpl]
1	0.45/280	0	6475	28.59
2	0.45/280	0	4925	21.75

Poimulevyjen kokonaispaino: 5.03 kg/m2
 *Sivuttaislimitys

- Valitut levyt täyttävät mitoitusehdot. Suurin käyttöaste: 92.7 %
 - Valitut liittimet täyttävät mitoitusehdot. Suurin käyttöaste: 40.4 %

P O I M U Poimulevyjen mitoitusohjelma (2011-12-02 Ver 5.20.0.0)
 TulostusPVM 5.5.2014 Klo 16:23:32 (poimu_oppari.pmu) Sivu 4

WSP Europe, WSP Europe
 RAKENTEEEN LUJUUSLASKELMAT

Solmu	Xk	RSN	LSN	HN	LRN	LVN	LHN	OBN	OTN	TSN	SN
65	7733	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.
66	7750	.	.	.	.	X	X	.	.	.	.
67	7767	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.
68	7918	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
69	8070	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
70	8222	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
71	8373	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
72	8525	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
73	8677	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
74	8828	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
75	8980	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
76	9132	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
77	9283	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.
78	9300	.	.	.	.	X	X	.	.	.	.
79	9317	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.
80	9468	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
81	9620	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
82	9772	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
83	9923	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
84	10075	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
85	10227	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
86	10378	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
87	10530	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
88	10682	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
89	10833	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.
90	10850	.	.	.	.	X	X	.	.	.	.

RSN = Tuen vasemman puoleinen vierussolmu
 LSN = Tuen oikean puoleinen vierussolmu
 HN = Rakenteessa nivel
 LRN = Kiertymä estetty
 LVN = Pystysuuntainen siirtymä estetty
 LHN = Vaakasuuntainen siirtymä estetty
 OBN = Limitetyn liitoksen alapuoleinen solmu
 OTN = Limitetyn liitoksen yläpuoleinen solmu
 TSN = Limitetyn liitoksen tuen yläpuoleinen solmu
 SN = Limityssolmussa kiinnitys (ruuvi)

*** KUORMATIEDOT ***

Pysyvät kuormat

Rakenteen paino ilman poimulevyä

0.60 kN/m2

P O I M U Poimulevyjen mitoitusohjelma
TulostusPVM 5.5.2014 Klo 16:23:32

(2011-12-02 Ver 5.20.0.0)
(poimu_oppari.pmu) Sivu 5

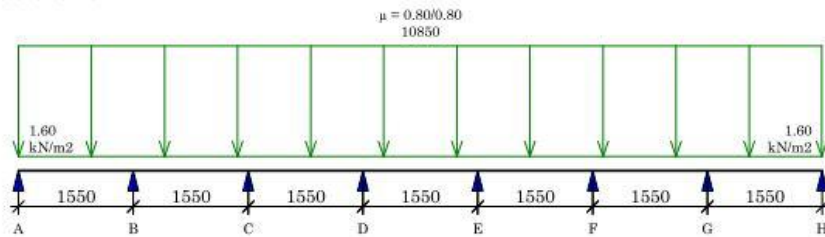
WSP Europe, WSP Europe
RAKENTEEN LUJUUSLASKELMAT

Lumikuormat

Peruslumikuorma maassa 2.00 kN/m²
Liikkuvuus 0.00 %

Tapaus: 1

- Muotokertoimet

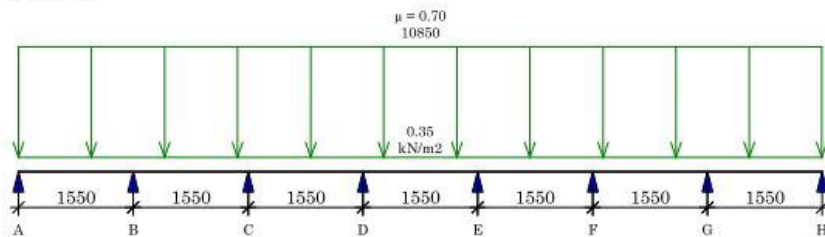


Tuulikuormat

Tuulikuorman perusarvo 0.50 kN/m²

Tapaus: 1

- Paine kertoimet



Hyötykuormat - ei kuormia

Kuormaosavarmuuskertoimet:	Murtorajatila			Käyttörajatila		
	Maks	Min	Yhd. ker	Maks	Min	Yhd. ker
Pysyvät kuormat:	1.35	1.00		1.00	1.00	
Lumikuormat:	1.50	0.00	0.60	1.00	0.00	0.60
Tuulikuormat:	1.50	0.00	0.60	1.00	0.00	0.60
Hyötykuormat:	1.50	0.00	0.70	1.00	0.00	0.70

