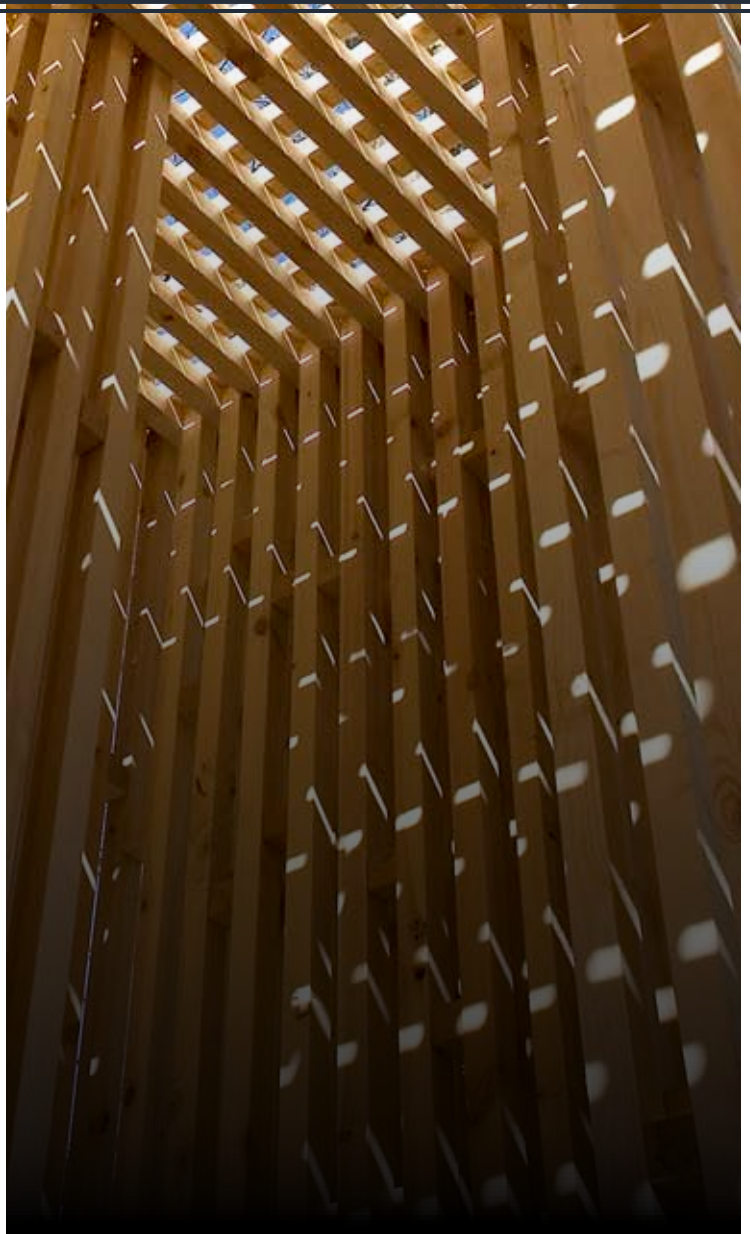




EC 5 Sovelluslaskelmat Hallirakennus

Toinen painos

Eurokoodi 5



EC 5 sovelluslaskelmat Hallirakennus

ALKUSANAT

Tämä ohje on laadittu helpottamaan EC 5 -pohjaista suunnittelua. Ohjeessa on esitetty rakennelaskelmia puurunkoisesta hallista, jotka on valittu siten, että niillä voitaisiin esitellä mahdollisimman laajasti Eurocode 5:n soveltamista käytännön suunnittelutyössä. Esitetyt sovelluslaskelmat eivät ole kaikilta osin täydellisiä ja ne ovat vain osa hallin rakennesuunnittelua. Näin ollen **tämä ohje ei ole hallin rakennesuunnitelmien asiakirjaohje eikä hallin mallirakennesuunnitelmaohje**. Tässä ohjeessa esitetyt kaava- ja taulukkoviihtaukset sekä kuormitusviittaukset tarkoittavat ohjetta *RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnittelu* ellei toisin ole mainittu. Kuormitukset on käsitelty laajemmin ohjeessa *RIL 201-1-2008 Suunnittelu-perusteet ja rakenteiden kuormat*.

Sisällys

ALKUSANAT	5
1 RAKENNELASKELMIEN SELOSTUS	8
1.1 Perustiedot	8
1.2 Rakenteellinen järjestelmä	9
1.3 Normit ja kuormitukset	10
1.4 Materiaalien lujuusluokat yleensä	10
1.5 Laskentamenetelmät	10
2 RAKENNUKSEN ESITTELY	11
2.1 Pohjat ja leikkaukset	11
2.2 Julkisivut	12
2.3 Hallien runkojärjestelmät	12
2.4 Rakennetyypit	13
3 KUORMAT	14
3.1 Pystykuormat	14
3.2 Tuulikuorman määrittäminen	16
3.3 Vaakakuormat	22
4 KUORMITUSYHDISTELMÄT	23
ESIMERKKI 1: Harjapalkki	24
1.0 Taivutuskestävyys mitoittavassa poikkileikkauksessa	27
1.1 Taivutuskestävyys harjalla	28
1.2 Poikittainen vetokestävyys harjalla	29
1.3 Yhdistetty poikittainen vetokestävyys ja leikkauskestävyys harjalla	30
1.4 Leikkausvoimakestävyys	32
1.5 Tukipainekestävyys	33
1.6 Taipuma	37
1.7 Kiepahduskestävyys	39
1.8 Yhden harjapalkin kiepahdustuentavoima	40
1.9 Kattoelementin ja harjapalkin liitoksen kestävyys (kiepahdustuenta)	42
2.0 Kiepahdustuen jousijäykkyys	43
Esimerkin 1 mitoitus tulosten tarkastelu	45
ESIMERKKI 2: Kehän mastopilari	46
1.0 Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)	50
1.1 Kiepahduskestävyys	52
1.2 Leikkausvoimakestävyys	54
1.3 Mastopilarikehän siirtymä	54
Esimerkin 2 mitoitus tulosten tarkastelu	55
ESIMERKKI 3: Nurkkapilari	56
1.0 Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)	60
1.1 Kiepahduskestävyys	62
1.2 Leikkausvoimakestävyys	64
1.3 Mastopilarikehän siirtymä	64
Esimerkin 3 mitoitus tulosten tarkastelu	65

ESIMERKKI 4: Tuulipilari	66
1.0 Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)	69
1.1 Nurjahduskestävyys (Y-suuntaan)	71
1.2 Kiepahduskestävyys	72
1.3 Leikkausvoimakestävyys	73
1.4 Taipuma	74
Esimerkin 4 mitoitustulosten tarkastelu	74
ESIMERKKI 5: Päätyseinän palkki	76
1.0 Taivutuskestävyys	79
1.1 Kiepahduskestävyys	80
1.2 Leikkausvoimakestävyys	81
1.3 Tukipainekestävyys palkissa	82
1.4 Taipuma	83
Esimerkin 5 mitoitustulosten tarkastelu	83
ESIMERKKI 6: Yläpohjan jäykistysristikko	84
1.0 Yläpohjan jäykisteristikon puristussauvan nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)	89
1.1 Vetotangon kestävyys	90
1.2 Yläpohjan jäykisteristikon puristussauvan tukipainekestävyys	91
1.3 Yläpohjan jäykisteristikon vetotangon ankkurointikestävyys	92
1.4 Yläpohjan jäykisteristikon vetotangon ankkurointilevyn tukipainekestävyys	94
1.5 Seinän jäykisteristikon vetotangon ankkurointikestävyys	96
1.6 Seinän jäykisteristikon vetotangon ankkurointilevyn tukipainekestävyys	98
1.7 Tuulikuorman johtaminen yläpohjan jäykisteristikolle	99
Esimerkin 6 mitoitustulosten tarkastelu	100
ESIMERKKI 7: Hallin 2 NR-ristikkoyläpohjan jäykistys	102
ESIMERKKI 8: Nosturin ripustusliitos	126
1.0 Pulttiliitoksen leikkauskestävyys	127
1.1 Pulttien määrä liitoksessa	128
1.2 Harjapalkin halkeamiskestävyys poikittaiselle liitosvoimalle	128
Esimerkin 8 mitoitustulosten tarkastelu	129
ESIMERKKI 9: Mastopilarin liitos harjapalkkiin	130
Kuormat ja rasitukset	131
1.0 Hankolaudan leikkausvoimakestävyys	132
1.1 Naulauksen kestävyys	133
1.2 Naulojen määrä liitoksessa	134
1.3 Naulojen sijoittaminen	134
Esimerkin 9 mitoitustulosten tarkastelu	135
ESIMERKKI 10: Tuulipilarin liitos päätypalkkiin	136
1.0 Pultin vetokestävyys	137
1.1 Pultin aluslevyn tukipainekestävyys	138
Esimerkin 10 mitoitustulosten tarkastelu	139

1 RAKENNELASKELMIEN SELOSTUS

1.1 Perustiedot

Työn nro	0002
Kohteen nimi	Puurakenteinen hallirakennus
Osoite	Hallikatu 1, Rovaniemi
Kortteli	02-200
Pääasiallinen käyttötarkoitus	Puristemuovituotteiden valmistus
Rakenteiden vaativuusluokka	AA (RakMK osa A2)
Käyttöluokka (Halli 1)	1 (RIL 205-1-2009)
Käyttöluokka (Halli 2)	2 (RIL 205-1-2009)
Seuraamusluokka	CC2 (RIL 205-1-2009)
Paloluokka	P3 (RakMK E1)
Pääasiallinen rakennusmateriaali	Puu
Pääasiallinen rakennustapa	Elementit
Kerrosluku	1
Kokonaiskorkeus	8,8 m
Brutto pinta-ala yhteensä	2701 m ²
Tarkempi käyttötarkoitus (Halli 1)	Muovituotteiden valmistus
Tarkempi käyttötarkoitus (Halli 2)	Tuotevarasto
Rakennuskohteen kuvaus	Rakennus muodostuu kahdesta yhteen kytketystä hallista, joista toinen on lämpöeristetty ja toinen lämpöeristämätön.

1.2 Rakenteellinen järjestelmä

Perustamismaaperä	HkMr
Perustamistapa	Maanvaraiset pilarianturat
Pääasialliset runkorakenteet	
Pilarit	Mastopilari (liimapuu)
Kantavat seinät	Rankaseinä (sahatavara)
Pääkannattimet	Liimapuupalkki ja NR-ristikko
Ulkoseinät	
Halli 1	ei-kantava puuelementti, lämpöeristetty
Halli 2	paikalla rakennettu kantava puurankaseinä, lämpöeristämätön
Yläpohjat	
Halli 1	3-aukkoinen puuelementti, lämpöeristetty
Halli 2	paikalla rakennettu naulalevyristikkoyläpohja, lämpöeristämätön
Rakennusrungon jäykistys	
Halli 1	Rakennuskohteen halli 1 jäykistetään rungon poikkisuunnassa mastopilareilla ja rungon pituussuunnassa mastopilarien ja pääkannattimien väliin sijoitettavilla jäykisteristikoilla. Jäykisteristikot sijoitetaan hallin molempiin päihin. Päätyseinät tuetaan tuulipilareilla perustuksiin ja kattorakenteen välityksellä jäykisteristikoihin. Päätyseinät jäykistetään rungon poikkisuunnassa nurkkiin sijoitettavilla mastopilareilla. Tuulikuorma välitetään mastopilareille vaakasuuntaisilla ulkoseinäelementeillä.
Halli 2	Rakennuskohteen halli 2 jäykistetään rungon poikki- ja pituussuunnassa seinärungon ulkopinnassa olevilla levyjäykisteillä ja alakaton vinolaudoituksella. NR-ristikkoyläpohja jäykistetään ristikoiden väliin sijoitettavilla lappeen suuntaisilla NR-jäykisteristikoilla ja pystysuuntaisilla NR-pukeilla sekä alakaton vinolaudoituksella.

1.3 Normit ja kuormitukset

Määräykset ja ohjeet	
Puurakenteet	Eurokoodi 5
Soveltamisohje	RIL 205-1-2009
Palonkestovaatimus	EI 30 osastointi hallin 1 ja 2 välillä
Kuormitukset	
Lämpöeristetty kattoelementti	0,4 kN/m ²
Ripustuskuorma	0,1 kN/m ²
Lämpöeristämätön NR-yläpohja	0,3 kN/m ²
Lumikuorma maan pinnalla	3,0 kN/m ²
Tuulikuorma	0,63 kN/m ² ; nopeuspaineen ominaisarvo maastoluokassa II, kun h=9,0 m
	0,58 kN/m ² ; nopeuspaineen ominaisarvo maastoluokassa II, kun h=6,5 m
Nosturi	1 tonnin nosturi ripustettuna yhteen pääkannattimeen

1.4 Materiaalien lujuusluokat yleensä

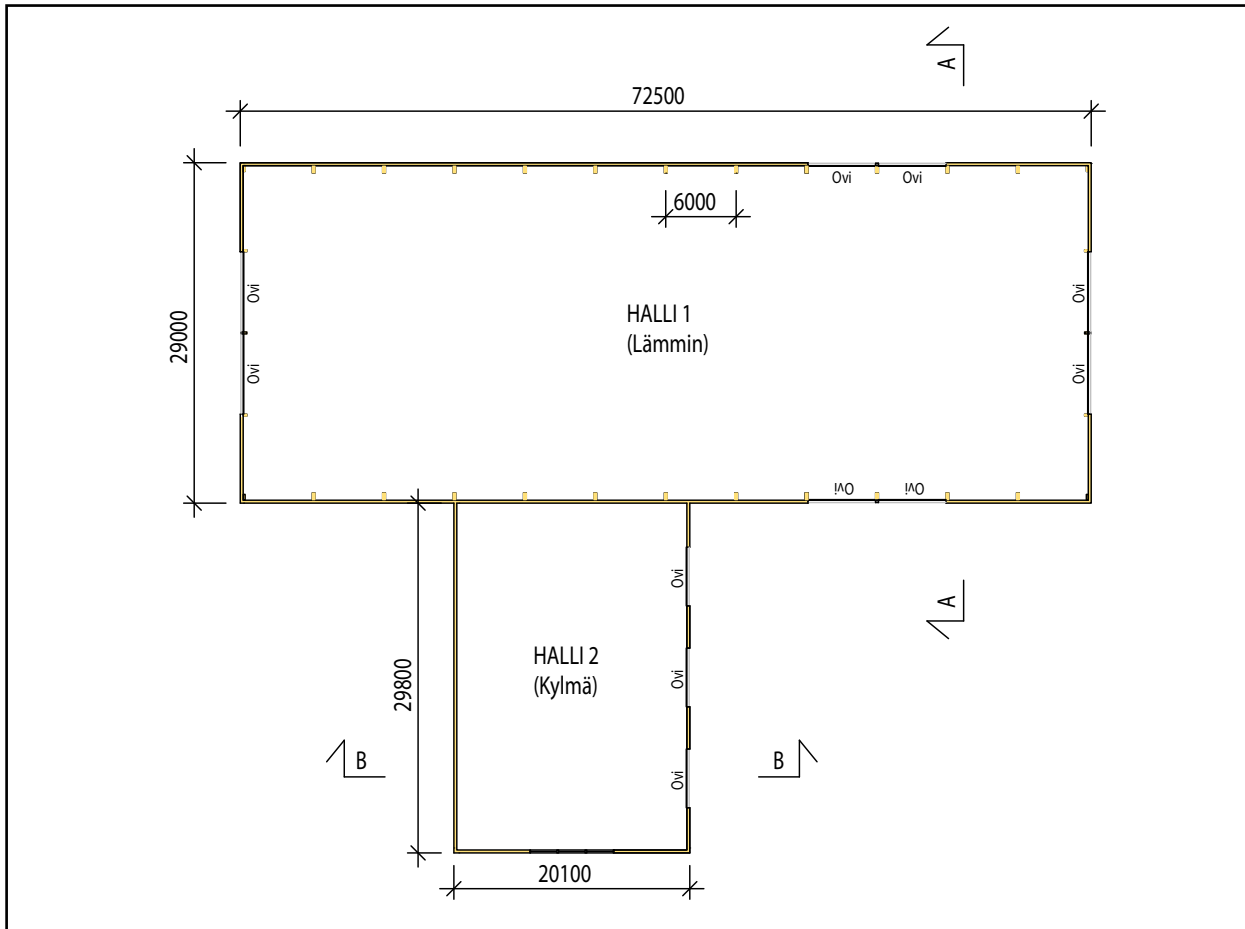
Pilarit ja palkit	Liimapuu GL32c
Paikalla rakennettu kantava pystyrunko	Sahatavara C24
Puuelementtien kantava runko	Kerto-S

1.5 Laskentamenetelmät

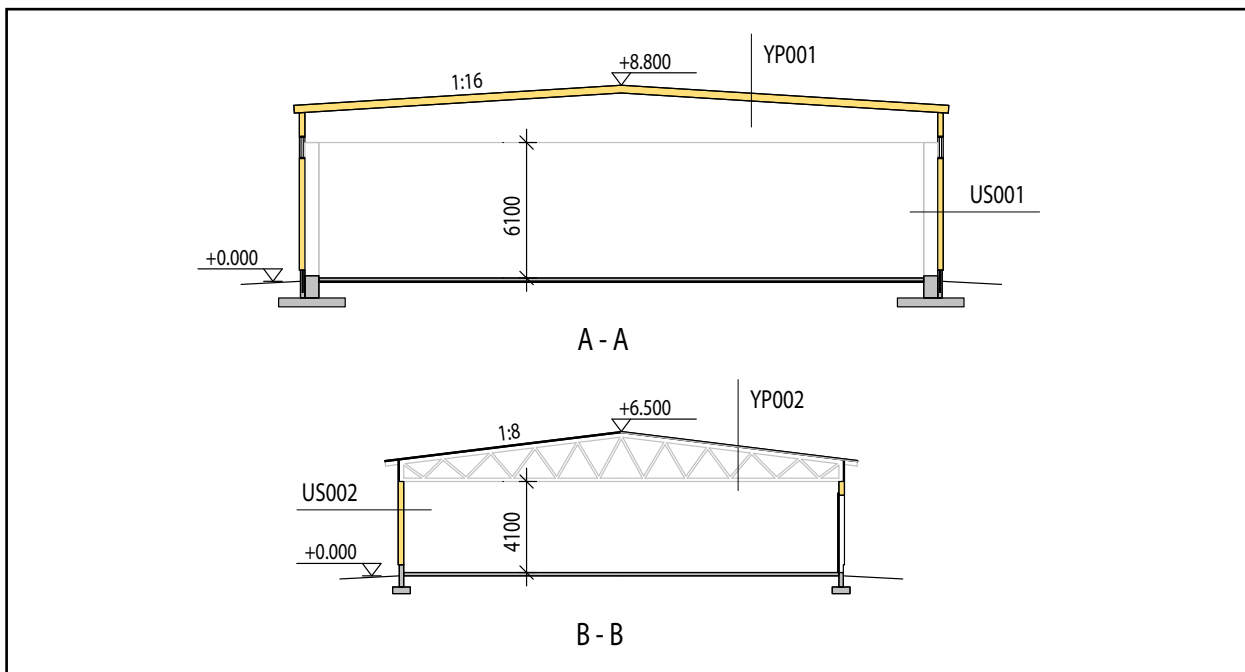
NR-ristikko mitoitetaan ristikkotoimittajan käyttämällä ohjelmistolla. Muut laskelmat tehdään käsin-laskennalla käyttäen apuna statiikkaohjelmaa.

2 RAKENNUKSEN ESITTELY

2.1 Pohjat ja leikkaukset

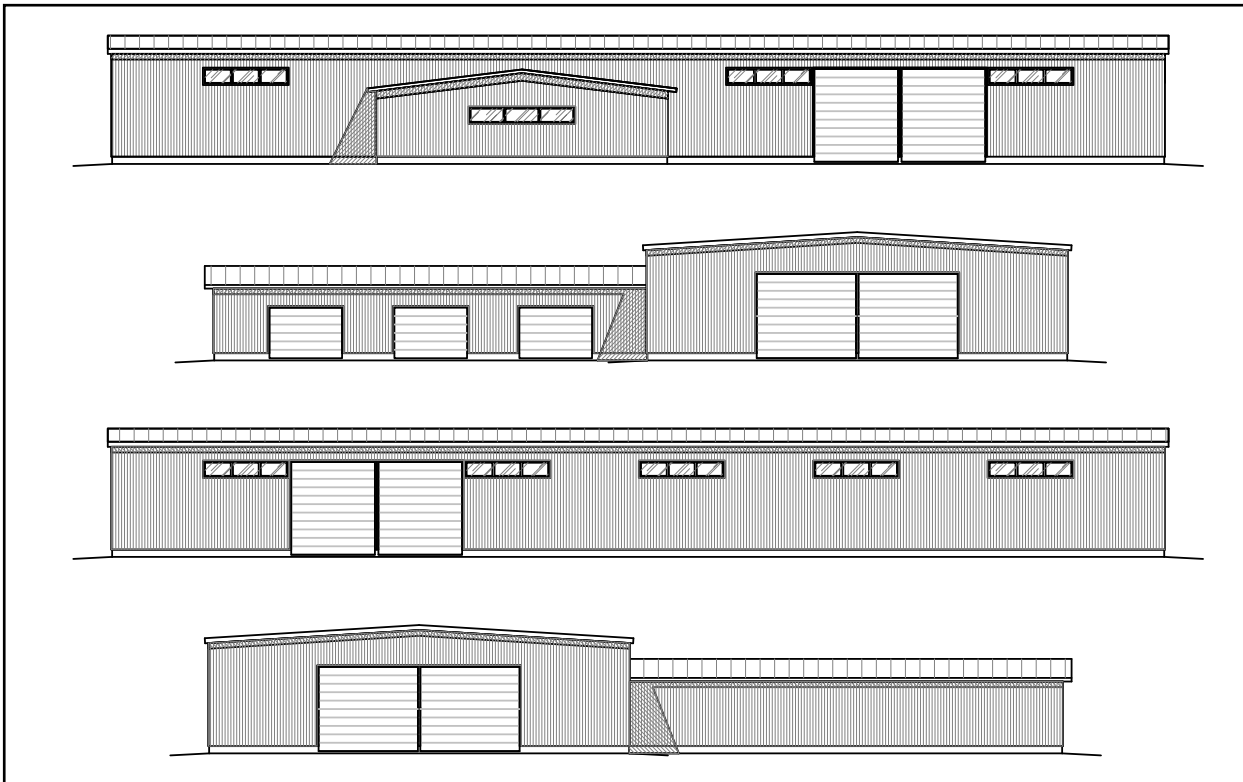


Kuva 1. Pohjapiirustukset hallista 1 ja 2.



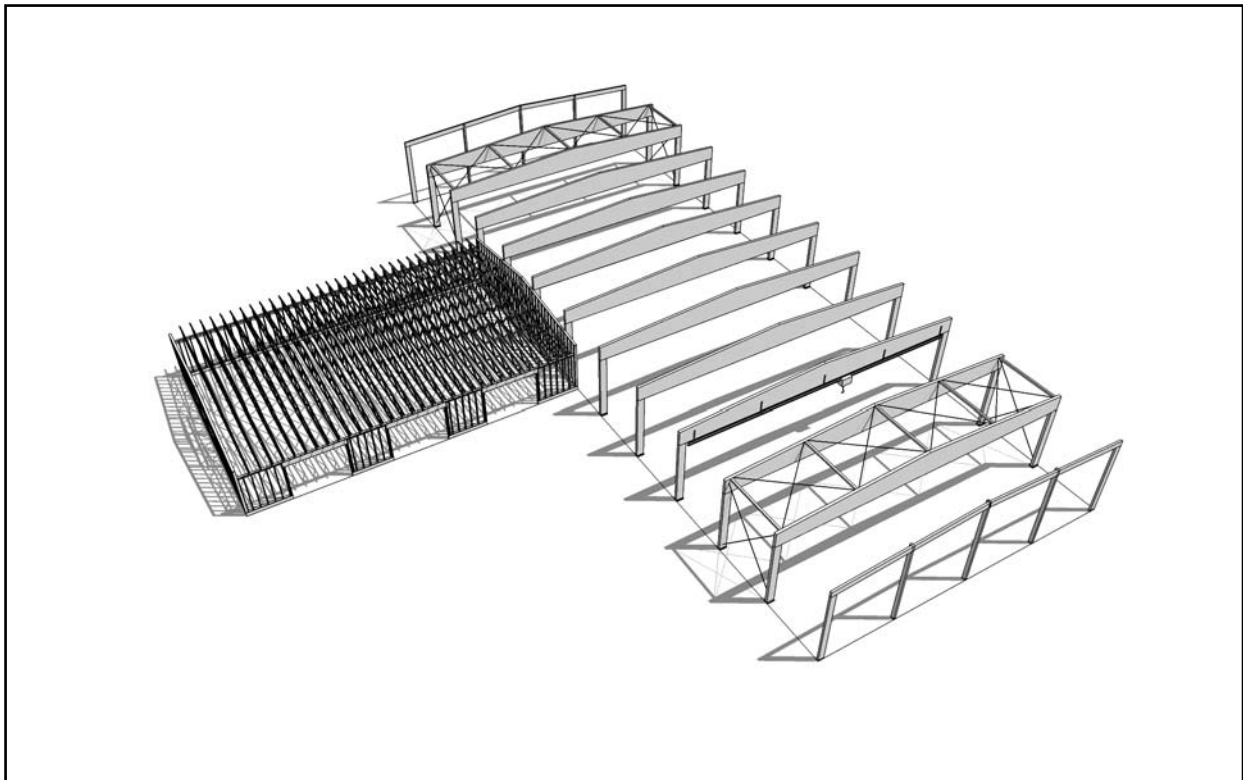
Kuva 2. Leikkaus A - A ja B - B.

2.2 Julkisivut



Kuva 3. Julkisivut hallista 1 ja 2.

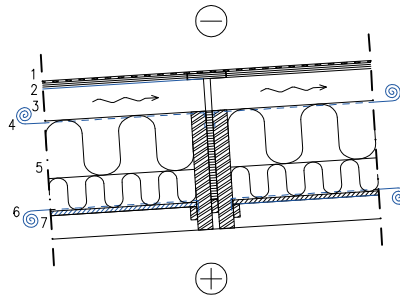
2.3 Hallien runkojärjestelmät



Kuva 4. Hallien 1 ja 2 kantavat rungot.

2.4 Rakennetyypit

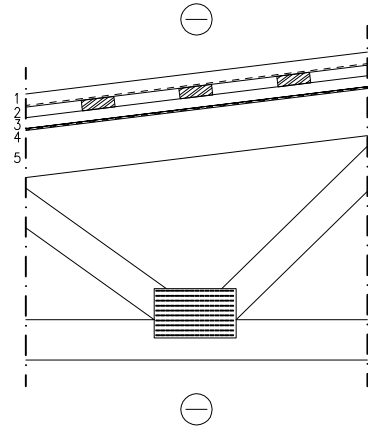
	Työn nro		YP001
	Päiväys	Tekijä	
Rakennuskohde	Sisältö		
Puurakenteinen hallirakennus	Yläpohja (elementit)		



- 1 Yksikerroskate
- 2 Havuvaneri
- 3 Koolaus + Tuuletusväli
- 4 Tuulensuojakangas
- 5 Palkisto + Lämmöneriste
- 6 Ilman- ja höyrynsulku
- 7 Kipsilevy

Rakenteen omapaino $g_k = 0,40 \text{ kN/m}^2$

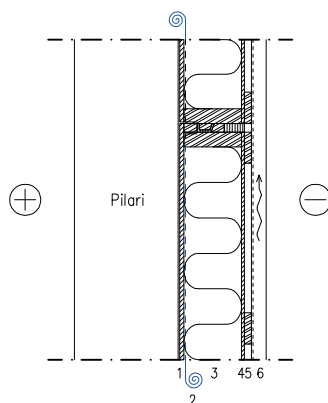
	Työn nro		YP002
	Päiväys	Tekijä	
Rakennuskohde	Sisältö		
Puurakenteinen hallirakennus	Yläpohja (paikalla rakennettu)		



- 1 Profiilipelti
- 2 Ruoteet
- 3 Tuuletuslautat
- 4 Aluskate
- 5 NR-ristikot k900

Rakenteen omapaino $g_k = 0,30 \text{ kN/m}^2$

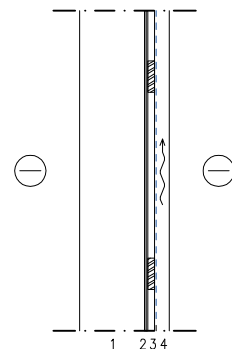
	Työn nro		US001
	Päiväys	Tekijä	
Rakennuskohde	Sisältö		
Puurakenteinen hallirakennus	Ulkoseinä (vaakaelementit)		



- 1 Kipsilevy
- 2 Ilman- ja höyrynsulku
- 3 Palkisto + Lämmöneriste
- 4 Tuulensuojakipsilevy
- 5 Kiinnityslaudat
- 6 Profiilipelti

Rakenteen omapaino $g_k = 0,30 \text{ kN/m}^2$

	Työn nro		US002
	Päiväys	Tekijä	
Rakennuskohde	Sisältö		
Puurakenteinen hallirakennus	Ulkoseinä (paikalla rakennettu)		



- 1 Tolpparunko
- 2 Havuvaneri
- 3 Kiinnityslaudat
- 4 Profiilipelti

Rakenteen omapaino $g_k = 0,20 \text{ kN/m}^2$

3 KUORMAT

3.1 Pystykuormat

Halli 1

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo
Harjakaton muotokerroin

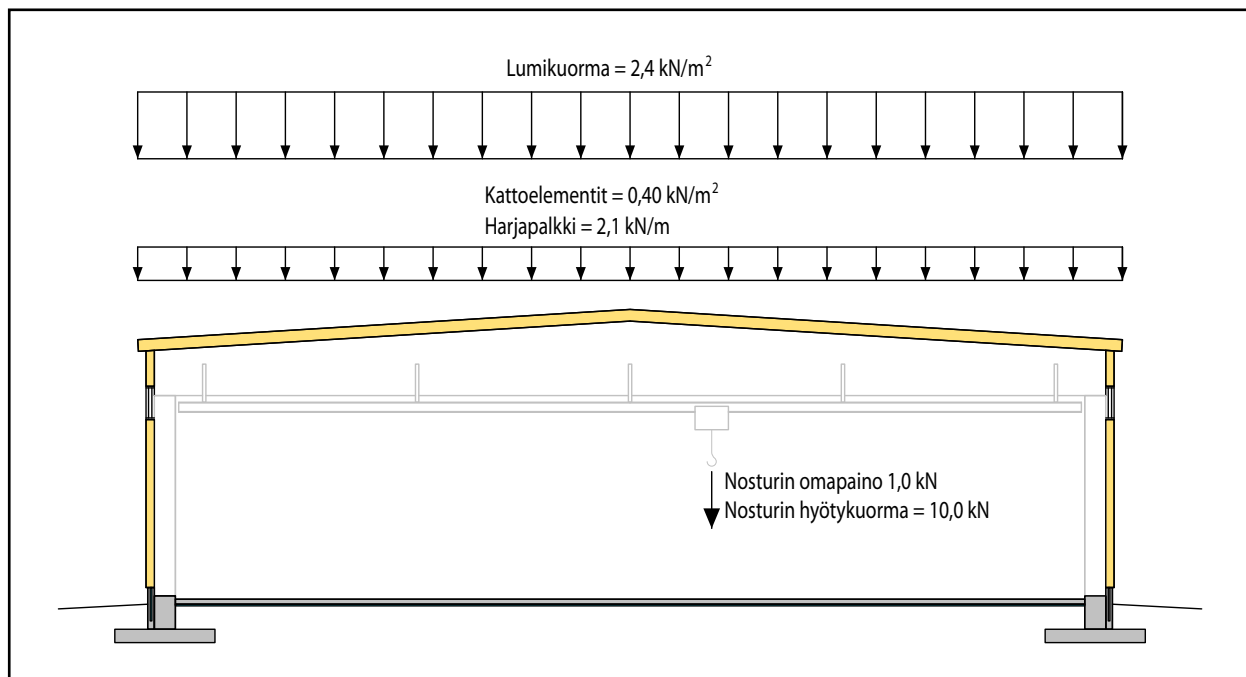
$$s_k = 3,0 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{kuva 2.1})$$

$$\mu_1 = 0,8 \quad (\text{kuva 2.3})$$

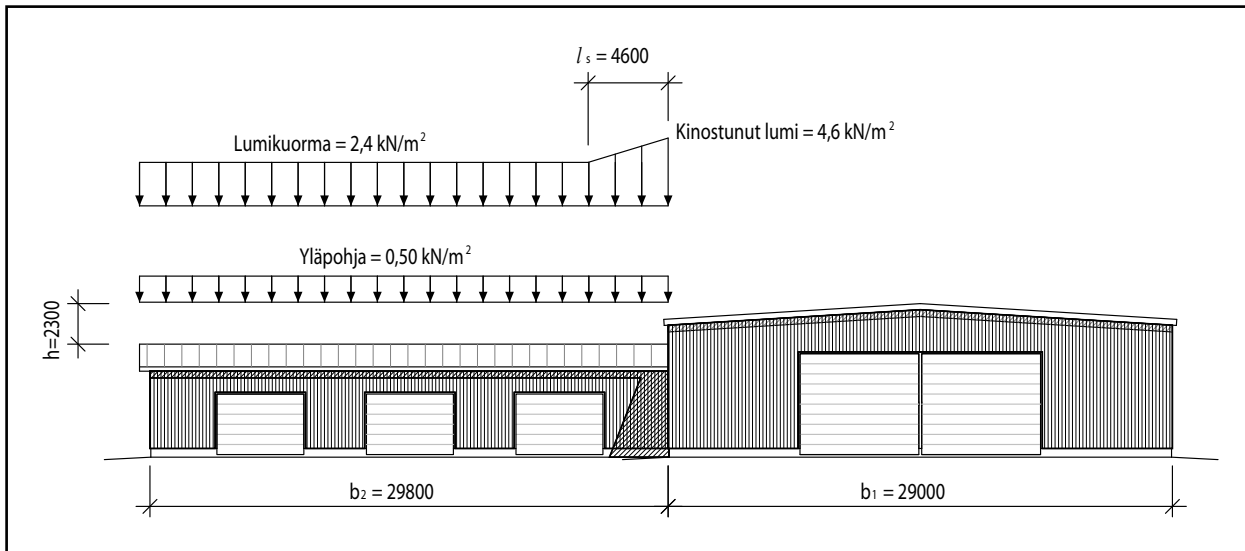
Katolla olevan lumikuorman ominaisarvo

$$q_k = \mu_1 s_k \quad (\text{kaava 2.5.5S})$$

$$q_k = 0,8 \cdot 3,0 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$



Kuva 5. Pystykuormat hallissa 1.



Kuva 6. Pystykuormat hallissa 2.

Halli 2

Katolla olevan lumikuorman ominaisarvo $q_k = 2,4 \text{ kN/m}^2$ (kuten hallissa 1)

Lumi kinostuu tuulen vaikutuksesta yläpohjien tasoeron kohdalle, mutta lumen liukumista alemmalle katolle ei tapahdu, koska ylemmän katon kaltevuus $\alpha \leq 15^\circ$.

Muotokerroin μ_w kinostumalle

$$\mu_w = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_1 + b_2}{2h} \\ \frac{\gamma \cdot h}{s_k} \\ 2,5 \end{array} \right. \quad \text{kuitenkin } \mu_w \geq 0,8 \quad (\text{kaava 2.5.6S})$$

Kinostuman muotokertoimeksi saadaan $\mu_w = 1,53$.

Katolla olevan kinostuneen lumikuorman ominaisarvo

$$q_k = \mu_w s_k \quad (\text{kaava 2.5.5S})$$

$$q_k = 1,53 \cdot 3,0 = 4,6 \text{ kN/m}^2$$

Kinostumapituus

$$l_s = 2 \cdot h \quad \text{kuitenkin } 2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m} \quad (\text{kaava 2.5.7S})$$

$$l_s = 2 \cdot 2,3 = 4,6 \text{ m}$$

3.2 Tuulikuorman määrittäminen

Tuulikuormien määrittämisessä halleja 1 ja 2 käsitellään erillisinä. Seuraavassa määritetään hallin 1 tuulikuormat. Vertailun vuoksi tuulikuormat määritetään ohjeen RIL 201-1-2008 *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat* mukaan sekä ohjeessa RIL 205-1-2009 *Puu-rakenteiden suunnitteluohje* esitetyllä yksinkertaistetulla menetelmällä.

3.2.1 Tuulikuorman määrittäminen RIL 201-1-2008 mukaan

Rakennukseen kohdistuva kokonaistuulikuorma voidaan määrittää kahdella erilaisella tavalla, jotka ovat *voimakerroinmenetelmä* ja *painekerroinmenetelmä*. Näillä menetelmillä määritettyä kokonaistuulikuormaa käytetään rakennuksen jäykistävän rungon ja perustusten mitoituksessa.

Voimakerroinmenetelmässä oletetaan, että tuulenpaineella on kaikissa korkeusasemissa rakennuksen harjalla vallitseva arvo. *Painekerroinmenetelmässä* rakennuksen kokonaistuulikuorma määritetään osapintojen pintapaineiden avulla (vektorisummana) ja tarvittaessa huomioidaan myös osapintojen aiheuttama kitkakuorma.

Määritetään hallin 1 kokonaistuulikuormat voimakerroinmenetelmällä:

Halli 1 (tuuli kohtisuoraan sivuseinää vastaan)

$$\text{Nopeuspaine } q_p(z) = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

(maastoluokka 2, tasainen maasto)

$$\text{Rakennekerroin } c_s c_d = 1,0$$

(h<15 m)(RIL 201-1-2008 luku 6.2)

$$\text{Tehollinen hoikkuus } \lambda = \frac{2 \cdot h}{b} = \frac{2 \cdot 8,8}{72,5} = 0,24$$

(RIL 201-1-2008 taulukko 5.1S)

$$\text{Sivusuhte } \frac{d}{b} = \frac{29}{72,5} = 0,4$$

$$\text{Voimakerroin } c_f = 1,3 \text{ (interpoloitu)}$$

(RIL 201-1-2008 taulukko 5.2S)

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo sivuseinää vastaan neliökuormana

$$q_{w,k} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z)$$

(RIL 201-1-2008 kaava 5.3)

$$q_{w,k} = 1,0 \cdot 1,3 \cdot 0,63 = 0,82 \text{ kN / m}^2$$

Halli 1 (tuuli kohtisuoraan päätyseinää vastaan)

$$\text{Nopeuspaine } q_p(z) = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

(maastoluokka 2, tasainen maasto)

$$\text{Rakennekerroin } c_s c_d = 1,0$$

(h<15 m)(RIL 201-1-2008 luku 6.2)

$$\text{Tehollinen hoikkuus } \lambda = \frac{2 \cdot h}{b} = \frac{2 \cdot 8,8}{29} = 0,61$$

(RIL 201-1-2008 taulukko 5.1S)

$$\text{Sivusuhte } \frac{d}{b} = \frac{72,5}{29} = 2,5$$

$$\text{Voimakerroin } c_f = 0,9 \text{ (interpoloitu)}$$

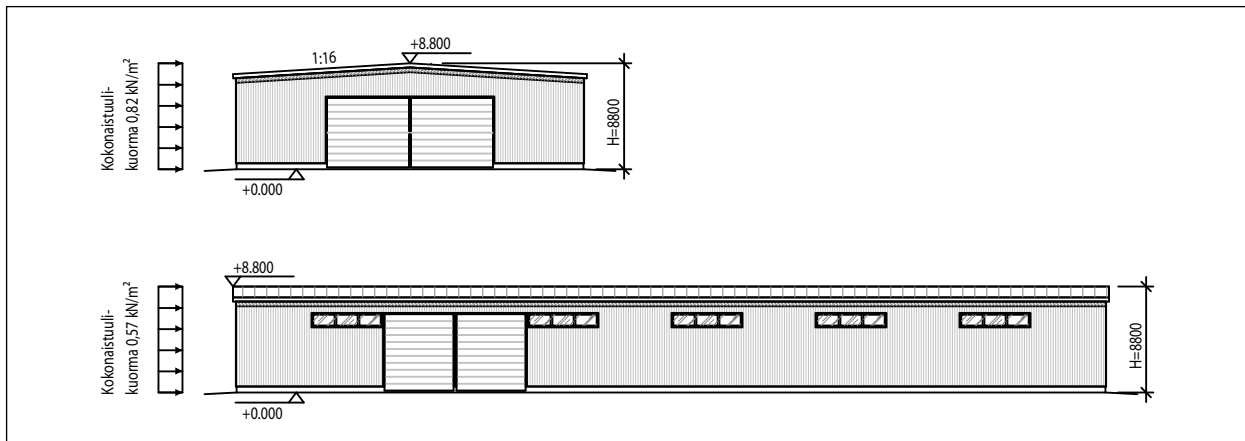
(RIL 201-1-2008 taulukko 5.2S)

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo päätyseinää vastaan neliökuormana

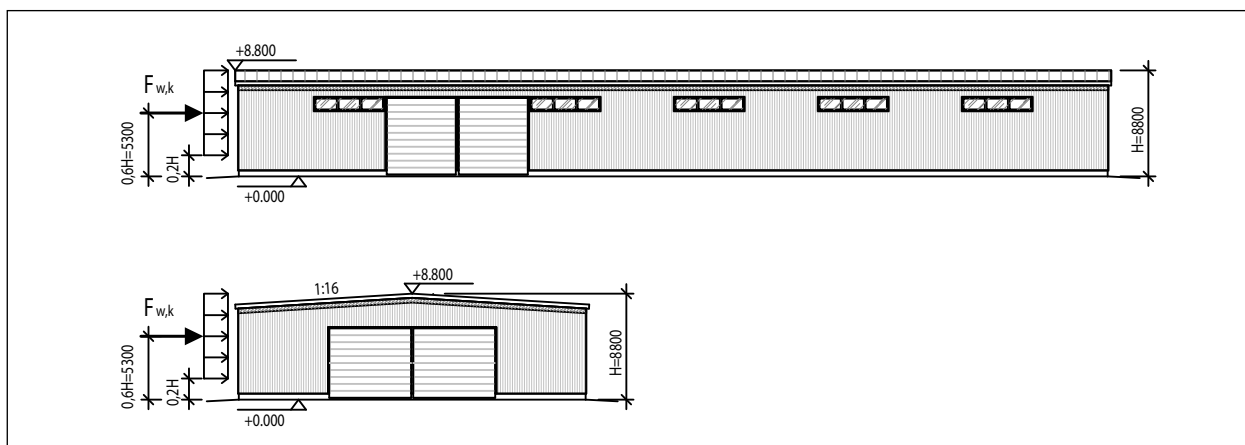
$$q_{w,k} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z)$$

(RIL 201-1-2008 kaava 5.3)

$$q_{w,k} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,63 = 0,57 \text{ kN / m}^2$$



Kuva 7. Hallin 1 kokonaistuulikuomat voimakerroinmenetelmällä RIL 201-1-2009 mukaan.



