



PUUHALLIEN RUNKOVAIHTO- EHTOJEN VERTAILU

Seyed Wahid Mohseni

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Talorakennustekniikka

Mohseni, Seyed Wahid
Puuhallien runkovaihtoehtojen vertailu

Opinnäytetyö 140 sivua, joista liitteitä 111 sivua
Huhtikuu 2020

Opinnäytetyön aiheena on ” Puuhallien runkovaihtoehtojen vertailu”. Työn kokonaisuus koostuu puuhallien runkovaihtoehtojen selvittämisestä sekä runkovaihtoehtojen vertailusta. Puuhalleissa on kolme runkovaihtoehtoa (pilarirunko, kaarirunko ja nivelkehärunko), Tässä tutkimuksessa mitoitetaan kahta eri hallityppiä. Nämä ovat harjapalkki ja harjaristikko.

Tutkimus jaetaan neljään eri osaan ja se toteutetaan kirjallisuustutkimuksena. Tutkimus alkaa puurakenteiden yleisten tietojen keräyksellä. Tämän jälkeen siirytään puuhallien suunnitteluun ja runkovaihtoehtojen selvittelyyn. Lopuksi verrataan hieman halleja toisiinsa ja tarkastellaan runkovaihtoehtojen kustannuspuolta.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

MOHSENI, SEYED WAHID:
Comparison of Wooden Hall Frame Options

Bachelor's thesis 140 pages, appendices 111 pages
April 2020

The purpose of this thesis was to investigate and compare frame options used in the construction of wooden halls. The work includes a review of frame options for wooden halls, and their comparison. There are three frame options: pillar frame, arch frame, and articulated frame. Furthermore, two types of hall were designed in this study, namely ridge beam and roof truss.

The research was divided into four different parts, and it was carried out by means of literature research. The research began with the collection of general data on wood structures. This was followed by the design of the wood halls and the elucidation of the frame options. Finally, hall types were compared compared to each other and also the costs of the frame options were examined.

Sisällys

1	JOHDANTO	6
2	PUUMATERIAALIEN OMINAISUUKSIA.....	7
2.1	Puu rakennusmateriaalina	7
2.1.1	Puun vaikutukset ympäristöön.....	8
2.1.2	Paloturvallisuus	9
2.1.3	Lujuusteknisiä ominaisuuksia	9
2.1.4	Elinkaari ja kestävyys	10
2.2	Puutuotteet.....	11
2.2.1	Sahatavara	12
2.2.2	Liimapuu	13
2.2.3	Kerto LVL	14
3	PUUHALLIN RUNKOTYYPIT	16
3.1	Pilarirungot.....	16
3.1.1	Palkkikannattajat	16
3.1.2	Ristikkokannattajat	17
3.1.3	Vetotankokannattajat.....	19
3.2	Kaarirungot	20
3.3	Nivelkehärungot	22
3.4	NR-ristikko	24
4	RUNKOVERTAILU	26
4.1	Runkovaihtoehtojen mitoituksen vertailu.....	26
4.2	Kustannusarvio	27
5	POHDINTA	28
	LÄHTEET	29
	LIITTEET	30
	Liite 1. Harjapalkin mitoituksesta	30
	Liite 2. Mastopilarin mitoituksesta	52
	Liite 3. Nurkkapilarin mitoituksesta.....	61
	Liite 4. Tuulipilarin mitoituksesta	70
	Liite 5. Päätypalkin mitoituksesta.....	82
	Liite 6. Mastopilarin liitos harjapalkin mitiotuksesta.....	87
	Liite 7. Harjaristikon mitoituksesta	94
	Liite 8. Sauvojen mitoituksesta	99
	Liite 9. Alapaarteen mitoituksesta	104
	Liite 10. Yläpaarteen mitoituksesta	105
	Liite 11. NR- ristikon kannatuspalkin mitoituksesta.....	107

Liite 12. Runkotolpan mitoituksesta	113
Liite 13. Seinän levyjäykistyksen mitoituksesta.....	120
Liite 14. NR-ristikon yläpohjan jäykistyksen mitoituksesta	125
Liite 15. Excel taulukko	135

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kahden eri hallityyppien (pilaripalkki, NR-ristikko ja runkotolppa) toimintaa ja mitoitusta. Mitoituksessa käytetään MathCAD laskentaohjelmaa. Työssä selvitetään puuhallien runkovaihtoehtoja (pilarirunko, kaarirunko ja nivelkehärunko), ja lisäksi niitä verrataan toisiinsa. Työ alkaa puun ominaisuuksien (rakennusmateriaalina) selvittämisestä.

Suomessa hallit on rakennettu perinteisesti betonista ja teräksestä, koska kyseenomaisia materiaaleja on helppoa työstä. Liimapuun kehitys on mahdollistanut puun käyttöä rakentamisessa yhä enenevin määrin. Liimapuulla voidaan nykyään saavuttaa hyvinkin pitkiä jännevälejä, joita oli ennen vain mahdollista toteuttaa teräs- ja teräsbetonilla.

Molempien hallien mitoituksessa käytettiin RIL 205-1-2009 ohjeita. Opinnäytetyön mitoituksessa käytetään MathCAD laskentaohjelmaa, pohjapiirustukset piirretään Auto CAD ohjelmalla ja edellä mainittujen runkovaihtoehtojen kustannusvertailussa hyödynnetään Excel-taulukko ohjelmaa.

Työn viimeisessä osassa verrataan runkovaihtoehtojen kustannuksia toisiinsa, selvittämällä toteutuksessa tarvittavien osien hintaa. Kustannuksissa ei huomioida seuraavia asioida: asennus, työkustannukset, kipsilevyt, kattorakenne, seinärakenne, teräsosat ja kiepahdustuenta. Harjapalkkihalli tehdään liimapuusta ja tämän mitoituksessa mitoitetaan mastokehän mastopilari, harjapalkki, nurkkapilari, tuulipilari ja päätypalkki. Harjaristikkohalli koostuu sahatavarasta ja kerto-puusta. Tämän mitoituksessa vastaavasti mitoitetaan ristikon sauvomat, yläpaarre, alapaarre, NR-ristikkoyläpohjan jäykistys, runkotolppa, NR-ristikon kannatuspalkki ja seinän jäykistys. Työssä mitoitetaan vain mastopilarin liitos, muita liitoksia ei mitoiteta.

2 PUUMATERIAALIEN OMINAISUUKSIA

2.1 Puu rakennusmateriaalina

Suomessa puurakentamisella on pitkät perinteet ja historia. Puu on luonnollinen materiaali ja sillä on hyvät rakennustekniset ominaisuudet kuten mm. jäykkyys, ulkonäkö, lujuus, lämmöneristyskyky ja muut fysikaaliset ominaisuudet. Näiden ominaisuuksien lisäksi puusta tehtyjä rakennusosia pystytään liittää toisiinsa usealla eri tavalla. (Puuinfo.fi)

Puulla on sekä hyviä, että huonoja ominaisuuksia. Puun lujuus ja jäykkyys suhteessa sen tiheyteen on erittäin hyvä moniin muihin materiaaleihin verrattuna, lisäksi se kestää sekä vetoa, että puristusta hyvin. Puun on kevyt materiaali, joten rakenteiden omapaino ei aiheuta suuria kuormia rakenteille, sillä sen lujuus suhteessa omapainoon on suuri. Täten puun käsitteleminen ja työstäminen on helppoa ja siistiä sekä tehtaalla, että työmaalla. Muiden materiaalien hintaan nähden puu on tosi edullinen ja sitä on Suomessa tosi helposti saatavilla. Puu on ekologinen materiaali eli se on puhdas, uusiutuva ja kierrätettävä luonnontuote. Yksi tärkeimmistä puun ominaisuuksista on sen lämmöneristysominaisuus, sen lämmönjohtavuus λ on 0,14 W/mK. Puu muodostaa todella vähän kylmäsiltoja ja toimii itse nk. lämmöneristeenä. (Puuinfo.fi)



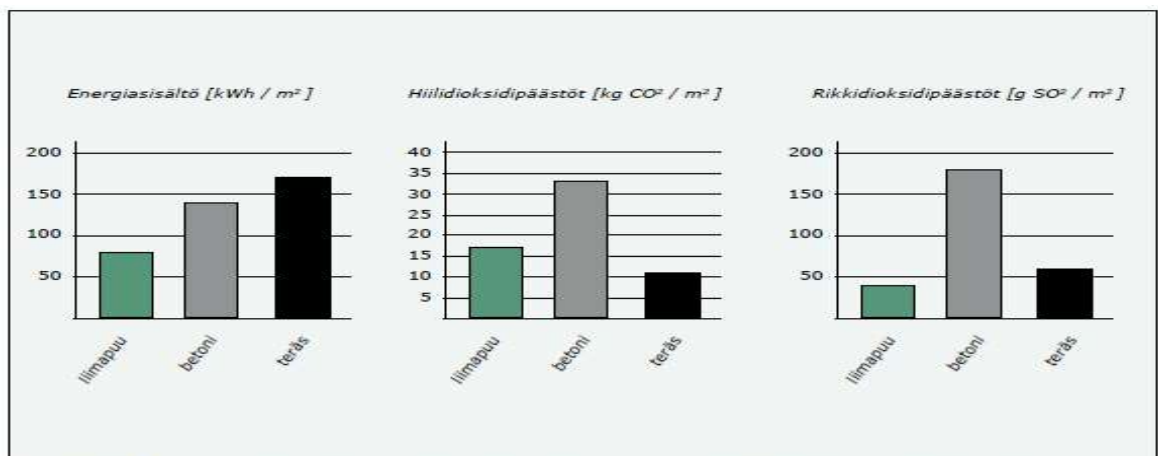
Kuva 1. Puu materiaalina. (Puuinfo.fi)