P O I M U Poimulevyjen mitoitusohjelma
TulostusPVM 5.5.2014 Klo 16:23:32

(2011-12-02 Ver 5.20.0.0)
(poimu_oppari.pmu) Sivu 6

WSP Europe, WSP Europe
RAKENTEEN LUJUUSLASKELMAT

*** STATIIKKALASKENNAN TULOKSET ***

Solmuvoimat

Solmu No	Msd,min [kNm/m]	Msd,max [kNm/m]	Vsd,min [kN/m]	Vsd,max [kN/m]	f,min [mm]	f,max [mm]
1 (A)	0.0	0.0	-2.1	-0.3	0.0	0.0
2	0.0	0.0	-2.1	-0.3	-0.1	-0.0
3	0.1	0.3	-1.5	-0.2	-1.3	-0.3
4	0.1	0.5	-1.0	-0.2	-2.2	-0.6
5	0.1	0.6	-0.5	-0.1	-2.9	-0.8
6	0.1	0.7	0.0	0.0	-3.3	-0.9
7	0.1	0.6	0.1	0.5	-3.2	-0.9
8	0.1	0.5	0.2	1.1	-2.9	-0.8
9	0.0	0.3	0.3	1.6	-2.2	-0.6
10	0.0	0.0	0.3	2.1	-1.4	-0.4
11	-0.3	-0.1	0.4	2.6	-0.6	-0.2
12	-0.8	-0.1	0.5	3.1	-0.0	-0.0
13 (B)	-0.8	-0.1	-6.0	-1.0	0.0	0.0
14	-0.8	-0.1	-2.7	-0.4	0.0	0.0
15	-0.4	-0.1	-2.2	-0.4	0.0	0.1
16	-0.1	-0.0	-1.7	-0.3	-0.2	-0.1
17	0.0	0.1	-1.2	-0.2	-0.5	-0.1
18	0.0	0.2	-0.6	-0.1	-0.8	-0.2
19	0.1	0.3	-0.1	-0.0	-0.9	-0.2
20	0.0	0.3	0.1	0.4	-0.9	-0.2
21	0.0	0.2	0.1	0.9	-0.7	-0.2
22	0.0	0.0	0.2	1.4	-0.4	-0.1
23	-0.2	-0.0	0.3	2.0	-0.1	-0.0
24	-0.6	-0.1	0.4	2.5	0.0	0.0
25 (C)	-0.6	-0.1	-5.2	-0.8	0.0	0.0
26	-0.6	-0.1	-2.6	-0.4	-0.0	-0.0
27	-0.2	-0.0	-2.1	-0.3	-0.3	-0.1
28	0.0	0.0	-1.5	-0.2	-0.7	-0.2
29	0.0	0.2	-1.0	-0.2	-1.2	-0.3
30	0.1	0.4	-0.5	-0.1	-1.5	-0.4
31	0.1	0.4	0.0	0.0	-1.6	-0.4
32	0.1	0.4	0.1	0.5	-1.5	-0.4
33	0.0	0.2	0.2	1.1	-1.2	-0.3
34	0.0	0.0	0.3	1.6	-0.7	-0.2
35	-0.2	-0.0	0.3	2.1	-0.3	-0.1
36	-0.6	-0.1	0.4	2.6	-0.0	-0.0
37 (D)	-0.6	-0.1	-5.3	-0.8	0.0	0.0
38	-0.6	-0.1	-2.5	-0.4	0.0	0.0
39	-0.3	-0.0	-2.0	-0.3	-0.1	-0.0
40	0.0	0.0	-1.5	-0.2	-0.5	-0.1
41	0.0	0.2	-1.0	-0.2	-0.8	-0.2
42	0.1	0.3	-0.5	-0.1	-1.1	-0.3
43	0.1	0.3	0.0	0.1	-1.1	-0.3
44	0.0	0.3	0.1	0.6	-1.0	-0.3
45	0.0	0.2	0.2	1.1	-0.8	-0.2
46	-0.1	-0.0	0.3	1.6	-0.4	-0.1
47	-0.4	-0.1	-0.1	2.2	-0.1	-0.0
48	-0.4	-0.1	-0.1	-0.0	0.0	0.0
49 (E)	-0.4	-0.1	-5.5	-0.9	0.0	0.0
50	-0.3	-0.1	-2.4	-0.4	-0.0	-0.0
51	0.0	0.0	-2.4	0.0	-0.1	-0.0

P O I M U Poimulevyjen mitoitusohjelma (2011-12-02 Ver 5.20.0.0)
 TulostusPVM 5.5.2014 Klo 16:23:32 (poimu_oppari.pmu) Sivu 7

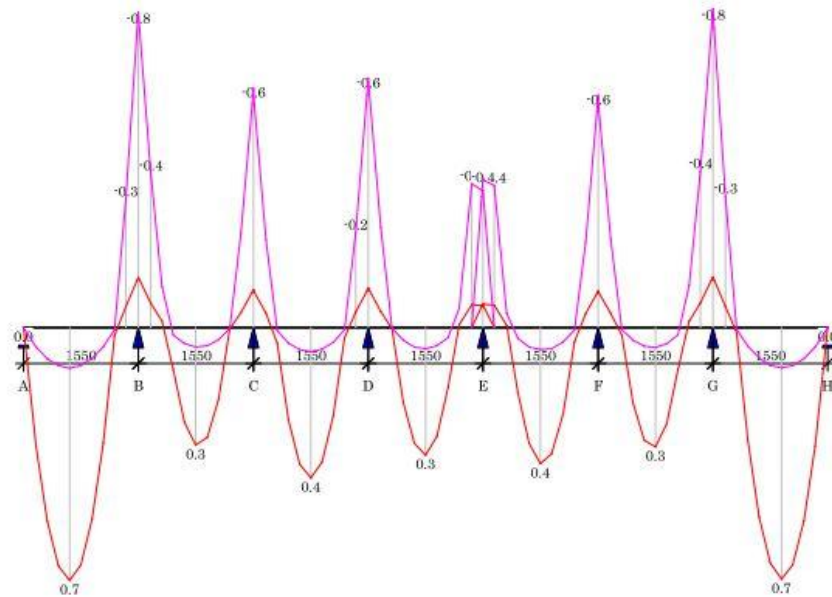
WSP Europe, WSP Europe
 RAKENTEEN LUJUUSLASKELMAT