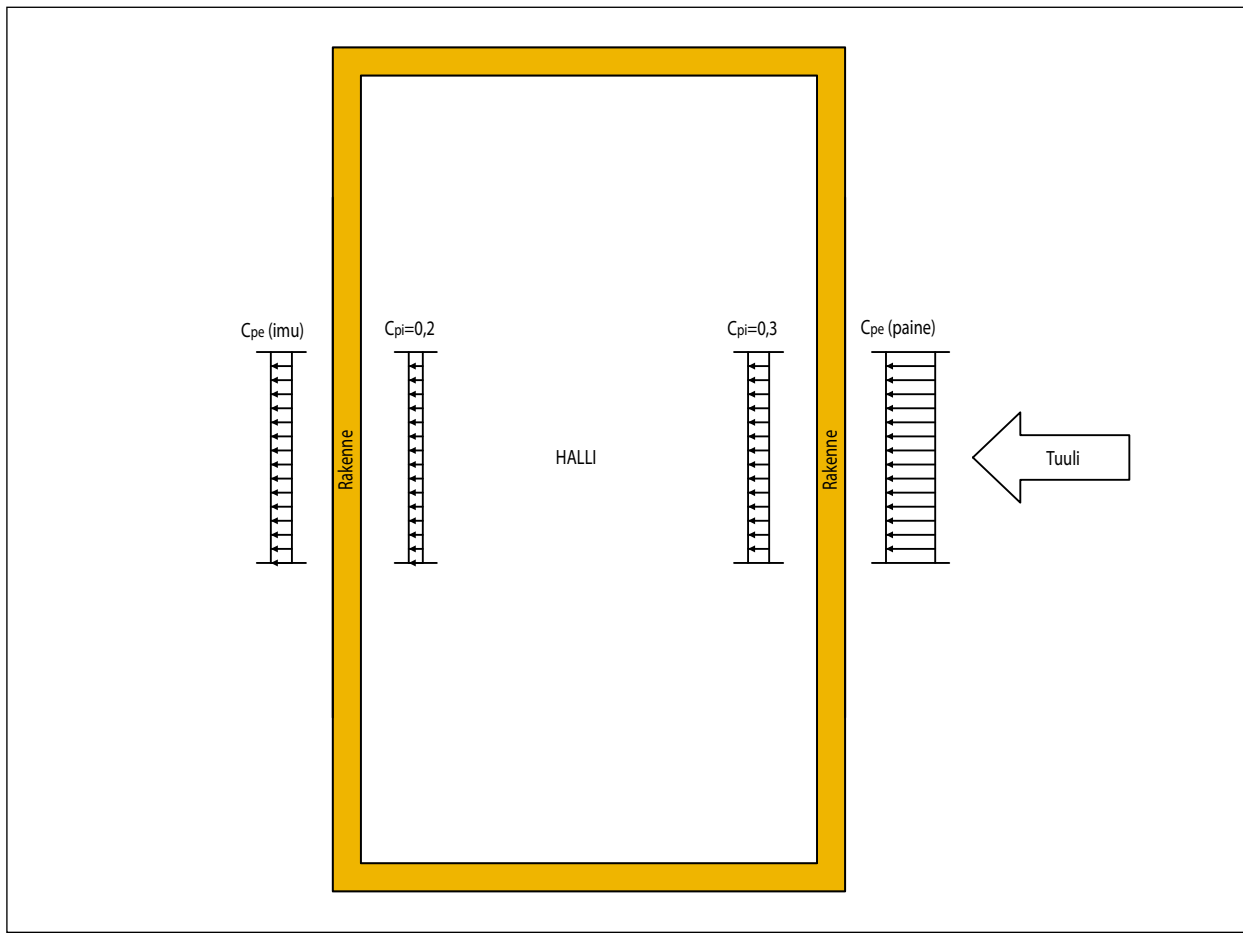
Kuva 8. Hallin 1 kokonaistuulikuomat yksinkertaistetulla menetelmällä RIL 205-1-2009 mukaan.

3.2.2 Tuulikuorman määrittäminen RIL 205-1-2009 mukaan

Ohjeessa RIL 205-1-2009 esitetään yksinkertaistettu menetelmä rakennuksen kokonaistuulikuorman määrittämiseen. Kyseisessä menetelmässä määritetään kokonaistuulivoima $F_{w,k}$, joka sijaitsee korkeudella $0,6H$. Kokonaistuulivoima $F_{w,k}$ voidaan jakaa tasaiseksi kuormaksi, joka alkaa korkeudesta $0,2H$. Tämä on esitetty tarkemmin ohjeessa *EC 5 Sovelluslaskelma - Asuinrakennus*. Edellä esitettyä kokonaistuulikuormaa käytetään rakennuksen jäykistävän rungon ja perustusten mitoituksessa.

3.2.3 Osapintojen tuulikuormien määrittäminen RIL 201-1-2008 mukaan

Osapintojen tuulikuormia käytetään mm. rungon ja ulkovaipan liitosten mitoituksessa sekä ulkovaipan kestävyysmitoituksessa. Yksinkertaistamisen vuoksi sisäpuolisina painekertoimina käytetään tässä tapauksessa arvoja $c_{pi} = -0,3$ ja $c_{pi} = +0,2$ (RIL 201-1-2008 sivu 159) kuvan 9 periaatteilla.



Kuva 9. Tässä tapauksessa käytettävät sisäpuoliset painekertoimet.

Määritetään hallin 1 osapintojen tuulikuormat:

Katon kaltevuus $3,6^\circ < 5,0^\circ \rightarrow$ tasakatto

Rakennekerroin $c_s c_d = 1,0$

($h < 15$ m)(RIL 201-1-2008 luku 6.2)

Nopeuspaine $q_p(z) = 0,63 \text{ kN/m}^2$

(maastoluokka 2, tasainen maasto)

Osapinnan tuulikuorma määritetään alla olevalla kaavalla. Kaikki osapinnat ovat suurempia kuin 10 m^2 , joten käytetään ulkoisen painekertoimen arvoja $c_{pe,10}$. Osapintojen tuulikuormat on esitetty kuvien 10 ja 11 taulukoissa.

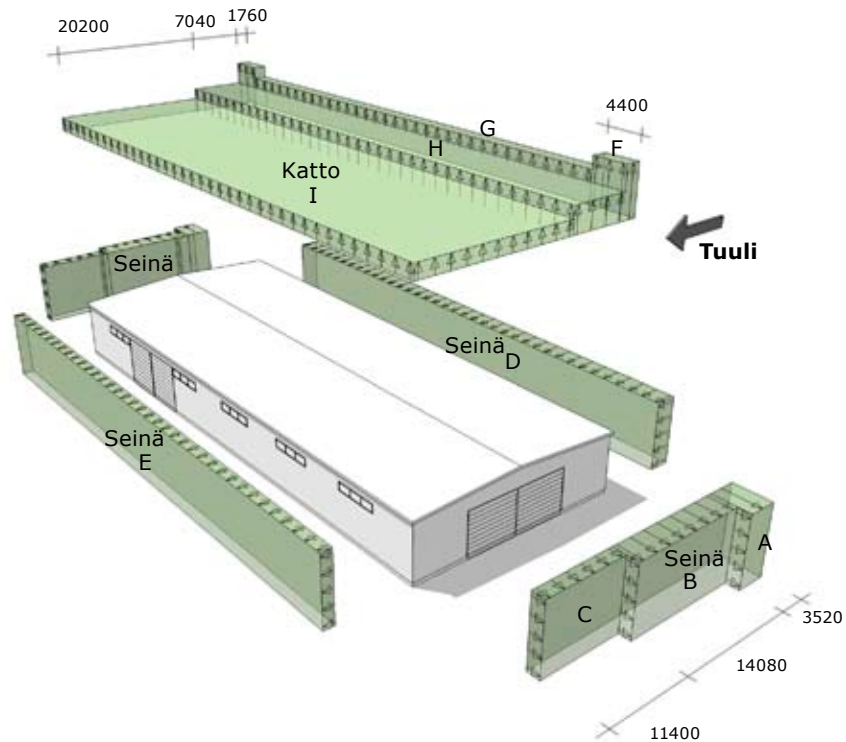
$$q_{w,k} = [c_s c_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_{pe,10}] + q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

Vyöhykkeiden määrittämisessä tarvittava tekijä e

$$e = 2h = 2 \cdot 8800 = 17600 \text{ mm}$$

(RIL 201-1-2008 kuvat 7.5 ja 7.6)

Seinillä tekijä $e < d$

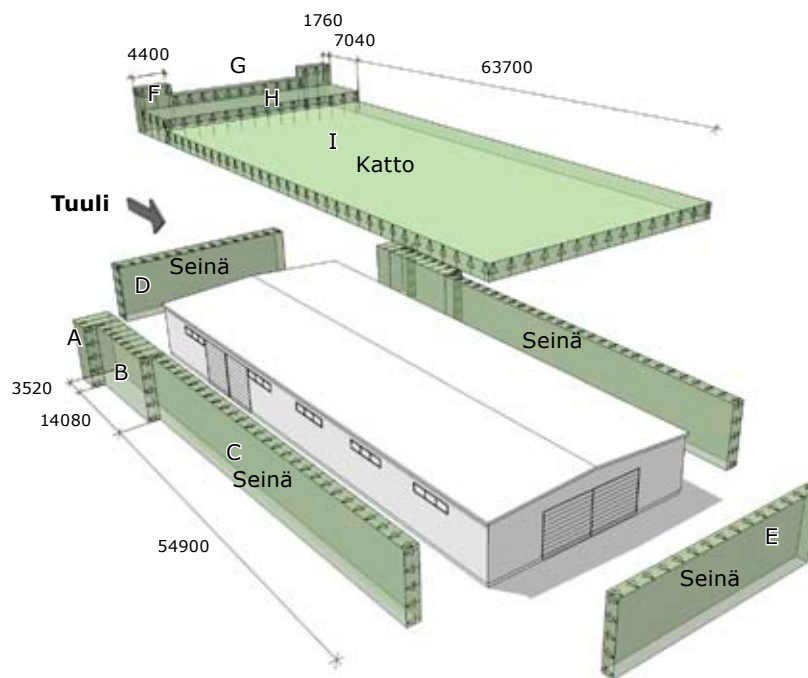


Alue	$c_s c_d$	$c_{pe,10}$	c_{pi}	$\frac{q_p(z_e)}{q_p(z_i)}$ [kN/m ²]	$q_{w,k}$ [kN/m ²]
A	1,0	- 1,2	- 0,2	0,63	- 0,88
B	1,0	- 0,8	- 0,2	0,63	- 0,63
C	1,0	- 0,5	- 0,2	0,63	- 0,44
D	1,0	+ 0,7	+ 0,3	0,63	+ 0,63
E	1,0	- 0,3	- 0,2	0,63	- 0,32
F	1,0	- 1,8	- 0,2	0,63	- 1,26
G	1,0	- 1,2	- 0,2	0,63	- 0,88
H	1,0	- 0,7	- 0,2	0,63	- 0,57
I	1,0	- 0,2	- 0,2	0,63	- 0,25

Mikäli osapintojen tuulikuormien avulla määritetään rakennuksen kokonaistuulikuorma (paineeroinnemenetelmä), tulee lisäksi huomioida tarvittaessa osapintojen aiheuttama kitkakuorma (RIL 201-1-2008 kaava 5.7).

Kuva 10. Hallin 1 osapintojen tuulikuormien maksimiavot RIL 201-1-2008 mukaan, kun tuuli on kohtisuoraan sivuseinää vastaan.

Seinillä tekijä $e < d$



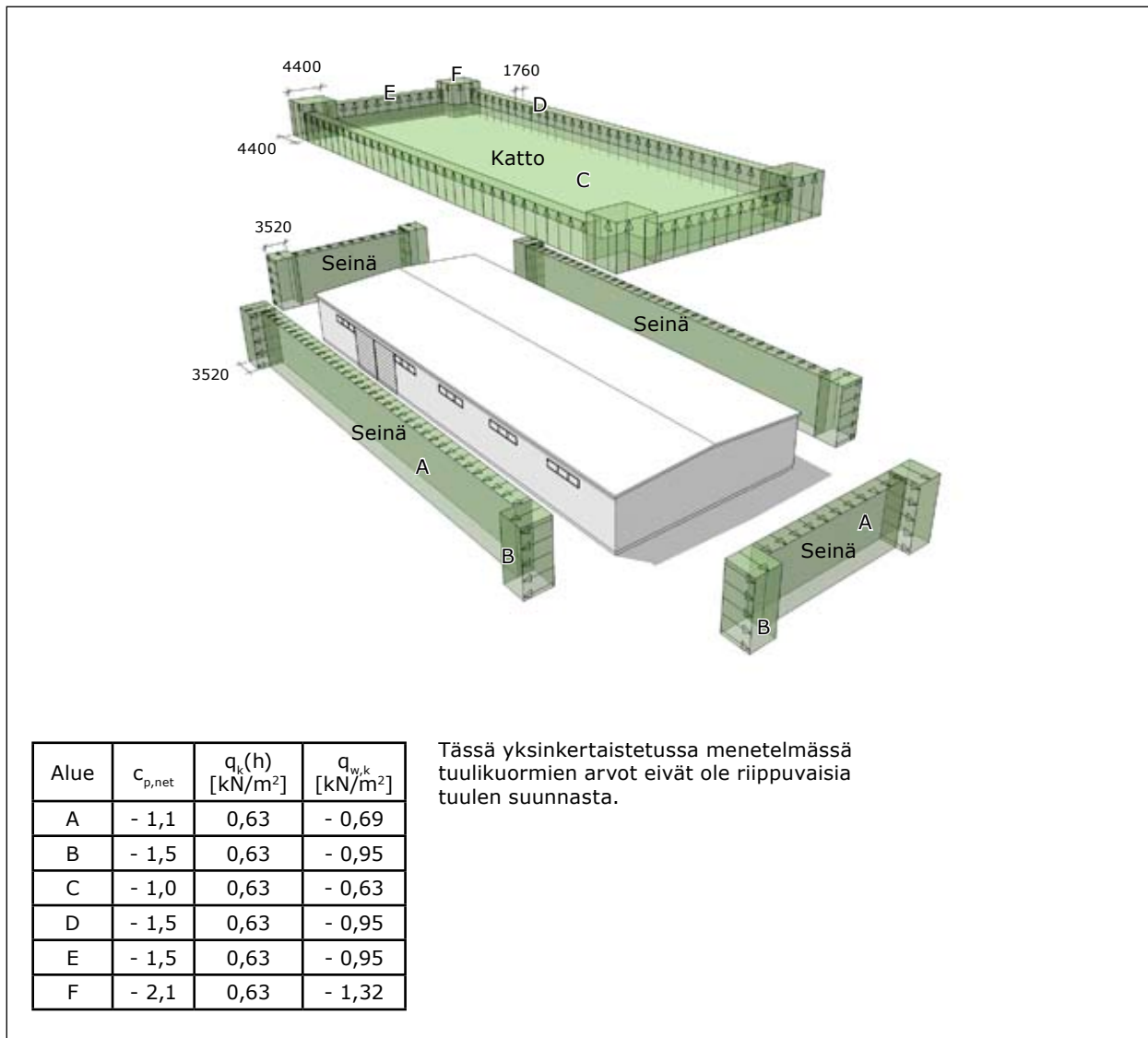
Alue	$c_s c_d$	$c_{pe,10}$	c_{pi}	$q_p(z_e)$ $q_p(z)$ [kN/m ²]	$q_{w,k}$ [kN/m ²]
A	1,0	- 1,2	- 0,2	0,63	- 0,88
B	1,0	- 0,8	- 0,2	0,63	- 0,63
C	1,0	- 0,5	- 0,2	0,63	- 0,44
D	1,0	+ 0,7	+ 0,3	0,63	+ 0,63
E	1,0	- 0,3	- 0,2	0,63	- 0,32
F	1,0	- 1,8	- 0,2	0,63	- 1,26
G	1,0	- 1,2	- 0,2	0,63	- 0,88
H	1,0	- 0,7	- 0,2	0,63	- 0,57
I	1,0	- 0,2	- 0,2	0,63	- 0,25

Mikäli osapintojen tuulikuormien avulla määritetään rakennuksen kokonaistuulikuorma (paineerroinmenetelmä), tulee lisäksi huomioida tarvittaessa osapintojen aiheuttama kitakuorma (RIL 201-1-2008 kaava 5.7).

Kuva 11. Hallin 1 osapintojen tuulikuormien maksimiavot RIL 201-1-2008 mukaan, kun tuuli on kohtisuoraan päätyseinää vastaan.

3.2.4 Osapintojen tuulikuormien määrittäminen RIL 205-1-2009 mukaan

Ohjeessa RIL 205-1-2009 esitetään yksinkertaistettu menetelmä rakennuksen osapintojen tuulikuormien määrittämiseen. Osapintojen tuulikuormia käytetään mm. rungon ja ulkovaipan liitosten mitoituksessa sekä ulkovaipan kestävyden mitoituksessa.



Kuva 12. Hallin 1 osapintojen tuulikuormien maksimi-arvot RIL 205-1-2009 mukaan.

Määritetään hallin 1 osapintojen tuulikuormien maksimi-arvot:

Katon kaltevuus $3,6^\circ < 5,0^\circ \rightarrow$ tasakatto

Nopeuspaine $q_k(h) = 0,63 \text{ kN/m}^2$

(maastoluokka 2, tasainen maasto)

Rakennuksen suurempi sivumitta $b = 72500 \text{ mm}$

Rakennuksen korkeus $h = 8800 \text{ mm}$

Osapinnan tuulikuorma määritetään alla olevalla kaavalla. Kaikki osapinnat ovat suurempia kuin 10 m^2 , joten RIL 205-1-2009 taulukoista 2.8 ja 2.9 valitaan $c_{p,net}$ -arvot sarakkeesta A ≥ 10 . Osapintojen tuulikuormat on esitetty kuvan taulukossa.

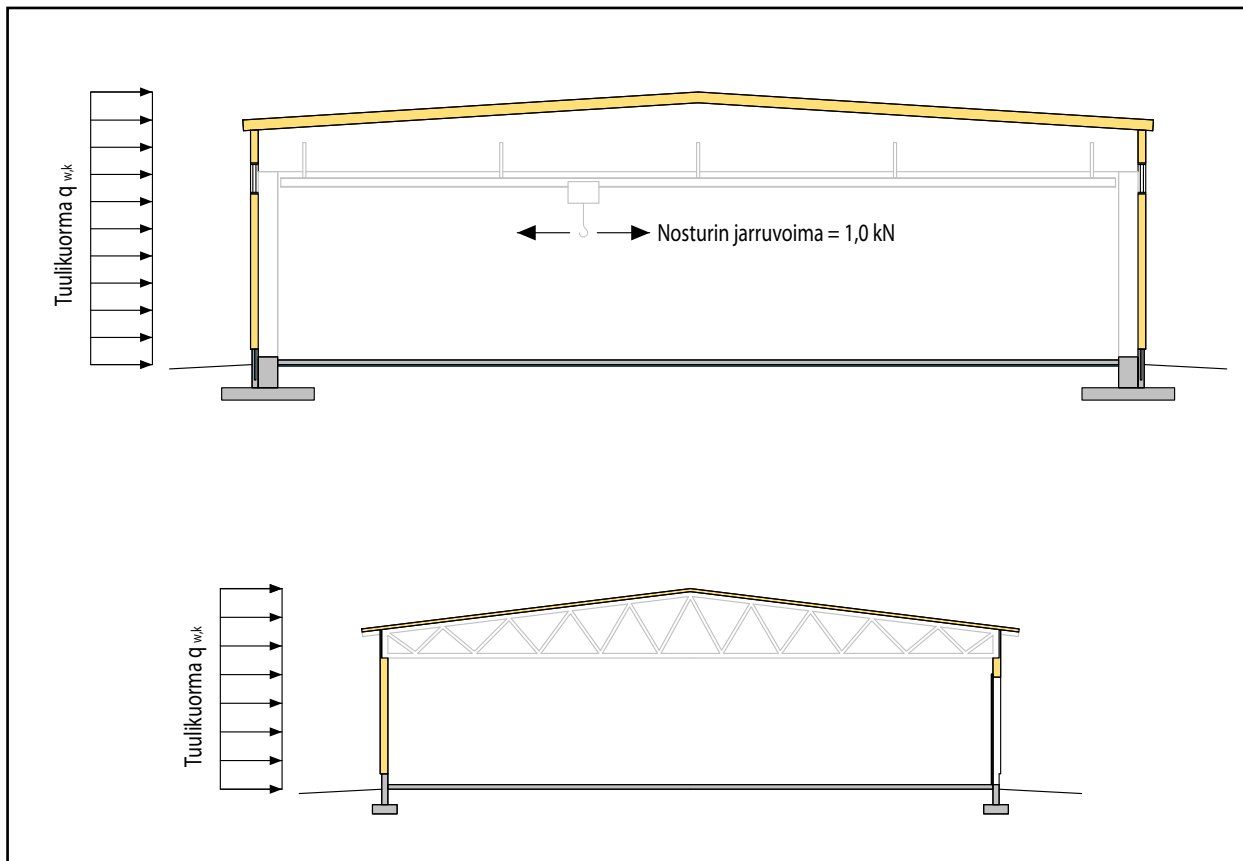
$$q_{w,k} = c_{p,net} \cdot q_k(h)$$

(RIL 205-1-2009 kaava 2.5.11S)

Vyöhykkeiden määrittämisessä tarvittava tekijä e

$$e = \min(b; 2h) \Rightarrow 2 \cdot 8800 = 17600 \text{ mm}$$

(taulukot 2.8 ja 2.9)



Kuva 13. Vaakakuormat hallissa 1 ja 2.

3.3 Vaakakuormat

Hallin vaakakuormat koostuvat tuulikuormasta ja hallissa 1 olevan nosturin jarruvoimasta. Tuulikuormana käytetään RIL 201-1-2008 mukaista tuulikuormaa. Nosturin jarruvoima on selvitetty valmistajalta ja sen ominaisarvo on tässä tapauksessa $1,0 \text{ kN}$.

4 KUORMITUSYHDISTELMÄT

Taulukossa 1 on esitetty hallin 1 tyypilliset kuormitusyhdistelmät.

		Tuuli	Lumi		Nosturi		G	Aikaluokka
			vasen lape	oikea lape	taakka	jarruk.		
		ψ_0	ψ_0	ψ_0	ψ_0	ψ_0	ψ_0	
G	KY 1	0	0	0	0	0	1	Pysyvä
	KY 2	1	0	0	0	0	1	Hetkellinen
TUULI	KY 3	1	0,7	0,7	1	1	1	Hetkellinen
	KY 4	1	0,7	0,35	1	1	1	Hetkellinen
	KY 5	1	0,35	0,7	1	1	1	Hetkellinen
	KY 6	1	0	0	1	1	1	Hetkellinen
	KY 7	1	0,7	0,7	0	0	1	Hetkellinen
	KY 8	1	0,7	0,35	0	0	1	Hetkellinen
	KY 9	1	0,35	0,7	0	0	1	Hetkellinen
	KY 10	0	1	1	0	0	1	Keskipitkä
LUMI	KY 11	0,6	1	1	1	1	1	Hetkellinen
	KY 12	0	1	1	1	0	1	Lyhytaikainen
	KY 13	0,6	1	1	0	0	1	Hetkellinen
	KY 14	0	1	0,5	0	0	1	Keskipitkä
	KY 15	0,6	1	0,5	1	1	1	Hetkellinen
	KY 16	0	1	0,5	1	0	1	Lyhytaikainen
	KY 17	0,6	1	0,5	0	0	1	Hetkellinen
	KY 18	0	0,5	1	0	0	1	Keskipitkä
	KY 19	0,6	0,5	1	1	1	1	Hetkellinen
	KY 20	0	0,5	1	1	0	1	Lyhytaikainen
	KY 21	0,6	0,5	1	0	0	1	Hetkellinen
	KY 22	0	0	0	1	0	1	Lyhytaikainen
NOSTURI	KY 23	0,6	0,7	0,7	1	1	1	Hetkellinen
	KY 24	0,6	0,7	0,35	1	1	1	Hetkellinen
	KY 25	0,6	0,35	0,7	1	1	1	Hetkellinen
	KY 26	0	0,7	0,7	1	0	1	Lyhytaikainen
	KY 27	0	0,7	0,35	1	0	1	Lyhytaikainen
	KY 28	0	0,35	0,7	1	0	1	Lyhytaikainen
	KY 29	0,6	0	0	1	1	1	Hetkellinen
	KY 30	0	0	0	1	1	1	Hetkellinen
	KY 31	0	0,7	0,7	1	1	1	Hetkellinen
	KY 32	0	0,7	0,35	1	1	1	Hetkellinen
	KY 33	0	0,35	0,7	1	1	1	Hetkellinen

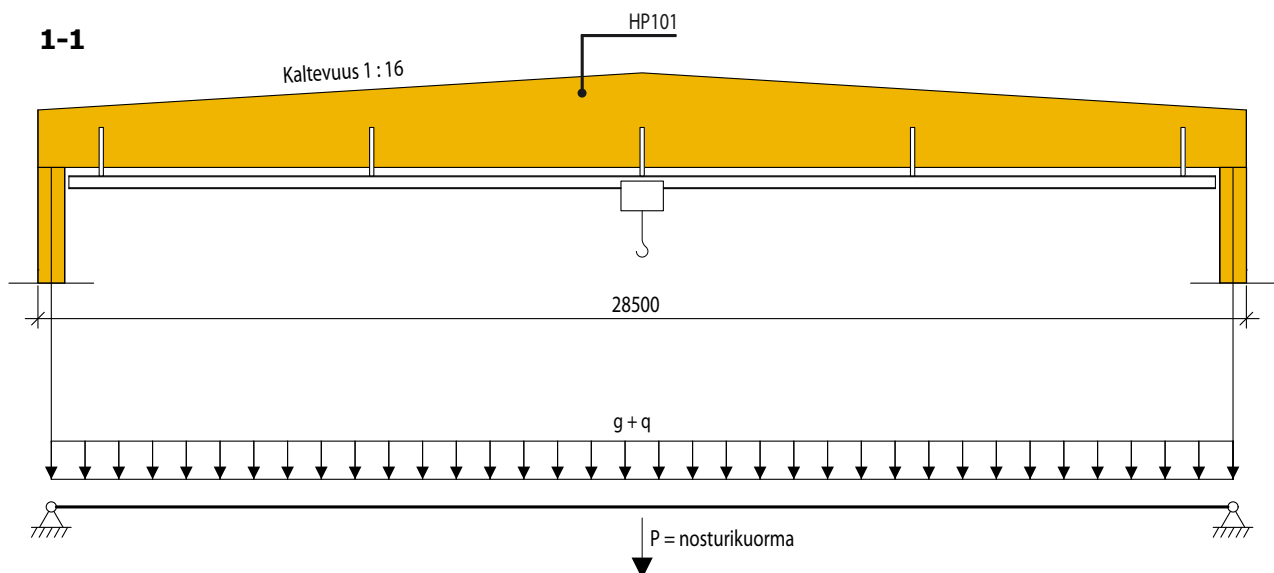
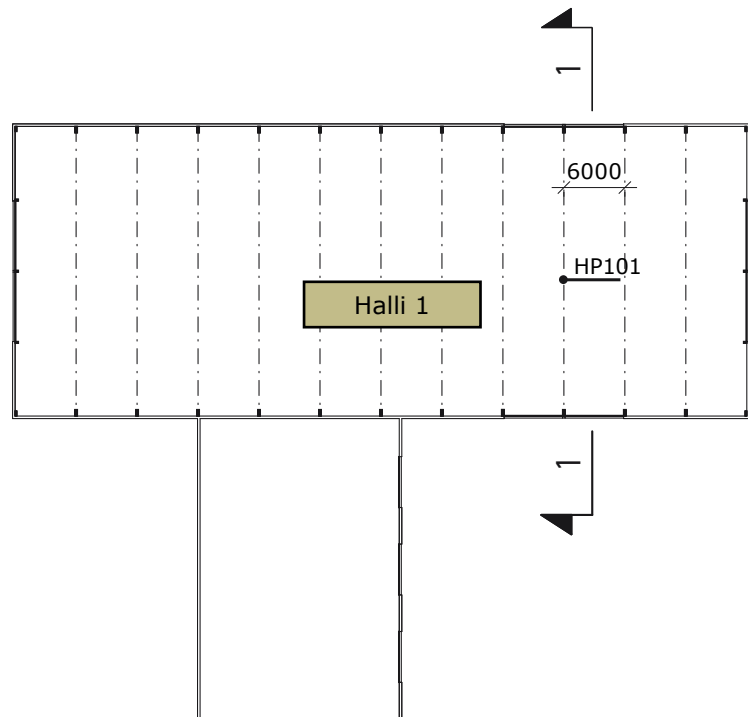
Taulukko 1. Hallin 1 kuormitusyhdistelmät.

= Määräävä muuttuva kuorma

ESIMERKKI 1: Harjapalkki

Perustietoja:

- Hallin 1 pääkannattimena on liima-puurakenteinen harjapalkki, joka tukeutuu mastopilareihin.
- Harjapalkkiin HP101 on kiinnitettyä 1 t:n nosturi.
- Harjapalkin yläreuna on tuettu kie-pahdusta vastaan kattoelementeillä.
- Harjapalkit on pintakäsitelty sään-kestävällä lakkauksella.



ESIMERKKI 1

Mitoitetaan hallin 1 liimapuurakenteinen pääkannatin HP101 (harjapalkki). Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Palkin materiaali

Liimapuu GL32c	taulukko 3.4
$f_{m,k} = 32 \text{ N/mm}^2$	taivutus
$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$	leikkaus
$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$	puristus syysuuntaan
$f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$	puristus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
$f_{t,90,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2$	veto kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
$E_{0,05} = 11100 \text{ N/mm}^2$	kimmomoduuli
$E_{0,mean} = 13700 \text{ N/mm}^2$	kimmomoduuli
$G_{mean} = 780 \text{ N/mm}^2$	liukumoduuli
$\gamma_M = 1,2$	materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.10)

Yläpohjan kuormat

$g_{k1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$	yläpohja yleensä (kattoelementit)
$g_{k2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$	ripustuskuorma (LVI yms.)
$g_{k3} = 2,1 \text{ kN/m}^2$	harjapalkki (keskimääräinen omapaino)
$q_{k1} = 2,4 \text{ kN/m}^2$	lumikuorma katolla

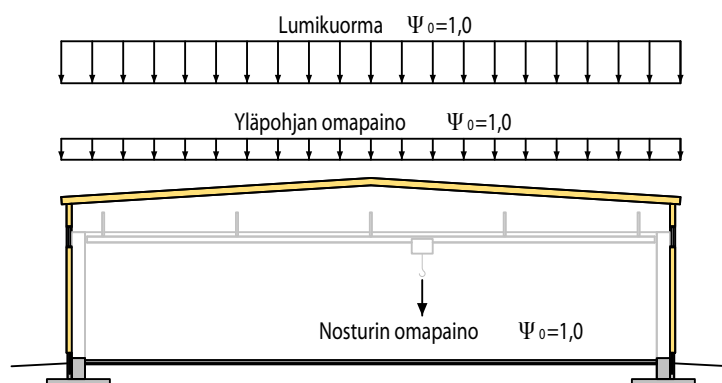
Nosturikuormat

$P_{g,k} = 1,0 \text{ kN}$	nosturin omapaino (pistekuormana palkin jännevälin keskellä)
----------------------------	--

Mitoittava kuormitusyhdistelmä

Mitoittava kuormitusyhdistelmä tässä tapauksessa on KY 10. Poikittaisen vedon ja leikkausvoiman yhdistetty vaikutus harjalla tarkastetaan kuitenkin kuormitusyhdistelmällä KY 14 sekä palkin taipuma kuormitusyhdistelmällä KY 12.

KUORMITUSYHDISTELMÄ 10
aikaluokka: keskipitkä
 $\gamma_{M,pysyvä} : 1,15$



$$K_{FI} = 1,0$$

Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$G_{kj}(\text{omapaino}) + Q_{k,1}(\text{lumi})$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1,15K_{FI}G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5K_{FI}Q_{k,1}(\text{lumi})$$

Kuormat

$$k = 1,1$$

$$s = 6,0 \text{ m}$$

3-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin
pääkannattimien k-jako

Yläpohjan omapaino käyttörajatilassa

$$p_{k,G} = (g_{k1} + g_{k2}) \cdot s \cdot k + g_{k3}$$

$$p_{k,G} = (0,4 + 0,1) \cdot 6 \cdot 1,1 + 2,1$$

$$p_{k,G} = 5,4 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma käyttörajatilassa

$$p_{k,Q} = q_{k1} \cdot s \cdot k$$

$$p_{k,Q} = 2,4 \cdot 6 \cdot 1,1$$

$$p_{k,Q} = 15,84 \text{ kN/m}$$

Nosturin omapaino käyttörajatilassa

$$P_{g,k} = 1,0 \text{ kN}$$

Omapaino + lumikuorma murtorajatilassa

$$p_d = 1,15 \cdot K_{FI} \cdot p_{k,G} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot p_{k,Q}$$

$$p_d = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 5,4 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 15,84$$

$$p_d = 29,97 \text{ kN/m}$$

Nosturin omapaino murtorajatilassa

$$P_{g,d} = 1,15 \cdot K_{FI} \cdot P_{g,k}$$

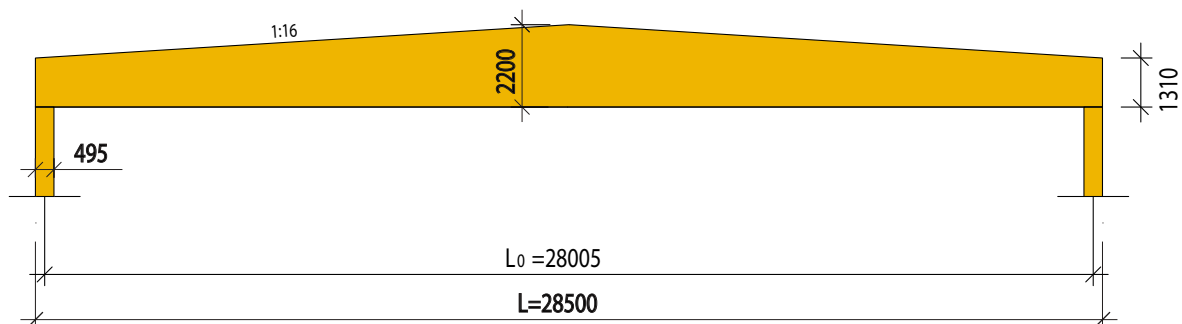
$$P_{g,d} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$P_{g,d} = 1,15 \text{ kN}$$

Palkin mitat

$$L = 28500 \text{ mm}$$

palkin pituus



$$L_0 = 28005 \text{ mm}$$

$$h_1 = 1310 \text{ mm}$$

$$h_{ap} = 2200 \text{ mm}$$

$$b = 240 \text{ mm}$$

$$\ell_A = 495 \text{ mm}$$

palkin jänneväli

palkin päätykorkeus

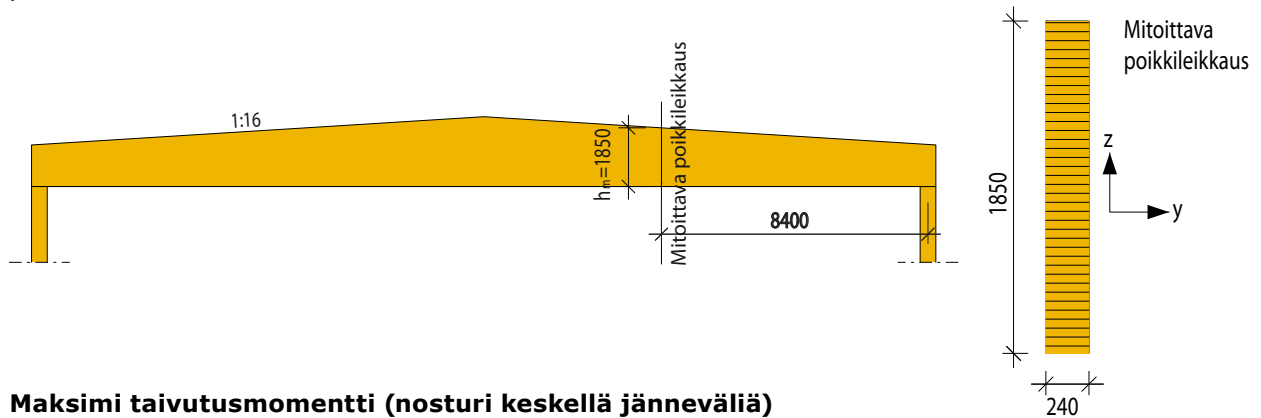
palkin harjakorkeus

palkin leveys

tuen pituus

1.0 Taivutuskestävyys mitoittavassa poikkileikkauksessa

Tässä tapauksessa harjapalkin mitoittava poikkileikkaus sijaitsee etäisyydellä 8400 mm jännevälin päästä.



Maksimi taivutusmomentti (nosturi keskellä jänneväliä)

$$M_d = \frac{p_d \cdot L_0^2}{8} + \frac{P_{g,d} \cdot L_0}{4} = \frac{29,97 \cdot 28,005^2}{8} + \frac{1,15 \cdot 28,005}{4} \quad M_d = 2946 \text{ kNm}$$

Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$M_d = 2473 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 2473 \cdot 10^6}{240 \cdot 1850^2} \quad \sigma_{m,\alpha,d} = 18,1 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.37)

Taivutuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{32 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{m,d} = 21,3 \text{ N/mm}^2$$

$k_{m,\alpha}$ - kerroin

$$\alpha_{\text{ap}} = 3,58^\circ$$

palkin yläreunan kaltevuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{v,d} = 2,13 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{c,90,d} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}}$$

(kaava 6.40)

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{21,3}{1,5 \cdot 2,13} \cdot \tan 3,58 \right)^2 + \left(\frac{21,3}{2,0} \cdot \tan^2 3,58 \right)^2}}$$

$$k_{m,\alpha} = 0,92$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} \Rightarrow 18,1 \text{ N/mm}^2 < 0,92 \cdot 21,3 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 6.38})$$

Käyttöaste 92 %

OK kestää**1.1 Taivutuskestävyys harjalla****Maksimi taivutusmomentti**

$$M_d = \frac{p_d \cdot L_0^2}{8} + \frac{P_{g,d} \cdot L_0}{4} = \frac{29,97 \cdot 28,005^2}{8} + \frac{1,15 \cdot 28,005}{4} \quad M_d = 2946 \text{ kNm}$$

 k_ℓ - kerroin

$$\alpha_{ap} = 3,58^\circ$$

palkin yläreunan kaltevuus

$$k_\ell = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap}$$

(kaava 6.42.1S)

$$k_\ell = 1 + 1,4 \cdot \tan 3,58^\circ + 5,4 \cdot \tan^2 3,58^\circ$$

$$k_\ell = 1,11$$

Taivutusjännitys harjalla

$$M_{ap,d} = M_d = 2946 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{k_\ell \cdot 6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = \frac{1,11 \cdot 6 \cdot 2946 \cdot 10^6}{240 \cdot 2200^2}$$

$$\sigma_{m,d} = 16,9 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.39)

Taivutuslujuus

$$k_{mod} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{32 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{m,d} = 21,3 \text{ N/mm}^2$$

 k_r - kerroinHarjapalkille $k_r = 1,0$

(kaava 6.49)

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} \Rightarrow 16,9 \text{ N/mm}^2 < 1,0 \cdot 21,3 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 6.41})$$

Käyttöaste 79 %

OK kestää

1.2 Poikittainen vetokestävyys harjalla

Liimapuupalkki on käsitelty 2-kertaisella säänkestävällä lakkauksella. Näin ollen taivutusmomentin aiheuttama poikittainen vetojännitys harjalla saadaan laskea kaavalla 6.55.

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = \frac{p_d \cdot L_0^2}{8} + \frac{P_{g,d} \cdot L_0}{4} = \frac{29,97 \cdot 28,005^2}{8} + \frac{1,15 \cdot 28,005}{4} \quad M_d = 2946 \text{ kNm}$$

k_p - kerroin

$$\alpha_{ap} = 3,58^\circ$$

palkin yläreunan kaltevuus

$$k_p = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap}$$

(kaava 6.54.1S)

$$k_p = 0,2 \cdot \tan 3,58^\circ$$

$$k_p = 0,013$$

Poikittainen vetojännitys harjalla

$$M_{ap,d} = M_d = 2946 \text{ kNm}$$

$$p_d = 29,97 \text{ kN/m (tasainen kuorma palkin yläpinnalla)}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} - 0,6 \cdot \frac{p_d}{b} \quad (\text{kaava 6.55})$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,013 \cdot \frac{6 \cdot 2946 \cdot 10^6}{240 \cdot 2200^2} - 0,6 \cdot \frac{29,97}{240} \quad \sigma_{t,90,d} = 0,12 \text{ N/mm}^2$$

Poikittainen vetolujuus

$$k_{mod} = 0,8$$

taulukko 3.1

$$f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{0,45 \cdot 0,8}{1,2} \quad f_{t,90,d} = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

k_{dis} - kerroin

$$\text{Harjapalkille } k_{dis} = 1,4$$

(kaava 6.52)

k_{vol} - kerroin

$$\text{Vertailutilavuus } V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

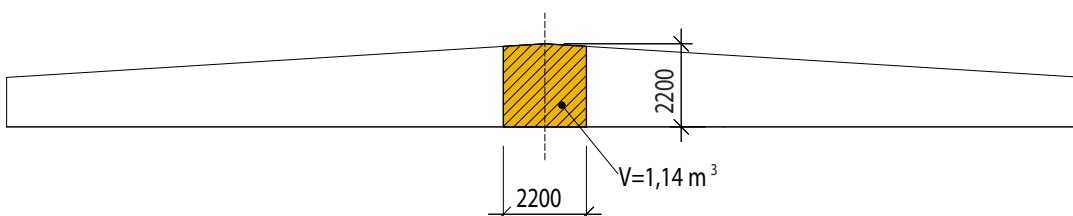
(kaava 6.51)

$$\text{Harja-alueen tilavuus } V = 1,14 \text{ m}^3$$

(kuvan 6.12 mukaisesti)

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{1,14} \right)^{0,2} \quad k_{vol} = 0,39$$

(kaava 6.51)



Mitoitusehto

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} \Rightarrow 0,12 \text{ N/mm}^2 < 1,4 \cdot 0,39 \cdot 0,3 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 6.50})$$

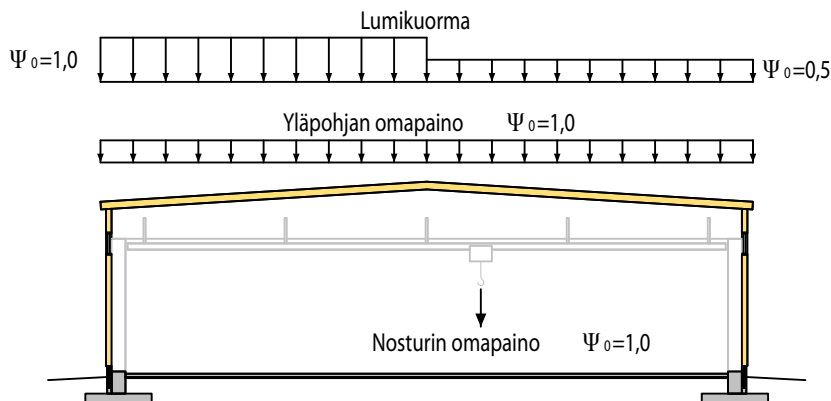
Käyttöaste 73 %

OK kestää**1.3 Yhdistetty poikittainen vetokestävyys ja leikkauskestävyys harjalla**

Mitoittava kuormitusyhdistelmä on tässä tapauksessa KY 14.

KUORMITUSYHDISTELMÄ 14

aikaluokka: keskipitkä

 $\gamma_{M,pysyvä} : 1,15$ **Rasitukset harjalla (nosturi keskellä jänneväliä)**

Statiikkaohjelmasta saadaan seuraavat rasitukset, kun palkkia kuormittaa yläpohjan omapaino ja epäsymmetrinen lumikuorma sekä nosturin omapaino keskellä palkin jänneväliä.

