

TERÄKSISEN TEOLLISUUSHALLIN TERÄSOSIEN SUUNNITTELU

Heikki Lauronen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2011

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Lauronen, Heikki	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 25.05.2011
	Sivumäärä 68	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi TERÄKSISEN TEOLLISUUSHALLIN TERÄSOSIEN SUUNNITTELU		
Koulutusohjelma Rakennustekniikka		
Työn ohjaaja(t) Korpinen, Jussi		
Toimeksiantaja(t) Kosken Levytyö		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella ja mitoittaa teräsrakenteisen teollisuushallin kantavarunko ja sen osat. Tavoitteena oli aikaansaada käyttökelpoiset rakennepiirustukset toimeksiantajalle. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Kosken Levytyö Oy, jolle työn halli suunnitellaan. Halli tullaan rakentamaan Äänekoskelle. Kohde on verrattain pieni, sen koko on vain 255 m² ja ulkomitat 9,3 m x 30,6 m. Vapaata korkeutta kohteella on 6,4 m ja rakennuksen kokonaiskorkeus on 8,1 m. Kohteen jäykistystavaksi valittiin ristikointi ja kantavaksi kattorakenteeksi teräspuistikiristikot. Kohteen perustukset mitoitetaan erikseen.</p> <p>Kohde mitoitettiin rajatilamitoituksella, murto- ja käyttörajatilassa. Työ eteni suunnittelu ja mitoitus prosessin mukaisesti. Kohteen kuormitukset määritettiin ja rakenteet mitoitettiin asiaan kuuluvien eurokoodien määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Kohteelle määritettiin ensin edellä mainitut, tarvittava tila ja käyttötarkoitus, käytettävä materiaali sekä runkojärjestelmä. Tämän jälkeen määritettiin rakenteen kuormitusten ominaisarvot, sekä niiden mitoittavat arvot rajatiloissa ja eri kuormitusyhdistelmissä. Rakenteet ja niiden liitokset mitoitettiin mitoittavien kuormitus yhdistelmien mukaisesti. Rakenteiden suunnittelun jälkeen määritettiin kohteen palomääräykset ja palosuojaus. Prosessin lopuksi suunniteltiin rakennuksensaipan osat.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin rakenneratkaisut, jotka kestävät niille tulevan kuormituksen. Lisäksi aikaansaatiin tavoitteen mukaiset rakennepiirustukset, jotka ovat työn liitteenä. Tuloksena saaduista teräsosista laadittiin lista, joka on esitettyä työn yhteenvedossa. Yhteenvedossa on myös pohdittu prosessin merkitystä oman kehittymiseni kannalta rakennusinsinöörinä.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Teräsrakenteet, suunnittelu		
Muut tiedot		



Author(s) Lauronen, Heikki	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 25.05.2011
	Pages 68	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title DESIGN OF STEEL STRUCTURES FOR AN INDUSTRIAL HALL		
Degree Programme Civil engineering		
Tutor(s) Korpinen, Jussi		
Assigned by Kosken Levytyö Oy		
Abstract <p>The commission of this thesis was to design the steel structures of a steel framed industrial hall. The aim of this thesis was to produce reliable and practical blueprints of the structures for the commissioner. The commissioner of the thesis was Kosken Levytyö Ltd, which ordered the design. The hall will be built in Teollisuuskatu 15, Äänekoski. The target building will be relatively small, its floor area being only 255 square metres and the exterior dimensions 9.3 x 30.6 metres. The free height of the target building is 6.4 metres and the building's overall height is 8.1 metres. The target building is stiffened with steel diagonals and the load-bearing roof is made of steel trusses. The foundations of the building are designed separately.</p> <p>The target is designed using the limit state design analysis, in the ultimate and serviceability limit state. The thesis proceeds according to the design process. The loadings on the structures are determined on the basis of the relevant Eurocode regulation. First the characteristic values of the structures own weight and snow and wind loads are determined, as well as their dimensioning design values for the border areas and load combinations. The structures are designed according to the most dangerous load combinations. After determining the design of the structures, the fire regulations and fire protection for the structures are determined. At the end of the process, the buildings envelope features are examined.</p> <p>Structures that are able to bear all the loads on them were achieved as the results of this thesis. At the result section of this thesis there is a list of chosen structures. There is also variety of structural blueprints in the annex section. There is also agitation about the meaning and the effects of this process to myself as a construction engineer.</p>		
Keywords Steel structures, Designing		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

SISÄLTÖ	1
1 JOHDANTO.....	4
1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	4
1.2 Rungon jäykistys ja valittu menetelmä	7
2 RAJATILAMITOITUS JA KUORMITUKSET	9
2.1 Rajatilamitoitus.....	9
2.2.1 Murtorajatilamitoitus.....	10
2.2.2 Mitoittavan kuormitusyhdistelmän määrittäminen murtorajatilassa.....	11
2.3.1 Käyttörajatilamitoitus.....	13
2.3.2 Mitoittavan kuormitusyhdistelmän määrittäminen käyttörajatilassa	13
2.4 Lumikuorman määrittäminen.....	14
2.5 Tuulikuorman määrittäminen.....	16
2.6 Kohteen kuormat ja niiden mallintaminen	20
3 TERÄSRUNKO	26
3.1 Teräs rakennusmateriaalina	26
3.2 Kattorakenteen mitoitus	27
3.3 Pilareiden mitoitus.....	30
4 TUULISITEIDEN MITOITUS	35
4.1 Diagonaalien mitoitus.....	35
4.2 Tuulisteiden liitoksen mitoitus	36
4.2 Vaakarakenteet pilareiden päissä.....	40
5 PALOMÄÄRÄYKSET JA KOHTEEN PALOSUOJAUS.....	41
5.1 Yleiset palomääräykset.....	41
5.2 Paloluokat ja paloluokan määrittäminen.....	42
5.3 Tuotanto- ja varastorakennuksien palomääräykset.....	43
5.4 Rakenteiden kantavuus palotilanteessa.....	45
5.5 Palosuojauksen mitoitus	46
5.6 Kohteen paloluokitus ja palonsuojausmenetelmä	48
6 VAIPAN SULKEVA RAKENNE	48
6.1 Vesikatto	49
6.2 Ulkoseinät.....	50
7 YHTEENVETO JA POHDINTA	50

LÄHTEET	54
LIITTEET	55
Liite 1. Paroc-elementin kiinnitysdetalji	56
Liite 2. Kattorakenteen detalji.....	57
Liite 3. Diagonaalien liitosdetalji	58
Liite 4. Räystäsdetalji	59
Liite 5. Ristikon liitosdetalji pilariin.....	60
Liite 6. Ristikon uloimman diagonaalin kiinnitys	61
Liite 7. Paroc-elementtien kiinnikeluettelo.....	62
Liite 8. Pilarin staattinenmalli	63
Liite 9. Päädyn rakenneleikkaus	64
Liite 10. Pitkäsivun rakenneleikkaus	65
Liite 11. Tasoleikkaus	66
Liite 12. Kattoristikko.....	67
Liite 13. Kattorakenteen jäykistys	68

KUVIOT

Kuvio 1. Rakennuksen julkisivu: pääty	5
Kuvio 2. Rakennuksen julkisivu	6
Kuvio 3. Rakenne leikkaus, jossa on esitettyä kohteen lähtötietomittoja.	6
Kuvio 4. Rakennuksen runkojärjestelmä ja kuormien kuljetus rakenteissa.....	8
Kuvio 5. Vaihtoehtoinen runkomalli	9
Kuvio 6. maassa olevan lumen ominaisarvo, (RIL 210-1-2008.)	15
Kuvio 7. katon muodot a) pulpetti- b) harja- c) sahakatto, (RIL 210-1-2008.) .	15
Kuvio 8. lumen muotokerroin katon kulman funktiona, (RIL 210-1-2008.).....	16
Kuvio 9. Tuulen nopeuspaine, (RIL 210-1-2008).....	17
Kuvio 10. kertoimen C_{pe} määrittäminen (RIL 201-1-2008 osa 1.4, kuva 7.5).....	19
Kuvio 11. paineen jakautuminen sivutuulesta.....	23
Kuvio 12. paineen jakautuminen päätyyn kohdistuvasta tuulesta.....	24
Kuvio 13. Mitoitettava rungon pilari	24
Kuvio 14. Rakennukselle tuleva lumikuorma + kattorakenteen omakuorma ..	24
Kuvio 15. rakennuksen kokonaistuulikuormat	25
Kuvio 16. rakennuksen rakenneosien tuulikuormat	25

Kuvio 17. Hoikkuusrajat, (Rakentajain kalenteri 2001)	29
kuvio 18. Tekijän X määrittäminen, (SFS EN1993-1-1. 2005.)	33

TAULUKOT

Taulukko 1. Seuraamusluokat, (RIL 210-1-2008.)	11
Taulukko 2. Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet, (RIL 210-1-2008)	12
Taulukko 3. voimakertoimen C_f (RIL 201-1-2008.)	18
Taulukko 4. poikkileikkausluokat, (SFS EN1993-1-1. 2005.)	32
Taulukko 5. epätarkkuustekijät, (SFS EN1993-1-1. 2005.)	33
Taulukko 6. nurjahduskäyrän määrittäminen, (SFS EN1993-1-1. 2005.)	34
Taulukko 7, Paloluokat, kokoa koskevat rajoitukset, E1	43
Taulukko 8, Paloluokat, Henkilömääriä koskevat rajoitukset, E1	43
Taulukko 9, Rungon palonkestoajan vaatimukset, E1	46
Taulukko 10, palon aikaiset yhdistelykertoimet Ψ_1 , SFS EN1993-1-2	47
Taulukko 11, kriittinen lämpötila, SFS EN1993-1-2	47

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

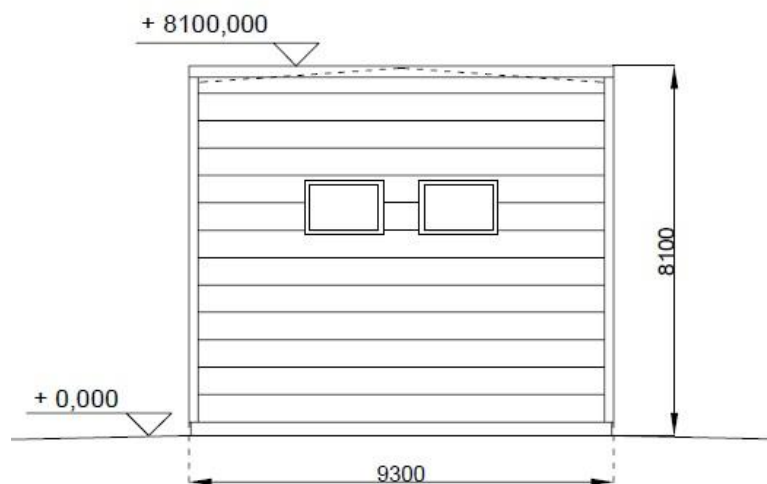
Opinnäytetyön toimeksiantajana oli äänekoskelainen metalli- ja maanrakennusyritys Kosken Levytyö Oy. Sen perustivat vuonna 1989 Keijo Lauronen, Seppo Palviainen ja Raimo Liimatainen, joista Liimatainen oli mukana vain pari ensimmäistä vuotta. Aluksi yrityksen toimenkuvaan kuului vain metallitöiden valmistus, asennus sekä teollisuuskorjaus. Maanrakennus tuli mukaan kuvioihin 1997, kun yritys osti ensimmäisen soranottoalueen sekä maansiirtokalustoa. (Lauronen. 2011.)

Nykyään Kosken Levytyön hallituksen puheenjohtajana toimii Keijo Lauronen ja toimitusjohtajana Seppo Palviainen. Kosken Levytyö Oy työllistää keskimäärin 13 henkilöä, kesäisin määrää nousee 5 - 6 henkilöllä. Referenssi-kohteita maanrakennuspuolelta ovat esimerkiksi Suolahden vanhan sataman pihan saneeraus sekä Suolahden vanhan kaatopaikan maisemointi. Liikevaihto vuonna 2009 oli 1,3 miljoona euroa. (Lauronen. 2011.)

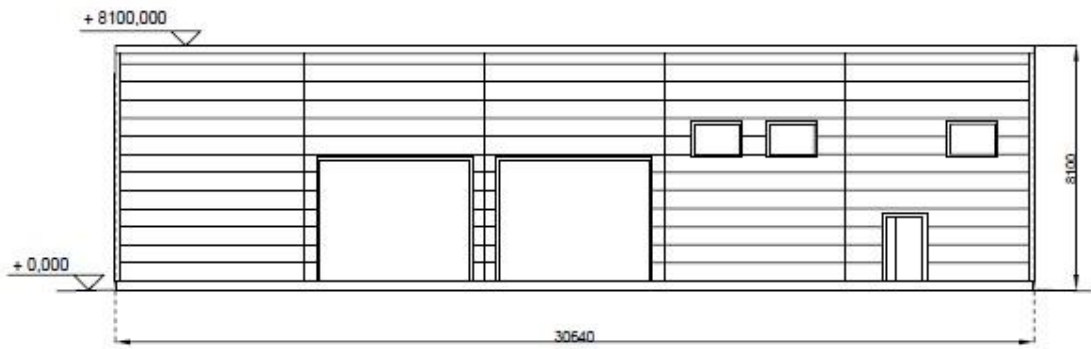
Toimeksiantajalla oli tarvetta rakentaa uusi yksikerroksinen varasto- ja tuotantotila. Opinnäytetyön osuus oli kohteen kantavanrunгон sekä kattoristikoiden suunnittelu ja mitoitus. Työn tavoitteena oli siis saada aikaan kantavanrunгон rakennepiirustukset, joilla halli voitaisiin toteuttaa. Työn tehtävään sisältyi rakenteiden suunnittelu, kuormien määrittäminen sekä rakenteiden ja liitosten mitoitus. Rakenteet ja liitokset tuli luonnollisesti mitoittaa kuormitusten aiheuttamien rasitusten mukaisesti siten, että rakenne kestää rasitukset rajatilamitoituksen ja eurokoodien määräysten mukaisesti. Lisäksi tavoitteena oli suunnitella kohde lämpimäksi tilaksi nykyisten sääntöjen mukaisesti, mikä asetti vaatimuksia hallin vaipparakenteelle. perustukset ja perustusliitokset eivät kuuluneet opinnäytetyöhön.

Kohde rakennetaan Äänekoskelle, osoitteeseen Teollisuuskatu 15. Alun perin kohde piti toteuttaa vanhan tilan laajenuksena, mutta koska toteutus tuntui mahdottomalta, alkuperäinen suunnitelma unohdettiin ja päätettiin suunnitella kokonaan uusi tila, joka loisi vanhan rakennuksen kanssa tontille sisäpihan. Prosessi lähti liikkeelle kohteen tilan tarpeen määrittämisestä ja sen perusteella valituista mitoista. Rakennukselta vaaditut mitat olivat 30 m x 9m sekä vähintään 6 m vapaata korkeutta, näitä mittoja tarkennettiin suunnittelun alkuvaiheessa. Rakennuksen kerrosala tulisi olemaan 255 m². Rakennuksen pystyrungon sekä kantavan kattorakenteen materiaaliksi valittiin teräs ja rungon jäykistystavaksi ristikoiti sekä kattorakenteeksi putkipalkkiristikko. Ulkoseinien rakenteeksi valittiin Paroc-elementit ja vesikaton rakenteeksi poimulevypellitys, jonka päälle Paroc-eristeet sekä vesikate. Rakennuksen Kattoristikko mitoitetaan Winrami ohjelmalla.

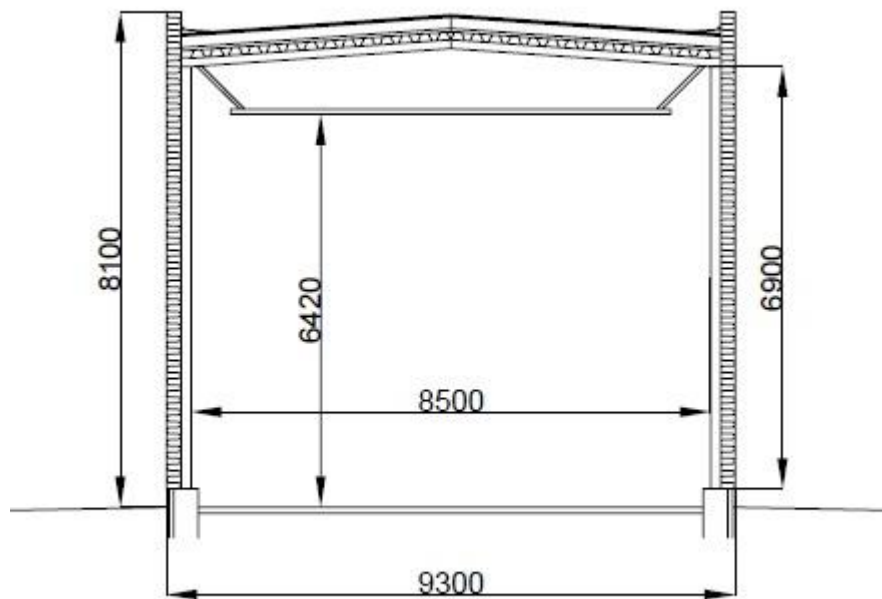
Rakennuksen tarkemmat mitat ovat esitettynä julkisivupiirustuksissa (ks. kuvat 1 ja 2) sekä alustavassa rakenneleikkauksessa (ks. kuvio 3). Kuviossa 3 ei esitetä kattoristikoiden diagonaaleja, vaan ne esitetään liitteessä olevassa ristikon rakennekuvassa.



Kuvio 1. Rakennuksen julkisivu: pääty



Kuvio 2. Rakennuksen julkisivu



Kuvio 3. Rakenne leikkaus, jossa on esitettyä kohteen lähtötietomittoja.

1.2 Rungon jäykistys ja valittu menetelmä

Rakennuksen runko on jäykistettävä niin pysty- kuin vaakavoimia vastaan, etenkin vaakavoimat ovat rakenteen stabiliteetin kannalta kriittisiä.

Vaakavoimat pyrkivät synnyttämään rakenteeseen siirtymiä ja kiertymiä, joita vastaan runko on jäykistettävä. Lisäksi teräsrakenteet ovat poikkeuksellisen alttiita nurjahdukselle, kiepahdukselle ja lommahdukselle. Vaakavoimat aiheutuvat yleensä tuulikuormasta ja lisävaakavoimista, kuten rakenteiden epäkeskeisyys tai vinous. Suunnittelussa on otettava huomioon, että käytännössä kaikkiin rakenteisiin syntyy siirtymiä, mutta ne on rajoitettava luvussa 2.3 esitettyjen teräsrakenteita koskevien rajojen sisään.

(Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

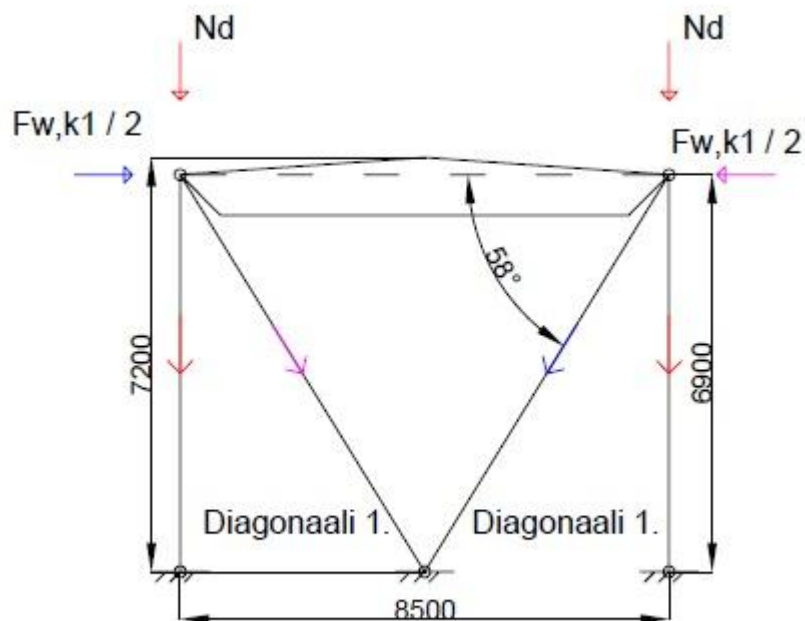
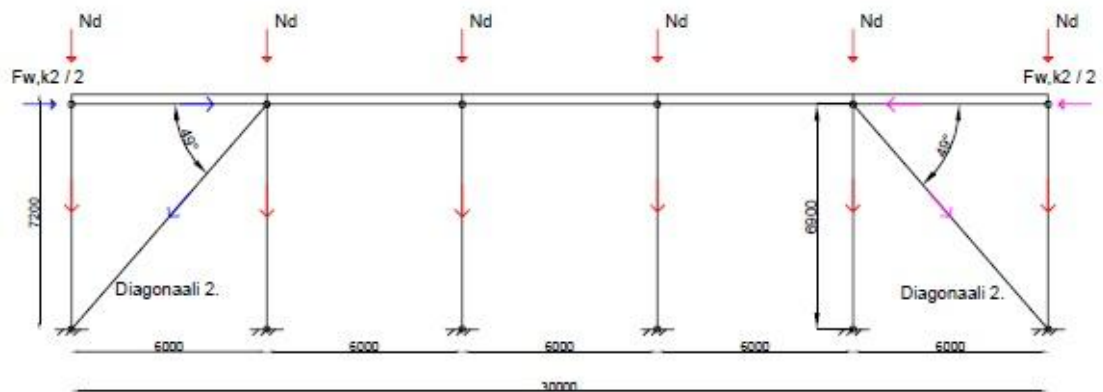
Rakennuksen rungon ja sen jäykisteiden peruseriaate on siirtää sille tulevat kuormat perustuksille ja niiden kautta maaperään. Yleisenä periaatteena riittävään rungon jäykistykseen pidetään katon ja kolmen seinän jäykistämistä muotonsa pitäväksi, jolloin rakenteesta tulee staattisesti määrätty.

(Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

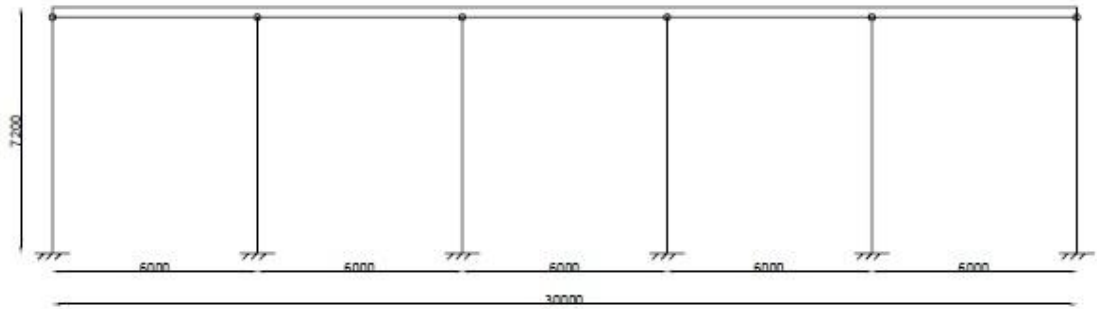
Rakennuksen rungon jäykistykseen on monia vaihtoehtoja, mutta teräshallin yleisimmät jäykistystavat ovat ristikointi, mastopilarit ja kehäjäykistys. Ristikoinnissa rakennuksen runko jäykistetään runkotolppien välisillä diagonaaleilla, jotka toimivat joko vedettynä tai puristettuna sauvana. Kehäjäykistys toteutetaan rakenneosien välisillä momenttijäykillä liitoksilla. Mastopilarijäykistys (ks. kuvio 5) toteutetaan nimensä mukaisesti jäykästi kiinnitetyillä ja muotonsa pitävillä mastopilareilla, joihin kattorakenne kiinnitetään nivelellisesti. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

Valitsin kohteeseen jäykistystavaksi ristikointiratkaisun. Perusteluna ovat runkorakenteen keveys sekä huomattavasti pienemmät kuormitukset perustuksille sekä perustusliitoksille. Rungon kantavat pilarit voidaan toteuttaa pienemmillä profiileilla verrattuna mastojäykistykseen, koska momentit pienenevät oleellisesti. Samasta syystä myös pilareiden tyviliitokset eivät ole niin raskaasti kuormitetut. Ristikointi on toteutettava vähintään kolmelle seinälinjalle. Ristikointi toteutetaan käyttämällä vedettyjä diagonaalisauvoja

(ks. kuvio 4). Myös kattorakenteen tulee olla muotonsa pitävä, jäykisteeksi valitsin niin ikään ristikointijäykistykseen. Vaakakuormat johdetaan jäykistetyn kattorakenteen kautta diagonaaleille, kuvion 4 mukaisesti. Ristikoinnissa tulee ottaa huomioon asennuksen aikainen tuenta. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)



Kuvio 4. Rakennuksen runkojärjestelmä ja kuormien kuljetus rakenteissa



Kuvio 5. Vaihtoehtoinen runkomalli

2 RAJATILAMITOITUS JA KUORMITUKSET

2.1 Rajatilamitoitus

Kohteen rakenteen suunnittelu perustui rajatilamitoitukseen, joka perustuu tapauskohtaisiin rakenne- sekä kuormitusmalleihin. Rajatilamitoituksessa mikään rajatila ei saa ylittyä, kun kohteen mallinnuksessa ja tapausten muodostamisessa käytetään asianmukaisia mitoitussarvoja kuormille, materiaalien ominaisuuksille sekä mittatiedoille. Mikäli rajatila ylitetään, rakenne ei enää täytä sille asetettuja toimintavaatimuksia. (RIL 201-1-2008.)

Tein mitoituksen jokaiselle määräävälle kuormitustapaukselle.

Kuormitustapauksilla tarkoitetaan rakenteeseen tai sen osaan kohdistuvien kuormien yhdistelmän aiheuttamaa kokonaiskuormitusta.

Kuormien aikaluokat eivät liity olennaisesti teräsrakenteiden mitoitukseen, joten niitä ei huomioitu. Kuormitukset koostuivat rakenteen omista painoista, lumen painosta, tuulen kuormituksesta sekä henkilö- tai hyötykuormasta.

Opinnäytetyön kohde mitoitettiin murtorajatilassa sekä käyttörajatilassa. (RIL 201-1-2008.)

2.2.1 Murtorajatilamitoitus

Murtorajatiloiksi lasketaan rakenteen murtuminen, vaurioituminen, väsyminen sekä tasapainon menetys. Edellä mainitut murtorajatilat liittyvät rakenteen varmuuteen sekä henkilöiden turvallisuuteen, mutta joskus myös aineen tai tavaran suojaamiseen. (RIL 201-1-2008.)

Seuraavat tapaukset ovat murtorajatiloja:

- jäykän rakenteen tai sen osan tasapainon menetys
- rakenteen muuttuminen mekanismiksi
- rakenteen murtuminen kokonaiskestävyyden kannalta kriittisessä kohdassa
- liian suuri siirtymä ja sen aiheuttama vaurioituminen
- rakenteen väsyminen. (RIL 201-1-2008.)

Kohde mitoitettiin vain murtorajatilassa STR, koska kohteen perustukset mitoitetaan erikseen, eikä näin ollen voida tarkastella muita murtorajatiloja EQU ja GEO, jotka vaatisivat myös perustusten mitoitusta. Murtorajatilassa STR tarkastellaan edellä mainittua listaa, kun rakenteen rakennusmateriaalien kestävyys on määräävä tekijä eli kyseessä oli lujuustarkastelu. (RIL 201-1-2008.)

Rakenteita mitoitettaessa murtorajatilassa tulee aluksi määrittää kuormituksen rakennuksen seuraamusluokka. Rakennuksen luotettavuuden tasoa voidaan mitata seuraamusluokilla CC sekä niihin liittyvillä luotettavuusluokilla RC. Seuraamusluokkia vastaa myös kerroin K_{FI} , jota käytetään murtorajatilan kuormitusyhdistelyn kertoimena. Rakennus voidaan jakaa koon ja käyttötarkoituksen mukaan kolmeen eri seuraamusluokkaan, jotka on esitetty taulukossa 1. (RIL 201-1-2008.)

Taulukko 1. Seuraamusluokat, (RIL 210-1-2008.)

<p>CC3/RC3 Suuret seuraamukset: ihmishenkien menetys tai hyvin suuri taloudellinen, sosiaalinen tai ympäristön vahinko</p>	<p>Rakennuksen kantava runko ja jäykistävät rakennusosat sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on paljon ihmisiä: - yli 8kerroksiset asuin, konttori ja liikerakennukset - konserttitalit, teatterit, urheilu ja näyttelyhallit, katsomot - raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. - erikoisrakenteet esim. suuret tornit</p>	<p>$K_{FI} = 1,1$</p>
<p>CC2/RC2 Keskisuuret seuraamukset: ihmishenkien menetys tai merkittävä taloudellinen, sosiaalinen tai ympäristön vahinko</p>	<p>- rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1</p>	<p>$K_{FI} = 1,0$</p>
<p>CC1/RC1 Vähäiset seuraamukset: pieni, merkityksetön taloudellinen, sosiaalinen tai ympäristön vahinko</p>	<p>-1ja 2kerroksiset rakennukset, joissa on vain tilapäisesti ihmisiä kuten varastot. - rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten: - matalat alapohjat, ilman kellaritiloja - ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne</p>	<p>$K_{FI} = 0,9$</p>

2.2.2 Mitoittavan kuormitusyhdistelmän määrittäminen murtorajatilassa

Kun seuraamusluokka, kuormitukset sekä aikaluokat ovat määriteltynä rakenteita mitoitettaessa murtorajatilan (STR) mukaan, seuraavaksi määritetään mitoittava kuormitusyhdistelmä seuraavilla yhtälöillä 1 tai 2, riippuen siitä kumpi tuottaa suuremman kuormituksen: (RIL 201-1-2008.)

$$1,15K_{FI}G_{kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\sum\Psi_{0,i}Q_{k,i} \quad (1)$$

$$1,35 K_{FI}G_{kj} \quad (2)$$

jossa

G_{kj} on pysyvien kuormien ominaisarvo (rakenteen omapaino)

$Q_{k,1}$ on määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo (lumi-, tuuli-, tai hyötykuorma)

$Q_{k,i}$ on muun muuttuvan kuorman ominaisarvo (lumi-, tuuli-, tai hyötykuorma)

K_{FI} on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin (ks. taulukko 2)

$\Psi_{0,i}$ on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, missä Ψ_0 on ominaisyhdistelyssä käytettävä kerroin. Ψ_1 kuvaa tavallisesti toistuvan kuormituksen osuutta ja Ψ_2 muuttuvan kuorman pitkäaikaisosuutta (ks. taulukko 2).

Taulukko 2. Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet, (RIL 210-1-2008)

Kuorma	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, esim. autotallit	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, raskaat ajoneuvot	0,7	0,7	0,3
Luokka H: vesikatot (kunnossapito)	0	0	0
Jääkuorma	0,7	0,3	0
Lumikuorma *), kun			
sk < 2,75 kN/m ²	0,7	0,4	0,2
sk > 2,75 kN/m ²	0,7	0,5	0,2
Rakennusten tuulikuormat	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa)	0,6	0,5	0

*) Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\Psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä

2.3.1 Käyttörajatilamitoitus

Käyttörajatiloilla tarkoitetaan niitä rajatiloja, jotka vaikuttavat rakenteen tai sen osien toimintaan normaalikäytössä, henkilöiden mukavuuteen tai kohteen ulkonäköön. Käyttörajatilat jaetaan palautuvaan ja palautumattomaan. Käyttörajatilassa tarkastellaan rakenteen siirtymiä, taipumia ja värähtelyä, jotka vaikuttavat edellä mainittuihin rakenteen ulkonäköön, mukavuuteen ja toimivuuteen sekä lisäksi säilyvyyteen. (RIL 201-1-2008.)

Mikäli käyttörajatila ylitetään, rakenteelle asetetut käyttökelpoisuusvaatimukset eivät enää täyty. Käyttörajatilamitoitus perustuu yhtälöön $E_d \leq C_d$, jossa E_d on käyttökelpoisuuskaiteerien mukainen mitoittavan kuormitusyhdistelmän aiheuttama vaikutus ja C_d on käyttökelpoisuuskaiteerien mukainen rakenteen mitoitusarvo. Käyttökelpoisuuskaiteerejä voivat olla rakenteen jäykkyyteen tai keskinäisiin sijaintiin liittyviä kaiteerejä esimerkiksi rakenteen suurin sallittu taipuma. (RIL 201-1-2008.)

Teräsrakenteiden suurin sallittu siirtymä vesikattorakenteessa $L/300$, jossa L on jänneväli. Suurin sallittu vaakasiirtymä on $H/150$, jossa H on tarkasteltavan kohdan korkeus. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

2.3.2 Mitoittavan kuormitusyhdistelmän määrittäminen käyttörajatilassa

Kohteen mitoituksessa käytetään käyttörajatilojen ominaisyhdistelmää, jota käytetään tavallisesti palautuville rajatiloille, joista ei synny muodonmuutoksia (ks. yhtälö 3). (RIL 201-1-2008.)

$$\sum G_{kj} + Q_{k,1} + \sum \Psi_2 Q_{k,i} \quad (3)$$

jossa

$\sum G_{kj}$ on pysyvien kuormien summa

$Q_{k,1}$ on määräävä muuttuvakuorma

$\sum \Psi_2 Q_{k,i}$ on muun muuttuvankuorman summa, kerrottuna pitkäaikaisosuuden yhdistelykertoimella (ks. taulukko 2)

2.4 Lumikuorman määrittäminen

Lumikuorma on muuttuva kiinteäkuorma, joka kuuluu keskipitkään aikaluokkaan. Lumen kuormitus luokitellaan staattiseksi kuormaksi, eikä sitä käsitellä Suomessa onnettomuus kuormana. Lumikuormat määritetään maanpinnan lumikuorman ominaisarvojen ja katon muotokerroimen avulla. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot ovat aluekohtaisia joiden arvot saadaan esimerkiksi ohjeesta RIL 201-1-2008 Osa 1.3 kohta 4. kuvasta 4.1(FI).(ks. myös Kuvio 6)

Tämä arvo perustuu vuosittaisen ylittymisen keskimääräiseen todennäköisyyteen 0,02 (keskimäärin 50 vuoden toistumis- tai ylittymisaika). Kartassa esitetyt arvot ovat minimiarvoja. (RIL 201-1-2008)

Katolle tuleva lumikuorman ominaisarvo $Q_{s,k}$ määritetään yhtälöllä 4: (RIL 201-1-2008.)

$$Q_{s,k} = \mu_i C_e C_t S_k \quad (4)$$

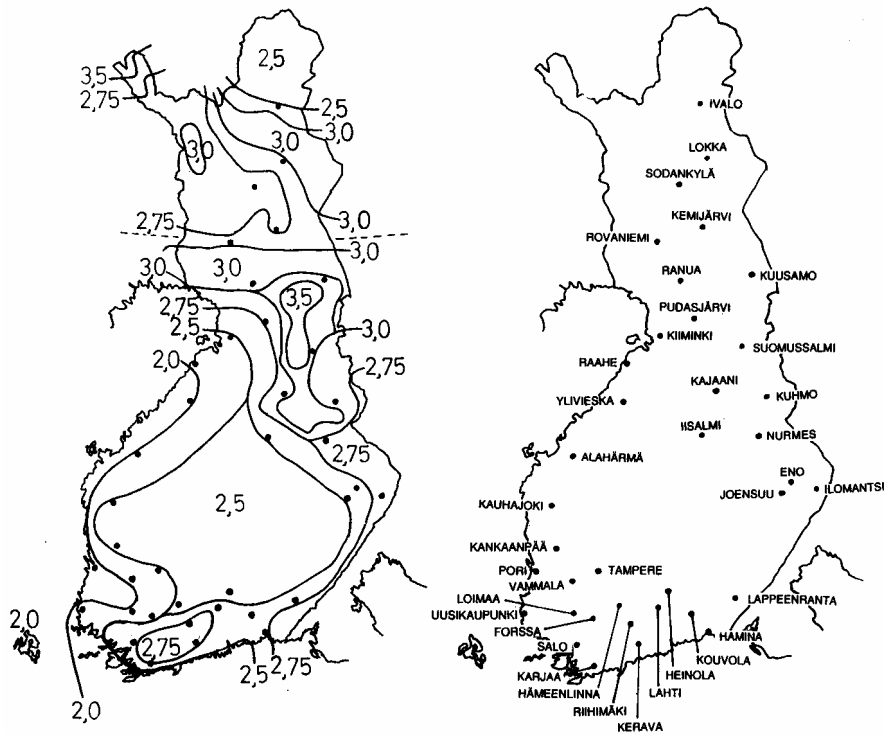
jossa

- μ_i on lumikuorman muotokerroin
- C_e on tuulensuojaisuuskerroin (normaalisti arvo on 1,0)
- C_t on lämpötilakerroin (tavallisesti arvo on 1,0)
- S_k on maassa olevan lumen ominaisarvo

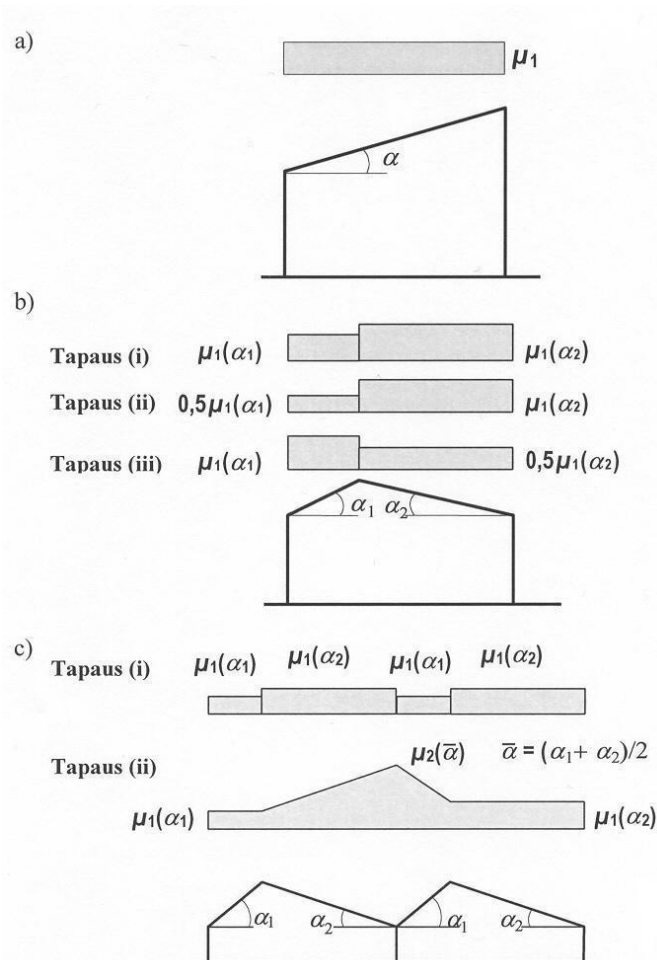
Näin ollen yhtälö 4 pelkistetään yleensä muotoon:

$$s = \mu_i S_k$$

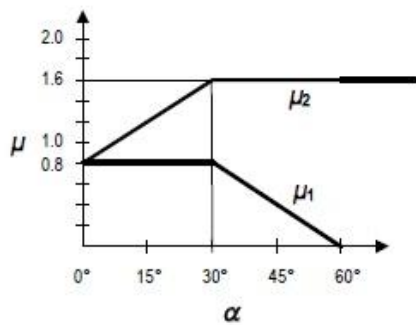
Muotokerroin μ_i määritetään kuvioiden 7 ja 8 mukaisesti siten, että ensin määritetään katon kaltevuus kulma ja kuorman vaikutusalue kuviosta 7 ja tämän jälkeen katsotaan kulmaa ja vaikutusaleutta vastaava muotokerroin kuviosta 8. (RIL 201-1-2008.)