Solmu No		Msd,min [kNm/m]	Msd,max [kNm/m]	Vsd,min [kN/m]	Vsd,max [kN/m]	f,min [mm]	f,max [mm]
52	(I)	0.0	0.0	0.0	2.3	-0.1	-0.0
53	(I)	-0.3	-0.1	0.4	2.8	-0.0	-0.0
54	(I)	-0.4	-0.1	-0.4	2.8	0.0	0.0
55	(I)	-0.4	-0.1	-0.3	-0.1	-0.0	-0.0
56	(I)	-0.4	-0.1	-2.2	0.1	-0.1	-0.0
57		-0.0	-0.0	-1.6	-0.3	-0.5	-0.1
58		0.0	0.2	-1.1	-0.2	-0.9	-0.2
59		0.1	0.3	-0.6	-0.1	-1.2	-0.3
60		0.1	0.4	-0.1	-0.0	-1.3	-0.3
61		0.1	0.3	0.1	0.4	-1.3	-0.3
62		0.0	0.2	0.2	1.0	-1.0	-0.3
63		0.0	0.0	0.2	1.5	-0.6	-0.2
64		-0.2	-0.0	0.3	2.0	-0.2	-0.1
65		-0.6	-0.1	0.4	2.5	-0.0	-0.0
66	(F)	-0.6	-0.1	-5.1	-0.8	0.0	0.0
67		-0.6	-0.1	-2.5	-0.4	0.0	0.0
68		-0.2	-0.0	-1.9	-0.3	-0.1	-0.0
69		0.0	0.0	-1.4	-0.2	-0.5	-0.1
70		0.0	0.2	-0.9	-0.1	-0.8	-0.2
71		0.0	0.3	-0.4	-0.1	-0.9	-0.3
72		0.1	0.3	0.0	0.1	-1.0	-0.3
73		0.0	0.2	0.1	0.7	-0.8	-0.2
74		0.0	0.1	0.2	1.2	-0.5	-0.1
75		-0.1	-0.0	0.3	1.7	-0.2	-0.1
76		-0.4	-0.1	0.4	2.2	0.0	0.1
77		-0.8	-0.1	0.4	2.7	0.0	0.0
78	(G)	-0.8	-0.1	-6.0	-1.0	0.0	0.0
79		-0.8	-0.1	-3.1	-0.5	-0.0	-0.0
80		-0.3	-0.1	-2.6	-0.4	-0.6	-0.2
81		0.0	0.0	-2.1	-0.3	-1.4	-0.4
82		0.0	0.3	-1.6	-0.3	-2.2	-0.6
83		0.1	0.5	-1.1	-0.2	-2.9	-0.8
84		0.1	0.6	-0.5	-0.1	-3.2	-0.9
85		0.1	0.7	-0.0	-0.0	-3.3	-0.9
86		0.1	0.6	0.1	0.5	-2.9	-0.8
87		0.1	0.5	0.2	1.0	-2.2	-0.6
88		0.1	0.3	0.2	1.5	-1.3	-0.3
89		0.0	0.0	0.3	2.1	-0.1	-0.0
90	(H)	0.0	0.0	-2.1	-0.3	0.0	0.0

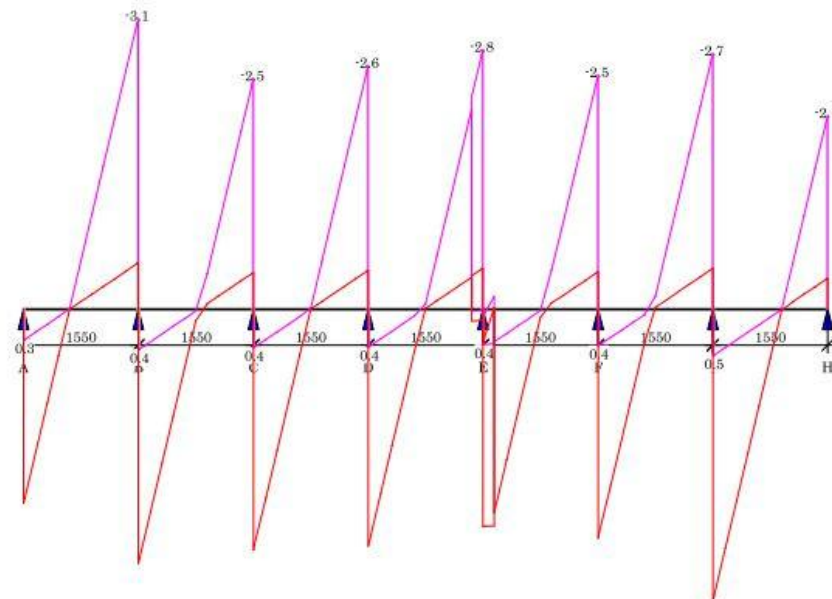
(Tukisolmussa leikkausvoimana tulostetaan tukireaktio)

(I) -Limitetyn liitoksen yläsolmu

Momenttikuvaaja [kNm/m]



Leikkausvoimakuvaaja [kN/m]

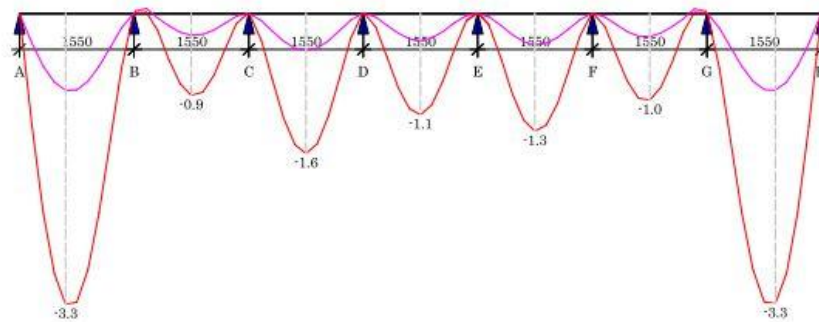


P O I M U Poimulevyjen mitoitusohjelma
TulostusPVM 5.5.2014 Klo 16:23:32

(2011-12-02 Ver 5.20.0.0)
(poimu_oppari.pmu) Sivu 9

WSP Europe, WSP Europe
RAKENTEEN LUJUUSLASKELMAT

Taipumakuvaaja [mm]



*** KESTÄVYYSLASKENNAN TULOKSET ***

Käyttöasteet levyittäin

T45-905 Leveä laippa tukea vasten

Levy No	Paksuus/lujuus [mm]/[N/mm ²]	Kenttä [%]	Tuki [%]	Taipuma [%]	Levyvaikutus [%]
1	0.45/280	53.4	92.0	52.6	-
2	0.45/280	53.1	92.7	52.5	-