Leikkausvoima harjalla

$$V_d = 42 \text{ kN}$$

Taivutusmomentti harjalla

$$M_d = 2371 \text{ kNm}$$

Leikkausjännitys harjalla

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_{ap}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{42000}{240 \cdot 2200}$$

$$\tau_d = 0,12 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{v,d} = 2,13 \text{ N/mm}^2$$

 k_p - kerroin

$$\alpha_{ap} = 3,58^\circ$$

palkin yläreunan kaltevuus

$$k_p = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap}$$

(kaava 6.54.1S)

$$k_p = 0,2 \cdot \tan 3,58^\circ$$

$$k_p = 0,013$$

Poikittainen vetojännitys harjalla

$$M_{ap,d} = M_d = 2371 \text{ kNm}$$

$$p_d = 18,1 \text{ kNm} \text{ (tasainen kuorma palkin yläpinnalla, omapaino + puolet lumikuormasta)}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} - 0,6 \cdot \frac{p_d}{b} \quad (\text{kaava 6.55})$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,013 \cdot \frac{6 \cdot 2371 \cdot 10^6}{240 \cdot 2200^2} - 0,6 \cdot \frac{18,1}{240} \quad \sigma_{t,90,d} = 0,11 \text{ N/mm}^2$$

Poikittainen vetolujuus

$$k_{mod} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{0,45 \cdot 0,8}{1,2} \quad f_{t,90,d} = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

 k_{dis} - kerroin

$$\text{Harjapalkille } k_{dis} = 1,4 \quad (\text{kaava 6.52})$$

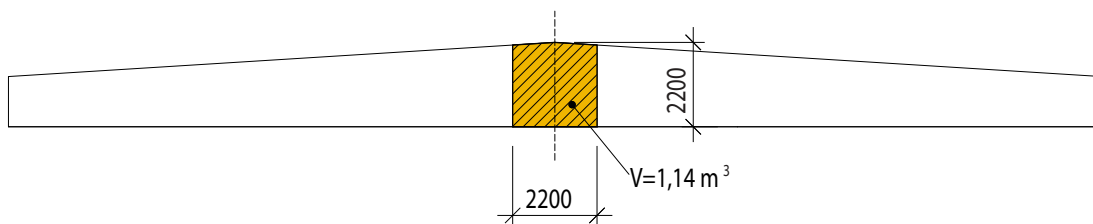
 k_{vol} - kerroin

$$\text{Vertailutilavuus } V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad (\text{kaava 6.51})$$

$$\text{Harja-alueen tilavuus } V = 1,14 \text{ m}^3 \quad (\text{kuvan 6.12 mukaisesti})$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{1,14} \right)^{0,2} \quad k_{vol} = 0,39$$

$$(\text{kaava 6.51})$$

**Mitoitusehto**

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (\text{kaava 6.53})$$

$$\frac{0,12}{2,13} + \frac{0,11}{1,4 \cdot 0,39 \cdot 0,3} = 0,73$$

Käyttöaste 73 %

OK kestää

1.4 Leikkausvoimakestävyys

Mitoittava leikkausvoima tuella

Tasaisen kuorman aiheuttama leikkausvoima tuella

$$V_{pd} = 420 \text{ kN}$$

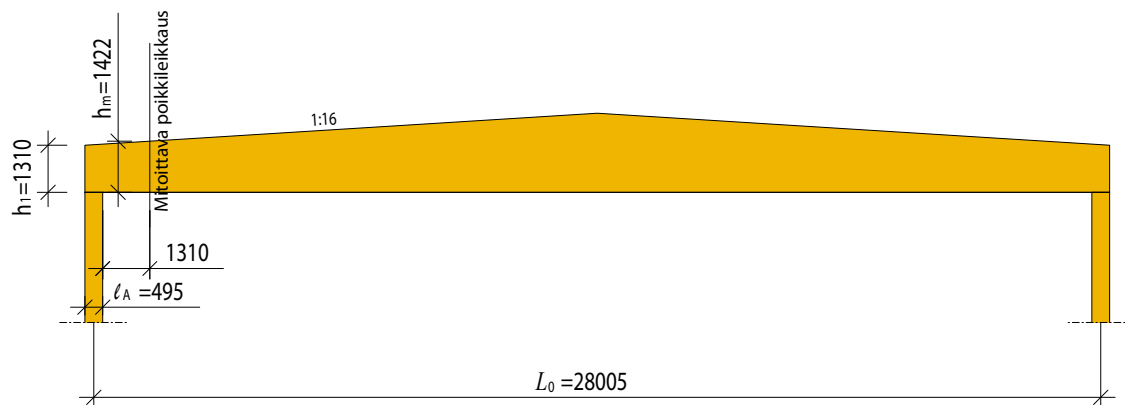
Nosturin omapainon aiheuttama leikkausvoima tuella

$$V_{Pg,d} = 1,1 \text{ kN}$$

Tasaisen kuorman aiheuttamaa leikkausvoimaa voidaan pienentää kuvan 6.7 mukaan.

$$V_{red} = V_{pd} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + \ell_A}{L_0}\right) = 420 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 1310 + 495}{28005}\right) \quad V_{red} = 373 \text{ kN}$$

$$V_d = V_{red} + V_{Pg,d} = 373 + 1,1 \quad V_d = 374 \text{ kN}$$



k_{cr} -kerroin

Palkki on käsitelty 2-kertaisella säänkestävällä lakkauksella.

$$k_{cr} = 1,0$$

$$b_{ef} = b$$

(kaava 6.13a)

Leikkausjännitys tuella

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_m} = \frac{3}{2} \cdot \frac{374000}{240 \cdot 1422} \quad \tau_d = 1,64 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{\text{mod}} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \cdot 0,8}{1,2} \quad f_{v,d} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \Rightarrow 1,64 \text{ N/mm}^2 < 2,1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{kaava 6.13}$$

Käyttöaste 78 %

OK kestää

1.5 Tukipainekestävyys

Tukireaktio (nosturi tuen vieressä)

$$N_d = p_d \cdot \frac{L}{2} + V_{Pg,d} = 29,97 \cdot \frac{28,5}{2} + 1,1$$

$$N_d = 428 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{b \cdot \ell_A} = \frac{428000}{240 \cdot 495}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{c,90,d} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1,5 \text{ (havupuinen liimapuu)}$$

(kohta 6.1.5)

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$\ell_{c,90,ef} = \ell + 30 \text{ mm} = 495 + 30$$

$$\ell_{c,90,ef} = 525 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{\ell_{c,90,ef}}{\ell} \cdot k_{c,90} = \frac{525}{495} \cdot 1,5$$

$$k_{c,\perp} = 1,59$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \Rightarrow 3,6 \text{ N/mm}^2 > 1,59 \cdot 2,0 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.3)

Käyttöaste 113 %

Ei kestä

Pilarin poikkileikkauksen koko tulisi olla 240 x 585, jotta tukipainekestävyys ei ylittyisi. Vaihtoehtoisesti tukipainekestävyyttä voidaan parantaa teräslevyvahvistuksella, joka vidaan toteuttaa esimerkiksi kohdan 1.5.1 mukaan.

1.5.1 Teräslevyvahvistus tuella

Palkin alapintaan asennetaan teräslevy 160x160x16, joka kiinnitetään palkkiin harjateräksillä 4 kpl T20 (A500HW). Harjateräkset liimataan palkkiin rakenteellisella liimauksella (luvanvarainen liimaus). Voima siirtyy teräslevystä palkkiin liimatankojen kautta. Näin ollen tulee määrittää liimatankojen tartuntavoimakkestävyys. Liimatankojen pääty- ja keskinäisetäisyys tulee olla vähintään 4d ja reuna- etäisyys vähintään 2,5d.

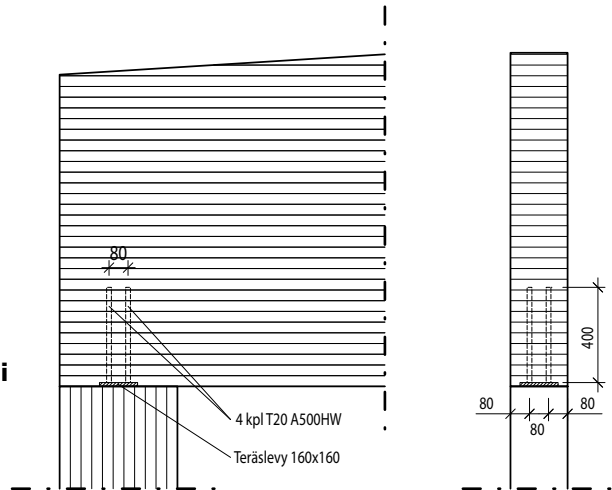
$n = 4$ kpl	liimatankojen määrä / liitos
$d = 20$	harjaterästangon halkaisija
$d_{ef} = 25$	puuhun poratun reiän halkaisija
$L_a = 400$	liimatankon tartuntapituus puussa

Harjaterästankojen puristusvoimakapasiteetti

$f_k = 500 \text{ N/mm}^2$	A500HW teräs
$\gamma_M = 1,1$	teräsrakenteet

$$N_{R,d,teräs} = \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot n \cdot A_{tanko} = \frac{500}{1,1} \cdot 4 \cdot 314$$

$$N_{R,d,teräs} = 571 \text{ kN}$$



Liimasauman tartuntalujuus

$$k_{mod} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{a,k} = 6,5 \cdot \left(1 - \frac{L_a}{100d}\right) = 6,5 \cdot \left(1 - \frac{400}{100 \cdot 20}\right)$$

$$f_{a,k} = 5,2 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 8.87S)

$$f_{a,d} = \frac{f_{a,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{5,2 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{a,d} = 3,46 \text{ N/mm}^2$$

Terästankoliitoksen tartuntavoimakapasiteetti

$$N_{R,d,liimaus} = n \cdot \pi \cdot d_{ef} \cdot f_{a,d} \cdot L_a = 4 \cdot \pi \cdot 25 \cdot 3,46 \cdot 400$$

$$N_{R,d,liimaus} = 434 \text{ kN}$$

Mitoitusehto (koko tukireaktio siirtyy liimatankojen kautta)

$$N_d \leq N_{R,d,teräs} \Rightarrow 428 \text{ kN} < 571 \text{ kN}$$

Käyttöaste 75 %

OK kestää

Mitoitusehto (koko tukireaktio siirtyy liimatankojen kautta)

$$N_d \leq N_{R,d,liimaus} \Rightarrow 428 \text{ kN} < 434 \text{ kN}$$

Käyttöaste 99 %

OK kestää

Puristusjännitys pilarissa teräslevyn alueella (160 mm x 160 mm)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{428000}{160 \cdot 160} \quad \sigma_{c,0,d} = 16,7 \text{ N/mm}^2$$

Pilarin puristuslujuus syysuunnassa

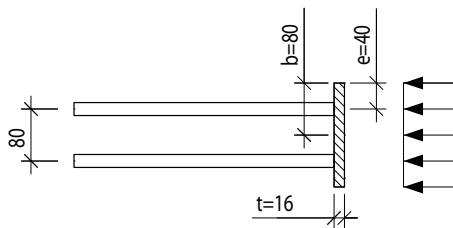
$$k_{\text{mod}} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{26,5 \cdot 0,8}{1,2} \quad f_{c,0,d} = 17,7 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \Rightarrow 16,7 \text{ N/mm}^2 < 17,7 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 6.2})$$

Käyttöaste 94 %

OK kestää**Teräslevyn taivutusmomentti tukireaktiosta**

$$M_d = \frac{\sigma_{c,0,d} \cdot e^2}{2} \cdot b = \frac{16,7 \cdot 40^2}{2} \cdot 80 \quad M_d = 1068,8 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

Teräslevyn taivutusjännitys

$$W = \frac{b \cdot t^2}{6} = \frac{80 \cdot 16^2}{6} \quad W = 3413,3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{1068,8 \cdot 10^3}{3413,3} \quad \sigma_{b,d} = 313,1 \text{ N/mm}^2$$

Teräslevyn taivutuslujuus

$$f_k = 355 \text{ N/mm}^2 \quad \text{S355}$$

$$\gamma_M = 1,1 \quad \text{teräsrakenteet}$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{355}{1,1} \quad f_d = 322,7 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{b,d} \leq f_d \Rightarrow 313,1 \text{ N/mm}^2 < 322,7 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 97 %

OK kestää

1.5.2 LEIKKAUSVOIMAKESTÄVYYS (teräslevyvahvistus)

Mitoittava leikkausvoima tuella (nosturi tuen vieressä)

Tuella on teräslevyvahvistus, joten tuen reuna sijaitsee teräslevyn reunassa eikä liimapuupilarin reunassa. Tämä tulee huomioida leikkausvoimakestävyyden mitoituksessa.

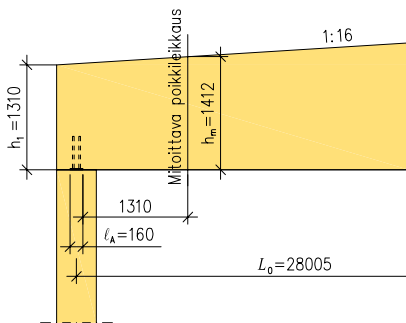
Tasaisen kuorman aiheuttama leikkausvoima tuella $V_{pd} = 420 \text{ kN}$

Nosturin omapainon aiheuttama leikkausvoima tuella $V_{Pg,d} = 1,1 \text{ kN}$

Tasaisen kuorman aiheuttamaa leikkausvoimaa voidaan pienentää kuvan 6.7 mukaan.

$$V_{red} = V_{pd} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + \ell_A}{L_0}\right) = 420 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 1310 + 160}{28005}\right) \quad V_{red} = 378 \text{ kN}$$

$$V_d = V_{red} + V_{Pg,d} = 378 + 1,1 \quad V_d = 379 \text{ kN}$$



k_{cr} -kerroin

Palkki on käsitelty 2-kertaisella säänkestävällä lakkauksella.

$$k_{cr} = 1,0$$

$$b_{ef} = b$$

(kaava 6.13a)

Leikkausjännitys tuella

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h_m} = \frac{3}{2} \cdot \frac{379000}{240 \cdot 1412} \quad \tau_d = 1,68 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \cdot 0,8}{1,2} \quad f_{v,d} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$36 \quad \tau_d \leq f_{v,d} \Rightarrow 1,68 \text{ N/mm}^2 < 2,1 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 6.13})$$

Käyttöaste 80 %
OK kestää

1.6 Taipuma

Harjapalkin taipuma voidaan määrittää esimerkiksi yksikkövoimamenetelmällä, jolla saadaan hyvin tarkka tulos vaikka palkki olisi epäsymmetrinen. Kirjallisuudesta löytyy myös erilaisia kaavoja symmetrisen ja epäsymmetrisen harjapalkin taipuman määrittämiseen. Koska tässä esimerkissä oleva harjapalkki on symmetrinen, niin taipuma määritetään yksiaukkoisen palkin taipumakaavalla käytämällä palkin korkeutena taivutuskestävyystarkasteluissa käytettyä mitoittavan poikkileikkauksen korkeutta h_m . Tällä menetelmällä saadaan varmalla puolella oleva tulos.

Palkin jäyhyysmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$I_y = \frac{b \cdot h_m^3}{12} = \frac{240 \cdot 1850^3}{12} \quad I_y = 1,27 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot p_{k,G} \cdot L_0^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} + \frac{P_{g,k} \cdot L_0^3}{48 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y}$$

$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot 5,4 \cdot 28005^4}{384 \cdot 13700 \cdot 1,27 \cdot 10^{11}} + \frac{1000 \cdot 28005^3}{48 \cdot 13700 \cdot 1,27 \cdot 10^{11}} \quad w_{inst,G} = 25 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta

$$w_{inst,Q,1} = \frac{5 \cdot p_{k,Q} \cdot L_0^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 15,84 \cdot 28005^4}{384 \cdot 13700 \cdot 1,27 \cdot 10^{11}} \quad w_{inst,Q,1} = 73 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q,2} = \frac{P_{q,k} \cdot L_0^3}{48 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{10000 \cdot 28005^3}{48 \cdot 13700 \cdot 1,27 \cdot 10^{11}} \quad w_{inst,Q,2} = 3,0 \text{ mm}$$

Kokonaistaipuma

$$k_{def} = 0,6 \quad (\text{taulukko 3.2})$$

$$\psi_{2,1} = 0,2 \quad (\text{taulukko 2.2})$$

$$\psi_{2,2} = 0,8 \quad (\text{taulukko 2.2})$$

$$\psi_{0,1} = 1,0 \quad (\text{KY 12})$$

$$\psi_{0,2} = 1,0 \quad (\text{KY 12})$$

$$w_{fin,G} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} = (1 + 0,6) \cdot 25 \quad w_{fin,G} = 40 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q,1} = (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q,1} = (1 + 0,2 \cdot 0,6) \cdot 73 \quad (\text{kaava 2.3})$$

$$w_{fin,Q,1} = 82 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q,2} = (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q,2} = (1,0 + 0,8 \cdot 0,6) \cdot 3,0 \quad (\text{kaava 2.4})$$

$$w_{fin,Q,2} = 5,0 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{inst,G} + w_{inst,Q,1} + w_{inst,Q,2} = 40 + 82 + 5,0 \quad (\text{kaava 2.5})$$

$$w_{fin} = 127 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$\text{Taipumaraja } w_{fin} \leq \frac{L_0}{200} \Rightarrow 127 \text{ mm} < \frac{28005 \text{ mm}}{200} \quad (\text{taulukko 7.2})$$

Käyttöaste 91 %

OK**Lopputaipuma**

$$w_c = 50 \text{ mm (esikorotus)}$$

$$w_{net,fin} = w_{fin} - w_c = 127 - 50$$

$$w_{net,fin} = 77 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$\text{Taipumaraja } w_{net,fin} \leq \frac{L_0}{300} \Rightarrow 77 \text{ mm} < \frac{28005 \text{ mm}}{300} \quad (\text{taulukko 7.2})$$

Käyttöaste 83 %

OK

1.7 Kiepahduskestävyys

Kiepahdutarkastelussa palkin korkeutena käytetään taivutuskestävyystarkasteluissa käytettyä mitoittavan poikkileikkauksen korkeutta h_m .

Taivutusjännitys mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$h = h_m = 1850 \text{ mm}$$

Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$M_d = 2473 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 2473 \cdot 10^6}{240 \cdot 1850^2}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = 18,1 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.37)

Kiepahdustuentaväli

$$a = 2500 \text{ mm} \quad \text{kattoelementtien leveys}$$

Sivusuunnassa tuetun palkin tehollinen jänneväli

$$\ell_{ef} = a + 2 \cdot h_m = 2500 + 2 \cdot 1850$$

$$\ell_{ef} = 6200 \text{ mm}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$c = 0,71 \quad \text{liimapuulle GL32c}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\text{(kaava 6.31.1S)}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,71 \cdot 240^2}{1850 \cdot 6200} \cdot 11100$$

$$\sigma_{m,crit} = 39,6 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{39,6}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,90$$

$$\text{(kaava 6.30)}$$

k_{crit} -kerroin

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,90$$

$$k_{crit} = 0,89$$

$$\text{(kaava 6.34)}$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \Rightarrow 18,1 \text{ N/mm}^2 < 0,89 \cdot 21,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{(kaava 6.33)}$$

Käyttöaste 96 %

OK kestää

1.8 Yhden harjapalkin kiepahdustuentavoima

Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$M_d = 2473 \text{ kNm}$$

Sivusuunnassa tukemattoman palkin tehollinen jänneväli

$$h = h_m = 1850 \text{ mm}$$

$$\frac{\ell_{ef}}{\ell} = 0,9 \Rightarrow \ell_{ef} = 0,9 \cdot \ell = 0,9 \cdot 28005$$

$$\ell_{ef} = 25205 \text{ mm}$$

(taulukko 6.3)

Kuorma sijaitsee puristetulla reunalla, joten tehollista jänneväliä suurennetaan mitan 2h verran.

$$\ell_{ef} = 25205 + 2 \cdot h_m = 25205 \text{ mm} + 2 \cdot 1850 \text{ mm}$$

$$\ell_{ef} = 28905 \text{ mm}$$

Sivusuunnassa tukemattoman suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$c = 0,71 \quad \text{liimapuulle GL32c}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05} \quad (\text{kaava 6.31.1S})$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,71 \cdot 240^2}{1850 \cdot 28905} \cdot 11100 \quad \sigma_{m,crit} = 8,5 \text{ N / mm}^2$$

Sivusuunnassa tukemattoman palkin suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{8,5}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,94$$

(kaava 6.30)

k_{crit} -kerroin

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,94^2}$$

$$k_{crit} = 0,26$$

(kaava 6.34)

Puristusvoima palkin yläreunassa

$$N_d = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_d}{h_m}$$

(kaava 9.36)

$$N_d = (1 - 0,26) \cdot \frac{2473}{1,85}$$

$$N_d = 990 \text{ kN}$$

k-kerroin

k_{crit} määritetään siten, että palkki on tuettu sivusuunnassa eli k_{crit} -arvona käytetään kohdassa 1.7 Kiepahduskestävyys määritettyä arvoa.

$$k = \frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{18,1}{0,89 \cdot 21,3}$$

$$k = 0,96$$

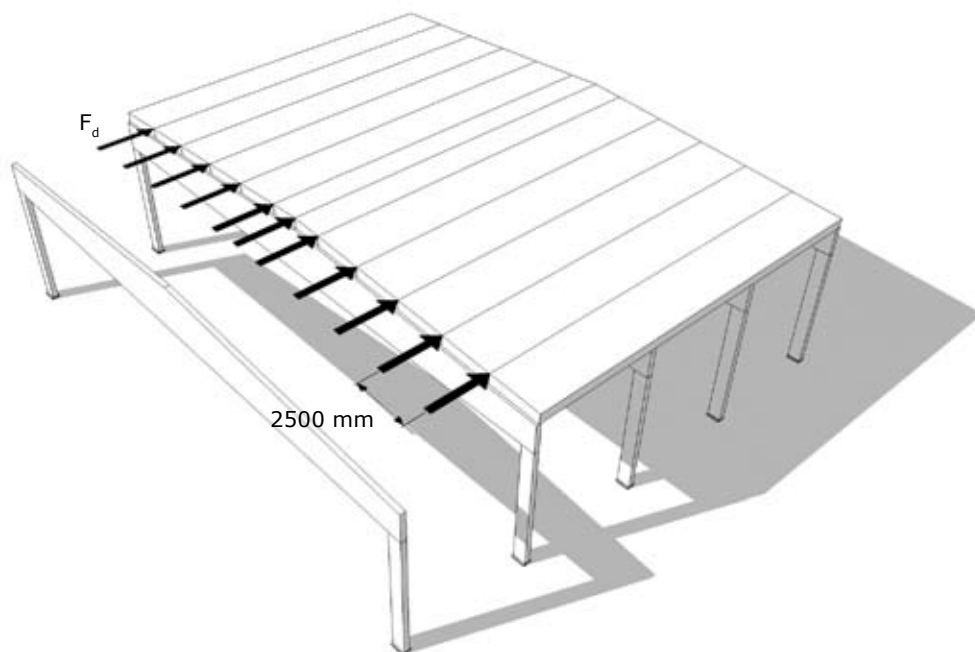
(kaava 9.35.1S)

Kiepahdustukeen kohdistuva voima

$$F_d = \frac{N_d}{80} \cdot k = \frac{990}{80} \cdot 0,96$$

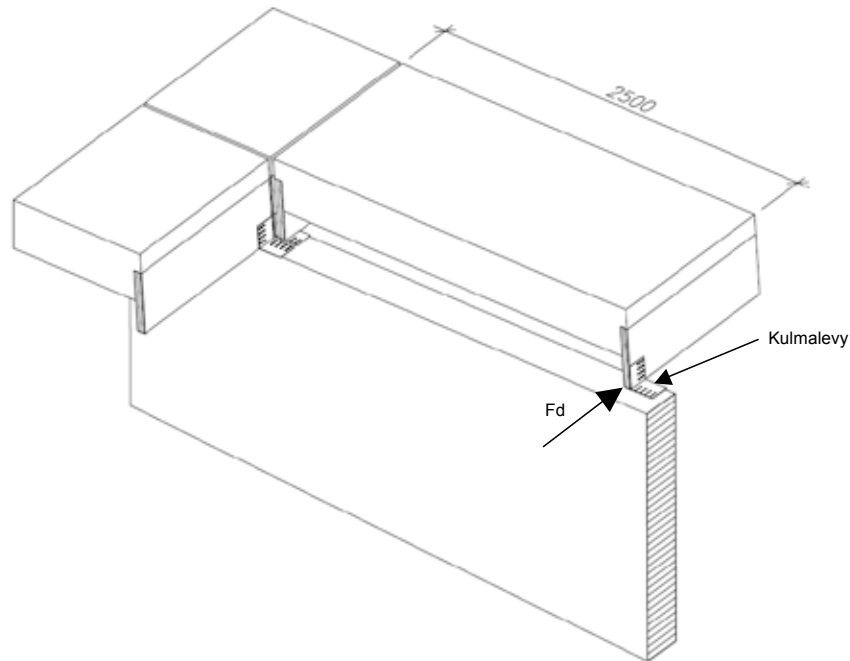
$$F_d = 12 \text{ kN}$$

Kiepahdustuki sekä kiepahdustuen ja pääkannattimen välinen liitos mitoitetaan voimalle F_d .



1.9 Kattoelementin ja harjapalkin liitoksen kestävyys (kiepahdustuenta)

Kattoelementti on kiinnitetty kulmalevyillä harjapalkkiin. Kulmalevyissä käytetään kartiokantaisia kampanauloja 4,0x50 (ns. ankkurinaula).



k_p -kerroin

$$k_p = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} = \sqrt{\frac{410}{350}}$$

$$k_p = 1,08$$

(kaava 8.5.4S)

k_s -kerroin

$d = 4,0 \text{ mm}$ ankkurinaulan paksuus

$t_t \geq 2,0 \text{ mm}$ kulmalevyn paksuus

$$k_s = 1,5 \cdot k_p = 1,5 \cdot 1,08$$

$$k_s = 1,62$$

(kaava 8.5.9S)

Kartiokantaisen profiloidun kampa- tai kierrenaulan (ns. ankkurinaula) yhteydessä voidaan käyttää paksun teräslevyn kaavoja myös teräslevyn paksuudella $0,5d \leq t_t < d$, kun kartio-osan pituus on vähintään d ja leveys kannassa vähintään $1,3d$ ja kun kartio pureutuu tiiviisti kiinni teräslevyn reikään (RIL 205-1-2009 sivu 109).

Naulan leikkauskestävyys

$$R_k = 120d^{1.7} \cdot k_s = 120 \cdot 4,0^{1.7} \cdot 1,62$$

$$R_k = 2052 \text{ N / leike}$$

(kaava 8.5.1S)

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 2052}{1,2}$$

$$R_d = 1,37 \text{ kN}$$

Naulamäärä yhdessä kulmalevyn laipassa

$$n = \frac{F_d}{R_d} = \frac{12}{1,37}$$

$$n = 9 \text{ kpl}$$

Laitetaan 9 naulaa / kulmalevyn laippa. Kulmalevyn kestävyys tulee tarkastaa erikseen.

2.0 Kiepahdustuen jousijäykkyys

Tässä esimerkissä oletetaan, että vain hallin toisessa päässä on jäykisteristikko. Näin ollen kiepahdustentavoimat joudutaan kuljettamaan jäykisteelle hallin toisesta päästä kattoelementtien ja niiden liitosten kautta.

Jäykkyysehto kiepahdustuelle

$m = 12 \text{ kpl}$ (poikittaistuettujen kenttien määrä eli kattoelementtien määrä)

Harjan kohdalla olevat kattoelementit 6 ja 7 ovat puolet kapeampia kuin muut elementit, mutta käsitellään niitä laskelmassa kokonaisina elementteinä.

$$C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180}{m}\right) \right) \cdot \frac{N_d}{a}$$

(kaava 9.34.1S)

$$C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180}{12}\right) \right) \cdot \frac{990}{2,5}$$

$$C = 1557 \text{ N / mm}$$

Siirtymäkerroin yhdelle naulalle

$$\rho_m = 470 \text{ kg/m}^3$$

$$K_{\text{ser}} = 1030 \text{ N / mm}$$

$$K_{\text{ser}} = \frac{\rho_m^{1.5} \cdot d^{0.8}}{30} = \frac{470^{1.5} \cdot 4,0^{0.8}}{30}$$

(taulukko 7.1)

Kysymyksessä on teräs-puu -liitos $\rightarrow 2 \cdot K_{\text{ser}} = 2 \cdot 1030 = 2060 \text{ N / mm}$

Siirtymäkerroin yhdelle kulmalevyliitokselle

$n = 9 \text{ naulaa / kulmalevyn laippa}$

$$K_{\text{ser,liitos}} = n \cdot K_{\text{ser}} = 9 \cdot 2060 \text{ N / mm}$$

$$K_{\text{ser,liitos}} = 18540 \text{ N / mm}$$

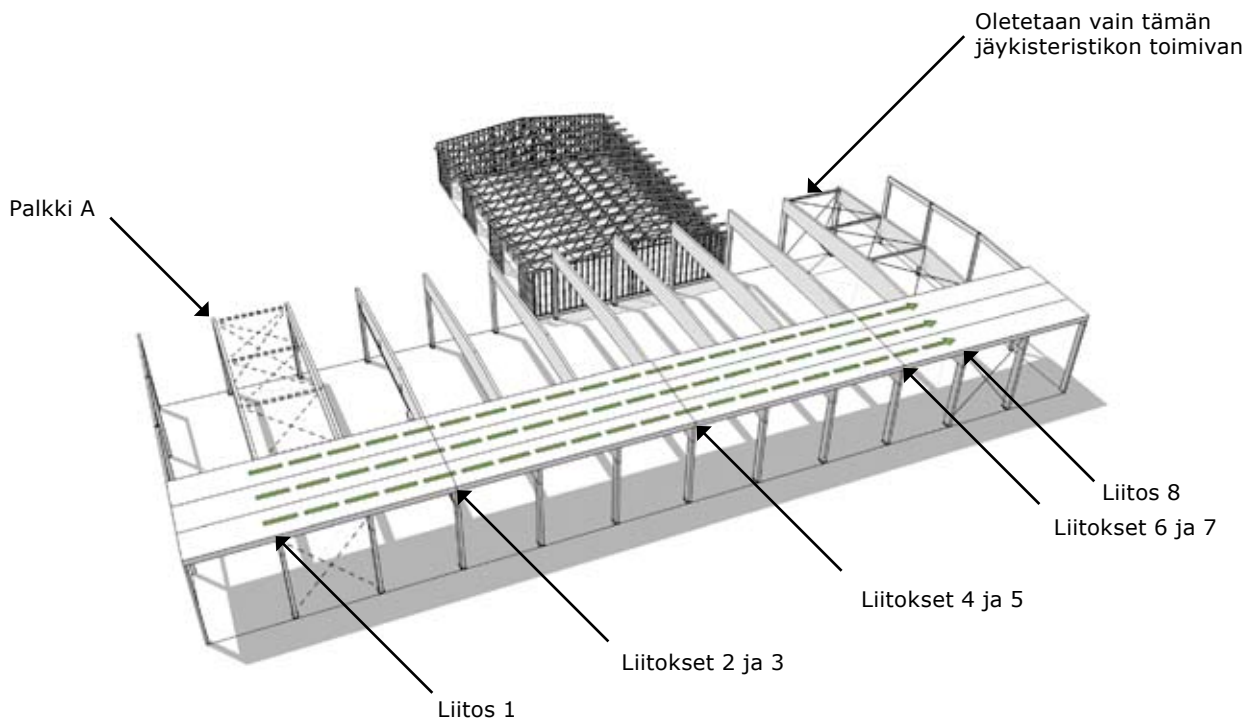
Kiepahdustuentasysteemin jäykkyys

Kiepahdustuennan jäykkyys tarkistetaan tuentasysteemillä, joka sisältää eniten liitoksia. Tässä tapauksessa tarkastellaan palkkia A, joka sijaitsee kauimpana jäykistävästä rakenteesta. Palkin A kiepahdustuentavoiman reitillä on tällöin yhteensä 8 liitosta:

Liitos 1:	palkin liitos kattoelementtiin
Liitokset 2 ja 3:	kattoelementtien jatkoksen kohta
Liitokset 4 ja 5:	kattoelementtien jatkoksen kohta
Liitokset 6 ja 7:	kattoelementtien jatkoksen kohta
Liitos 8:	kattoelementin liitos jäykisteristikoon

Huomio!

Yläpohjan jäykisteristikkoa ei mitoiteta aikaisemmin määritellylle kiepahdustuentavoimalle, vaan jäykisteristikon kuormat koostuvat ulkoisista vaakakuormista (päädyn tuulikuorma) ja kaavalla 9.37 saatavasta jäykistyskuormasta. Tätä on käsitelty tarkemmin esimerkissä 6.



Palkin A kiepahdustuen jousijäykkyys

$$C = \frac{K_{ser,liitos}}{8} = \frac{18540}{8}$$

$$C = 2317 \text{ N/mm}$$

Mitoitusehto

$$C \geq 1557 \text{ N/mm} \Rightarrow 2317 \text{ N/mm} > 1557 \text{ N/mm}$$

Käyttöaste 67 %

OK jäykkyys on riittävä.

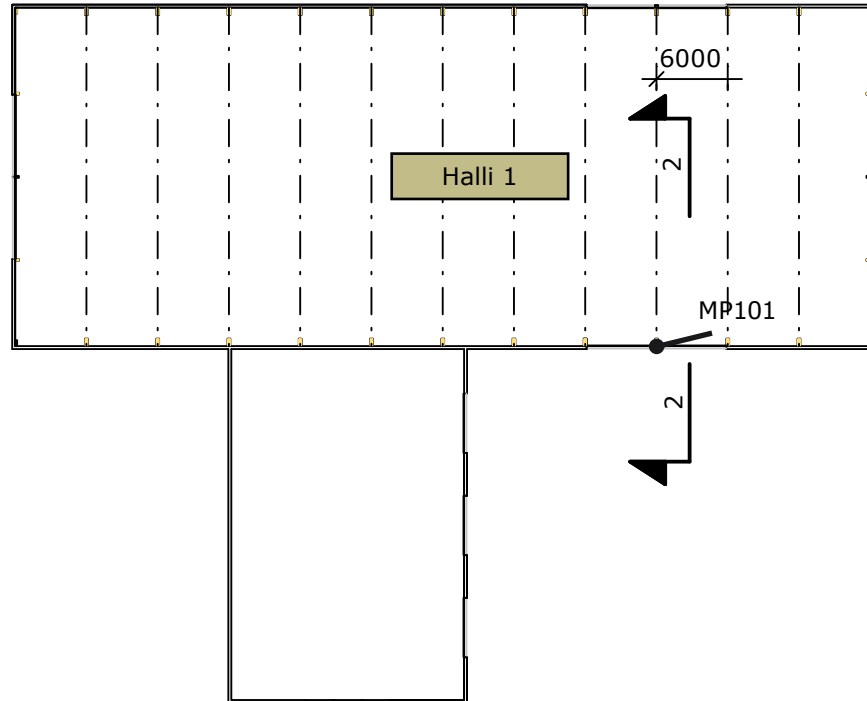
Esimerkin 1 mitoituslosten tarkastelu

Hallin 1 liimapuurakenteisen pääkannattimen HP101 (harjapalkki) dimensioiksi saatiin 240 x (1310-2200-1310). Harjapalkkiin asennetaan teräslevyt 160x160x16 tuen kohdalle, koska tukipinta ei ole muutoin riittävä. Teräslevyissä on harjaterästartunnat 4 kpl T20 A500HW, jotka kiinnitetään palkkiin rakenteellisella liimauksella. Tässä esimerkissä tarkasteltiin myös, että riittääkö hallin toisessa päässä oleva jäykisteristikko yksin antamaan harjapalkkeille riittävän kiepahdustuennan. Laskelma osoitti, että tässä tapauksessa se juuri riittäisi. Tämän kokoisessa hallissa kiepahdustuentavoimia yms. vaakavoimia ei kuitenkaan kannata kuljettaa pitkiä matkoja yläpohjan sekundäärirakenteilla vaan jäykisteristikot tulee sijoittaa hallin molempiin päihin. Joissakin tapauksissa jäykisteitä saatetaan tarvita myös rakennuksen keskialueelle, jotta jäykisteiden välimatka ei muodostuisi liian suureksi.

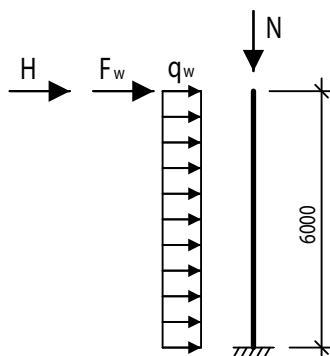
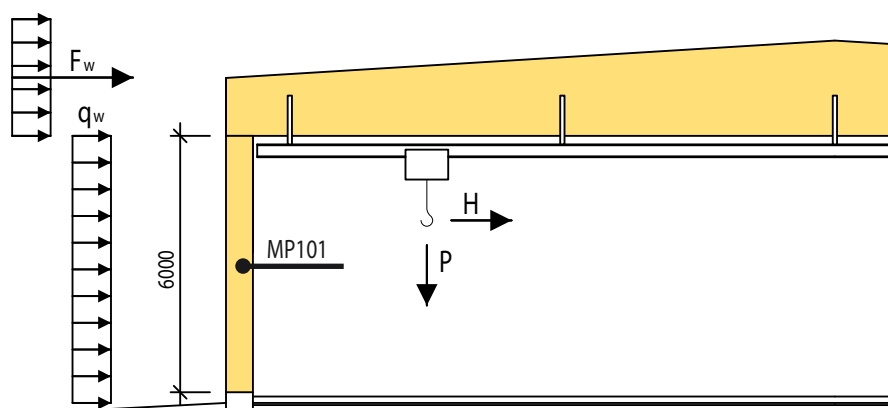
ESIMERKKI 2: Kehän mastopilari

Perustietoja:

- Hallin 1 pääpilarit MP101 ovat liimapuura-kenteisiä mastopilareita.
- Mastopilarit ovat tuet-
tuja heikomman suunnan
nurjahdusta vastaan
ulkoseinäelementeillä.



Leikkaus 2-2:



ESIMERKKI 2

Mitoitetaan hallin 1 liimapuurakenteinen mastopilari MP101. Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Pilarin materiaali

Liimapuu GL32c	(taulukko 3.4)
$f_{m,k} = 32 \text{ N/mm}^2$	taivutus
$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$	leikkaus
$f_{c,o,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$	puristus syysuuntaan
$E_{0,05} = 11100 \text{ N/mm}^2$	kimmomoduuli
$E_{0,mean} = 13700 \text{ N/mm}^2$	kimmomoduuli
$\gamma_M = 1,2$	materiaaliominaisuuden osavarmuusluku (taulukko 2.10)

Yläpohjan kuormat

$g_{k1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$	yläpohja yleensä (kattoelementit)
$g_{k2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$	ripustuskuorma (LVI yms.)
$g_{k3} = 2,1 \text{ kN/m}^2$	harjapalkki (keskimääräinen omapaino)
$q_{k1} = 2,4 \text{ kN/m}^2$	lumikuorma katolla

Tuulikuorma

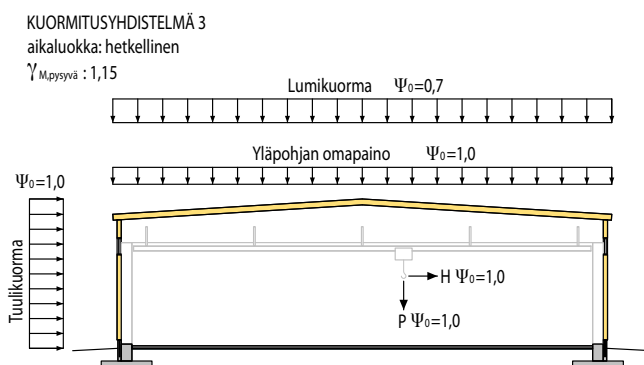
$q_p(z) = 0,63 \text{ kN/m}^2$	nopeuspaine
--------------------------------	-------------

Nosturikuormat

$P_{g,k} = 1,0 \text{ kN}$	nosturin omapaino
$P_{q,k} = 10,0 \text{ kN}$	nosturin aiheuttama pystykuorma
$H_{q,k} = 1,0 \text{ kN}$	nosturin aiheuttama vaakakuorma

Mitoittava kuormitusyhdistelmä

Mitoittava kuormitusyhdistelmä tässä tapauksessa on KY 3.



$$K_{FI} = 1,0$$

Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$Q_{k,i}(tuuli) + \psi_{0,3} Q_{k,3}(nosturi)$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1,15 K_{FI} G_{kj}(omapaino) + 1,5 K_{FI} Q_{k,1}(tuuli) + 1,5 K_{FI} \psi_{0,2} Q_{k,2}(lumi) + 1,5 K_{FI} \psi_{0,3} Q_{k,3}(nosturi)$$

Kuormat ja rasitukset

$k = 1,1$	3-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin
$s = 6,0 \text{ m}$	mastopilarien k-jako
$B = 28,5 \text{ m}$	rungon leveys
$H = \text{noin } 9 \text{ m}$	rakennuksen korkeus
$L = 6,0 \text{ m}$	pilarin pituus
$c_s c_d = 1,0$	rakennekerroin
$c_f = 1,3$	voimakerroin sivuseinää vastaan

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{w,k} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot s$$

$$q_{w,k} = 1,0 \cdot 1,3 \cdot 0,63 \cdot 6$$

$$q_{w,k} = 4,9 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta käyttörajatilassa

$$F_{w,k} = q_{w,k} \cdot (H - L)$$

$$F_{w,k} = 4,9 \cdot (9 - 6)$$

$$F_{w,k} = 14,7 \text{ kN}$$

Nosturin jarrukuorma käyttörajatilassa

$$F_{h,k} = H_{q,k}$$

$$F_{h,k} = 1,0 \text{ kN}$$

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{w,d} = 1,5 \cdot K_{Fl} \cdot c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot s$$

$$q_{w,d} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 0,63 \cdot 6$$

$$q_{w,d} = 7,37 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F_{w,d} = q_{w,d} \cdot (H - L)$$

$$F_{w,d} = 7,37 \cdot (9 - 6)$$

$$F_{w,d} = 22,1 \text{ kN}$$

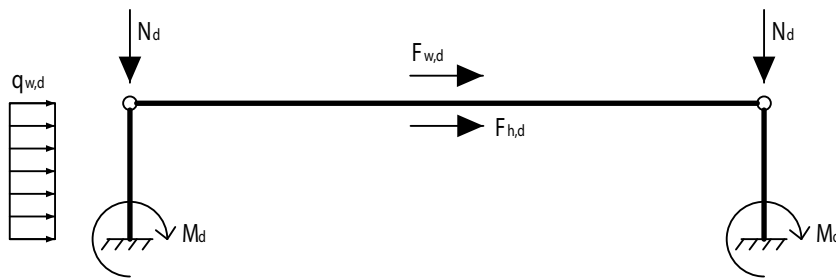
Nosturin jarrukuorma murtorajatilassa

$$F_{h,d} = 1,5 \cdot K_{FI} \cdot H_{q,k}$$

$$F_{h,d} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$F_{h,d} = 1,5 \text{ kN}$$

Mastopilarin rasitukset määritetään tavallisesti statiikkaohjelmalla tarkastelemalla koko kehää kokonaisuutena. Tässä esimerkissä mastopilarin rasitukset määritetään kuitenkin käsinlaskennalla. Seinän yläosaan kohdistuva tuulikuorma $F_{w,d}$ sekä nosturin aiheuttama vaakakuorma $F_{h,d}$ jaetaan tasan molemmille mastopilareille.



Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$N_d = \left(1,15 \cdot K_{FI} \cdot (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k1} \right) \cdot k \cdot s \cdot \frac{B}{2} + 1,15 \cdot K_{FI} \cdot g_{k3} \cdot \frac{B}{2} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \psi_{0,3} \cdot P_{q,k} + 1,15 \cdot K_{FI} \cdot P_{g,k}$$

$$N_d = (1,15 \cdot 1,0 \cdot (0,4 + 0,1) + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 2,4) \cdot 1,1 \cdot 6 \cdot \frac{28,5}{2} + 1,15 \cdot 1,0 \cdot 2,1 \cdot \frac{28,5}{2} + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 10 + 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$N_d = 341,8 \text{ kN}$$

Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$M_{d,1} = \frac{5 \cdot q_{w,d} \cdot L^2}{16}$$

tasainen kuorma

$$M_{d,1} = \frac{5 \cdot 7,37 \cdot 6^2}{16}$$

$$M_{d,1} = 82,9 \text{ kNm}$$

$$M_{d,2} = \frac{F_{w,d} \cdot L}{2} + \frac{F_{h,d} \cdot L}{2}$$

pistekuormat

$$M_{d,2} = \frac{22,1 \cdot 6}{2} + \frac{1,5 \cdot 6}{2}$$

$$M_{d,2} = 70,8 \text{ kNm}$$

$$M_d = M_{d,1} + M_{d,2} = 82,9 + 70,8$$

tasainen kuorma + pistekuormat

$$M_d = 153,7 \text{ kNm}$$

Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

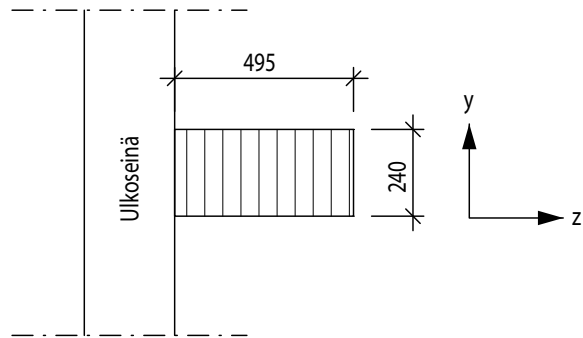
$$V_d = \frac{4 \cdot q_{w,d} \cdot L}{5} + \frac{F_{w,d}}{2} + \frac{F_{h,d}}{2}$$

$$V_d = \frac{4 \cdot 7,37 \cdot 6}{5} + \frac{22,1}{2} + \frac{1,5}{2}$$

$$V_d = 47,2 \text{ kN}$$

Pilarin mitat

$b = 240 \text{ mm}$	pilarin leveys
$h = 495 \text{ mm}$	pilarin korkeus
$A = 118800 \text{ mm}^2$	pilarin poikkileikkausala

**1.0 Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)****Maksimi normaalivoima**

$$N_d = 341,8 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L_{c,z} = 2,5 \cdot L = 2,5 \cdot 6000$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{240 \cdot 495^3}{12}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2425,7 \cdot 10^6}{118800}}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{15000}{142,9}$$

$$L_{c,z} = 15000 \text{ mm}$$

(taulukko 6.1)

$$I_y = 2425,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 142,9 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = 105$$

(kaava 6.20.2S)

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{105}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{11100}}$$

$$\lambda_{rel,y} = 1,63$$

(kaava 6.21)

 k_y -kerroin $\beta_c = 0,1$ alkukäyryydestä riippuva kerroin liimapuulle

(kaava 6.29)

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

(kaava 6.27)

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,63 - 0,3) + 1,63^2)$$

$$k_y = 1,9$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1$$

(kaava 6.25)

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,9 + \sqrt{1,9^2 - 1,63^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,35$$

Puristusjännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{341800}{240 \cdot 495}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 2,88 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{26,5 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{c,0,d} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 153,7 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 153,7 \cdot 10^6}{240 \cdot 495^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 15,7 \text{ N/mm}^2$$

 k_h -kerroin (taivutus- ja vetolujuuden korotuskerroin)

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

$$k_h = \left(\frac{600}{495} \right)^{0,1}$$

$$k_h = 1,02 \approx 1,0$$

k_h -kerroin on tässä tapauksessa lähes 1,0. Emme käytä kyseistä kerrointa tässä laskelmassa.

Taivutuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{32 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{m,d} = 29,3 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

(kaava 6.23)

$$\frac{2,88}{0,35 \cdot 24,3} + \frac{15,7}{29,3} \leq 1$$

Käyttöaste 88 %

OK kestää

1.1 Kiepahduskestävyys

Ulkoseinärakenne estää pilaria nurjahtamasta sen heikommassa suunnassa. Seinärakenne ei kuitenkaan estä pilarin sisäreunaa kiepahtamasta, koska seinärakenne on taivutetun rakenteen (pilarin) "vetopuolella".

Taivutusjännitys

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 153,7 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 153,7 \cdot 10^6}{240 \cdot 495^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 15,7 \text{ N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

$a = 6000 \text{ mm}$ pilarin pituus

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle

$$\frac{\ell_{ef}}{\ell} = 0,5 \Rightarrow \ell_{ef} = 0,5 \cdot \ell = 0,5 \cdot 6000$$

$$\ell_{ef} = 3000 \text{ mm}$$

(taulukko 6.3)

Kuorma sijaitsee vedetyllä reunalla, joten tehollista jänneväliä voidaan pienentää mitan 0,5h verran.

$$\ell_{ef,1} = 3000 - 0,5 \cdot h = 3000 \text{ mm} - 0,5 \cdot 495 \text{ mm}$$

$$\ell_{ef,1} = 2753 \text{ mm}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli pistekuormille

$$\frac{\ell_{ef}}{\ell} = 0,8 \Rightarrow \ell_{ef} = 0,8 \cdot \ell = 0,8 \cdot 6000$$

$$\ell_{ef} = 4800 \text{ mm}$$

(taulukko 6.3)

Kuorma sijaitsee pilarin keskilinjalla (hankolautaliitos)

$$\ell_{ef,2} = \ell_{ef} = 4800 \text{ mm}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle ja pistekuormille

$$M_{d,1} = 82,9 \text{ kNm}$$

tasaisen kuorman aiheuttaman momentti

$$M_{d,2} = 70,8 \text{ kNm}$$

pistekuormien aiheuttama momentti

$$\ell_{ef} = \frac{M_{d,1} \cdot \ell_{ef,1} + M_{d,2} \cdot \ell_{ef,2}}{M_{d,1} + M_{d,2}} = \frac{82,9 \cdot 2753 + 70,8 \cdot 4800}{82,9 + 70,8}$$

$$\ell_{ef} = 3696 \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$c = 0,71$ liimapuulle GL32c

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05} \quad (\text{kaava 6.31.1S})$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,71 \cdot 240^2}{495 \cdot 3696} \cdot 11100 \quad \sigma_{m,crit} = 248 \text{ N / mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{248}} \quad \lambda_{rel,m} = 0,36$$

(kaava 6.30)

 k_{crit} -kerroin

$$k_{crit} = 1 \quad (\text{kaava 6.34})$$

Pilari ei ole kiepahdusherkkä, koska k_{crit} -kertoimen arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitysehto- ja ei tarvitse tarkastaa.

Huomio!

Kaava 6.35 tulee myös tarkastaa, jos $k_{crit} < 1$, vaikka $k_{c,z} = 1$ eli pilarin nurjahtamista ei tapahdu heikommassa suunnassa.

1.2 Leikkausvoimakestävyys

Maksimi leikkausvoima

$$V_d = 47,2 \text{ kN}$$

k_{cr} -kerroin

$$k_{cr} = 0,67$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 240$$

$$b_{ef} = 160,8 \text{ mm}$$

(kaava 6.13a)

Leikkausjännitys tuella

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{47200}{160,8 \cdot 495}$$

$$\tau_d = 0,89 \text{ N / mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{v,d} = 2,93 \text{ N / mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \Rightarrow 0,89 \text{ N / mm}^2 < 2,93 \text{ N / mm}^2$$

(kaava 6.13)

Käyttöaste 30 %

OK kestää

1.3 Mastopilarikehän siirtymä

Mastopilarikehän siirtymä vaakakuormista tulee tarkastaa. Siirtymä voidaan määrittää esimerkiksi yksikkövoimamenetelmällä, mutta tässä esimerkissä se tehdään statiikkaohjelmalla. Kuormina käytetään esimerkin alussa määritettyjä käyttörajatilan kuormia.

Rakennuksen vaakasiirtymän enimmäisarvo on $H/300$.

(taulukko 7.2)

Statiikkaohjelmasta saadaan kehän siirtymäksi 30 mm.

Mitoitusehto

Rakennuksen korkeus on noin 9 metriä.

$$w_{fin} \leq \frac{H}{300} \Rightarrow 30 \text{ mm} = \frac{9000 \text{ mm}}{300}$$

Käyttöaste 100 %

OK siirtymä hyväksytään.

Esimerkin 2 mitoitus tulosten tarkastelu

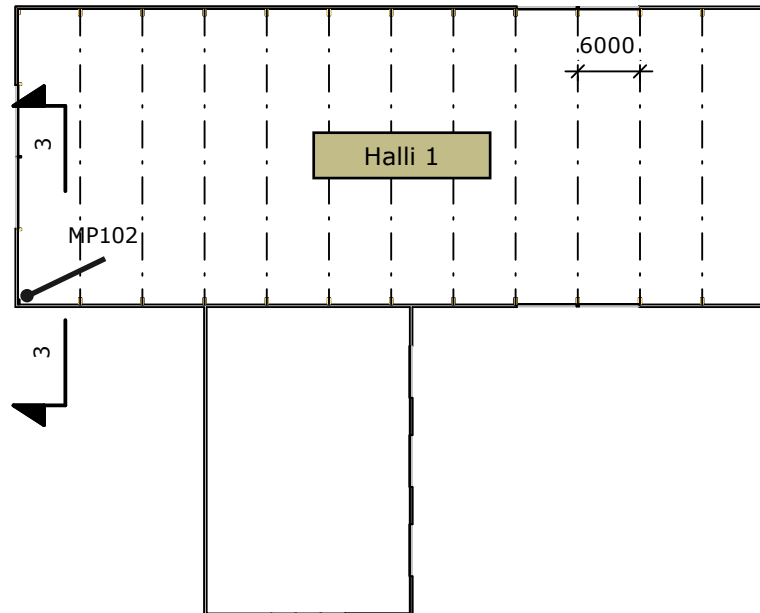
Hallin 1 liimapuurakenteisen mastopilarin MP101 dimensioiksi saatiin 240 x 495. Ulkoseinärakenne estää mastopilareita nurjahdamasta niiden heikommassa suunnassa, joten ulkoseinärakenne ja sen kiinnitykset tulee mitoittaa kestäämään nurjahduksesta aiheutuvat voimat.

ESIMERKKI 3: Nurkkapilari

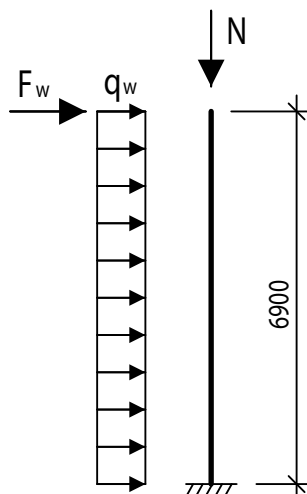
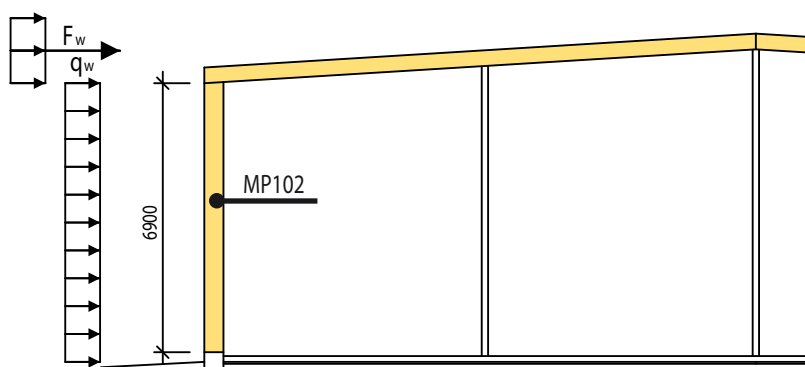
Perustietoja:

- Hallin 1 nurkkapilarit MP102 ovat liimapuurakenteisia mastopilareita.

- Mastopilarit on tuettu heikomman suunnan nurjahdusta vastaan ulkoseinäelementeillä.



Leikkaus 3-3



ESIMERKKI 3

Mitoitetaan hallin 1 liimapuurakenteinen nurkkapilari MP102. Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Pilarin materiaali

Liimapuu GL32c (taulukko 3.4)

$$f_{m,k} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,o,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 11100 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,\text{mean}} = 13700 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,2$$

taivutus

leikkaus

puristus syysuuntaan

kimmomoduuli

kimmomoduuli

materiaaliominaisuuden osavarmuusluku (taulukko 2.10)

Yläpohjan kuormat

$$g_{k1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k3} = 0,33 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k1} = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

yläpohja yleensä (kattoelementit)

ripustuskuorma (LVI yms.)

päätypalkki

lumikuorma katolla

Tuulikuorma

$$q_p(z) = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

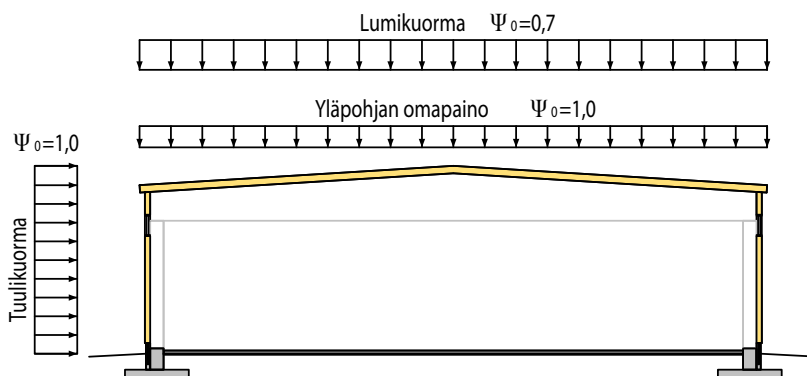
nopeuspaine

Mitoittava kuormitusyhdistelmä tässä tapauksessa on KY 7.

KUORMITUSYHDISTELMÄ 7

aikaluokka: hetkellinen

$g_{M,pysyvä} : 1,15$



$$K_{FI} = 1,0$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$K_L Q_{k,i}(\text{tuuli})$ distelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

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

Kuormat ja rasitukset

$s = 6,0 \text{ m}$	mastopilarien k-jako
$B = 28,5 \text{ m}$	rungon leveys
$H = \text{noin } 9 \text{ m}$	rakennuksen korkeus
$L = 6,9 \text{ m}$	pilarin pituus
$c_s c_d = 1,0$	rakennekerroin
$c_f = 1,3$	voimakerroin sivuseinää vastaan

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{w,k} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot \frac{s}{2}$$

$$q_{w,k} = 1,0 \cdot 1,3 \cdot 0,63 \cdot \frac{6}{2}$$

$$q_{w,k} = 2,5 \text{ kN / m}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta käyttörajatilassa

$$F_{w,k} = q_{w,k} \cdot (H - L)$$

$$F_{w,k} = 2,5 \cdot (9 - 6,9)$$

$$F_{w,k} = 5,3 \text{ kN}$$

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{w,d} = 1,5 \cdot K_{FI} \cdot c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot \frac{s}{2}$$

$$q_{w,d} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 0,63 \cdot \frac{6}{2}$$

$$q_{w,d} = 3,7 \text{ kN / m}$$

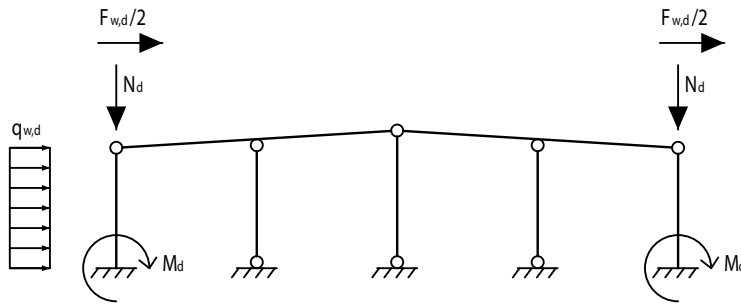
Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F_{w,d} = q_{w,d} \cdot (H - L)$$

$$F_{w,d} = 3,7 \cdot (9 - 6,9)$$

$$F_{w,d} = 7,8 \text{ kN}$$

Mastopilarin rasitukset määritetään tavallisesti statiikkaohjelmalla tarkastelemalla koko kehää kokonaisuutena. Tässä esimerkissä mastopilarin rasitukset määritetään kuitenkin käsinlaskennalla. Seinän yläosaan kohdistuva tuulikuorma $F_{w,d}$ jaetaan tasan molemmille mastopilareille.



Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$N_d = (1,15 \cdot K_{FI} \cdot (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k1}) \cdot \frac{s}{2} \cdot \frac{B}{8} + 1,15 \cdot K_{FI} \cdot g_{k3} \cdot \frac{B}{8}$$

$$N_d = (1,15 \cdot 1,0 \cdot (0,4 + 0,1) + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 2,4) \cdot \frac{6}{2} \cdot \frac{28,5}{8} + 1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,33 \cdot \frac{28,5}{8}$$

$$N_d = 34,4 \text{ kN}$$

Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$M_{d,1} = \frac{5 \cdot q_{w,d} \cdot L^2}{16}$$

tasainen kuorma

$$M_{d,1} = \frac{5 \cdot 3,7 \cdot 6,9^2}{16}$$

$$M_{d,1} = 55,1 \text{ kNm}$$

$$M_{d,2} = \frac{F_{w,d} \cdot L}{2}$$

$$M_{d,2} = \frac{7,8 \cdot 6,9}{2}$$

pistekuormat

$$M_{d,2} = 26,9 \text{ kNm}$$

$$M_d = M_{d,1} + M_{d,2} = 55,1 + 26,9$$

tasainen kuorma + pistekuormat

$$M_d = 82,0 \text{ kNm}$$

Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

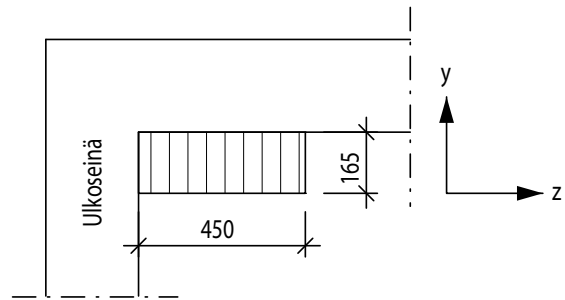
$$V_d = \frac{4 \cdot q_{w,d} \cdot L}{5} + \frac{F_{w,d}}{2}$$

$$V_d = \frac{4 \cdot 3,7 \cdot 6,9}{5} + \frac{7,8}{2}$$

$$V_d = 24,3 \text{ kN}$$

Pilarin lähtötiedot

$b = 165 \text{ mm}$	pilarin leveys
$h = 450 \text{ mm}$	pilarin korkeus
$A = 74250 \text{ mm}^2$	pilarin poikkileikkausala

**1.0 Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)****Maksimi normaalivoima**

$$N_d = 34,4 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L_{c,z} = 2,5 \cdot L = 2,5 \cdot 6900$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{165 \cdot 450^3}{12}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1252,9 \cdot 10^6}{74250}}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{17250}{129,9}$$

$$L_{c,z} = 17250 \text{ mm}$$

(taulukko 6.1)

$$I_y = 1252,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 129,9 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = 133$$

(kaava 6.20.2S)

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{133}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{11100}}$$

$$\lambda_{rel,y} = 2,07$$

(kaava 6.21)

 k_y -kerroin

$$\beta_c = 0,1 \text{ alkukäyryydestä riippuva kerroin liimapuulle}$$

(kaava 6.29)

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

(kaava 6.27)

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,07 - 0,3) + 2,07^2)$$

$$k_y = 2,7$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1$$

(kaava 6.25)

$$k_{c,y} = \frac{1}{2,7 + \sqrt{2,7^2 - 2,07^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,23$$

Puristusjäännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{34400}{165 \cdot 450}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 0,46 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{26,5 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{c,0,d} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 82,0 \text{ kNm}$$

Taivutusjäännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 82,0 \cdot 10^6}{165 \cdot 450^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 14,7 \text{ N/mm}^2$$

 k_h -kerroin (taivutus- ja vetolujuuden korotuskerroin)

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

$$k_h = \left(\frac{600}{450} \right)^{0,1}$$

$$k_h = 1,03 \approx 1,0$$

k_h -kerroin on tässä tapauksessa lähes 1,0. Emme käytä kyseistä kerrointa tässä laskelmassa.

Taivutuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{32 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{m,d} = 29,3 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

(kaava 6.23)

$$\frac{0,46}{0,23 \cdot 24,3} + \frac{14,7}{29,3} \leq 1$$

Käyttöaste 59 %

OK kestää

1.1 Kiepahduskestävyys

Ulkoseinärakenne estää pilaria nurjahtamasta sen heikommassa suunnassa. Seinärakenne ei kuitenkaan estä pilarin sisäreunaa kiepahtamasta, koska seinärakenne on taivutetun rakenteen (pilarin) "vetopuolella".

Taivutusjännitys

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 82,0 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 82,0 \cdot 10^6}{165 \cdot 450^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 14,7 \text{ N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

$$a = 6900 \text{ mm}$$

pilarin pituus

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle

$$\frac{\ell_{ef}}{\ell} = 0,5 \Rightarrow \ell_{ef} = 0,5 \cdot \ell = 0,5 \cdot 6900$$

$$\ell_{ef} = 3450 \text{ mm}$$

(taulukko 6.3)

Kuorma sijaitsee vedetyllä reunalla, joten tehollista jänneväliä voidaan pienentää mitan 0,5h verran.

$$\ell_{ef,1} = \ell_{ef} - 0,5 \cdot h = 3450 \text{ mm} - 0,5 \cdot 450 \text{ mm}$$

$$\ell_{ef,1} = 3225 \text{ mm}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli pistekuormalle

$$\frac{\ell_{ef}}{\ell} = 0,8 \Rightarrow \ell_{ef} = 0,8 \cdot \ell = 0,8 \cdot 6900$$

$$\ell_{ef} = 5520 \text{ mm}$$

(taulukko 6.3)

Kuorma sijaitsee pilarin keskilinjalla (hankolautaliitos)

$$\ell_{ef,2} = \ell_{ef} = 5520 \text{ mm}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle ja pistekuormille

$$M_{d,1} = 55,1 \text{ kNm}$$

tasaisen kuorman aiheuttama momentti

$$M_{d,2} = 26,9 \text{ kNm}$$

pistekuorman aiheuttama momentti

$$\ell_{ef} = \frac{M_{d,1} \cdot \ell_{ef,1} + M_{d,2} \cdot \ell_{ef,2}}{M_{d,1} + M_{d,2}} = \frac{55,1 \cdot 3225 + 26,9 \cdot 5520}{55,1 + 26,9}$$

$$\ell_{ef} = 3978 \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys $c = 0,71$ liimapuulle GL32c

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05} \quad (\text{kaava 6.31.1s})$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,71 \cdot 165^2}{450 \cdot 3978} \cdot 11100 \quad \sigma_{m,crit} = 120 \text{ N / mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{120}} \quad \lambda_{rel,m} = 0,52$$

(kaava 6.30)

 k_{crit} -kerroin

$$k_{crit} = 1 \quad (\text{kaava 6.34})$$

Pilari ei ole kiepahdusherkkä, koska k_{crit} -kertoimen arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitysehto- ja ei tarvitse tarkastaa.

Huomio!

Kaava 6.35 tulee myös tarkastaa, jos $k_{crit} < 1$, vaikka $k_{c,z}=1$ eli pilarin nurjahtamista ei tapahdu heikommassa suunnassa.

1.2 Leikkausvoimakestävyys

Maksimi leikkausvoima

$$V_d = 24,3 \text{ kN}$$

k_{cr} -kerroin

$$k_{cr} = 0,67$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 165$$

$$b_{ef} = 110,6 \text{ mm}$$

(kaava 6.13a)

Leikkausjännitys tuella

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{24300}{110,6 \cdot 450}$$

$$\tau_d = 0,73 \text{ N / mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{v,d} = 2,93 \text{ N / mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \Rightarrow 0,73 \text{ N / mm}^2 < 2,93 \text{ N / mm}^2$$

(kaava 6.13)

Käyttöaste 25 %

OK kestää

1.3 Mastopilarikehän siirtymä

Mastopilarikehän siirtymä vaakakuormista tulee tarkastaa. Siirtymä voidaan määrittää esimerkiksi yksikkövoimamenetelmällä, mutta tässä esimerkissä se tehdään statiikkaohjelmalla. Kuormina käytetään esimerkin alussa määritettyjä käyttörajatilan kuormia.

Rakennuksen vaakasiirtymän enimmäisarvo on $H/300$
 Statiikkaohjelmasta saadaan kehän siirtymäksi 40 mm.

(taulukko 7.2)

Ehto rakennuksen vaakasiirtymälle

Rakennuksen korkeus on noin 9 metriä.

$$w_{fin} \leq \frac{H}{300} \Rightarrow 40 \text{ mm} > \frac{9000 \text{ mm}}{300}$$

Käyttöaste 134 %

Liian suuri siirtymä

64 Siirtymän takia nurkkapilareita joudutaan suurentamaan. Laitetaan nurkkapilariksi 165x495, jolloin kehän siirtymäksi saadaan 30 mm, joka on hyväksyttävä siirtymä.

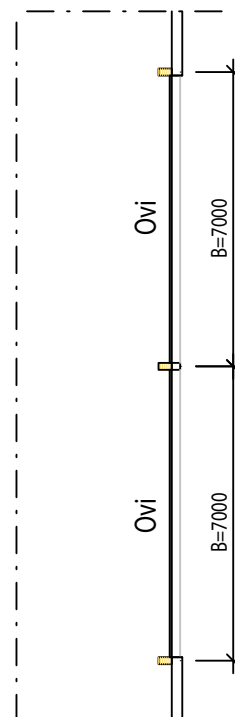
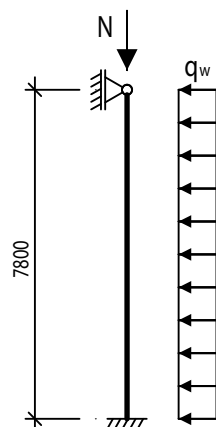
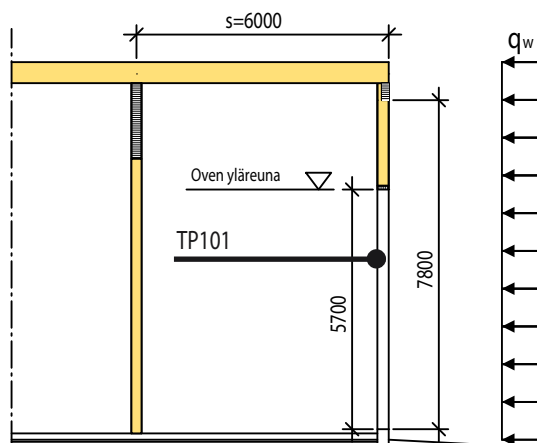
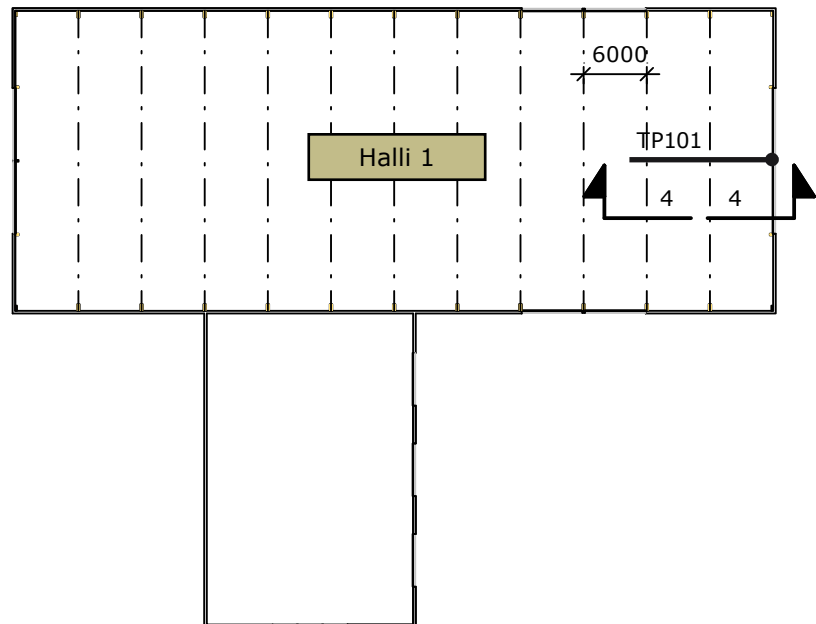
Esimerkin 3 mitoitus tulosten tarkastelu

Hallin 1 liimapuurakenteisen mastopilarin MP102 dimensioiksi saatiin 165 x 495. Ulkoseinärakenne estää mastopilareita nurjahdamasta niiden heikommassa suunnassa, joten ulkoseinärakenne ja sen kiinnitykset tulee mitoittaa kestäämään nurjahduksesta aiheutuvat voimat.

ESIMERKKI 4: Tuulipilari

Perustietoja:

- Hallin 1 päätyseinän tuulipilarit TP101 ovat liimapuurakenteisia.
- Tuulipilarin yläpää on nivelellisesti ja alapää jäykästi tuettu.
- Tuulipilaria ei ole tuettu nurjahdusta vastaan sen poikkileikkauksen heikommassa suunnassa, koska pilari sijaitsee ovien välissä.



ESIMERKKI 4

Mitoitetaan hallin 1 liimapuurakenteinen tuulipilari TP101. Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Pilarin materiaali

Liimapuu GL32c

$$f_{m,k} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,o,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 11100 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 13700 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,2$$

taulukko 3.4

taivutus

leikkaus

puristus syysuuntaan

kimmomoduuli

kimmomoduuli

materiaaliominaisuuden osavarmuusluku (taulukko 2.10)

Yläpohjan kuormat

$$g_{k1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k3} = 0,33 \text{ kN/m}$$

$$q_{k1} = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

yläpohja yleensä (kattoelementit)

ripustuskuorma (LVI yms.)

päätypalkki

lumikuorma katolla

Tuulikuorma

$$q_p(z) = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

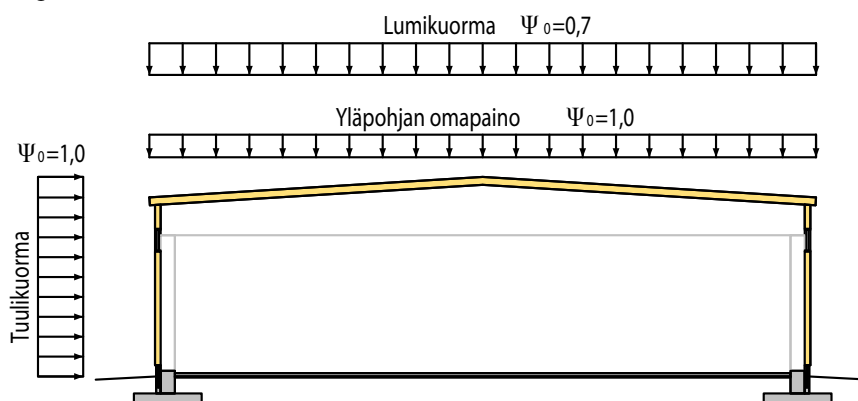
nopeuspaine

Mitoittava kuormitusyhdistelmä tässä tapauksessa on KY 7.

KUORMITUSYHDISTELMÄ 7

aikaluokka: hetkellinen

$g_{M,pysyvä} : 1,15$



$$K_{FI} = 1,0$$

Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$Q_{k,1}(tuuli)$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

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

Kuormat ja rasitukset

$s = 6,0 \text{ m}$	mastopilarikehien k-jako
$B = 7,0 \text{ m}$	pilarin kuormitusleveys
$L = 7,8 \text{ m}$	pilarin pituus
$H = 5,7 \text{ m}$	oviaukon korkeus
$c_s c_d = 1,0$	rakennekerroin
$c_f = 0,9$	voimakerroin päätyseinää vastaan

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{w,k} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot B$$

$$q_{w,k} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,63 \cdot 7,0$$

$$q_{w,k} = 4,0 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{w,d} = 1,5 \cdot K_{FI} \cdot q_{w,k}$$

$$q_{w,d} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 4,0$$

$$q_{w,d} = 6,0 \text{ kN/m}$$

Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$N_d = (1,15 \cdot K_{FI} \cdot (g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k1}) \cdot \frac{s}{2} \cdot B + 1,15 \cdot K_{FI} \cdot g_{k3} \cdot B$$

$$N_d = (1,15 \cdot 1,0 \cdot (0,4 + 0,1) + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 2,4) \cdot \frac{6}{2} \cdot 7,0 + 1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,33 \cdot 7,0$$

$$N_d = 67,7 \text{ kN}$$

Pilarin taivutusmomentti tuulikuormasta murtorajatilassa pilarin juuressa

$$M_d = \frac{q_{w,d} \cdot L^2}{8}$$

$$M_d = \frac{6,0 \cdot 7,8^2}{8}$$

$$M_d = 45,6 \text{ kNm}$$

Pilarin taivutusmomentti kuorman epäkeskisyydestä murtorajatilassa pilarin juuressa

$$M_d = N_d \cdot e$$

$$M_d = 67,7 \text{ kN} \cdot 0,053 \text{ mm}$$

$$M_d = 3,6 \text{ kNm}$$

Pilarin leikkausvoima tuulikuormasta murtorajatilassa

$$V_d = \frac{5 \cdot q_{w,d} \cdot L}{8}$$

$$V_d = \frac{5 \cdot 6,0 \cdot 7,8}{8}$$

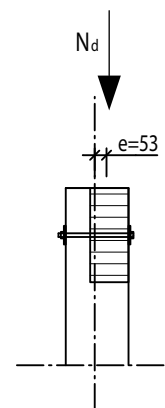
$$V_d = 29,3 \text{ kN}$$

Pilarin leikkausvoima kuorman epäkeskisyydestä murtorajatilassa

$$V_d = \frac{N_d \cdot e + \frac{N_d \cdot e}{2}}{L}$$

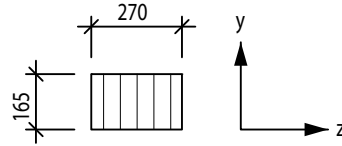
$$V_d = \frac{67,7 \cdot 0,053 + \frac{67,7 \cdot 0,053}{2}}{7,8}$$

$$V_d = 0,7 \text{ kN}$$



Pilarin lähtötiedot

$b = 165 \text{ mm}$	pilarin leveys
$h = 270 \text{ mm}$	pilarin korkeus
$A = 44550 \text{ mm}^2$	pilarin poikkileikkausala

**1.0 Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)****Maksimi normaalivoima**

$$N_d = 67,7 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L_{c,z} = 0,85 \cdot L = 0,85 \cdot 7800$$

$$L_{c,z} = 6630 \text{ mm}$$

(taulukko 6.1)

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{165 \cdot 270^3}{12}$$

$$I_y = 270,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{270,6 \cdot 10^6}{44550}}$$

$$i_y = 77,9 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{6630}{77,9}$$

$$\lambda_y = 85$$

(kaava 6.20.2S)

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{85}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{11100}}$$

$$\lambda_{rel,y} = 1,32$$

(kaava 6.21)

 k_y -kerroin

$$\beta_c = 0,1 \text{ alkukäyryydestä riippuva kerroin liimapuulle}$$

(kaava 6.29)

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

(kaava 6.27)

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,32 - 0,3) + 1,32^2)$$

$$k_y = 1,42$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1$$

(kaava 6.25)

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,42 + \sqrt{1,42^2 - 1,32^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,51$$

Puristusjännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{67700}{165 \cdot 270}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{26,5 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{c,0,d} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 49,2 \text{ kNm}$$

tuulikuorma + kuorman epäkeskisyys

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 49,2 \cdot 10^6}{165 \cdot 270^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 24,5 \text{ N/mm}^2$$

 k_h -kerroin (taivutus- ja vetolujuuden korotuskerroin)

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

$$k_h = \left(\frac{600}{270} \right)^{0,1}$$

$$k_h = 1,08$$

Taivutuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{m,d} = \frac{k_h \cdot f_{m,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{1,08 \cdot 32 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{m,d} = 31,7 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

(kaava 6.23)

$$\frac{1,52}{0,51 \cdot 24,3} + \frac{24,5}{31,7} \leq 1$$

Käyttöaste 90 %

OK kestää

1.1 Nurjahduskestävyys (Y-suuntaan)

Maksimi normaalivoima

$$N_d = 67,7 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L_{c,y} = 0,85 \cdot L = 0,85 \cdot 5700$$

$$L_{c,y} = 4845 \text{ mm}$$

(taulukko 6.1)

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{270 \cdot 165^3}{12}$$

$$I_z = 101,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{101,1 \cdot 10^6}{44550}}$$

$$i_z = 47,6 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{c,z}}{i_z} = \frac{4845}{47,6}$$

$$\lambda_z = 102$$

(kaava 6.20.2S)

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{102}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{11100}}$$

$$\lambda_{rel,z} = 1,59$$

(kaava 6.22)

k_z -kerroin

$$\beta_c = 0,1 \text{ alkukäyryydestä riippuva kerroin liimapuulle}$$

$$(kaava 6.29)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$(kaava 6.28)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,59 - 0,3) + 1,59^2)$$

$$k_z = 1,83$$

Nurjahduskerroin $k_{c,z}$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \leq 1$$

$$(kaava 6.26)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{1,83 + \sqrt{1,83^2 - 1,59^2}}$$

$$k_{c,z} = 0,37$$

Puristusjännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{67700}{165 \cdot 270}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{26,5 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{c,0,d} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$k_m = 0,7 \text{ liimapuu / suorakaidepoikkileikkaus}$$

(sivu 69)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

(kaava 6.24)

$$\frac{1,52}{0,37 \cdot 24,3} + 0,7 \cdot \frac{24,5}{31,7} \leq 1$$

Käyttöaste 71 %

OK kestää**1.2 Kiepahduskestävyys****Taivutusjännitys**

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 49,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 49,2 \cdot 10^6}{165 \cdot 270^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 24,5 \text{ N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

$$a = 5700 \text{ mm}$$

(oviaukon korkeus, sivu 78)

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli

$$\frac{\ell_{ef}}{\ell} = 1,0 \Rightarrow \ell_{ef} = 1,0 \cdot \ell = 1,0 \cdot 5700$$

$$\ell_{ef} = 5700 \text{ mm}$$

(taulukko 6.3)

Kuorma sijaitsee puristetulla reunalla, joten tehollista jänneväliä tulee suurentaa mitan 2h verran.

$$\ell_{ef} = \ell_{ef} + 2,0 \cdot h = 5700 \text{ mm} + 2,0 \cdot 270 \text{ mm}$$

$$\ell_{ef} = 6240 \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$$c = 0,71 \quad \text{liimapuulle GL32c}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

(kaava 6.31.1S)

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,71 \cdot 165^2}{270 \cdot 6240} \cdot 11100$$

$$\sigma_{m,crit} = 127,4 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{k_h \cdot f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{1,08 \cdot 32}{127,4}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,52$$

(kaava 6.30)

 k_{crit} -kerroin

$$k_{crit} = 1,0$$

(kaava 6.34)

Pilari ei ole kiepahdusherkkä, koska k_{crit} -kertoimen arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitysehto- ja ei tarvitse tarkastaa.

1.3 Leikkausvoimakestävyys**Maksimi leikkausvoima**

$$V_d = 30,0 \text{ kN}$$

 k_{cr} -kerroin

$$k_{cr}\text{-kerroin} = 0,67$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 165$$

$$b_{ef} = 110,6 \text{ mm}$$

(kaava 6.13a)

Leikkausjännitys tuella

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{30000}{110,6 \cdot 270}$$

$$\tau_d = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{v,d} = 2,93 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \Rightarrow 1,5 \text{ N/mm}^2 < 2,93 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.13)

Käyttöaste 51 %

OK kestää

1.4 Taipuma

Pilarin jäyhyysmomentti

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{165 \cdot 270^3}{12}$$

$$I_y = 270,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma

$$w_{inst,Q} = \frac{q_{w,k} \cdot L^4}{185 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y}$$

$$w_{inst,Q} = \frac{4,0 \cdot 7800^4}{185 \cdot 13700 \cdot 270,6 \cdot 10^6}$$

$$w_{inst,Q} = 21,6 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

Tuulikuormalla lopputaipuma $w_{net,fin} = w_{inst}$

$$\text{Taipumaraja } w_{net,fin} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow 21,6 \text{ mm} < \frac{7800 \text{ mm}}{300}$$

(taulukko 7.2)

Käyttöaste 83 %

OK

Esimerkin 4 mitoitustulosten tarkastelu

Hallin 1 liimapuurakenteisen tuulipilarin TP101 dimensioksi saatiin 165 x 270.

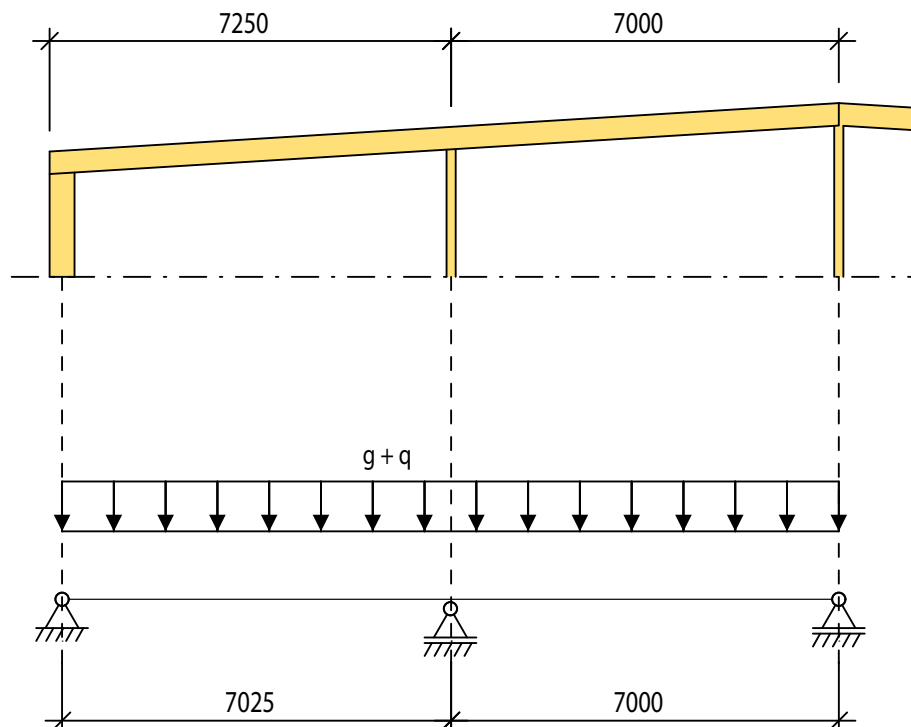
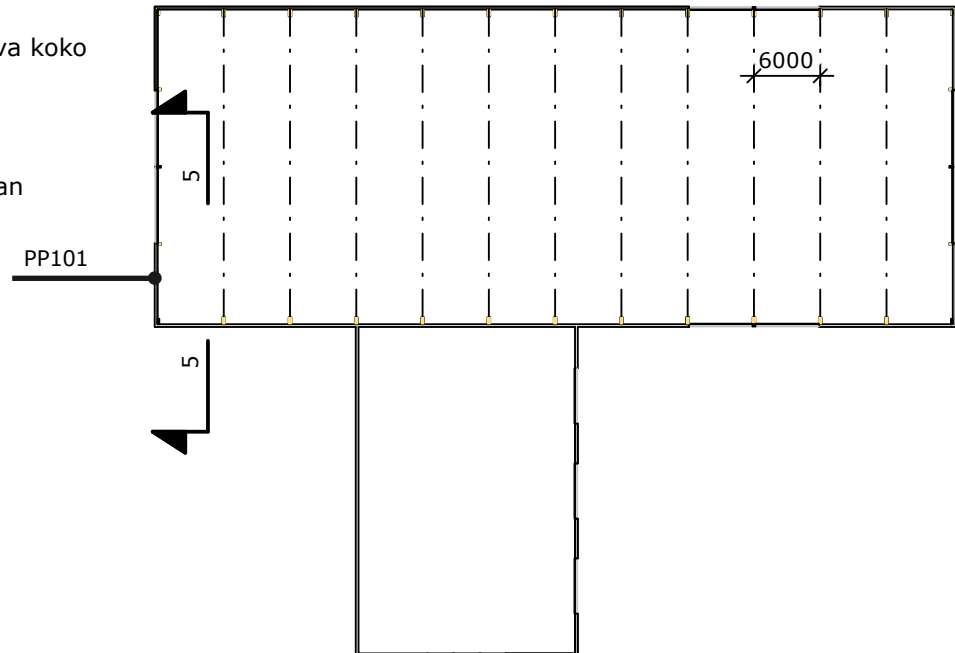
ESIMERKKI 5: Päätyseinän palkki

Perustietoja:

- Hallin 1 päätyseinän palkit PP101 ovat liimapuurakenteisia.