Kuvio 6. maassa olevan lumen ominaisarvo, (RIL 210-1-2008.)



Kuvio 7. katon muodot a) pulpetti- b) harja- c) sahakatto, (RIL 210-1-2008.)



Kuvio 8. lumen muotokerroin katon kulman funktiona, (RIL 210-1-2008.)

2.5 Tuulikuorman määrittäminen

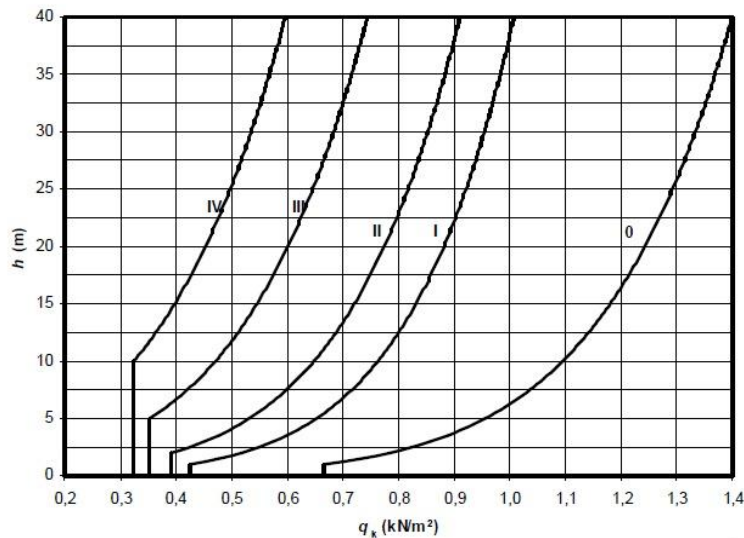
Tuulikuormat ovat hetkellisiä kuormituksia ja vaihtelevat ajan mukaan. Ne aiheuttavat umpinaisten rakennuksien ulkopintoihin painetta, mutta välillisesti myös sisäpintoihin. Tuulikuormat voidaan esittää yksinkertaistettuna paineiden ja voimien joukkona, jonka vaikutus on sama kuin tuulenpuuskan vaikutus. Mitoitustilanteessa on otettava huomioon kaikki muut kuormat (lumi-, hyötykuorma), joiden vaikutukset muuttuvat tuulen seurauksena. Tuulikuorma luokitellaan muuttuvaksi kiinteäksi kuormaksi. (RIL 201-1-2008)

Tuulikuorman määrittäminen etenee seuraavasti:

Ensiksi valitaan maastoluokka rakennuksen sijainnin mukaan:

- Maastoluokka 0:** meren ranta tai rannikkoalue
- Maastoluokka I:** järvi tai muutoin tasainen alue, jossa vähän kasvillisuutta
- Maastoluokka II:** alue, jossa on hyvin matalaa kasvillisuutta sekä harvassa muita esteitä, kuten puut ja asunnot
- Maastoluokka III:** alue, jossa on korkeaa ja säännöllistä kasvillisuutta, tai rakennuksia, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kylät, metsät, teollisuusalue, esikaupunki)
- Maastoluokka IV:** alue, jossa säännöllisesti keskiarvoltaan yli 15 m korkeita rakennuksia (kaupunkialue), (RIL 201-1-2008)

Kun maastoluokka on määritetty, seuraavaksi määritetään tuulen nopeuspaine $q_k(h)$ (puuskanopeuspaine). Nopeuspaine määritetään kuvion 9 mukaan riippuen maastoluokasta sekä rakennuksen korkeudesta. (RIL 201-1-2008.)



Kuvio 9. Tuulen nopeuspaine, (RIL 210-1-2008)

Kun tuulen nopeuspaine on määritetty, saadaan rakennuksen pitkälle sivulle ja pätyyn vaikuttava kokonaistuulikuorma $F_{w,k}$, mitoitettua voimakertoimen avulla yhtälöllä 5: (RIL 201-1-2008.)

$$F_{w,k} = C_s C_d C_f q_k(h) A_{ref} \quad (5)$$

jossa

$C_s C_d$ on rakennekerroin, josta yleensä voidaan käyttää arvoa 1,0, kun kyseessä on pilarin mitoitus

C_f on voimakerroin, joka saadaan taulukosta 3

A_{ref} on tuulikuorman vaikutusala ($A_{ref} = h b$)

Rakennuksen pätyyn ja sivuille vaikuttava kokonaistuulikuorma vaikuttaa rakennuksen kokonaisstabiliteettiin ja näin ollen rungon jäykistäviin osiin ja niiden valintaan. $F_{w,k}$ on rakenteelle tasaisesti tuleva kuormitus, joka vaikuttaa rakenteiden stabiliteettiin. (RIL 201-1-2008)

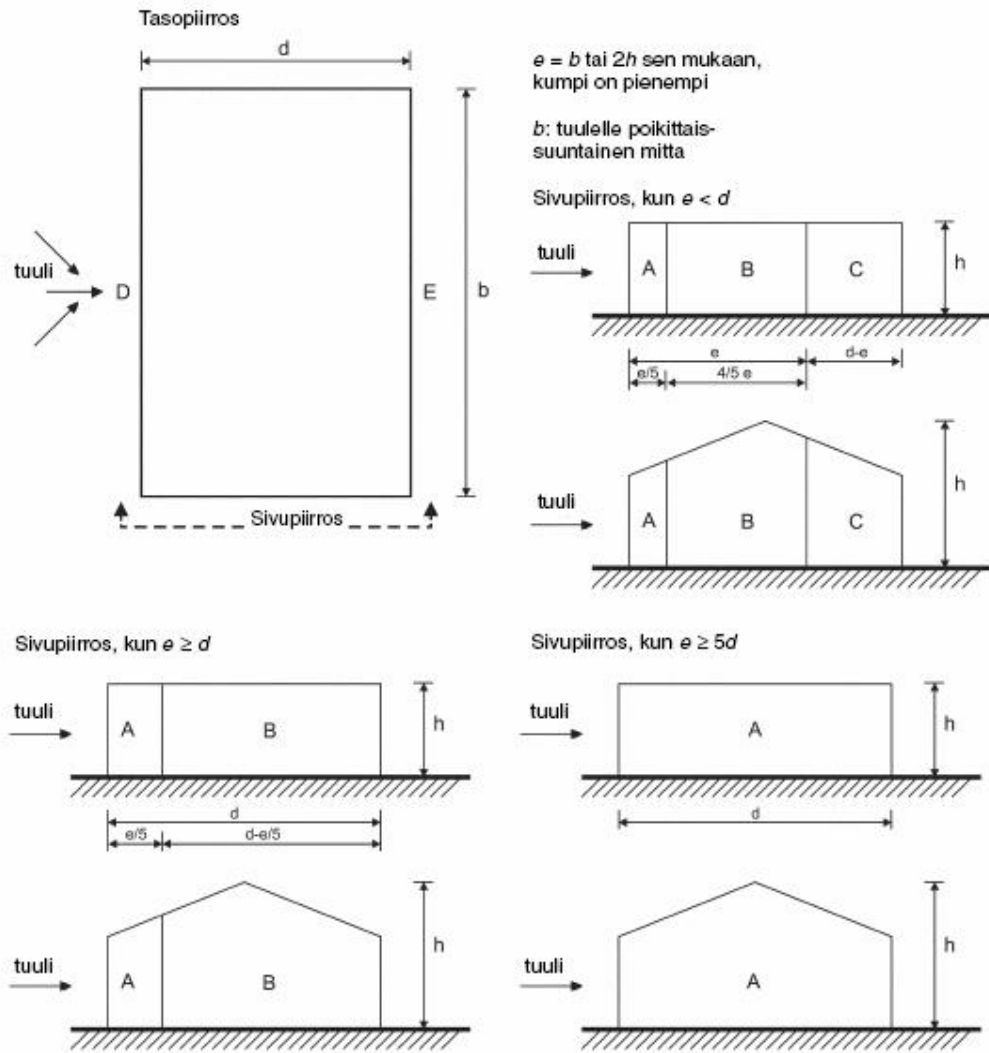
Taulukko 3. voimakerroin C_f (RIL 201-1-2008.)

Kuvaus	c_f
Umpinainen rakennus yleensä	1,3
Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on $5^\circ \dots 40^\circ$ (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$)	1,5
Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30 % rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta.	1,6
Erillinen seinämä	2,1

Tuulikuorma lasketaan pintapaineiden avulla yhtälöllä 6. (RIL 201-1-2008.)

$$Q_{w,k} = C_s C_d (C_{pe} + C_{pi}) q_k(h) \quad (6)$$

jossa muuten kuten edellä paitsi kerroin C_{pe} , joka määritellään kuviossa 10, kun kyseessä on harjakatto. Kerroin määritetään pinta-alan A_{ref} mukaan ja valitaan taulukosta (ks. kuvio 10), joko $C_{pe,1}$ tai $C_{pe,10}$ sen mukaan onko tarkasteltavan kohdan ala pienempi kuin 1 m^2 vai suurempi kuin 10 m^2 . Kuten taulukosta voidaan huomata, kertoimen arvo riippuu myös rakennuksen korkeus-levyysuhteesta. Määrittäessä rakennuksen kokonaisstabiiliteettia täytyy ottaa myös huomioon rakennuksen sisäpuoleisen imun vaikutus C_{pi} , jonka arvona suorakulmaisissa rakennuksissa, joiden aukkosuhdetta on hankala määrittellä, käytetään joko arvoa $-0,3$ tai arvoa $+0,2$, riippuen siitä kumpi tuottaa vaarallisemman vaikutuksen (RIL 201-1-2008).



Kuva 7.5 Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio

HUOM. 1 Ulkopuolisen paineen kertoimien $c_{pe,10}$ ja $c_{pe,1}$ arvot voidaan esittää kansalliseissa liitteissä. Suositusarvot esitetään taulukossa 7.1 mittasuhteesta h/d riippuen. Mittasuhteen h/d väliarvoja vastaavat arvot saadaan lineaarisesti interpoloimalla. Taulukon 7.1 arvot soveltuvat myös sellaisten rakennusten seinille, joiden vesikatto on kalteva, kuten harjakatto tai pulpettikatto.

Taulukko 7.1 Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot pohjaltaan suorakaiteen muotoisten rakennusten pystyseinille

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	

Kuvio 10. kertoimen C_{pe} määrittäminen (RIL 201-1-2008 osa 1.4, kuva 7.5)

2.6 Kohteen kuormat ja niiden mallintaminen

Kohteeseen vaikuttavat kuormien ominaisarvot olivat laskennallisesti seuraavat:

Lumikuorma $Q_{s,k}$	= 2,0 kN/m ²
Kokonaistuulikuorma rakennuksen pitkälle sivulle $F_{w,k,1}$	= 135,8 kN
Kokonaistuulikuorma rakennuksen päädylle $F_{w,k,2}$	= 42,1 kN
Rakenneosille tuleva tuulikuorma $q_{w,k}$	= 0,43 kN/m ²

Rakenteisiin kohdistuva lumikuormitus $Q_{s,k}$ on esitetty kuviossa 14, kokonaistuulikuorma kuviossa 15 ja rakenneosien mitoittava tuulikuorma kuviossa 16.

Tuulikuorma jakautui rakenneosille seuraavasti, kun tuulee sivulta (kuvio 11):

$A = (0,7 + 0,3) q_{w,k}$	= 0,43 kN/m ²
$B = (1,2 + 0,2) q_{w,k}$	= 0,60 kN/m ²
$C = (0,8 + 0,2) q_{w,k}$	= 0,43 kN/m ²

Tuulikuorma jakautui rakenneosille seuraavasti, kun tuulee päädystä (kuvio 12):

$A = (0,7 + 0,3) q_{w,k}$	= 0,43 kN/m ²
$B = (1,2 + 0,2) q_{w,k}$	= 0,60 kN/m ²
$C = (0,8 + 0,2) q_{w,k}$	= 0,43 kN/m ²

Kohteen mitoituksessa käytettävät pysyvät kuormat, G_k , syntyvät rakenteen omasta massasta. Kattoristikoille rakenteen omaa kuormaa tulee vesikattorakenteelta. Pystyrungolle rakenteen omaa kuormaa tulee vesikatolta sekä Kattoristikoista. (RIL 201-1-2008)

Omienkuormien ominaisarvoiksi sain määritettyä:

Vesikaton omapaino $G_{1,k}$	= 0,5 kN/m ²
Ristikoiden omapaino $G_{2,k}$ (määritetään kohdassa 3.2)	= 0,28 kN/m

Laskin kuormien aiheuttaman rasituksen kattorakenteelle seuraavasti:
Kohde kuului seuraamusluokkaan 2, jolloin vastaava K_{FI} -kertoimen arvo oli 1,0. Yhdelle Kattoristikolle tulevan tasaisen kuormituksen arvo P_d , jonka laskin yhtälöllä 7. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

$$P_d = 1,15 K_{FI} G_{1,k} s + 1,5 K_{FI} Q_{k,s} s \quad (7)$$

jossa

s on kattorakenteen jänneväli ja muut tekijät kuten yhtälössä 1.

Sijoittamalla kuormien ominaisarvot, K_{FI} kerroin sekä jänneväli (6 m) yhtälöön sain rasituksen (P_d) arvoksi 21,45 kN/m.

Kuormien aiheuttama rasitus pilareille:

Kohde kuului siis seuraamusluokkaan 2, jolloin vastaava K_{FI} -kertoimen arvo on 1,0. Laskin pilareiden mitoittavan normaalivoiman N_d yhtälön 8 mukaisesti ja mitoittavan momentin M_d yhtälön 9 mukaisesti, yhtälöt ovat esitettyinä perusmuodossa:

$$N_d = P_d s B / 2 \quad (8)$$

$$M_d = P_d L^2 / 8 \quad (9)$$

joissa:

- P_d on tarkasteltavaan kohtaan tuleva kuormitus
- s on kehäjako
- B on jänneväli
- L on pilarin pituus

Kun sijoitin edellä oleviin yhtälöihin 8 ja 9 kuormien ominaisarvot sekä kohdan 2.2.2 kuormitusyhdistelyn kertoimet, mitoittettavan pilarin (ks. kuvio 13) yhtälöt muuttuivat seuraaviin muotoihin: (RIL 201-1-2008.)

$$N_d = 1,15 K_{FI} (G_{1,k} + G_{2,k}) s B/2 + 1,5 K_{FI} \Psi_{0,i} Q_{k,s} s B/2 \quad (8)$$

$$M_d = (1,5 K_{FI} \Psi_{0,i} s Q_{k,w}) L^2 / 8 \quad (9)$$

Käytin laskelmissa kolmea eri kuormitusyhdistelmää, joissa jokaisessa sijoitin yhtälöihin vastaavat yhdistelykertoimet:

Kuormitustapaus 1: Lumi määräävä + tuuli yhdistelykertoimella 0,6

$$N_d = 1,15 K_{FI} (G_{1,k} + G_{2,k}) s B/2 + 1,5 K_{FI} Q_{k,s} s B/2$$

$$M_d = (1,5 K_{FI} 0,6 s Q_{k,w}) L^2 / 8$$

Kuormitustapaus 2: Tuuli määräävä + lumi yhdistelykertoimella 0,7

$$N_d = 1,15 K_{FI} (G_{1,k} + G_{2,k}) s B/2 + 1,5 K_{FI} 0,7 Q_{k,s} s B/2$$

$$M_d = (1,5 K_{FI} s Q_{k,w}) L^2 / 8$$

Kuormitustapaus 3: Tuuli ilman lumikuormaa

$$N_d = 1,15 K_{FI} (G_{1,k} + G_{2,k}) s B/2$$

$$M_d = (1,5 K_{FI} s Q_{k,w}) L^2 / 8$$

Kuormitustapauksista seuranneet mitoittavat rasitukset:

KT 1:	$N_d = 92,3 \text{ kN}$	$M_d = 13,8 \text{ kNm}$
KT 2:	$N_d = 69,3 \text{ kN}$	$M_d = 23,03 \text{ kNm}$
KT 3:	$N_d = 18,5 \text{ kN}$	$M_d = 23,03 \text{ kNm}$

Lisäksi pilarille tuli määrittää epäkeskeisyydestä johtuva lisämomentti M_z , joka lasketaan yhtälöllä 10. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

$$M_z = N_d e_0 \tag{10}$$

Jossa

e_0 on pilarin alkuepäkeskeisyys, joka voi johtua esimerkiksi mittapoikkeamista tai asennusvirheestä ja laskettiin yhtälöllä 11. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

$$e_0 = L / 250 \quad (11)$$

jossa L on pilarin mitta.