Suurin käyttöaste: 92.7 %
Mitoittava tapaus: Interaktio tuella M+R

P O I M U Poimulevyjen mitoitusohjelma (2011-12-02 Ver 5.20.0.0)
 TulostusPVM 5.5.2014 Klo 16:23:32 (poimu_oppari.pmu) Sivu 10

WSP Europe, WSP Europe
 RAKENTEEN LUJUUSLASKELMAT

Käyttöasteet jänteittäin

T45-905 Leveä laippa tukea vasten

Jänne/ Tuki	M [%]	R/V [%]	Interaktio [%]	Taipuma [%]
A	0.0	34.2 R	27.3 M+R	
1	53.4 (623)			52.6 (623)
B	62.2	55.8 R	92.0 M+R	
2	31.9 (168)			14.8 (775)
C	46.9	48.3 R	74.1 M+R	
3	31.8 (775)			25.4 (775)
D	48.8	49.2 R	76.3 M+R	
4	29.7 (1400)			18.3 (775)
E	29.4	25.6 R	42.9 M+R	
5	29.4 (150)			21.3 (775)
F	45.4	47.4 R	72.3 M+R	
6	32.3 (1382)			15.7 (775)
G	62.9	56.0 R	92.7 M+R	
7	53.1 (927)			52.5 (927)
H	0.0	34.1 R	27.3 M+R	

(Suluissa mitoittavan kohdan sijainti jänteen vasemmasta päästä)

Suurin käyttöaste: 92.7 %

Mitoittava tapaus: Interaktio tuella M+R

Mitoitussuureet jänteittäin

Jänne/ Tuki	Momentti kNm/m		Pistekestävyys kN/m		Taipuma mm	
	Msd	Mc,rd	Fsd	Rw,rd	f	f,sall.
A	0.00	1.23	2.13	6.23		
1	0.66	1.23			-3.3	6.2
B	-0.79	1.26	5.97	10.71		
2	-0.40	1.26			-0.9	6.2
C	-0.59	1.26	5.17	10.71		
3	0.39	1.23			-1.6	6.2
D	-0.62	1.26	5.27	10.71		
4	-0.38	1.26			-1.1	6.2
E	-0.37	1.26	2.74	10.71		
5	-0.37	1.26			-1.3	6.2
F	-0.57	1.26	5.08	10.71		
6	-0.41	1.26			-1.0	6.2
G	-0.79	1.26	6.00	10.71		
7	0.66	1.23			-3.3	6.2
H	0.00	1.23	2.12	6.23		

Tukireaktiot Fsd [kN/m]

Tuki	Pysyvä ¹⁾	Lumi ¹⁾		Tuuli ¹⁾		Muuttuva ¹⁾		Yhdistely ²⁾	
		min	max	min	max	min	max	min	max
A	0.40	-0.00	0.98	-0.00	0.22	-	-	0.34	2.13
B	1.12	-0.00	2.76	-0.00	0.61	-	-	0.95	5.97
C	0.97	-0.00	2.39	-0.00	0.53	-	-	0.83	5.17
D	0.99	-0.00	2.43	-0.00	0.54	-	-	0.84	5.27
E	1.04	-0.00	2.52	-0.00	0.56	-	-	0.89	5.48

P O I M U Poimulevyjen mitoitusohjelma (2011-12-02 Ver 5.20.0.0)
 TulostusPVM 5.5.2014 Klo 16:23:32 (poimu_oppari.pmu) Sivu 10

WSP Europe, WSP Europe
 RAKENTEEN LUJUUSLASKELMAT

Käyttöasteet jänteittäin

T45-905 Leveä laippa tukea vasten

Jänne/ Tuki	M [%]	R/V [%]	Interaktio [%]	Taipuma [%]
A	0.0	34.2 R	27.3 M+R	
1	53.4 (623)			52.6 (623)
B	62.2	55.8 R	92.0 M+R	
2	31.9 (168)			14.8 (775)
C	46.9	48.3 R	74.1 M+R	
3	31.8 (775)			25.4 (775)
D	48.8	49.2 R	76.3 M+R	
4	29.7 (1400)			18.3 (775)
E	29.4	25.6 R	42.9 M+R	
5	29.4 (150)			21.3 (775)
F	45.4	47.4 R	72.3 M+R	
6	32.3 (1382)			15.7 (775)
G	62.9	56.0 R	92.7 M+R	
7	53.1 (927)			52.5 (927)
H	0.0	34.1 R	27.3 M+R	

(Suluissa mitoittavan kohdan sijainti jänteen vasemmasta päästä)

Suurin käyttöaste: 92.7 %
 Mitoittava tapaus: Interaktio tuella M+R

Mitoitussuureet jänteittäin

Jänne/ Tuki	Momentti kNm/m		Pistekestävyys kN/m		Taipuma mm	
	Msd	Mc,rd	Fsd	Rw,rd	f	f,sall.
A	0.00	1.23	2.13	6.23		
1	0.66	1.23			-3.3	6.2
B	-0.79	1.26	5.97	10.71		
2	-0.40	1.26			-0.9	6.2
C	-0.59	1.26	5.17	10.71		
3	0.39	1.23			-1.6	6.2
D	-0.62	1.26	5.27	10.71		
4	-0.38	1.26			-1.1	6.2
E	-0.37	1.26	2.74	10.71		
5	-0.37	1.26			-1.3	6.2
F	-0.57	1.26	5.08	10.71		
6	-0.41	1.26			-1.0	6.2
G	-0.79	1.26	6.00	10.71		
7	0.66	1.23			-3.3	6.2
H	0.00	1.23	2.12	6.23		

Tukireaktiot Fsd [kN/m]