- Palkki PP101 on jatkuva koko lappeen matkalla.

- Palkin yläreuna on tuettu kiepahdusta vastaan kattoelementeillä.



ESIMERKKI 5

Mitoitetaan hallin 1 päätyseinässä oleva liimapuurakenteinen palkki PP101. Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Palkin materiaali

Liimapuu GL32c (taulukko 3.4)

$$f_{m,k} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 13700 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,2$$

taivutus

leikkaus

puristus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan

veto kohtisuoraan syysuuntaa vastaan

kimmomoduuli

materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.10)

Yläpohjan kuormat

$$g_{k1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k3} = 0,33 \text{ kN/m}$$

$$q_{k1} = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

yläpohja yleensä (kattoelementit)

ripustuskuorma (LVI yms.)

päätypalkki

lumikuorma katolla

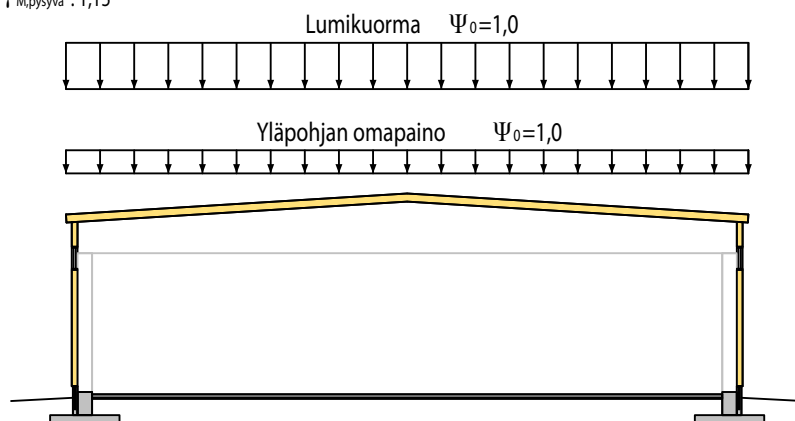
Mitoittava kuormitusyhdistelmä

Mitoittava kuormitusyhdistelmä tässä tapauksessa on KY 10.

KUORMITUSYHDISTELMÄ 10

aikaluokka: keskipitkä

$\gamma_{M,pysyvä} : 1,15$



$$K_{FI} = 1,0$$

Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$G_{kj}(\text{omapaino}) + Q_{k,1}(\text{lumi})$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1,15K_{FI}G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5K_{FI}Q_{k,1}(\text{lumi})$$

Kuormat

$s = 6,0 \text{ m}$ mastopilarikehien k-jako

Oletetaan, että päätypalkin kuormitusleveys on puolet mastopilarikehien välisestä etäivyydestä. Todellisuudessa kuormitusleveys ei ole näin suuri, koska kattoelementit ovat 3-aukkoisia.

Yläpohjan omapaino käyttörajatilassa

$$p_{k,G} = (g_{k1} + g_{k2}) \cdot \frac{s}{2} + g_{k3}$$

$$p_{k,G} = (0,4 + 0,1) \cdot \frac{6}{2} + 0,33 \quad p_{k,G} = 1,83 \text{ kN / m}$$

Lumikuorma käyttörajatilassa

$$p_{k,Q} = q_{k1} \cdot \frac{s}{2}$$

$$p_{k,Q} = 2,4 \cdot \frac{6}{2} \quad p_{k,Q} = 7,2 \text{ kN / m}$$

Omapaino + lumikuorma murtorajatilassa

$$p_d = 1,15 \cdot K_{FI} \cdot p_{k,G} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot p_{k,Q}$$

$$p_d = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,83 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 7,2 \quad p_d = 12,9 \text{ kN / m}$$

Palkin maksimi taivutusmomentti murtorajatilassa

→ tukimomentti statiikkaohjelmasta

$$M_d = 79,6 \text{ kNm}$$

→ kenttämomentti statiikkaohjelmasta

$$M_d = 44,4 \text{ kNm}$$

Palkin maksimi leikkausvoima murtorajatilassa

→ statiikkaohjelmasta

Huomio! Lumikuorma on pysyvä muuttuva kuorma

$$V_d = 56,6 \text{ kN}$$

Palkin maksimi tukireaktio (keskituki) murtorajatilassa

→ statiikkaohjelmasta

$$B_d = 113,2 \text{ kN}$$

Palkin lähtötiedot

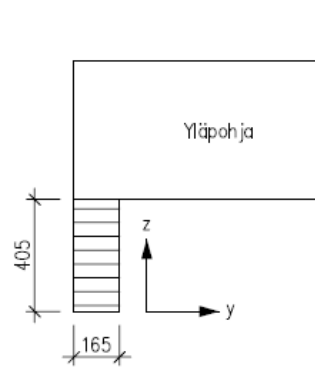
$b = 165 \text{ mm}$	palkin leveys
$\ell = 165 \text{ mm}$	tuulipilarin leveys
$h = 405 \text{ mm}$	palkin korkeus

1.0 Taivutuskestävyys**Maksimi taivutusmomentti**

$$M_d = 79,6 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 79,6 \cdot 10^6}{165 \cdot 405^2}$$



$$\sigma_{m,y,d} = 17,6 \text{ N/mm}^2$$

 k_h -kerroin (taivutus- ja vetolujuuden korotuskerroin)

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

$$k_h = \left(\frac{600}{405} \right)^{0,1}$$

$$k_h = 1,04$$

Taivutuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{m,d} = \frac{k_h \cdot f_{m,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{1,04 \cdot 32 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{m,d} = 22,2 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \Rightarrow 17,6 \text{ N/mm}^2 < 22,2 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 79 %

OK kestää

1.1 Kiepahduskestävyys

Taivutusjännitys

Maksimi taivutusmomentti kentässä

$$M_d = 44,4 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 44,4 \cdot 10^6}{165 \cdot 405^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 9,9 \text{ N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

$$a = 2500 \text{ mm} \quad \text{kattoelementtien leveys}$$

Sivusuunnassa tuetun palkin tehollinen jänneväli

$$\ell_{ef} = a + 2 \cdot h = 2500 + 2 \cdot 405$$

$$\ell_{ef} = 3310 \text{ mm}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$c = 0,71 \quad \text{liimapuulle GL32c}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

(kaava 6.31.1S)

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,71 \cdot 165^2}{405 \cdot 3310} \cdot 11100$$

$$\sigma_{m,crit} = 160,1 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{160,1}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,45$$

(kaava 6.30)

k_{crit} -kerroin

$$k_{crit} = 1,0$$

(kaava 6.34)

Palkki ei ole kiepahduserkkä, koska k_{crit} -kerroimen arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitysehto- ja ei tarvitse tarkastaa.

1.2 Leikkausvoimakkestävyys

Maksimi leikkausvoima

$$V_d = 56,6 \text{ kN}$$

k_{cr} -kerroin

$$k_{cr} = 0,67$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 165$$

$$b_{ef} = 110,6 \text{ mm}$$

(kaava 6.13a)

Leikkausjännitys tuella

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{56600}{110,6 \cdot 405}$$

$$\tau_d = 1,9 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{v,d} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \Rightarrow 1,9 \text{ N/mm}^2 < 2,1 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.13)

Käyttöaste 90 %

OK kestää

1.3 Tukipainekestävyys palkissa

Tukireaktio (keskituki)

$$B_d = 113,2 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{B_d}{b \cdot \ell} = \frac{113200}{165 \cdot 165}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 4,16 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \cdot 0,8}{1,2}$$

$$f_{c,90,d} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1,5 \text{ (havupuinen liimapuu)}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$\ell_{c,90,ef} = 30 \text{ mm} + \ell + 30 \text{ mm} = 30 + 165 + 30$$

$$\ell_{c,90,ef} = 225 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{\ell_{c,90,ef}}{\ell} \cdot k_{c,90} = \frac{225}{165} \cdot 1,5$$

$$k_{c,\perp} = 2,05$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \Rightarrow 4,16 \text{ N/mm}^2 > 2,05 \cdot 2,0 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.3)

Käyttöaste 100 %

OK kestää

1.4 Taipuma

Palkin jäyhyysmomentti

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{165 \cdot 405^3}{12}$$

$$I_y = 913,4 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$L_0 \approx 7000 \text{ mm}$, tuen keskeltä tuen keskelle

$$w_{inst,G} = \frac{1 \cdot p_{k,G} \cdot L_0^4}{192 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y}$$

$$w_{inst,G} = \frac{1 \cdot 1,83 \cdot 7000^4}{192 \cdot 13700 \cdot 913,4 \cdot 10^6}$$

$$w_{inst,G} = 1,83 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta

$$w_{inst,Q} = \frac{1 \cdot p_{k,Q} \cdot L_0^4}{192 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{1 \cdot 7,2 \cdot 7000^4}{192 \cdot 13700 \cdot 913,4 \cdot 10^6}$$

$$w_{inst,Q} = 7,2 \text{ mm}$$

Lopputaipuma

$$k_{def} = 0,6$$

(taulukko 3.2)

$$\psi_2 = 0,2$$

(taulukko 2.2)

$$w_{net,fin} = [(1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + \psi_2 k_{def}) \cdot w_{inst,Q}]$$

$$w_{net,fin} = [(1 + 0,6) \cdot 1,83 + (1 + 0,2 \cdot 0,6) \cdot 7,2]$$

$$w_{net,fin} = 8,1 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$\text{Taipumaraja } w_{net,fin} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow 8,1 \text{ mm} < \frac{7000 \text{ mm}}{300}$$

(taulukko 7.2)

Käyttöaste 35 %

OK

Esimerkin 5 mitoitus tulosten tarkastelu

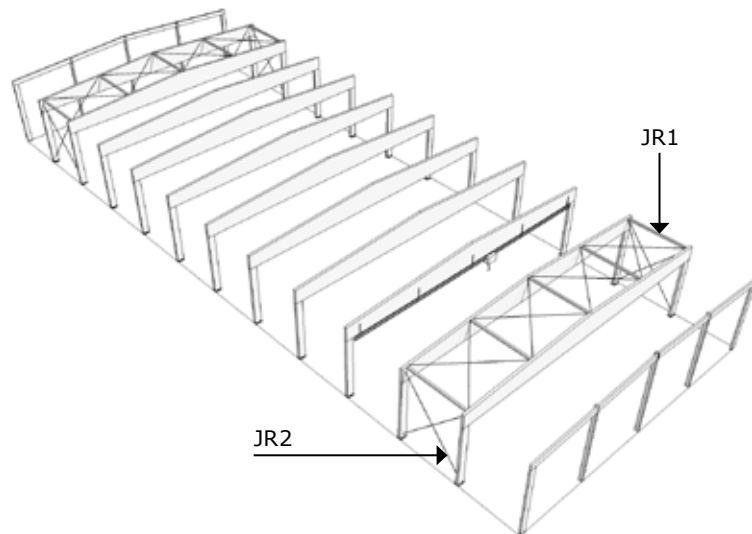
Hallin 1 päätyseinän liimapuurakenteisen palkin PP101 dimensioiksi saatiin 165 x 405.

ESIMERKKI 6: Yläpohjan jäykistysristikko

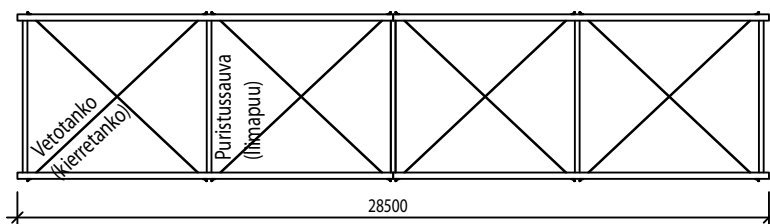
Perustietoja:

- Halli 1 jäykistetään pituussuunnassa hallin molempiin päihin sijoitetuilla jäykisteristikoilla JR1 ja JR2.

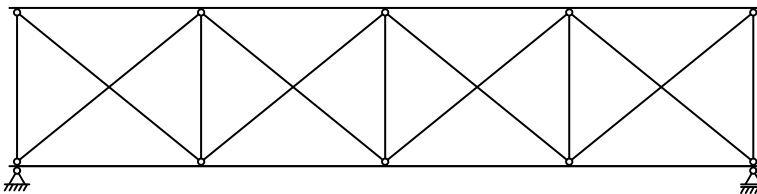
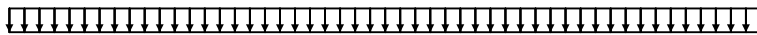
- Jäykisteristikot suunnitellaan toimiviksi kahdessa vastakkaisessa suunnassa.



JR1

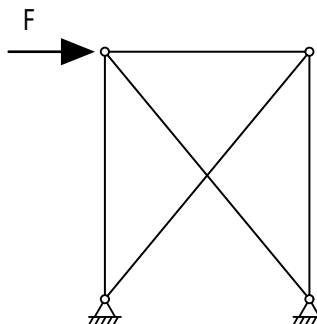
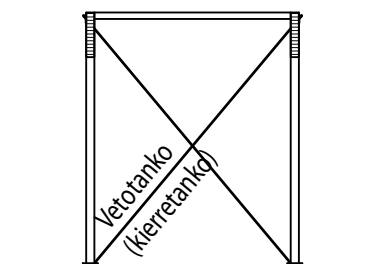


Päädyn tuulikuorma + katon kitkan aiheuttama tuulikuorma +
pääkannattajien sivuttaistuentavoima



JR2

Puristussauva (liimapuu)



ESIMERKKI 6

Mitoitetaan hallin 1 yläpohjan jäykisteristikko JR1 ja seinän jäykisteristikko JR2. Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Selvyyden vuoksi käsitellään vain hallin toisessa päässä olevia jäykisteitä olettaen, että ne yksin keräävät kaikki vaakakuormat (käytännössä osa kuormista menee hallin toisessa päässä olevalle jäykisteelle). Tässä esimerkissä huomioidaan myös katon kitkasta johtuva tuulikuorma.

Jäykisteristikon materiaalit

Liimapuu GL32c	taulukko 3.4
$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$	puristus syysuuntaan
$f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$	puristus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
$E_{0,05} = 11100 \text{ N/mm}^2$	kimmomoduuli
$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$	liimapuun ominaistiheys
$\gamma_M = 1,2$	materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.10)
$f_k = 640 \text{ N/mm}^2$	kierretangon myötöraja
$\gamma_M = 1,1$	kierretangon materiaalin osavarmuusluku

Yläpohjan kuormat

$g_{k1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$	yläpohja yleensä (kattoelementit)
$g_{k2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$	ripustuskuorma (LVI yms.)
$g_{k3} = 2,1 \text{ kN/m}^2$	harjapalkki (keskimääräinen omapaino)
$q_{k1} = 2,4 \text{ kN/m}^2$	lumikuorma katolla

Tuulikuormat

$$q_p(z) = 0,63 \text{ kN/m}^2 \quad \text{nopeuspaine}$$

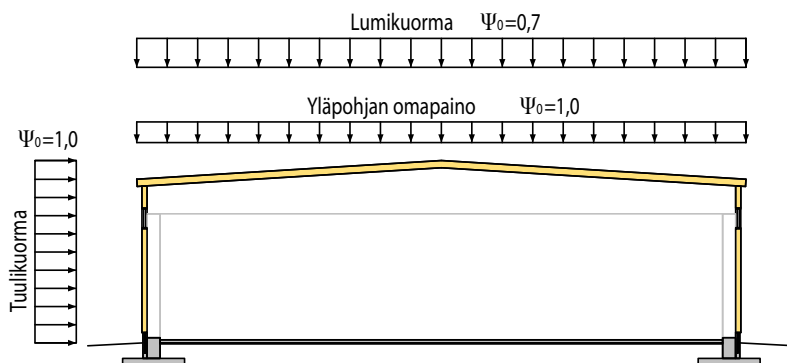
Mitoittava kuormitusyhdistelmä

Mitoittava kuormitusyhdistelmä tässä tapauksessa on KY 7.

KUORMITUSYHDISTELMÄ 7

aikaluokka: hetkellinen

$\gamma_{M,pysyvä} : 1,15$



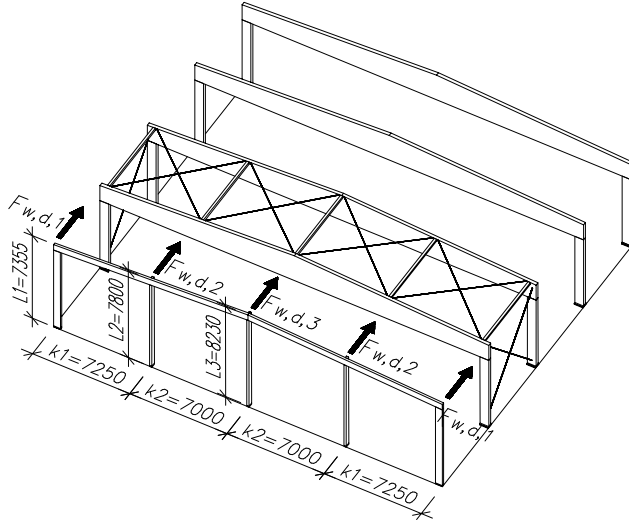
$$K_{FI} = 1,0$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

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

Kuormat ja rasitukset

Päätyyn vaikuttavasta tuulikuormasta noin puolet siirretään tuulipilarien yläpään tukireaktion kautta päätypalkille ja siitä edelleen kattoelementtien reisipalkkien välityksellä yläpohjan jäykistysristikolle. Katon kitkasta johtuva tuulikuorma ja pääpalkkien poikittaisjäykistyksestä johtuva kuorma siirretään kattoelementtien välityksellä yläpohjan jäykistysristikolle.



$$c_s c_d = 1,0 \quad \text{rakennekerroin}$$

$$c_f = 0,9 \quad \text{voimakerroin päätyseinää vastaan}$$

Päätyyn vaikuttava tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{w,k} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,63 \quad q_{w,k} = 0,57 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Päätyyn vaikuttava tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{w,d} = 1,5 \cdot K_{FI} \cdot q_{w,k} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,57 \quad q_{w,d} = 0,86 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Tuulipilarien tukivoimat päätypalkille murtorajatilassa

$$F_{w,d,1} = \frac{3}{8} \cdot q_{w,d} \cdot \frac{k_1}{2} \cdot L_1 = \frac{3}{8} \cdot 0,86 \cdot \frac{7,25}{2} \cdot 7,355 \quad F_{w,d,1} = 8,6 \text{ kN}$$

Nurkkapilarit

$$F_{w,d,2} = \frac{3}{8} \cdot q_{w,d} \cdot \frac{k_1 + k_2}{2} \cdot L_2 = \frac{3}{8} \cdot 0,86 \cdot \frac{7,25 + 7,0}{2} \cdot 7,8 \quad F_{w,d,2} = 17,9 \text{ kN}$$

Välipilarit

$$F_{w,d,3} = \frac{3}{8} \cdot q_{w,d} \cdot \frac{k_2 + k_2}{2} \cdot L_3 = \frac{3}{8} \cdot 0,86 \cdot \frac{7,0 + 7,0}{2} \cdot 8,23 \quad F_{w,d,3} = 18,6 \text{ kN}$$

Keskipilari

Katon kitkan aiheuttama tuulikuorma murtorajatilassa

$$c_{fr} = 0,02 \quad \text{kitkakerroin (bitumihuopakate)}$$

$$b = 29 \text{ m} \quad \text{hallin leveys}$$

$$h = 8,8 \text{ m} \quad \text{hallin korkeus}$$

$$d = 72,5 \text{ m} \quad \text{hallin pituus}$$

Kitkakuorman vaikutusalan pituus (RIL 201-1-2008, kuva 7.22)

$$86 \quad d - \min[2b; 4h] = 72,5 - \min[2 \cdot 29; 4 \cdot 8,8] = 72,5 - 4 \cdot 8,8 = 37,3 \text{ m}$$

$$q_{fr,d} = 1,5 \cdot K_{FI} \cdot c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot 37,3 \text{ m} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,02 \cdot 0,63 \cdot 37,3 \text{ m} \quad q_{fr,d} = 0,70 \text{ kN} / \text{m}$$

Harjapalkin pystykuorma käyttörajatilassa

$$\begin{aligned}
 k &= 1,1 && \text{3-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin} \\
 s &= 6,0 \text{ m} && \text{pääkannattimien k-jako} \\
 p_{k,G} &= (g_{k1} + g_{k2}) \cdot s \cdot k + g_{k3} = (0,4 + 0,1) \cdot 6,0 \cdot 1,1 + 2,1 && p_{k,G} = 5,4 \text{ kN/m} \\
 p_{k,Q} &= q_{k1} \cdot s \cdot k = 2,4 \cdot 6,0 \cdot 1,1 && p_{k,Q} = 15,84 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Harjapalkin pystykuorma murtorajatilassa

$$\begin{aligned}
 p_d &= 1,15 \cdot K_{FI} \cdot p_{k,G} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \psi_{0,2} \cdot p_{k,Q} \\
 p_d &= 1,15 \cdot 1,0 \cdot 5,4 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 15,84 && p_d = 22,85 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Harjapalkin yläreunan puristusvoima 1/3-pisteessä murtorajatilassa

$$\begin{aligned}
 M_d &= 1882 \text{ kNm} && \text{harjapalkin taivutusmomentti 1/3-pisteessä} \\
 h &= 1850 \text{ mm} && \text{harjapalkin korkeus 1/3-pisteessä} \\
 k_{crit} &= 0,26 && \text{ks. esimerkki 1 luku 1.8} \\
 N_d &= (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_d}{h} = (1 - 0,26) \cdot \frac{1882 \cdot 10^3}{1,85} && N_d = 752,8 \text{ kN} \\
 &&& \text{(kaava 9.36)}
 \end{aligned}$$

 k_ℓ - kerroin

$$k_\ell = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{L_0}} \end{array} \right. \quad \text{(kaava 9.38)}$$

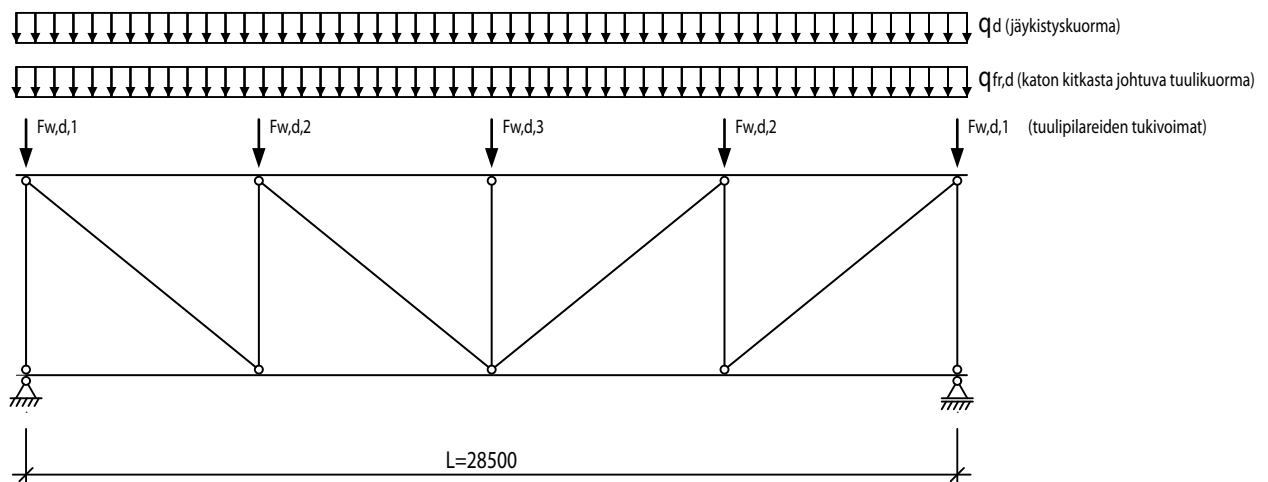
$$k_\ell = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{28,005}} = 0,73 \end{array} \right. \quad \text{(kaava 9.38)}$$

$$k_\ell = 0,73$$

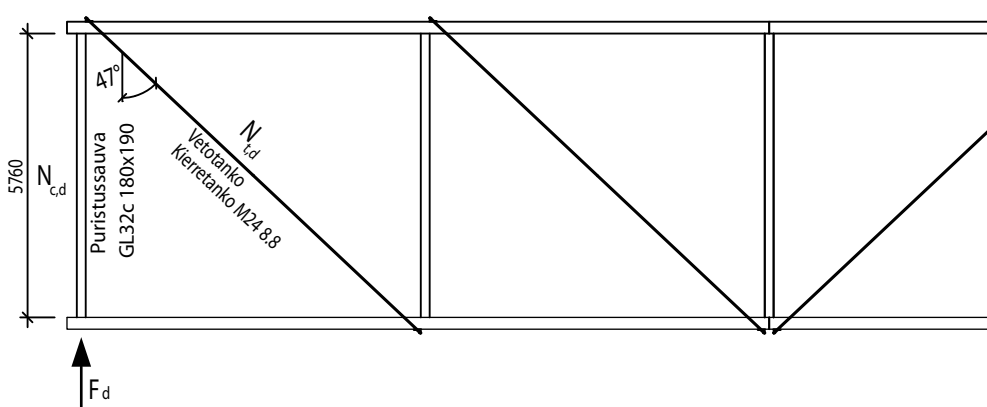
Palkistosta johtuva jäykistyskuorma murtorajatilassa

$$\begin{aligned}
 n &= 11 \text{ kpl} && \text{palkkien lukumäärä} \\
 q_d &= k_\ell \cdot n \cdot \frac{N_d}{50 \cdot L_0} = 0,73 \cdot 11 \cdot \frac{752,8}{50 \cdot 28,005} && q_d = 4,32 \text{ kN/m} \\
 &&& \text{(kaava 9.37)}
 \end{aligned}$$

Jäykistysristikon kuormat



Jäykistysristikon sauvavoimat murtorajatilassa



$$F_d = F_{w,d,1} + F_{w,d,2} + \frac{F_{w,d,3}}{2} + \frac{q_{fr,d} \cdot L}{2} + \frac{q_d \cdot L}{2}$$

$$F_d = 8,6 + 17,9 + \frac{18,6}{2} + \frac{0,70 \cdot 28,5}{2} + \frac{4,32 \cdot 28,5}{2}$$

$$F_d = 107,3 \text{ kN}$$

$$N_{c,d} = F_d$$

$$N_{c,d} = 107,3 \text{ kN}$$

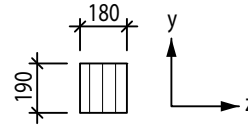
$$N_{t,d} = \frac{N_{c,d}}{\cos 47^\circ} = \frac{107,3}{\cos 47^\circ}$$

$$N_{t,d} = 157,3 \text{ kN}$$

1.0 Yläpohjan jäykisteristikon puristussauvan nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)

$$\begin{aligned} b &= 190 \text{ mm} \\ h &= 180 \text{ mm} \\ A &= 34200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

sauvan leveys
sauvan korkeus
sauvan poikkileikkausala



Maksimi puristusvoima

$$N_{c,d} = 107,3 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L_{c,z} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 5760$$

$$L_{c,z} = 5760 \text{ mm}$$

(taulukko 6.1)

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{190 \cdot 180^3}{12}$$

$$I_y = 92,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{92,3 \cdot 10^6}{34200}}$$

$$i_y = 51,9 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{5760}{51,9}$$

$$\lambda_y = 111$$

(kaava 6.20.2S)

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{111}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{11100}}$$

$$\lambda_{rel,y} = 1,73$$

(kaava 6.21)

k_y -kerroin

$$\beta_c = 0,1 \text{ alkukäyryydestä riippuva kerroin liimapuulle}$$

(kaava 6.29)

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

(kaava 6.27)

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,73 - 0,3) + 1,73^2)$$

$$k_y = 2,07$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1$$

(kaava 6.25)

$$k_{c,y} = \frac{1}{2,07 + \sqrt{2,07^2 - 1,73^2}}$$

$$k_{c,y} = 0,31$$

Puristusjännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{b \cdot h} = \frac{107300}{190 \cdot 180}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 3,14 \text{ N / mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{26,5 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{c,0,d} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

Ehto puristusjännitykselle

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

(kaava 6.23)

$$\frac{3,14}{0,31 \cdot 24,3} \leq 1$$

Käyttöaste 42 %

OK kestää**1.1 Vetotangon kestävyys****Maksimi vetovoima**

$$N_{t,d} = 157,3 \text{ kN}$$

Kierretangon tehollinen pinta-ala

$$d_{ef} = 0,82 \cdot d = 0,82 \cdot 24$$

$$d_{ef} = 19,68 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = \frac{\pi \cdot d_{ef}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 19,68^2}{4}$$

$$A_{ef} = 304 \text{ mm}^2$$

Vetojännitys

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{ef}} = \frac{157300}{304}$$

$$\sigma_{t,d} = 517,4 \text{ N/mm}^2$$

Vetolujuus

$$f_k = 640 \text{ N/mm}^2$$

pultti 8.8
teräsrakenteet

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{640}{1,1}$$

$$f_d = 581,8 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

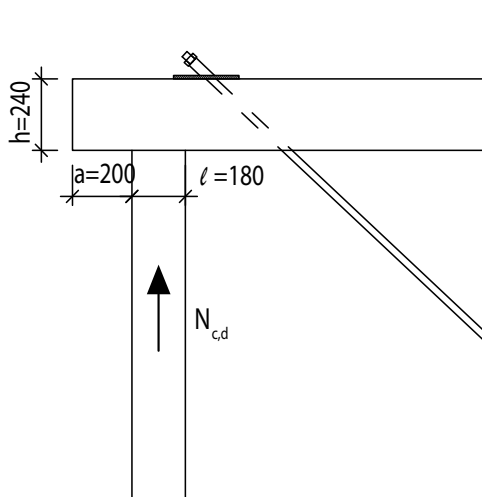
$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_d} \leq 1$$

$$\frac{517,4}{581,8} \leq 1$$

Käyttöaste 89 %

OK kestää

1.2 Yläpohjan jäykisteristikon puristussauvan tukipainekestävyys



Tukireaktio

$$N_{c,d} = 107,3 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_{c,d}}{b \cdot \ell} = \frac{107300}{190 \cdot 180}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 3,14 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{c,90,d} = 2,75 \text{ N/mm}^2$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1,5 \text{ (havupuinen liimapuu)}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$\ell_{c,90,ef} = 30 \text{ mm} + \ell + 30 \text{ mm} = 30 + 180 + 30$$

$$\ell_{c,90,ef} = 240 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{\ell_{c,90,ef}}{\ell} \cdot k_{c,90} = \frac{240}{180} \cdot 1,5$$

$$k_{c,\perp} = 2,0$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \Rightarrow 3,14 \text{ N/mm}^2 < 2,0 \cdot 2,75 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.3)

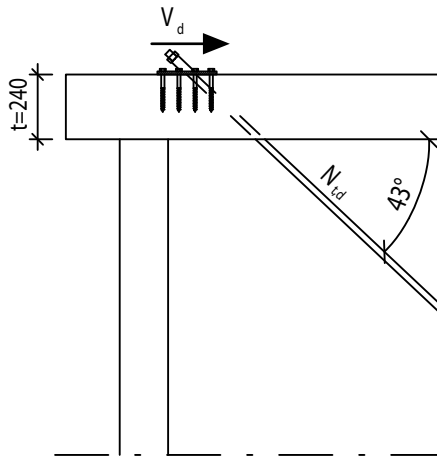
Käyttöaste 57 %

OK kestää

1.3 Yläpohjan jäykisteristikon vetotangon ankkurointikestävyys

Liitoksessa käytetään kansiruuveja 12x150 (4.6) ja teräslevyä 170x220x12

$t_t = 12 \text{ mm}$	teräslevyn paksuus
$t = 240 \text{ mm}$	puun paksuus
$d = 12 \text{ mm}$	kansiruuvien halkaisija
$L = 150 \text{ mm}$	ruuvien pituus



Kansiruuvien minimivälit

Syysuuntaan

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d = (4 + |\cos 0^\circ|) \cdot 12$$

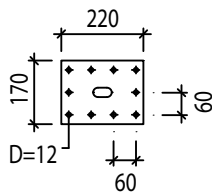
$$a_1 = 60 \text{ mm}$$

Syysuuntaa vastaan

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 12$$

$$a_2 = 48 \text{ mm}$$

Ankkurointilevy



Leikkausvoima teräslevyn ja palkin välillä

$$V_d = N_{t,d} \cdot \cos 43^\circ = 157,3 \cdot \cos 43^\circ$$

$$V_d = 115,0 \text{ kN}$$

Kansiruuvien sileän osan tunkeuma puuhun

$$l = 0,4 \cdot L - t_t = 0,4 \cdot 150 - 12$$

$$l = 48 \text{ mm}$$

$$\text{ehto } d_{ef} = d \text{ jos } l \geq 4d \Rightarrow d_{ef} = d$$

Kansiruuvin leikkauskestävyys

Kansiruuvin halkaisija $d > 6$ mm, joten kansiruuvin leikkauskestävyys määritetään pulttiliitosten sääntöjen mukaan.

Ehto kaavan valintaan

$$t_t = 12 \text{ mm} \geq d = 12 \text{ mm} \Rightarrow \text{kaava 8.37.2S}$$

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

$$M_y = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 12^{2,6}$$

$$M_y = 76745,4 \text{ Nmm}$$

Reunapuristuslujuuden kulma syysuuntaan nähden 0°

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

(kaava 8.32)

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = 29,59 \text{ N/mm}^2$$

$$f_h = f_{h,0,k}$$

(kaava 8.28.3S)

Leikkauskestävyyden ominaisarvo saadaan kaavalla 8.37.2S.

t = kansiruuvin tunkeuma

$$R_k = \min \begin{cases} f_h \cdot t \cdot d = 29,59 \cdot 138 \cdot 12 = 49001 \\ 1,3 \cdot f_h \cdot t \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t^2}} - 1 \right] = 1,3 \cdot 29,59 \cdot 138 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 76745,4}{29,59 \cdot 12 \cdot 138^2}} - 1 \right] = 27393,8 \\ 3 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} = 3 \cdot \sqrt{76745,4 \cdot 29,59 \cdot 12} = 15660,7 \end{cases}$$

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{1,1 \cdot 15,66}{1,2}$$

$$R_d = 14,35 \text{ kN}$$

Kansiruuvin määrä

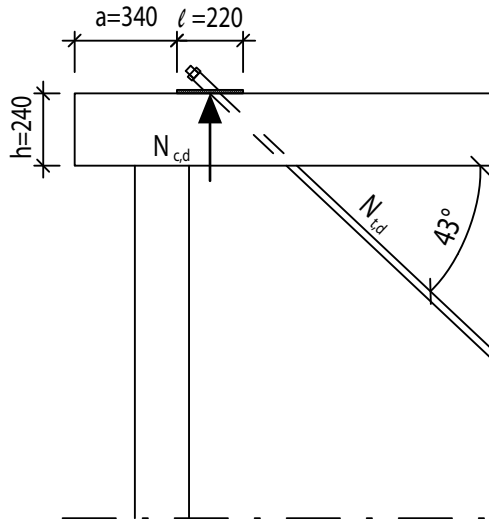
$$n = \frac{V_d}{R_d} = \frac{115,0}{14,35} = 8 \text{ kpl}$$

Laitetaan 10 kansiruuvia.

Teräslevyn kestävyys tulee tutkia erikseen.

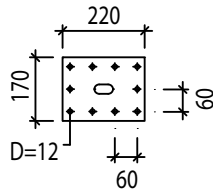
1.4 Yläpohjan jäykisteristikon vetotangon ankkurointilevyn tukipainekestävyys

Ankkurointilevyn liitosta ei käsitellä kohdan 8.5.2 mukaisena vedettynä pulttiliitoksena, joten tukipaineen korotuskerroin määritetään kaavalla 6.3.



Ankkurointilevyn tehollinen pinta-ala

$$A_{ef} = 35115 \text{ mm}^2$$



Tukireaktio

$$N_{c,d} = N_{t,d} \cdot \sin 43^\circ = 157,3 \cdot \sin 43^\circ$$

$$N_{c,d} = 107,3 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_{c,d}}{A_{ef}} = \frac{107300}{35115}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 3,06 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{c,90,d} = 2,75 \text{ N/mm}^2$$

$k_{c,90}$ -kerroin

94 $k_{c,90} = 1,5$ (havupuinen liimapuu)

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$\ell_{c,90,ef} = 30 \text{ mm} + \ell + 30 \text{ mm} = 30 + 220 + 30$$

$$\ell_{c,90,ef} = 280 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{\ell_{c,90,ef}}{\ell} \cdot k_{c,90} = \frac{280}{220} \cdot 1,5$$

$$k_{c,\perp} = 1,9$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \Rightarrow 3,06 \text{ N/mm}^2 < 1,9 \cdot 2,75 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.3)

Käyttöaste 59 %

OK kestää

1.5 Seinän jäykisteristikon vetotangon ankkurointikestävyys

Liitoksessa käytetään kansiruuveja 12x150 (4.6) ja teräslevyä 170x280x12

$$t_t = 12 \text{ mm}$$

$$t = 240 \text{ mm}$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

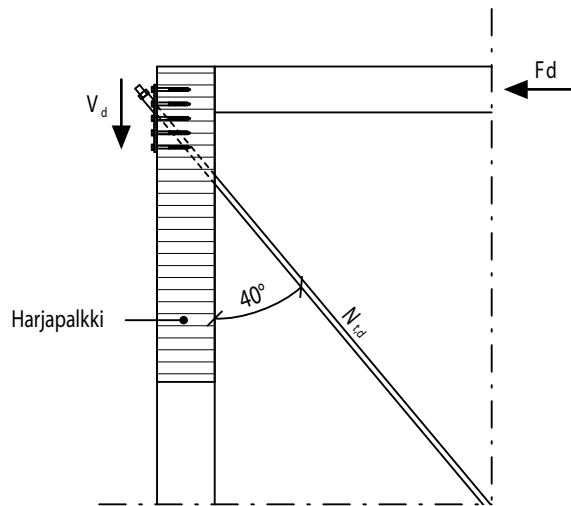
$$L = 150 \text{ mm}$$

teräslevyn paksuus

puun paksuus

kansiruuvin halkaisija

ruuvin pituus



Kansiruuvin minimivälit

Syysuuntaan

$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d = (4 + |\cos 90^\circ|) \cdot 12$$

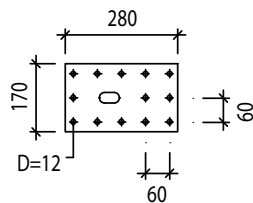
$$a_1 = 48 \text{ mm}$$

Syysuuntaa vastaan

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 12$$

$$a_2 = 48 \text{ mm}$$

Ankkurointilevy



Leikkausvoima teräslevyn ja palkin välillä

$$V_d = \frac{F_d}{\tan 40^\circ} = \frac{107,3}{\tan 40^\circ}$$

$$V_d = 127,9 \text{ kN}$$

Kansiruuvin sileän osan tunkeuma puuhun

$$l = 0,4 \cdot L - t_t = 0,4 \cdot 150 - 12$$

$$l = 48 \text{ mm}$$

$$\text{ehto } d_{ef} = d \text{ jos } l \geq 4d \Rightarrow d_{ef} = d$$

Kansiruuvin leikkauskestävyys

Kansiruuvin halkaisija $d > 6 \text{ mm}$, joten kansiruuvin leikkauskestävyys määritetään pulttiliitosten sääntöjen mukaan.

Ehto kaavan valintaan

$$t_i = 12 \text{ mm} \geq d = 12 \text{ mm} \Rightarrow \text{kaava 8.37.2S}$$

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

$$M_y = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 12^{2,6}$$

$$M_y = 76745,4 \text{ Nmm}$$

(kaava 8.30)

Reunapuristuslujuuden kulma syysuuntaan nähden 90°

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = 29,59 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot 12$$

(kaava 8.33)

$$k_{90} = 1,53$$

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$f_{h,k} = \frac{29,59}{1,53 \cdot \sin^2 90 + \cos^2 90}$$

$$f_{h,k} = 19,34$$

$$f_h = f_{h,k}$$

(kaava 8.28.3S)

Leikkauskestävyyden ominaisarvo saadaan kaavalla 8.37.2S.

t = kansiruuvin tunkeuma

$$R_k = \min \begin{cases} f_h \cdot t \cdot d = 19,34 \cdot 138 \cdot 12 = 32027 \\ 1,3 \cdot f_h \cdot t \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t^2}} - 1 \right] = 1,3 \cdot 19,34 \cdot 138 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 76745,4}{19,34 \cdot 12 \cdot 138^2}} - 1 \right] = 18252,9 \\ 3 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} = 3 \cdot \sqrt{76745,4 \cdot 19,34 \cdot 12} = 12660,9 \end{cases}$$

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k}{\gamma_M} = \frac{1,1 \cdot 12660,9}{1,2}$$

$$R_d = 11,6 \text{ kN}$$

Kansiruuvin määrä

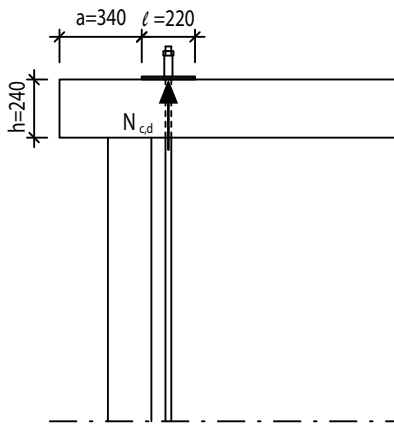
$$n = \frac{V_d}{R_d} = \frac{127,9}{11,6} = 11 \text{ kpl}$$

Laitetaan 13 kansiruuvia

Teräslevyn kestävyys tulee tutkia erikseen.

