



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MAATALOUDEN VARASTORAKENNUKSEN SUUNNITTELU

TEKIJÄ: Eero Kervola

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Eero Kervola	
Työn nimi Maatalouden varastorakennuksen suunnittelu	
Päiväys	12.4.2017
Sivumäärä/Liitteet	35/5
Ohjaaja(t) Matti Mikkonen, lehtori ja Arto Puurula, rakennetekniikan yliopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Harri Laitinen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella maatalouden varastorakennus. Suunnitteluun kuului rakennussuunnittelu sekä rakennesuunnittelu.</p> <p>Rakennussuunnitteluun kuului rakennuspiirustusten laatiminen tilaajan antamien lähtötietojen perusteella. Rakennesuunnitteluun kuului tuulikuormien laskenta Eurokoodin mukaisesti vertaillen kahta eri menetelmää. Rakennuksen jäykistyksen suunnitteluun kuului mastopilarikehä rakenteen suunnittelu sekä puurakenteisen rankaseinän suunnittelu. NR-rakenteisen yläpohjan jäykistys suunniteltiin vertaillen paikallarakennettuja vinojäykisteitä sekä tehdasvalmisteisia NR-jäykisteristikkoita ja NR-pukkeja. Rakenteet suunniteltiin käyttäen suunnittelustandardina Eurokoodia. Suunnitteluun kuului puu-, betoni- ja teräsrakenteiden suunnittelua. Mastopilarikehä rakenne suunniteltiin hyödyntäen statiikkaohjelmaa ja taulukkolaskentaohjelmaa sekä käsinlaskien. Pilarin liitos anturaan mitoitettiin käyttäen Peikko Groupin <i>Peikko Designer</i>[®]-mitoitushjelmaa. Rakennuksen jäykistys laskettiin käyttäen taulukkolaskentaohjelmaa. Piirustukset tuotettiin <i>AutoCAD</i>-suunnitteluohjelmalla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin rakenteiden mitoituslaskelmat, joiden perusteella tuotettiin rakennus- ja rakennesuunnitelmat. Rakenteille saatiin myös vaihtoehtoisia toteutustapoja, joista voidaan valita kohteeseen parhaiten soveltuvat ratkaisut.</p>	
Avainsanat tuulikuormat, jäykistys, mastopilarikehä, NR-ristikko	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Eero Kervola			
Title of Thesis Designing an Agricultural Storage Building			
Date	April 12, 2017	Pages/Appendices	35/5
Supervisor(s) Mr Matti Mikkonen, Senior Lecturer and Mr Arto Puurula, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Mr Harri Laitinen			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final project was to design an agricultural storage building. The designing included architectural and structural planning.</p> <p>The architectural designing was based on the initial information given by the client. Wind loads were calculated by comparing two different methods. Designing the bracing contained the designing of a beam and column structure. Also a timber-framed wall was calculated to act as bracing structure. Bracing of the truss-made roof was designed by comparing diagonal bracings build on site and factory-made bracings. The structures were designed using the Eurocode. The project included designing wooden, concrete and steel structures. The beam and column structure was designed using statics software, spreadsheet software and by calculating manually. The joint of column and footing was calculated using Peikko Group's <i>Peikko Designer</i>[®] -software. The bracing calculations were made by spreadsheet software. Drawings were made using <i>AutoCAD</i> -software.</p> <p>As a result of the project, the structural calculations of the structures were made. Based on these calculations, the architectural and structural plans were made. Also alternative structural solutions were found. The most suitable alternatives can be chosen before making final plans.</p>			
<p>Keywords wind loads, bracing, beam and column structure, trusses</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	VARASTORAKENNUKSEN LÄHTÖTIEDOT	6
2.1	Lähtökohtaiset mitat	6
2.2	Luonnokset.....	6
3	TUULIKUORMAT	8
3.1	Kokonaistuulikuormat voimakerroinmenetelmällä	8
3.2	Osapintojen tuulikuormat painekertoimien avulla	9
4	RUNGON JÄYKISTYS.....	12
4.1	Mastopilarikehä.....	12
4.1.1	Mastopilarikehän kuormat ja siirtymä	12
4.1.2	Pilarin mitoitus	14
4.1.3	Anturan mitoitus	15
4.1.4	Palkin mitoitus	16
4.1.5	Tukipinnan levitys teräslevyllä.....	17
4.1.6	Pilarin ja palkin välinen liitos	17
4.1.7	Pilarin liitos anturaan.....	20
4.2	Takaseinän vinolaudoitus	27
4.3	Väli- ja päätyseinien vinolaudoitus	27
5	YLÄPOHJAN JÄYKISTYS	28
5.1	Kuormien laskenta	28
5.2	Jäykistys paikallarakennettavin vinositein	28
5.3	Jäykistys NR-jäykisteristikoilla	30
6	YHTEENVETO.....	33
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	34
	LIITE 1: ANTURAN MITOITUSLASKELMA	
	LIITE 2: LIIMAPUUPALKIN MITOITUSLASKELMA	
	LIITE 3: RANKASEINIEN JÄYKISTYSLASKELMAT	
	LIITE 4: NR-RISTIKKOYLÄPOHJAN JÄYKISTYS VINOSITEIN	
	LIITE 5: NR-RISTIKKOYLÄPOHJAN JÄYKISTYS NR-RAKENTEIN	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella Siilinjärvellä sijaitsevalle Laitilan maatilalle varastorakennus, jossa voidaan säilyttää lannoitteita suursäkeissä sekä maatilalla käytettäviä työkoneita. Varasto suunnitellaan lämmöneristämättömäksi ja se on tarkoitus rakentaa lähivuosina. Opinnäytetyön tilaajana on Harri Laitinen.

Suunnitteluun kuuluu rakennuksen alustavien rakennuspiirustusten laatiminen sekä rakennesuunnittelu. Rakennussuunnitelmat tehdään tilaajan antamien lähtötietojen perusteella. Rakennesuunnitteluun kuuluu tuulikuormien laskenta, kantavien rakenteiden mitoitus ja kokonaisjäykistyksen suunnittelu. Rakenteet suunnitellaan käyttäen suunnittelustandardina Eurokoodia.

Tuulikuormat lasketaan sekä voimakerroinmenetelmällä että painekertoimien avulla. Rungon jäykistys toteutetaan mastopilarikehällä ja rankaseinän vinolaudoituksella. Mastopilarikehään kuuluu teräspilarit, liimapuupalkit ja teräsbetonianturat. Mastopilarikehän rakenteet liitoksineen suunnitellaan. Pilarin ja anturan välisen liitoksen suunnittelussa vertaillaan kahta eri liitosratkaisua. Yläpohjan jäykistystapoja vertaillaan paikallatehtävien vinositeiden sekä NR-jäykisteristikoiden ja NR-pukkien välillä.

Työn tuloksena saadaan tilaajalle rakennuspiirustukset ja rakennesuunnitelmat rakennushankkeen aloittamista varten. Rakenteille tutkitaan myös vaihtoehtoisia toteutustapoja, joista voidaan valita kyseiseen kohteeseen parhaiten soveltuvat rakenteet.

2 VARASTORAKENNUKSEN LÄHTÖTIEDOT

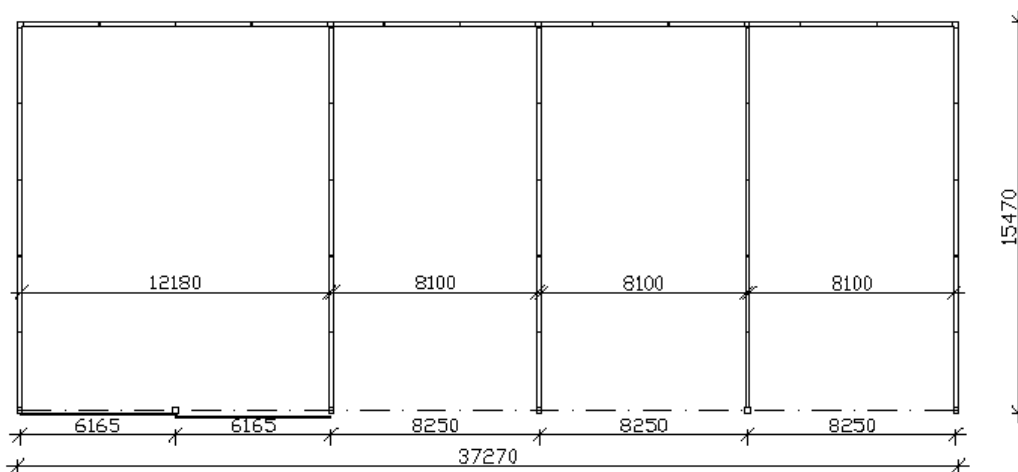
Varaston kantaviksi rakenteiksi valittiin tilaajan kanssa laakasiiloelementit, joiden päälle rakennetaan puurakenteinen rankarunko. Vesikatto tehdään naulalevyristikkorakenteisena harjakattona ja katemateriaaliksi tulee profiilipelti. Lämmöneristämättömän varaston seinärakenne on seuraava: pystyrungon ulkopuolelle asennetaan jäykistävä vinolaudoitus, johon kiinnitetään vaakapanelointi. Siilon lattiaksi valetaan teräsbetonilaatta. Rakennuksen pidempi sivu jää avoimeksi, koska siiloihin pitää pystyä ajamaan työkoneilla. Tästä seuraa, että pidemmälle sivulle on suunniteltava pilari-palkkirakenne. Pilari on tarkoitus tehdä teräsrakenteisena ja palkki liimapuorakenteisena. Anturat tehdään paikallavalettuina teräsbetonianturoina.

2.1 Lähtökohtaiset mitat

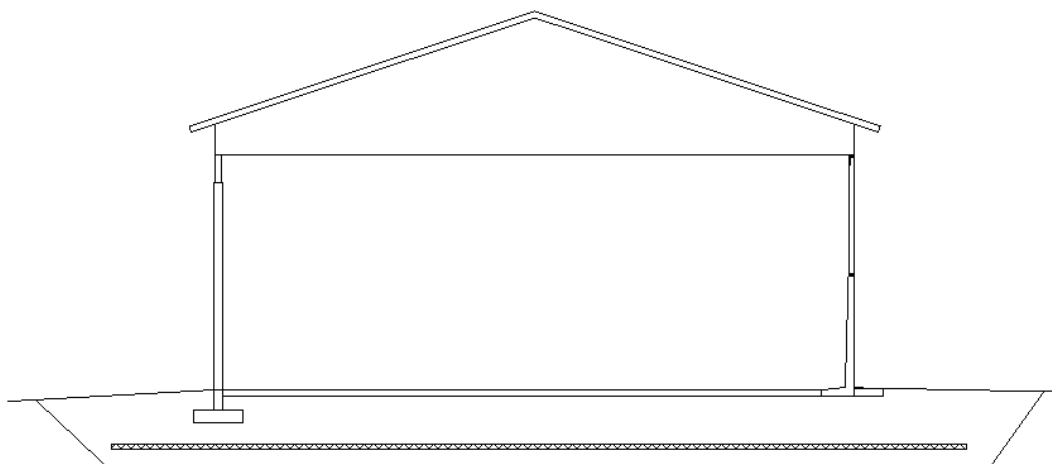
Tilaaaja antoi suunnittelun lähtötiedoiksi rakennuksen mittoja. Syvyyttä rakennuksella tulisi olla 12 - 15 m. Ovikorkeuden on oltava 4 - 5 m, jotta traktori etukuormaajineen sopii kulkemaan oviaukosta. Siilojen leveydeksi valittiin noin 8 m. Laakasiiloelementtien korkeudeksi valittiin 2 900 mm. Rakennuksen pituudeksi muodostui 37,27 m, jolloin saadaan kolme 8,1 m leveää siiloa ja 12,18 m leveä tila työkoneiden säilytystä varten.

2.2 Luonnokset

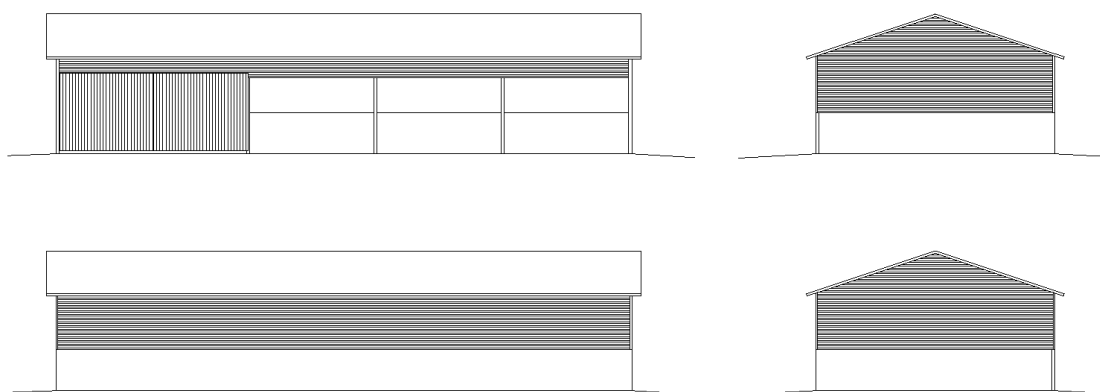
Puufinon teknisessä tiedotteessa (Kotieläinrakennusten runkomalleja 2012) mainitaan, että traktori peräkärriineen ja etukuormaajineen tarvitsee 15 m vapaan tilan pituussuunnassa. Ovikorkeuden minimimita on 4 m ja ovileveyden 4,5 m. Ovikorkeudeksi valittiin 5 000 mm, jolloin vapaa huonekorkeus on aukonylityspalkin korkeuden verran korkeampi. Seuraavaksi tuotettiin alustavat rakennuksen pääpiirustukset. Varastosta piirrettiin pohjapiirustus, leikkauspiirustus ja julkisivupiirustukset. Kyseiset piirustukset on esitetty kuvissa 1, 2 ja 3.



KUVA 1. Rakennuksen pohjapiirustus (Kervola 2017-02-01)



KUVA 2. Rakennuksen leikkauspiirustus (Kervola 2017-02-01)



KUVA 3. Julkisivupiirustukset (Kervola 2017-02-01)

3 TUULIKUORMAT

Tuulikuormat määritetään joko rakenteeseen tai rakenneosaan vaikuttavina laskemalla kuormat voimakertoimia käyttäen tai laskemalla kuormat pintapaineiden perusteella ja painekertoimia käyttämällä (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: RIL-201-1-2011, 135).

3.1 Kokonaistuulikuormat voimakerroinmenetelmällä

Rakennuksen kokonaistuulikuormat määritetään voimakerroinmenetelmällä RIL-201-1-2011 mukaan. Laskennassa käytetään maastoluokkaa II, jolloin nopeuspaineen arvoksi $q_p(z)$ saadaan $0,64 \text{ kN/m}^2$, kun rakennuksen korkeus on $9,3 \text{ m}$. (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: RIL-201-1-2011, 132.)

Kun rakennuksen korkeus on pienempi kuin sen leveys, oletetaan, että tuulenpaineella on kaikissa korkeusasemissa rakennuksen harjalla vallitseva arvo. Rakennuksen kokonaisvoima [kN] voidaan tällöin laskea lausekkeella $F_w = C_s C_d C_f q_p(h) A_{ref}$. (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: RIL-201-1-2011, 136.)

Lähtötiedot

rakennuksen pituus	l	37,3 m	
rakennuksen leveys	b	15,5 m	
rakennuksen korkeus	h	9,3 m	
nopeuspaine	$q_p(z)$	0,64 kN/m^2	
rakennekerroin	$C_s C_d$	1	$h < 15 \text{ m}$

Tuuli kohtisuoraan sivuseinää vastaan

	d	15,5 m	
	b	37,3 m	
tehollinen hoikkuus	λ	0,50	$h < 15 \text{ m}$
sivusuhte	d/b	0,42	
voimakerroin	C_f	1,32	RIL 201-1-2011 taul.5.2S
kokonaistuulikuorman ominaisarvo	$q_{w,k}$	0,84 kN/m^2	

Tuuli kohtisuoraan päätyseinää vastaan

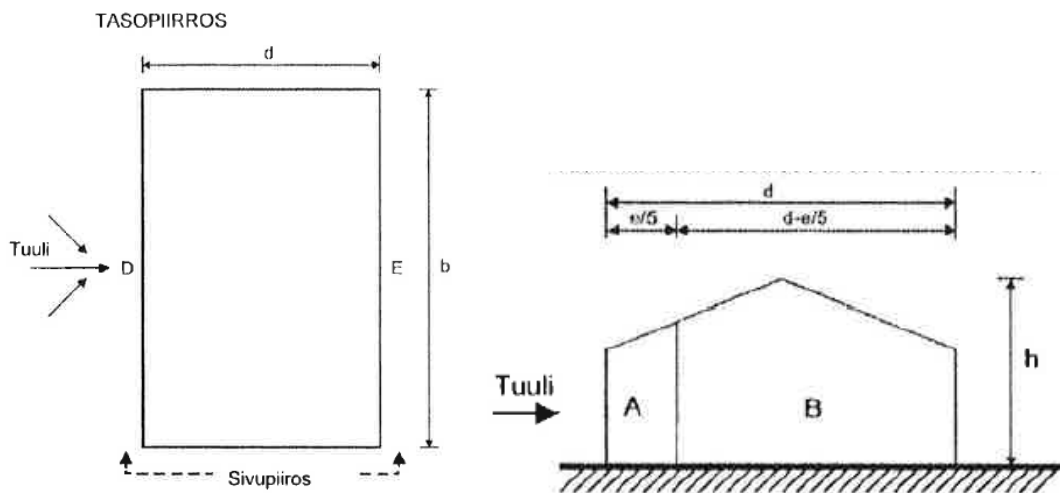
	d	37,3 m	
	b	15,5 m	
tehollinen hoikkuus	λ	1,2	$h < 15 \text{ m}$
sivusuhte	d/b	2,41	
voimakerroin	C_f	0,94	RIL 201-1-2011 taul.5.2S
kokonaistuulikuorman ominaisarvo	$q_{w,k}$	0,60 kN/m^2	

Rakennuksen kokonaistuulikuormaksi sivuseinää vastaan neliökuormana saatiin siis $0,84 \text{ kN/m}^2$ ja päätyseinää vastaan $0,60 \text{ kN/m}^2$.

3.2 Osapintojen tuulikuormat painekertoimien avulla

Rakennuksen osapintojen tuulikuormat määritetään painekertoimien avulla. Laskennassa käytetään maastoluokkaa II. Rakennuksessa on harjakatto, jonka kaltevuus on 1:3. Kaikki osapinnat ovat suurempia kuin 10 m^2 , joten käytetään ulkoisen painekertoimen arvoja $C_{pe,10}$. Koska rakennuksen yksi pidempi sivu on kokonaan avoin, saadaan seiniin kohdistuvien sisäisten paineiden kertoimen C_{pi} arvoksi $+0,68$ tuulen puhaltaessa suoraan avoimesta sivusta sisään. Tuulen puhaltaessa päätyseinää vastaan kohtisuoraan kertoimen C_{pi} arvoksi saadaan $-0,40$. (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: RIL-201-1-2011, 159.)