Tuki	Pysyvä ¹⁾	Lumi ¹⁾		Tuuli ¹⁾		Muuttuva ¹⁾		Yhdistely ²⁾	
		min	max	min	max	min	max	min	max
A	0.40	-0.00	0.98	-0.00	0.22	-	-	0.34	2.13
B	1.12	-0.00	2.76	-0.00	0.61	-	-	0.95	5.97
C	0.97	-0.00	2.39	-0.00	0.53	-	-	0.83	5.17
D	0.99	-0.00	2.43	-0.00	0.54	-	-	0.84	5.27
E	1.04	-0.00	2.52	-0.00	0.56	-	-	0.89	5.48

P O I M U Poimulevyjen mitoitusohjelma (2011-12-02 Ver 5.20.0.0)
TulostusPVM 5.5.2014 Klo 16:23:32 (poimu_oppari.pmu) Sivu 12

WSP Europe, WSP Europe
RAKENTEEN LUJUUSLASKELMAT

7	500	-
---	-----	---

Mitoittava kriteeri: -5) Kallistus ja reunapuristuskestävyys

Putkipilarin yksinkertaistettu hitsin mitoitus

N_{Ed} = 90 kN
 M_{Ed} = 21 kN
 V_{Ed} = 15 kNm

profiili 150x150x5
 150
 150
 5

Poikkileikkaussuureet

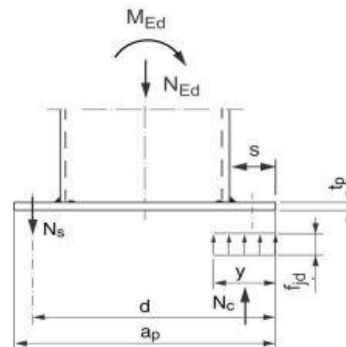
I_y = 9821200 mm⁴
 W_{el,y} = 130950 mm³
 A = 2836 mm²

Levyn mitat

t_p = 12 mm
 a_p = 200 mm
 b_p = 200 mm
 d = 160 mm

f_{yp} = 355 N/mm²
 f_{up} = 490 N/mm² kun t ≤ 40 mm

γ_{M0} = 1
 γ_{M2} = 1,25
 β_w = 0,9



Hitsin mitoitus

Pilarin laipan hitsit:

Lasketaan tuleeko pilarin hitseille vetoa. Taivutusmomentin vetopuolella pilarin seinämän keskiliinjan jännitys on:

$$\sigma_x = 70 \text{ N/mm}^2$$

Taivutusmomentti aiheuttaa pilariin ja sen hitseihin vetojännitystä!

Pilarin uuman hitsit:

Jos hitsissä ei ole vetojännitystä, puristusjännitykset välitetään kosketuspaineen kautta. Tällöin riittää että uuman hitsit mitoitetaan kantamaan leikkausvoimat. Jos hitsissä on vetojännitystä, hitsi mitoitetaan myös vetojännitykselle.

Kokeillaan a-mittaa 3mm, joka on pienin sallittu a-mitta pienahitsille

$$a = 3 \text{ mm} \quad \tau_{II} = 33,3 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 82,3 \text{ N/mm}^2$$

kun hitsiin kohdistuu pelkästään leikkausta, hitsin mitoitusehto on (murtolujuutena käytetään liitettävistä osista heikemmän murtolujuutta)

174,4	N/mm ²	≤	435,6	OK!
82,3	N/mm ²	≤	352,8	OK!

Hitsin jäähtymisnopeuden perusteella tarvitaan

$a \geq$ mm (t=paksumpi liitettävistä osista)

Valitaan $a =$ mm OK! (koko pilarin ympäri)

100,0	N/mm ²	≤	251,5	N/mm ²	OK!
-------	-------------------	---	-------	-------------------	-----

SITEIDEN LIITOKSET

hitsiä kuormittava siteen normaalivoima

Ned = 100 kN

profiili 60x60x3

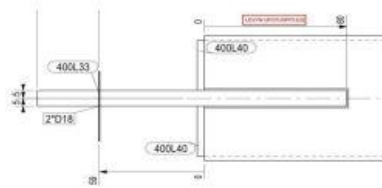
60 mm
60 mm
3 mm

Mitoitusarvot

t = 10 mm (levyn paksuus)
fyp = 355 N/mm²
fup = 490 N/mm² kun t ≤ 40 mm

80 mm
Siteeseen hitsatun levyn upotuspituus

γM0 = 1
γM2 = 1,25
βw = 0,9



Hitsin mitoitus

siteen ja levyn väliset hitsit:

Kokeillaan a-mittaa 3mm, joka on pienin sallittu a-mitta pienahitsille

a = 3 mm τII = 104,2 N/mm²
180,4 N/mm² ≤ 435,6 N/mm² **OK!**

Hitsin jäähtymisnopeuden perusteella tarvitaan

a ≥ 2,7 mm (t=paksumpi liitettävistä osista)

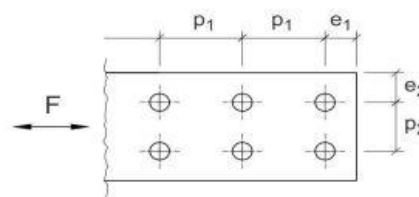
Valitaan a = 4 mm **OK!** (koko levyn ympäri)

78,1 N/mm² ≤ 251,4681 N/mm² **OK!**

Yksileikkeisen pulttiliitoksen mitoitus

Mitoitusarvot:

Pultti = 16 mm (M16)
Lujuus = 8,8
f_{ub} = 800 N/mm²
f_{yb} = 640 N/mm²
e₁ = 40 mm
e₂ = 40 mm
p₂ = 60 mm
d₀ = 18 mm
A_{ruuvi} = 201 mm²



(reiän halkaisija)
(pultin leikkauspinta-ala)

$$A_{s,ruuvi} = 157 \text{ mm}^2 \quad (\text{pultin leikkauspinta-ala kierteellä})$$

Ruuvien leikkauskestävyys:

$$F_{V,Rd} = 77,2 \text{ kN} > 50 \text{ kN} \quad \text{OK!} \quad \text{leikkaus ei kierteellä}$$

$$F_{V,Rd} = 60,3 \text{ kN} > 50 \text{ kN} \quad \text{OK!} \quad \text{leikkaus kierteellä}$$