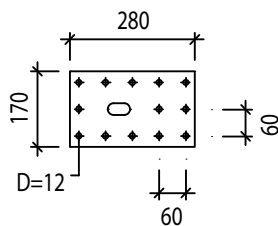
1.6 Seinän jäykisteristikön vetotangon ankkurointilevyn tukipainekestävyys

Ankkurointilevyn liitosta ei käsitellä kohdan 8.5.2 mukaisena vedettynä pulttiliitoksena, joten tukipaineen korotuskerroin määritetään kaavalla 6.3.



Ankkurointilevyn tehollinen pinta-ala

$$A_{ef} = 44975,8 \text{ mm}^2$$



Tukireaktio

$$N_{c,d} = F_d$$

$$N_{c,d} = 107,3 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_{c,d}}{A_{ef}} = \frac{107300}{44975,8}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 2,39 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{mod} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{c,90,d} = 2,75 \text{ N/mm}^2$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$k_{c,90} = 1,5 \text{ (havupuinen liimapuu)}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$\ell_{c,90,ef} = 30 \text{ mm} + \ell + 30 \text{ mm} = 30 + 220 + 30$$

$$\ell_{c,90,ef} = 280 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{\ell_{c,90,ef}}{\ell} \cdot k_{c,90} = \frac{280}{220} \cdot 1,5$$

$$k_{c,\perp} = 1,9$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \Rightarrow 2,39 \text{ N/mm}^2 < 1,9 \cdot 2,75 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 6.3})$$

Käyttöaste 46 %

OK kestää

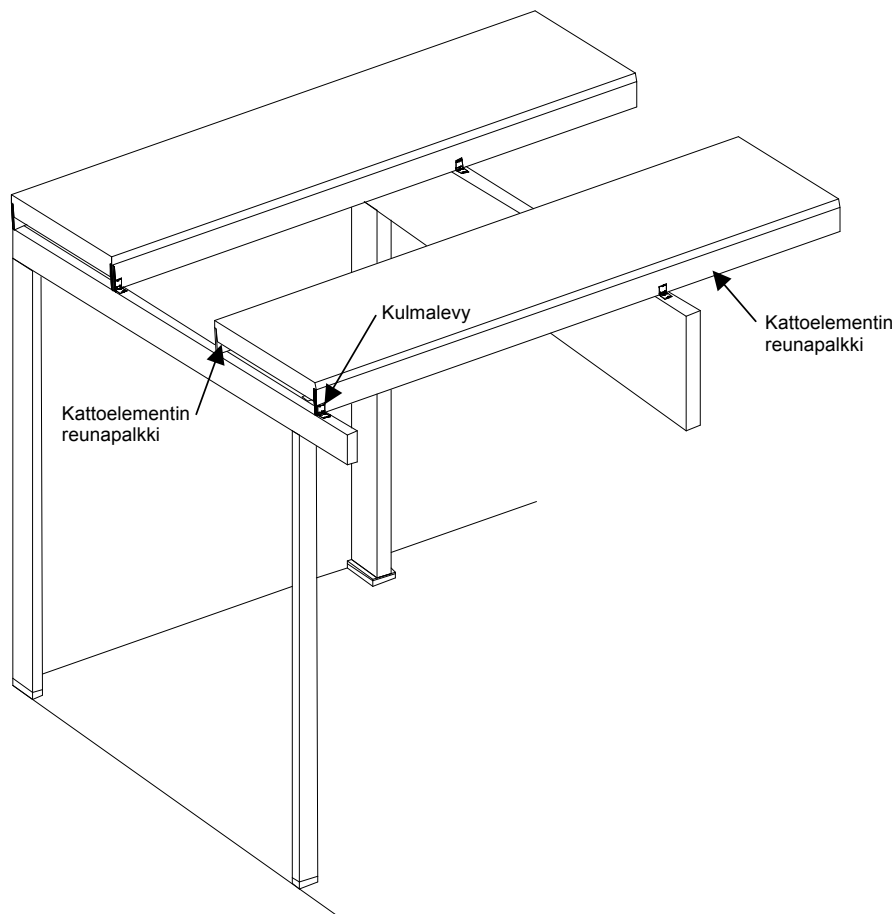
Teräslevyn kestävyys tulee tutkia erikseen.

1.7 Tuulikuorman johtaminen yläpohjan jäykisteristikolle

Tuulipilarin tukivoima siirretään jäykistysristikolle tuulipilarin kohdalla olevalla kattoelementillä. Tuki-voima siirtyy kattoelementin reunoissa olevien palkkien 1 ja 2 kautta, jotka on liitetty päätypalkkiin ja harjapalkkeihin kulmalevyillä ja ankkurinauloilla.

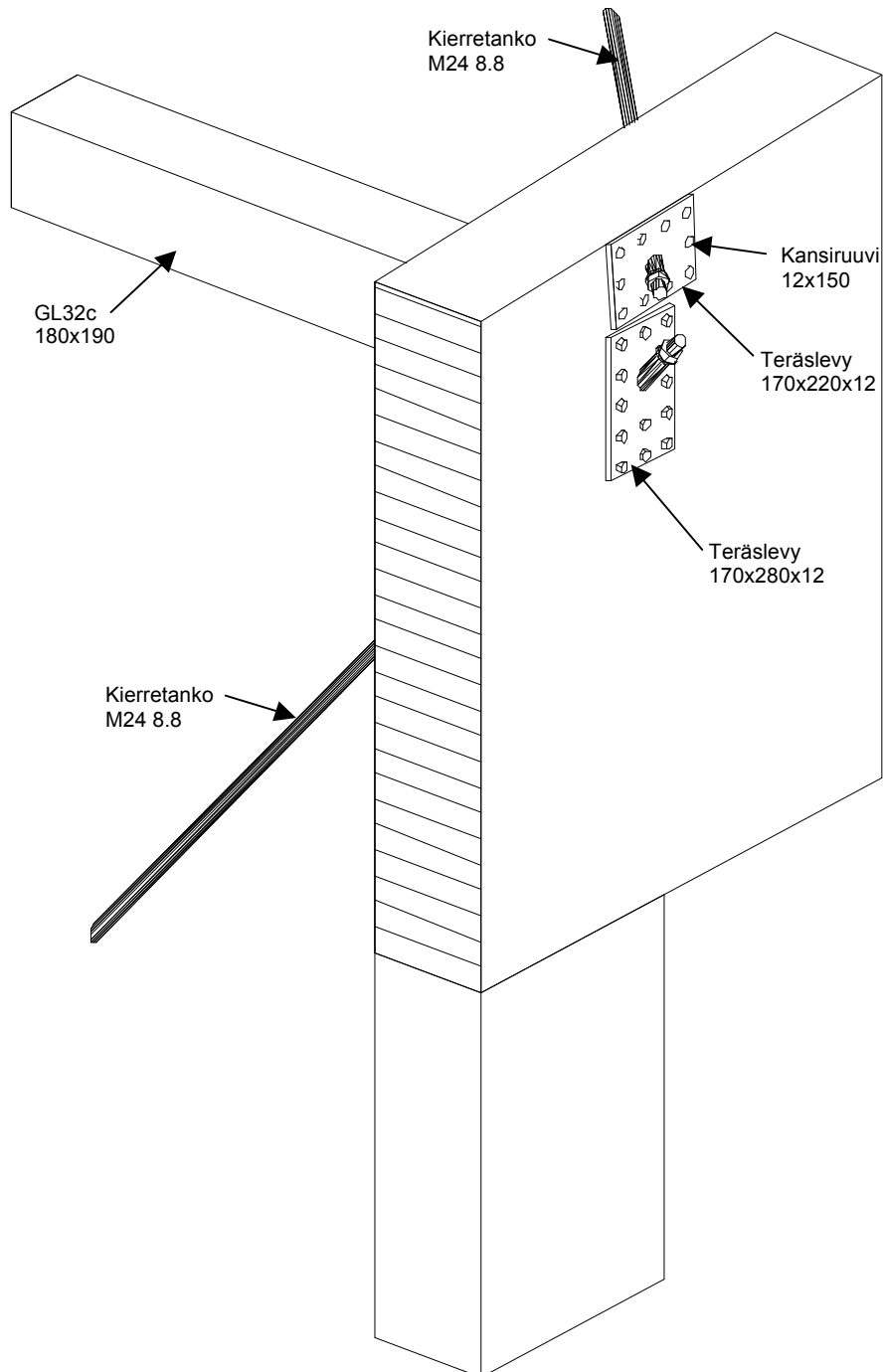
Kulmalevyliitoksen leikkausvoimakestävyys

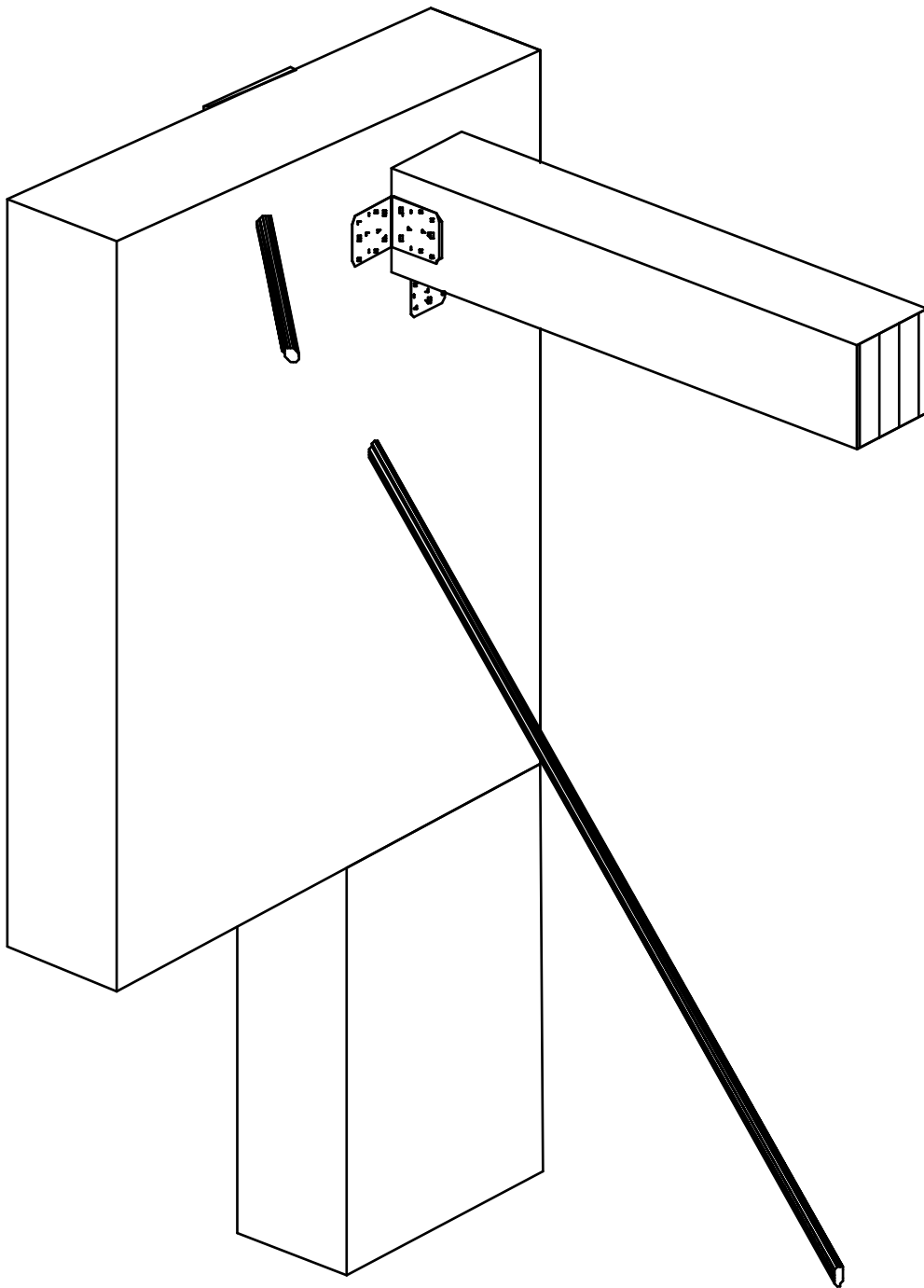
Kulmalevyn leikkausvoimakestävyys tulee tarkastaa kulmalevyjen valmistajan ohjeiden mukaan.



Esimerkin 6 mitoituslaskelmen tarkastelu

Yläpohjan jäykistysristikko tehdään teräsvetotangoilla M24 8.8 ja liimapuurakenteisilla puristussauvoilla GL32c 180x190. Puristussauvat kiinnitetään teräskulmalevyillä. Vetotangot ankkuroidaan harjapalkkiin teräslevyillä ja kansiruuveilla seuraavien kuvien mukaisesti. Seinien vetotankojen alapäätkin ankkuroidaan suoraan pilarikenkään.

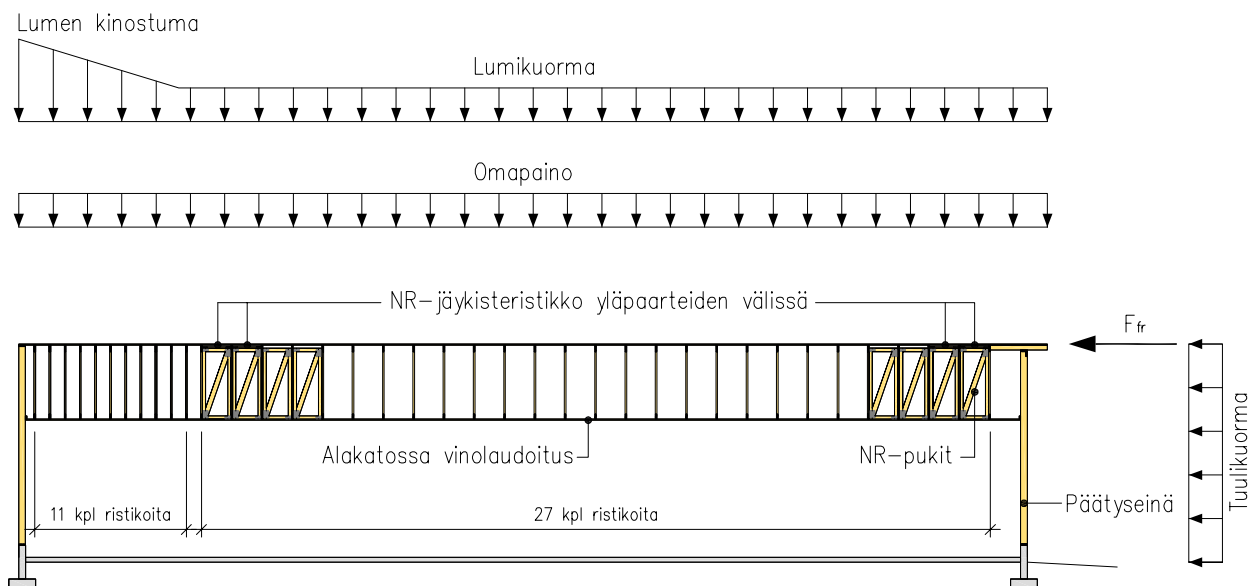
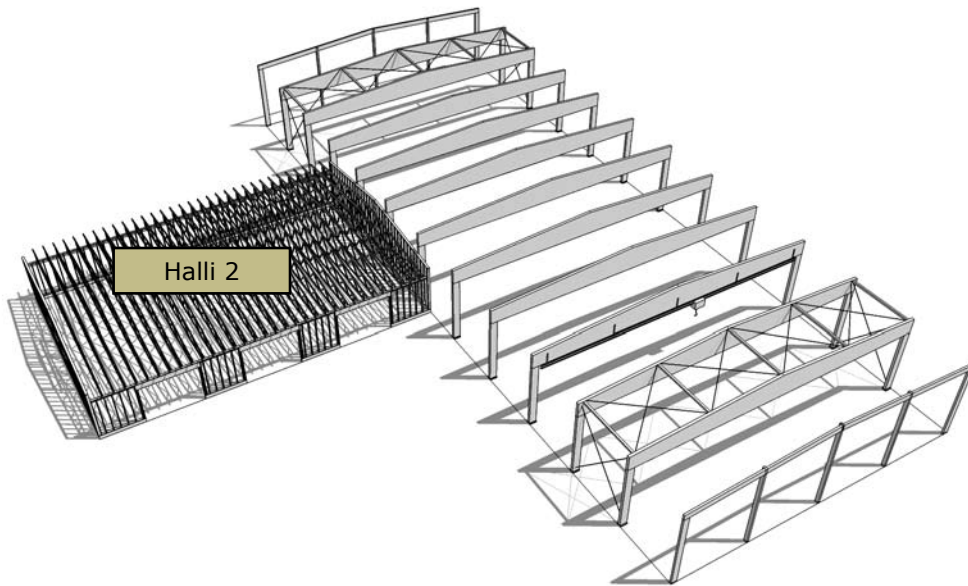




ESIMERKKI 7: Hallin 2 NR-ristikkoyläpohjan jäykistys

Perustietoja

- Yläpaarten taso jäykistetään yläpaarteiden väliin asennettavilla vaakasuuntaisilla NR-jäykisteristikoilla.
- Vesikatteen ruoteet siirtävät vaakakuormat yläpaarteiden välissä oleville NR-jäykisteristikoille.
- Yläpaarten tasosta kuormat siirretään alapaahteen tasoon NR-pukeilla.
- Yläpaarten taso jäykistetään alakaton vinolaudoituksella (voitaisiin jäykistää myös levyjäykistyksellä).



F_{fr} = katon kitkan aiheuttama tuulikuorma

Esimerkki 7

Mitoitetaan hallin 2 NR-ristikkoyläpohjan jäykistys. Tässä esimerkissä on tarkoitus keskittyä esittämään NR-ristikkoyläpohjan jäykistyksen suunnittelua, joten hallin muu jäykistys jätetään vähemmälle huomiolle. Seinien levyjäykistys esitellään ohjeessa *EC 5 Sovelluslaskelmat - Asuinrakennus*, joten tässä esimerkissä ei käsitellä seinien levyjäykistystä.

Tarkempia ohjeita NR-ristikkorakenteiden jäykistyksestä on esitetty ohjeessa RIL 248-2008.

Yläpohjan kuormat

$$g_{k1} = 0,3 \text{ kN/m}^2$$

yläpohja yleensä

$$q_{k1} = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

lumikuorma katolla yleensä

$$q_{k2} = 4,6 \text{ kN/m}^2$$

lumikuorman kinostuma katolla 4,6 m:n matkalla

Tuulikuorma

$$q_p(z) = 0,58 \text{ kN/m}^2$$

nopeuspaine

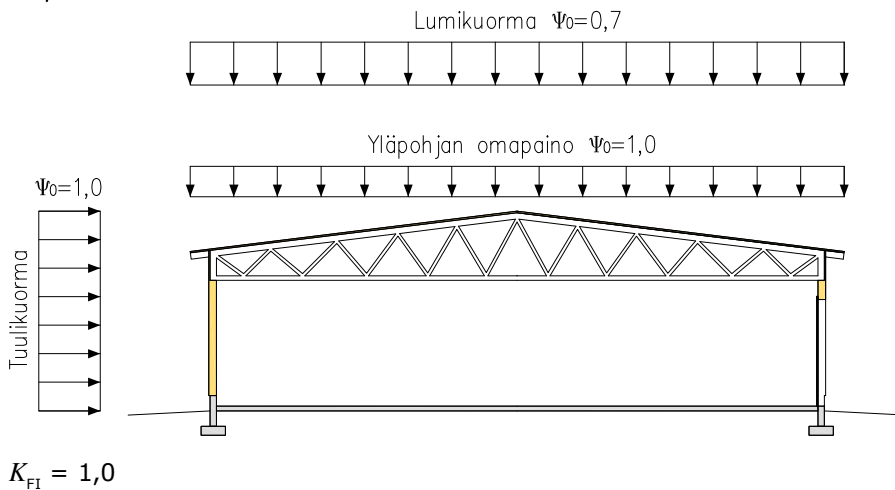
Kuormitusyhdistelmät

Tässä esimerkissä käsitellään seuraavat kuormitusyhdistelmät.

KUORMITUSYHDISTELMÄ 7

aikaluokka: hetkellinen

$$\gamma_{M,pysyvä}: 1,15$$

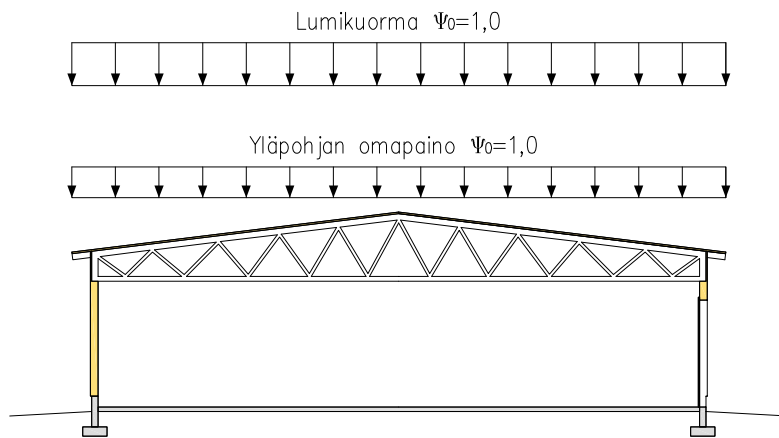


Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1,15 K_{FI} G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5 K_{FI} Q_{k1}(\text{tuuli}) + 1,5 K_{FI} \psi_{0,2} Q_{k2}(\text{lumi})$$

KUORMITUSYHDISTELMÄ 10

aikaluokka: keskipitkä

 $\gamma_{M,pysyvä}$: 1,15

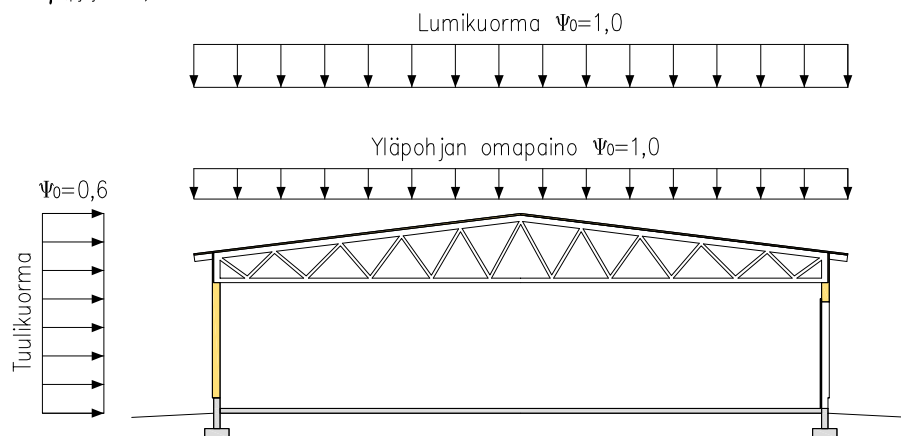
$$K_{FI} = 1,0$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1,15 K_{FI} G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5 K_{FI} Q_{k1}(\text{lumi})$$

KUORMITUSYHDISTELMÄ 13

aikaluokka: hetkellinen

 $\gamma_{M,pysyvä}$: 1,15

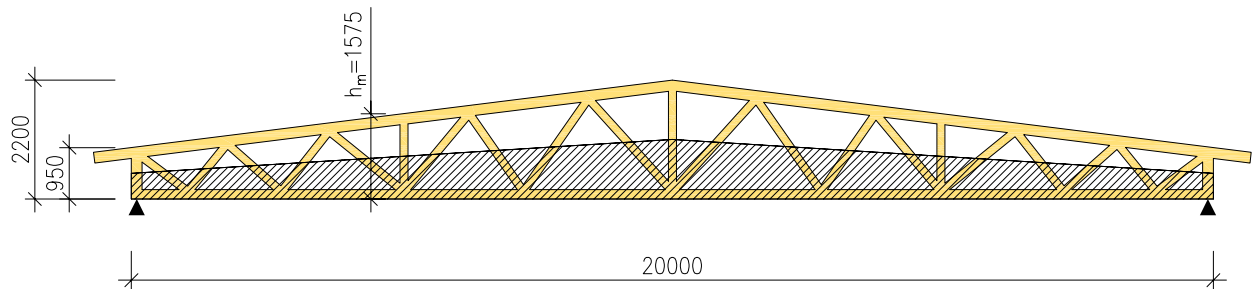
$$K_{FI} = 1,0$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1,15 K_{FI} G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5 K_{FI} Q_{k1}(\text{lumi}) + 1,5 K_{FI} \psi_{0,2} Q_{k2}(\text{tuuli})$$

Jäykisteiden kuormat

Päätykolmion tuulikuorma alapaarteen tasossa



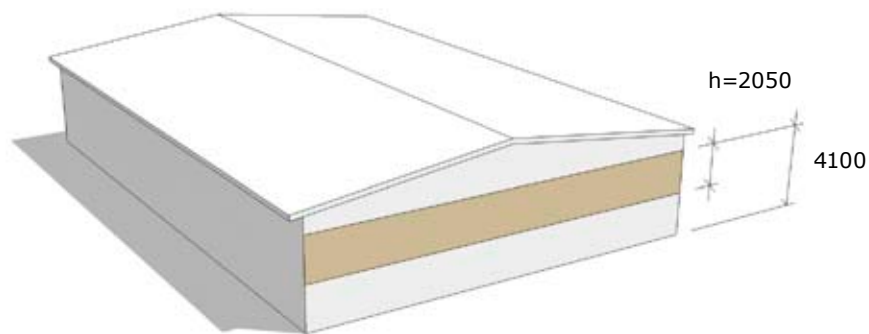
Päätykolmion tuulikuormasta puolet menee yläpaarteen tasoon ja puolet alapaarteen tasoon. Kattoristikon keskimääräinen korkeus $h_m = 1575$ mm.

$$q_{w,k,1} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot \frac{h_m}{2}$$

$$q_{w,k,1} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,58 \cdot \frac{1,575}{2}$$

$$q_{w,k,1} = 0,4 \text{ kN/m}$$

Päätyseinän tuulikuorma alapaarteen tasossa



Päätyseinän tuulikuormasta puolet menee alapaarteen tasoon ja puolet perustuksille.

$$q_{w,k,2} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot h$$

$$q_{w,k,2} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,58 \cdot 2,05$$

$$q_{w,k,2} = 1,1 \text{ kN/m}$$

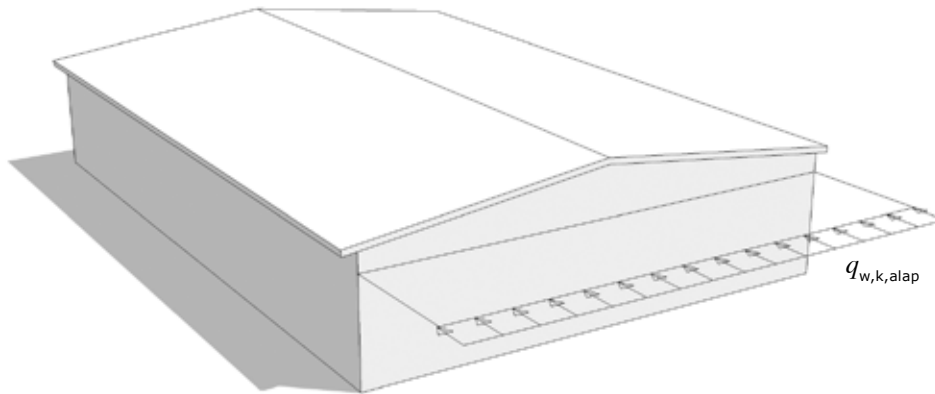
Alapaarteen tason tuulikuorma

Alapaarteen tasossa oleva tuulikuorma koostuu päätykolmion ja päätyseinän tuulikuormasta.

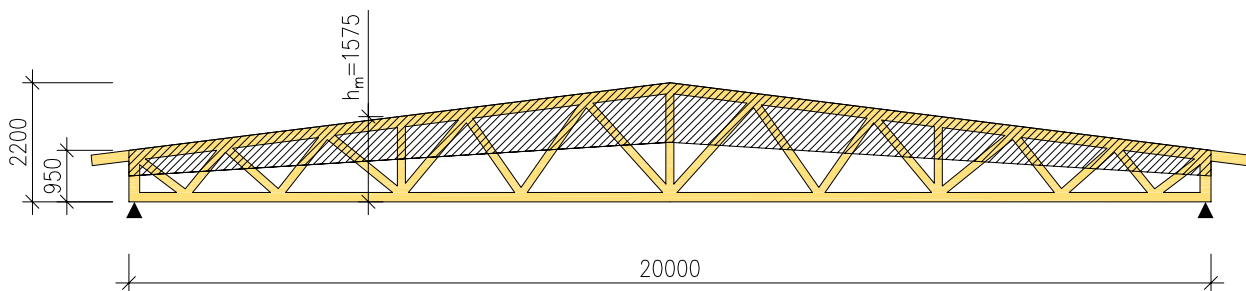
$$q_{w,k,alap} = q_{w,k,1} + q_{w,k,2}$$

$$q_{w,k,alap} = 0,4 + 1,1$$

$$q_{w,k,alap} = 1,5 \text{ kN/m}$$



Päätykolmion tuulikuorma yläpaarteen tasossa

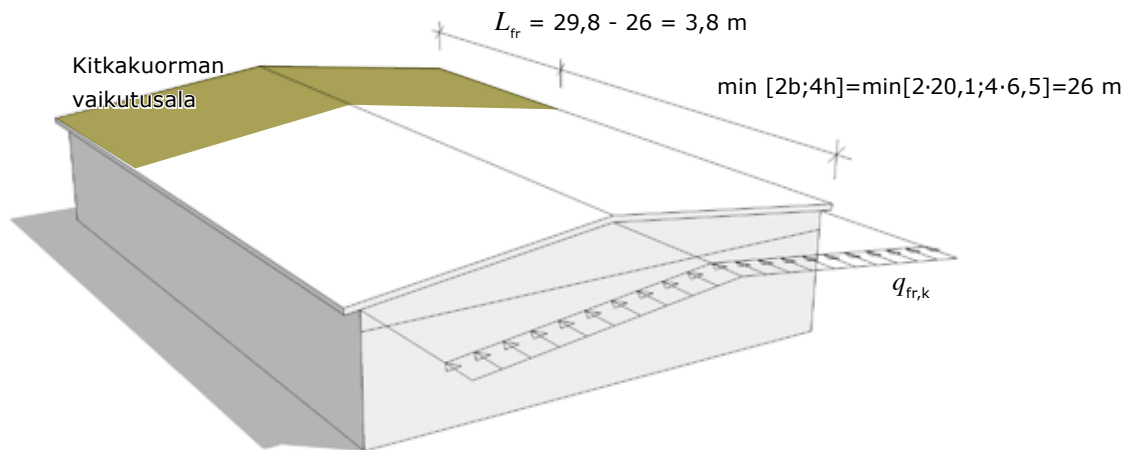


Päätykolmion tuulikuormasta puolet menee yläpaarteen tasoon ja puolet alapaarteen tasoon. Kattoristikon keskimääräinen korkeus $h_m = 1575$ mm.

$$q_{w,k,3} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot \frac{h_m}{2}$$

$$q_{w,k,3} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,58 \cdot \frac{1,575}{2}$$

$$q_{w,k,3} = 0,4 \text{ kN/m}$$

Katon kitkan aiheuttama tuulikuorma yläpaarteen tasossa

$c_{fr} = 0,04$ kitkakerroin profilipeltikatteelle

$$q_{fr,k} = q_p(z) \cdot c_{fr} \cdot L_f$$

$$q_{fr,k} = 0,58 \cdot 0,04 \cdot 3,8$$

$$q_{fr,k} = 0,09 \text{ kN/m}$$

Yläpaarteen tason tuulikuorma

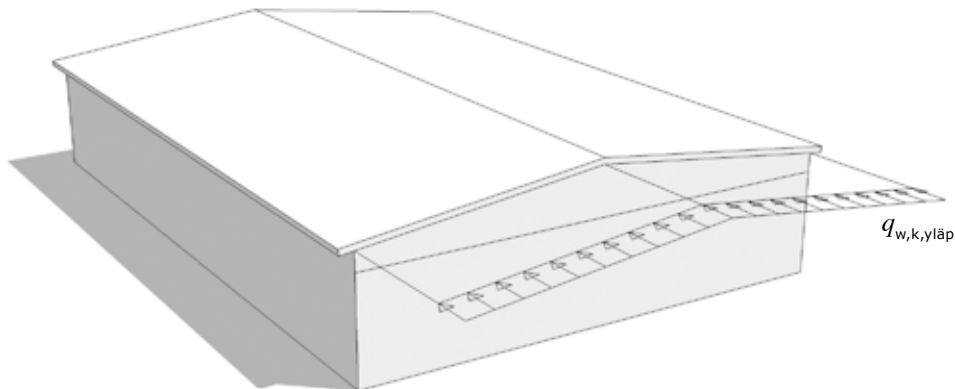
Yläpaarteen tasossa oleva tuulikuorma koostuu päätykolmion ja katon kitkan tuulikuormasta.

$$q_{w,k,yläp} = q_{w,k,3} + q_{fr,k}$$

$$q_{w,k,yläp} = 0,4 + 0,09$$

tuulikuorma yläpaarteen tasossa

$$q_{w,k,yläp} = 0,49 \text{ kN/m}$$



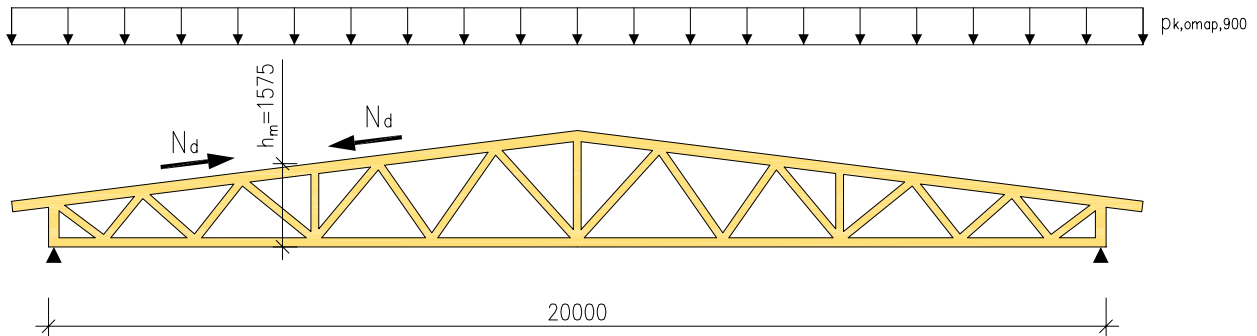
Yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima omapainosta

$k = 900 \text{ mm}$ kattoristikkojako

$$p_{k,omap,900} = k \cdot g_{k1}$$

$$p_{k,omap,900} = 0,9 \cdot 0,3$$

$$p_{k,omap,900} = 0,27 \text{ kN / m}$$



Kattoristikon keskimääräinen korkeus $h_m = 1575 \text{ mm}$.

$$M_{k,omap,900} = \frac{p_{k,omap,900} \cdot L^2}{8} = \frac{0,27 \cdot 20^2}{8}$$

$$M_{k,omap,900} = 13,5 \text{ kNm}$$

$$N_{k,omap,900} = \frac{M_{k,omap,900}}{h_m} = \frac{13,5}{1,575}$$

$$N_{k,omap,900} = 8,6 \text{ kN}$$

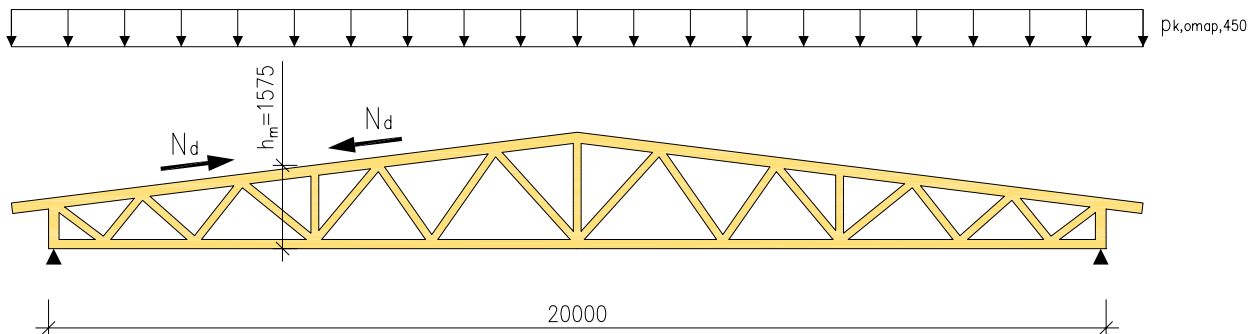
Yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima omapainosta (tihennetty ristikkojako)

$k = 450 \text{ mm}$ kattoristikkojako

$$p_{k,omap,450} = k \cdot g_{k1}$$

$$p_{k,omap,450} = 0,45 \cdot 0,3$$

$$p_{k,omap,450} = 0,14 \text{ kN / m}$$



Kattoristikon keskimääräinen korkeus $h_m = 1575 \text{ mm}$.

$$M_{k,omap,450} = \frac{p_{k,omap,450} \cdot L^2}{8} = \frac{0,14 \cdot 20^2}{8}$$

$$M_{k,omap,450} = 7,0 \text{ kNm}$$

$$N_{k,omap,450} = \frac{M_{k,omap,450}}{h_m} = \frac{7,0}{1,575}$$

$$N_{k,omap,450} = 4,4 \text{ kN}$$

Sisäinen jäykistyskuorma yläpaarteen tasossa omapainosta

Jäykistysjärjestelmän jänneväli ℓ on pisin mahdollinen nurjahdusaallon pituus eli tässä tapauksessa lappeen pituus 10100 mm.

$$k_{\ell} = \min \begin{cases} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{\ell}} = \sqrt{\frac{15}{10,1}} = 1,2 \end{cases} \quad (\text{kaava 9.38})$$

$n_{900} = 27$ kpl kattoristikoiden määrä jaon k900 alueella

$$q_{k,900} = k_{\ell} \cdot \frac{n_{900} \cdot N_{k,omap,900}}{50 \cdot \ell} = 1 \cdot \frac{27 \cdot 8,6}{50 \cdot 10,1} \quad q_{k,900} = 0,46 \text{ kN/m}$$

(kaava 9.37)

$n_{450} = 11$ kpl kattoristikoiden määrä jaon k450 alueella

$$q_{k,450} = k_{\ell} \cdot \frac{n_{450} \cdot N_{k,omap,450}}{50 \cdot \ell} = 1 \cdot \frac{11 \cdot 4,4}{50 \cdot 10,1} \quad q_{k,450} = 0,1 \text{ kN/m}$$

(kaava 9.37)

$$q_{k,j,omap} = q_{k,900} + q_{k,450}$$

$$q_{k,j,omap} = 0,46 + 0,1 \text{ sisäinen jäykistyskuorma omapainosta} \quad q_{k,j,omap} = 0,56 \text{ kN/m}$$

Yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima lumikuorma

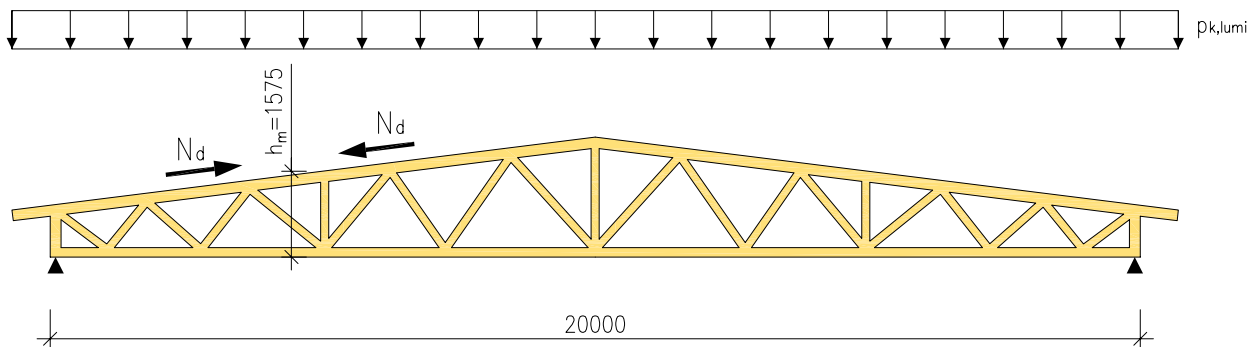
$k = 900$ mm kattoristikkojako

$$p_{k,lumi} = k \cdot q_{k1}$$

$$p_{k,lumi} = 0,9 \cdot 2,4$$

kattoristikon pystykuorma normaalin lumikuorma alueella

$$p_{k,lumi} = 2,2 \text{ kN/m}$$



Kattoristikon keskimääräinen korkeus $h_m = 1575$ mm.

$$M_{k,lumi} = \frac{p_{k,lumi} \cdot L^2}{8} = \frac{2,2 \cdot 20^2}{8}$$

$$M_{k,lumi} = 110 \text{ kNm}$$

$$N_{k,lumi} = \frac{M_{k,lumi}}{h_m} = \frac{110}{1,575}$$

$$N_{k,lumi} = 69,8 \text{ kN}$$

Yläpaarten keskimääräinen puristusvoima kinostuneesta lumikuormasta

$$k = 450 \text{ mm}$$

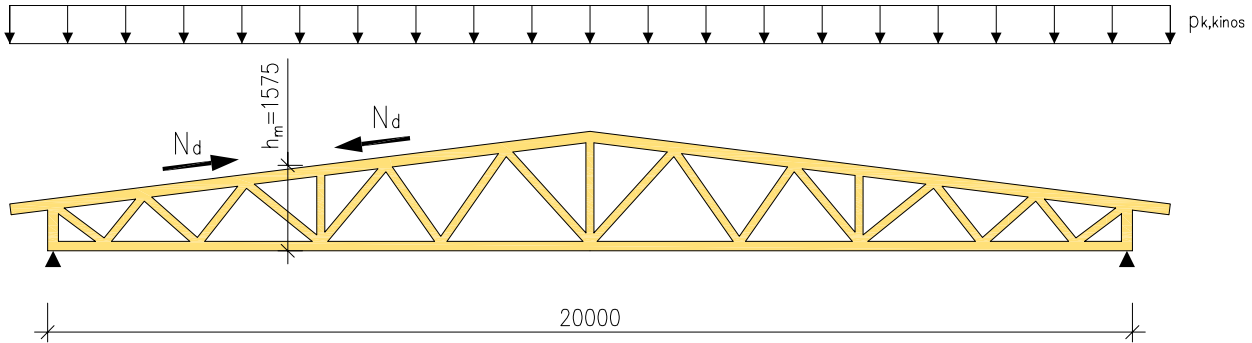
ristikkojako

$$p_{k,kinos} = k \cdot q_{k2}$$

kattoristikon pystykuorma lumen kinostuman alueella

$$p_{k,kinos} = 0,45 \cdot 4,6$$

$$p_{k,kinos} = 2,1 \text{ kN/m}$$

Kattoristikon keskimääräinen korkeus $h_m = 1575 \text{ mm}$.

$$M_{k,kinos} = \frac{p_{k,kinos} \cdot L^2}{8} = \frac{2,1 \cdot 20^2}{8} \text{ kNm}$$

$$M_{k,kinos} = 105 \text{ kNm}$$

$$N_{k,kinos} = \frac{M_{k,kinos}}{h_m} = \frac{105}{1,575}$$

$$N_{k,kinos} = 66,7 \text{ kN}$$

Sisäinen jäykistyskuorma yläpaarten tasossa lumikuormasta

Jäykistysjärjestelmän jänneväli ℓ on pisin mahdollinen nurjahdusaallon pituus eli tässä tapauksessa lappeen pituus 10100 mm.

$$k_\ell = \min \begin{cases} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{\ell}} = \sqrt{\frac{15}{10,1}} = 1,2 \end{cases}$$

(kaava 9.38)

$$n_{900} = 27 \text{ kpl}$$

kattoristikoiden lukumäärä normaalin lumikuorman alueella

$$q_{k,lumi} = k_\ell \cdot \frac{n_{900} \cdot N_{k,lumi}}{50 \cdot \ell} = 1 \cdot \frac{27 \cdot 69,8}{50 \cdot 10,1}$$

$$q_{k,lumi} = 3,7 \text{ kN/m}$$

(kaava 9.37)

$$n_{450} = 11 \text{ kpl}$$

kattoristikoiden lukumäärä lumen kinostuman alueella

$$q_{k,kinos} = k_\ell \cdot \frac{n_{450} \cdot N_{k,kinos}}{50 \cdot \ell} = 1 \cdot \frac{11 \cdot 66,7}{50 \cdot 10,1}$$

$$q_{k,kinos} = 1,5 \text{ kN/m}$$

(kaava 9.37)

$$q_{k,j,lumi} = q_{k,lumi} + q_{k,kinos}$$

$$q_{k,j,lumi} = 3,7 + 1,5$$

sisäinen jäykistyskuorma lumikuormasta

$$q_{k,j,lumi} = 5,2 \text{ kN/m}$$

Yläpaarteen tasossa olevien jäykisteiden kokonaiskuorma

Tässä esimerkissä yläpaarteen tasoon asennetaan lappeen suuntaiset NR-jäykisteristikot, joita kuormittaa:

- yläpaarteiden sisäinen jäykistyskuorma omapainosta $q_{k,j,omap} = 0,56 \text{ kN/m}$
- yläpaarteiden sisäinen jäykistyskuorma lumikuormasta $q_{k,j,lumi} = 5,2 \text{ kN/m}$
- tuulikuorma päätykolmiolta ja katon kitkasta $q_{w,k,yläp} = 0,49 \text{ kN/m}$

NR-jäykisteristikot mitoittaa ristikkotoimittaja päärakennesuunnittelijan laatimien ristikkokaavioiden perusteella. Jäykistysen murtorajatilan taipuma saa olla enintään $L/500$ (L =yläpaarteen pituus), joka merkitään mitoitus ehdoksi ristikkokaavioon. Kuormat annetaan NR-suunnittelijalle ominaiskuormina.