On mainittava, että puulla on myös huonoja puolia. Puun lujuus ja jäännevälit ovat pienempiä kuin betonilla tai teräksellä. Sen lujuudessa on suuri hajonta varaa, joten mitoituksen aikana tarvitaan suurempaa varmuuskerrointa. Heikot lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat syytä vastaan kohtisuorassa suunnassa ja tulevat mitoituksessa usein määrääviksi. Puurakennus altistuu betonirakennusta herkemmin tuulen aiheuttamalle vaakasiirtymälle ja värähtelylle rakenteen keveyden ja pienemmän jäykkyyden vuoksi, lisäksi keveys aiheuttaa myös haasteita välipohjien värähtelyn kanssa. Palotekniset ominaisuudet rajoittavat puun käyttöä ja soveltuvuutta erilaisiin rakenteisiin, lisäksi vaativat usein palosuojauksen esimerkiksi kipsilevyillä. (Puuinfo.fi)

2.1.1 Puun vaikutukset ympäristöön

Puu on täysin ympäristöystävällinen materiaali, tämä asia käy hyvin ilmi taulukossa 1. Puu on hiilidioksidineutraali materiaali eli puu tarvitsee elämiseen hiilidioksidia, vettä ja energiaa, jonka se saa auringonvalosta. Kun puut kasvavat ne imevät ilmakehästä hiilidioksidia ja vaihtavat sen fotosynteesin kautta hiilihydraateiksi, samalla vapautuu happea. Puun käyttämistä tulisi rakennusalaalla lisätä, sillä noin puolet puusta on hiiltä ja sen avulla voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä huomattavasti. Puun kierrättäminen on hyvin helppoa ja se on materiaalina täysin saasteeton. Puun jalostaminen tarvitsee vähän energiaa ja sitä voidaan luokitella matalan energian rakennusmateriaaliksi eli sellaiseksi rakennusmateriaaliksi, jonka määrä lisääntyy koko ajan. (Salonen ym. 2009, S.10)

Taulukko 1 Eri rakennusmateriaalien ympäristönvertailu (Keronen, 2009)



Taulukko 1.3 Yksiläiväisen pilaripalkkihällin runkorakenteiden ympäristövertailu VTT:n Futuuri-selvityksen mukaan.

2.1.2 Paloturvallisuus

Puun lämpötilan noustessa 100 °C:seen alkaa siitä höyrystyä kemiallisesti sitoutumaton vesi. Kuivan puun terminen pehmeäminen alkaa noin 180 °C:n lämpötilassa ja saavuttaa maksiminsa 320 - 380 °C:ssa. Tällöin puun ligniinin, selluloosan ja hemiselluloosan sidokset alkavat hajota. Kostean puun pehmeäminen alkaa aikaisemmin, jopa 100 °C:ssa. (Puuinfo.fi)

Puun syttymislämpötilaan vaikuttaa se, kuinka kauan puu on lämmölle alttiina. Yleensä puu syttyy 250 - 300 °C:ssa. Syttymisen jälkeen puu alkaa hiiltä noin 0,8 mm minuutissa. Palo etenee hitaasti massiivisessa puutavarassa, sillä syntynyt hiilikerros suojaa puuta palotilanteessa ja hidastaa puun sisäosien lämpötilan nousua ja palon etenemistä. Esimerkiksi jo 15 mm:n etäisyydellä hiiltymisrajasta puun lämpötila on alle 100 °C. Tätä ominaisuutta käytetään hyväksi muun muassa kantavien rakenteiden mitoituksissa. (Puuinfo.fi)

Liimapuulla hiiltymisnopeus on pienempi eli 0,7 mm/min. Puun syttymisherkkyys lisääntyy puun tiheyden ja kosteuden vähetessä sekä puukappaleen paksuuden pienetessä. Myös puumateriaalin terävät kulmat, karkea pinta, säröt ja halkeamat lisäävät palon vaikutusta. (Puuinfo.fi)

2.1.3 Lujuusteknisiä ominaisuuksia

Puun lujuusomaisuuksia voidaan arvioimaan puun tiheyden avulla. Puun tiheyden kasvaessa, kasvaa myös puun lujuus. Kun puun tiheyttä arvioidaan, tulee myös ilmoittaa kosteustila, jossa massaa ja tilavuus on mitattu. Puun tiheyttä arvioidaan usein sen kosteuden ollessa 15%, jolloin puhutaan ilmakeivätiheydestä. Tiheyttä voidaan myös ilmoittaa kuiva -tuoretiheytenä, jolloin puun massa mitataan kuivana, ja sen tilavuus ilmoitetaan kyllästymispistettä (noin 30 %) suuremmassa kosteudessa. Suomen puuston valtapuulajit ovat mänty, kuusi ja koivu. Mänty ja kuusi ovat yleisimmät rakennuspuulajit. Suomalaisen männyn tiheys on 370 – 550 kg/m³, kuusen 300 – 470 kg/m³ ja koivun 590 – 740 kg/m³. (Puuinfo.fi)

Puu on painonsa nähden luja materiaali. Puu on eri anistrooppinen materiaali toisin sanoen sen ominaisuudet poikkeavat toisistaan pituus-, säteen- ja tangentin suuntaan. Esimerkiksi puun taivutus kestävyys poikkisuunnassa on huonompaa kuin sen syysuunnassa. Puun lujuuteen vaikuttavat myös muut tekijät kuten lämpötila, kosteus ja puun kohdistuva kuormituksen aika. Näiden lisäksi puun lujuusominaisuuksiin vaikuttavat säilytysolosuhteet ja puun omat rakenteelliset ominaisuudet ja viat (esimerkiksi puun oksat). (PuuProffa.fi)

2.1.4 Elinkaari ja kestävyys

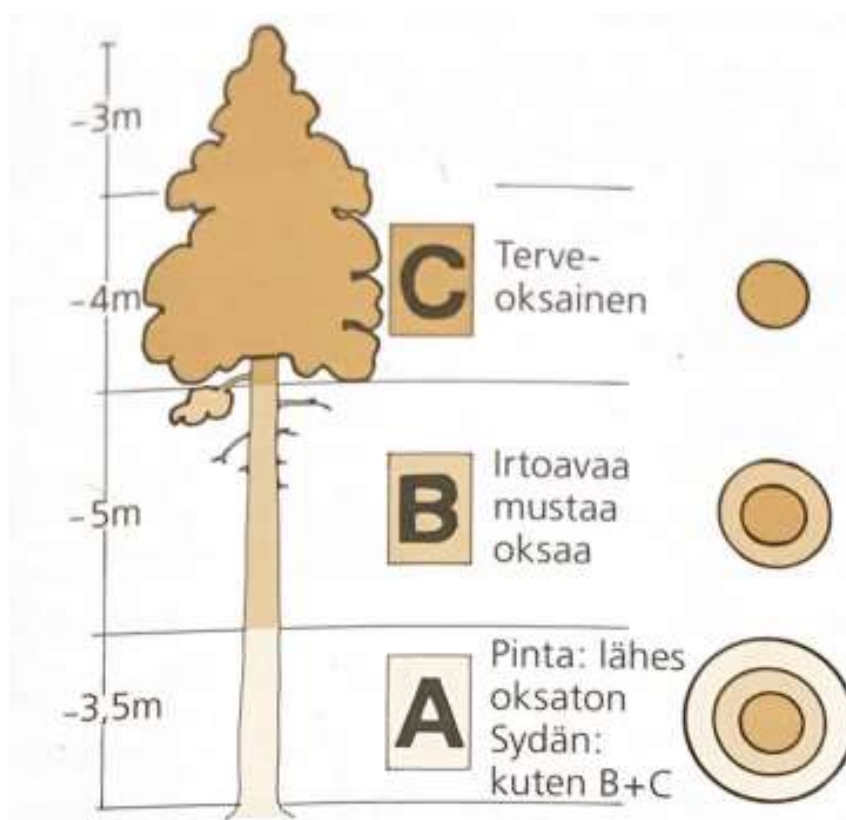
Eri hallityyppien välillä tehdyissä selvityksissä ei ole löydetty merkittäviä eroja ylläpitokustannusten osalta. Suurin ylläpitokustannusten tekijä on lämmityskulut, johon voidaan vaikuttaa erityisesti vaipan lämmöneristävyyden ja tiiviyyden avulla. Erilaisten tutkimusten perusteella voidaan puuhallia pitää kestäväenä runkovaihtoehtona. Tutkimuksissa mukaan kosteuden aiheuttamia vaurioita on puuhallissa huomattavasti vähemmän kuin muissa vastaavissa hallirakennuksissa. Puun lahoaminenkaan ei ole nykyään kovin suuri ongelma, sillä lahovaurioille alttiit paikat on jo opittu suunnittelemaan ja toteuttamaan siten, että mahdolliset vauriot vältetään jo etukäteen. (Salonen ym. 2009, 12)