Ruuvien reunapuristuskestävyys:

$$e_1 = 40 \text{ mm} \geq 21,6 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

$$e_2 = 40 \text{ mm} \geq 21,6 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

$$p_2 = 60 \text{ mm} \geq 43,2 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

$$\alpha_v = 0,741$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = 116,1 \text{ kN} \geq 50 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

Liitoslevyjen vetokestävyys bruttoleikkauksessa ja reikien kohdalla nettoleikkauksessa:

$$N_{t,Rd} = 497 \text{ kN} \geq 100 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

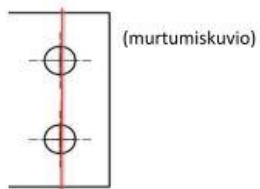
$$N_{t,Rd} = 369,2 \text{ kN} \geq 100 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

Liitoslevyjen palamurtuminen:

Tapaus 1-1

$$A_{nv} = 1040 \text{ mm}^2$$

$$F_{ee,Rd} = 369,2 \text{ kN} \geq 100 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$



Tapaus 2-2

$$A_{nt} = 310 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 310 \text{ mm}^2$$

$$F_{ee,Rd} = 231,57 \text{ kN} \geq 100 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$



Kattoristikon päätylevyyliitos

hitsiä kuormittava siteen normaalivoima

$$N_{ed} = 100 \text{ kN}$$

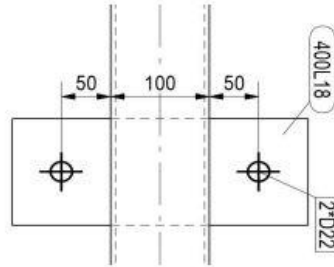
profiili 150x150x5

$$\begin{array}{l} 100 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \\ 5 \text{ mm} \end{array}$$

Mitoitusarvot

$$\begin{array}{l} t = 15 \text{ mm} \quad (\text{levyn paksuus}) \\ f_{yp} = 355 \text{ N/mm}^2 \\ f_{up} = 490 \text{ N/mm}^2 \quad \text{kun } t \leq 40 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \gamma_{M0} = 1 \\ \gamma_{M2} = 1,25 \\ \beta_w = 0,9 \end{array}$$



Hitsin mitoitus

siteen ja levyn väliset hitsit:

Lasketaan hitsseille tuleva vetojännitys

$$\sigma_x = 100 \text{ N/mm}^2$$

Normaalivoima aiheuttaa siteeseen ja sen hitseihin vetojännitystä!

Pilarin uuman hitsit:

Hitsit mitoitetaan kantamaan hitsin suuntaisen jännityksen

Kokeillaan a-mittaa 3mm, joka on pienin sallittu a-mitta kanstavalle pienahitsille

$$a = 3 \text{ mm} \quad \tau_{II} = 166,7 \text{ N/mm}^2$$

kun hitsiin kohdistuu pelkästään leikkausta, hitsin mitoitusehto on (murtolujuutena käytetään liitettävistä osista heikomman murtolujuutta)

$$288,7 \text{ N/mm}^2 \leq 435,6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

Hitsin jäähtymisnopeuden perusteella tarvitaan

$$a \geq 3,4 \text{ mm} \quad (t=\text{paksumpi liitettävistä osista})$$

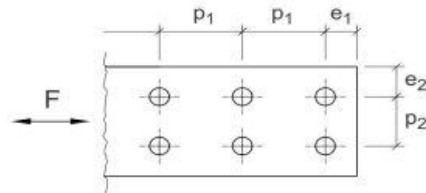
$$\text{Valitaan } a = 4 \text{ mm} \quad \text{OK!} \quad (\text{koko levyn ympäri})$$

$$166,7 \text{ N/mm}^2 \leq 251,4681 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

Yksileikkeisen pulttiliitoksen mitoitus

Mitoitusarvot:

Pultti =	20 mm	(M16)
Lujuus =	8,8	
f_{ub} =	800 N/mm ²	
f_{yb} =	640 N/mm ²	
e_1 =	50 mm	
e_2 =	50 mm	
p_2 =	100 mm	
d_0 =	22 mm	(reiän halkaisija)
A_{ruuvi} =	314 mm ²	(pultin leikkauspinta-ala)
$A_{s,ruuvi}$ =	245 mm ²	(pultin leikkauspinta-ala kierteellä)



Ruuvien leikkauskestävyys:

$F_{V,Rd}$ =	120,6 kN	>	50 kN	OK!	leikkaus ei kierteellä
$F_{V,Rd}$ =	94,1 kN	>	50 kN	OK!	leikkaus kierteellä

Ruuvien reunapuristuskestävyys:

e_1 =	50 mm	\geq	26,4 mm	OK!
e_2 =	50 mm	\geq	26,4 mm	OK!
p_2 =	60 mm	\geq	52,8 mm	OK!
α_b =	0,758			
k_1 =	2,5			
$F_{b,Rd}$ =	222,7 kN	\geq	50 kN	OK!

Liitoslevyjen vetokestävyys bruttoleikkauksessa ja reikien kohdalla nettoleikkauksessa:

$N_{t,Rd}$ =	1065 kN	\geq	100 kN	OK!
$N_{t,Rd}$ =	830,7 kN	\geq	100 kN	OK!