Tällöin lisämomentti eri kuormitustapauksissa oli:

$$\text{KT 1:} \quad M_z = 2,55 \text{ kNm}$$

$$\text{KT 2:} \quad M_z = 1,9 \text{ kNm}$$

$$\text{KT 3:} \quad M_z = 0,55 \text{ kNm}$$

Mitoitin rungon jäykistäville rakenteille tulevat rasitukset täydelle tuulikuormalle, joka jaetaan kahdelle sivulle tai päädylle sekä resultantin kohdalta tasan rakenteen ylä- ja alatuelle. Laskennallisesti diagonaaleille suurin rasitus tuli kuormitustapauksessa 3. Laskin diagonaaleille tulevat rasitukset yhtälöillä 12 ja 13, yhtälöissä esiintyvät kulmat ovat kuvion 4 mukaiset. (RIL 201-1-2008.)

Diagonaali 1:

$$F_{d,diag,1} = 1,5 K_{FI} F_{w,k,1} / (2 \times 2 \cos 58^\circ) \quad (12)$$

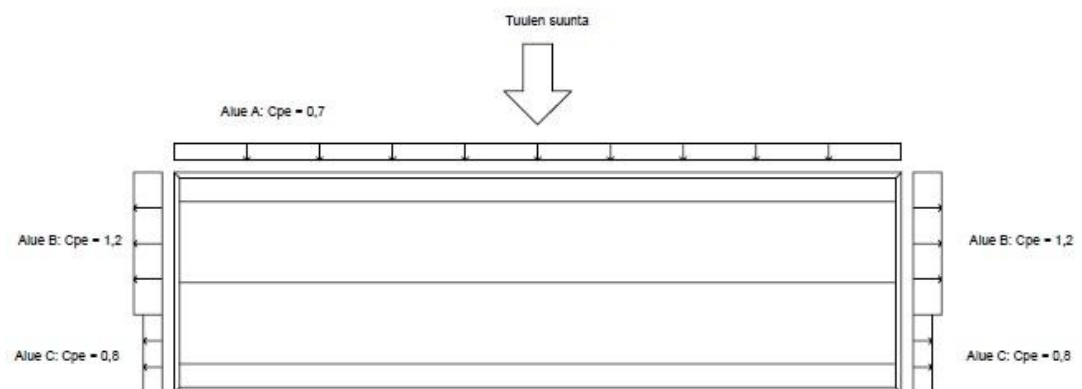
Diagonaali 2:

$$F_{d,diag,2} = 1,5 K_{FI} F_{w,k,2} / (2 \times 2 \cos 49^\circ) \quad (13)$$

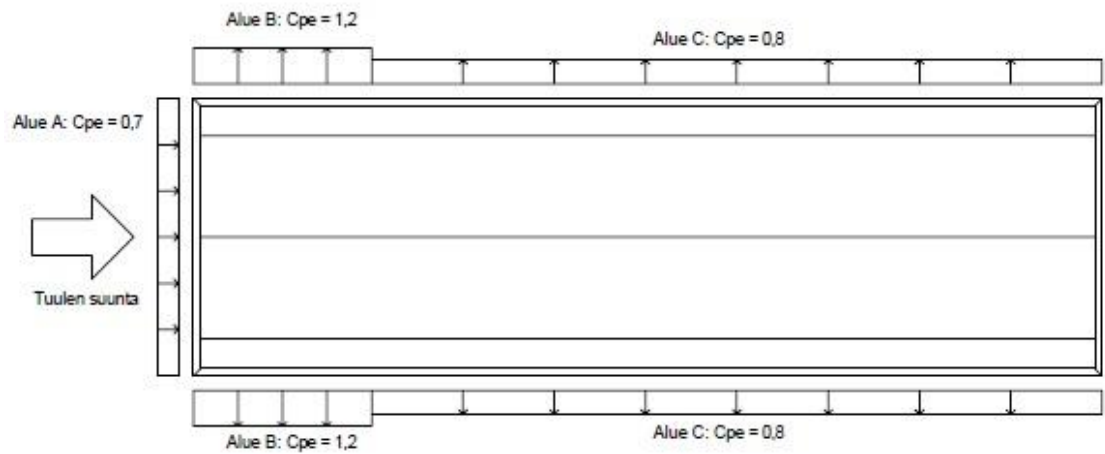
Tällöin sain rasitusten arvoiksi:

$$\text{Diagonaali 1:} \quad = 96,1 \text{ kN}$$

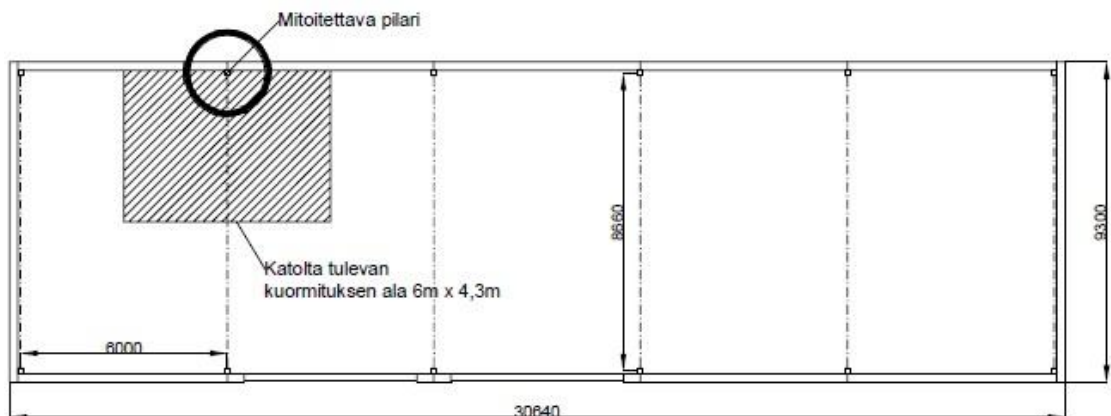
$$\text{Diagonaali 2:} \quad = 24,05 \text{ kN}$$



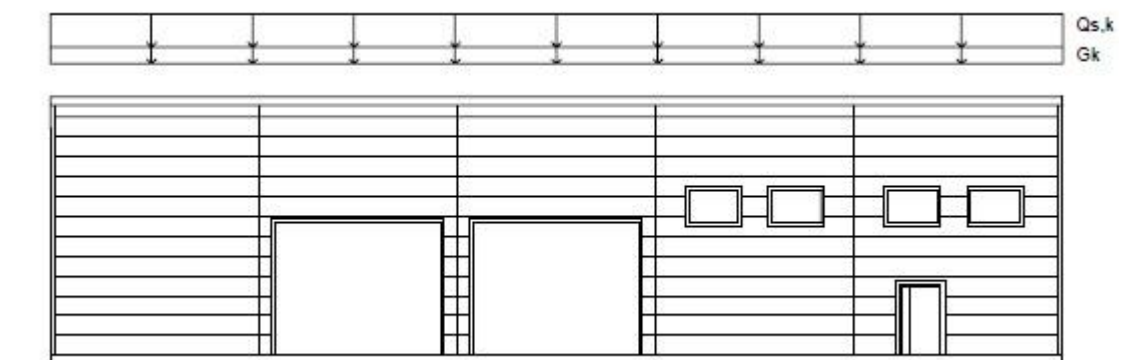
Kuvio 11. paineen jakautuminen sivutuulesta



Kuvio 12. paineen jakautuminen päätyyn kohdistuvasta tuulesta

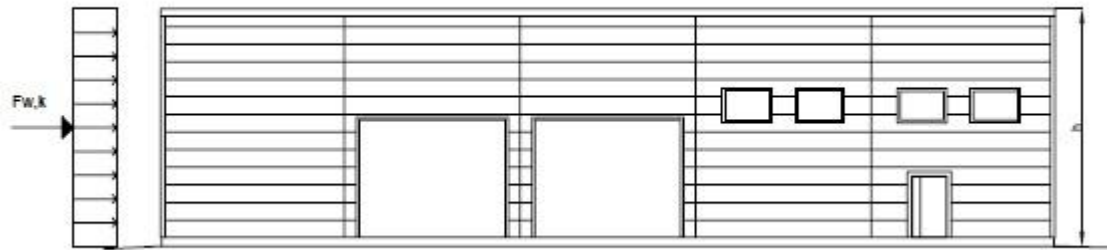


Kuvio 13. Mitoitettava rungon pilari

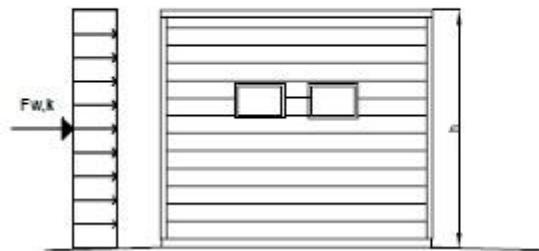


Kuvio 14. Rakennukselle tuleva lumikuorma + kattorakenteen omakuorma

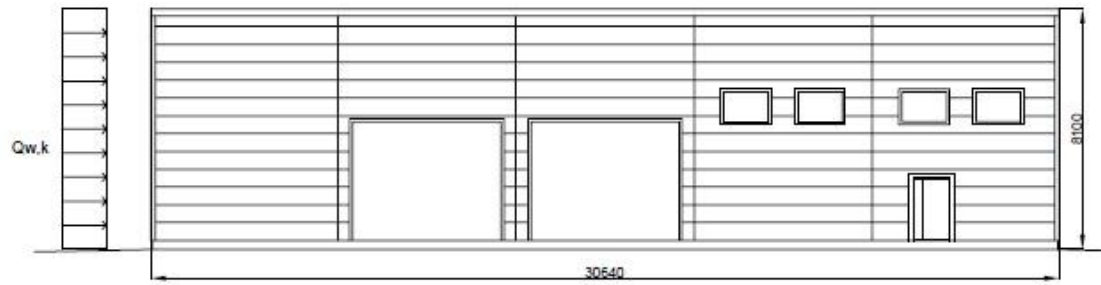
Kokonaistuulikuorma rakennuksen päädylle $F_{w,k,1} = 42,1 \text{ kN}$



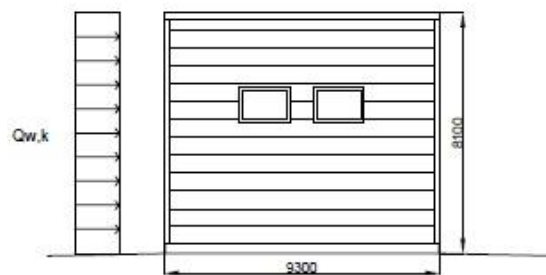
Kokonaistuulikuorma rakennuksen sivulle $F_{w,k,1} = 135,8 \text{ kN}$



Kuvio 15. rakennuksen kokonaistuulikuormat



Tuulikuorma rakennuksen sivulle (mitoitettava) $Q_{w,k} = C_s C_d (C_{pe} + C_{pi}) 0,43 \text{ kN/m}^2$



Kuvio 16. rakennuksen rakenneosien tuulikuormat

3 TERÄSRUNKO

3.1 Teräs rakennusmateriaalina

Terästä käytetään usein rakennusmateriaalina juuri kohteen teollisuusrakennuksen kaltaisissa halleissa, mutta myös jonkin verran toimistorakennuksissa. Teräsrakenteilla saadaan toteutettua kevyempiä rakenteita verrattuna betoniratkaisuun, mutta kantokyky on yhtä hyvä. Kevyiden rakenteiden takia teräsrunkoiset rakennukset ovat yleensä juuri 1- tai 2-kerroksisia halleja, koska korkeissa kohteissa tulee ongelmia rakennuksen kokonaisstabiiliteetin ja kippauksen kanssa. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

Rakenneteräokset ovat yleensä seostamattomia tai niukkaseosteisia hiiliteräksiä, joista yleisimpiä ovat standardissa SFS-EN1993 määritetyt S235, S275 sekä S355. Merkintä S tarkoittaa rakenneterästä ja perässä oleva luku ilmoittaa kyseessä olevan teräksen ylemmän myötörajan vähimmäisarvon, kun ainevahvuus on pienempi tai yhtä suuri kuin 16 mm. Kohteen runko valmistetaan putkiprofiileista, joiden teräslaji on yleisesti S355. Rakenneteräksien hiilipitoisuus saa olla korkeintaan 1,7%, mutta nykypäivänä mennään reilusti sen alle. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

Rakenneteräksiä saa joko kuumavalssattuna tai kylmämuokattuna. Näiden välinen tärkein ero on niiden myötäämisominaisuus, kylmämuokatulla teräksellä ei ole enää niin sanottua myötöaluetta, joten teräs ei myöä ennen murtoa. Tästä seuraa että teräs kestää kuormitusta paremmin ilman muodonmuutosta, mutta ei myöskään "varoita" myötäämällä ennen rakenteen murtumista. Kylmämuokatun teräksen hitsaaminen on kielletty, koska sen ominaisuudet muuttuvat hitsattaessa. Rakenneteräksien suunnittelussa tuleekin ottaa huomioon teräksen hitsattavuus. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

Rakenneteräksien tärkeä muistettava ominaisuus on myös sen sitkeys ja siihen liittyvä transitiolämpötila, jossa teräs menettää sitkeytensä.

Transitiolämpötila on pakkasen puolella ja kohde on lämminrakennus, joten transitiolämpötila tarkastelua ei tarvittu. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

3.2 Kattorakenteen mitoitus

Kantavana kattorakenteena kohteessa on teräsputkipalkkiristikko. Kohteen ristikko on mitoitettu rakentajankalenterin alustavaa mitoitusohjetta sekä Teräsrakenneyhdistyksen Winrami-mitoitusohjelmaa käyttäen, joten selostan vain alustavan mitoitusohjeen osuuden. Teräsristikot ovat yleinen kattorakenne varasto- ja hallirakennuksissa muun muassa niiden keveyden ja mittatarkkuuden takia. Ristikoiden mitoitus voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: ristikon osasauvojen mitoitus, liitosten mitoitus sekä rakenteenkokonaisstabiliteetin tarkastelu. (Rakentajain kalenteri 2001.)

Jotta ristikko saadaan mitoitettua yksinkertaisella tavalla, on oletettava että paarteiden ja diagonaalien liitokset toimivat nivelenä, jolloin diagonaalit voidaan mitoittaa pelkästään vedettynä tai puristettuna rakenteena. Yläpaarre mitoitetaan taivutettuna ja puristettuna rakenteena, taivutusmomentti riippuu siitä miten vesikaton kuormat johdetaan paarteelle. Mikäli vesikaton kuormitukset välitetään solmupisteiden kohdalle tulevia orsien avulla, ylimääräistä lisämomenttia ei synny. Mikäli käytetään poimulevypeltiä, yläpaarteelle syntyy tasaisen kuorman aiheuttama momentti rasisus. Alapaarre mitoitetaan usein vain vetojännitykselle. Diagonaalien koko on yleensä 0,7 – 0,8 kertaa paarteiden paksuus, jotta liitokset saadaan toteutettua. (Rakentajain kalenteri 2001.)

Alustavan mitoituksen mukaisesti ensin laskin ristikolle tulevat kuormat sekä kuormasta aiheutuvan momentin M_d , kuten ne laskettaisiin palkille. Tämän jälkeen kokeilin ristikon rakenteellista korkeutta h , joka voi vaihdella välillä $L / 8$ ja $L / 12$, jossa L on ristikon jänneväli (kohteessa 8,5 m). Kun rakenteellinen korkeus ja mitoitusmomentti oli laskettu, laskin ristikon paarrevoiman $F_{\text{paarre,d}}$, yhtälöllä 14. (Rakentajain kalenteri 2001.)

$$F_{\text{paarre,d}} = M_d / h \quad (14)$$

Tämän jälkeen määritin alapaarteen profiilin poikkileikkauksen pinta-alan A yhtälöllä 15. (Rakentajain kalenteri 2001.)

$$A = \gamma_{M,0} F_{\text{paarre,d}} / F_{yd} \quad (15)$$

jossa:

$\gamma_{M,0}$ on teräsosien osavarmuusluku

F_{yd} on teräksen myötölujuus

Tämän jälkeen valitsin sopivan profiilin, jolla olisi tarpeeksi pinta-alaa ja se olisi hoikkuusrajojen sisäpuolella (kuvio 17). Seuraavaksi arvioin sopivan yläpaarteen ja tarkastin hoikkuusrajat. Viimeiseksi valitsin reunimmaisen diagonaalin, jolle tulee suurimmat rasitukset diagonaaleista. Ensin laskin tukivoiman F , kuten normaalille palkille, sitten diagonaalin rasituksen $F_{d,\text{diag}}$ yhtälöllä 16, olettaen että diagonaali lähtee 45° kulmassa. (Rakentajain kalenteri 2001.)

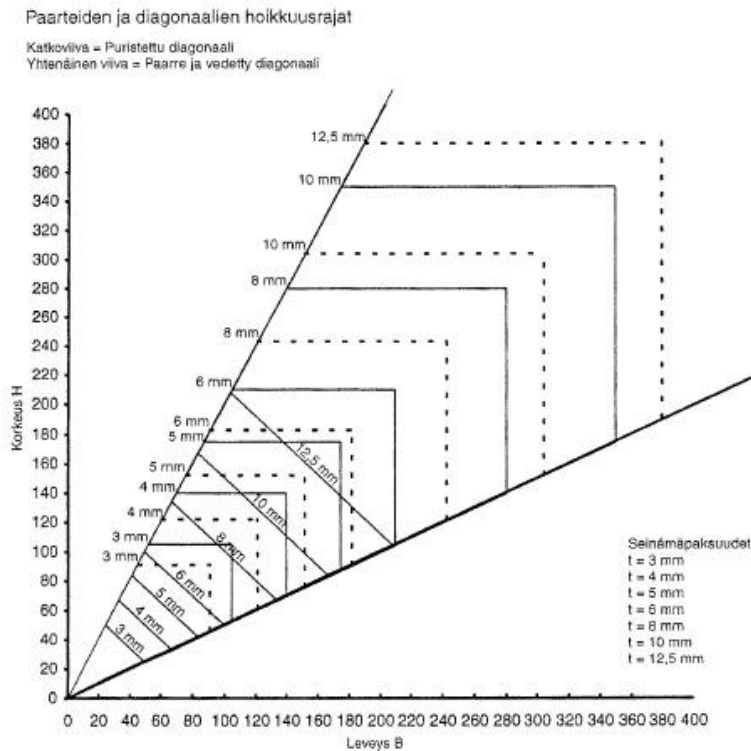
$$F_{d,\text{diag}} = \text{neliönjuuri } 2 \text{ kertaa } F \quad (16)$$

Tällöin sain laskettua diagonaalin vaaditun poikkileikkauksen pinta-alan A samalla tavalla kuten edellä alapaarteelle. Tämän jälkeen valitsin profiilin ja tarkastin hoikkuusrajan. Näillä lähtötiedoilla sain helpotettua Winrami mitoitusta. (Rakentajain kalenteri 2001.)