Kuva 2. Puun elinkaari (Customers.eviaent.fi/woodfocus)

2.2 Puutuotteet

Kun puhutaan puutuotteista, käytetään tavallisesti kahta eri yleisnimitystä, jotka ovat rakennepuutavara ja puutavara. Puutavaraa on nimitys sahatulle, höylätylle tai pyöreälle puutavaralle. Rakennepuutavara tarkoittaa pyöreää puutavaraa tai sahattua puutavara, joita käytetään kantavissa rakenteissa. Rakennepuutavaran tulee täyttää tietyt vähimmäisvaatimuksia (lujuus- ja kimmo-ominaisuudet). Puun säinen oksakuva ja rungon eri osista saatava puutavara jakautuu eri laatuluokkiin kuva 3:n mukaisesti. (Siikanen 2008 s.96)



Kuva 3. Männyn Sisäinen oksakuvan. (Siikanen 2008 s.97)

2.2.1 Sahatavara

Sahatavaralla tarkoitetaan sahattua puutavaraa. Sahatavaran valmistus alkaa tukkien kuorimisella ja lajittelulla ja tämän jälkeen puut sahataan. Sahauksen jälkeen puutavara särmätään, esi-sahataan, lajitellaan ja kuivataan sekä höylätään, jos on tarvetta. Tämä prosessin lopputuotetta kutsutaan sahatavaraksi. (Siikanen 2008 s.96)

Yleisimmät pituudet vaihtelevat 300 mm:n jaolla välillä 2,7...6,0 m. Muista pituuksista ja moduuleista on sovittava erikseen. Paksuus- ja leveysmitat tarkoittavat tavaran nimellismittoja 20 % kosteudessa. (Puuinfo.fi)

Taulukko 2. Sahatavaraan yleisimmät poikki leikkausmitat. (Puuinfo.fi)

SAHAPINTAISEN SAHATAVARAN YLEISIMMÄT POIKKILEIKKAUSMITAT									
PAKSUUS	LEVEYS								
	50	75	100	125	150	175	200	225	250
19 ¹⁾				X	O	O			
22 ²⁾	JH X	JH X	X	X	X	O	O		
25 ¹⁾	O	O	X	O	O	O	O	O	
32		O	X	O	O	O	O	O	
38			X	X	O	O	O	O	
44 ²⁾			O	O	O	O	O	O	O
50		JH X	X	X	X	X	X	O	
63			O	O	O	O	O	O	
75		JH O	O	O	O	O	X	X	
100			X	O	O	O	O	O	
125				X					
150					X				

1) yleensä mäntyä

2) yleensä kuusta

JH = tehdään yleensä jälkihalkaisemalla, jolloin leveys on 2 mm nimellismittaa pienempi

x = vakiokoko

o = harvemmin tuotettu koko

2.2.2 Liimapuu

Liimapuuta valmistetaan liimaamalla neljä tai useampi lamelli yhteen. Lamellien syyt ovat rakenteen pituussuunnassa. Jos lamelleja on vähemmän kuin neljä, sovelletaan kantavien puurakenteiden suunnittelussa sahatavaralle annettuja ohjeita. Liimapuu valmistetaan yleensä kuusesta (98 %). Männyn käyttökin on myös mahdollista mm. arkkitehtonisista syistä tai haluttaessa painekyllästää liimapuu. Liimapuun valmistusta valvoo ympäristöministeriön SFS-Sertifiointi Oy:n. (Siikainen 2008 s.96)

Taulukko 3. Liimapuun yleisimmät poikki leikkausmitat. (Puuinfo.fi)

Liimapuun yleisimmät poikkileikkausmitat, saatavana myös erikoismittoilla. Liimapuun enimmäiskorkeus on noin 2 m ja enimmäispituus noin 30 m (enimmäismitat valmistajakohtaisia).

Liimapuun yleisimmät poikkileikkausmitat									
KORKEUS	LEVEYS								
	90	115	140	165	190	215	240	265	290
180	T	T	T	T	T	T	T	O	O
225	V	V	T	T	T	T	T	O	O
270	V	V	T	T	T	T	T	O	O
315	V	V	V	T	T	T	T	O	O
360	V	V	T	V	T	T	T	O	O
405	V	V	V	V	T	T	T	O	O
450	T	V	T	T	T	T	T	O	O
495	T	V	T	T	T	T	T	O	O
540	T	T	T	T	T	T	T	O	O
585	T	T	T	T	T	T	T	O	O
630	T	T	T	T	T	T	T	O	O
675	T	T	T	T	T	T	T	O	O
720	T	T	T	T	T	T	T	O	O
765	T	T	T	T	T	T	T	O	O
810	T	T	T	T	T	T	T	O	O
855	T	T	T	T	T	T	T	O	O
900	T	T	T	T	T	T	T	O	O
945	T	T	T	T	T	T	T	O	O
990	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1035	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1080	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1125	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1170	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1215	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1260	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1305	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1350	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1395	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1440	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1485	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1530	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1575	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1620	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1665	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1710	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1755	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1800	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1845	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1890	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1935	T	T	T	T	T	T	T	O	O
1980	T	T	T	T	T	T	T	O	O
2025	T	T	T	T	T	T	T	O	O

V - varastokoko
T - tilauksesta valmistettava koko
O - harvemmin tuotettava koko

2.2.3 Kerto LVL

Tunnetuin viilupuutyyppi on kertopuu. Kertopuuta valmistetaan kolmea eri rakennetta ja ne ovat kerto- S palkkia ja kerto- T tolppaa, joissa viilujen syysuunta on pitkittäinen kaikissa viilukerroksissa sekä Kerto- Q- levyä, joissa ristiviilut lisäävät poikittaisia lujuutta ja jäykkyyttä. Kertopuu soveltuu käytettäväksi mm. julkisessa rakentamisessa, hallirakentamisessa, elementtirakentamisessa, rakennusten peruskorjauksessa, pientalossa ja silloissa. Kertotuotteita valmistetaan eri mittoihin. (Siikanen 2008 s.109)

Taulukko 4. Kerto-S- palkkien varastokoot. (metsawood.com)

Kerto-S –palkkien vakiokoot.

TAULUKKO 3. KERTO-S VAKIOKOOT

Leveys (mm)	Korkeus (mm)								
	200	225	260	300	360	400	450	500	600
27	*	*	-	-	-	-	-	-	-
33	*	*	*	-	-	-	-	-	-
39	*	*	*	*	*	-	-	-	-
45	*	*	*	*	*	-	-	-	-
51	*	*	*	*	*	*	-	-	-
57	*	*	*	*	*	*	*	-	-
63	*	*	*	*	*	*	*	*	-
75	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tuotteiden maksimipituus on 25 m.

KERTO-T TOIMITUSMITAT

Jälleenmyyjien Kerto-T -tolppien varastomitat.

- 39 x 66 x 2550, 2700, 3000, 3600, 6000 mm
- 39 x 92 x 6000 mm
- Pakkaukset 39 x 66 mm: 240 kpl/pkt, 39 x 92 mm: 152 kpl/pkt

Kertopuutolppien tyypilliset koot.

TAULUKKO 4. KERTO-T TOLPPIEN MITAT

Paksuus (mm)	Yleensä 39 mm tai 45 mm
Leveys (mm)	Yleensä < 200 mm
Pituus (mm)	Yleensä < 8500 mm

Muut koot tilauksesta (paksuudet 27 – 75 mm, maksimipituus 16 m).

Kuva 4 Kertopuutolpan poikkileikkausmitat. (metsawood.com)

Taulukko 4. Kerto-Q- palkkien varastokoot. (metsawood.com)

KERTO-Q TOIMITUSMITAT

Kerto-Q vakiokoot.

TAULUKKO 3. KERTO-Q VAKIOKOOT

Leveys (mm)													
	200	225	260	300	360	400	450	500	600	900	1200	1800	2400 / 2500
24	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
27	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
33	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
39	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
45	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
51	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
57	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
63	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
69	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
75	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tuotteiden maksimipituus on 1800 mm leveyteen asti 25 m ja tätä leveämmillä tuotteilla 20 m.