Tuulen puhaltaessa kohtisuoraan sivuseinää vastaan saadaan vyöhykkeiden määrittämiseen tarvittavan tekijän e arvoksi pienempi arvo luvuista b tai $2h$, kun b on rakennuksen leveys tuulen suunnassa ja h on rakennuksen korkeus (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: RIL-201-1-2011, 146). Tekijän e arvoksi tulee siis $18,6 \text{ m}$. Tekijä e on suurempi kuin rakennuksen syvyys tuulen suunnassa d , joten päätyseinille muodostuu kaksi vyöhykettä, A ja B. Ulkopuolisen paineen kertoimen laske- mista varten tarvittavan tekijän h/d arvoksi saadaan $0,6$. Kuvassa 4 on esitetty seinien vyöhykekaaviot tässä tapauksessa ja taulukossa 1 on laskettu osapintojen tuulikuormien maksimiarvot.



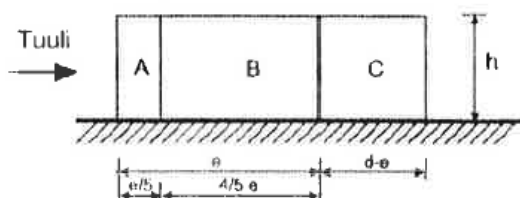
KUVA 4. Seinien vyöhykekaaviot tuulen puhaltaessa sivuseinää vastaan (RIL-201-1-2011)

TAULUKKO 1. Osapintojen tuulikuormien maksimiarvot, kun tuulee kohtisuoraan sivuseinää vastaan (Kervola 2017-02-02).

alue	$C_s C_d$	$C_{pe,10}$	C_{pi}	$q_p(z_e)$ $q_p(z_i)$ kN/m ²	$q_{w,k}$ kN/m ²
A	1	-1,2	0,68	0,64	-0,33
B	1	-0,8	0,68	0,64	-0,08
D	1	0,75	0,68	0,64	0,92
E	1	-0,39	0,68	0,64	0,19
F	1	0,2	0,68	0,64	0,56
G	1	0,2	0,68	0,64	0,56
H	1	0,2	0,68	0,64	0,56
I	1	-0,4	0,68	0,64	0,18
J	1	-1	0,68	0,64	-0,20

Tuulen puhaltaessa kohtisuoraan päätyseinää vastaan saadaan vyöhykkeiden määrittämiseen tarvittavan tekijän e arvoksi pienempi arvo luvuista b tai $2h$, kun b on rakennuksen leveys tuulen suunnassa ja h on rakennuksen korkeus (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: RIL-201-1-2011, 146). Tekijän e arvoksi tulee siis 15,5 m. Tekijä e on pienempi kuin rakennuksen syvyys tuulen suunnassa d , joten sivuseinille muodostuu kolme vyöhykettä, A, B ja C. Ulkopuolisen paineen kertoimen laskemista varten tarvittavan tekijän h/d arvoksi saadaan 0,25. Kuvassa 5 on esitetty seinien vyöhykekaaviot tässä tapauksessa ja taulukossa 2 on laskettu osapintojen tuulikuormien maksimiarvot.

SIVUPIIRROS, kun $e < d$

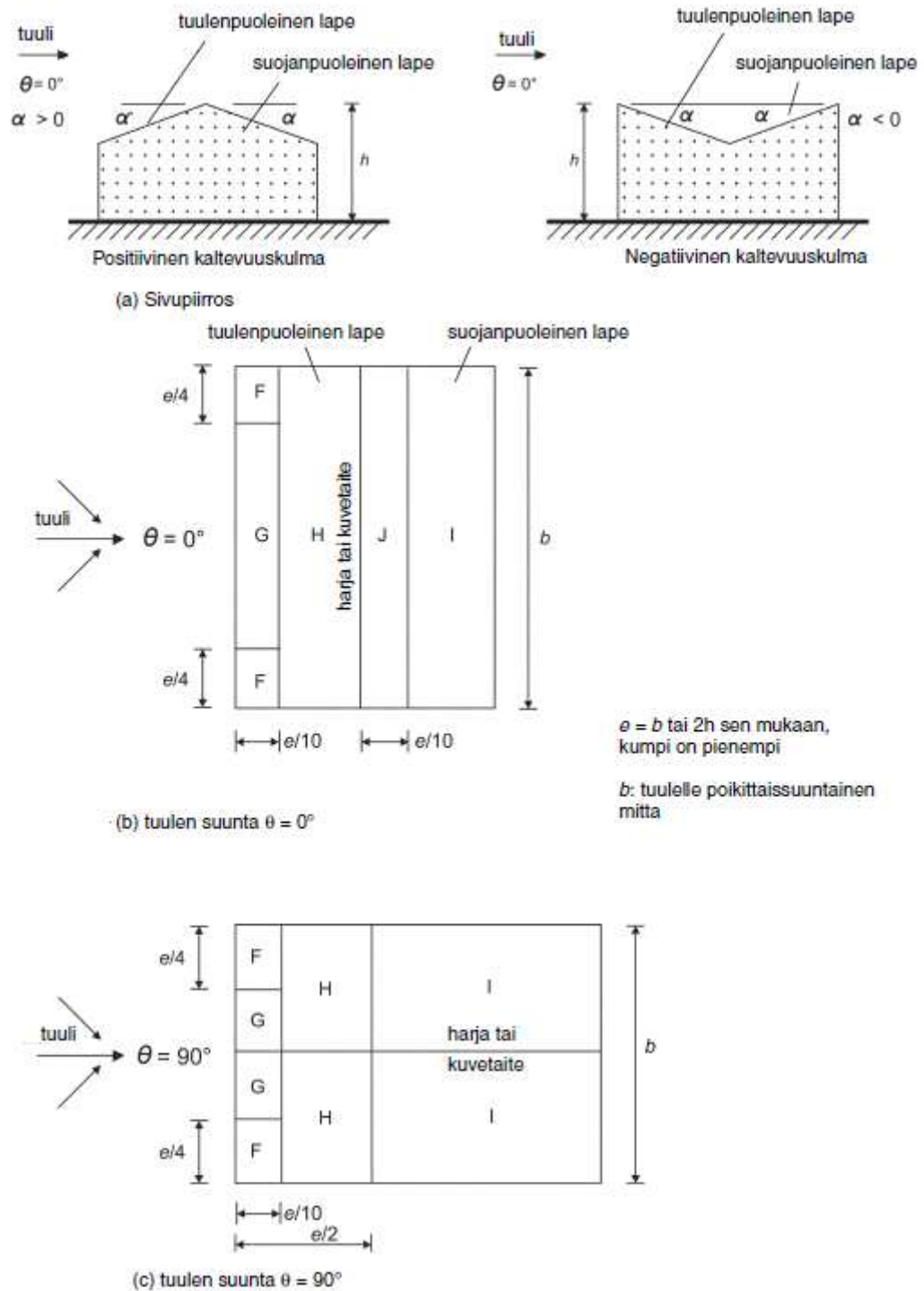


KUVA 5. Sivuseinän vyöhykekaavio tuulen puhaltaessa päätyseinää vastaan (RIL-201-1-2011)

TAULUKKO 2. Osapintojen tuulikuormien maksimiarvot, kun tuulee kohtisuoraan päätyseinää vastaan (Kervola 2017-02-02).

alue	$C_s C_d$	$C_{pe,10}$	C_{pi}	$q_p(z_e)$ $q_p(z_i)$ kN/m ²	$q_{w,k}$ kN/m ²
A	1	-1,2	-0,4	0,64	-1,02
B	1	-0,8	-0,4	0,64	-0,77
C	1	-0,5	-0,4	0,64	-0,58
D	1	0,7	-0,4	0,64	0,19
E	1	-0,3	-0,4	0,64	-0,45
F	1	-1,3	-0,4	0,64	-1,09
G	1	-1,3	-0,4	0,64	-1,09
H	1	-0,6	-0,4	0,64	-0,64
I	1	-0,5	-0,4	0,64	-0,58

Taulukoissa 1 ja 2 laskettujen katon osapintojen vyöhykekaaviot on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Harjakaton vyöhykekaaviot (RIL-201-1-2011)

4 RUNGON JÄYKISTYS

Rakennuksen runko on jäykistettävä pituus- ja leveyssuunnassa. Koska rakennuksen etuseinä on avoin, sen jäykistäminen ei onnistu vinolaudoituksella eikä levyjäykistyksellä. Etuseinän jäykistämiseksi suunnitellaan mastopilarikehä.

4.1 Mastopilarikehä

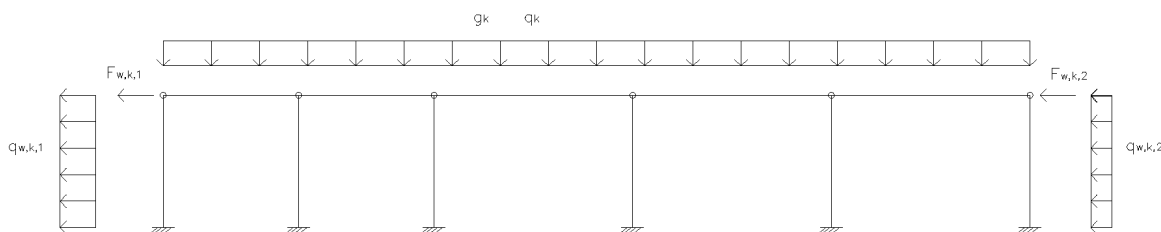
Rakennuksen etuseinä jäykistetään siten, että etuseinällä oleva pilarit toimivat mastopilareina. Tällöin pilareihin tukeutuvat palkit toimivat sekä puristettuina että taivutettuina rakenteina. Pilarin liitos anturaan on jäykkä, mutta pilarin ja palkin liitos on nivelellinen.

4.1.1 Mastopilarikehän kuormat ja siirtymä

Mastopilarikehä laskettiin Virtual Systems Oy:n *Jigi 2015*-statiikkaohjelmalla. Kuormitusyhdistelminä käytettiin

- KY1: $1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (tuuli) + $1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2}$ (lumi)
- KY2: $1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (lumi) ja
- KY3: $1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (lumi) + $1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2}$ (tuuli).

Seuraamusluokka on CC2, jolloin kuormakerroin $K_{FI} = 1,0$ (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: RIL-201-1-2011, 37). Ominaislumikuorma maassa Siilinjärvellä on $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$. Kattokaltevuuden ollessa 1:3, katon muotokertoimeksi saadaan $\mu_1 = 0,8$. Tällöin lumikuorma katolla $s = \mu_1 s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$. (Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat: RIL-201-1-2011, 92 - 95.) Mastopilarikehän staattinen malli on esitetty kuvassa 7.



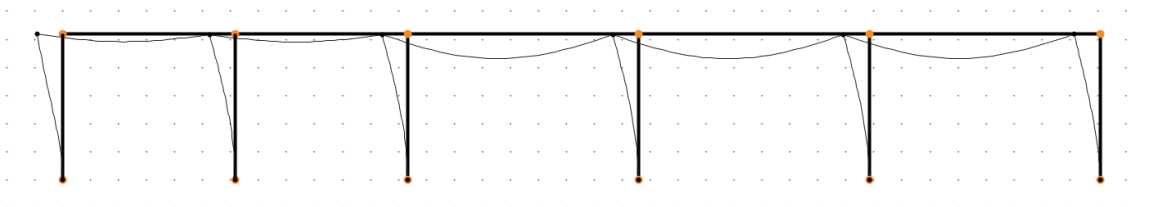
KUVA 7. Mastopilarikehän staattinen malli (Kervola 2017-02-02)

Kuormat statiikkaohjelmaan

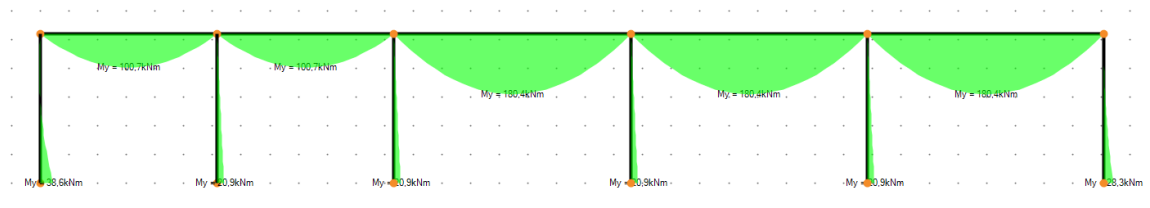
yläpohjan omapaino	g_k	0,3 kN/m^2
lumikuorma katolla	q_k	2 kN/m^2
seinän tuulikuorma painepuolella	$q_{w,k,p}$	0,19 kN/m^2
seinän tuulikuorma imupuolella	$q_{w,k,i}$	0,45 kN/m^2
päädyn tuulikuorman kuormitusleveys	b	7,75 m
päätykolmion kuormitusala	A	10 m^2
tasainen kuorma imupuolella	$q_{w,k,1}$	3,49 kN/m^2
pistekuorma imupuolella	$F_{w,k,1}$	4,50 kN

tasainen kuorma painepuolella	$q_{w,k,2}$	1,47 kN/m ²
pistekuorma painepuolella	$F_{w,k,2}$	1,90 kN
kuormitusleveys palkille	b	8,4 m
tasainen kuorma yläpohjan omapainosta	g_k	2,52 kN/m
tasainen kuorma lumikuormasta	q_k	16,80 kN/m

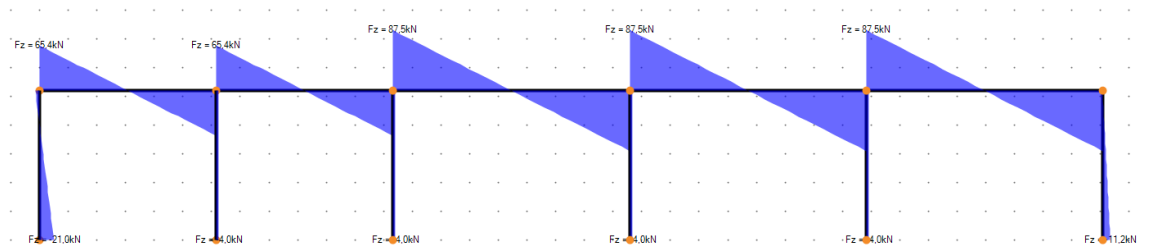
Statiikkaohjelman mastopilarit laskettiin teräsputkipilareina ja palkit liimapuupalkkeina. Ensimmäisenä tutkittiin mastopilarikehän siirtymää. Puurakenteiden suunnitteluohjeen (RIL 205-1-2009, 90) mukaan rakennuksen vaakasiirtymän enimmäisarvo on $H/300$. Pilariksi valittiin putkipoikkileikkaus SHS 200 x 200 x 8 ja palkiksi poikkileikkaus 190 x 675. Teräksen lujuus on S355J2 ja liimapuun lujuus GL30c. Tällöin kehärakenteen maksimisiirtymäksi käyttörajatilassa saatiin 16,8 mm ($H/309$). Kehärakenteen siirtymän malli ja rasituskuviot on esitetty kuvissa 8 - 11.



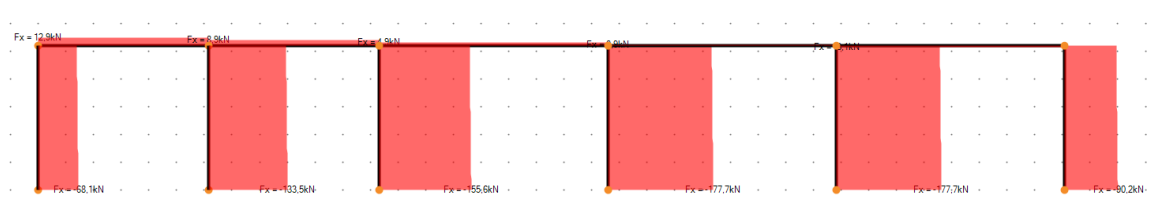
KUVA 8. Mastopilarikehän siirtymän malli (Kervola 2017-02-02)



KUVA 9. Mastopilarikehän momenttikaavio kuormitusyhdistelmässä KY1 (Kervola 2017-02-02)



KUVA 10. Mastopilarikehän leikkausvoimakaavio kuormitusyhdistelmässä KY1 (Kervola 2017-02-02)



KUVA 11. Mastopilarikehän normaalivoimakaavio kuormitusyhdistelmässä KY1 (Kervola 2017-02-02)

4.1.2 Pilarin mitoitus

Tarkastellaan poikkileikkausta 200 x 200 x 8. Teräksen lujuutena käytetään lujuutta S355J2H. Staattikaohjelmasta on saatu pilariin kohdistuvat rasitukset. Mitoitusmomentti $M_{Sd} = 38,6$ kNm ja mitoitusnormaalivoima $N_{Sd} = 240$ kN. Pilarin pituus on 5,2 m. Laskelma on tehty soveltaen oppimateriaalia Teräsrakenteiden suunnittelu, Eurocode. 2002.

Tarkistetaan ensin poikkileikkausluokka.

Uuma (taivutettu ja puristettu):

$$d = 200 \text{ mm} - 3 \cdot 8 \text{ mm} = 176 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{N_{Sd}}{d \cdot t \cdot f_y} = \frac{1}{2} + \frac{240000 \text{ N}}{176 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 355 \text{ N/mm}^2} = 0,980 > 0,5$$

Uuma kuuluu poikkileikkausluokkaan 1, jos

$$\frac{d}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{176 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} < \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,980 - 1}$$

$$22 < 27,32$$

Uuma kuuluu poikkileikkausluokkaan 1.

Laippa (taivutettu poikkileikkaus):

Laippa kuuluu poikkileikkausluokkaan 1, jos

$$\frac{b - 3t}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{200 \text{ mm} - 3 \cdot 8 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} < 33 \cdot 0,81$$

$$22 < 26,73$$

Laippa kuuluu poikkileikkausluokkaan 1.