Mitoitettiin kattorakenteen alustavan mitoituksen mukaisilla profiileilla Winramilla. Alustavan mitoituksen profiilit kestivät katolle tulevat rasitukset, joten ristikon osiksi valittiin seuraavat:

Yläpaarre:	RHS 140x80x5	16,0 kg/m
Alapaarre:	RHS 80x80x3	7,1 kg/m
Diagonaalit:	RHS 60x60x3	5,2 kg/m

Ristikosta aiheutuvan kuormituksen ominaisarvo oli tällöin noin 0,28 kN/m ja näin ollen yhdelle pilarille tuleva kuorma oli 1,2 kN. Ristikon rakenne on esitetty liitteessä 12, lisäksi ristikon liitosdetaljeja on esitetty liitteissä 5 ja 6.



Kuvio 17. Hoikkuusrajat, (Rakentajain kalenteri 2001)

3.3 Pilareiden mitoitus

Mitoitin pilarit molemmista päistään nivelöityinä sauvoina, määräävässä kuormitustapauksessa, standardin SFS-EN1993 sekä RIL 90-1996 määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Mitoitettava pilari on esitetty kuviossa 13, pilari on valittu mitoittavaksi, koska sille tulee eniten kuormaa. Pilarin staattinenmalli on esitetty liitteessä 8. Pilarille tulee alaspäin kohtisuoraa kuormaa kattorakenteesta sekä lumikuormasta ja vaakakuormitusta tuulesta. Kuormituksista sain laskettua mitoittavan normaalivoiman N_d ja mitoittavan momentin M_d eri kuormitustapauksissa, kuten edellä kohdassa 2.6. Kyseessä oli nivelellisesti tuettu pilari ja laskennallisesti kuormitustapaus 2 oli mitoittava. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010. ja SFS EN1993-1-1. 2005.)

$$\begin{aligned} N_d &= 69,3 \text{ kN} \\ M_d &= 23,03 \text{ kNm} \\ M_z &= 1,9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kun pilarin rasitukset olivat määritetty, valitsin kokeiltavan teräsprofiilin ja tarkistin poikkileikkausluokan. Poikkileikkausluokan tarkastelun tarkoitus on tunnistaa kuinka paljon poikkileikkauksen paikallinen lommahdus heikentää poikkileikkauksen kestävyyttä ja kiertymiskykyä. Poikkileikkausluokkia on neljä, mutta vain PLL4 aiheuttaa varsinaisia ongelmia suunnittelussa, koska PLL4:ssä paikallinen lommahdus esiintyy ennen kuin teräksen myötöraja saavutetaan jossain poikkileikkauksen pisteessä. Näin ollen profiili tulisi valita siten, ettei se kuulu PLL4:n. Poikkileikkausluokka määritetään taulukon 4 avulla. Kohteeseen valitsin teräsprofiiliksi neliöputkiprofiilin RHS 120x120x8. Profiili kuuluu poikkileikkausluokkaan 1, taulukon 4 mukaisesti. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010. ja SFS EN1993-1-1. 2005.)

Kun poikkileikkausluokka on määritetty, seuraavaksi tarkastellaan pilarin kestävyyttä aiemmin määritettyjä rasituksia vastaan yhtälöllä 17. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

$$N_d / N_{rd} + M_d / M_{y,rd} + M_z / M_{z,rd} \leq 1,0 \quad (17)$$

jossa:

Puristuskestävyys N_{rd} lasketaan yhtälöstä 18. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010. ja SFS EN1993-1-1. 2005.)

$$N_{rd} = X A F_{yd} / \gamma_{M,0} \quad (18)$$

jossa

A on poikkileikkauksen pinta-ala

X lasketaan kuvion 18 mukaisesti.

Kuvion 18 kaavassa esiintyvä termi N_{cr} lasketaan yhtälöllä 19.

(Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

$$N_{cr} = \pi^2 E I / L^2 \quad (19)$$

Jossa

E on materiaalin kimmomoduuli

I on pilarin jäyhyysmomentti laskettavassa suunnassa

L on pilarin pituus.

Kimmomoduuli on materiaalin kimmoisuustekijä, joka voidaan laskea, mutta arvot ovat myös taulukoitu yleisimpien materiaalien osalta, teräksellä sen arvo on 210000 kN / mm². Jäyhyysmomentti voidaan myös laskea profiilin mittojen avulla, mutta teräsprofileille arvot on taulukoitu, esimerkiksi Ruukin Teräsputkitaulukko.

Kuvion 18 epätarkkuustekijä α valittiin taulukosta 5. Epätarkkuustekijän määrittämiseen tarvittava nurjahduskäyrä määritellään taulukon 6 avulla.

(Teräsrakenneyhdistys ry. 2010. ja SFS EN1993-1-1)

$M_{y,rd}$ on poikkileikkauksen taivutuskestävyys, joka on sama myös M_z vastaan ja lasketaan taivutuskestävyyden yhtälöllä 20. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

$$M_{y,rd} = W_{pl} F_{yd} / \gamma_{m,0} \quad (20)$$

Jossa

W_{pl} on poikkileikkauksen plastinen taivutus vastus ja muut tekijät kuten edellä mainittu.

Taulukko 4. poikkileikkausluokat, (SFS EN1993-1-1. 2005.)

Kahdelta reunalta tuetut puristetut taso-osat						
Poikkileikkausluokka	Taivutetut taso-osat	Puristetut taso-osat	Taivutetut ja puristetut taso-osat			
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	$kun \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ $kun \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	$kun \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ $kun \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
3	$c/t \leq 124\epsilon$ ¹⁾	$c/t \leq 42\epsilon$ ²⁾	$kun \psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ ³⁾ $kun \psi \leq -1^*) : c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) Arvoa $\psi \leq -1$ käytetään, kun joko puristusjännitys $\sigma < f_y$ tai vedetyn puolen venymä $\epsilon_y > f_y/E$.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{mutta } \chi \leq 1,0$$

missä $\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{poikkileikkausluokille 1, 2 ja 3;}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{poikkileikkausluokalle 4;}$$

α on epätarkkuustekijä;

N_{cr} on kimmoteorian mukainen bruttopoikkileikkauksen mukaan laskettu kriittinen voimakyseyteen tulevassa nurjahdusmuodossa.

kuvio 18. Tekijän X määrittäminen, (SFS EN1993-1-1. 2005.)

Taulukko 5. epätarkkuustekijät, (SFS EN1993-1-1. 2005.)

Nurjahduskäyrä	a0	a	b	c	d
Epätarkkuustekijä α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Taulukko 6. nurjahduskäyrän määrittäminen, (SFS EN1993-1-1. 2005.)

Poikkileikkaus	Rajat	Nurjahdusko. akselin suhteen	Nurjahduskäyrä		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Valmistusprofiilit 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀	a ₀ a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c
Hitsatut I-profiilit 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d	
Rakennepalkit 	Kuumamuovattu	Kaikki	a	a ₀	
	Kylmämuovattu	Kaikki	c	c	
Hitsatut keuhkoprofiilit 	Yleensä (poikkeus, ks. alla)	Kaikki	b	b	
	Paksut hitsit: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Kaikki	c	c	
U-, T- ja umpi-profiilit 		Kaikki	c	c	
L-eräkkeet 		Kaikki	b	b	

Edellä olevien yhtälöiden perusteella kohteen mitoitettavan pilarin kestävyys olivat:

$$N_{rd} = 262,7 \text{ kN}$$

$$M_{y,rd} = M_{z,rd} = 48,9 \text{ kNm}$$

Josta seurasi, että kokonaisyhdistelmä kuormitustapauksessa 2 oli:

$$N_d / N_{rd} + M_d / M_{y,rd} + M_z / M_{z,rd} = 0,78 \leq 1,0$$

Kun yhdistelmän kokonaisuus saadaan alle 1, mitoitus on valmis. Saadusta tuloksesta nähdään myös käyttöaste (1 = 100%), joka tässä tapauksessa oli 78%. Kohteessa Käytettävän neliöputkiprofiilin kestävyys ovat

samanarvoiset myös toisessa suunnassa, johon vaikuttaa laskelmien mukaisesti pienempi momenttirasitus, joten totesin, että pilari ei nurjahda kumpaankaan suuntaan, eikä erillisiä vaakasiteitä tai tukia tarvita. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

Pilarin taipuma määritetään käyttörajatilassa ja sen mukaisilla kuormituksilla, taipuman kaavalla (yhtälö 21). (Rakentajain kalenteri 2001.)

$$f = (5 / 384) p d L^4 / E I \quad (21)$$

jossa

pd on käyttörajatilassa tuulesta aiheutuva kuorma $q_{w,k} = 0,43 \text{ kN/m}^2$

L on pilarin pituus

E ja I kuten edellä

Yhtälöstä sain taipumaksi: $f = 8,92 \text{ mm}$

rakenteelle sallittu taipuma on: $L / 300 = 23 \text{ mm}$

Joten pystyin toteamaan, että pilarin taipuma ei ylitä sallittua rajaa.

4 TUULISITEIDEN MITOITUS

4.1 Diagonaalien mitoitus

Mitoitin tuulisiteet (diagonaalit) kohdan 2.6 kuormitusten mukaan. Sauvat on mitoitettu kuormituksille vedettynä rakenteena. Kun profiili oli valittu, määritettiin profiilille vaadittavat poikkileikkauksen mitat vetorasituksen kestävyystarkastelun avulla. Diagonaalit kiinnitetään pilareihin siten, että epäkeskeisyys ei aiheuta rasituksia. Rakenne kestää siihen kohdistuvan vetorasituksen, jos sen mitoituskestävyys $N_{t,Rd}$ on suurempi kuin vetorasitus N_{de} . Mitoituskestävyys laskettiin kaavasta 22. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

Diagonaali 1(ks. kuvio 4): RHS 60x60x4 $N_{de} = F_{d,diag,1} = 96,1 \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = \min\{ N_{pl,Rd} = A F_y / \gamma_{M0}, N_{u,Rd} = 0,9 F_u A_{net} / \gamma_{M2} \} \quad (22)$$

Valitun profiilin vetorasituksen kestävyysarvot olivat:

$$N_{pl,Rd} = 303,5 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 314,0 \text{ kN}$$

Jolloin $N_{pl,Rd}$ oli merkitsevä arvo. Kuten arvoista nähdään kestävyys $N_{t,Rd}$ on suurempi kuin vetorasitus N_{de} . Valitsin diagonaaliksi siis RHS 60x60x4.

Diagonaali 2 (ks. kuvio 4): RHS 60x60x4 $N_{de} = F_{d,diag,2} = 24,05 \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = \min\{ N_{pl,Rd} = A F_y / \gamma_{M0}, N_{u,Rd} = 0,9 F_u A_{net} / \gamma_{M2} \} \quad (22)$$

Valitun profiilin vetorasituksen kestävyysarvot olivat:

$$N_{pl,Rd} = 303,5 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 314,0 \text{ kN}$$

Jolloin $N_{pl,Rd}$ oli jälleen merkitsevä arvo. Kuten edellä kestävyys $N_{t,Rd}$ oli merkittävästi suurempi kuin vetorasitus N_{de} . valitsin diagonaaliksi kuitenkin profiilin RHS 60x60x4, vaikka käyttöaste on alhainen, pienemmällä profiililla tulisi ongelmia liitoksen kanssa.

Tuulisteiden tarkoitus on estää siirtymien synty. Jotta rakenteeseen syntyisi siirtymiä, vedettyjen diagonaalien pitäisi saavuttaa myötörajansa 355 kN. Rakenne ei kuitenkaan voi saavuttaa myötörajaansa, koska rakenteen vetorasituksen kestävyys arvo (303,5 kN) on pienempi. Siis valitut rakenteet säilyttävät muotonsa käyttörajatilassa. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

4.2 Tuulisiteiden liitoksen mitoitus

Tuulisiteet kiinnitetään pilareihin hitsattuihin teräslevyihin pulttiliitoksella. Myös itse diagonaaleihin hitsataan teräslevy, johon pulttiliitos tulee. Liitokset mitoitetaan standardin SFS EN1993-1-8 määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Liitoksien mitoittava rasitus oli sama kuin itse diagonaaleilla:

Diagonaali 1:

$$F_{d,diag,1} = 96,1 \text{ kN}$$

Diagonaali 2:

$$F_{d,diag,2} = 24,05 \text{ kN}$$

Ensiksi mitoitettiin diagonaalien pulttiliitos. Liitos toteutetaan liitteessä 3 olevan detaljin mukaisesti kaksileikkeisenä, jotta rakenne on symmetrinen, eikä ylimääräisiä taivutusrasituksia synny. Valitsin liitokseen pulteiksi M16 8.8 pultit, joita liitokseen tulee yhteensä 4 kappaletta.

Liitoksen mitoituksessa lähdin liikkeelle perusaineen eli tässä tapauksessa teräslaatan mitoituksesta. Kohteessa käytetään kaikissa diagonaaliliitoksissa samoja teräslaatan poikkileikkausmittoja, asennusvirheiden harventamiseksi. Valitsin kohteeseen teräslaatan poikkileikkauksen mitoiksi 100x10 ja teräslaaduksi S355. Laattateräs mitoitettiin vetorasitukselle samalla tavalla kuin kohdassa 4.1 itse diagonaalit. Tällä kertaa nettopinta-alan suuruuteen vaikuttivat liitokseen valittujen pulttien reikien halkaisijat d_0 , joka M16 pulteilla olivat 18mm. Pulttien reiät tuli siis huomioida perusaineen mitoituksessa. Laattateräksen poikkileikkauksen kestävyys edellä mainituilla arvoilla oli: (SFS EN1993-1-8. 2006.)

$$N_{pl,Rd} = 355,0 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 301,1 \text{ kN}$$

Seuraavaksi tarkastelin pulttivarsien leikkautumista. Pulttivarsien vetorasitus kestävyys lasketaan yhtälöllä 23. Yhtälöstä saatu arvo on yhden pultin kestävyys leikettä kohden. (SFS EN1993-1-8. 2006.)

$$N_{u,Rd} = 0,6 f_{ub} A / \gamma_{M2} \quad (23)$$

jossa

0,6 on lujuusluokasta riippuva kerroin (lujuusluokka 8.8 = 0,6)

f_{ub} on pultinmurtolujuus

A on pultin poikkileikkauksen ala liitoksenkohdalla (kohteessa kierteinen alue)

γ_{M2} on ruuvi- ja hitsiliitosten osavarmuusluku

Yhden pultin (M16) kestävyys: $N_{u,Rd} = 59,9 \text{ kN}$

Koko liitoksen pulttien kestävyys: $N_{u,Rd} = 239,6 \text{ kN}$

Viimeiseksi laskin laattateräksen reunapuristuskestävyyden yhtälöllä 24, josta myös saadaan laskettua arvo yhtä leikettä ja yhtä pulttia kohden. (SFS EN1993-1-8. 2006.)

$$N_{u,Rd} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2} \quad (24)$$

jossa

k_1 on pienin arvoista: $2,8 e_2 / d_0$
 $2,5$
 $1,4 p_2 / d_0 - 1,7$

α_b on pienin arvoista: $e_1 / 3d_0$
 $p_1 / d_0 - 1/4$
 f_{ub} / f_u
 $1,0$

f_u on laattateräksen kestävyys

d on pultin todellinen halkaisija

t on laattateräksen paksuus

Reunapuristuskestävyys yhtä pulttia ja leikettä kohden:	$N_{u,Rd} = 66,2 \text{ kN}$
Reunapuristuskestävyys koko liitokselle:	$N_{u,Rd} = 264,8 \text{ kN}$

Tällöin liitoksen kaikkien osien kestävyyksien arvot olivat:

$$N_{u,Rd} = 301,1 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 239,6 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 264,8 \text{ kN}$$

Joista mitoittava on kestävyysden pienin arvo $N_{u,Rd} = 239,6 \text{ kN}$, joka on kuitenkin vetorasitusta suurempi eli liitos kestää siihen kohdistuvan rasituksen.

Kun pulttiliitos oli mitoitettu, mitoitin seuraavaksi diagonaalien hitsiliitokset. Hitsiliitoksen mitoitus perustuu hitsin a-mitan ja hitsinpituuden määrittämiseen. Hitsin a-mitta, pienahitsissä, tarkoittaa hitsikolmion läpimittaa. Hitsit mitoitetaan liitokselle tuleville normaali- ja leikkausjännityksille yhtälön 25 mukaisesti. Liitoksen jännitykset syntyvät, kuten pulttiliitoksessakin, diagonaalien vetorasituksesta, tässä tukevaa pintaa (a-mitta kertaa hitsinpituus) kohtisuoraan vastaan tai leikkaavasti. (SFS EN1993-1-8. 2006.)

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{ja} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad (25)$$

Pilariin / perustukseen tulevan korvakkeen hitsiliitos (ks. detalji liitteestä 3):

perusaine: laattateräs 100x10 S355 ja RHS 160x160x8

Hitsin pituus: 2 x 188mm

Hitsin a-mitta: 5mm

Diagonaaliin kiinnitettävän laattateräksen hitsiliitos (ks. detalji liitteessä 3):

perusaine: laattateräs 100x10 S355 ja RHS 60x60x4

Hitsin pituus: 4 x 50mm

Hitsin a-mitta: 5mm

Diagonaalien poikkileikkausta oli muutettava profiiliin RHS 60x60x5, koska perusaine ei saisi olla hitsin a-mittaa heikompi. Asennus virheiden välttämiseksi samoja liitoksia käytetään sekä diagonaaleissa 1 että 2 (mitoitettu diagonaalien 1 suuremmille kuormituksille), eivätkä liitoselimien pienennetyt mitat tuo merkittäviä kustannus säästöjä. Liitosdetalji on esitettyä kuten jo mainittu liitteessä 3.

4.2 Vaakarakenneet pilareiden päissä

Jotta päädyistä tulevat vaakavoimat saadaan johdettua sivun jännevälillä läpi vedetyille diagonaaleille, on pilarit sidottava yläpäätä toisiinsa nivelellisesti kiinnitetyllä puristetulla ja taivutetulla palkilla (kuvio 4). Palkille tulee kuormaa päätytuulesta, lisäksi sen on luonnollisesti kannatettava oma painonsa. Valitsin palkiksi neliöputkiprofiili 70x70x5 9,7 kg/m, palkin laskennallisena pituutena käytetään arvoa 6000mm. Palkille kohdistuvien kuormitusten arvot murtorajatilassa, kun tuulikuorma on täysi. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

$$N_d = 24,05 \text{ kN}$$

$$M_d = 0,44 \text{ kNm}$$

Jotta rakenne kestäisi sille tulevan kuormituksen, sen oli täytettävä yhtälön 26 ehto. (Teräsrakenneyhdistys ry. 2010.)

$$N_d / N_{Rd} + M_d / M_{Rd} \leq 1 \quad (26)$$

jossa N_{Rd} ja M_{Rd} määritetään samalla tavalla kuin pilaria mitoitettaessa.

$$N_{Rd} = 45,5 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 10,5 \text{ kNm}$$

Tällöin yhdistelyn arvoksi saatiin:

$$N_d / N_{Rd} + M_d / M_{Rd} = 0,57 \leq 1$$

Joten voidaan todeta, että rakenne kestänee sille tulevan kuormituksen.