Tässä esimerkissä kuitenkin tehdään kuormitusyhdistelmät, jolloin saadaan NR-jäykisteristikoille jakautuva murtorajatilan kokonaiskuorma $p_{d,jäykiste}$ ja tätä kautta NR-pukeille tulevat kuormat.

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

$$\begin{aligned}
 p_{d,jäykiste} &= 1,15 K_{FI} G_{kj} (omapaino) + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} (tuuli) + 1,5 K_{FI} \psi_{0,2} Q_{k,2} (lumi) \\
 p_{d,jäykiste} &= 1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,49 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 5,2 \\
 p_{d,jäykiste} &= 6,8 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

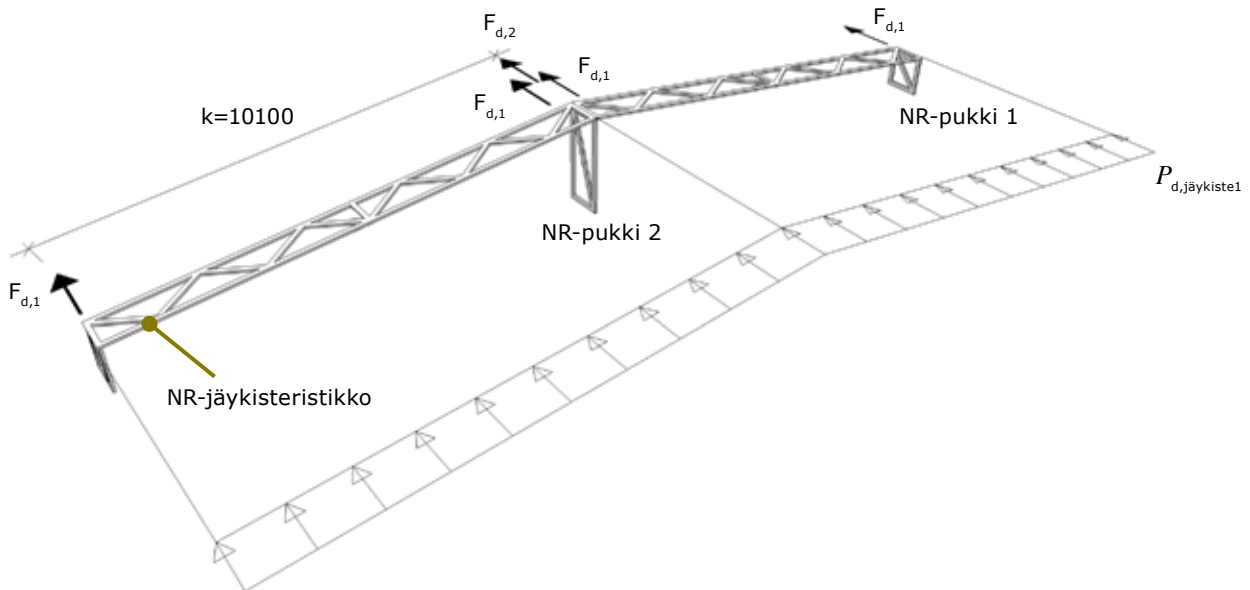
$$\begin{aligned}
 p_{d,jäykiste} &= 1,15 K_{FI} G_{kj} (omapaino) + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} (lumi) \\
 p_{d,jäykiste} &= 1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 5,2 \\
 p_{d,jäykiste} &= 8,5 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

KY 13 (hetkellinen aikaluokka)

$$\begin{aligned}
 p_{d,jäykiste} &= 1,15 K_{FI} G_{kj} (omapaino) + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} (lumi) + 1,5 K_{FI} \psi_{0,2} Q_{k,2} (tuuli) \\
 p_{d,jäykiste} &= 1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 5,2 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,49 \\
 p_{d,jäykiste} &= 8,9 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

NR-jäykisteristikon ja NR-pukkien kuormat murtorajatilassa

Tässä esimerkissä yläpohjassa on neljä alla olevan kuvan mukaista jäykistesysteemiä peräkkäin, joten kokonaiskuorma $p_{d,jäykiste}$ jakaantuu niille tasan. Seuraavassa käsitellään yhtä jäykistesysteemiä, jota kuormittaa $p_{d,jäykiste1}$.



KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

$$1,15K_{FI} \frac{G_{kj}(\text{omapaino})}{4} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,56}{4} = 0,16 \text{ kN/m}$$

$$1,5K_{FI} \frac{Q_{k,1}(\text{tuuli})}{4} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,49}{4} = 0,18 \text{ kN/m}$$

$$1,5K_{FI} \frac{\psi_{0,2} Q_{k,2}(\text{lumi})}{4} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,7 \cdot 5,2}{4} = 1,37 \text{ kN/m}$$

$$p_{d,jäykiste1} = 1,7 \text{ kN/m}$$

KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

$$1,15K_{FI} \frac{G_{kj}(\text{omapaino})}{4} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,56}{4} = 0,16 \text{ kN/m}$$

$$1,5K_{FI} \frac{Q_{k,1}(\text{lumi})}{4} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot \frac{5,2}{4} = 1,95 \text{ kN/m}$$

$$p_{d,jäykiste1} = 2,1 \text{ kN/m}$$

KY 13 (hetkellinen aikaluokka)

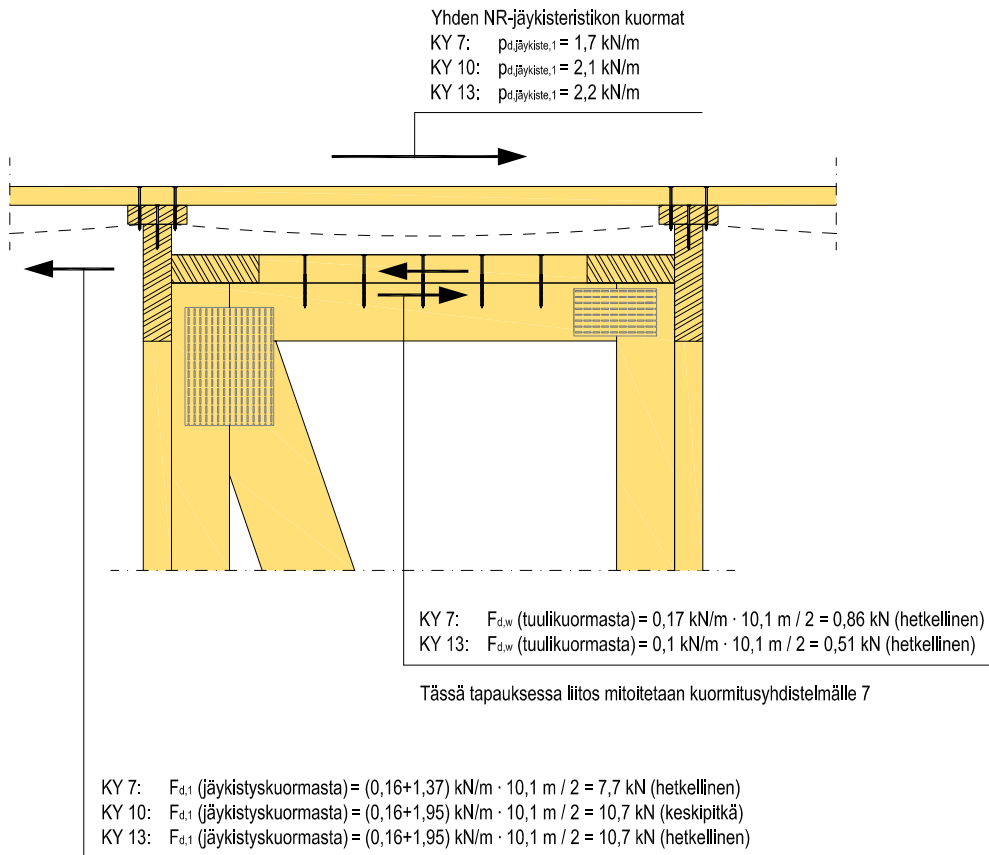
$$1,15K_{FI} \frac{G_{kj}(\text{omapaino})}{4} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,56}{4} = 0,16 \text{ kN/m}$$

$$1,5K_{FI} \frac{Q_{k,1}(\text{lumi})}{4} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot \frac{5,2}{4} = 1,95 \text{ kN/m}$$

$$1,5K_{FI} \frac{\psi_{0,2} Q_{k,2}(\text{tuuli})}{4} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,6 \cdot 0,49}{4} = 0,11 \text{ kN/m}$$

$$p_{d,jäykiste1} = 2,2 \text{ kN/m}$$

Yläpaarteiden sisäistä jäykistyskuormaa ei tarvitse viedä NR-pukeille vaan se voidaan "palauttaa" yläpaarteelle. NR-pukeille viedään ainoastaan ulkoiset kuormat eli päätykolmion tuulikuorma ja katon kitkan aiheuttama tuulikuorma.



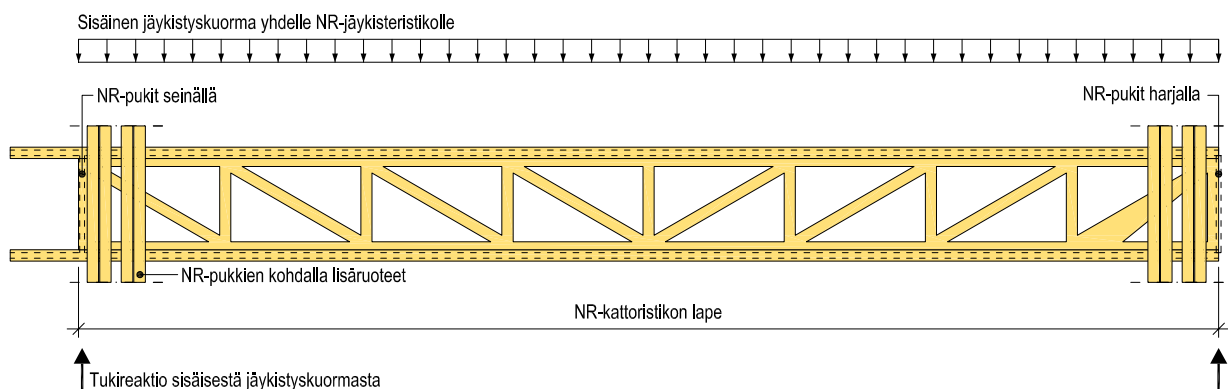
Sisäinen jäykistyskuorma voidaan palauttaa tukipisteiden kohdalla (tässä tapauksessa NR-pukkien kohdalla) yläpaarteelle esimerkiksi lisäruoteiden välityksellä. Tässä tapauksessa ruoteen ja kattoristikon liitokseen mahtuu 6 kpl 2,8x75 kokoisia nauloja. Tällaisen liitoksen leikkausvoimakestävyys $R_{d,liitos} = 2,64 \text{ kN}$ (keskipitkä aikaluokka). Käytetään tätä liitosta lisäruoteiden kiinnityksessä, jolloin lisäruoteiden määrä NR-pukkien kohdalla saadaan seuraavasti:

KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

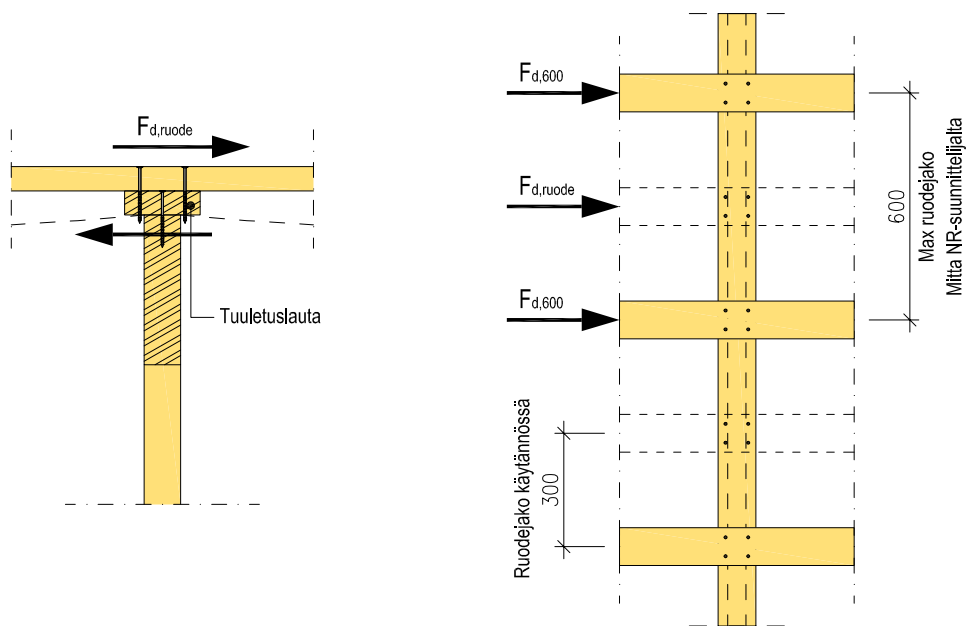
$$n_{\text{lisäruode}} = \frac{F_{d,1}}{R_{d,liitos}} = \frac{10,7}{2,64}$$

$$n_{\text{lisäruode}} = 4 \text{ kpl}$$

Laitetaan NR-pukkien kohdalle kahteen vakioruodeväliin (k300) kaksi lisäruodetta.



Ruoteiden kiinnitys yksittäiseen kattoristikoon



Oletetaan, että NR-suunnittelija on mitoittanut kattoristikot ruodejaon k600 mukaan. Tämä on se ruodejako, jonka yläpaarre tarvitsee nurjahdustuennan takia. Käytännössä katteen vaatima ruodejako on kuitenkin k300, joten tihennetty ruodejako voidaan huomioida ruoteiden ja niiden liitosten mitoituksessa.

Normaalin lumikuorman alueella

KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

$$N_{d,yläp} = 1,15 K_{FI} N_{k,omap,900} + 1,5 K_{FI} N_{k,lumi}$$

$$N_{d,yläp} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 8,6 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 69,8$$

$$F_{d,600} = \frac{N_{d,yläp}}{50} = \frac{114,6}{50} \quad (\text{kaava 9.35})$$

$$F_{d,ruode} = \frac{F_{d,600}}{2} = \frac{2,3}{2}$$

$$N_{d,yläp} = 114,6 \text{ kN}$$

$$F_{d,600} = 2,3 \text{ kN}$$

$$F_{d,ruode} = 1,15 \text{ kN}$$

Kinostuneen lumikuorman alueella

KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

$$N_{d,yläp} = 1,15 K_{FI} N_{k,omap,450} + 1,5 K_{FI} N_{k,kinos}$$

$$N_{d,yläp} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 4,4 + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 66,7$$

$$F_{d,600} = \frac{N_{d,yläp}}{50} = \frac{105,1}{50} \quad (\text{kaava 9.35})$$

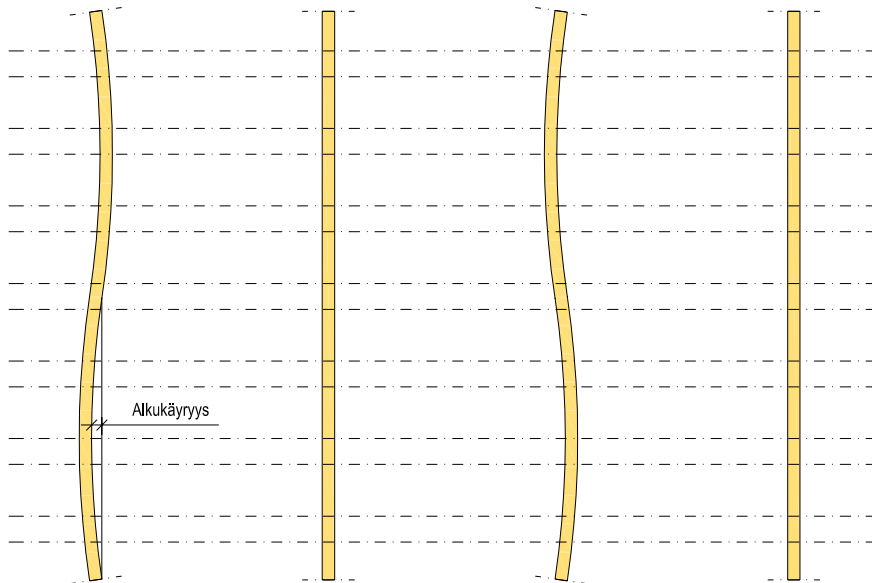
$$F_{d,ruode} = \frac{F_{d,600}}{2} = \frac{2,3}{2}$$

$$N_{d,yläp} = 105,1 \text{ kN}$$

$$F_{d,600} = 2,1 \text{ kN}$$

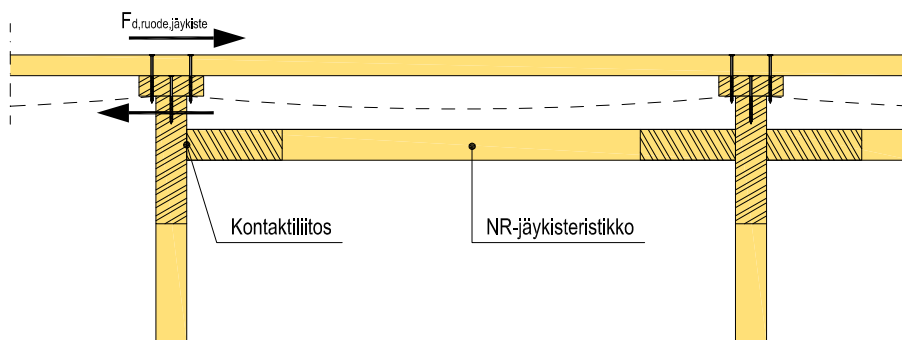
$$F_{d,ruode} = 1,05 \text{ kN}$$

Voima $F_{d,600}$ tulee siitä, että yläpaarre pyrkii nurjahtamaan S-nurjahdusmuotoon yläpaarten mahdollisen alkukäyryyden takia. Voimaa $F_{d,600}$ ei tarvitse kerryttää jäykisteristikoille, koska ruodevälillä ristikkokohtaisesti yläpaarten jäykistävänä rakenteena toimii myös tuuletuslauta ja profiilipelti. Lisäksi mahdollinen alkukäyryys eri ristikoissa voi olla eri suuntiin ja lappeen eri kohdissa.



Edellisessä laskelmassa voimat $F_{d,600}$ jaettiin tasaisesti kaikille ruoteille (ruodejako k300), jolloin kaikki ruoteet ovat sivuttaistuennan kannalta toimivia. Näin ollen kattoristikon liitos tuuletuslauta- ja ruoteeseen mitoitetetaan tässä tapauksessa voimalle $F_{d,ruode} = 1,15 \text{ kN}$. Lisäksi tulee tarkastaa, että kyseisten liitosten tartuntakestävyys on riittävä tuulikuormille.

Ruoteiden kiinnitys NR-jäykisteristikoon



Tarkastellaan NR-jäykisteristikon vieressä olevaa kattoristikkoa, josta jäykistyskuorma siirtyy NR-jäykisteristikolle yläpaarten ja NR-jäykisteristikon välisen kontaktiliitoksen välityksellä.

KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

$$k = 300 \text{ mm}$$

ruodejako

$$p_{d,jäykiste} = 2,1 \text{ kN/m} \quad (\text{yhden NR-jäykisteristikon kuorma})$$

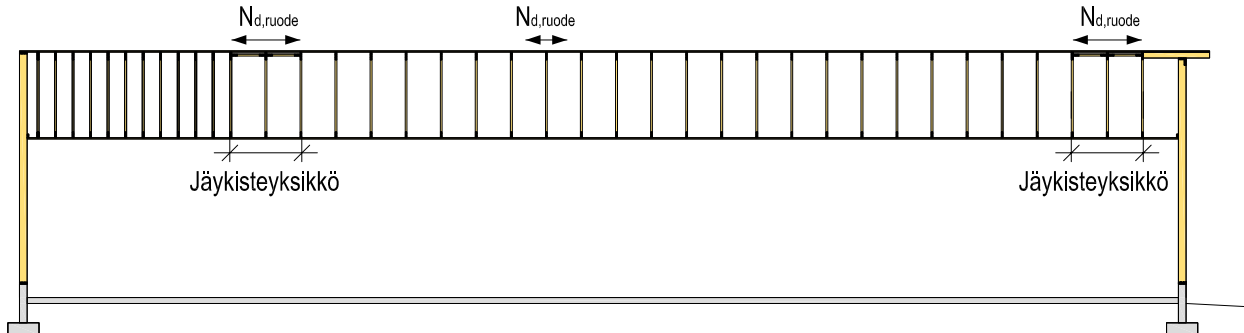
$$F_{d,ruode,jäykiste} = p_{d,jäykiste} \cdot k = 2,1 \cdot 0,3$$

$$F_{d,ruode,jäykiste} = 0,63 \text{ kN}$$

Ruoteiden kiinnitys NR-jäykisteristikoiden vieressä oleviin kattoristikoihin mitoitetetaan tässä tapauksessa voimalle $F_{d,ruode,jäykiste} = 0,63 \text{ kN}$.

Ruoteiden nurjahdus- ja vetokestävyys

Ruoteiden nurjahdus- ja vetokestävyys tulee tarkastaa. Ruoteiden suurimmat puristus- ja vetovoimat ovat jäykisteyksiköiden kohdalla. Joissakin tapauksissa yksittäinen kattoristikon tuenta (S-nurjahdusmuoto) saattaa aiheuttaa ruoteisiin edellistä suuremman puristus- tai vetovoiman.



KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

Ruodevoima jäykisteyksikön kohdalla

$k = 300 \text{ mm}$ ruodejako
 $n_{\text{jäykiste},1} = 2$ vierekkäisten NR-jäykisteristikoiden määrä yhdessä jäykisteyksikössä

$p_{d,\text{jäykiste}} = 2,1 \text{ kN/m}$ (yhden NR-jäykisteristikon kuorma)

$$N_{d,\text{ruode}} = p_{d,\text{jäykiste}} \cdot k \cdot n_{\text{jäykiste}} = 2,1 \cdot 0,3 \cdot 2$$

$$N_{d,\text{ruode}} = 1,26 \text{ kN}$$

KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

Ruodevoima yksittäisen kattoristikon S-nurjahdusmuodosta

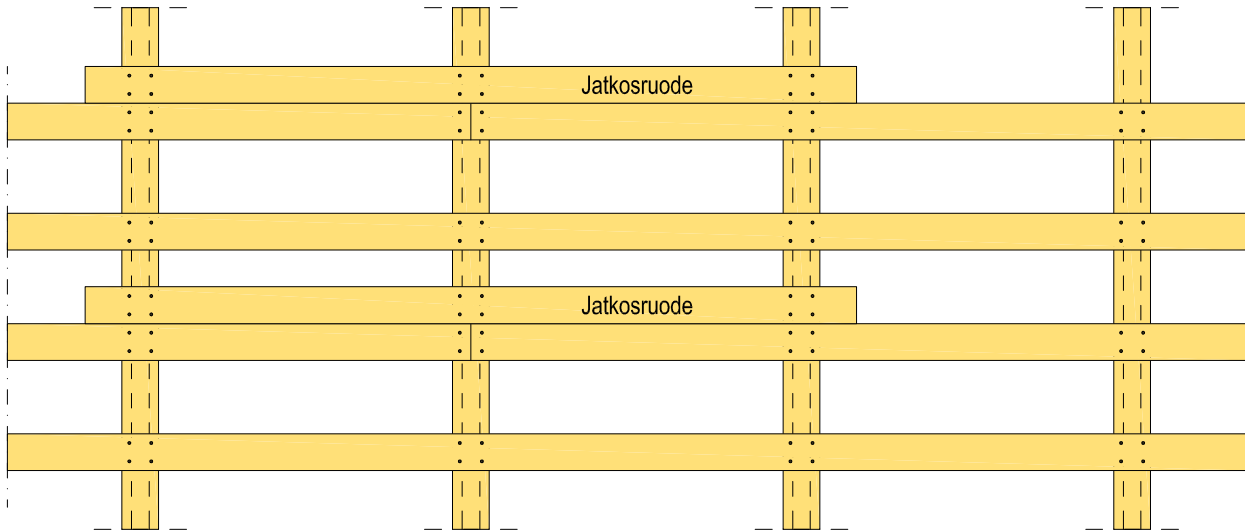
$$N_{d,\text{ruode}} = F_{d,\text{ruode}} = 1,15 \text{ kN} \quad \text{ks. kohta Ruoteiden kiinnitys yksittäiseen kattoristikoon}$$

Ruoteiden nurjahdus- ja vetokestävyys mitoitetaan tässä tapauksessa voimalle $N_{d,\text{ruode}} = \pm 1,26 \text{ kN}$. Lisäksi mitoituksessa tulee huomioida lumikuorman aiheuttama taivutusrasitus ($N + M$ yhteisvaikutus).

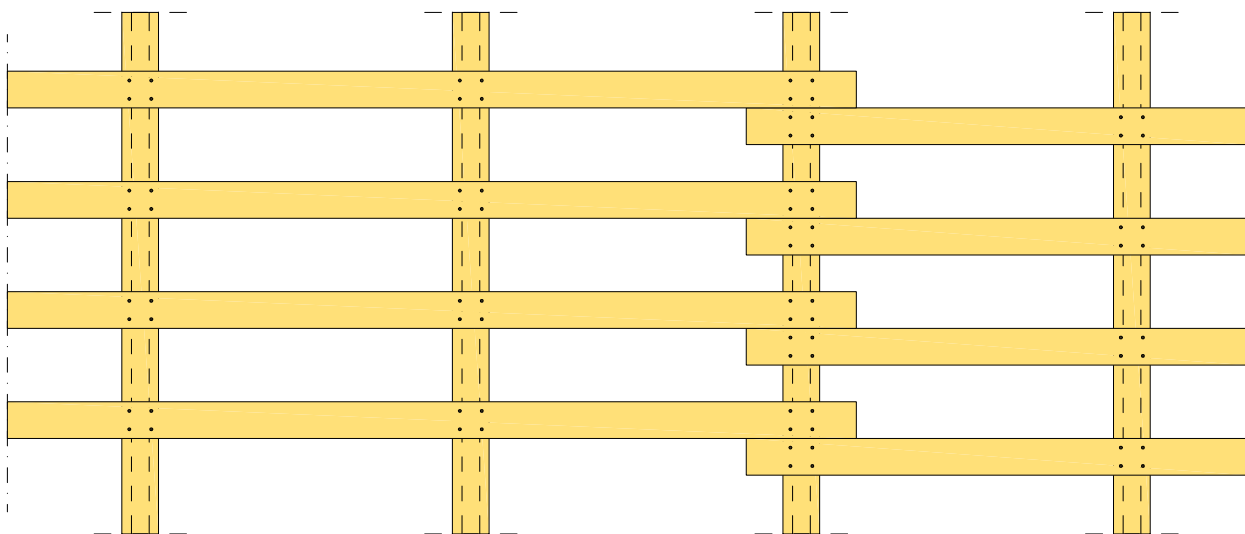
Ruoteiden jatkokset

Tässä esimerkissä ruoteiden jatkokset tulee mitoittaa edellä määritetylle voimalle $N_{d,ruode} = 1,26 \text{ kN}$. Ruoteiden jatkokset voidaan tehdä seuraavilla vaihtoehdoilla.

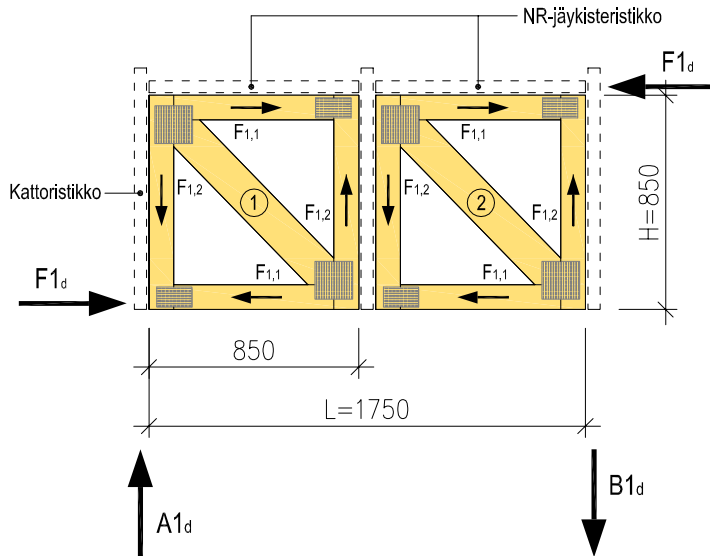
Vaihtoehto 1: erillinen jatkosruode



Vaihtoehto 2: limitetyt ruoteet



Yläpaarteen tasosta kuormat tuodaan alapaarteen tasoon NR-pukeilla. NR-pukit kiinnitetään kattoristikoihin, joten niihin tulee varata pystysauva NR-pukin kohdalle, johon NR-pukki saadaan luotettavasti kiinnitettyä. NR-pukit aiheuttavat kattoristikoihin pistekuormia, jotka tulee huomioida kattoristikoiden mitoituksessa. NR-suunnittelijalle kuormat tulee ilmoittaa ominaiskuormina, mutta selvyden vuoksi tässä esimerkissä NR-pukkien ulkoiset kuormat esitetään murtorajatilassa.



$n_{\text{jäykiste},1} = 2$ NR-pukkeihin liitettävien NR-jäykisteristikoiden määrä yhdessä jäykisteyksikössä

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

$F_{d,w} = 0,86 \text{ kN}$ tuulikuorman aiheuttama tukireaktio NR-jäykisteristikon päässä

$$F1_d = n_{\text{jäykiste},1} \cdot F_{d,w} = 2 \cdot 0,86$$

$$F1_d = 1,72 \text{ kN}$$

$$A1_d = B1_d = \frac{F1_d \cdot H}{L} = \frac{1,72 \cdot 0,85}{1,75}$$

$$A1_d = B1_d = 0,84 \text{ kN}$$

KY 13 (hetkellinen aikaluokka)

$F_{d,w} = 0,51 \text{ kN}$ tuulikuorman aiheuttama tukireaktio NR-jäykisteristikon päässä

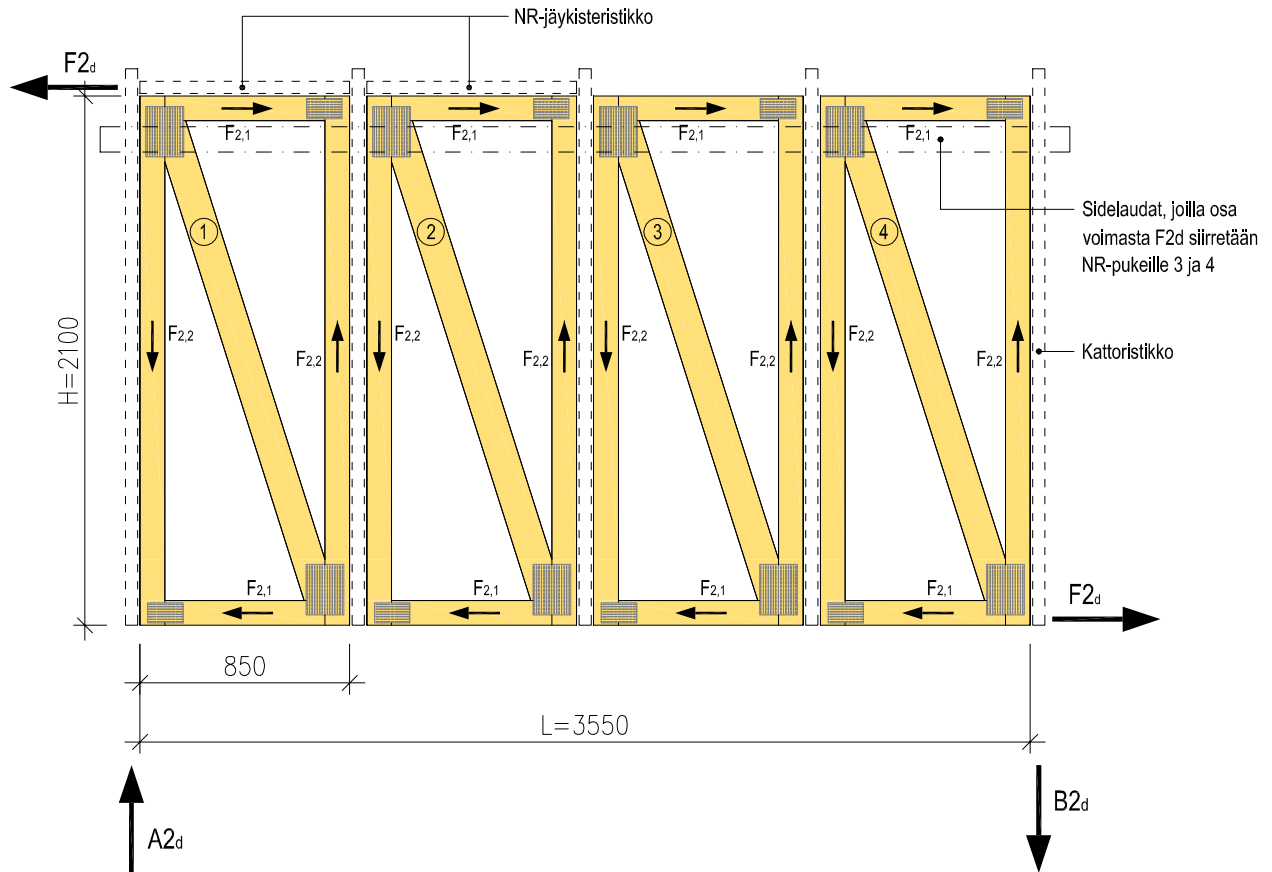
$$F1_d = n_{\text{jäykiste},1} \cdot F_{d,w} = 2 \cdot 0,51$$

$$F1_d = 1,02 \text{ kN}$$

$$A1_d = B1_d = \frac{F1_d \cdot H}{L} = \frac{1,02 \cdot 0,85}{1,75}$$

$$A1_d = B1_d = 0,50 \text{ kN}$$

NR-pukit ovat ulkoseinän päällä, joten ulkoiset kuormat $A1_d$ ja $B1_d$ eivät tule rasittamaan kattoristikkoa. NR-pukit kiinnitetään seinän päälle voimalle $F1_d$ ja kattoristikoihin voimalle $A1_d (=B1_d)$. Tässä tapauksessa NR-pukkien liitokset mitoitetaan kuormitusyhdistelmälle 7.



$n_{\text{jäykiste},1} = 4$ NR-pukkeihin liitettävien NR-jäykisteristikoiden määrä yhdessä jäykisteyksikössä

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

$F_{d,w} = 0,86 \text{ kN}$ tuulikuorman aiheuttama tukireaktio NR-jäykisteristikon päässä

$$F2_d = n_{\text{jäykiste},1} \cdot F_{d,w} = 4 \cdot 0,86$$

$$F2_d = 3,44 \text{ kN}$$

$$A2_d = B2_d = \frac{F2_d \cdot H}{L} = \frac{3,44 \cdot 2,1}{3,55}$$

$$A2_d = B2_d = 2,03 \text{ kN}$$

KY 13 (hetkellinen aikaluokka)

$F_{d,w} = 0,51 \text{ kN}$ tuulikuorman aiheuttama tukireaktio NR-jäykisteristikon päässä

$$F2_d = n_{\text{jäykiste},1} \cdot F_{d,w} = 4 \cdot 0,51$$

$$F2_d = 2,04 \text{ kN}$$

$$A2_d = B2_d = \frac{F2_d \cdot H}{L} = \frac{2,04 \cdot 2,1}{3,55}$$

$$A2_d = B2_d = 1,21 \text{ kN}$$

NR-pukit ovat harjan kohdalla, joten ulkoiset kuormat $A2_d$ ja $B2_d$ tulevat rasittamaan kattoristikkoa. NR-pukit kiinnitetään alakaton jäykistysrakenteisiin voimalle $F2_d$ ja kattoristikoihin voimalle $A2_d (=B2_d)$. Tässä tapauksessa NR-pukkien liitokset mitoitetaan kuormitusyhdistelmälle 7.

Alakaton vinolaudoituksen kuormat

Tässä esimerkissä alaparteen tason jäykisteeksi asennetaan vinolaudoitus, jota kuormittaa:

- tuulikuorma päätykolmiolta ja päätyseinältä
- tuulikuorma harjan kohdalla olevilta NR-pukeilta

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

Tuulikuorma alaparteen tasossa

$$p_{d,tuuli,alap} = 1,5 K_{FI} Q_{k,1}(tuuli) = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$p_{d,tuuli,alap} = 2,3 \text{ kN/m}$$

Tuulikuorma NR-pukeilta

$$n_{\text{jäykisteyksikkö}} = 2 \quad \text{jäykisteyksiköiden määrä harjan kohdalla}$$

$$F_{d,alap} = n_{\text{jäykisteyksikkö}} \cdot F_2 = 2 \cdot 3,44$$

$$F_{d,alap} = 6,9 \text{ kN}$$

KY 13 (hetkellinen aikaluokka)

Tuulikuorma alaparteen tasossa

$$p_{d,tuuli,alap} = 1,5 K_{FI} \psi_{0,2} Q_{k,2}(tuuli) = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 1,5$$

$$p_{d,tuuli,alap} = 1,4 \text{ kN/m}$$

Tuulikuorma NR-pukeilta

$$n_{\text{jäykisteyksikkö}} = 2 \quad \text{jäykisteyksiköiden määrä harjan kohdalla}$$

$$F_{d,alap} = n_{\text{jäykisteyksikkö}} \cdot F_2 = 2 \cdot 2,04$$

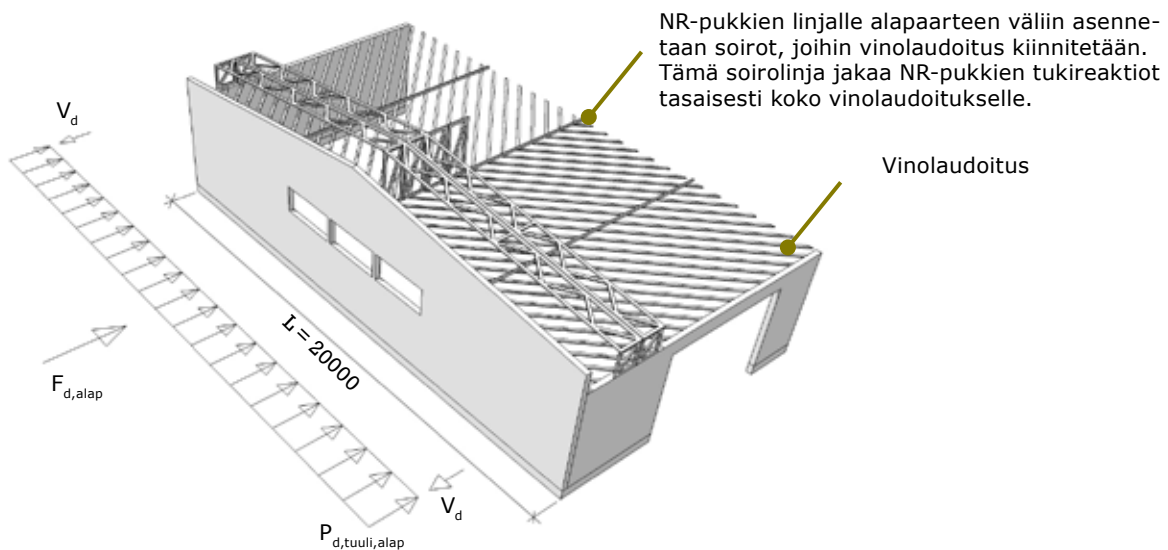
$$F_{d,alap} = 4,1 \text{ kN}$$

Alakaton vinolaudoituksen leikkausvoima

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

$$V_d = \frac{p_{d,tuuli,alap} \cdot L}{2} + \frac{F_{d,alap}}{2} = \frac{2,3 \cdot 20}{2} + \frac{6,9}{2}$$

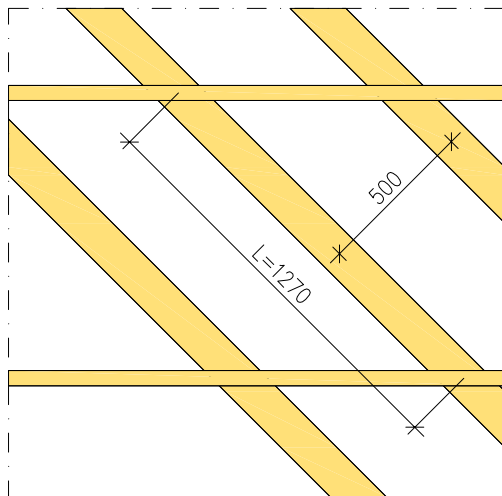
$$V_d = 26,5 \text{ kN}$$



Vinolaudoituksen puristuskestävyys**KY 7 (hetkellinen aikaluokka)**

Alapaarteen alapintaan tehdään vinolaudoitus C14 28x125 k500. Laudat naulataan ristikoiden alapartaan alapuolelle 45 asteen kulmaan siten, että vinolaudoitus on symmetrinen katon harjalinjan suhteen.