Mastopilari on mitoittava puristettuna ja taivutettuna rakenteena. Poikkileikkausluokkiin 1 ja 2 kuuluvien sauvojen tulee täyttää ehto

$$\frac{N_{Sd}}{X_{min} A f_d} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{pl,y} f_d} \leq 1$$

$$\text{hoikkuus } \bar{\lambda}_y = \frac{L_{eff}}{i \cdot \pi} \sqrt{\frac{\beta_A f_y}{E}} = \frac{2,2 \cdot 5200 \text{ mm}}{77,6 \text{ mm} \cdot \pi} \sqrt{\frac{1 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{210000 \text{ N/mm}^2}} = 1,929$$

nurjahduskäyrä c

epätarkkuustekijä $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,49(1,929 - 0,2) + 1,929^2 \right] = 2,785$$

$$\text{pienennyskerroin } \chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{2,785 + \sqrt{2,785^2 - 1,929^2}} = 0,209 < 1 \text{ OK}$$

$$M_Q = 3,6 \text{ kNm} + \frac{1114}{5200} \cdot 38,6 \text{ kNm} = 11,87 \text{ kNm}$$

$$\Delta M = 38,6 \text{ kNm} + 3,6 \text{ kNm} = 42,2 \text{ kNm}$$

$$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi = 1,8 - 0,7 \cdot 0 = 1,8$$

$$\beta_{M,Q} = 1,3$$

ekvivalentin tasaisen momentin tekijä

$$\beta_{My} = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}) = 1,8 + \frac{11,87 \text{ kNm}}{42,2 \text{ kNm}} (1,3 - 1,8) = 1,659$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = 1,929 \cdot (2 \cdot 1,659 - 4) + \frac{420860 \text{ mm}^3 - 356630 \text{ mm}^3}{356630 \text{ mm}^3} = -1,135$$

$$< 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_y A f_y} = 1 - \frac{-1,135 \cdot 240000 \text{ N}}{0,209 \cdot 5924 \text{ mm}^2 \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1,620 > 1,5$$

$$k_y = 1,5$$

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

mitoitusehto:

$$\frac{N_{Sd}}{X_{min} A f_d} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{ply} f_d} \leq 1$$

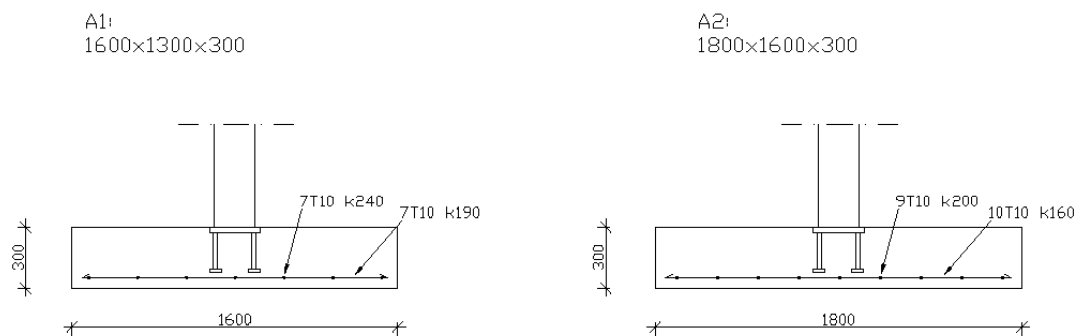
$$\frac{240000 \text{ N}}{0,209 \cdot 5924 \text{ mm}^2 \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} + \frac{1,5 \cdot 38,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{420860 \text{ mm}^3 \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \leq 1$$

$$0,9336 < 1$$

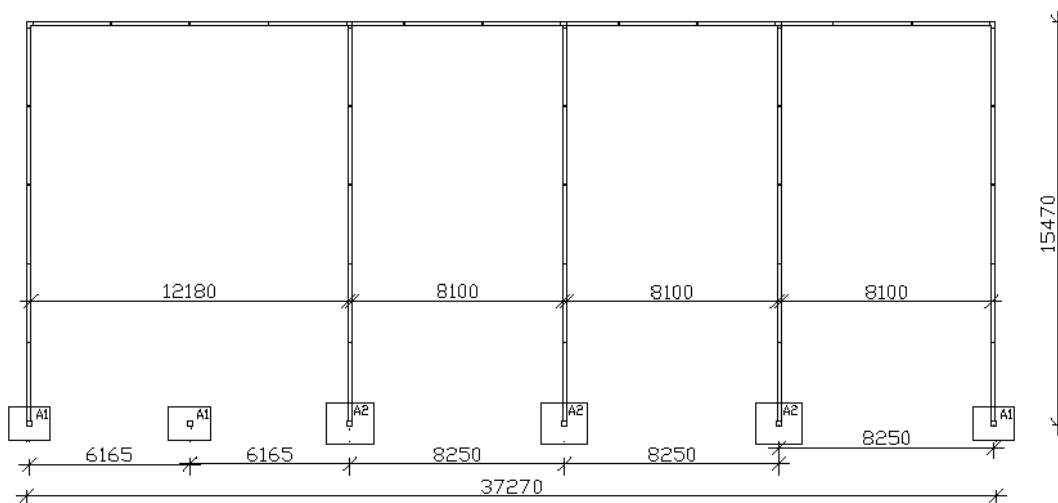
OK, käyttöaste 93,4%

4.1.3 Anturan mitoitus

Pilarianturat mitoitettiin Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – Osa 2 2014 mukaan hyödyntäen *Microsoft Excel*-taulukkolaskentaohjelmaa. Koska pohjatutkimusta ei vielä ole tehty, käytettiin suurimpana pohjapaineen arvona 100 kPa. Pilariantura mitoitettiin epäkeskiselle kuormalle, koska anturaan kohdistuu sekä pystykuormaa että taivutusmomenttia. Anturan raudoitus laskettiin kestäväksi siihen kohdistuva vetojännitys. Raudoituksen ankkurointikestävyys tarkistettiin ja anturalle tehtiin lävistysmitoitus. Raudoituksen ankkurointi mitoitettiin siten, että harjaterästen päitä ei tarvitse taivuttaa. Betonin lujuus on C25/30. Laskennan perusteella saatiin kaksi anturatyyppeä: A1 ja A2. Antura A1 on kooltaan 1 600 x 1 300 x 300 ja ja raudoituksena y-suuntaan 7T10 k190 ja z-suuntaan 7T10 k240. Antura A2 on kooltaan 1 800 x 1 600 x 300 ja raudoituksena y-suuntaan 10T10 k160 ja z-suuntaan 9T10 k200. Suuremmat anturat sijaitsevat silojen väliseinien kohdalla ja muut anturat ovat pienempiä. Anturoiden leikkauspiirustukset on esitetty kuvassa 12 ja anturoiden sijainnit kuvassa 13. Anturan mitoituskalkelma on liitteenä opinnäytetyön lopussa.



KUVA 12. Anturat A1 ja A2 (Kervola 2017-02-19)



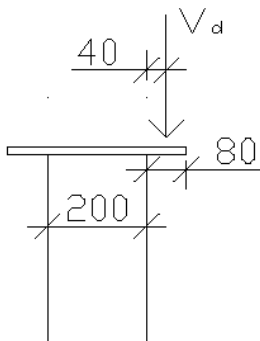
KUVA 13. Anturoiden sijainti (Kervola 2017-02-19)

4.1.4 Palkin mitoitus

Liimapuupalkki mitoitettiin soveltaen Puuinfon sovelluslaskelmia (EC 5 Sovelluslaskelmat, Hallirakennus 2010). Liimapuun lujuutena käytettiin lujuusluokkaa GL30c ja poikkileikkauksena 190 x 675. Palkin maksimitaipumaksi käyttörajatilassa saatiin *Jigi 2015* -statiikkaohjelmalla 16,3 mm (L/506). Puurakenteiden suunnitteluohjeen (RIL 205-1-2009, 90) mukaan pääkannattimen kokonaistaipuman enimmäisarvo on L/300. Palkin mitoitus puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutukselle, leikkausvoimalle sekä tukipaineelle laskettiin hyödyntäen *Microsoft Excel* -taulukkolaskentaohjelmaa. Palkki mitoitettiin kuormitusyhdistelmillä KY1, KY2 ja KY3. Mitoittavaksi tekijäksi havaittiin tukipainekestävyys. Palkin tuen pituuden on oltava vähintään 180 mm, jotta riittävä tukipainekestävyys saavutetaan. Koska pilari on 200 x 200 mm², saa palkki vain 100 mm tukipintaa pilarin päällä. Pilarin kokoa ei haluta kasvattaa teräksen hinnan vuoksi ja arkkitehtonisista syistä, joten pilarin päähän on suunniteltava tukipintaa kasvattava teräslevy. Palkin mitoituslaskelma on liitteenä opinnäytetyön lopussa.

4.1.5 Tukipinnan levitys teräslevyllä

Liimapuupalkin tukipainekestävyyden saavuttamiseksi on pilarin päähän suunniteltava teräslevystä (S355J2) uloke, jotta liimapuupalkin tukipinnan pituus on 180 mm. Kuormitusyhdistelmässä KY2 palkin leikkausvoima ulokkeen keskellä on $V_d = 114\,600$ N. Levy mitoitettiin taivutukselle ja leikkaukselle. Laskelma on tehty soveltaen oppimateriaalia Teräsrakenteiden suunnittelu, Eurocode. 2002.



KUVA 14. Tukipinnan levitys pilarin päähän (Kervola 2017-02-08)

Taivutuskestävyys

$$M_{S,d} \leq W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{S,d} \leq \frac{bt^2}{6} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$114600 \text{ N} \cdot 40 \text{ mm} \leq \frac{200 \text{ mm} \cdot t^2}{6} \cdot \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{4584000 \text{ Nmm} \cdot 6 \cdot 1,0}{200 \text{ mm} \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$t \geq 19,68 \text{ mm}$$

Valitaan teräslevyn paksuudeksi 20 mm.

Leikkauskestävyys

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = 200 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} \cdot \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 819,8 \text{ kN} \gg 114,6 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

4.1.6 Pilarin ja palkin välinen liitos

Liimapuupalkin ja pilarin liitoksessa käytetään teräslevyä ja kansiruuveja 10 x 100 (4.6). Liitos mitoitetaan palkin normaalivoimalle, jonka suurin mitoitusarvo on $N_d = 12,9$ kN. Mitoitus tehtiin Puurakenteiden suunnitteluohjeen (RIL 205-1-2009, 114 - 120) mukaan.

teräslevyn paksuus $t_t = 5 \text{ mm}$

kansiruuvin halkaisija $d = 10 \text{ mm}$

kansiruuvien pituus $L = 100 \text{ mm}$
 puun paksuus $t = 190 \text{ mm}$

Leikkausvoima teräslevyn ja palkin välillä

$$V_d = N_d = 12,9 \text{ kN}$$

Kansiruuvien sileän osan tunkeuma puuhun

$$l = 0,4 \cdot L - t_t = 0,4 \cdot 100 \text{ mm} - 5 \text{ mm} = 35 \text{ mm} < 4d = 4 \cdot 10 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

Koska sileän varren tunkeuma puussa on pienempi kuin $4d$, määritetään ruuviliitoksen leikkauskestävyys käyttämällä liittimelle tehollista halkaisijaa $d_{ef} = 1,1d_i$, missä d_i on kierteisen osa sisähalkaisija eli sydänmitta.

$$d = d_{ef} = 1,1 \cdot 0,7 \cdot 10 \text{ mm} = 7,7 \text{ mm}$$

Kansiruuvien leikkauskestävyys

Koska ruuvien halkaisija $d > 6 \text{ mm}$, käytetään leikkauskestävyyden laskemiseen pulttiliitosten sääntöjä.

Reunapuristuslujuuden kulma syysuuntaan nähden on 0°

$$f_h = f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 7,7 \text{ mm}) \cdot 390 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 29,52 \text{ N/mm}^2$$

Pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo

$$f_{u,k} = 400 \text{ N/mm}^2$$

Pultin myötömomentti

$$M_y = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 7,7^{2,6} = 24213,48 \text{ Nmm}$$

Teräksen ja puun välinen pulttiliitos

Koska $t_t = 5 \text{ mm} \leq 0,5d = 5 \text{ mm}$, leikkauskestävyyden ominaisarvo leikettä kohti on

$$R_k = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot f_h \cdot t \cdot d}{2 \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d}} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot 29,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 190 \text{ mm} \cdot 7,7 \text{ mm}}{2 \sqrt{24213,48 \text{ Nmm} \cdot 29,52 \text{ N/mm}^2 \cdot 7,7 \text{ mm}}} = \min \left\{ \begin{array}{l} 17275,10 \text{ N} \\ 4692,04 \text{ N} \end{array} \right. \right.$$

$$R_k = 4,69 \text{ kN}$$

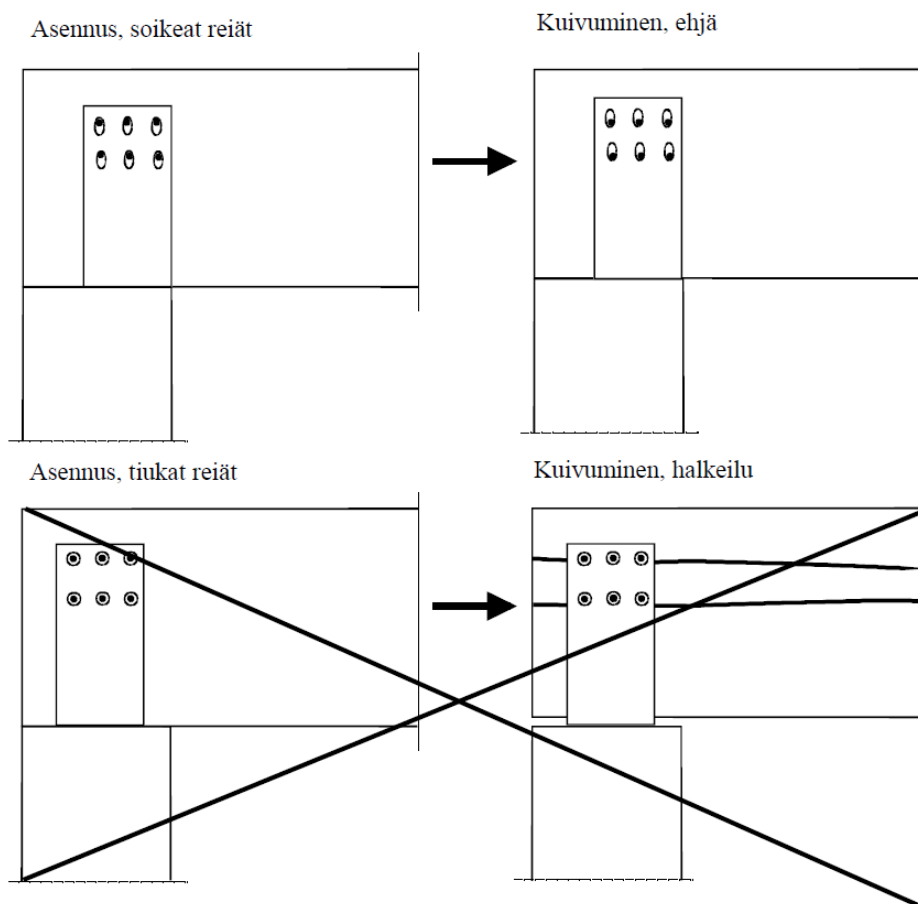
Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{1,1 \cdot 4,69}{1,2} = 4,30 \text{ kN}$$

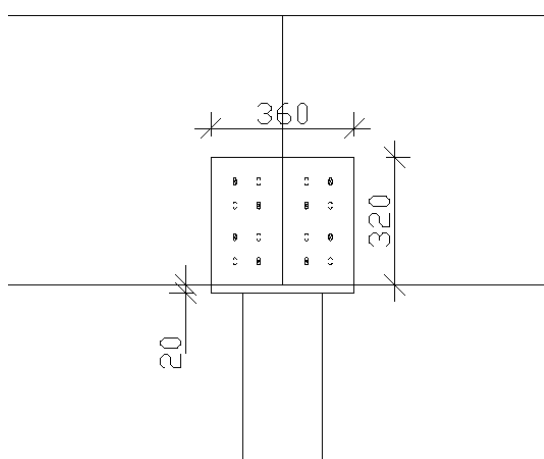
Kansiruuveja tarvitaan

$$n = \frac{V_d}{R_d} = \frac{12,9 \text{ kN}}{4,30 \text{ kN}} = 3 \text{ kpl}$$

Koska palkin molemmilla puolilla on teräslevy, kansiruuveja tarvitaan vähintään 2 kpl puolelleen. Teräslevyyn on tehtävä soikeat stadionreiät, jotta palkin kuivuessaakin kuorma siirtyy palkin alapinnan kosketuksen kautta tuelle, eikä jää teräsosan varaan. Kansiruuvit ruuvataan reiän yläosaan. Tällöin ei ole vaaraa, että palkki halkeaa kuivuessaan. Tätä on havainnollistettu kuvassa 15. Kuvassa 16 on esitetty teräspilarin liitos liimapuupalkkiin.



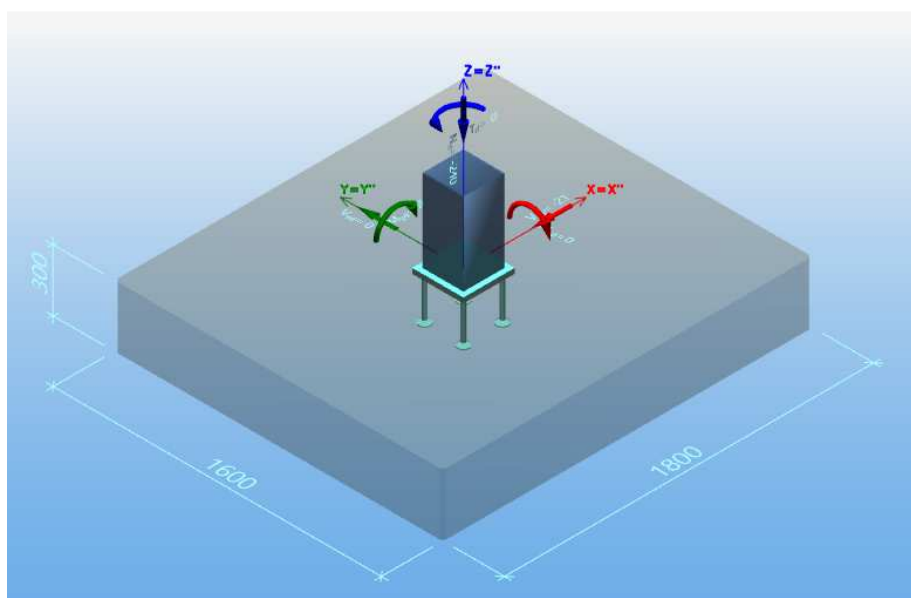
KUVA 15. Palkin liitos tuella (VTT 2006a)



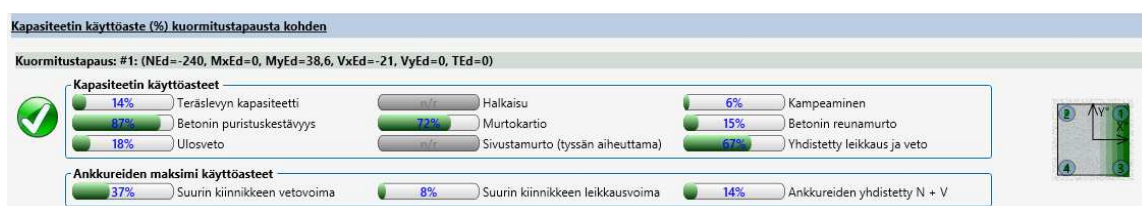
KUVA 16. Palkin teräslevyliitos pilariin (Kervola 2017-02-09)

4.1.7 Pilarin liitos anturaan

Teräspilari liitetään anturaan hitsaamalla pilari teräksiseen kiinnityslevyyn, joka on asennettu muottiin ennen anturan valua. Kiinnityslevy mitoitettiin Peikko Groupin *Peikko Designer*[®]-mitoitusohjelmalla. Liitos mallinnettiin kuvan 17 mukaisesti. Kiinnityslevyksi valittiin JPL 250 x 250 - 220, jonka alapuolinen betonipeitepaksuusvaatimus on 70 mm (Tekninen käyttöohje: JPL- ja P3KL-kiinnityslevyt 2017, 7). Anturan vähimmäiskorkeudeksi saadaan tällöin 220 mm + 70 mm = 290 mm, joka täyttyy, kun anturan korkeus on 300 mm. Kiinnityslevy kestää siihen kohdistuvat kuormat ilman lisäraudoitusta. Levyn kapasiteetin käyttöasteet on esitetty kuvassa 18.