Palkit liitetään pilariin samalla tavalla kuin diagonaalit:

Teräslaatta kaikissa liitoselemissä: 100x10, S355

Pultit: M16 8.8 4kpl

Pienahitsi pilariin: a-mitta 5mm ja hitsin pituus 2 x 120mm

Pienahitsi palkkiin: a-mitta 5mm ja hitsin pituus 4 x 60mm

Lisäksi myös pilarit joille ei kohdistu vaakakuormaa sidotaan toisiinsa, koska näille rakenteille ei tule suuria kuormituksia, niitä ei tarvitse erikseen mitoittaa. Voidaan todeta että diagonaaleissa käytetty RHS 60x60x5 kestää varmasti.

5 PALOMÄÄRÄYKSET JA KOHTEEN PALOSUOJAUS

5.1 Yleiset palomääräykset

Rakennukset ja toimitilat voidaan jakaa kolmeen paloluokkaan P1, P2 ja P3, EN-standardien mukaisesti. Kantavat ja osastoivat rakennuksen osat luokitellaan sen perusteella, miten ne kestävät ja eristävät paloa. Luokitusten vaatimukset kuvataan seuraavilla merkinnöillä: R = kantavuus, E = tiiviys, EI = tiiviys ja eristävyys. Lisäksi ovat merkinnät EI1 tai EI2: Tiiviys ja eristävyys rakenteissa joiden ovet ja ikkunat voidaan avata vain työkalulla tai avaimella. Molemmat luokat EI1 ja EI2 täyttävät ovelle tai ikkunalle asetetun EI vaatimuksen. Merkinnän R, REI, RE, EI tai E jälkeen ilmoitetaan palonkestävyysaika minuutteina, esimerkiksi REI15 tai R240. Tämä merkintä muodostaa rakennusosan paloluokan. (RakMK E1. 2011.)

Rakennuskohteelle on määrätty maankäyttö- ja rakennusasetuksissa erikseen olennaiset vaatimukset paloturvallisuuden kannalta:

- rakennuksen kantavien rakenteiden täytyy palon sattuessa kestää asetetun vähimmäisajan verran (esim. R60 = 60min)
 - palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa täytyy olla rajoitettua
 - palon leviäminen lähistöllä oleviin rakennuksiin pitää olla rajoitettu
 - henkilöiden on päästävä palon sattuessa poistumaan rakennuksesta tai heidät on voitava muuten pelastaa turvallisesti.
 - rakentamisessa on otettava huomioon pelastushenkilöstön turvallisuus.
- (RakMK E1. 2011.)

Rakennus täyttää paloturvallisuusvaatimuksen, mikäli se suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen määräyksien ja ohjeiden paloluokkia sekä lukuarvoja. (RakMK E1. 2011.)

5.2 Paloluokat ja paloluokan määrittäminen

Paloluokka P1: Luokkaan kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden täytyy pääsääntöisesti kestää palossa sortumatta. Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu. (RakMK E1. 2011.)

Paloluokka P2: Luokkaan kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset ovat paloteknisesti edellisen luokan tasoa matalampia. Riittävä turvallisuustaso saadaan asettamalla vaatimuksia erityisesti pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille (RakMK E1. 2011.)

Paloluokka P3: Luokkaan kuuluvan rakennuksen kantaville rakenteille ei ole erityisvaatimuksia palonkestävyyden suhteen. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rakennuksen kokoa ja henkilömäärää rajoittamalla käytettävistä riippuen. (RakMK E1. 2011.)

Edellä mainitut paloluokat määritellään taulukoiden 7 ja 8 mukaisesti.

Taulukko 7, Paloluokat, kokoa koskevat rajoitukset, E1

Rakennuksen ominaisuus	P1	P2	P3
KERROSLUKU - yleensä - asuinrakennus, työpaikkarakennus - tuotanto- tai varastorakennus	ei rajoitusta ei rajoitusta ei rajoitusta	enintään 2 enintään 8 enintään 2	enintään 2 enintään 2 enintään 1
KORKEUS - yleensä - asuinrakennus, työpaikkarakennus 3–4 krs. - asuinrakennus, työpaikkarakennus 5–8 krs. - yksikerroksinen tuotanto- tai varastorakennus	ei rajoitusta ei rajoitusta ei rajoitusta ei rajoitusta	enintään 9m enintään 14m enintään 26m ei rajoitusta	enintään 9m ei sallittu ei sallittu enintään 14m
KERROSALA - yksikerroksinen - kaksikerroksinen - yli kaksikerroksinen tuotanto- ja varastorakennuksissa sekä autosuojissa - yksikerroksinen - kaksikerroksinen	ei rajoitusta ei rajoitusta ei rajoitusta ei rajoitusta ei rajoitusta	ei rajoitusta ei rajoitusta < 12 000 m ² ei rajoitusta ei rajoitusta	< 2400 m ² <1600 m ² ei sallittu ei rajoitusta ei sallittu

Taulukko 8, Paloluokat, Henkilömääriä koskevat rajoitukset, E1

Käyttötapa	Krs.	P1	P2	P3
Asunnot		ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei rajoitusta
Majoitustilat	1 2	ei rajoitusta ei rajoitusta	paikkaluku 150 paikkaluku 50	paikkaluku 50 paikkaluku 10
Hoitolaitokset	1 2	ei rajoitusta ei rajoitusta	paikkaluku 100 paikkaluku 25	paikkaluku 10 ei sallittu
Kokoontumis- ja liiketilat	1 2	ei rajoitusta ei rajoitusta	ei rajoitusta henkilöitä 250	henkilöitä 500 henkilöitä 50
Työpaikkatilat	1 2	ei rajoitusta ei rajoitusta	ei rajoitusta ei rajoitusta	ei rajoitusta työntekijöitä 150
Tuotanto- ja varastotilat	1 2	ei rajoitusta ei rajoitusta	ei rajoitusta työntekijöitä 50	ei rajoitusta ei sallittu

5.3 Tuotanto- ja varastorakennuksien palomääräykset

Edellä mainittujen määräysten lisäksi tuotanto- ja varastorakennuksille on lisäksi omat määräykset. Ne jaetaan kahteen palovaarallisuusluokkaan:

Palovaarallisuusluokka 1

toiminnot, joihin liittyy vähäinen tai kohtuullinen palovaara esimerkiksi kohteessa harjoitettava konepajatyö. (RakMK E2. 2005.)

Palovaarallisuusluokka 2

toiminnot, joihin liittyy huomattava tai suuri palovaara taikka joissa voi esiintyä räjähdysvaara (RakMK E2. 2005.)

Palovaarallisuusluokka määritellään yleensä kohteen päätoiminnan mukaan, kuitenkin muita tiloja voidaan pitää tapauskohtaisesti myös muussa luokassa. Palovaarallisuusluokka on merkittävä rakennuslupaperustuksiin. Lisäksi tuotanto- ja varastorakennuksille on määritely kolme suojaustasoa: (RakMK E2. 2005.)

Suojaustaso 1

Tasoon kuuluu tavallinen alkusammutuskalusto sekä tarvittaessa tehostettu alkusammutuskalusto.

Tehostettu alkusammutuskalusto tarkoittaa tehokasta palopostiverkkoa ja raskaita kemiallisia sammuttimia. Käytetään tarvittaessa palovaarallisuusluokassa 2. (RakMK E2. 2005.)

Suojaustaso 2

Tasoon kuuluu paikallisesti ja hätäkeskukseen automaattisesti ilmoituksen tekevä paloilmoitin sekä lisäksi suojaustason 1 mukainen alkusammutuskalusto. (RakMK E2. 2005.)

Suojaustaso 3

Tasoon kuuluu automaattinen sammutuslaitteisto sekä lisäksi suojaustason 1 mukainen alkusammutuskalusto. (RakMK E2. 2005.)

Edellä mainituilla määräyksillä on myös vaikutusta kohteen paloluokkaan:

P1-luokan rakennus

rakennuksen kerrosluku tai korkeus ei ole rajoitettu. Rakennukseen saa sijoittaa palovaarallisuusluokkiin 1 ja 2 kuuluvia toimintoja. Kaksikerroksinen rakennus on suunniteltava aina P1-luokan vaatimukset täyttäväksi, mikäli harjoitettava toiminta kuuluu palovaarallisuusluokkaan 2 tai siinä työskentelee yli 50 henkilöä. Yli kaksikerroksinen rakennus on tehtävä aina P1-luokan vaatimukset täyttäväksi. (RakMK E2. 2005.)

P2-luokan rakennus

voi olla vain yksi- tai kaksikerroksinen. Kaksikerroksinen rakennus saa olla maksimissaan 9 m korkea; yksikerroksinen kohde voi kuitenkin olla korkeampi. Yksikerroksisessa rakennuksessa saa harjoittaa palovaarallisuusluokkiin 1 ja 2 kuuluvia toimia. Kaksikerroksisessa rakennuksessa saa harjoittaa vain palovaarallisuusluokkaan 1 kuuluvia toimia. Lisäksi rakennuksessa saa työskennellä enintään 50 henkilöä. (RakMK E2. 2005.)

P3-luokan rakennus

saa olla vain yksikerroksinen ja enintään 14 m korkea. Voidaan toteuttaa lähinnä palovaarallisuusluokassa 1. Jos rakennuksen toiminta on palovaarallisuusluokkaa 2, sen suojaustaso on 3. (RakMK E2. 2005.)

5.4 Rakenteiden kantavuus palotilanteessa

Rakennus tai rakennusosat eivät saa sortua palotilanteen vaikutuksesta, määrättyinä aikana palon alkamisesta. Mikäli kantavalta rakenteelta vaaditaan pidempää kestävyysaikaa tiiviiden E tai eristävyiden I suhteen kuin kantavuuden R suhteen, tulee käyttää pidempää palonkestävyysaikaa myös kantavuuden osalta. Kantavan rakenteen palomitoitus voi perustua joko standardin lämpötila-aikakäyrään perustuvaan luokitukseen tai palonkehityksen mukaisiin rasituksiin. Rakenteiden kantavuutta koskevat luokkavaatimukset on esitetty taulukossa 9. (RakMK E1. 2011.)

Taulukko 9. Rungon palonkesto aika vaatimukset (RakMK E1. 2011.)

	P1			P2			P3
	Palokuorma Mj/m ²			Palokuorma Mj/m ²			
	>1200	600-1200	<600	>1200	600-1200	<600	
Enintään 2-kerroksinen rakennus yleensä	R120*	R90*	R60*	R30	R30	R30	-
jos rakennuksen eristeet eivät ole vähintään luokkaa A2-s1, d0	R120	R90	R60	R30	R30	R30	-
hoitolaitokset, majoitustilat, kellarit	R120	R90	R30	R30	R30	R30	-
3–8-kerroksinen rakennus yleensä	R180	R120	R60	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.
3–8-kerroksinen asuin- tai työpaikkarakennus	R180	R120	R60	180*	120*	60*	ei mahd.
yli 8-kerroksinen rakennus	R240	R180	R120	R240	R180	R120	R60

* Rakennuksen eristeiden ja muiden täytteiden tulee olla vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista.

Punaisella merkityt = kantavat rakenteet on tehtävä vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeista

5.5 Palosuojauksen mitoitus

Teräs menettää palotilanteessa suhteellisen nopeasti kestäväytensä, joten teräsrakenteet tulee suojata huolellisesti palosta syntyvältä lämmöltä.

Suojausmenetelmät perustuvat lämpötilan nousun hidastamiseen.

Palomitoitus prosessissa ensimmäisenä selvitetään rakenteen palonkesto aika vaatimus R, edellä mainitulla tavalla. Sitten määritetään rakenteen hyväksikäyttö aste μ_0 . Rakenne mitoitetaan ensin normaalisti sille tuleville rasituksille kuten edellä, sitten määritetään palonaikaiset rasitukset Efi, käyttäen palon aikaisia yhdistelykertoimia (taulukko 10) ja aiemmin luvussa 2 esitettyjä kuormituksen laskentakaavoja. (SFS EN1993-1-2.2006.)

Taulukko 10, palon aikaiset yhdistelykertoimet Ψ_1 , (SFS EN1993-1-2.2006.)

Kuorma	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino ≤ 100 kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso EN 1991 1 3)*), kun			
$s_k < 2,75$ kN/m ²	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m ²	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma (jään painosta johtuva)**)	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (katso EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (katso EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

Kun palon aikaisia rasituksia verrataan normaalin tilanteen kestävyysasteeseen, saadaan hyväksikäyttöaste μ_0 . Seuraavaksi kun hyväksikäyttöaste on määritetty, valitaan sitä vastaava Kriittinen lämpötila $\theta_{a,cr}$ taulukosta 11. Tämän jälkeen lasketaan vielä rakenteen poikkileikkaustekijä yhtälöllä 27. (SFS EN1993-1-2.2006.)

$$A_m / V \quad (27)$$

jossa A_m on poikkileikkauksen palolle altis pinta-ala ja V on poikkileikkauksen todellinen pinta-ala.

Taulukko 11, kriittinen lämpötila, (SFS EN1993-1-2.2006.)

μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$
0,10	829	0,34	645	0,58	560	0,82	490
0,12	802	0,36	636	0,60	554	0,84	483
0,14	779	0,38	628	0,62	549	0,86	475
0,16	759	0,40	620	0,64	543	0,88	467
0,18	741	0,42	612	0,66	537	0,90	458
0,20	725	0,44	605	0,68	531	0,92	448
0,22	711	0,46	598	0,70	526	0,94	436
0,24	698	0,48	591	0,72	520	0,96	421
0,26	685	0,50	585	0,74	514	0,98	398
0,28	674	0,52	578	0,76	508	1,00	349
0,30	664	0,54	572	0,78	502		
0,32	654	0,56	566	0,80	496		

Palosuojaus saadaan mitoitettua, kun tiedetään kriittinen lämpötila sekä poikkileikkaustekijä, valitun menetelmän varmennetun käyttöselosteen avulla, esimerkiksi Unitherm Safir palosuojamaalin kuivakalvopakisuus. (SFS EN1993-1-2:2006.)

5.6 Kohteen paloluokitus ja palonsuojausmenetelmä

Kohtien 5.2 ja 5.3 mukaisesti määritettynä kohteen paloluokka oli P3, koska kyseessä on tuotanto- / varistorakennus ja sinne tullaan sijoittamaan vain palovaarallisuusluokkaan 1 kuuluvia toimia eli konepajateollisuutta. Rakennuksen suojaustaso oli edellä mainitusta syystä 1. Rakennuksen rungolle ei ole palonkestoaikavaatimuksia paloluokassa P3, kohdan 5.4 mukaisesti. Näin ollen rakenteet eivät tarvitse erillistä palosuojauksia.

6 VAIPAN SULKEVA RAKENNE

Vaipan sulkevan rakenteen muodostavat vesikatto sekä ulkoseinärakenne. Rakennuksen vaipan tarkoitus on eristää rakennus ja kantavat rakenteet sään vaikutuksilta, kosteudelta ja pakkaselta. Näiden rakenneosien tarkoitus on myös siirtää niille tulevat kuormitukset niitä kannatteleville rakenteille eli ne toimivat sekundäärirakenteena. Edellä mainitut kuormitukset koostuvat lähinnä tuulesta ja lumesta. Vaipanrakenteille on määrätty lämmöneristävyys vaatimus, joka esitetään u-arvona. U-arvo voidaan laskea rakenneosan lämmönjohtavuus ominaisuudesta. Kattorakenteille vaadittu u-arvon suurin sallittu arvo on nykymääräysten mukaan 0,09 ja ulkoseinille 0,17.

6.1 Vesikatto

Putkipalkkiristikolle tuleva vesikattorakenne voidaan toteuttaa joko käyttämällä solmupisteille tulevia orsirakenteita tai suoraan ristikon yläpaarteeseen tukeutuvia poimulevypeljejä. Kyseessä olevaan kohteeseen on valittu vesikattorakenteeksi poimulevypellitys, koska se on kevyt ja luja rakenne sekä helppo toteuttaa. Pellin päälle tulee lämmön- ja vedeneristys sekä höyrynsulku. Poimulevypelleiksi kohteeseen valittiin Weckmanin W155/840, 1,5mm materiaali paksuudella, sen riittävän kestävyys ominaisuuden takia. Se kestää 6,8m jännevälin, kun kohteessa vain 6m. Levyt asennetaan siten, että kapea laippa tulee ristikon tukipintaa vasten ja leveä laippa eristettä vasten. Pellin päälle tulee ensimmäiseksi eristekerrokseksi Paroc ROS 50, kerroksen paksuus 50mm, jonka päälle asennetaan höyrynsulku (bitumikermi). Höyrynsulun päälle tulee varsinainen eristekerros Paroc ROS 30g uritettu eriste, kerroksen paksuus 190mm. Viimeinen eristekerros on Paroc ROB 80t pintaeriste (20mm), jonka päälle kaksinkertainen Bitumikermi kerros vesikatteeksi. Edellä mainituilla eristekerroksilla päästään u-arvoon 0,08. Vesikaton rakenteendetalji on esitetty liitteessä 2. (Weckman Steel Oy. 2010. ja Paroc Oy. 2010.)

Vesikaton ja yläpohjan jäykistys toteutetaan kuten edellä mainittu, ristikoimalla. Kattorakenne jäykistetään samoilla tuulisiteillä kuin seinärakenne, eli RHS 60x60x5, koska sivuttaiskuormituksen maksimiarvo on sama ($N_{de} = F_{d,diag,1} = 96,1 \text{ kN}$). Kattorakenteen sauvat toimivat vedettynä rakenteena aivan kuten seinärakenteen diagonaalit. Koska kuormitus on sama ja liitokset seinärakenteissa ovat jokseenkin kevyesti kuormitettuja, voidaan todeta, että samoja liitoselemiä voidaan käyttää myös kattorakenteen diagonaalien liitoksissa. Vesikaton jäykistävä rakenne on esitetty liitteessä 13.

6.2 Ulkoseinät

Ulkoseinärakenteeksi kohteessa on valittu Paroc-elementit. Parocin ulkoseinäelementit sopivat hyvin suurten hallien ulkoseinärakenteeksi niiden palonkesto ja lämpöominaisuuksien takia, mutta erityisesti niiden helpon asennettavuuden takia. Paroc-elementtien rakenne on yksinkertainen teräs-eriste-teräs – sandwich, joka koostuu lujista muovipinnoitetuista teräksisistä ulkokuorista joiden välissä on Paroc-kivivillaa. Kohteen ulkoseinät toteutetaan Paroc Line 600: AST-S 240 elementeillä, joiden u-arvo on 0,16. Paroc-elementit kiinnitetään suoraan pystyrungon putkipalkkeihin, käyttämällä Parocin omia kiinnikkeitä SL240 (ks. liite 7). Seinärakenteisiin ei tarvita erillisiä tuulipilareita, koska Paroc-elementit kestävät jopa 12m jännevälin ilman erillistukea ja kohteessa suurin jänneväli oli vain 8,5 m. Ulkoseinäelementtien kiinnitysdetalji on liitteessä 1 ja räystäsdetalji liitteessä 4. (Paroc Oy. 2010.)