Kerto-Q kyllästetty

- Vakiomitta 57 x 300 x 12 000 mm varastossa Lohjan tehtaalla
- Muut koot tilauksesta

3 PUUHALLIN RUNKOTYYPIT

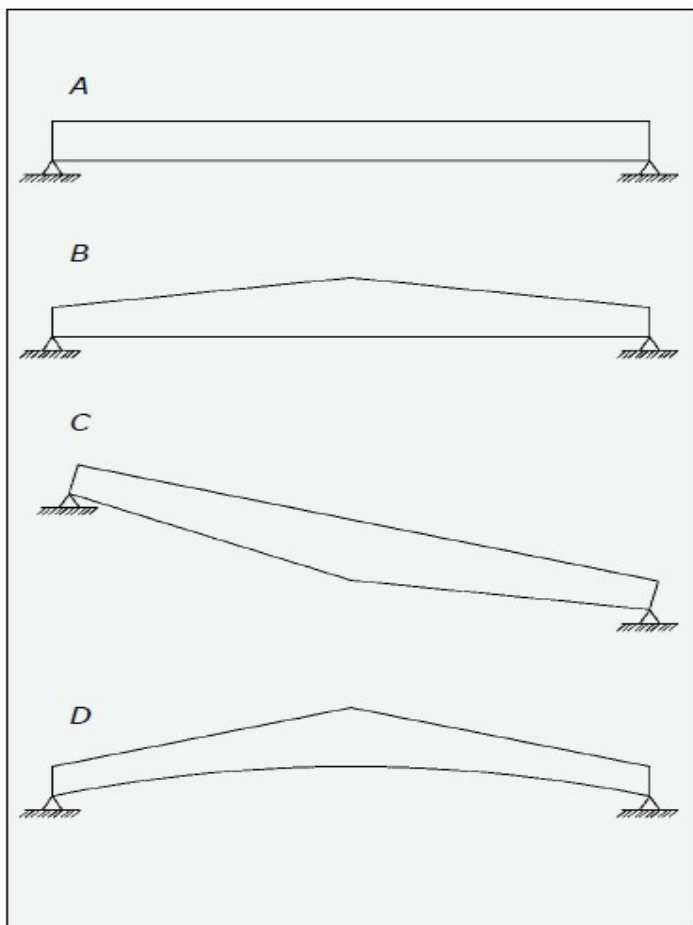
3.1 Pilarirungot

Pilarirungot ovat rungon poikkisuunnassa mastojäykistettyjä. Hallin rungon päädyissä sijoitetaan niin kutsutut tuulipilarit, jotka ovat yleensä joko jäykkäkantaisia tai nivelkantaisia. Niille kohdistuvat tuulikuormat voidaan siirtää yläpohjanrakenteen tai yläpohjaan rakennetun erillisen tuuliristikon kautta rungon pääpilareille. Pääpilarit voidaan jäykistää sen rungon pituussuunnassa esimerkiksi tuuliristikoilla. (Salonen ym. 2009, 73)

Hallin rungon pääpilareiden päälle asennetaan kattokannattajat, jotka ovat usein ristikoita, palkkeja, kaaria tai vetotanko kannattimia. Kattokannattajat lasketaan pilarin päälle ja niitä voidaan kiinnittää toisiinsa joko hankolaudoilla tai laattate-räksillä. Välipohja voidaan tukea seinillä tai erillisellä pilari-, palkkirungolla. Pilari-rungossa pilarit tehdään liimapuusta tai kertopuusta. Pilarien alapääät kiinnitetään perustuksiin pulteilla tai hitsaamalla. Perustusten yläreunaa tulisi nostaa vähintään 100 mm valmiin lattian yläpintaa ylemmäksi. (Salonen ym. 2009, 73)

3.1.1 Palkkikannattajat

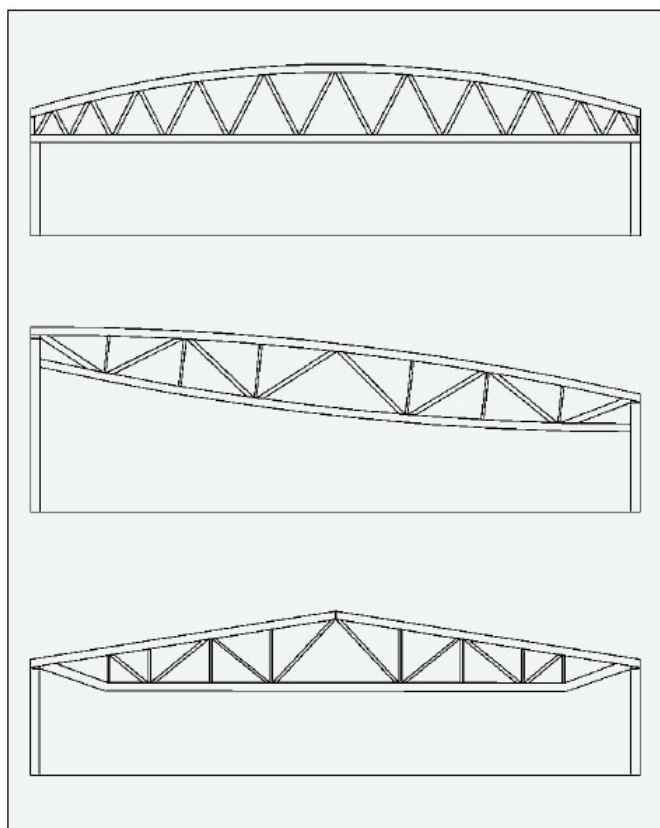
Pääpilareiden varaan suunnitellaan palkkikannattajat. Yleisin palkkikannattaja on harjapalkki, mutta muita palkki tyyppejä on myös mahdollista suunnitella. Nämä ovat suorat palkit, mahapalkki (kutsutaan myös käännetyksi harjapalkiksi) tai bu-merangipalkit (kuva 3). Tällaisten massiivipalkkien palokestävyys on itsestään hyvää, ja sitä voidaan parantaa esimerkiksi palkin kokoa suurentamalla. Suora-palkin ja harjapalkin suuri jänneväli aiheutuu tuotannollisista syistä. Palkkien suurin mahdollinen korkeus on noin kaksi metriä, jolloin palkin suurin mahdollinen jänneväli voi olla kuormituksesta riippuen noin 26-30 metriä. (Salonen ym. 2009, 74)



Kuva 5. Vaihtoehtoisia palkkimutuoja: A = suora palkki, B = harjapalkki, C = ma-
hapalkki, D = bumerangipalkki (Salonen ym. 2009, S 74).

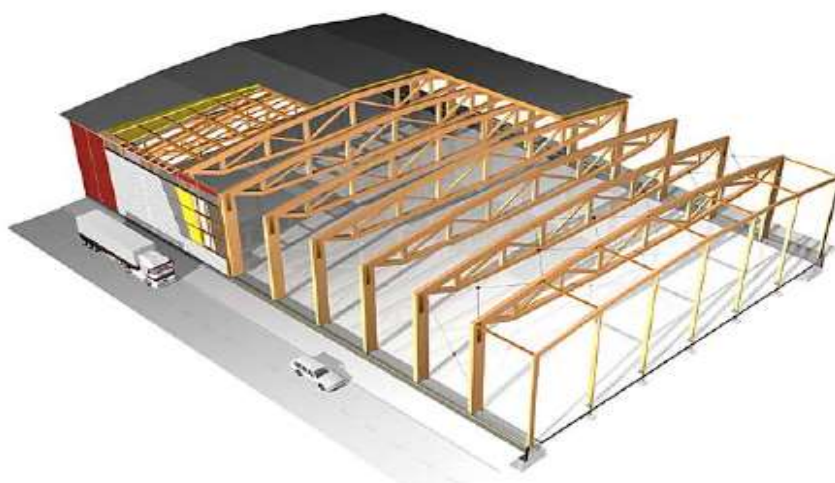
3.1.2 Ristikkokannattajat

Ristikkokannattajia valmistetaan sekä liimapuusta, että viilupuusta. Kuvassa 4 on esitetty muutamia ristikkotyyppejä. Sauvojen liitoksissa käytetään kaksi-, neljä- tai kuusileikkeisiä teräslevyjä sekä terästappivaarvoja. Ristikön tukireaktio välitetään pilareille teräsosien välityksellä. Liitososat jäävät puurakenteen sisäpuolelle, jolloin rakenne saavuttaa R30 paloluokka. Rakenteen sivumittaa suurentamalla on mahdollista saavuttaa myös R60 paloluokka. (Salonen ym. 2009, 76)



Kuva 6. Vaihtoehtoisia ristikkomuotoja (Salonen ym. 2009, S 76).