KUVA 17. Kiinnityslevyn liitos anturaan mallinnettuna (Kervola 2017-02-13)



KUVA 18. Kiinnityslevyn kapasiteetin käyttöasteet (Kervola 2017-02-13)

Teräspilari liitetään JPL-kiinnityslevyyn hitsaamalla. Liitoksen pienahitsin kestävyys laskettiin soveltaen Ruukin Rakenneputket-käsikirjaa (2012).

Kuormitus:

$$N_{Ed} = 240 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 38,6 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 21 \text{ kN}$$

Poikkileikkaussuureet pilarille 200x200x8:

$$I_y = 3566,25 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A = 5924 \text{ mm}^2$$

JPL-levyn paksuus $t = 25 \text{ mm}$

hitsin a-mitta jäähtymisnopeuden perusteella:

$$a \geq \sqrt{t} - 0,5 = \sqrt{25} - 0,5 = 4,5 \text{ mm} \quad t = \text{paksumpi liitettävistä levyistä}$$

Pilarin laipan hitsit:

Suurin vetojännitys laipan keskellä

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{M}{W} - \frac{N}{A} = \frac{M}{I} \cdot y - \frac{N}{A} = \frac{M}{I} \cdot \frac{h-t}{2} - \frac{N}{A} = \frac{38,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{3566,25 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} \cdot \frac{200 - 8 \text{ mm}}{2} - \frac{240000 \text{ N}}{5924 \text{ mm}^2} \\ &= 63,39 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Koska liitos kuuluu staattisesti määräämättömään rakenteeseen, edellytetään liitokselta riittävää muodonmuutoskykyä, jolloin vetojännitykseksi oletetaan

$$\sigma_x = 0,8 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,8 \cdot \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 284,00 \text{ N/mm}^2$$

Yksipuolisen pienahitsin jännitykset, kun a-mitta on 5 mm:

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{2}} \cdot t = \frac{284,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{2}} \cdot 8 \text{ mm} = 321,31 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehdot:

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

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

$$\sqrt{321,31^2 + 3 \cdot 0} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$321,31 \text{ N/mm}^2 < 453,33 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

$$321,31 \text{ N/mm}^2 \leq \frac{0,9 \cdot 510 \text{ N/mm}^2}{1,25}$$

$$321,31 \text{ N/mm}^2 < 367,20 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

Pilarin uuman hitsit:

Suurin vetojännitys uuman ja laipan liitoskohdassa

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{M}{W} - \frac{N}{A} = \frac{M}{I} \cdot y - \frac{N}{A} = \frac{M}{I} \cdot \frac{h-2t}{2} - \frac{N}{A} = \frac{38,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{3566,25 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} \cdot \frac{200 - 2 \cdot 8 \text{ mm}}{2} - \frac{240000 \text{ N}}{5924 \text{ mm}^2} \\ &= 59,06 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Muodonmuutoskyvyn perusteella

$$\sigma_x = 0,8 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,8 \cdot \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,0} = 284,00 \text{ N/mm}^2$$

Yksipuolisen pienahitsin jännitykset, kun a-mitta on 5 mm:

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{2} \cdot a} \cdot t = \frac{284,00 \frac{N}{mm^2}}{\sqrt{2} \cdot 5 \text{ mm}} \cdot 8 \text{ mm} = 321,31 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys uumassa

$$\tau_{//} = \frac{V_{Ed}}{2ah} = \frac{21000 \text{ N}}{2 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}} = 10,50 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{321,31^2 + 3(0 + 10,50^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

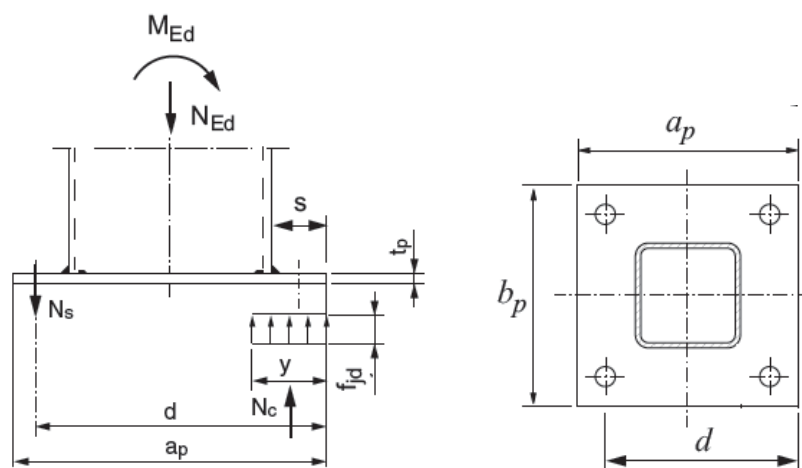
$$321,82 \text{ N/mm}^2 < 453,33 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

Vertailun vuoksi lasketaan hitsin a-mitta, jos halutaan yksipuolisen ja tasakylkisen hitsin kestävyys vähintään yhtä suureksi putken seinämän plastisen vetokestävyuden kanssa. Hitsistä saadaan tällöin tasaluja putkeen kohdistuvan aksiaalisen vedon, puristuksen ja taivutusmomentin suhteen. (Rakenneputket-käsikirja 2012, 200.)

$$a \geq 2 \cdot \frac{\beta_w}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{f_y}{f_u} \cdot t = 2 \cdot \frac{0,9}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1,25}{1,0} \cdot \frac{355 \frac{N}{mm^2}}{510 \frac{N}{mm^2}} \cdot 8 \text{ mm} = 8,86 \text{ mm}$$

Tasaluja hitsi vaatisi a-mitaksi 9 mm, jota tuskin saadaan hitsatuksi yhdellä palolla. Valitaan pienahitsin a-mitaksi 5 mm koko pilarin ympäri.

Toisena vaihtoehtona pilarin liittämiseksi anturaan tutkittiin ankkurointipulttiliitosta. Tällöin pilarin pohjalevyyn tehdään reiät ja levy hitsataan pilariin konepajalla, jolloin vältetään työmaahitsaukselta. Ankkurointipultit asennetaan valumuottiin ennen betonointia. Teräspilari asennetaan oikeassa krossa olevien mutterien ja aluslevyjen päälle ja kiinnitetään yläpuolisilla aluslevyillä ja muttereilla. Ennen pilarin liitoksen kuormittamista pohjalevyn alle valetaan jälkivalu juotosbetonilla. Ankkurointipulteiksi valittiin Peikko Groupin HPM-harjateräspultit. Liitos mitoitettiin Peikko Groupin *Peikko Designer*[®]-mitoitushjelmalla. Ankkurointipultiksi valittiin HPM16L, jolloin anturan vähimmäiskorkeus on 260 mm (Tekninen käyttöohje: HPM-ankkurointipultit 2017, 8), joka täyttyy, kun anturan korkeus on 300 mm. Teknisen käyttöohjeen mukaan jälkivalun paksuus kyseisiä pultteja käytettäessä on 50 mm. Pilarin pohjalevyksi valittiin 400 x 400 x 30 (S355J2). Pohjalevyn kestävyys tarkistettiin käsinlaskemalla soveltaen Ruukin Rakenneputket-käsikirjaa (2012). Ankkurointipultteja tarvitaan 4 kpl. Liitos kestää siihen kohdistuvat rasitukset ilman lisäraudoitusta. Tarkistetaan pilarin pohjalevyn kestävyys, kun paksuus on 30 mm.



KUVA 19. Puristetun ja taivutetun pilarin rakennemalli (Ruukki 2012)

Kuormitus:

$$N_{Ed} = 240 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 38,6 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 21 \text{ kN}$$

Pohjalevyn paksuus puristuspuolen perusteella

Betonin lujuus: C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_c = 1,5 \text{ (toteutusluokassa 2)}$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$t_p = 30 \text{ mm}$$

$\beta_j = 2/3$, kun jälkivalun ominaislujuus on vähintään 0,2 kertaa betoniperustuksen ominaislujuus ja jälkivalun paksuus enintään 0,2 kertaa teräksisen pohjalevyn pienin leveys. Kun jälkivalun paksuus on suurempi kuin 50 mm, jälkivalun ominaislujuus valitaan vähintään yhtä suureksi kuin betoniperustuksen ominaislujuus.

$$k_j = 1$$

Betonin pintapaineen mitoituslujuus:

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,5} = 9,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kantavan pinnan ulottuma:

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yp}/\gamma_{M0}}{3f_{jd}}} = 30 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} / 1,0}{3 \cdot 9,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 106,22 \text{ mm}$$

Putken sisäpuolisen pohjalevyn alueen tehollisuus:

$$2c = 2 \cdot 106,22 \text{ mm} = 212,44 \text{ mm} > b - 2t = 200 \text{ mm} - 2 \cdot 8 \text{ mm} = 184 \text{ mm}$$

⇒ putken sisään jäävä alue on täysin tehollinen

Putken ulkopuolisen pohjalevyn alueen tehollisuus:

$$b + 2c = 200 \text{ mm} + 212,44 \text{ mm} = 412,44 \text{ mm} > b_p = 400 \text{ mm}$$

$$h + 2c = 200 \text{ mm} + 212,44 \text{ mm} = 412,44 \text{ mm} > a_p = 400 \text{ mm}$$

⇒ putken ulkopuolelle jäävä alue on täysin tehollinen

Koko pohjalevy on tehollinen, joten:

$$l_{eff} = b_p = 400 \text{ mm}$$

Pohjalevyn ulottuma pilarin laipan ulkopuolella:

$$s = e_1 + e_2 = 50 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 100 \text{ mm} < c = 106,22 \text{ mm}$$

Pohjalevyn paksuus puristuksen perusteella:

$$M_{p,Ed} = \frac{l_{eff} \cdot s^2 \cdot f_{jd}}{2} = \frac{400 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^2 \cdot 9,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2} = 18,88 \text{ kNm}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{6M_{p,Ed}}{l_{eff} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 18880000 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} / 1,0}} = 28,24 \text{ mm}$$

Pohjalevyn paksuudeksi käy 30 mm.

Pohjalevyn paksuus vetopuolen perusteella

$$y = \frac{l_{eff} f_{jd} d \pm \sqrt{(-l_{eff} f_{jd} d)^2 - 2 l_{eff} f_{jd} [M_{Ed} + N_{Ed} (d - 0,5 a_p)]}}{l_{eff} f_{jd}}$$

$$y = \frac{400 \cdot 9,44 \cdot 350 \pm \sqrt{(-400 \cdot 9,44 \cdot 350)^2 - 2 \cdot 400 \cdot 9,44 [38,6 \cdot 10^6 + 240000 (350 - 0,5 \cdot 400)]}}{400 \cdot 9,44}$$

$$y = 61,92 \text{ mm (tai } 638,08 \text{ mm)}$$

$$N_c = l_{eff} \cdot y \cdot f_{jd} = 400 \text{ mm} \cdot 61,92 \text{ mm} \cdot 9,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 233,81 \text{ kN (puristusta)}$$

$$N_s = N_c - N_{Ed} = 233,81 \text{ kN} - 240 \text{ kN} = -6,19 \text{ kN (puristusta)}$$

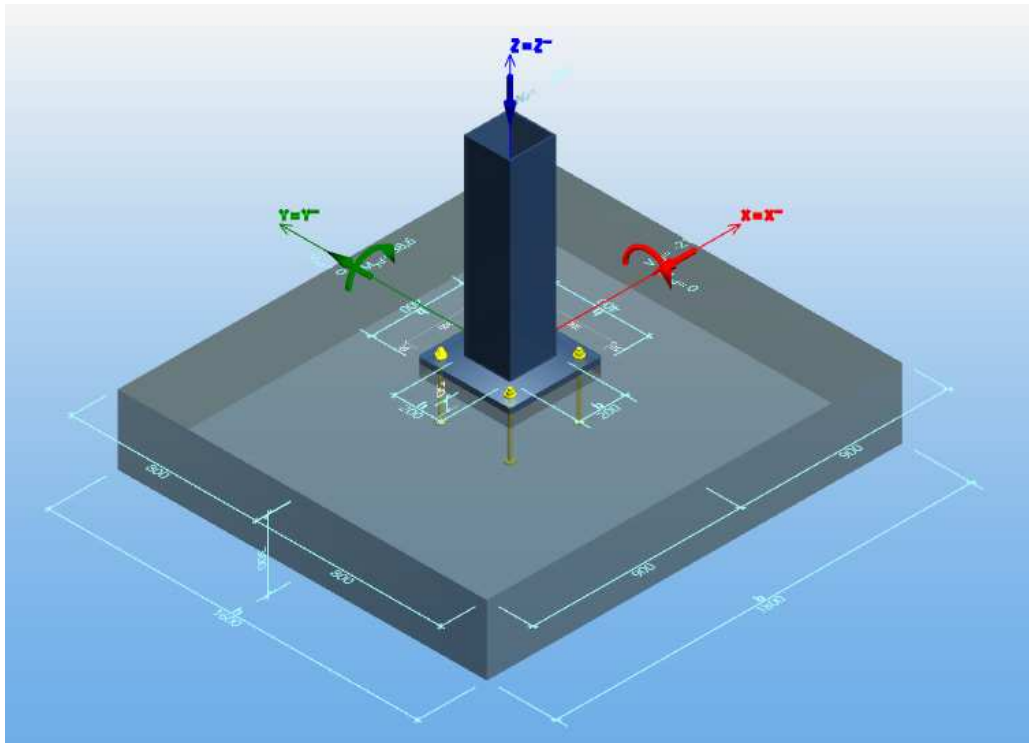
Koska perustusruuveissa ei ole vetoa, pohjalevyn paksuutta ei tarkasteta vedon perusteella.

Pilarin pohjalevy hitsataan pilariin konepajalla. Pilarin pienahitsiliitoksen mitoitus pohjalevyyn on sama kuin kiinnityslevyyn. Ainoana erona on, että hitsin a-mitta jäähtymisnopeuden perusteella on 30 mm paksulla pohjalevyllä seuraava:

$$a \geq \sqrt{t} - 0,5 = \sqrt{30} - 0,5 = 4,98 \text{ mm} \quad t = \text{paksumpi liitettävistä levyistä}$$

Valitaan pienahitsin a-mitaksi 5 mm koko pilarin ympäri.

Kuvissa 20 - 23 on esitetty pulttiliitoksen laskentamalli ja -tulokset.



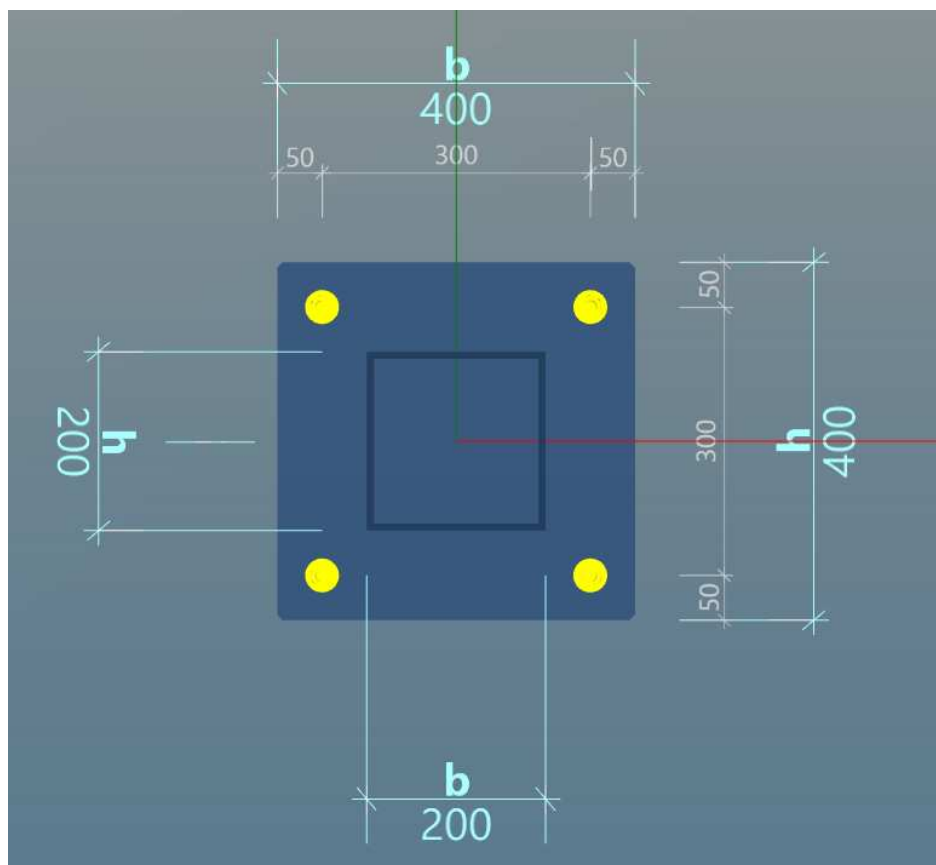
KUVA 20. Ankkurointipulttiliitos anturaan mallinnettuna (Kervola 2017-02-16)

Teräsmurron tarkastus		Betonimurron tarkastus					
Kuormitustapaus: #1: (Nd=-240,0, Mxd=0,0, Myd=38,6, Vxd=-21,0, Vyd=0,0)							
Leikkausvoiman määrittäminen							
Normaalivoiman laskenta-arvo	$N_{c,Ed}$	-240	kN				
Kitkakerroin (peruslevyn ja juotosbetonin välillä)	C_{fd}	0,2					
Liitoksen kitkavastus	$F_{r,Rd}$	48	kN				
Leikkausvoiman resultantti	V_{sd}	21	kN				
Leikkausvoiman resultantti huomioiden kitkan osuuden	$V_{sd,f}$	0	kN				
Steel Failure of bolt in joint calculation							
Pultti Pos.	Vaikeuttava aksiaalivoima [kN]	Vetokestävyyden laskenta-arvo [kN]	Aksiaalikapasiteetin käyttöaste [%]	Vaikeuttava leikkausvoima [kN]	Leikkauskestävyyden laskenta-arvo [kN]	Leikkausvoiman käyttöaste [%]	Yhteisvaikutus [%]
1	8,51	56,5	15,0	0,0	20,0	0,0	n/r
2	-5,89	56,5	10,4	0,0	20,0	0,0	n/r
3	-5,89	56,5	10,4	0,0	20,0	0,0	n/r
4	8,51	56,5	15,1	0,0	20,0	0,0	n/r