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella ja mitoittaa teräsrunkoisen teollisuushallin teräsosat ja niiden liitokset. Tavoitteena olivat käyttökelpoiset ja luotettavat rakennekuvat ja –ratkaisut.

Seuraavaksi on lueteltu saadut tulokset eli rakenneosien profiilit sekä liitokset:

Kattoristikot:

Yläpaarre:	RHS 140x80x5, S355, 16,00 kg/m
Alapaarre:	RHS 80x80x3, S355, 11,3 kg/m
Diagonaalit:	RHS 60x60x3, S355, 5,19 kg/m

Rungon pilarit: RHS 120x120x8, S355, 26,4 kg/m

Tuulisiteet:

Päädyssä:	RHS 60x60x5, S355, 8,13 kg/m
Pitkällä sivulla:	RHS 60x60x5, S355, 8,13 kg/m
Palkkirakenne 1:	RHS 70x70x5, S355, 9,70 kg/m
Palkkirakenne 2:	RHS 60x60x5, S355, 8,13 kg/m
Kattorakenteessa:	RHS 60x60x5, S355, 8,13 kg/m

Tuulisiteiden liitokset: PL 100x10, S355

Liitosten pultit: M16 8.8

Liitosten hitsit, a-mitta:	Kattoristikossa	4 mm
	Tuulisiteissä	5 mm

Lisäksi työn tuloksena saadut rakennekuvat löytyvät liitteistä:

Liite 9: Rakenneleikkaus päädystä**Liite 10: Rakenneleikkaus sivulta****Liite 11: Tasoleikkaus****Liite 12: Kattoristikko**

Saadut rakenteet ovat mitoitettu eurokoodien ja RIL 201-1-2008 ohjeiden ja määräysten mukaisesti, joten käytetyt lähteet ovat luotettavia. Tuloksia arvioidessa on todettava että, rakenteet ovat ylimitoitettuja, mikä johtuu kokemattomuudestani suunnittelijana. En uskaltanut mitoittaa rakenteita aivan ”luilleen” eli juuri ja juuri kuormitukset kestäviksi, jolloin käyttöaste olisi ollut suurempi. Kokemattomuudesta johtuen tuloksiin on muutenkin syytä suhtautua kriittisesti, mutta ainakin toimeksiantaja hyväksyi rakennekuvat sekä rakenneosat.

Seuraavaksi on vielä lyhyt kuvaus itse prosessista. Prosessi lähti liikkeelle kohteen tilan tarpeesta ja sen perusteella valituista mitoista. Kohde toimii siis sekä materiaalin varastona että tuotantotilana. Seuraavaksi prosessissa määritettiin rungon materiaali ja päädyttiin teräsrunko ratkaisuun. Samalla määritettiin myös runkojärjestelmä ja jäykistys, joka meni lähes loppumetreillä uusiksi. Sitten kohteelle määritettiin siihen kohdistuvat kuormitukset, rajatilamitoituksen mukaisesti. Kun kohteen katolle tulevat kuormitukset olivat laskettu, seuraavaksi voitiin mitoittaa kattoristikko Winramin avulla. Winrami osoittautui melko konstikkaaksi ohjelmaksi, joka on melko armaton kokemattomalle käyttäjälle. Kuitenkin mitoitus Winramilla saatiin suoritettua siten, että kattorakenne voitiin todeta kestäväksi ja prosessissa päästiin eteenpäin. Tämän jälkeen alkoi pilareiden kestävyyslaskenta tuulikuormia vastaan. Tässä prosessin vaiheessa meni runsaasti aikaa eurokoodia selaillessa ja erilaisia kertoimia määrittäessä. Tässä vaiheessa prosessia totesin, että mastojäykistys ei ole järkevää kohteessa ja vaihdoin tilalle ristikointiratkaisun. Ristikoinnin myötä prosessiin tuli myös uusia mitoitettavia osia eli tuulikuormia vastaanottavat diagonaalit. Prosessin loppupuolella määritin kohteen palomääräykset ja palosuojauksen mitoituksen. Palosuojauksen määrittäminen oli lumikuorman määrittämisen ohella prosessin suoraviivaisimpia osuuksia. Viimeiseksi valitsin kohteeseen sopivat eristeet ja vaipansulkevanrakenteen aluksi tehtyjen päätösten pohjalta. Alusta asti oli selvää, että ulkoseinärakenne koostuisi Paroc-elementeistä ja vesikatto poimulevypeltiratkaisusta.

Opinnäytetyön prosessi oli kaiken kaikkiaan yllättävän haastava. Vaikka kyseessä oli melko pieni kohde, oli siinä silti paljon mitoitettavia ja suunniteltavia osia joiden täytyy myös toimia toistensa kanssa. Juuri viimeksi mainittu loi haastetta, koska lähes sananmukaisesti kaikki vaikuttaa kaikkeen. Jos jokin asia tai osa muuttuu, se vaikuttaa myös kaikkeen muuhun. Tämä ilmiö konkretisoitui parhaiten, kun järkisyistä päätin vaihtaa rakennuksen rungon jäykistystavan mastopilareista ristikointimenetelmään.

Haastavuutta toi myös se, että opinnäytetyössä suunnittelin ja mitoitin kohteen ensimmäistä kertaa lähes alusta loppuun perustukset pois lukien. Prosessin edetessä ymmärsin aikaisemmin vieraiden termien merkityksen, jotka aiemmin olivat olleet vain valmiita lukuja harjoitustehtävissä. Ehkä eniten uutta ymmärrystä tuli kuormien määrityksen suhteen eri rajatiloissa, varsinkin tuulikuormien määrityksessä. Myös rakenteen jäykistykseen ja siihen liittyvään teoriaan tuli selkeyttä. Kuitenkin lähes jokaisella teorian osa-alueella ja mitoituksen osa-alueella tuli jotain uutta, mitä en aikaisemmin osannut huomioida.

Loppuyhteenvedon voidaan todeta, että prosessin yllätykselliset haasteet avasivat hyvin silmiä siihen millaista suunnittelu oikeasti on. Suunnittelussa täytyy osata ottaa huomioon monia seikkoja, yhtenä niistä asiakkaan mielipiteet ja vaatimukset. Sain työn prosessista ymmärrystä siihen että ei ole olemassa niin pientä suunnittelukohdetta ettei siihen liittyisi jotain pulmia tai ongelmia. Lisäksi olen sitä mieltä, että ammattikorkeakoulussa rakennustekniikan koulutusohjelmassa voisi viimeisenä vuotena olla erillinen opintojakso, jossa jokainen suunnittelisi oman kohteen täysin alusta lähtien, koska itse opin tästä prosessista hyvin paljon.

LÄHTEET

Lauronen, K. 2011. Hallituksen puheenjohtaja, Kosken Levytyö Oy.
Keskustelut maaliskuussa 2011.

Paroc Oy. 2010. Tuoteominaisuudet: Paroc-elementit.
http://www.paroc.com/SPPS/Finland/PS_attachments/ProductProperties_FI_ParocPanels.pdf

RakMK E1. 2011. Rakennusten paloturvallisuus määräykset ja ohjeet.
Suomenrakentamismääräyskokoelman osa E1. Ympäristöministeriö. Viitattu
14.5.2011. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=321569&lan=fi>.

RakMK E2. 2005. Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus ohjeet.
Suomenrakentamismääräyskokoelman osa E2. Ympäristöministeriö. Viitattu
14.5.2011. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=321569&lan=fi>.

Rakentajain kalenteri 2001. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.

RIL 201-1-2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki:
Suomen rakennusinsinöörien liitto.

SFS EN1993-1-1. 2005. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-1:
yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen
Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS EN1993-1-2. 2006. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-2:
Rakenteen palomitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS EN1993-1-8. 2006. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-8:
Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Teräsrakenneyhdistys ry. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus,
Eurocode 3 –oppikirja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.

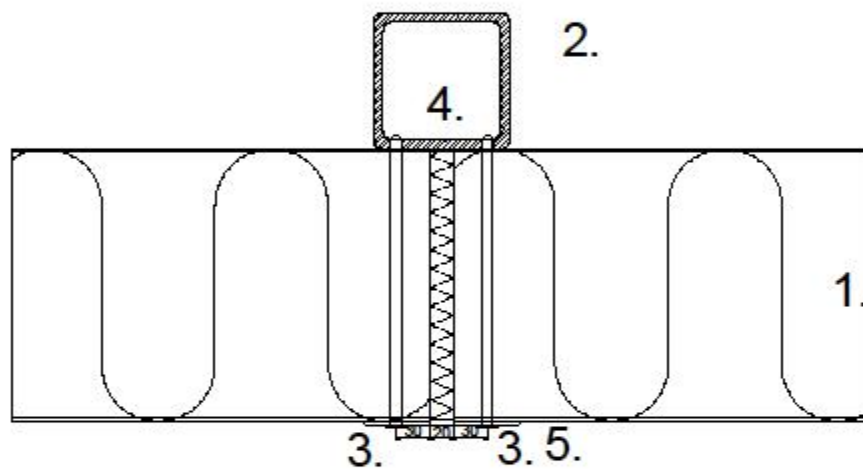
Weckman Steel Oy. 2010. Kantavuustaulukot: Kantavat poimulevyt.
http://www.weckmansteel.fi/easydata/customers/weckmansteel/files/ladattavat_tiedostot/kantavuustaulukot/kantavuustaulukot_ec3_2010.pdf

LIITTEET

Liite 1. Paroc-elementin kiinnitysdetalji

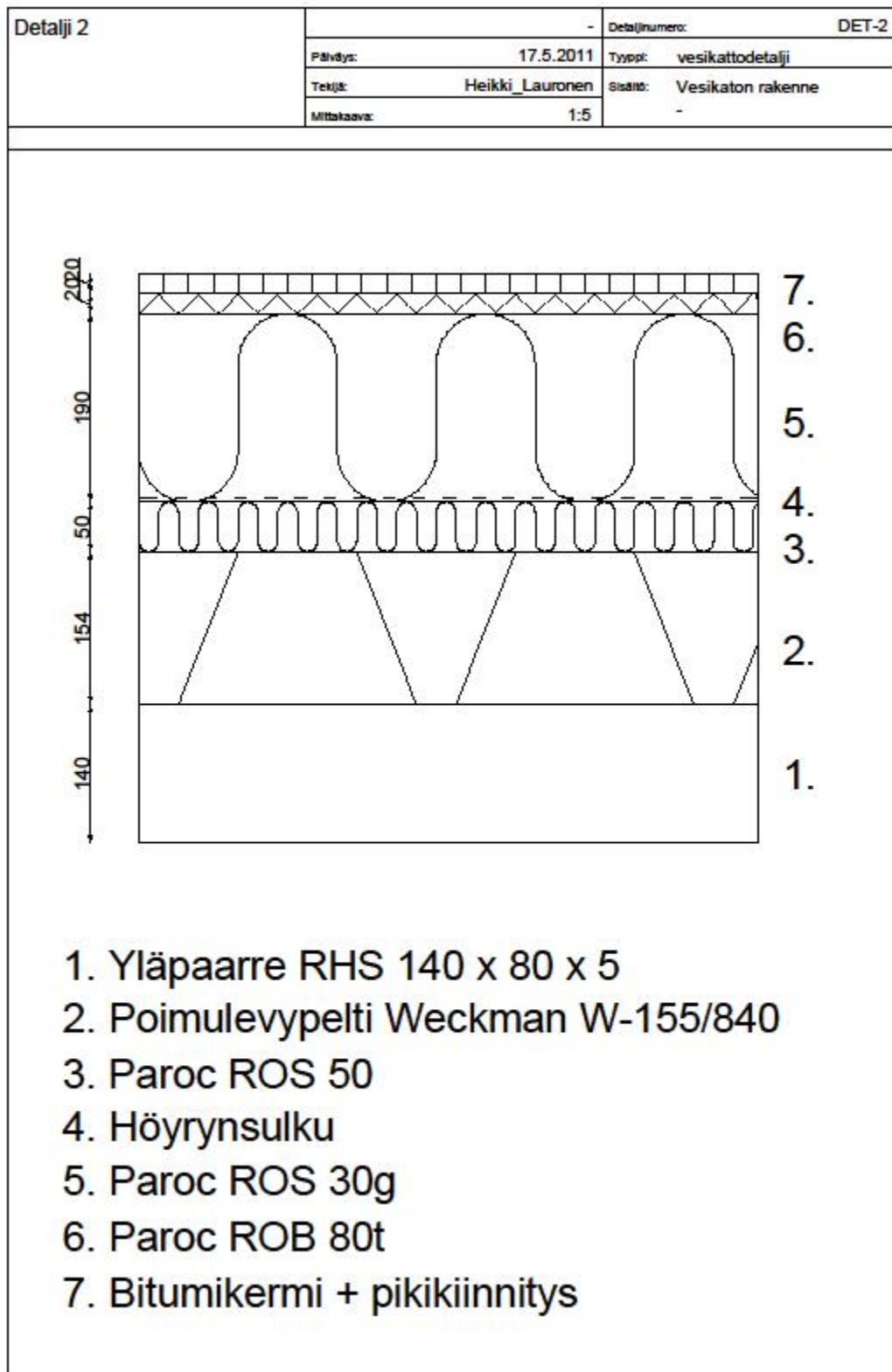
Detalji 1	-	Detaljinumero:	DET-1
	Päiväys:	17.5.2011	Tyyppi: Ulkoseinädetalji
	Tekijä:	Heikki_Lauronen	Sisältö: Kiinnitys teräsrunkoon
	Mittakaava:	1:5	-

Paroc-elementin kiinnitys



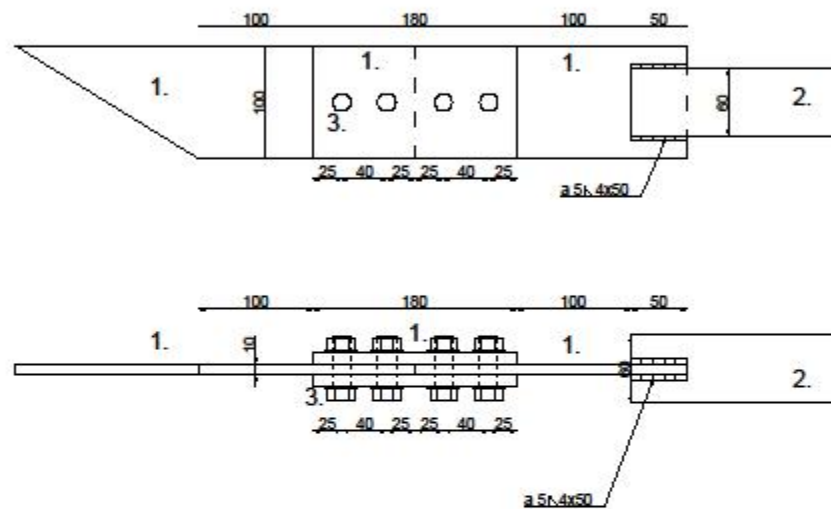
1. Paroc Line 600: AST-T240
2. RHS 120 x 120 x 8
3. Parocin kiinnike SL240
4. Rive-eriste + tiivistees
5. Saumapelti

Liite 2. Kattorakenteen detalji



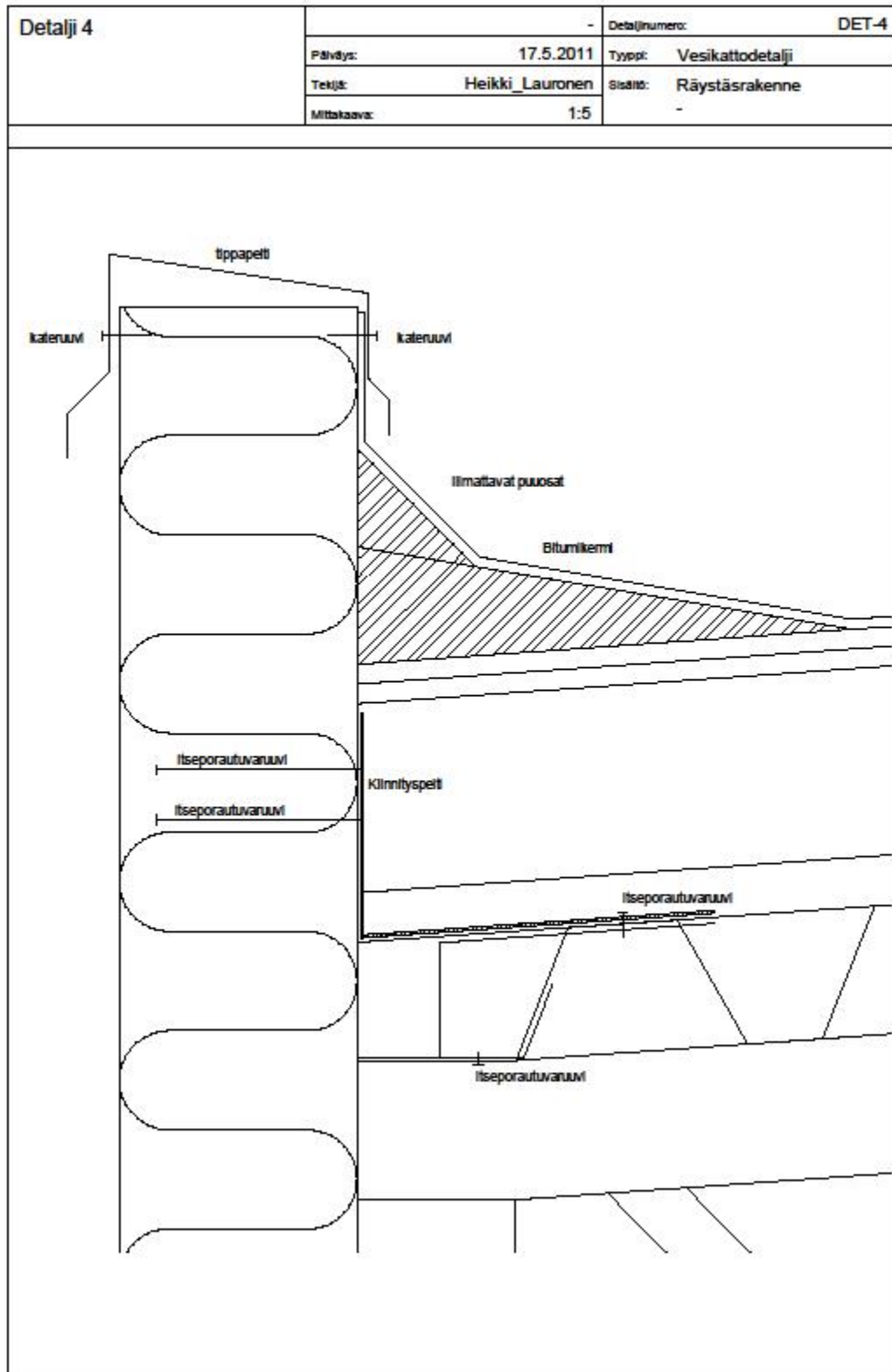
Liite 3. Diagonaalien liitosdetalji

Detalji 3	-	Detaljinumero:	DET-3
	Päiväys:	17.5.2011	Tyyppi: jäykistysdetalji
	Tekijä:	Heikki_Lauronen	Sisältö: Diagonaalin liitokset
	Mittakaava:	1:5	-