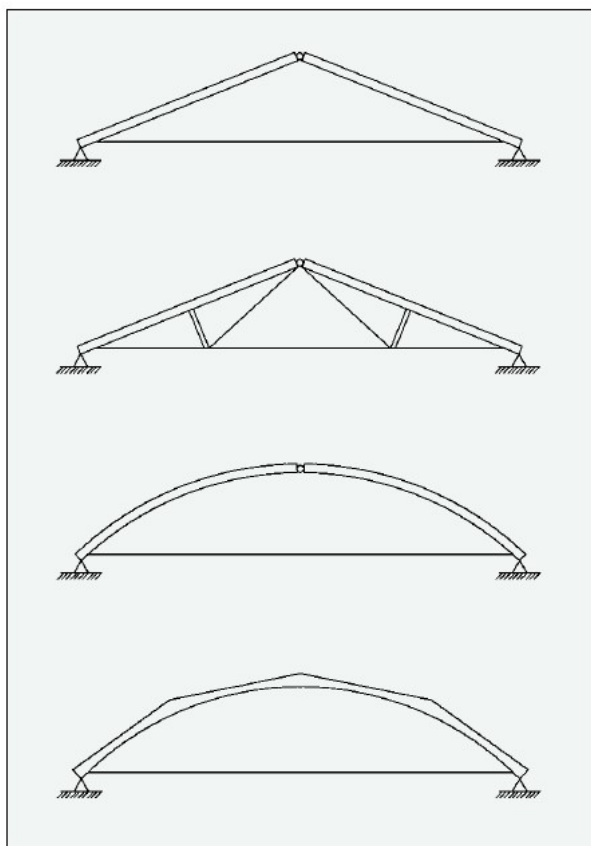
Ristikon yläpaarre voidaan tehdä kaarevaksi tai niin, että se muodostaa murtoviivan ja alapaarre voidaan tehdä joko suoraksi tai kaarevaksi. Ylensä ristikko tuetaan pilariin yläpaarteen avulla (Kuva 5). Ristikko voidaan tehdä tehtaalla tai koota sen osittain työmaalla. Jos ristikkoa kootaan työmaalla, ei ole mitään kuljetus rajoituksia ristikon koolle. (Salonen ym. 2009, 76)



Kuva 7. Ristikkorakenteella toteutettu halli ulkoapäin (Salonen ym. 2009, S 77)

3.1.3 Vetotankokannattajat

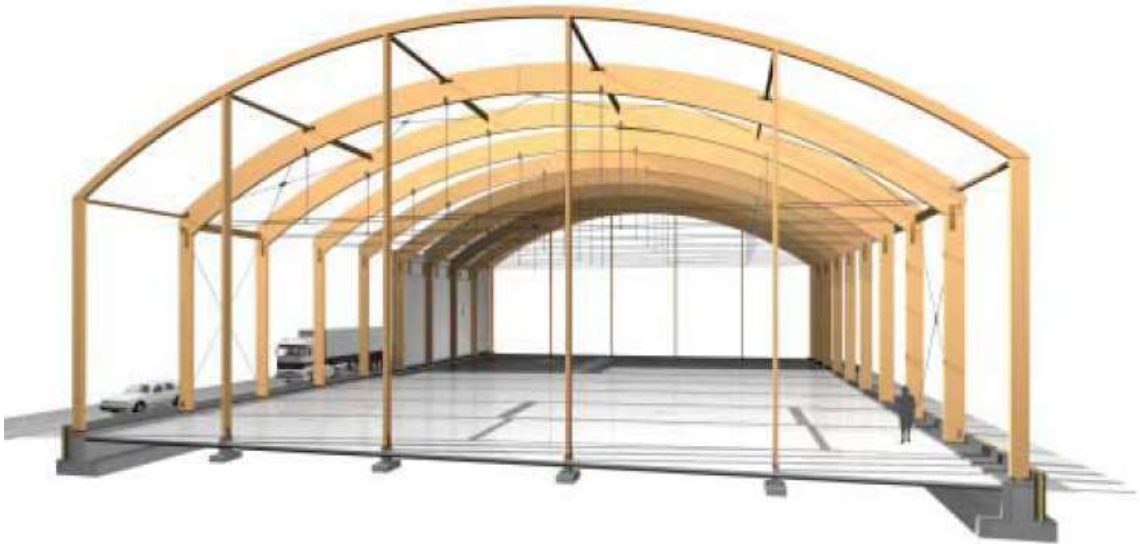
Vetotangollinen kannattaja muodostuu yhtenäisestä yläpaarteesta ja vetotangosta, jonka yläpaarre on jatkuva ja alapaarteena on vetotanko ilman varsinaisia diagonaalisauvoja. Yläpaarteiden mitoituksessa mitoitetaan sekä normaalivoimalle, että taivutusmomentille. Yläpaarre voi olla muodoltaan kaareva, harjamainen tai se voi muodostaa murtoviivan (kuva 6). Vetotankokannattajia ovat vetotangollinen palkkikannattaja, vetotangollinen ansapalkkikannattaja ja vetotangollinen kaarikannattaja. Yläpaarteet voidaan tehdä yksi- tai kaksiosaiseksi. Suuren koon takia yleensä pitemmällä jännevälillä vetotankokannattaja kootaan työmaalla. (Salonen ym. 2009, 78)



Kuva 8. Vaihtoehtoisia vetotankokannatinmuotoja (Salonen ym. 2009, S 78).

Vetotanko voidaan tehdä teräksestä tai puusta. Puisilla vetotangoilla on tavallisesti korkeampi palokestävyys kuin teräksisillä vetotangoilla ja niitä on myös helpompi käsitellä asennusvaiheessa. Puun vetotangon jatkokset ja liitokset voidaan tehdä tappivaarnaliitoksina. Vetotanko ripustetaan kiinni yläpaarteeseen puisilla

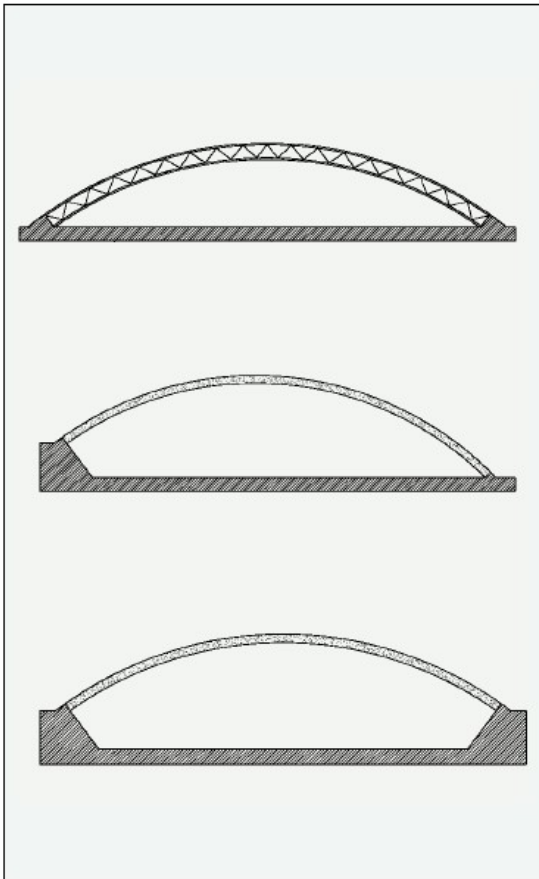
tai teräksisillä tangoilla, joiden tehtävänä on välittää rakenteen oma paino ja mahdolliset ripustuskuormat. Vetotangon venymä huomioidaan rakenteen mitoituksen aikana. Yleensä vetotangoja esi-kiristetään vähintään pysyvästä kuormasta aiheutuvan vetovoiman verran. Puu vetotanko kiristetään kannattajaa esikorottamalla. (Salonen ym. 2009, 79)



Kuva 9. Vetotangollisella kaarikannattajalla toteutettu puuhalli (Salonen ym. 2009, S 78).

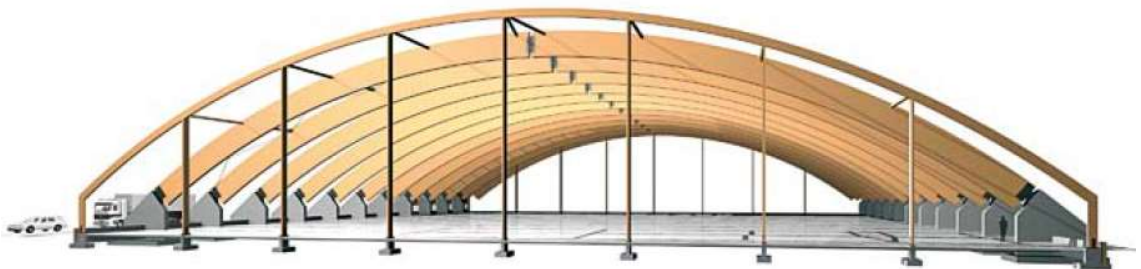
3.2 Kaarirungot

Kaarirunkoinen puuhalli voidaan tehdä joko massiiviliimapuusta tai ristikoista (kuva 8). Kaarirunko rakenne tukeutuu suoraan vaakasuunnassa tuettuihin perustuksiin, jotka voidaan tueta joko vinopaaluilla toisiinsa kiinni vetotangoilla, tai kiinnitetään suoraan peruskallioon. Vaakasuuntaisen tuennan jäykkyys vaikuttaa kaaren mitoitukseen. Kun käytetään vetotankoja, on suositeltavaa käyttää esikiiristystä, joka vastaa vähintään pysyvän kuorman aiheuttamaa rasitusta. (Salonen ym. 2009, 80)