KUVA 21. Teräsmurron käyttöasteet (Kervola 2017-02-16)

Teräsmurron tarkastus		Betonimurron tarkastus		
Kuormitustapaus: #1: (Nd=-240,0, Mxd=0,0, Myd=38,6, Vxd=-21,0, Vyd=0,0)				
Riittävä kapasiteetti				
Tulostaulukko				
Tarkistus	Kuorma	Kapasiteetti	Käyttöaste	Tila
	[kN]	[kN]	[%]	
Ulosvetomurto	8,5	102,6	8	Ok
Kartiomurto				Ok
Määräävä tekijä betonissa:				
1) Perustus (vain betoni)	17,0	105,6	16	
2) Määritetty ripustusraudoitus	0,0	0,0	n/r	
3) Ristikkomallin vaatimus	0	0	n/r	
Halkaisumurto				Ok
Määräävä tekijä betonissa:				
1) Perustus (vain betoni)	17,0	99,1	n/r	
2) Määritetty halkaisuraudoitus	0,0	0,0	n/r	
Sivustamurto (tyssän aiheuttama)	0,0	0,0	n/r	Ok
Kampeamismurto	0,0	0,0	n/r	Ok
Reunamurto				Ok
Määräävä tekijä betonissa:				
1) -X (vasen) reuna (pelkkä betoni)	0,0	0,0	n/r	
1) +X (oikea) reuna (pelkkä betoni)	0,0	0,0	n/r	
1) +Y (yläpinta) reuna (pelkkä betoni)	0,0	0,0	n/r	
1) -Y (pohja) reuna (pelkkä betoni)	0,0	0,0	n/r	
2) Määritetty reunaraudoitus X	0	0	n/r	
3) Määritetty reunaraudoitus Y	0	0	n/r	
Yhdistetty rasitus		$\beta_N \leq 1$	16	Ok

KUVA 22. Betonimurron käyttöasteet (Kervola 2017-02-16)



KUVA 23. Pilarin pohjalevy ja ankkurointipulttien sijainti (Kervola 2017-02-16)

4.2 Takaseinän vinolaudoitus

Rakennuksen takaseinä on puurunkoinen rankaseinä, jossa runkotolpat ovat 48 x 148 k600. Seinä jäykistetään runkotolppiin naulattavalla vinolaudoituksella. Laskelma on tehty soveltaen Puuinfon sovelluslaskelmia (EC 5 Sovelluslaskelmat, Hallirakennus 2010). Laudoitus tehdään sahatavarasta 25 x 100 k600 ja se asennetaan 45 asteen kulmaan. Laudan ja runkotolpan väliseen liitokseen naulataan 2 kpl 2,8 x 75 konenauvoja.

Seinän alasidepuu ankkuroidaan siiolementtien pystysaumoihin juotosvalun yhteydessä asennettavien harjaterästankojen avulla. Vaadittava ankkurointi laskettiin tuulesta aiheutuvan momenttivaikutuksen perusteella. Laskennan perusteella 10 mm harjateräs kestää hyvin tuulen aiheuttaman vetojännityksen. Harjateräkset asennetaan jokaiseen siiolementin pystysaumaan juotosvalun yhteydessä, jolloin harjateräksiä on 2 - 3 metrin välein.

4.3 Väli- ja päätyseinien vinolaudoitus

Rakennuksen päätyseinät ja siiolementtien päälle rakennettavat kolme väliseinää voidaan jäykistää vinolaudoituksella. Jäykistys laskettiin samalla menetelmällä kuin takaseinän jäykistys. Pääty- ja väliseinien vinolaudoitukseksi saatiin 25 x 100 k400. Laudan ja runkotolpan liitokseen naulataan 4 kpl 3,1 x 90 konenauvoja.

Seinän alasidepuu ankkuroidaan siiolementtien pystysaumoihin juotosvalun yhteydessä asennettavien harjaterästankojen avulla. Vaadittava ankkurointi laskettiin tuulesta aiheutuvan momenttivaikutuksen perusteella. Laskennan perusteella 10 mm harjateräs kestää hyvin tuulen aiheuttaman vetojännityksen. Harjateräkset asennetaan jokaiseen siiolementin pystysaumaan juotosvalun yhteydessä, jolloin harjateräksiä on 2 - 3 metrin välein.

5 YLÄPOHJAN JÄYKISTYS

NR-rakenteinen yläpohja on jäykistettävä rakennuksen pituussuunnassa. Suunniteltavan kohteen jäykistysvaihtoehtoina tutkittiin kahta menetelmää. Ensimmäinen tapa on, että yläpaarretaso jäykistetään paikalla tehtävin vinoreivauksin alapaarretasoon. Toinen tapa on, että yläpaarretaso jäykistetään yläpaarteiden väliin asennettavin NR-jäykisteristikoin. Yläpaarretason kuormat siirretään alapaarretasolle NR-pukeilla. Alapaarretaso jäykistetään molemmissa vaihtoehdoissa alapaarteiden alapuolisella vinolaudoituksella.

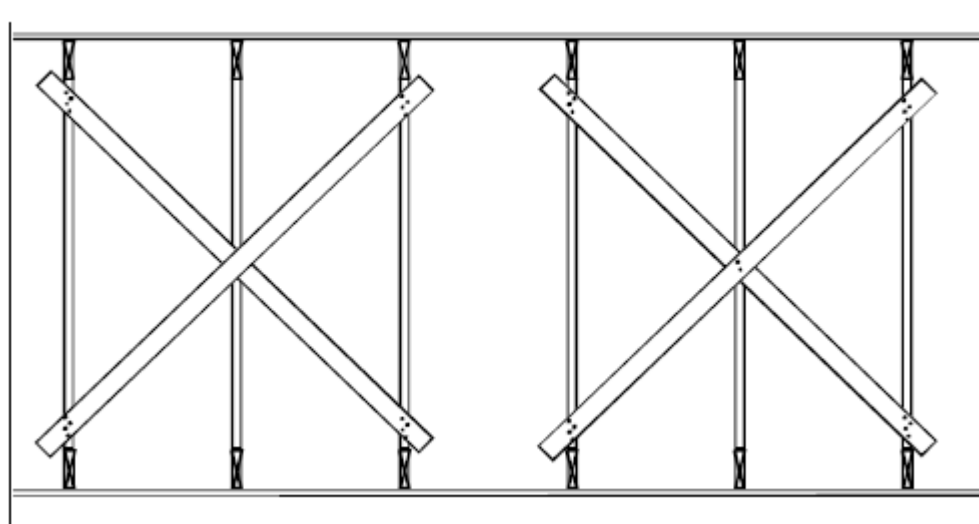
5.1 Kuormien laskenta

Yläpohjan jäykistyslaskenta tehtiin *Microsoft Excel* -taulukkolaskentaohjelmalla soveltaen Puuinfon sovelluslaskelmia (EC 5 Sovelluslaskelmat, Hallirakennus 2010). Laskennassa käytettiin tuulikuormina painekertoimien avulla laskettuja osapintojen tuulikuormia.

Ensin laskettiin jäykisteiden kuormat sekä ylä- että alapaarteiden tasossa. Päätyseinän tuulikuormasta puolet menee alapaarteiden tasoon ja puolet perustuksille. Päätykolmion tuulikuormasta puolet menee alapaarteiden tasoon ja puolet yläpaarteiden tasoon. Yläpaarteiden tasoon siirtyy myös katon kitkan aiheuttama tuulikuorma. Yläpaarteiden keskimääräinen puristusvoima laskettiin sekä omapainosta että lumikuormasta. Puristettujen yläpaarteiden sisäiset jäykistyskuormat laskettiin myös omapainolle ja lumikuormalle. Paarteiden tasossa olevat jäykistettävät kuormat murtorajatilassa laskettiin kuormitusyhdistelmissä KY1, KY2 ja KY3.

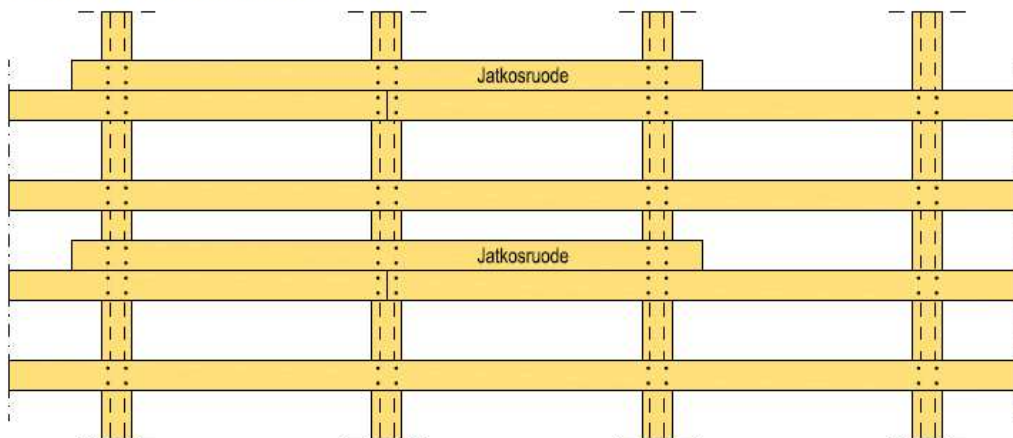
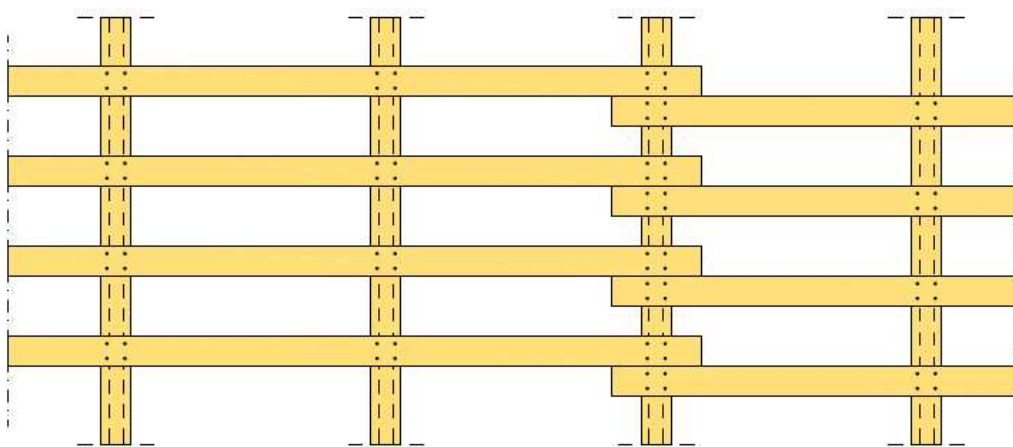
5.2 Jäykistys paikallarakennettavin vinositein

Tässä jäykistystavassa kattoristikon diagonaaleihin naulataan laudat vinositeiksi, jotka muodostavat tukiristikon. Tukiristikon periaate on esitetty kuvassa 24. Tukiristikko mitoitetiin siten, että lauta toimii vedettynä. Tukiristikkoja sijoitetaan yhteensä viiteen linjaan. Yksi linja on rakennuksen harjan kohdalla ja kaksi linjaa kattoristikon neljännespisteissä sekä kaksi linjaa rakennuksen sivuseinillä. Yläpaarretason jäykistettävä kuorma jakautuu neljään osaan näille linjoille tasan siten, että sivuseinänlinjalle tulee puolet keskilinjaa kuormasta. Jos jäykisteristikoita sijoitetaan 10 kpl jokaiselle linjalle, laudan ja ristikon diagonaalin liitokseen on naulattava 4 kpl 2,8 x 75 pyöreitä konenauloja.



KUVA 24. Ristikkojen tuulituennan periaate (VTT 2006b)

Jäykisteristikoiden väliin jäävät kattoristikot tuetaan ruodelaudoituksella. Ruoteiden on pystyttävä välittämään yläpaarteen keskimääräisestä puristusvoimasta aiheutuvat sisäiset jäykistyskuormat kattoristikolta toiselle. Tässä tapauksessa on kuitenkin se ongelma, että ruodelaudan jatkosta ei voida tehdä päittäin saman ristikon kohdalla. Puurakenteiden suunnitteluohjeen (RIL 205-1-2009, 105) mukaan naulan minimietäisyys laudan päästä on $10d$ (d = naulan paksuus). Kun kattoristikon yläparre on 42 mm leveä, saadaan jatkamattomaankin ruodelautaan yksi rivi nauloja vain, jos naulan paksuus on enintään 2,1 mm. Näin ollen yläpaarteen päälle onkin asennettava vähintään 56 mm leveä rima, kun käytetään ruoteen (25 x 100) kiinnitykseen konenauloja 2,8 x 75. Tällöin naulojen etäisyysvaatimukset täyttyvät. Tässäkään tapauksessa ruoteita ei saa jatkaa päittäin, vaan se on tehtävä esimerkiksi kuvassa 25 esitetyillä tavoilla.

Vaihtoehto 1: erillinen jatkosruode**Vaihtoehto 2: limitetyt ruoteet**

KUVA 25. Ruoteiden jatkamisen vaihtoehdot (Puuinfo 2010a)

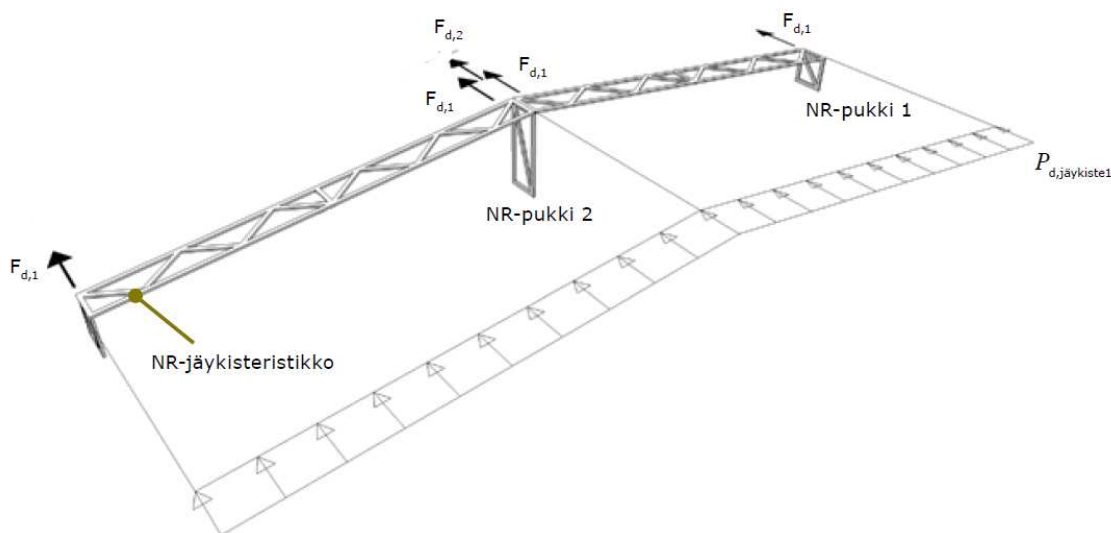
Alapaarretaso jäykistetään 45 asteen kulmaan asennetulla vinolaudoituksella. Alapaarretason tuuli kuorman lisäksi kuormitukseksi tulee tuulikuormat kolmelta keskimmäiseltä jäykistelinjalta. Vinolaudoituksen puristuskestävyys laskettiin laudalle 25 x 100. Sen perusteella saatiin laskettua laudoituksen leikkausvoimakkestävyys seinän suunnassa. Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys tarkistettiin sekä laudan että seinän suunnassa. Vinolaudoituksesi alapaarretasoon saatiin 25 x 100 k500. Liitokseen naulataan 3 kpl konenauloja 2,8 x 75.

5.3 Jäykistys NR-jäykisteristikoilla

Toisena vaihtoehtona yläpohjan jäykistämiseen tutkittiin NR-jäykisteristikoita. Yläpaarretaso jäykistetään yläpaarteiden väliin asennettavilla vaakasuuntaisilla NR-jäykisteristikoilla. Ruodelaudoitus siirtää vaakakuormat ristikoiden välillä. NR-pukit siirtävät yläpaarretason kuormat alapaarretasoon. Alapaarretaso jäykistetään vinolaudoituksella.

Yläpohjassa on neljä kuvan 26 mukaista jäykistesysteemiä siten, että molemmissa päädyissä on kaksi jäykisteristikkoa vierekkäin. Yläpaarretason jäykistettävä kuorma jakaantuu niille tasan. Sekä

harjalinjalla että sivuseinälinjoilla tarvitaan NR-pukit, jotka ottavat vastaan jäykistysristikon tukireaktiot. Harjalle suunniteltiin lisäksi NR-pukit kahteen jäykisteristikoiden viereiseen kattoristikkoväliin. Näiden pukien kohdalle suunniteltiin ruoteet siten, että ne ottavat vastaan sisäisistä jäykistävästä voimista aiheutuvat voimat. Tällöin pukki voidaan suunnitella vain ulkoisista kuormista aiheutuville vaakakuormille. (NR-kattorakenteen jäykistys suunnittelu ja toteuttaminen: RIL 248-2013, 26.) Lisäruoteita tarvitaan laskennan perusteella neljä kappaletta lapetta kohden. Ruoteita lisätään siis kaksi kappaletta harjalle ja kaksi seinälinjalle. Ruoteen liitokseen naulataan 6 kpl 2,8 x 75 kone-
nauloja.

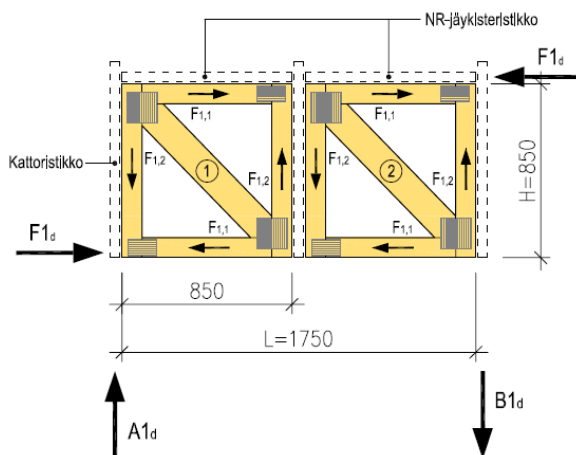


KUVA 26. Yläpohjan NR-jäykisteristikko (Puuinfo 2010a)

Ruoteiden kiinnitys yksittäiseen kattoristikkoon mitoitettiin olettaen, että NR-suunnittelija suunnittelee kattoristikot ruodejaolle k600. Profiilipeltikatetta varten ruodejaon on oltava enintään k300, joten ruoteiden mitoituksessa tämä otettiin huomioon. Ruoteiden kiinnitys mitoitettiin yläpaarten keskimääräisen puristusvoiman mukaan. Poikittaistuen kohdalla vaikuttavalle stabiloivalle voimalle käytetään Puurakenteiden suunnitteluohjeen (RIL 205-1-2009, 163) mukaan mitoitusarvoa $N_d/50$ sahatarvalle. Ruoteen kiinnitykseen naulataan 2 kpl 2,8 x 75 konenauvoja.