Liitoslevyjen palamurtuminen:

Tapaus 1-1

$$A_{nv} = \boxed{840} \text{ mm}^2$$

$$F_{ee,Rd} = \boxed{298,2} \text{ kN} \geq \boxed{50} \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

Kattoristikon sideliitos

$F_{ed} =$	100	kN	
$t_p =$	15	mm	(liitoslevyjen paksuus)
$A =$	1495	mm ²	(putkiprofiilin poikkileikkauspinta-ala)
$f_y =$	355	N/mm ²	(putken myötölujuus)
$f_u =$	490	N/mm ²	(putken murtolujuus)
$f_{yp} =$	355	N/mm ²	(liitoslevyjen myötölujuus)
$f_{up} =$	490	N/mm ²	(liitoslevyjen murtolujuus)
$f_{ub} =$	800	N/mm ²	(ruuvien murtolujuus)
$\gamma_{M0} =$	1,0		
$\gamma_{M2} =$	1,25		
$\gamma_{M5} =$	1,0		
$d =$	20	mm	
$d_0 =$	22	mm	
$e_1 =$	40	mm	
$e_2 =$	40	mm	
$p_2 =$	60	mm	
$h_p =$	140	mm	
	$x =$	55	mm
	$y =$	15	mm
	$M_{ed} =$	5,5	kNm
	$M_{ed} =$	13	kNm
	$M_{ed} =$	5,5	kNm
	$M_{ed} =$	7	kNm

Tarkistetaan vaatimukset reikien sijainnille:

$$e_1 = 40 \geq 26,4 \quad \text{ok!}$$

$$e_2 = 40 \geq 26,4 \quad \text{ok!}$$

A. Ruuvien leikkauskestävyys:

Ruuvien leikkauskestävyys, kun kierteiden oletetaan olevan leikkautumistasossa:

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

$$F_{V,Rd} = 94,1 \text{ kN}$$

kaksi ruuvia ja yksileikkeinen liitos:

$$F_{V,Rd} = 188,2 \geq 100 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

B. Liitoslevyjen reunapuristuskestävyys:

Voiman suunnassa:

$$\alpha_b = 0,6061 \text{ (levyn pään ruuvit)}$$

$$\alpha_b = 0,6591 \text{ (sisemmät ruuvit)}$$

Voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa:

$$k_1 = 2,1$$

Reunapuristuskestävyyksiksi eri ruuveille saadaan:

$$F_{b,Rd} = 151,0 \text{ kN} \quad (\text{levyn pään ruuvi})$$

$$F_{b,Rd} = 164,2 \text{ kN} \quad (\text{sisempi ruuvi})$$

$$188,2 \text{ kN} \geq 100 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

C. Liitoslevyjien nettoleikkauksen leikkauskestävyys:

Leikkauksen kuormittava nettopinta-ala:

$$A_{nv} = 1005 \text{ mm}^2$$

Vedon kuormittava nettopinta-ala:

$$A_{nt} = 435 \text{ mm}^2$$

Palamurtumiskestävyys epäkeskeiselle kuormalle:

$$V_{eff,2,Rd} = 345,2 \text{ kN} \geq 100 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

D. Liitoslevyjien palamurtumiskestävyys:

Nettoleikkauksen leikkauskestävyys reikien kohdalla:

$$A_{v,net} = 1440 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,net,Rd} = 295,1 \text{ kN} \geq 100 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

E. Liitoslevyjien bruttopoikkileikkauksen kestävyys levyn tyvessä:

$$A_v = 2100 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 430,4 \text{ kN} \geq 100 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

Liitoslevyn taivutuskestävyys:

$$W_{el,p} = 49000 \text{ mm}^3$$

$$M_{el,p,Rd} = 17,4 \text{ kNm} \geq 5,5 \text{ kNm} \quad \text{ok!}$$

Leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus:

$$V_{Ed} = 100 \text{ kN} \leq 147,6 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

F. Hitsien kestävyys:

Hitien kestävyys on tarkastettu Ruukin Hitsatut profiilit EN 1993 käsikirjasta s.355

Taulukko 3.27 Kaksipuoleisen symmetrisen pienahitsin kestävyys $F_{2w,Rd}$ (kN), kun levyn hitsattu leveys on $b = 100$ mm (hitsien yhteenlaskettu pituus on 200 mm) ja liitettävään levyyn kohdistuva kuormitus on vetoa ja / tai leikkausta

Liitettävä levy (paksuus t)	Murtolujuus ^{a)} f_y (N/mm ²)	Hitsin a-mitta (mm)							
		3	4	5	6	7	8	9	10
S235	360	124,7	166,3	207,8	249,4	291,0	332,6	374,1	415,7
S275	430	140,2	186,9	233,7	280,4	327,1	373,9	420,6	467,3
S355	490	150,9	201,2	251,5	301,8	352,1	402,3	452,6	502,9
S275N	390	127,2	169,5	211,9	254,3	296,7	339,1	381,5	423,8
S355N	490	150,9	201,2	251,5	301,8	352,1	402,3	452,6	502,9
S420N	520	144,1	192,1	240,2	288,2	336,2	384,3	432,3	480,4
S460N	540	149,6	199,5	249,4	299,3	349,2	399,1	448,9	498,8
S275M	370	120,6	160,8	201,1	241,3	281,5	321,7	361,9	402,1
S355M	470	144,7	193,0	241,2	289,4	337,7	385,9	434,2	482,4
S420M	520	144,1	192,1	240,2	288,2	336,2	384,3	432,3	480,4
S460M	540	149,6	199,5	249,4	299,3	349,2	399,1	448,9	498,8
S500MC	550	152,4	203,2	254,0	304,8	355,6	406,5	457,3	508,1
S550MC	600	166,3	221,7	277,1	332,6	388,0	443,4	498,8	554,3
S600MC	650	180,1	240,2	300,2	360,3	420,3	480,4	540,4	600,4
S650MC	700	194,0	258,7	323,3	388,0	452,6	517,3	582,0	646,6
S700MC	750	207,8	277,1	346,4	415,7	485,0	554,3	623,5	692,8
S690QL	770	213,4	284,5	355,6	426,8	497,9	569,0	640,2	711,3