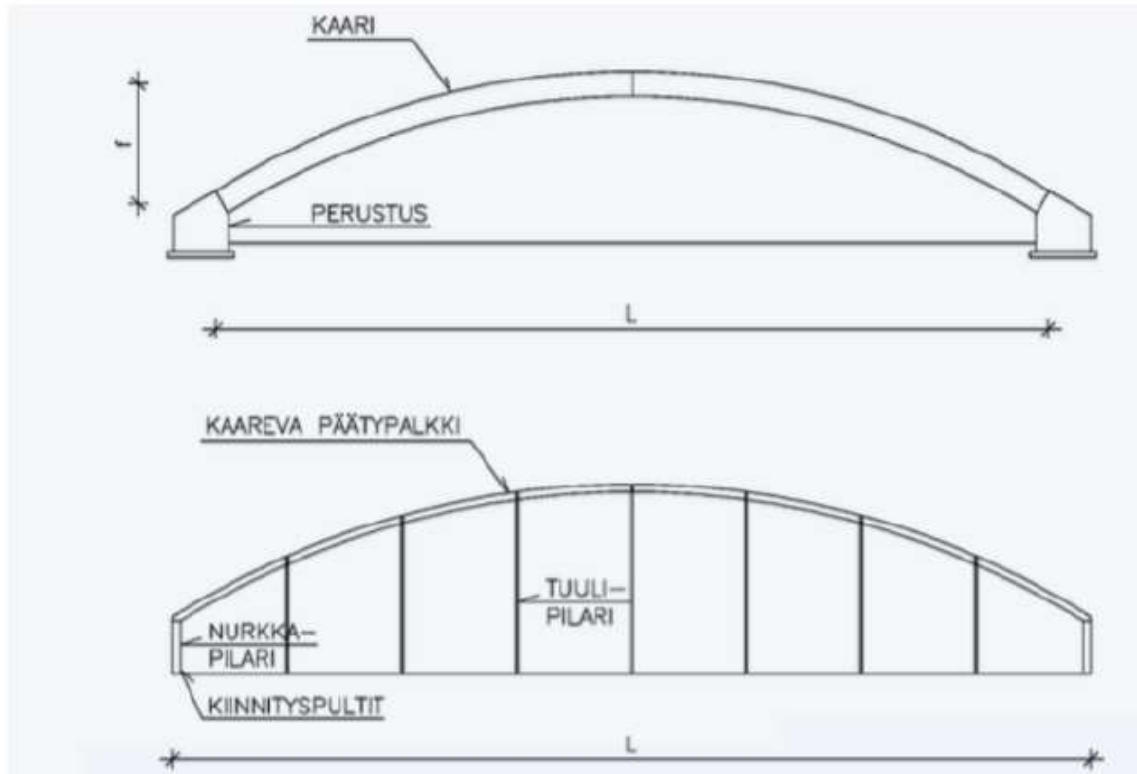
Kuva 10. Kaarirakenteen vaihtoehtoisia toteutustapoja (Salonen ym. 2009, S 80).

Tavallisesti puuhallin kaareen suunnitellaan kaksi tai kolme niveltä, joista kantaneivet voidaan muodostaa teräsosista. Vaihtoehtoisesti, jos kuorma on pieni lakipisteen nivel, voidaan rakentaa puusta. Kaaren kantanivel tulee sijoittaa rakennuksen sisäpuolelle. Kuvassa 9 on esimerkki kaarirungolla toteutetusta puuhallista. (Salonen ym. 2009, 80)



Kuva 11. Kaarirungolla toteutettu puuhalli (Salonen ym. 2009, S 80).

Kaari tuetaan kiinni suoraan peruspilariin varaan. Peruspilarin koon takia peruspilari ulottuu usein hallin sisäpuolelta sokkelin ulkopuolelle ja siksi sitä tulee lämpöeristää ulkopuolelta. Kaarirungon päätypalkit voidaan tehdä moniaukkoisina. Kaarevia palkkeja tuetaan tuulipilarin avulla. Kaarirunkoa voidaan jäykistää joko ristikolla tai rakentamalla muu jäykkä rakenne yhteen tai kahteen kaariväliin. (Salonen ym. 2009, 80)

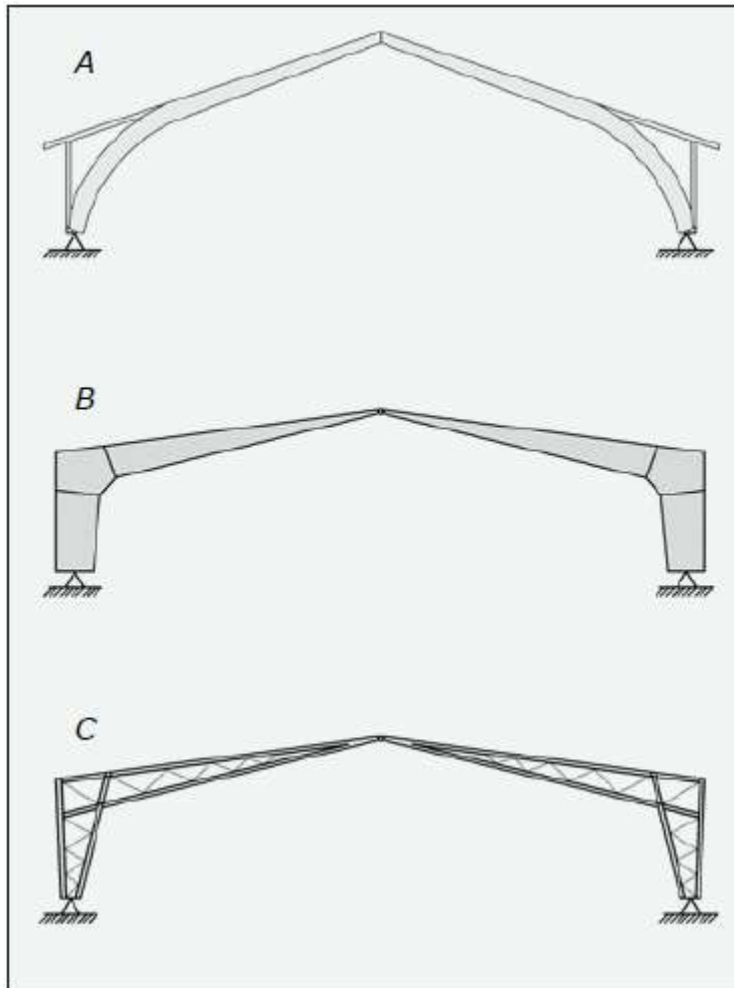


Kuva 12. Kaarirunko, leikkaus hallin keskeltä ja päädyistä (Salonen ym. 2009, S 22).

3.3 Nivelkehärungot

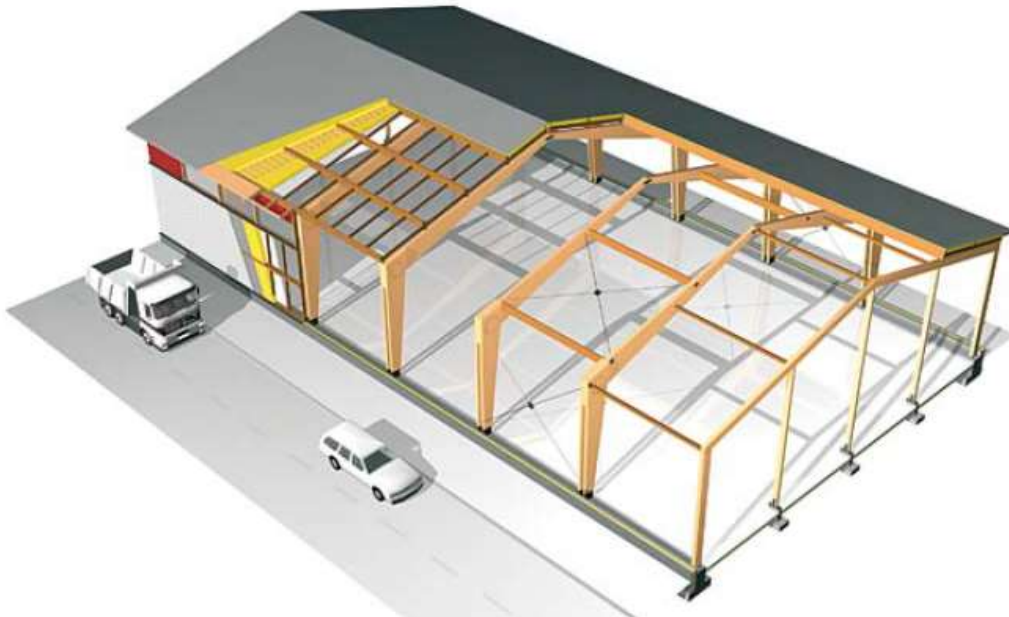
Puuhallien nivelkehärungot voidaan tehdä kolminivelisestä kehästä. Kehärunko on sellainen rakenne, jossa yhdistetään katto ja seinä runko toisiinsa jäykkänurkkaisesti siten, että nivelkehärunko välittää osan pystykuormista perustuksiin vaakakuormina. Vaakavoima otetaan vastaan vinopaaluilla, vetotangoilla tai tukevilla perustukset suoraan peruskallioon. Joissain tapauksissa vaakavoima voidaan ottaa vastaan massiivisella perustuksella ilman vetotankoja tai paalutusta. Kehärunkotyyppisiä on erilaisia, niitä voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin. Nämä

tyypit ovat käyränurkkainen kolminivelkehä, terävänurkkainen kolminivelkehä ja ristikkonurkkainen kolminivelkehä (kuva 11). (Salonen ym. 2009, 82)



Kuva 13. Kehärungon vaihtoehtoisia poikkileikkauksia: A = Käyränurkkainen kolminivelkehä, B = terävänurkkainen kolminivelkehä, C = ristikkonurkkainen kolminivelkehä. (Salonen ym. 2009, S 82).