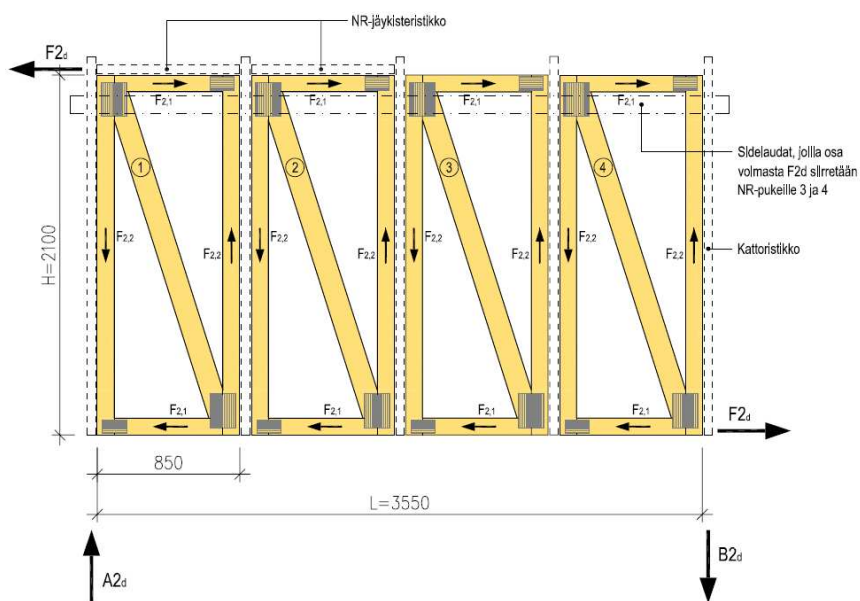
Ruoteiden kiinnitys NR-jäykisteristikkoon mitoitettiin laskemalla ruoteen naulauksen kestävyys jäykisteristikon vieressä olevaan kattoristikkoon. Jäykistyskuorma siirtyy kattoristikosta NR-jäykisteristikolle yläpaarten ja NR-jäykisteristikon välisen kontaktiliitoksen välityksellä. Ruoteen kiinnitykseen naulataan 2 kpl 2,8 x 75 konenauvoja.

Kuormat yläpaarten tasosta alapaarretasoon tuodaan NR-pukeilla, jotka kiinnitetään kattoristikossa olevaan pystysauvaan. NR-pukit aiheuttavat kattoristikoihin pistekuormia, jotka tulee ilmoittaa NR-suunnittelijalle ominaiskuormina.



KUVA 27. NR-jäkisteristikon pään tukireaktiot seinälinjalla (Puuinfo 2010a)

NR-pukit ovat ulkoseinän päällä, joten kattoristikkoa rasittaa kuvan 27 mukaisesti vain $F_{1,d}$, jonka arvo ilmoitetaan NR-suunnittelijalle ominaisarvona. NR-pukit kiinnitetään kattoristikoihin kuormille $A_{1,d}$ ja $B_{1,d}$. NR-pukit kiinnitetään seinän päälle voimalle $F_{1,d}$.



KUVA 28. NR-jäkisteristikon pään tukireaktiot harjalinjalla (Puuinfo 2010a)

NR-pukit ovat harjalla, joten kattoristikkoa rasittaa kuvan 28 mukaisesti kuormat $A_{2,d}$ ja $B_{2,d}$, joiden arvot ilmoitetaan NR-suunnittelijalle ominaisarvoina. NR-pukit kiinnitetään alapaarteen jäykistykseen voimalle $F_{2,d}$, ja kattoristikoihin voimille $A_{2,d}$ ja $B_{2,d}$.

Alapaarretason jäykistys laskettiin samalla tavalla kuin ensimmäisessä jäykistysvaihtoehdossa. Tässä tapauksessa erona oli kuitenkin, että harjalinjan NR-pukeilta kohdistuu pistekuorma päätyseinän keskelle aiheuttaen leikkausvoimaa vinolaudoitukseen tasaisen tuulikuorman lisäksi. Vinolaudoitukseksi alapaarretasoon saatiin 25 x 100 k600. Liitokseen naulataan 2 kpl konenauloja 2,8 x 75.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella maatalouden varastorakennus. Tarkoituksena oli tuottaa rakennus- ja rakennesuunnitelmat kohteen toteutusta varten. Samalla tutkittiin rakenteille erilaisia toteutustapoja, joista voidaan valita kyseiseen kohteeseen soveltuvimmat ratkaisut.

Opinnäytetyössä tuotettiin alustavat rakennuspiirustukset rakennuslupaa varten. Rakennesuunnittelua varten laskettiin tuulikuormat, joiden perusteella laskettiin rakennuksen jäykistys. Rakennuksen jäykistykseksi saatiin suunniteltua mastopilarikehä rakenne sekä vinosidejäykistys. Mastopilarikehään kuuluvat teräspilarit, liimapuupalkit ja teräsbetonianturat. Pilarin liitos anturaan suunniteltiin kahdella tavalla: hitsiliitosta ja ankkurointipulttiliitosta käyttämällä. Yläpohjan jäykistys suunniteltiin vertaillen paikallarakennettävien vinositeiden ja NR-rakenteisen jäykistyksen välillä.

Työn tuloksena saatiin tilaajalle rakennuspiirustukset ja rakennesuunnitelmat rakennushankkeen aloittamista varten. Rakenteille suunniteltiin myös vaihtoehtoisia toteutustapoja, joista voidaan valita kyseiseen kohteeseen parhaiten soveltuvat rakenteet. Perustusrakenteita ei tässä opinnäytetyössä tutkittu tarkemmin, koska maapohjan rakennekerroksia ja kantavuusominaisuuksia ei vielä ole selvitetty. Rakennuksen kantaville rakenteille ja jäykistysratkaisuille olisi vielä monia tutkimisen arvoisia vaihtoehtoja, joita ei tässä työssä tarkasteltu.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

BETONIRAKENTEIDEN SUUNNITTELUN OPPIKIRJA – OSA 2 2014. BY 211. Helsinki: Suomen Betonyhdisys ry.

NR-KATTORAKENTEEN JÄYKISTYKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTTAMINEN. RIL 248-2013. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

PEIKKO GROUP a. Tekninen käyttöohje: HPM-ankkurointipultit [verkkoaineisto]. 2017 [viitattu 2017-02-16]. Saatavissa: <http://materials.crasman.fi/materials/extloa-der/?fid=70018&org=2&chk=220fa3c4>

PEIKKO GROUP b. Tekninen käyttöohje: JPL- ja P3KL-kiinnityslevyt [verkkoaineisto]. 2017 [viitattu 2017-02-13]. Saatavissa: <http://materials.crasman.fi/materials/extloa-der/?fid=70008&org=2&chk=e2035065>

PUUINFO a. EC 5 Sovelluslaskelmat, Hallirakennus [verkkoaineisto]. 2010 [viitattu 2017-02-03]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/eurokoodit/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennus>

PUUINFO b. Kotieläinrakennusten runkomalleja [verkkoaineisto]. 2012 [viitattu 2017-02-05]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/%5Bmain-section-name%5D/%5Binfocard-category-name%5D/kotielainrakennusten-runkomalleja/konehallijakonekorjaamo19122012.pdf>

PUURAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJE. RIL 205-1-2009. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RUUKKI. Rakenneputket-käsikirja [verkkoaineisto]. 2012 [viitattu 2017-02-13]. Saatavissa: https://software.ruukki.com/Ruukki-Rakenneputket-Kasikirja-2012_PDF-versio.pdf.

SUUNNITTELUPERUSTEET JA RAKENTEIDEN KUORMAT. RIL 201-1-2011. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU, EUROCODE. 2002. Teräsrakenneyhdistys ry

VTT a. Puurakenteiden halkeilun hallinta, opas [verkkoaineisto]. 2006. Saatavissa: http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/halkeilu_2006.pdf

VTT b. Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje [verkkoaineisto]. 2006. Saatavissa: http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/jaykistys_2006.

LIITE 1: ANTURAN MITOITUSLASKELMA

LIITE 2: LIIMAPUUPALKIN MITOITUSLASKELMA

LIITE 3: RANKASEINIEN JÄYKISTYSLASKELMAT

LIITE 4: NR-RISTIKKOYLÄPOHJAN JÄYKISTYS VINOSITEIN

LIITE 5: NR-RISTIKKOYLÄPOHJAN JÄYKISTYS NR-RAKENTEIN

LIITE 1: ANTURAN MITOITUSLASKELMA

ANTURAN MITOITUS A1

toteutusluokka 2

betonin lujuus <C50

pilari keskellä anturaa

Tukireaktiot Jigistä

taivutusmomentti z-akselin suhteen	M_{Edz}	23,2 kNm
pystykuorma	N_{Ed}	121,4 kN

anturan pituus	B_1	1,6 m
anturan leveys	B_2	1,3 m
anturan korkeus	h_f	0,3 m
pilarin sivun pituus	C_1	0,2 m
pilarin sivun pituus	C_2	0,2 m

pystykuorma+ anturan paino	N_{Ed}	137 kN
kuorman epäkeskisyyss	e_y	0,1693 m
pohjapaine	σ_{gd}	83,55 kPa

osavarmuuskerroin betonille	γ_c	1,5	toteutusluokka 2
osavarmuuskerroin teräkselle	γ_s	1,15	toteutusluokka 2
betonin ominaislujuus	f_{ck}	25 Mpa	< 50
puristuslujuuden keskiarvo	f_{cm}	33 Mpa	
vetolujuuden keskiarvo	f_{ctm}	2,56 Mpa	
ominaisvetolujuus	$f_{ctk,0,05}$	1,80 Mpa	
puristuslujuuden mitoitusarvo	f_{cd}	14,17 Mpa	
vetolujuuden mitoitusarvo	f_{ctd}	1,20 Mpa	
teräksen myötölujuus	f_{yk}	500 Mpa	
teräksen mitoituslujuus	f_{yd}	434,78 Mpa	
betonipeite	C_{nom}	50 mm	
teräksen halkaisija	T	10 mm	
tehollinen korkeus	d	240 mm	

epäkeskisyyss	e_y	0,1693 m
epäkeskisyyss	e_z	0 m
	B_{1T}	1,26 m
	B_{2T}	1,30 m
tehollinen pinta-ala	A_T	1,64 m ²

pohjapaine	σ_{gd}	83,55 kPa
ulokkeen pituus (y-suunta)	a_1	0,7 m
ulokkeen pituus (z-suunta)	a_2	0,55 m
momentti leikkauksessa A-A	M_{Ed1}	26,61 kNm
momentti leikkauksessa C-C	M_{Ed2}	15,94 kNm
vähimmäisraudoitusala	$A_{s,min}$	320 mm ² /m

Raudituksen mitoitus

y-akselin suuntaan

suhteellinen momentti	μ	0,025
puristusvyöhykkeen suhteellinen kork	β	0,03
sisäinen momenttivarasi	z	237 mm
	$A_{s,vaad}$	258 mm ²
	$A_{s,min}$	416 mm ²

	kpl	T	$A_{s,tot}$	$A_{s,vaad}$		k-jako	
valittu tankomäärä	7	10	550	416	OK	195	mm

z-akselin suuntaan

suhteellinen momentti	μ	0,012
puristusvyöhykkeen suhteellinen kork	β	0,01
sisäinen momenttivarasi	z	239 mm
	$A_{s,vaad}$	154 mm ²
	$A_{s,min}$	512 mm ²

	kpl	T	$A_{s,tot}$	$A_{s,vaad}$		k-jako	
valittu tankomäärä	7	10	550	512	OK	245	mm

Ankkurointi (pystyleikkaus maksimimomentin kohdalla)

tartuntalujuus	f_{bd}	2,69 Mpa	hyvät tartuntaolosuhteet
----------------	----------	----------	--------------------------

y-akselin suuntainen rauditus

raudoituksen jännitys	σ_{sd}	329,10 Mpa	
vaadittava ankkurointipituus	$L_{b,rqd}$	305 mm	
	a_1	700 mm	OK

z-akselin suuntainen rauditus

raudoituksen jännitys	σ_{sd}	405,04 Mpa	
vaadittava ankkurointipituus	$L_{b,rqd}$	375,98 mm	

a_2 550 mm OK

Ankkurointi (vino poikkileikkaus)

y-akselin suuntainen raudoitus

ankkurointivaatimus F_s 49,4 kN
ankkurointikestävyys F_{bd} 59,2 kN OK

z-akselin suuntainen raudoitus

ankkurointivaatimus F_s 37,0 kN
ankkurointikestävyys F_{bd} 59,2 kN OK

Lävistysmitoitus

c_1/d 0,83

c_2/d 0,83

B_1/c_1 8,00

B_2/c_2 6,50

murtokartion kaltevuus a/d 0,8 by211 osa 2 s. 201
 a 192 mm

murtokartion pohjan ala ΔA_{red} 0,269 m²

ΔV_{red} 22,5 kN

lävistyskuorma $V_{Ed,red}$ 114,5 kN

W_1 0,405 m²

lävistyspiiri u 2,01 m

c_1/c_2 1

k 0,6 by211 osa 2 s. 69

mitoitusjännitys v_{Ed} 0,336 Mpa

D 200 mm

C_{Rdc} 0,097

korkeuserroin k 1,91

suunta y

$L_{b,rqd}$ 305 mm

L_b 508 mm

RAUDOITUS TÄYSIN ANKKUROITU

ρ_y 0,0018

tehollinen raudoitusala $\rho_{y,eff}$ 0,0018

suunta z

$L_{b,rqd}$ 376 mm

	L_b	358 mm	RAUDOITUS EI OLE TÄYSIN ANKKURO
	ρ_z	0,0014	
tehollinen raudoitusala	$\rho_{z,eff}$	0,0014	
geometrinen raudoitussuhde	ρ_L	0,0015	
lävistyskestävyys	$V_{Rd,c}$	0,725 Mpa	
käyttöaste: lävistys		46,4 %	

ANTURAN MITOITUS A2

toteutusluokka 2

betonin lujuus <C50

pilari keskellä anturaa

Tukireaktiot Jigistä

taivutusmomentti z-akselin suhteen M_{Edz} 12,5 kNm
pystykuorma N_{Ed} 240 kN

anturan pituus B_1 1,8 m
anturan leveys B_2 1,6 m
anturan korkeus h_f 0,3 m
pilarin sivun pituus C_1 0,2 m
pilarin sivun pituus C_2 0,2 m

pystykuorma+ anturan paino N_{Ed} 261,6 kN
kuorman epäkeskisyyss e_y 0,0478 m
pohjapaine σ_{gd} 95,93 kPa

osavarmuuskerroin betonille γ_c 1,5 toteutusluokka 2
osavarmuuskerroin teräkselle γ_s 1,15 toteutusluokka 2
betonin ominaislujuus f_{ck} 25 Mpa < 50
puristuslujuuden keskiarvo f_{cm} 33 Mpa
vetolujuuden keskiarvo f_{ctm} 2,56 Mpa
ominaisvetolujuus $f_{ctk,0,05}$ 1,80 Mpa
puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd} 14,17 Mpa
vetolujuuden mitoitusarvo f_{ctd} 1,20 Mpa
teräksen myötölujuus f_{yk} 500 Mpa
teräksen mitoituslujuus f_{yd} 434,78 Mpa
betonipeite c_{nom} 50 mm
teräksen halkaisija T 10 mm
tehollinen korkeus d 240 mm

epäkeskisyyss e_y 0,0478 m
epäkeskisyyss e_z 0 m
 B_{1T} 1,70 m
 B_{2T} 1,60 m
tehollinen pinta-ala A_T 2,73 m²
pohjapaine σ_{gd} 95,93 kPa

ulokkeen pituus (y-suunta)	a_1	0,8 m
ulokkeen pituus (z-suunta)	a_2	0,7 m
momentti leikkauksessa A-A	M_{Ed1}	49,11 kNm
momentti leikkauksessa C-C	M_{Ed2}	40,06 kNm
vähimmäisraudoitusala	$A_{s,min}$	320 mm ² /m

Raudoituksen mitoitus

y-akselin suuntaan

suhteellinen momentti	μ	0,038
puristusvyöhykkeen suhteellinen koi	β	0,04
sisäinen momenttivarsi	z	235 mm
	$A_{s,vaad}$	480 mm ²
	$A_{s,min}$	512 mm ²

	kpl	T	$A_{s,tot}$	$A_{s,vaad}$		k-jako
valittu tankomäärä	10	10	785	512	OK	163 mm

z-akselin suuntaan

suhteellinen momentti	μ	0,027
puristusvyöhykkeen suhteellinen koi	β	0,03
sisäinen momenttivarsi	z	237 mm
	$A_{s,vaad}$	389 mm ²
	$A_{s,min}$	576 mm ²

	kpl	T	$A_{s,tot}$	$A_{s,vaad}$		k-jako
valittu tankomäärä	9	10	707	576	OK	209 mm

Ankkurointi (pystyleikkaus maksimimomentin kohdalla)

tartuntalujuus	f_{bd}	2,69 Mpa	hyvät tartuntaolosuhteet
----------------	----------	----------	--------------------------

y-akselin suuntainen raudoitus

raudoituksen jännitys	σ_{sd}	283,53 Mpa	
vaadittava ankkurointipituus	$L_{b,rqd}$	263 mm	
	a_1	800 mm	OK

z-akselin suuntainen raudoitus

raudoituksen jännitys	σ_{sd}	354,41 Mpa	
vaadittava ankkurointipituus	$L_{b,rqd}$	328,99 mm	
	a_2	700 mm	OK

Ankkurointi (vino poikkileikkaus)

y-akselin suuntainen raudoitus

ankkurointivaatimus	F_s	80,5 kN	
ankkurointikestävyys	F_{bd}	84,6 kN	OK

z-akselin suuntainen raudoitus

ankkurointivaatimus	F_s	74,4 kN	
ankkurointikestävyys	F_{bd}	76,1 kN	OK

Lävistysmitoitus

	c_1/d	0,83	
	c_2/d	0,83	
	B_1/c_1	9,00	
	B_2/c_2	8,00	
murtokartion kaltevuus	a/d	1	by211 osa 2 s. 201
	a	240 mm	
murtokartion pohjan ala	ΔA_{red}	0,373 m ²	
	ΔV_{red}	35,8 kN	
lävistyskuorma	$V_{Ed,red}$	225,8 kN	
	W_1	0,537 m ²	
lävistyspiiri	u	2,31 m	
	c_1/c_2	1	
	k	0,6	by211 osa 2 s. 69
mitoitusjäännitys	v_{Ed}	0,594 Mpa	
	D	200 mm	
	C_{Rdc}	0,097	
korkeuskerroin	k	1,91	

suunta y

	$L_{b,rqd}$	263 mm	
	L_b	560 mm	RAUDOITUS TÄYSIN ANKKUROITU
	ρ_y	0,0020	
tehollinen raudoitusala	$\rho_{y,eff}$	0,0020	

suunta z

	$L_{b,rqd}$	329 mm	
	L_b	460 mm	RAUDOITUS TÄYSIN ANKKUROITU
	ρ_z	0,0016	

tehollinen raudoitusala	$\rho_{z,eff}$	0,0016
geometrinen raudoitussuhde	ρ_L	0,0018
lävistyskestävyys	$v_{Rd,c}$	0,613 Mpa
käyttöaste: lävistys		96,9 %