1. Laattateräs 100x10 S355
2. Diagonaali 60x60x5
3. Pultti M16 8.8 4kpl + pultteihin käyvät mutterit 4kpl ja aluslevyt 8kpl

Liite 4. Rästäsdetalji



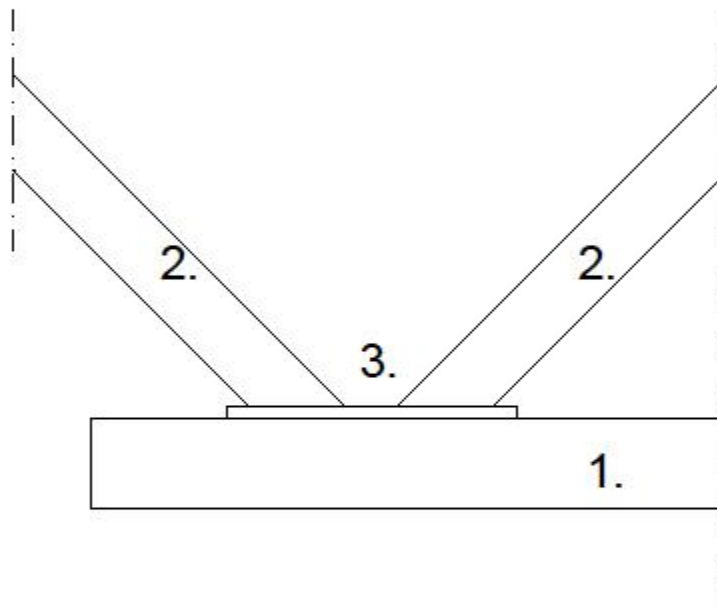
Liite 5. Ristikon liitosdetalji pilariin

Detalji 5	-	Detaljinumero:	DET-5
	Päiväys:	17.5.2011	Tyyppi: Kattoristikodetalji
	Tekijä:	Heikki Lauronen	Sisältö: Ristikon kiinnityspeiraate
	Mittakaava:	1:5	-

1. Yläpaarre RHS 140 x 80 x 5
 2. Diagonaali 60x60x3
 3. Pilari 120x120x8
 4. Laattateräs, esim. 120x260x10 2kpl
 5. Pulttiliitos, esim M24 8.8 2kpl


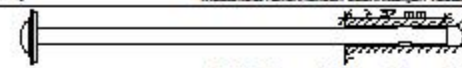
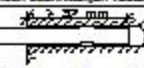
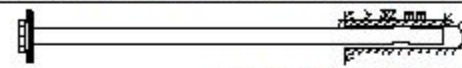
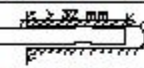
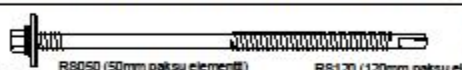
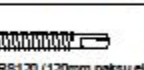
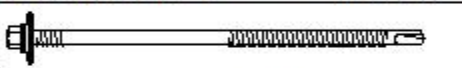
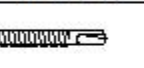


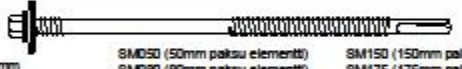
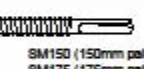
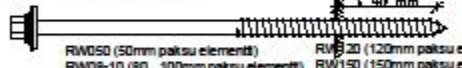
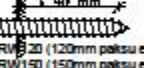
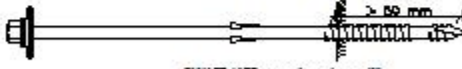
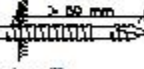

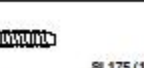
Liite 6. Ristikon uloimman diagonaalin kiinnitys

Detalji 6	-	Detaljinumero:	DET-6
	Päiväys:	17.5.2011	Tyyppi: Kattoristikodetalji
	Tekijä:	Heikki Lauronen	Sisältö: Ristikon uloimman diagonaalin kiinnitys
	Mittakaava:	1:5	



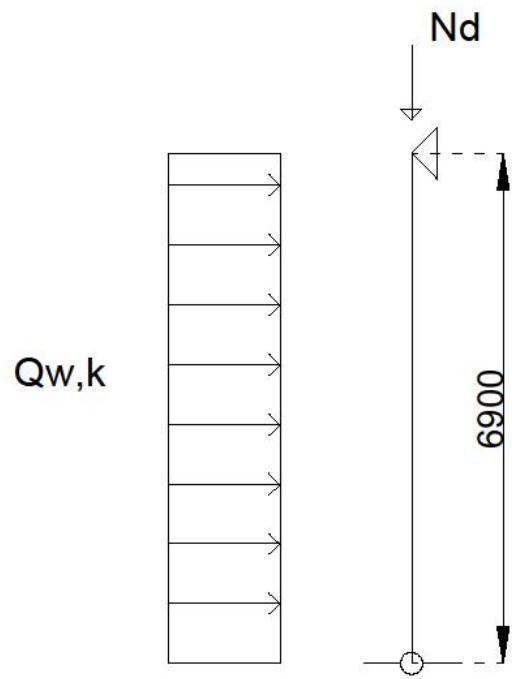
1. Alapäärre RHS 80 x 80 x 3
2. Diagonaali 60x60x3
3. Winramin mitoittama laattateräs

Liite 7. Paroc-elementtien kiinnikeluettelo

		Paroc Panel System:	Original	Detailinumero:	OR-PF1F
		Päiväys:	Elokuu2006	Tyyppi:	Elementtikiinnike
		Tekijä:	KjN	Sisältö:	Elementtikiinnikkeet, eri tyytit
		Mittakaava:	1:5		
Vakioperaatiedot)	Muutokset rakennuksen suunnittelijan vastuulla			Copyright by Paroc Panel System Oy AB	
RC  <p>Betonirunko Spike-betonikiinnike Ruostumatonta terästä Tiivistävä aluslevy ruostumatonta terästä 19 mm ¹⁾</p>		RC050 (50mm paksu elementti) RC080 (80mm paksu elementti) RC100 (100mm paksu elementti) RC120 (120mm paksu elementti)	RC150 (150mm paksu elementti) RC175 (175mm paksu elementti) RC200 (200mm paksu elementti) RC240 (240mm paksu elementti)		
SC  <p>Betonirunko Spike-betonikiinnike Keraamisesti pinnoitettu hiilleristä Tiivistävä aluslevy ruostumatonta terästä 19 mm ¹⁾</p>		SC050 (50mm paksu elementti) SC080 (80mm paksu elementti) SC100 (100mm paksu elementti) SC120 (120mm paksu elementti)	SC150 (150mm paksu elementti) SC175 (175mm paksu elementti) SC200 (200mm paksu elementti) SC240 (240mm paksu elementti)		
RS  <p>Teräsrunko 1.5 - 3 mm Poraava ruuvi, kierreltävää Ruostumatonta terästä Tiivistävä aluslevy ruostumatonta terästä 19 mm ¹⁾</p>		RS050 (50mm paksu elementti) RS080 (80mm paksu elementti) RS100 (100mm paksu elementti) RS10-12 (100...120mm paksu elementti) ¹⁾	RS120 (120mm paksu elementti) RS150 (150mm paksu elementti) RS175 (175mm paksu elementti) RS17-20 (175...200mm paksu elementti) ²⁾	RS200 (200mm paksu elementti) RS240 (240mm paksu elementti) ²⁾	
SS  <p>Teräsrunko 1.5 - 3 mm Poraava ruuvi Keraamisesti pinnoitettu hiilleristä Tiivistävä aluslevy ruostumatonta terästä 19 mm ¹⁾</p>		SS100 (100mm paksu elementti)			
RM  <p>Teräsrunko 3 - 12 mm Poraava ruuvi, kierreltävää Ruostumatonta terästä Tiivistävä aluslevy ruostumatonta terästä 19 mm ¹⁾</p>		RM050 (50mm paksu elementti) RM080 (80mm paksu elementti) RM100 (100mm paksu elementti) RM120 (120mm paksu elementti) ¹⁾	RM150 (150mm paksu elementti) RM175 (175mm paksu elementti) RM17-20 (175...200mm paksu elementti) RM200 (200mm paksu elementti) ²⁾	RM240 (240mm paksu elementti) ²⁾	
SM  <p>Teräsrunko 3 - 12 mm Poraava ruuvi Keraamisesti pinnoitettu hiilleristä Tiivistävä aluslevy ruostumatonta terästä 19 mm ¹⁾</p>		SM050 (50mm paksu elementti) SM080 (80mm paksu elementti) SM100 (100mm paksu elementti) SM12-15 (120...150mm paksu elementti) ¹⁾	SM150 (150mm paksu elementti) SM175 (175mm paksu elementti) SM200 (200mm paksu elementti)		
RW  <p>Puurunko Poraava ruuvi Ruostumatonta terästä Tiivistävä aluslevy ruostumatonta terästä 19 mm ¹⁾</p>		RW050 (50mm paksu elementti) RW08-10 (80...100mm paksu elementti) RW80 (80mm paksu elementti) RW100 (100mm paksu elementti) ¹⁾	RW120 (120mm paksu elementti) RW150 (150mm paksu elementti) RW175 (175mm paksu elementti) RW17-20 (175...200mm paksu elementti)	RW200 (200mm paksu elementti) RW240 (240mm paksu elementti)	
SW  <p>Puurunko Poraava ruuvi Keraamisesti pinnoitettu hiilleristä Tiivistävä aluslevy ruostumatonta terästä 19 mm ¹⁾</p>		SW150 (150mm paksu elementti) SW175 (175mm paksu elementti)			
SL  <p>Teräsrunko Kierreltävää ruuvi Ruostumatonta terästä Tiivistävä aluslevy ruostumatonta terästä 19 mm ¹⁾</p>		SL050 (50mm paksu elementti) SL080 (80mm paksu elementti) SL100 (100mm paksu elementti) SL12-15 (120...150mm paksu elementti) ¹⁾	SL175 (175mm paksu elementti) SL17-20 (175...200mm paksu elementti) SL200 (200mm paksu elementti) SL240 (240mm paksu elementti)		

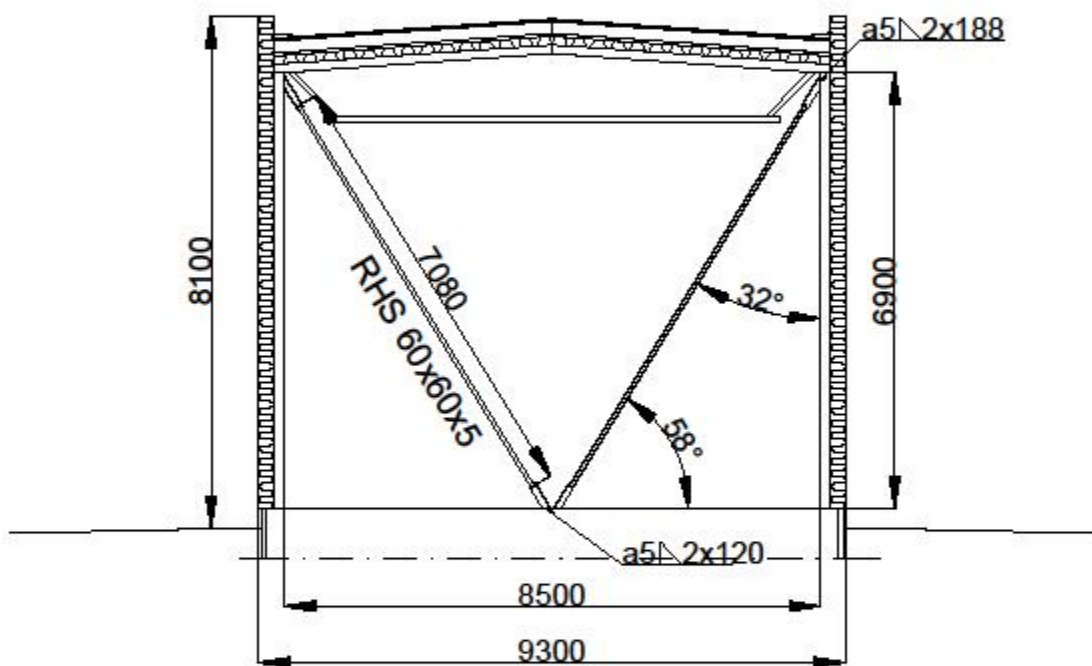
Tämä ohje on tarkoitettu kiinnittämään ja asennamaan erilliset Paroc-elementit laatoille.
Ennen kuin lähtyä asentamaan, tarkista, että kaikki vaadittavat edellytykset täyttyvät.

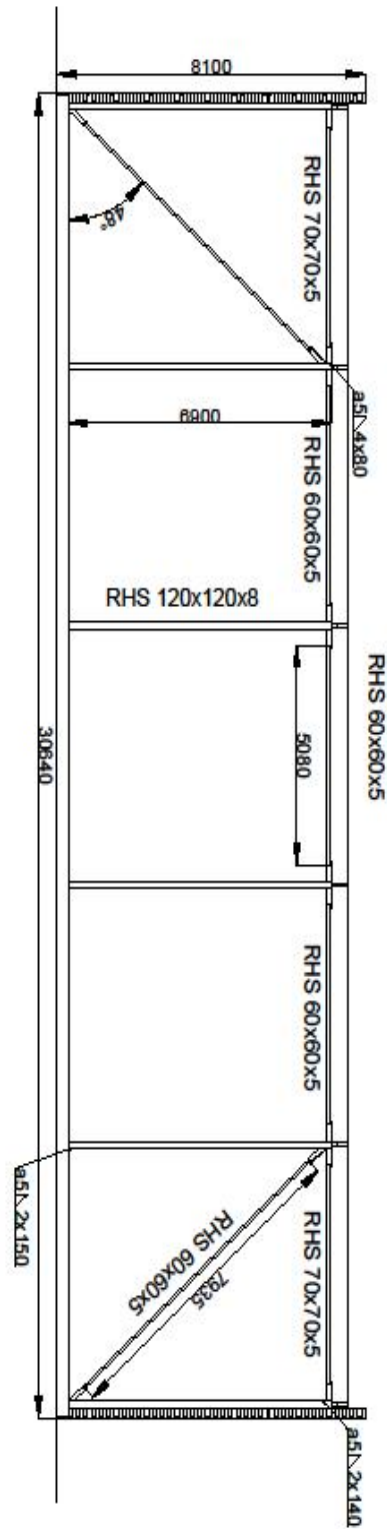
¹⁾ Myöskin aluslevy $d = 29$ mm on mahdollista saada

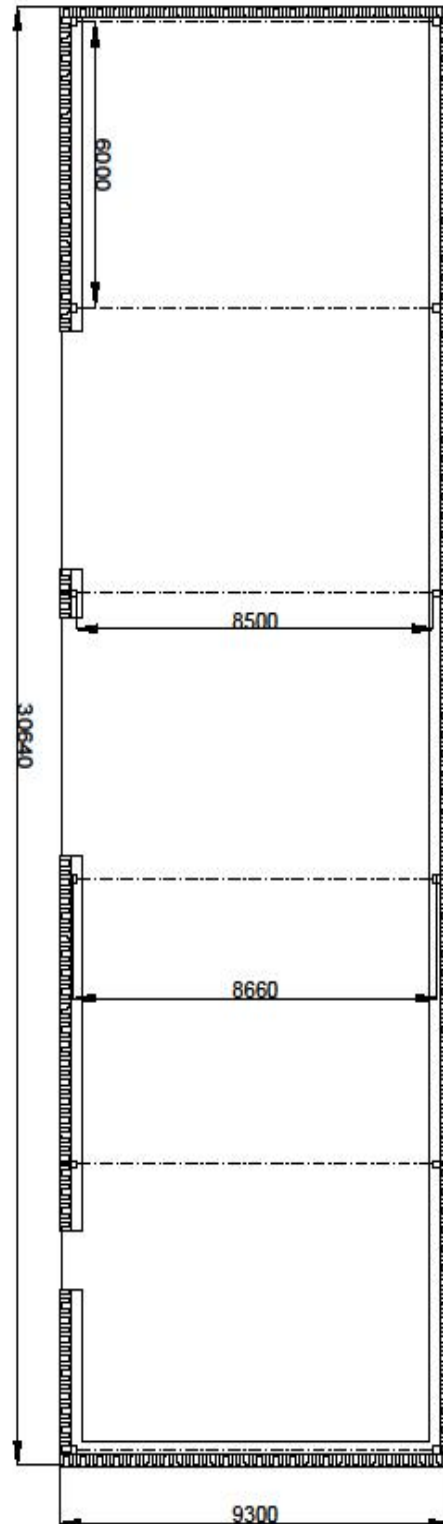
Liite 8. Pilarin staattinen malli

Liite 9. Päädyn rakenneleikkaus

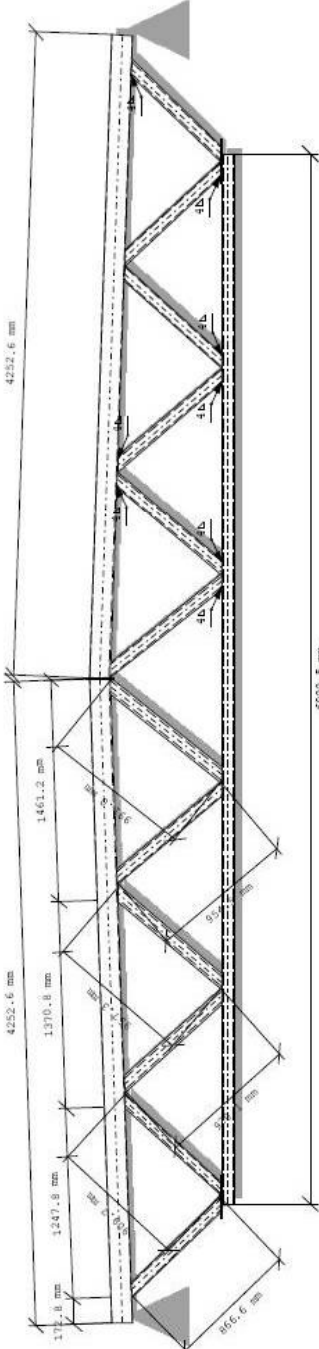
Rakenneleikkaus päädyistä, jossa esitetty myös jäykistävät rakenteet



Liite 10. Pitkänsivun rakenneleikkaus

Liite 11. Tasoleikkaus

Liite 12. Kattoristikko

<p>KOHDE » PROJEKTI/TYÖ » VAIHE » TUNNUS » PÄIVÄYS »</p>		<p>Sivu 1</p> <p>TRY/WINRAMI v.3.12 Licensed to JYVÄSKYLÄN AMK</p> <p>23.05.11</p>
--	---	---

Liite 13. Kattorakenteen jäykistys