Käyränurkkainen kolminivelkehä rakennetaan taivutetusta liimapuusta ja sen nurkka voidaan rakentaa teräväksi liimapuusta tai sahatavarasta. Terävänurkkaisen kolminivelkehä nurkkaosat rakennetaan viilupuusta, ja sen palkki kiinnitetään pilareihin tappivaarnaliitoksella (kuva 12). Ristikkonurkkainen kolminivelkehä rakentamisessa käytetään vetotankoa, puupalkkia ja puista vinotukea. Kehää on mahdollista koota työmaalla. (Salonen ym. 2009, 82)



Kuva 14. Terävänurkkaisella kolminivelkehällä toteutettu halli ulkopäin. (Salonen ym. 2009, S 83).

3.4 NR-ristikko

NR-ristikolla tarkoitetaan naulalevyrakennesahatavarasta valmistettua puurakennetta, joka koostuu yläpaarteesta, alapaarteesta ja sauvoista. Nämä kiinnitetään yhteen naulalevyn avulla. Kattoristikkotyypit ovat harjaristikko, saksiristikko, murtoharjaristikko, käyttöullakkoristikko, kehäristikko, pulpettiristikko, pukkiristikko ja palkkiristikko. Harjaristikko on ristikkotyypeistä käytetyin.



Kuva 15. Kattoristikkotyypit. (hietakulma.fi)

4 RUNKOVERTAILU

4.1 Runkovaihtoehtojen mitoituksen vertailu

Tässä tutkimuksessa mitoitetaan kahta eri hallityppiä. Mitoituksessa pyritään siihen, että hallien jännevälit, pituudet ja korkeudet olisivat samoja. Ensimmäinen halli koostuu pilarirungosta ja harjapalkista, jota tehdään liimapuusta. Toinen halli taas koostuu NR-ristikoista ja kantavista puurankaseinistä. Rakennus oletetaan sijaitsevan Tampereen alueella, joten lumikuorman ja tuulikuorman arvot määrittyvät tämän alueen mukaan. Mitoituksessa noudatettiin RIL 205-1-2017 puurakenteiden suunnitteluohjeita.

Pilaripalkin mitoitusvaiheessa mitoitetaan palkkeja ja pilareita. Kattoelementti-kuorma tyyli valittiin Halli PES:n internetsivulta. Sen muoto on tuulettamaton kattoelementti ja sen alalevy on rakenteellisesti liimattu elementtiin. Tässä hallissa on kaksi erilaista palkkia. Nämä ovat pääkannatin harjapalkit ja päätypalkit. Lisäksi pilareita on kolme eri kokoa: mastopilarit, nurkkapilarit ja tuulipilarit.

NR-ristikon ja runkotolpan mitoituksessa mitoitetaan ristikon sauvomat, yläpaarre ja alapaarre. Näiden edellä mainittujen rakenteiden lisäksi mitoitetaan ristikon NR-yläpohjan jäykistys. Muita harjaristikon mitoitukseen kuuluvia mitoitettavia osia ovat runkotolppa, NR-ristikon kannatuspalkki ja seinä jäykistys.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että runkovaihtoehtojen mitoitukset poikkeavat hieman toisistaan, sillä rungoissa käytetyt rakennusosatkin ovat erilaisia. Lopuksi on mainittava, että pilarirungon ja harjapalkin toteutuksessa tarvitaan vähemmän materiaalia kuin harjaristikon toteutuksessa, sillä harjapalkkivaihtoehdossa käytetään pilareita ja näin ollen mahdollistetaan harjaristikkovaihtoehdon runkotolpan pidemmän jaon toteutuminen.

4.2 Kustannusarvio

Kustannusarvio-osassa pyritään selvittämään runkovaihtoehtojen toteutuksista syntyviä kustannuksia. Täten voidaan myös selvittää, mikä on tarkasteltavista runkovaihtoehtoista edullisin. On mainittava, että kyseinen kustannusvertailu sisältää vain rungon hinnan vertailua, eikä siihen sisälly esimerkiksi rakennuksen elementtiseinät. Vertailua varten selvitettiin ensin tarvittavien osien (pilarit, palkit, ylä- ja ala ohjauspuut, ristikko, NR-kannatus palkit ja runkotolppa) kuutiomäärää, ja tämän jälkeen hyödynnettiin internetistä saatavaa kuutiomäärän hintaa runkojen kustannuksien selvittelystä.

Ensimmäisen liimapuusta koostuvan hallin rungon kustannukseksi saatiin 13 420 euroa. Tähän kyseen omaiseen hintaan sisältyy hallin materiaaleista syntyvät kustannukset. Nämä materiaalit ovat kehän mastopilarit, pääkannatin harjapalkki, nurkkapilarit, tuulipilarit ja päätypalkki.

Toinen halli taas koostuu sahatavarasta ja kertopuusta. Tämän hallin rungon kustannukset olivat ensimmäiseen runkovaihtoehtoa nähden melko suuret ja rungon kustannukseksi saatiinkin 26 464 euroa. Tähän arvoon sisältyy hallin materiaaleista syntyvät kustannukset kuten NR-ristikon-, runkotolppien-, kannatuspalkkien- ja seinänjäykistys levyjen kustannukset.

5 POHDINTA

Hallien suunnittelu- ja mitoitus- vaiheet olivat suhteellisen haastavia, työläitä ja vaativat melko paljon aikaa, sillä vaikka samoja asioita (esimerkiksi kestävyys) tarkasteltiin molemmissa tapauksissa, mitoitusvaiheet poikkesivat toisistaan. Toisin kuin edellä mainitut asiat kustannusvertailun laskenta vei vähemmän aikaa ja oli työn helpoin vaihe.

Työn suunnittelu ja mitoitusvaiheessa, jouduin perehtymään uusiin asioihin, joita ei käsitelty suorittamissani opintojaksoissa. Uusia asioita oli hankala käsitellä, mutta toisaalta on mainittava, että tämä oli myös hyvin ainutlaatuinen kokemus, sillä opin itse hankkimaan tietoa alaani liittyviin asioihin ja samalla hyödyntää kyseen omaisia tietoja omassa työssäni. Harjapalkki vaihtoehdon mitoitusvaiheessa oli paljon tuttuja asioita, mutta harjaristikon mitoituksessa kohtasin paljon uusia asioita, joista esimerkkinä voidaan mainita NR-ristikon mitoitus.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että rakenteiden mitoitus sujui hyvin, sillä olin oppinut hyvin suunnittelun perusteita koulussa sekä minulla oli hyvät muistiinpanot luennoilta. Tämän lisäksi Puuinfon Internetsivulla olevat materiaalit tukivat hyvin minua työn edistymisessä ja uusien asioiden oppimisessa. Nämä materiaalit ovat puuinfon sivulla olevat esimerkit sekä yleisesti puun ominaisuuksiin liittyvät tiedot.

LÄHTEET

Puu materiaalina. [Luettu 15.01.2020].

<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina>

Salonen, K. 2009. Puuhallin rakenteet: Esisuunnittelu ja arkkitehtoiset. [Verkkopublication]. Puuinfo Oy. [Luettu 25.01.2020]. Saatavana:

<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puuhallin-suunnittelu-esisuunnittelu-ja-arkkitehtoniset-valinnat/puuhallin-suunnittelu-090202www.pdf>

Puun rakenne WWW. PuuProffa.fi. [Luettu 20.3.2013] Saatavissa:

<https://puuproffa.fi/liitosten-arkki/puun-liitokset/liitosten-vaatimukset/lujuus-puun-rakenne/>

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Siikanen, U. 1987. Puurakennusten suunnittelu. Helsinki: Rakentajan kustannus Oy.

Hout, C. 1995. Käännös Suortti-Suominen, T. Puurakenteet STEP 1. Rakennustieto Oy.