LIITE 2: LIIMAPUUPALKIN MITOITUSLASKELMA

Käyttöluokka 2

Kuormitusyhdistelmät

KY1: $1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (tuuli) + $1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2}$ (lumi)

KY2: $1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (lumi)

KY3: $1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (lumi) + $1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2}$ (tuuli)

		Statiikkaohjelmasta		
		M_d	V_d	N_d
aikaluokka	k_{mod}	kNm	kN	kN
hetkellinen	1,1	180,4	87,5	12,9
keskipitkä	0,8	244,7	118,6	0
keskipitkä	0,8	244,7	118,6	7,8

KY1

mitoitusmomentti	M_d	180,4 kNm
mitoitusleikkausvoima	V_d	87,5 kN
mitoitusnormaalivoima	N_d	12,9 kN
	k_{mod}	1,1

Palkin lähtötiedot

		GL30c	
taivutus	$f_{m,k}$	30	N/mm ²
leikkaus	$f_{v,k}$	3,5	N/mm ²
puristus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	25	N/mm ²
puristus kohtisuoraan syitä vastaan	$f_{c,90,k}$	3	N/mm ²
kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	13000	N/mm ²
kimmomoduuli	$E_{0,05}$	10800	N/mm ²
osavarmuusluku	γ_M	1,2	
palkin leveys	b	190	mm
palkin korkeus	h	675	mm
palkin pituus	L	8,25	m
tuen pituus	l_A	180	mm

Puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutus nurjahduskestävyyden vahvempaan suuntaan

nurjahduskerroin		1	
nurjahduspituus	$L_{c,z}$	8,25	m
jäyhyysmomentti	I_y	4,87E+09	mm ⁴
poikkileikkausala	A	128250	mm ²
hitaussäde	i_y	194,9	mm
hoikkuusluku	λ_y	42,34	
muunnettu hoikkuusluku	$\lambda_{rel,y}$	0,65	
alkukäyrydestä riippuva kerroin	β_c	0,1	liimapuu
kerroin	k_y	0,73	
		0,95	
nurjahduskerroin	$k_{c,y}$	0,95	
puristusjännitys	$\sigma_{c,0,d}$	0,10	N/mm ²
muunnoskerroin	k_{mod}	1,10	
puristuslujuus	$f_{c,0,d}$	22,92	N/mm ²
taivutusjännitys	$\sigma_{m,y,d}$	12,50	N/mm ²
taivutuslujuus	$f_{m,d}$	27,50	N/mm ²
käyttöaste		45,9	%

Leikkauskestävyys

leikkausvoima	V_d	87500	N	
tehollisen leveyden kerroin	k_{cr}	0,67		RIL 205-1-2009 s.69
tehollinen leveys	b_{eff}	127	mm	
leikkausjännitys	τ_d	1,53	N/mm ²	
leikkauslujuus	$f_{v,d}$	3,21	N/mm ²	
käyttöaste		47,6	%	

Tukipainekestävyys

tukireaktio	N_d	87500	N
-------------	-------	-------	---

puristusjännitys	$\sigma_{c,90,d}$	2,56 N/mm ²
puristuslujuus syysuuntaa vastaan	$f_{c,90,d}$	2,75 N/mm ²
kerroin	$k_{c,90}$	1,50 havupuinen liimapuu
tehollinen kosketuspinnan pituus	$l_{c,90,ef}$	210
tukipainekerroin	$k_{c,\perp}$	1,75
käyttöaste		53,2 %

KY2

mitoitusmomentti	M_d	244,7 kNm
mitoitusleikkausvoima	V_d	118,6 kN
mitoitusnormaalivoima	N_d	0 kN
	k_{mod}	0,8

Palkin lähtötiedot

		GL30c
taivutus	$f_{m,k}$	30 N/mm ²
leikkaus	$f_{v,k}$	3,5 N/mm ²
puristus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	25 N/mm ²
puristus kohtisuoraan syitä vastaan	$f_{c,90,k}$	3 N/mm ²
kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	13000 N/mm ²
kimmomoduuli	$E_{0,05}$	10800 N/mm ²
osavarmuusluku	γ_M	1,2
palkin leveys	b	190 mm
palkin korkeus	h	675 mm
palkin pituus	L	8,25 m
tuen pituus	l_A	180 mm

Puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutus nurjahduskestävyys vahvempaan suuntaan

nurjahduskerroin		1
nurjahduspituus	$L_{c,z}$	8,25 m
jäyhyysmomentti	I_y	4,87E+09 mm ⁴
poikkileikkausala	A	128250 mm ²
hitaussäde	i_y	194,9 mm
hoikkuusluku	λ_y	42,34
muunnettu hoikkuusluku	$\lambda_{rel,y}$	0,65
alkukäyryydestä riippuva kerroin	β_c	0,1 liimapuu
kerroin	k_y	0,73
		0,95
nurjahduskerroin	$k_{c,y}$	0,95
puristusjännitys	$\sigma_{c,0,d}$	0,00 N/mm ²
muunnoskerroin	k_{mod}	0,80
puristuslujuus	$f_{c,0,d}$	16,67 N/mm ²
taivutusjännitys	$\sigma_{m,y,d}$	16,96 N/mm ²
taivutuslujuus	$f_{m,d}$	20,00 N/mm ²
käyttöaste		84,8 %

Leikkauskestävyys

leikkausvoima	V_d	118600 N	
tehollisen leveyden kerroin	k_{cr}	0,67	RIL 205-1-2009 s.69
tehollinen leveys	b_{eff}	127 mm	
leikkausjännitys	τ_d	2,07 N/mm ²	
leikkauslujuus	$f_{v,d}$	2,33 N/mm ²	
käyttöaste		88,7 %	

Tukipainekestävyys

tukireaktio	N_d	118600 N
-------------	-------	----------

puristusjännitys	$\sigma_{c,90,d}$	3,47 N/mm ²
puristuslujuus syysuuntaa vastaan	$f_{c,90,d}$	2,00 N/mm ²
kerroin	$k_{c,90}$	1,50 havupuinen liimapuu
tehollinen kosketuspinnan pituus	$l_{c,90,ef}$	210
tukipainekerroin	$k_{c,\perp}$	1,75
käyttöaste		99,1 %

KY3

mitoitusmomentti	M_d	244,7 kNm
mitoitusleikkausvoima	V_d	118,6 kN
mitoitusnormaalivoima	N_d	7,8 kN
	k_{mod}	0,8

Palkin lähtötiedot

		GL30c
taivutus	$f_{m,k}$	30 N/mm ²
leikkaus	$f_{v,k}$	3,5 N/mm ²
puristus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	25 N/mm ²
puristus kohtisuoraan syitä vastaan	$f_{c,90,k}$	3 N/mm ²
kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	13000 N/mm ²
kimmomoduuli	$E_{0,05}$	10800 N/mm ²
osavarmuusluku	γ_M	1,2
palkin leveys	b	190 mm
palkin korkeus	h	675 mm
palkin pituus	L	8,25 m
tuen pituus	l_A	180 mm

Puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutus nurjahduskestävyys vahvempaan suuntaan

nurjahduskerroin		1
nurjahduspituus	$L_{c,z}$	8,25 m
jäyhyysmomentti	I_y	4,87E+09 mm ⁴
poikkileikkausala	A	128250 mm ²
hitaussäde	i_y	194,9 mm
hoikkuusluku	λ_y	42,34
muunnettu hoikkuusluku	$\lambda_{rel,y}$	0,65
alkukäyrydestä riippuva kerroin	β_c	0,1 liimapuu
kerroin	k_y	0,73
		0,95
nurjahduskerroin	$k_{c,y}$	0,95
puristusjännitys	$\sigma_{c,0,d}$	0,06 N/mm ²
muunnoskerroin	k_{mod}	0,80
puristuslujuus	$f_{c,0,d}$	16,67 N/mm ²
taivutusjännitys	$\sigma_{m,y,d}$	16,96 N/mm ²
taivutuslujuus	$f_{m,d}$	20,00 N/mm ²
käyttöaste		85,2 %

Leikkauskestävyys

leikkausvoima	V_d	118600 N	
tehollisen leveyden kerroin	k_{cr}	0,67	RIL 205-1-2009 s.69
tehollinen leveys	b_{eff}	127 mm	
leikkausjännitys	τ_d	2,07 N/mm ²	
leikkauslujuus	$f_{v,d}$	2,33 N/mm ²	
käyttöaste		88,7 %	

Tukipainekestävyys

tukireaktio	N_d	118600 N
-------------	-------	----------

puristusjännitys	$\sigma_{c,90,d}$	3,47 N/mm ²
puristuslujuus syysuuntaa vastaan	$f_{c,90,d}$	2,00 N/mm ²
kerroin	$k_{c,90}$	1,50 havupuinen liimapuu
tehollinen kosketuspinnan pituus	$l_{c,90,ef}$	210
tukipainekerroin	$k_{c,\perp}$	1,75
käyttöaste		99,1 %

LIITE 3: RANKASEINIEN JÄYKISTYSLASKELMAT

Takaseinän vinolaudoitus

seinän tuulikuorma painepuolella	$q_{w,k,p}$	0,19 kN/m ²
seinän tuulikuorma imupuolella	$q_{w,k,i}$	0,45 kN/m ²
päädyn tuulikuorman kuormitusleveys	b	7,75 m
päätykolmion kuormitusala	A	10 m ²
tasainen kuorma imupuolella	$q_{w,k,1}$	3,49 kN/m
pistekuorma imupuolella	$F_{w,k,1}$	4,50 kN
tasainen kuorma painepuolella	$q_{w,k,2}$	1,47 kN/m
pistekuorma painepuolella	$F_{w,k,2}$	1,90 kN

KY1: hetkellinen aikaluokka

Seuraamusluokka	CC2	
Käyttöluokka	2	
Seuraamusluokan kuormakerroin	K_{Fl}	1,0
tasainen kuorma painepuolella	$p_{d,p}$	2,21 kN/m
pistekuorma painepuolella	$F_{d,p}$	2,85 kN
tasainen kuorma imupuolella	$p_{d,i}$	5,23 kN/m
pistekuorma imupuolella	$F_{d,i}$	6,75 kN
seinän korkeus	h	3,0 m
vinolaudoituksen leikkausvoima	V_d	15,96 kN

Vinolaudoituksen puristuskestävyys

runkotolppajako	k	600 mm
vinolaudoituksen kulma		45°
laudan leveys	b	100 mm
laudan paksuus	h	25 mm
laudan poikkileikkausala	A	2500 mm ²
puristuslujuus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	16 N/mm ²
kimmomoduuli	$E_{0,05}$	4700 N/mm ²
osavarmuusluku	γ_M	1,4
nurjahduspituus	$L_{c,y}$	849 mm
jäyhyysmomentti	I_y	130208,3 mm ⁴
hitaussäde	i_y	7,22 mm
hoikkuusluku	λ_y	117,58
muunnettu hoikkuusluku	$\lambda_{rel,y}$	2,18
	β_c	0,20 sahatavara

nurjahduskerroin	k_y	3,07
	$k_{c,y}$	0,19
	k_{mod}	1,10
puristuslujuus	$f_{c,0,d}$	12,57 N/mm ²
puristuskestävyys	$N_{R,d}$	6,00 kN

Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle

vinolaudoituksen k-jako	k	600 mm
vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa	s	849 mm
ulkoseinän pituus	L	37300 mm

kestävyys leikkausvoimalle $V_{R,d}$ 4,25 kN

$V_{R,d,seinä}$ 186,65 kN

käyttöaste 8,6 %

Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys

		2,8x75 konenaula
valitaan naulojen lkm		2 kpl/lauta
naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo	R_d	0,590 kN
vinolaudan naulauksen kestävyys laudan suunnassa	N_d	0,51 kN
käyttöaste/lauta		43,5 %
vinolaudan naulauksen kestävyys seinän suunnassa	$V_{R,d,seinä}$	51,87 kN
käyttöaste/seinä		30,8 %

Ankkurointi KY1

pistekuormien resultantti	H_1	9,60 kN
tasaisten kuormien resultantti	H_2	22,32 kN
seinän korkeus	h	3,0 m
seinän pituus	L	37,3 m
teräksen vetovoima nurkassa	N_d	1,67 kN
harjateräksen halkaisija	T	10 mm
harjateräksen ominaislujuus	f_{yk}	500 N/mm ²
harjateräksen mitoituslujuus	f_{yd}	434,78 N/mm ²
teräksen poikkileikkausala	A	78,5 mm ²
teräksen vetokestävyys	F_d	34,1 kN
		4,9 %

Pääty- ja väliseinien vinolaudoitus

seinän tuulikuorma painepuolella	$q_{w,k,p}$	0,92 kN/m ²
seinän tuulikuorma imupuolella	$q_{w,k,i}$	0,19 kN/m ²
tuulikuorman kuormitusleveys	b	8,25 m
aukon yläpuolisen osan kuormitusala	A	35 m ²
tasainen kuorma imupuolella	$q_{w,k,1}$	1,57 kN/m
pistekuorma imupuolella	$F_{w,k,1}$	6,65 kN
tasainen kuorma painepuolella	$q_{w,k,2}$	7,59 kN/m
pistekuorma painepuolella	$F_{w,k,2}$	32,20 kN

KY1: hetkellinen aikaluokka

Seuraamusluokka	CC2	
Käyttöluokka	2	
Seuraamusluokan kuormakerroin	K_{Fl}	1,0
tasainen kuorma painepuolella	$p_{d,p}$	11,39 kN/m
pistekuorma painepuolella	$F_{d,p}$	48,30 kN
tasainen kuorma imupuolella	$p_{d,i}$	2,35 kN/m
pistekuorma imupuolella	$F_{d,i}$	9,98 kN
seinän korkeus	h	3,0 m
vinolaudoituksen leikkausvoima	V_d	49,74 kN

Vinolaudoituksen puristuskestävyys

runkotolppajako	k	600 mm
vinolaudoituksen kulma		45°
laudan leveys	b	100 mm
laudan paksuus	h	25 mm
laudan poikkileikkausala	A	2500 mm ²
puristuslujuus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	16 N/mm ²
kimmomoduuli	$E_{0,05}$	4700 N/mm ²
osavarmuusluku	γ_M	1,4
nurjahduspituus	$L_{c,y}$	849 mm
jäyhysmomentti	I_y	130208,3 mm ⁴
hitaussäde	i_y	7,22 mm
hoikkuusluku	λ_y	117,58
muunnettu hoikkuusluku	$\lambda_{rel,y}$	2,18
	β_c	0,20 sahatavara

nurjahduskerroin	k_y	3,07
	$k_{c,y}$	0,19
	k_{mod}	1,10
puristuslujuus	$f_{c,0,d}$	12,57 N/mm ²
puristuskestävyys	$N_{R,d}$	6,00 kN

Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle

vinolaudoituksen k-jako	k	400 mm
vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa	s	566 mm
ulkoseinän pituus	L	15500 mm
kestävyys leikkausvoimalle	$V_{R,d}$	4,25 kN
	$V_{R,d,seinä}$	116,34 kN
käyttöaste		42,8 %

Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys

		3,1x90 konenaula
valitaan naulojen lkm		4 kpl/lauta
naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo	R_d	0,710 kN
vinolaudan naulauksen kestävyys laudan suunnassa	N_d	2,57 kN
käyttöaste/lauta		90,4 %
vinolaudan naulauksen kestävyys seinän suunnassa	$V_{R,d,seinä}$	77,82 kN
käyttöaste/seinä		63,9 %

Ankkurointi KY1

pistekuormien resultantti	H_1	38,85 kN
tasaisten kuormien resultantti	H_2	27,47 kN
seinän korkeus	h	3,0 m
seinän pituus	L	15,5 m
teräksen vetovoima nurkassa	N_d	10,18 kN
harjateräksen halkaisija	T	10 mm
harjateräksen ominaislujuus	f_{yk}	500 N/mm ²
harjateräksen mitoituslujuus	f_{yd}	434,78 N/mm ²
teräksen poikkileikkausala	A	78,5 mm ²
teräksen vetokestävyys	F_d	34,1 kN
		29,8 %

LIITE 4: NR-RISTIKKOYLÄPOHJAN JÄYKISTYS VINOSITEIN

rakennuksen pituus	l	37,3 m
rakennuksen leveys	b	15,5 m
rakennuksen korkeus	h	9 m

Yläpohjan kuormat

yläpohja	g_k	0,3 kN/m ²	
lumikuorma katolla	q_k	2 kN/m ²	
nopeuspaine	$q_p(z)$	0,64 kN/m ²	
tuulikuorma päätyseinälle	$q_{w,k}$	0,64 kN/m ²	Paine + imu päätyseinä

Jäykisteiden kuormat

Päätykolmion tuulikuorma alapaarteen tasossa

kattoristikon keskimääräinen korkeus	h_m	2190 mm
Päätykolmion tuulikuorma alapaarteen tasossa	$q_{w,k,1}$	0,70 kN/m

Päätyseinän tuulikuorma alapaarteen tasossa

Seinän kuormituskorkeus alapaarteelle	h	2840 mm
Päätyseinän tuulikuorma alapaarteen tasossa	$q_{w,k,2}$	1,82 kN/m

Alapaarteen tason tuulikuorma

	$q_{w,k,alap}$	2,52 kN/m
--	----------------	-----------

Päätykolmion tuulikuorma yläpaarteen tasossa

	$q_{w,k,3}$	0,70 kN/m
--	-------------	-----------

Katon kitkan aiheuttama tuulikuorma yläpaarteen tasossa

kitkakerroin	C_{fr}	0,04
	$2b$	31 m
	$4h$	36 m
kitkakuorman vaikutuspituus	L_{fr}	6,3 m
Kitkan aih. tuulikuorma yläpaarteen tasossa	$q_{fr,k}$	0,16 kN/m

Yläpaarteen tason tuulikuorma

	$q_{w,k,yläp}$	0,86 kN/m
--	----------------	-----------

Yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima omapainosta

kattoristikon jänneväli	l	15,5 m
kattoristikkojako	k	900 mm
tasainen kuorma	$p_{k,omap}$	0,27 kN/m
momentti	$M_{k,omap}$	8,11 kNm
Keskimääräinen puristusvoima	$N_{k,omap}$	3,70 kN