$b = 125 \text{ mm}$	laudan leveys
$h = 28 \text{ mm}$	laudan paksuus
$A = 3500 \text{ mm}^2$	laudan poikkileikkausala
$f_{c,0,k} = 16,0 \text{ N/mm}^2$	puristuslujuus syysuuntaan
$E_{0,05} = 4700 \text{ N/mm}^2$	kimmomoduuli
$\gamma_M = 1,4$	materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.10)

**Hoikkuusluku**

$$L_{c,y} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 1270 \quad (\text{taulukko 6.1S})$$

$$L_{c,y} = 1270 \text{ mm}$$

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{125 \cdot 28^3}{12}$$

$$I_z = 228666,6 \text{ mm}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{228666,6}{3500}}$$

$$i_z = 8,1 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{c,y}}{i_z} = \frac{1270}{8,1} \quad (\text{kaava 6.20.2S})$$

$$\lambda_z = 157$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{157}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{16}{4700}}$$

$$\lambda_{rel,z} = 2,9$$

 k_z -kerroin

$$\beta_c = 0,2 \text{ alkukäyryydestä riippuva kerroin sahatavaralle} \quad (\text{kaava 6.29})$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (\text{kaava 6.28})$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (2,9 - 0,3) + 2,9^2) \quad k_z = 4,97$$

Nurjahduskerroin $k_{c,z}$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \leq 1 \quad (\text{kaava 6.26})$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{4,97 + \sqrt{4,97^2 - 2,9^2}} \quad k_{c,z} = 0,11$$

Puristuslujuus

$$k_{mod} = 1,1 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{16,0 \cdot 1,1}{1,4} \quad f_{c,0,d} = 12,6 \text{ N/mm}^2$$

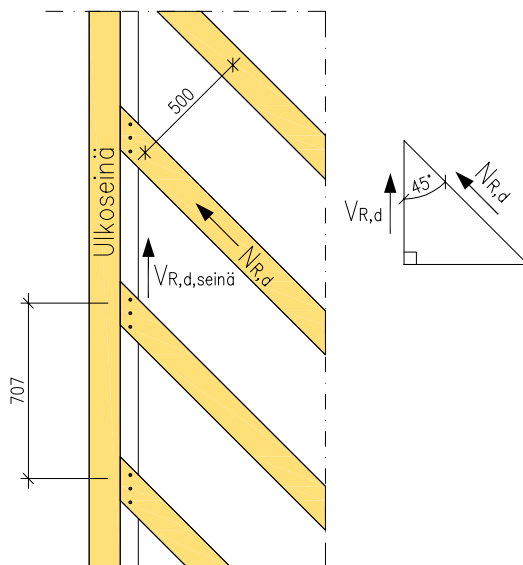
Puristuskestävyys

$$N_{R,d} = k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} \cdot A = 0,11 \cdot 12,6 \cdot 3500 \quad N_{R,d} = 4,85 \text{ kN}$$

Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle V_d vinolaudoituksen nurjahduskestävyyden perusteella

$$\begin{aligned} k &= 500 \text{ mm} \\ s &= 707 \text{ mm} \\ L &= 29500 \text{ mm} \\ \alpha &= 45^\circ \end{aligned}$$

vinolaudoituksen k-jako
vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa
ulkoseinän pituus
vinolaudoituksen kulma ulkoseinään nähden



$$V_{R,d} = N_{R,d} \cdot \cos \alpha = 4,85 \cdot \cos 45^\circ$$

$$V_{R,d} = 3,4 \text{ kN}$$

$$V_{R,d,seinä} = \frac{L}{s} \cdot V_{R,d} = \frac{29,5}{0,707} \cdot 3,4$$

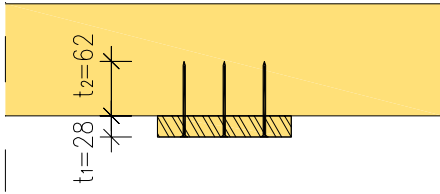
$$V_{R,d,seinä} = 142 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

Naulan leikkauskestävyys



$$k_t = \max \begin{cases} 1 + 0,3 \cdot \frac{t_1 - 8d}{8d} = 1 + 0,3 \cdot \frac{28 - 8 \cdot 3,1}{8 \cdot 3,1} = 1,04 \\ 1 + 0,3 \cdot \frac{t_2 - 12d}{6d} = 1 + 0,3 \cdot \frac{62 - 12 \cdot 3,1}{6 \cdot 3,1} = 1,4 \end{cases} \quad (\text{kaava 8.5.5S})$$

Pyöreillä sileillä nautoilla $k_t \leq 1,1 \rightarrow k_t = 1,1$

$$R_k = 120 \cdot d^{1,7} = 120 \cdot 3,1^{1,7}$$

$$R_k = 821,3 \text{ N}$$

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$\gamma_M = 1,4$$

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k \cdot k_t}{\gamma_M} = \frac{1,1 \cdot 821,3 \cdot 1,1}{1,4}$$

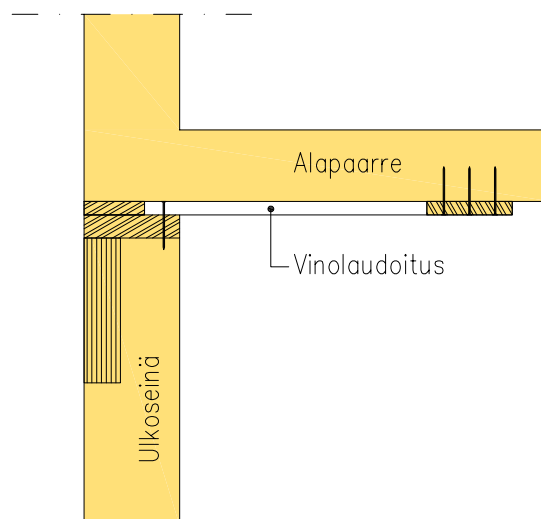
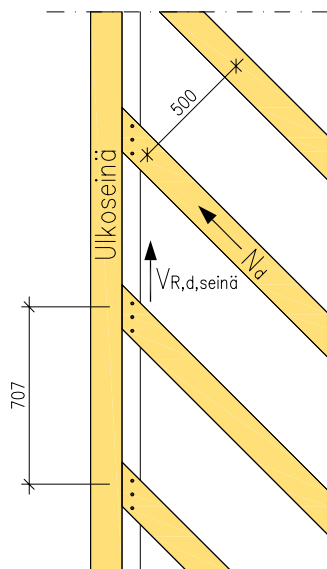
$$R_d = 709,8 \text{ N}$$

Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle V_d vinolaudoituksen naulauksen perusteella

Vinolaudoitus kiinnitetään seiniin ja kattoristikoiden alapaarteisiin pyöreillä nautoilla 3,1x90;3 kpl / lauta

$k = 500 \text{ mm}$
 $s = 707 \text{ mm}$
 $L = 29500 \text{ mm}$
 $\alpha = 45^\circ$
 $d = 3,1 \text{ mm}$
 $n = 3$
 $\ell = 90 \text{ mm}$

vinolaudoituksen k-jako
 vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa
 ulkoseinän pituus
 vinolaudoituksen kulma ulkoseinään nähden
 naulan halkaisija
 nautojen määrä / vinolauta
 naulan pituus



Vinolaudan naulauksen kestävyys laudan suunnassa

$$N_d = \frac{V_d \cdot s}{L \cdot \cos \alpha} = \frac{26,5 \cdot 0,707}{29,5 \cdot \cos 45^\circ} \quad N_d = 0,9 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$\frac{N_d}{n \cdot R_d} \leq 1 = \frac{0,9}{3 \cdot 0,71} \leq 1$$

Käyttöaste 42 %

OK kestää

HUOMIO! Vinolautojen jatkokset tulee mitoittaa voimalle N_d .

Vinolaudan naulauksen kestävyys laudan suunnassa

$$V_{R,d,seinä} = \frac{L}{s} \cdot n \cdot R_d = \frac{29,5}{0,707} \cdot 3 \cdot 0,71 \quad V_{R,d,seinä} = 88,9 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$\frac{V_d}{V_{R,d,seinä}} \leq 1 = \frac{26,5}{88,9} \leq 1$$

Käyttöaste 30 %

OK kestää

Yläpaarteen nurjahdustuennan jousijäykkyys

Tarkastetaan yläpaarteen nurjahdustuennan jousijäykkyys RIL 205-1-2009 kohdan 9.2.5.2 mukaisesti.

Vaatus tuen jousijäykkyydelle

$$C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos \left(\frac{180}{m} \right) \right) \cdot \frac{N_d}{a}$$

$N_{d,yläp} = 114,5 \text{ kN}$ yläpaarteen puristusvoima KY 10
(normaalin lumikuorman alueella, keskipitkä aikaluokka)

$a = 600 \text{ mm}$ ruodejako, jota on käytetty kattoristikon mitoituksessa

$$m = \frac{\ell}{a} = \frac{10100}{600} = 17$$

$$C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos \left(\frac{180}{17} \right) \right) \cdot \frac{114500}{600} \quad C \geq 757 \text{ N / mm}$$

Jäykisteyksiköitä kaksi kappaletta, joten vaatimus $C \geq 379 \text{ N/mm}$.

Siirtymäkerroin yhdelle naulalle

124

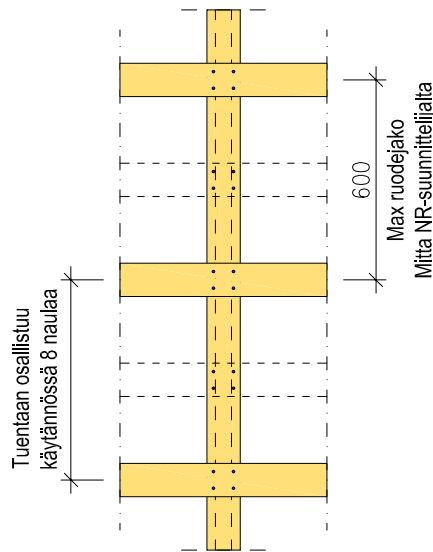
$$\rho_m = 420 \text{ kg / m}^3$$

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8}}{30} = \frac{420^{1,5} \cdot 2,8^{0,8}}{30}$$

$$K_{ser} = 653,9 \text{ N / mm}$$

Siirtymäkerroin ruodeliitokselle

Kattoristikko on mitoitettu ruodejaolle k600, mutta käytännössä ruodejako on tässä esimerkissä k300. Näin ollen tässä esimerkissä kaikki ruodelaudat hyödynnetään nurjahdustuennassa.

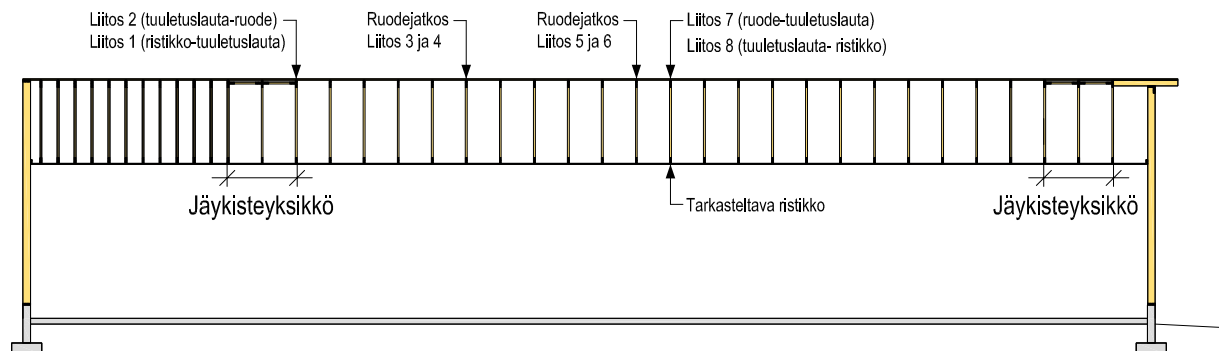


$$n_{\text{liitin}} = 8 \text{ naulaa}$$

$$K_{\text{ser,liitos}} = n_{\text{liitin}} \cdot K_{\text{ser}} = 8 \cdot 653,9$$

$$K_{\text{ser,liitos}} = 5231 \text{ N / mm}$$

Nurjahdutuentavoiman reitti on alla olevan kuvan mukainen ja se sisältää 8 ruodeliitosta. Oletetaan, että ruoteiden jatkokset ovat 4,5 m:n välein.



$$n_{\text{liitos}} = 8 \text{ kpl}$$

$$C = \frac{K_{\text{ser,liitos}}}{n_{\text{liitos}}} = \frac{5231}{8}$$

$$C = 654 \text{ N / mm}$$

Ehto nurjahdustuen jousijäykkyydelle

$$C \geq 379 \text{ N / mm} \Rightarrow 654 \text{ N / mm} > 379 \text{ N / mm}$$

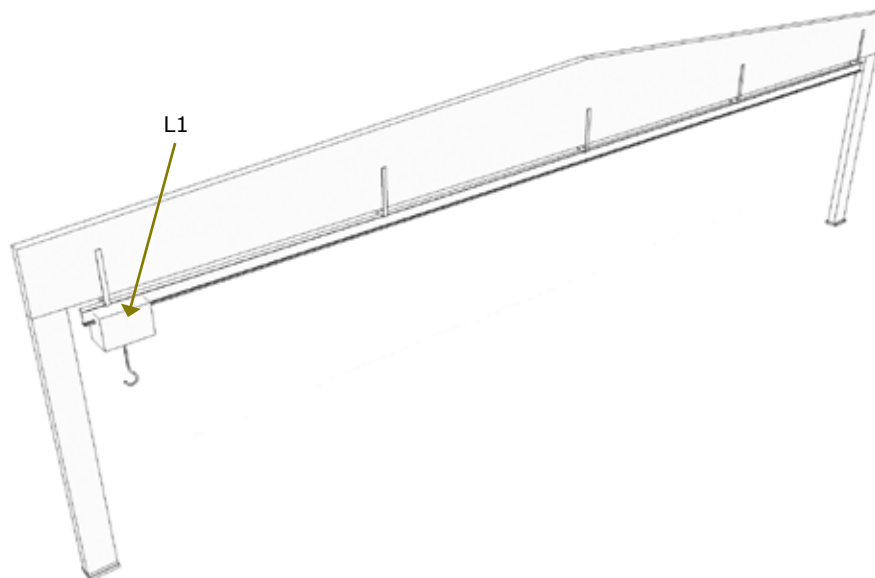
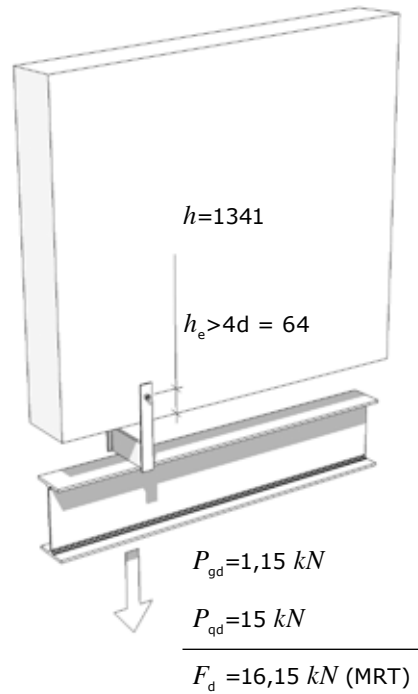
Esimerkin 7 mitoitustulosten tarkastelu

Hallin molempiin päihin tehdään jäykistesysteemit lappeen suuntaisilla NR-jäykisteristikoidilla sekä seinien ja harjan kohdalle asennettavilla NR-pukeilla. Alapaarteen tasoon koko yläpohjan alueelle tehdään vinolautoitus C14 28x100 k500. Vinolautojen päät kiinnitetään seiniin ja kattoristikoiden alapaarteisiin konenauloilla 3,1x90 3 kpl / lauta.

ESIMERKKI 8: Nosturin ripustusliitos

Perustietoja

- Nosturikisko kiinnitetään yhteen harjapalkkiin lattateräksillä.
- Lattateräksset kiinnitetään harjapalkin alareunaan pultilla M16 (8.8).



ESIMERKKI 8

Mitoitetaan hallin 1 nosturikiskon kiinnitysliitos L1. Kysymyksessä on 2-leikkeinen puu/teräs-liitos, jossa ulommat osat ovat terästä. Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Rasitukset

Nosturi aiheuttaa liitokseen voiman $F_d = 16,15 \text{ kN}$. Nosturikuorma kuuluu aikaluokkaan lyhytaikainen.

1.0 Pulttiliitoksen leikkauskestävyys

Pultin lujuusluokka 8.8

$$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$$

$$t = 240 \text{ mm}$$

$$t_t = 6,0$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$f_{u,k} = 640 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 2$$

liimapuun ominaistiheys

liitoksen keskipuun leveys (harjapalkin leveys)

lattateräksen paksuus

pultin halkaisija

pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo

leikkeiden lukumäärä

$$M_y = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 640 \cdot 16^{2,6}$$

$$M_y = 259425,8 \text{ Nmm}$$

(kaava 8.30)

Reunapuristuslujuuden kulma syysuuntaan nähden 90°

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

(kaava 8.32)

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 410$$

$$f_{h,0,k} = 28,24 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 8.33)

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot 16$$

$$k_{90} = 1,59$$

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

(kaava 8.31)

$$f_{h,k} = \frac{28,24}{1,59 \cdot \sin^2 90 + \cos^2 90}$$

$$f_{h,k} = 17,76$$

(kaava 8.28.3S)

$$f_h = f_{h,k}$$

$$R_k = \min \begin{cases} 0,5 \cdot f_h \cdot t \cdot d = 0,5 \cdot 17,76 \cdot 240 \cdot 16 = 34099,2 \\ 2 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} = 2 \cdot \sqrt{259425,8 \cdot 17,76 \cdot 16} = 17171,9 \end{cases}$$

(kaava 8.37.3S)

(kaava 8.37.4, koska $t_t \leq 0,5d$)

$$k_{\text{mod}} = 0,3$$

(taulukko 3.1)

$$R_{d,\text{liitos}} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k \cdot n}{\gamma_M} = \frac{0,3 \cdot 17,2 \cdot 2}{1,2}$$

$$R_{d,\text{liitos}} = 25,8 \text{ kN}$$

1.1 Pulttien määrä liitoksessa

Maksimivoima

$$F_d = 16,15 \text{ kN}$$

Pulttien määrä

$$n = \frac{F_d}{R_{d, \text{liitos}}} = \frac{16,15}{25,8} \approx 1 \text{ kpl}$$

1.2 Harjapalkin halkeamiskestävyys poikittaiselle liitosvoimalle

Pulttiliitos on harjapalkin alareunassa, joten halkeamiskestävyys palkissa tulee tarkastaa.

$b = 240 \text{ mm}$ liimapuupalkin leveys
 $h_e = 4d = 64 \text{ mm}$ käytetään laskelmassa minimireunaetäisyyttä, mutta käytännössä suurempaa
 $h = h_{\min} = 1314 \text{ mm}$ harjapalkin korkeus liitoksen kohdalla

Halkeamiskestävyysominaisarvo

$$F_{90,k} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (\text{kaava 8.4})$$

$$F_{90,k} = 14 \cdot 240 \cdot \sqrt{\frac{64}{\left(1 - \frac{64}{1314}\right)}} \quad F_{90,k} = 27,5 \text{ kN}$$

$$k_{\text{mod}} = 0,9 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$F_{90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 27,5}{1,2} \quad F_{90,d} = 20,6 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$F_d \leq F_{90,d} = 16,15 \text{ kN} \leq 20,6 \text{ kN}$$

Käyttöaste 78 %

OK kestää

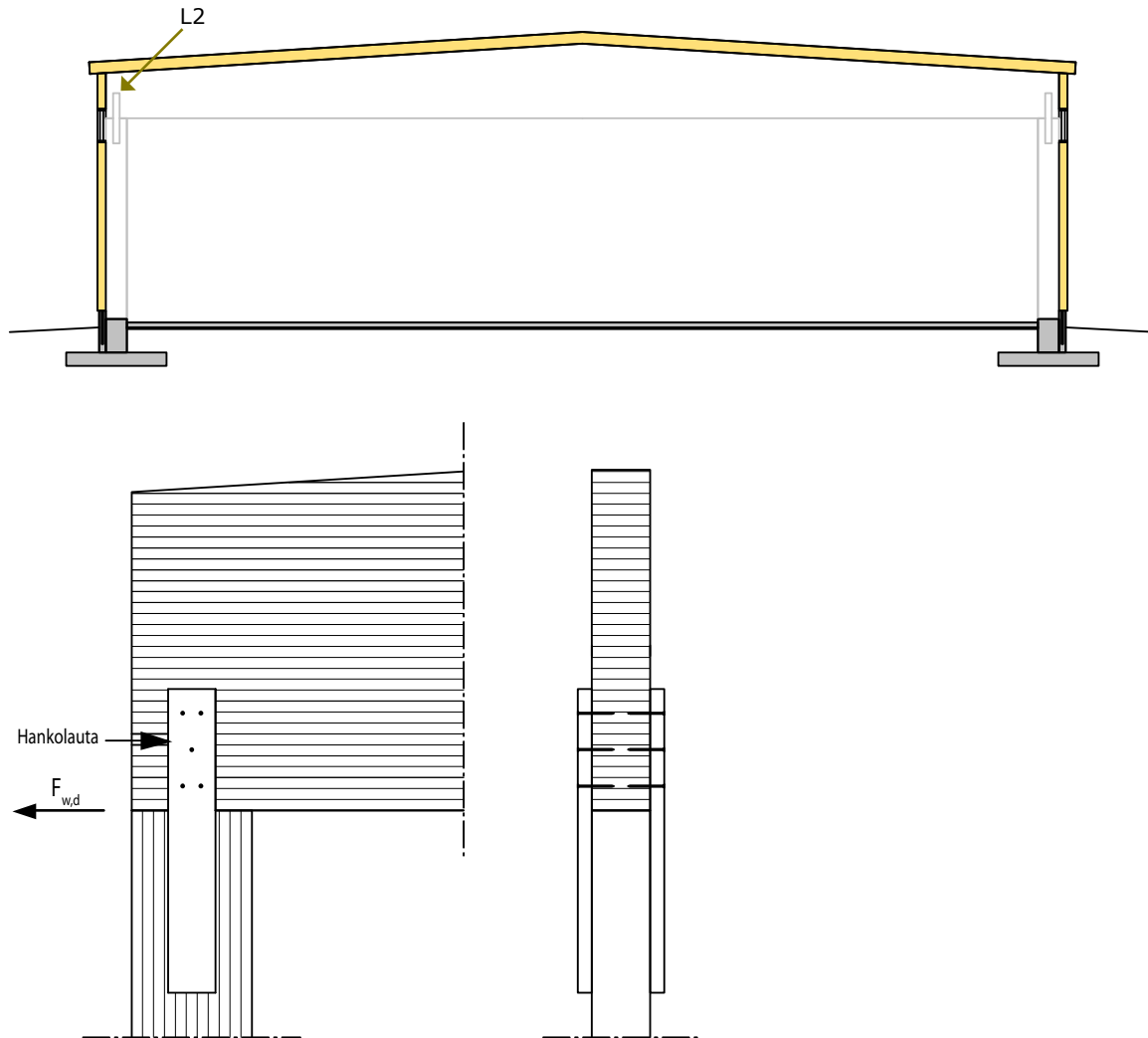
Esimerkin 8 mitoitustulosten tarkastelu

Nosturikiskon kiinnitys harjapalkin alareunaan voidaan tehdä pultilla M16 (8.8). Käytännössä kuitenkin kannattaa käyttää pultille minimireunaetäisyyttä suurempaa etäisyyttä palkin alareunasta. Tässä tapauksessa kysymyksessä on pieni ripustuskuorma, mutta raskaat ripustusliitokset tulee aina tehdä siten, että liitosvoimat saadaan harjapalkin yläreunaan.

ESIMERKKI 9: Mastopilarin liitos harjapalkkiin

Perustietoja

- Mastopilarin ja harjapalkin välinen liitos tehdään ns. hankolaudoilla ja nauloilla.
- Hankolaudat kiinnitetään pilariin tehtaalla liimaamalla.

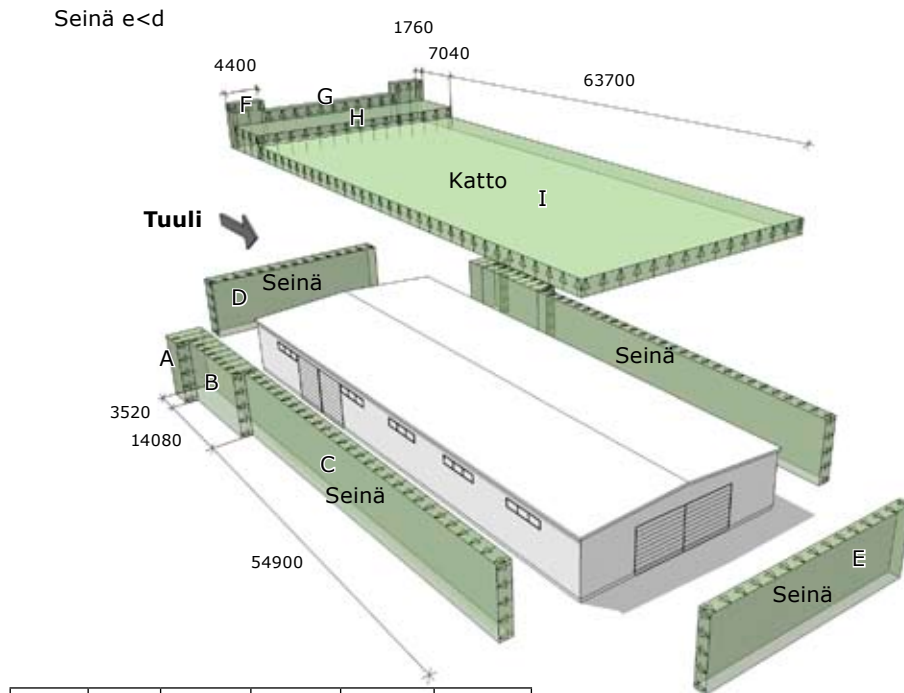


ESIMERKKI 9

Mitoitetaan hallin 1 mastopilarin ja harjapalkin välinen liitos L2 tuulen imukuormalle. Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Kuormat ja rasitukset

Mitoituksessa käytetään osapintojen tuulikuormia.



Alue	$c_s c_d$	$c_{pe,10}$	c_{pi}	$q_p(z_e)$ $q_b(z_e)$ [kN/m ²]	$q_{w,k}$ [kN/m ²]
A	1,0	- 1,2	- 0,2	0,63	- 0,88
B	1,0	- 0,8	- 0,2	0,63	- 0,63
C	1,0	- 0,5	- 0,2	0,63	- 0,44
D	1,0	+ 0,7	+ 0,3	0,63	+ 0,63
E	1,0	- 0,3	- 0,2	0,63	- 0,32
F	1,0	- 1,8	- 0,2	0,63	- 1,26
G	1,0	- 1,2	- 0,2	0,63	- 0,88
H	1,0	- 0,7	- 0,2	0,63	- 0,57
I	1,0	- 0,2	- 0,2	0,63	- 0,25

Mikäli osapintojen tuulikuormien avulla määritetään rakennuksen kokonaistuulikuorma (painekerroinmenetelmä), tulee lisäksi huomioida tarvittaessa osapintojen aiheuttama kitakuorma (RIL 201-1-2008 kaava 5.7).

Ulkoseinän osapinnan A tuulikuorma

$$q_{w,k,A} = -0,88 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{w,d,A} = 1,5 \cdot q_{w,k,A} = 1,5 \cdot -0,88$$

$$q_{w,d,A} = -1,32 \text{ kN/m}^2$$

Ulkoseinän osapinnan B tuulikuorma

$$q_{w,k,B} = -0,63 \text{ kN/m}^2$$

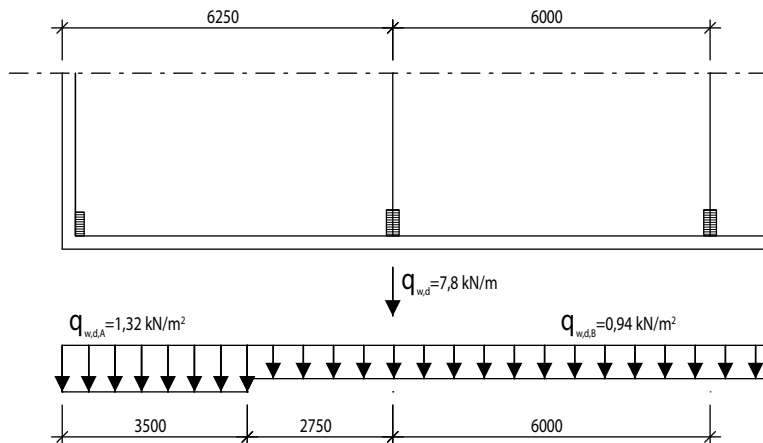
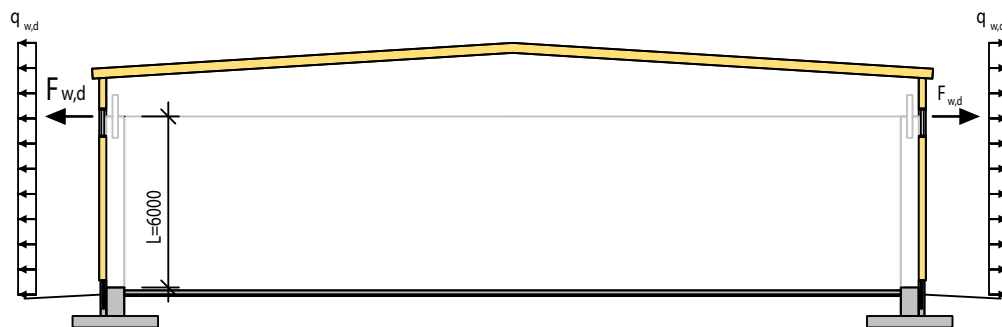
$$q_{w,d,B} = 1,5 \cdot q_{w,k,B} = 1,5 \cdot -0,63$$

$$q_{w,d,B} = -0,94 \text{ kN/m}^2$$

Tuulen imukuorma mastopilarikehälle

→ statiikkaohjelmasta

$$q_{w,d} = 7,8 \text{ kN/m}$$

**Liitoksessa vaikuttava leikkausvoima**

$$F_{w,d} = \frac{3}{8} \cdot L \cdot q_{w,d} = \frac{3}{8} \cdot 6 \cdot 7,8$$

$$F_{w,d} = 17,55 \text{ kN}$$

1.0 Hankolaudan leikkausvoimakestävyys

Hankolaudan lujuusluokka

C24

 $b = 58 \text{ mm}$

hankolaudan leveys

 $h = 195 \text{ mm}$

hankolaudan korkeus

 $n = 2 \text{ kpl}$

hankolautojen määrä / liitos

 $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$

hankolaudan ominaistiheys

Leikkausvoima liitoksessa

$$V_d = 17,55 \text{ kN}$$

 k_{cr} -kerroin

$$k_{cr} = 0,67$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 58$$

$$b_{ef} = 38,9 \text{ mm}$$

(kaava 6.13a)

Leikkausjännitys

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{n \cdot b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{17550}{2 \cdot 38,9 \cdot 195}$$

$$\tau_d = 1,74 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{v,d} = 2,93 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \Rightarrow 1,74 \text{ N/mm}^2 < 2,93 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 59 %

OK kestää**1.1 Naulauksen kestävyys**

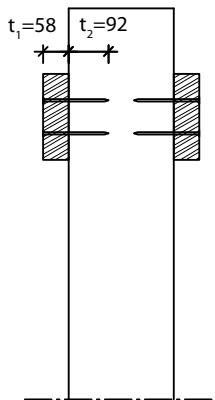
Hankolauta kiinnitetään pilariin tehtaalla liimaamalla, joten pilarin puoleinen liitos on jäykkä.

$$d = 5,1 \text{ mm}$$

naulan halkaisija

$$\ell = 150 \text{ mm}$$

naulan pituus

Naulan leikkauskestävyys

$$k_t = \max \begin{cases} 1 + 0,3 \cdot \frac{t_1 - 8d}{8d} = 1 + 0,3 \cdot \frac{58 - 8 \cdot 5,1}{8 \cdot 5,1} = 1,13 \\ 1 + 0,3 \cdot \frac{t_2 - 12d}{6d} = 1 + 0,3 \cdot \frac{92 - 12 \cdot 5,1}{6 \cdot 5,1} = 1,3 \end{cases}$$

(kaava 8.5.5S)

Neliskulmaisilla sileillä nautoilla $k_t \leq 1,3 \Rightarrow k_t = 1,3$

$$R_k = 120 \cdot d^{1,7} = 120 \cdot 5,1^{1,7}$$

$$R_k = 1914 \text{ N}$$

(kaava 8.5.1S)

$$k_{\text{mod}} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$\gamma_M = 1,4$ koska liitettävän puutavaran lujuusluokka on C24

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_k \cdot k_t}{\gamma_M} = \frac{1,1 \cdot 1914 \cdot 1,3}{1,4}$$

$$R_d = 1955 \text{ N}$$

1.2 Naulojen määrä liitoksessa

Maksimi leikkausvoima

$$V_d = 17,55 \text{ kN}$$

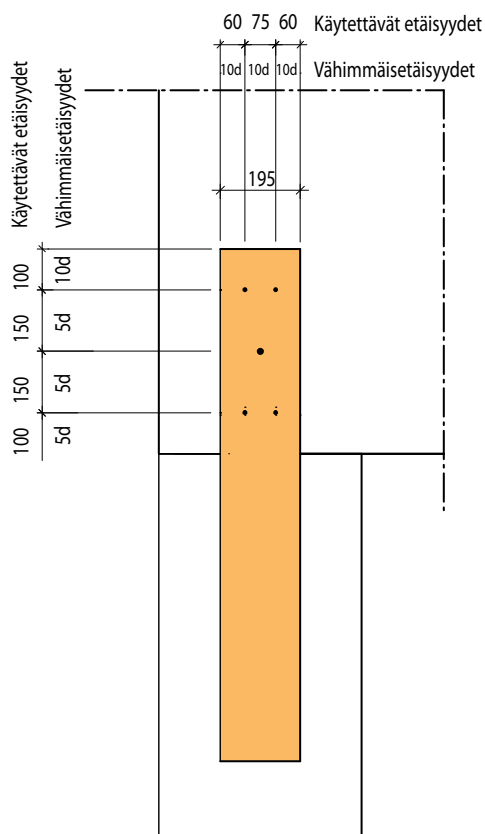
Naulojen määrä

$$n = \frac{F_{w,d}}{R_d} = \frac{17550}{1955} = 9 \text{ kpl} \approx 10 \text{ kpl}$$

Hankolautoja on 2 kpl / liitos, joten nauloja tulee 5 kpl / hankolauta.

1.3 Naulojen sijoittaminen

Käytetään liitoksessa vähimmäisetäisyyksiä suurempia etäisyyksiä, koska liitosalueella on reilusti tilaa.



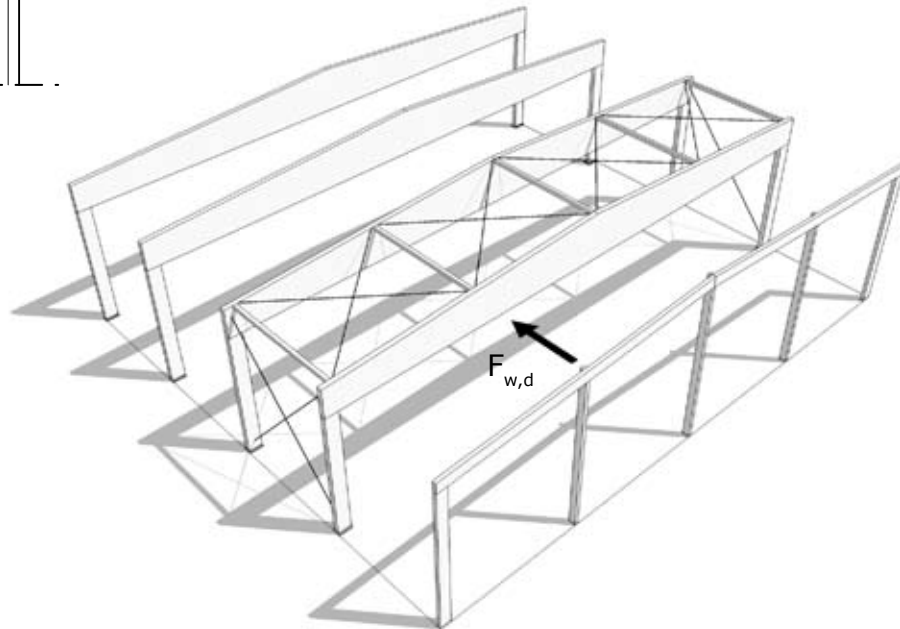
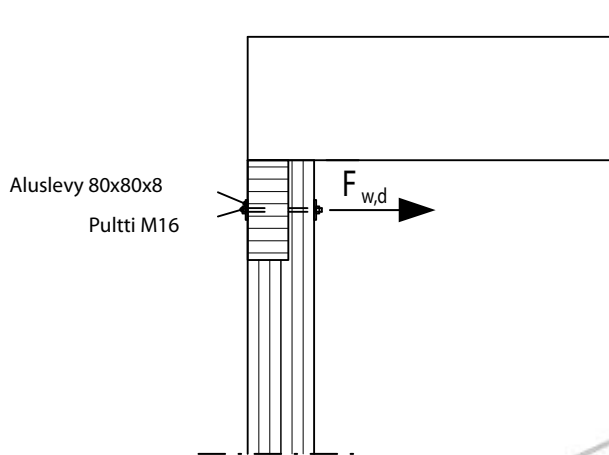
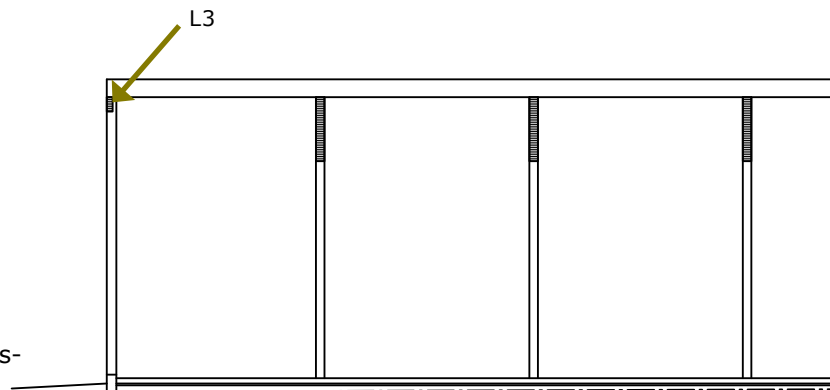
Esimerkin 9 mitoitus tulosten tarkastelu

Mastopilarin ja harjapalkin välinen liitos tehdään hankolautoilla C24 58x195. Hankolaudat kiinnitetään tehtaalla pilarin yläpäähän liimalla ja työmaalla harjapalkin puoleiseen päähän asennetaan naulat 5.1x150 5 kpl / hankolauta.

ESIMERKKI 10: Tuulipilarin liitos päätypalkkiin

Perustietoja

- Päätyseinän tuulipilarin ja palkin liitos tehdään loviliitoksella ja pultilla M16 8.8.
- Pystykuormat siirtyvät pilarille loviliitoksen kautta.
- Tuulikuorma siirtyy pultin ja aluslevyjen kautta.



ESIMERKKI 10

Mitoitetaan hallin 1 päätyseinän tuulipilarin ja päätyseinän palkin välinen liitos L3 tuulen painekuormalle. Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Rasitukset

Tarkastellaan nosto-oven vieressä olevaa pilaria. Pilarin yläpään tukireaktio saadaan esimerkistä 6. Tämä tukireaktio siirretään pilarilta päätypalkille pulttiliitoksen kautta. Näin ollen pulttiin tulee tukireaktion suuruinen voima.

$$F_{w,d} = 17,9 \text{ kN}$$

1.0 Pultin vetokestävyys

Pultin lujuusluokka 8.8

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$f_{u,k} = 640 \text{ N/mm}^2$$

pultin halkaisija

pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo

Maksimi vetovoima

$$N_{t,d} = 17,9 \text{ kN}$$

Pultin tehollinen pinta-ala

$$d_{ef} = 0,82 \cdot d = 0,82 \cdot 16$$

$$d_{ef} = 13,12 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = \frac{\pi \cdot d_{ef}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 13,12^2}{4}$$

$$A_{ef} = 135,1 \text{ mm}^2$$

Vetojäännitys

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{ef}} = \frac{17900}{135,1}$$

$$\sigma_{t,d} = 132,5 \text{ N/mm}^2$$

Vetolujuus

$$f_k = 640 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1,1$$

pultti 8.8

teräsrakenteet

$$f_d = \frac{f_{u,k}}{\gamma_M} = \frac{640}{1,1}$$

$$f_d = 581,8 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_d} \leq 1$$

$$\frac{132,5}{581,8} \leq 1$$

Käyttöaste 23 %

OK kestää

1.1 Pultin aluslevyn tukipainekestävyys

Pultin aluslevynä käytetään teräslevyä 80x80x8, jonka kautta voima siirtyy pilarista palkille.

$$t_t = 3,0 \text{ mm}$$

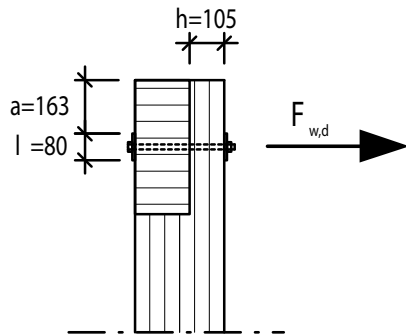
teräslevyn paksuus

$$d = 16 \text{ mm}$$

pultin halkaisija

$$f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

puristus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan



Aluslevyn tehollinen pinta-ala

$$d_{ef} = \min \begin{cases} 12 \cdot t_t = 12 \cdot 8 = 96 \text{ mm} \\ 4 \cdot d = 4 \cdot 16 = 64 \text{ mm} \end{cases}$$

(kohta 8.5.2)

$$A_{ef} = \frac{\pi \cdot d_{ef}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 64^2}{4}$$

$$A_{ef} = 3215,4 \text{ mm}^2$$

Tukireaktio

$$N_{c,d} = 17,9 \text{ kN}$$

Puristusjännitys aluslevyn alla

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_{c,d}}{A_{ef}} = \frac{17900}{3215,4}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 5,6 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus syysuuntaa vastaan

Aluslevyn alla voidaan puun leimapainelujuudelle käyttää ominaisarvoa $3,0f_{c,90,k}$ (kohta 8.5.2)

$$k_{mod} = 1,1$$

(taulukko 3.1)

$$f_{c,90,d} = \frac{3,0 \cdot f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \cdot 3,0 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$f_{c,90,d} = 8,25 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d} \Rightarrow 5,6 \text{ N/mm}^2 < 8,25 \text{ N/mm}^2$$

(kaava 6.3)

Käyttöaste 68 %

OK kestää

Teräslevyn kestävyys tulee tarkastaa erikseen.

Esimerkin 10 mitoitus tulosten tarkastelu

Päätyseinän palkki kiinnitetään tuulipilariin pultilla M16 8.8 ja aluslevyinä käytetään teräslevyä 80x80x8. Päätyseinän keskipilarin kohdalla on päätypalkkien jatkos. Näin ollen M16 pultteja ei saada mahtumaan pilariin, joten liitos voidaan tehdä esimerkiksi alla olevan kuvan mukaisesti asentamalla pultit pilarin ulkopuolelle. Pilaria vasten oleva teräslevy tulee mitoittaa erikseen.