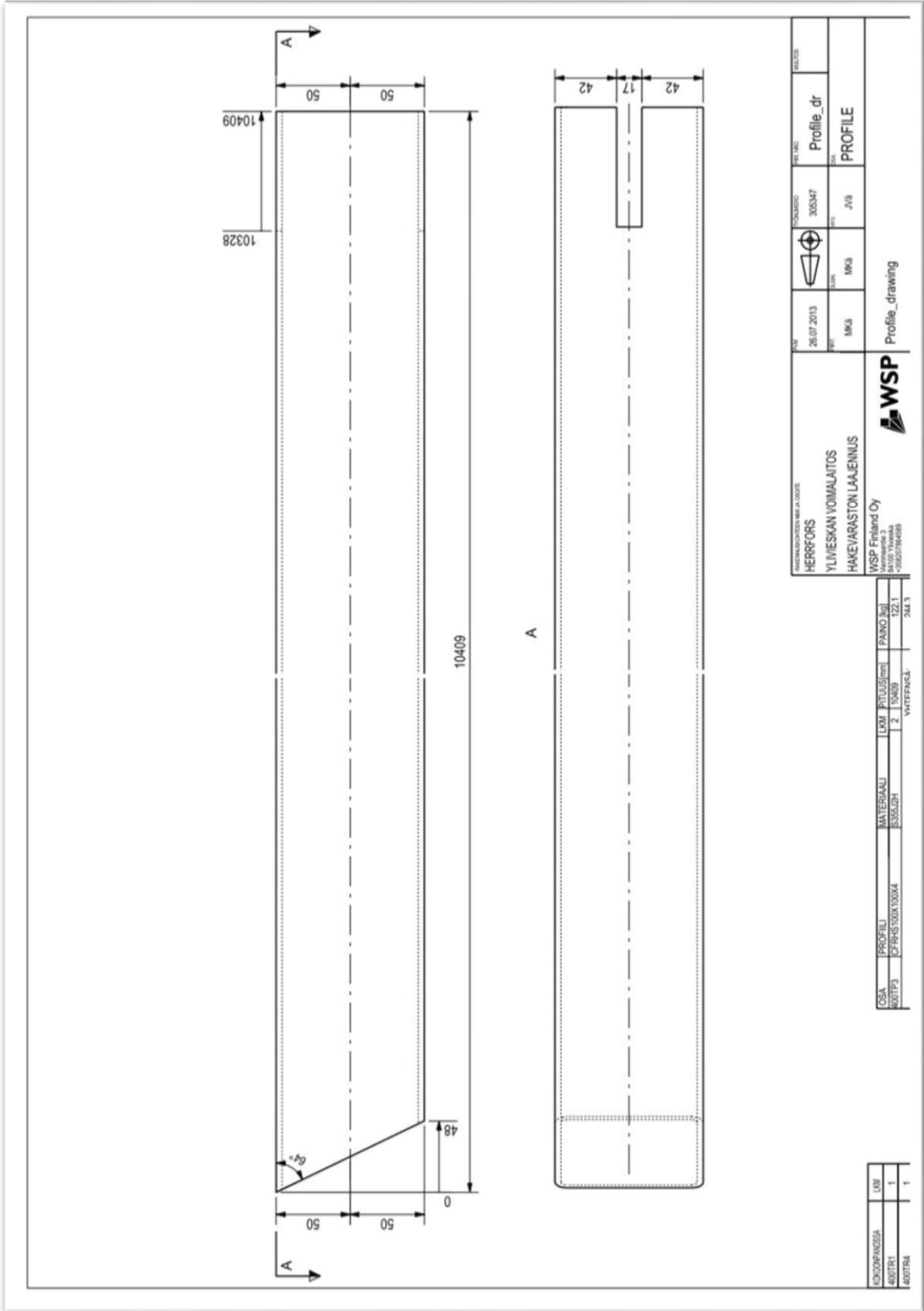
a) Taulukoiden 1.12 - 1.14 mukaiset nimelliset lujuusarvot, kun $t \leq 40$ mm

- Tämän taulukon arvot on laskettu Eurocoden osien EN 1993-1-1 ja EN 1993-1-8 suositusarvoilla $\gamma_{M2} = 1,25$.
Maakohtaiset vaatimukset on tarkastettava kyseisen maan kansallisesta liitteestä (= NA, National Annex).

- Taulukon kestävyysarvot pätevät:

- riippumatta liitettävään levyyn kohdistuvien voimien resultantin suunnasta
- kun liitettävä levy on samaa tai alemmaa lujuusluokkaa kuin viereinen levy
- kun käytetään hitsausainetta, jonka myötölujuuden ja murtolujuuden minimiarvot vastaavat vähintään liitettävän levyn vastaavia arvoja. **Taulukon kestävyysarvot eivät päde lujuusluokkien S500 - S700 teräksille, jos niillä käytetään alilujia hitsausaineita.**

- Muille kiinnityspituuksille korjauskertoimen on $b/100$, missä b on levyn hitsattu leveys.



Rivi lisätty, päiväys		Työmaa vai konepaja	Nimike	Halkaisija	Koko	Standardi	Lujuus	Materiaali tai pinnoitus	Väri	Lkm
22.08.2013		Työmaa	01 PULTTI	12	M12*30		8.8			48
22.08.2013		Työmaa	01 PULTTI	16	M16*40		8.8			364
22.08.2013		Työmaa	01 PULTTI	16	M16*45		8.8			68
22.08.2013		Työmaa	01 PULTTI	20	M20*55		8.8			36
22.08.2013		Työmaa	01 PULTTI	20	M20*70		8.8			20
22.08.2013		Työmaa	02 MUTTERI	12	M12		8.8			48
22.08.2013		Työmaa	02 MUTTERI	16	M16		8.8			452
22.08.2013		Työmaa	02 MUTTERI	20	M20		8.8			56
22.08.2013		Työmaa	03 ALUSLEVY	13	M12		8.8			48
22.08.2013		Työmaa	03 ALUSLEVY	17	M16		8.8			452
22.08.2013		Työmaa	03 ALUSLEVY	21	M20		8.8			56