Sisäinen jäykistyskuorma yläpaarteen tasossa omapainosta

jäykistysjärjestelmän jänneväli l on pisin mahdollinen nurjahdusaallon pituus eli tässä tapauksessa lappeen pituus

lappeen pituus ilman räystästä	l	8150 mm
	k_j	1
ristikoiden lkm	n	41 kpl
sisäinen jäykistyskuorma omapainosta	$q_{k,omap}$	0,37 kN/m

Yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima lumikuormasta

kattoristikon jänneväli	l	15,5 m
kattoristikkojako	k	900 mm

tasainen kuorma	$P_{k,lumi}$	1,8 kN/m
momentti	$M_{k,lumi}$	54,06 kNm
Keskimääräinen puristusvoima	$N_{k,lumi}$	24,68 kN

Sisäinen jäykistyskuorma yläpaarten tasossa lumikuormasta

jäykistysjärjestelmän jänneväli l on pisin mahdollinen nurjahdusaallon pituus eli tässä tapauksessa lappeen pituus

lapeen pituus ilman räystästä	l	8150 mm
	k_f	1
ristikoiden lkm	n	41 kpl
sisäinen jäykistyskuorma lumikuormasta	$q_{k,lumi}$	2,48 kN/m

Yläpaarten tasossa olevien jäykisteiden kokonaiskuorma

yläpaarteiden sisäinen jäykistyskuorma omapainosta	$q_{k,omap}$	0,37 kN/m
yläpaarteiden sisäinen jäykistyskuorma lumikuormasta	$q_{k,lumi}$	2,48 kN/m
tuulikuorma päätykolmiolta ja katon kitkasta	$q_{w,k,yläp}$	0,86 kN/m

Kuormitusyhdistelmät

Seuraamusluokka	CC2	
Käyttöluokka	2	
Seuraamusluokan kuormakerroin	K_{FI}	1,0
lumikuorman yhdistelykerroin	ψ_0	0,7
tuulikuorman yhdistelykerroin	ψ_0	0,6

KY1: hetkellinen aikaluokka

$$1,15K_{FI}G_{kj} \text{ (omap.)} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} \text{ (tuuli)} + 1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2} \text{ (lumi)}$$

yläpaarteen tason MRT-kuorma $P_{d,yläp}$ 4,33 kN/m

KY2: keskipitkä aikaluokka

$1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (lumi)

yläpaarteen tason MRT-kuorma $P_{d,yläp}$ 4,15 kN/m

KY3: hetkellinen aikaluokka

$1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (lumi) + $1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2}$ (tuuli)

yläpaarteen tason MRT-kuorma $P_{d,yläp}$ 4,93 kN/m

Ristikoiden tuulituenta KY1: hetkellinen aikaluokka

tuettava voima yp-tasolla	$F_{d,yläp}$	70,57 kN
tuulituentalinjojen lkm	n	5 kpl
tuettava voima /linja	$F_{d,jäykistelinja}$	17,64 kN
tukiristikkojen lkm	n	10 kpl
tuettava voima /tukiristikko	$F_{d,jäykiste}$	1,76 kN
naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo	R_d	0,590 kN
nauloja tarvitaan /liitos	n	3,0 kpl

KY2: keskipitkä aikaluokka

$F_{d,yläp}$	67,70 kN
n	5 kpl
$F_{d,jäykistelinja}$	16,93 kN
n	10 kpl
$F_{d,jäykiste}$	1,69 kN
$2,8 \times 75 R_d$	0,440 kN
n	3,8 kpl

KY3: hetkellinen aikaluokka

$F_{d,yläp}$	80,35 kN
n	5 kpl
$F_{d,jäykistelinja}$	20,09 kN
n	10 kpl
$F_{d,jäykiste}$	2,01 kN
R_d	0,590 kN
n	3,4 kpl

Ruoteiden kiinnitys yksittäiseen kattoristikoon KY2: keskipitkä aikaluokka

yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima $N_{d,yläp}$ 41,28 kN

yhden ruoteen liitosvoima, ruoteet k300
naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo
nauloja tarvitaan /liitos

$F_{d,600}$	0,83 kN	
$F_{d,ruode}$	0,41 kN	
R_d	0,440 kN	2,8x75 konenaula
n	0,9 kpl	

Alapaarteen vinolaudoitus

KY1: hetkellinen aikaluokka

tuulikuorma alapaarteen tasossa
tuulikuorma jäykisteristikoilta
vinolaudoituksen leikkausvoima

$p_{d,tuuli,alap}$	3,78 kN/m
$F_{d,alap}$	17,64 kN
V_d	55,74 kN

Vinolaudoituksen puristuskestävyys

vinolaudoituksen kulma
laudan leveys
laudan paksuus
laudan poikkileikkausala
puristuslujuus syysuuntaan
kimmomoduuli
osavarmuusluku

	45 °
b	100 mm
h	25 mm
A	2500 mm ²
$f_{c,0,k}$	16 N/mm ²
$E_{0,05}$	4700 N/mm ²
γ_M	1,4

nurjahduspituus
jäyhyysmomentti
hitaussäde
hoikkuusluku
muunnettu hoikkuusluku

$L_{c,y}$	1273 mm
I_y	130208,3 mm ⁴
i_y	7,22 mm
λ_y	176,36
$\lambda_{rel,y}$	3,28
β_c	0,20 sahatavara

nurjahduskerroin	k_y	6,16
	$k_{c,y}$	0,09
	k_{mod}	1,10
puristuslujuus	$f_{c,0,d}$	12,57 N/mm ²
puristuskestävyys	$N_{R,d}$	2,76 kN

Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle

vinolaudoituksen k-jako	k	500 mm
vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa	s	707 mm
ulkoseinän pituus	L	37300 mm
kestävyys leikkausvoimalle	$V_{R,d}$	1,95 kN
	$V_{R,d,seinä}$	103,00 kN
käyttöaste		54,1 %

Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys

valitaan naulojen lkm		3 kpl/lauta
naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo	R_d	0,590 kN
vinolaudan naulauksen kestävyys laudan suunnassa	N_d	1,49 kN
käyttöaste/lauta		84,4 %
vinolaudan naulauksen kestävyys seinän suunnassa	$V_{R,d,seinä}$	93,37 kN
käyttöaste/seinä		59,7 %

2,8x75 konenaula

LIITE 5: NR-RISTIKKOYLÄPOHJAN JÄYKISTYS NR-RAKENTEIN

rakennuksen pituus	l	37,3 m
rakennuksen leveys	b	15,5 m
rakennuksen korkeus	h	9 m

Yläpohjan kuormat

yläpohja	g_k	0,3 kN/m ²	
lumikuorma katolla	q_k	2 kN/m ²	
nopeuspaine	$q_p(z)$	0,64 kN/m ²	
tuulikuorma päätyseinälle	$q_{w,k}$	0,64 kN/m ²	Paine + imu päätyseinä

Jäykisteiden kuormat

Päätykolmion tuulikuorma alapaarteen tasossa

kattoristikon keskimääräinen korkeus	h_m	2190 mm
Päätykolmion tuulikuorma alapaarteen tasossa	$q_{w,k,1}$	0,70 kN/m

Päätyseinän tuulikuorma alapaarteen tasossa

Seinän kuormituskorkeus alapaarteelle	h	2840 mm
Päätyseinän tuulikuorma alapaarteen tasossa	$q_{w,k,2}$	1,82 kN/m

Alapaarteen tason tuulikuorma

	$q_{w,k,alap}$	2,52 kN/m
--	----------------	-----------

Päätykolmion tuulikuorma yläpaarteen tasossa

	$q_{w,k,3}$	0,70 kN/m
--	-------------	-----------

Katon kitkan aiheuttama tuulikuorma yläpaarteen tasossa

kitkakerroin	c_{fr}	0,04
	2b	31 m
	4h	36 m
kitkakuorman vaikutuspituus	L_{fr}	6,3 m
Kitkan aih. tuulikuorma yläpaarteen tasossa	$q_{fr,k}$	0,16 kN/m

Yläpaarteen tason tuulikuorma

	$q_{w,k,yläp}$	0,86 kN/m
--	----------------	-----------

Yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima omapainosta

kattoristikon jänneväli	l	15,5 m
kattoristikkojako	k	900 mm
tasainen kuorma	$p_{k,omap}$	0,27 kN/m
momentti	$M_{k,omap}$	8,11 kNm
Keskimääräinen puristusvoima	$N_{k,omap}$	3,70 kN

Sisäinen jäykistyskuorma yläpaarteen tasossa omapainosta

jäykistysjärjestelmän jänneväli l on pisin mahdollinen nurjahdusaallon pituus eli tässä tapauksessa lappeen pituus

lappeen pituus ilman räystästä	l	8150 mm
	k_l	1
ristikoiden lkm	n	41 kpl
sisäinen jäykistyskuorma omapainosta	$q_{k,omap}$	0,37 kN/m

Yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima lumikuormasta

kattoristikon jänneväli	l	15,5 m
kattoristikkojako	k	900 mm

tasainen kuorma	$P_{k,lumi}$	1,8 kN/m
momentti	$M_{k,lumi}$	54,06 kNm
Keskimääräinen puristusvoima	$N_{k,lumi}$	24,68 kN

Sisäinen jäykistyskuorma yläpaarten tasossa lumikuormasta

jäykistysjärjestelmän jänneväli l on pisin mahdollinen nurjahdusaallon pituus eli tässä tapauksessa lappeen pituus

lappeen pituus ilman räystästä	l	8150 mm
	k_l	1
ristikoiden lkm	n	41 kpl
sisäinen jäykistyskuorma lumikuormasta	$Q_{k,lumi}$	2,48 kN/m

Yläpaarten tasossa olevien jäykisteiden kokonaiskuorma

yläpaarteiden sisäinen jäykistyskuorma omapainosta	$Q_{k,omap}$	0,37 kN/m	ilmoitetaan NR-suunnittelijalle
yläpaarteiden sisäinen jäykistyskuorma lumikuormasta	$Q_{k,lumi}$	2,48 kN/m	ilmoitetaan NR-suunnittelijalle
tuulikuorma päätykolmiolta ja katon kitkasta	$Q_{w,k,yläp}$	0,86 kN/m	ilmoitetaan NR-suunnittelijalle

Kuormitusyhdistelmät

Seuraamusluokka	CC2	
Käyttöluokka	2	
Seuraamusluokan kuormakerroin	K_{FI}	1,0
lumikuorman yhdistelykerroin	ψ_0	0,7
tuulikuorman yhdistelykerroin	ψ_0	0,6

KY1: hetkellinen aikaluokka

$$1,15K_{FI}G_{kj} \text{ (omap.)} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} \text{ (tuuli)} + 1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2} \text{ (lumi)}$$

yläpaarten tason MRT-kuorma $P_{d,yläp}$ 4,33 kN/m

KY2: keskipitkä aikaluokka

$1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (lumi)

yläpaarten tason MRT-kuorma $P_{d,yläp}$ 4,15 kN/m

KY3: hetkellinen aikaluokka

$1,15K_{FI}G_{kj}$ (omap.) + $1,5K_{FI}Q_{k,1}$ (lumi) + $1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2}$ (tuuli)

yläpaarten tason MRT-kuorma $P_{d,yläp}$ 4,93 kN/m

NR-jäykisteristikon ja NR-pukkien kuormat MRT

Yläpohjassa olevien jäykistesysteemien lukumäärä

n 4

omapaino tuuli lumi

yhden jäykisteen kuormitus KY1 (hetkellinen aikaluokka) $P_{d,jäykiste,1}$ 1,08 kN/m 0,11 0,32 0,65

yhden jäykisteen kuormitus KY2 (keskipitkä aikaluokka) $P_{d,jäykiste,1}$ 1,04 kN/m 0,11 0 0,93

yhden jäykisteen kuormitus KY3 (hetkellinen aikaluokka) $P_{d,jäykiste,1}$ 1,23 kN/m 0,11 0,19 0,93

tukireaktio sisäisestä jäykistyskuormasta KY1 $F_{d,1}$ 6,19 kN

tukireaktio sisäisestä jäykistyskuormasta KY2 $F_{d,1}$ 8,46 kN

tukireaktio sisäisestä jäykistyskuormasta KY3 $F_{d,1}$ 8,46 kN

naulojen lkm lisäruoteissa n 6 kpl

naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo R_d 0,590 kN 2,8x75 konenaula

lisäruoteita tarvitaan KY1 n 1,7 kpl

lisäruoteita tarvitaan KY2 n 3,2 kpl 0,440 kN

lisäruoteita tarvitaan KY3 n 2,4 kpl

Ruoteiden kiinnitys yksittäiseen kattoristikoon KY2: keskipitkä aikaluokka

yläpaarten keskimääräinen puristusvoima	$N_{d,yläp}$	41,28 kN
	$F_{d,600}$	0,83 kN
yhden ruoteen liitosvoima, ruoteet k300	$F_{d,ruode}$	0,41 kN
naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo	R_d	0,440 kN
nauloja tarvitaan /liitos	n	0,9 kpl

2,8x75 konenaula

Ruoteiden kiinnitys NR-jäykisteristikoon KY2: keskipitkä aikaluokka

ruodejako	k	300 mm
yhden jäykisteristikon kuorma	$P_{d,jäykiste,1}$	1,04 kN/m
ruoteen kiinnitys jäykisteristikon viereisiin kattoristikoihin	$F_{d,ruode, jäykiste}$	0,3 kN
naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo	R_d	0,440 kN
nauloja tarvitaan /liitos	n	0,7 kpl

2,8x75 konenaula

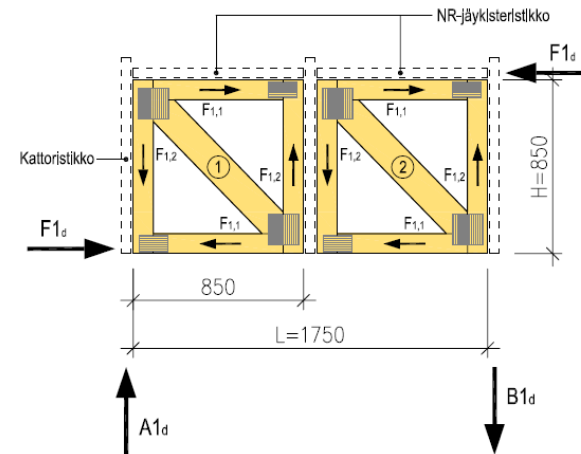
Ruoteiden nurjahdus- ja vetokestävyys

vierekkäisten jäykisteyksiköiden määrä yhdessä	n	2
ruodevoima jäykisteyksikön kohdalla	$N_{d,ruode}$	0,62 kN

Ruodevoima yksittäisen kattoristikon S-nurjahdusmuodost: $N_{d,ruode}$ 0,41 kN

Tukireaktiot seinälinjan pukeissa

NR-pukin korkeus seinällä	H	858 mm
2xNR-pukin leveys+ristikon leveys	L	1758 mm
vierekkäisten jäykisteyksiköiden määrä yhdessä	n	2
tuulikuorman tukireaktio NR-jäykisteristikon päässä	$F_{k,w}$	0,88 kN



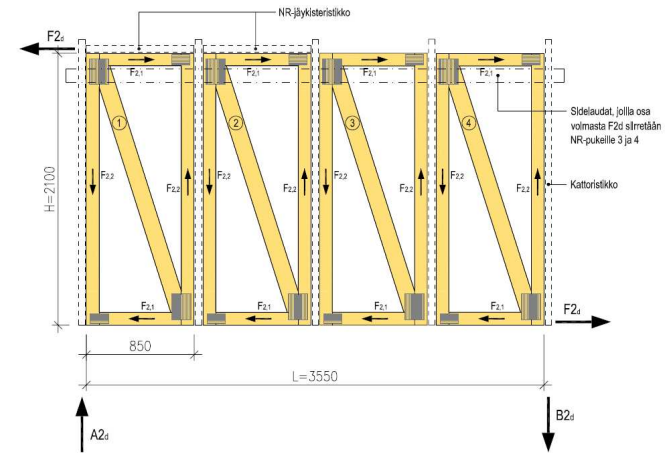
Tukireaktiot harjalinjan pukeissa

NR-pukin korkeus harjalla
4xNR-pukin leveys+3ristikon leveys
vierekkäisten jäykisteyksiköiden määrä yhdessä
tuulikuorman tukireaktio NR-jäykisteristikon päässä

$F1_k$	1,76 kN
$A1_k$	0,86 kN
$B1_k$	0,86 kN

H	3420 mm
L	3558 mm
n	4 kpl
$F_{k,w}$	0,88 kN
$F2_k$	3,51 kN
$A2_k$	3,38 kN
$B2_k$	3,38 kN

ilmoitetaan NR-suunnittelijalle



ilmoitetaan NR-suunnittelijalle

ilmoitetaan NR-suunnittelijalle

Alapaarteen vinolaudoitus

KY1: hetkellinen aikaluokka

tuulikuorman tukireaktio NR-jäykisteristikon päässä MRT	$F2_d$	5,27 kN
tuulikuorma alapaarteen tasossa	$p_{d,tuuli,alap}$	3,78 kN/m
tuulikuorma NR-pukeilta	$F_{d,alap}$	5,27 kN
vinolaudoituksen leikkausvoima	V_d	31,91 kN

Vinolaudoituksen puristuskestävyys

vinolaudoituksen kulma 45°

laudan leveys	b	100 mm
laudan paksuus	h	25 mm
laudan poikkileikkausala	A	2500 mm ²
puristuslujuus syysuuntaan	f _{c,0,k}	16 N/mm ²
kimmomoduuli	E _{0,05}	4700 N/mm ²
osavarmuusluku	γ _M	1,4
nurjahduspituus	L _{c,y}	1273 mm
jäyhyysmomentti	I _y	130208,3 mm ⁴
hitaussäde	i _y	7,22 mm
hoikkuusluku	λ _y	176,36
muunnettu hoikkuusluku	λ _{rel,y}	3,28
	β _c	0,20 sahatavara
	k _y	6,16
nurjahduskerroin	k _{c,y}	0,09
	k _{mod}	1,10
puristuslujuus	f _{c,0,d}	12,57 N/mm ²
puristuskestävyys	N _{R,d}	2,76 kN

Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle

vinolaudoituksen k-jako	k	600 mm
vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa	s	849 mm
ulkoseinän pituus	L	37300 mm
kestävyys leikkausvoimalle	V _{R,d}	1,95 kN
	V _{R,d,seinä}	85,84 kN
käyttöaste		37,2 %

Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys

valitaan nauhojen lkm

naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo

vinolaudan naulauksen kestävyys laudan suunnassa
käyttöaste/lauta

vinolaudan naulauksen kestävyys seinän suunnassa
käyttöaste/seinä

	2 kpl/lauta	
R_d	0,590 kN	2,8x75 konenaula
N_d	1,03 kN	
	87,0 %	
$V_{R,d,seinä}$	51,87 kN	
	61,5 %	