Hout, C. 1995. Käännös Suortti-Suominen, T. Puurakenteet STEP 2. Rakennustieto Oy.

RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje. 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Puuinfo Oy. 2014. HalliPES 1.0. [Luettu 22.2.2020].

<https://www.puuinfo.fi/hallipes>

LIITTEET

Liite 1. Harjapalkin mitoituksesta

liite 1

1 (22)

Mitoitetaan hallin liimapuukuranteinen pääkannatin harjapalkki

Laskelmat esitetään ainoastaan sellaisella kuormitusyhdistelmällä, joka on tässä tapauksessa havaittu mitoittavaksi.

Lähtötiedot

$$L := 20000 \text{ mm}$$

Jänneväli

$$K := 5000 \text{ mm}$$

Kehäväli

$$H := 7.0 \text{ m}$$

Rakennuksen korkeus

Palkin materiaali

$$f.m.k := 30 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutus

$$f.v.k := 3.5 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkaus

$$f.c.0.k := 25 \frac{N}{mm^2}$$

Puristus syysuuntaan

$$f.c.90.k := 3 \frac{N}{mm^2}$$

Puristus kohtisuoraan syysuuntaan vastaan

$$f.t.0.k := 20 \frac{N}{mm^2}$$

Veto syysuuntaan

$$f.t.90.k := 0.5 \frac{N}{mm^2}$$

Veto kohtisuoraan syysuuntaan vastaan

$$E.0.mean := 13000 \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli

$$E.0.05 := 10800 \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli

$$G.mean := 650 \frac{N}{mm^2}$$

Liukumoduuli

Yläpohjan kuormat

$$g.k.1 := 1.53 \frac{kN}{m}$$

Harjapalkki keskimääräinen omapaino

$$g.k.2 := 0.2 \frac{kN}{m^2}$$

Ripustuskuorma (LVI yms.)

$$g.k.3 := 0.9 \frac{kN}{m^2}$$

Kattoelementtikuorma (yläpohja yleensä)

$$q.k := 2 \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorma katolla

2 (22)

Kuormitusyhdistelmä

Aikaluokka on keskipitkä

$$KFI := 1.0$$

$$\psi_0 := 1.0$$

$$\gamma_{M,pysyvä} := 1.5$$

Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$G.k.j \text{ (omapaino)} + Q.k.1 \text{ (Lumi)}$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$(1,15 \cdot KFI \cdot G.k.j \text{ (omapaino)}) + (1,5 \cdot KFI \cdot Q.k.1 \text{ (Lumi)})$$

Kuormat

$$K := 1.15 \quad S := 5.0 \text{ m}$$

Käyttörajatila

Yläpohjan omapaino käyttörajatilassa

$$PK.G := (g.k.2 + g.k.3) \cdot S \cdot K + g.k.1 = 7.855 \frac{kN}{m}$$

Lumikuorma käyttörajatilassa

$$PK.Q := q.k \cdot S \cdot K = 11.5 \frac{kN}{m}$$

Murtorajatila

omapaino + lumikuorma murtorajatilassa

$$P.d := (K \cdot KFI \cdot PK.G) + (1.5 \cdot KFI \cdot PK.Q) = 26.283 \frac{kN}{m}$$

Voimasuureet

$$M.d := \frac{(P.d \cdot L^2)}{8} = (1.314 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V.p.d := \frac{(P.d \cdot L)}{2} = 262.833 \text{ kN}$$

Materiaalitiedot Liimapuu GL30

3 (22)

$$K.mod := 0.8$$

$$\gamma.M := 1.2$$

$$f.m.k := 30 \frac{N}{mm^2} \quad f.v.k := 3.5 \frac{N}{mm^2} \quad f.c.90.k := 3.0 \frac{N}{mm^2} \quad f.t.90.k := 0.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.m.d := K.mod \cdot \left(\frac{f.m.k}{\gamma.M} \right) = 20 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.v.d := K.mod \cdot \left(\frac{f.v.k}{\gamma.M} \right) = 2.333 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.90.d := K.mod \cdot \left(\frac{f.c.90.k}{\gamma.M} \right) = 2 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.t.90.d := K.mod \cdot \left(\frac{f.t.90.k}{\gamma.M} \right) = 0.333 \frac{N}{mm^2}$$

Esimitoitus:

$$b := 265 \text{ mm} \quad \text{Valitaan palkin leveys}$$

Palkin teoreettinen minikorkeus voidaan laskea alle olevan kaavan mukaisesti

$$h.1 := \frac{3 \cdot V.p.d}{2 \cdot b \cdot f.v.d} = 637.599 \text{ mm}$$

Palkin teoreettinen minikorkeus voidaan johtaa ratkaisemalla leikkausjännityksen kaava korkeuden h1 suhteen. Usein teoreettinen minikorkeus on riittämätön ja korkeudeksi h1 valitaan sitä suurempi arvo.

$$h.1 := 1200 \text{ mm} \quad \text{Valitaan korkeudeksi}$$

Harjakorkeus h2 sadaaan laskemalla

$$h.2 := h.1 + \frac{1}{16} \cdot \frac{L}{2} = (1.825 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Palkin mitat:

$$h.1 := 1200 \text{ mm}$$

$$h.2 := 1825 \text{ mm}$$

$$b := 265 \text{ mm}$$

$$L.a := 405 \text{ mm}$$

$$L.0 := L - L.a = (1.96 \cdot 10^4) \text{ mm}$$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus:

4 (22)

Mitoittavan poikkileikkauksen sijainti ja päästä:

$$x.m := \frac{L.0 \cdot h.1}{2 \cdot h.2} = (6.442 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Mitoittavan poikkileikkauksen korkeus:

$$h.ap := \frac{h.1}{h.2} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{16} + h.1 = 1.611 \text{ m}$$

Taivutuskeskävyyys moitoittavassa poikkileikkauksessa

Maksimitaivutusmomentti (nosturin keskellä jänneväliä)

$$M.d := \frac{P.d \cdot L.0^2}{8} = (1.261 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$M.d.p := \left(\frac{P.d \cdot x.m}{2} \cdot (L.0 - x.m) \right) = (1.114 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjäännitys mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$\delta.m.a.d := \frac{6 \cdot M.d.p}{b \cdot h.ap^2} = 9.715 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Taivutuslujuus

$$f.m.d := K.mod \cdot \frac{f.m.k}{\gamma.M} = 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kma -kerroin

$$a.ap = 3.576^\circ$$

$$f.v.d := K.mod \cdot \frac{f.v.k}{\gamma.M} = 2.333 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f.c.90.d := K.mod \cdot \frac{f.c.90.k}{\gamma.M} = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$K.m.a := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f.m.d}{1.5 \cdot f.v.d} \cdot \tan(a.ap) \right)^2 + \left(\frac{f.m.d}{f.c.90.d} \cdot (\tan(a.ap))^2 \right)^2}} = 0.941$$

Mitoitusehto

$$\delta.m.a.d \leq K.m.a \cdot f.m.d$$

$$K.m.a \cdot f.m.d = 18.822 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$9.7 \frac{N}{mm^2} < 18.822 \frac{N}{mm^2}$$

5 (22)

Käyttöaste 53 %
Käyttöaste Ok kestää

Taivutuskestävyys harjalla

Maksimi raivutusmomentti $M.d = (1.261 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$

KL-Kerroin

$$a.ap := 3.576^\circ$$

$$K.l := 1 + 1.4 \cdot \tan(a.ap) + 5.4 \cdot (\tan(a.ap))^2 = 1.109$$

Taivutusjännitys harjalla

$$\delta.m.d := \frac{K.l \cdot 6 \cdot M.d}{b \cdot h.ap^2} = 12.201 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuus

$$f.m.d := K.mod \cdot \frac{f.m.k}{\gamma.M} = 20 \frac{N}{mm^2}$$

Kr-Kerroin

Harjapalkille $K.r := 1.0$

Mitoitusehto

$$\delta.m.d \leq K.r \cdot f.m.d$$

$$K.r \cdot f.m.d = 20 \frac{N}{mm^2}$$

$$12.2 \frac{N}{mm^2} < 20.0 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 63 %
Käyttöaste Ok kestää

Poikittainen vetokestävyys harjalla

Maksimi taivutusmomentti $M.d = (1.261 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$

Kp-Kerroin

$$a.ap := 3.576^\circ$$

$$K.p := 0.2 \cdot \tan(a.ap) = 0.012$$

Poikittainen vetojännitys harjalla

6 (22)

$$\delta.t.90.d := \frac{K.p \cdot 6 \cdot M.d}{b \cdot h.ap^2} - 0.6 \cdot \frac{P.d}{b} = 0.078 \frac{N}{mm^2}$$

Poikittainen vetolujuus

$$f.t.90.d := K.mod \cdot \frac{f.t.90.k}{\gamma M} = 0.333 \frac{N}{mm^2}$$

Kdis-Kerroin

Harjapalkille $K.dis := 1.4$

Kvol-Kerroin

Vertailutilavuus $V.0 := 0.01 m^3$

Harja alueen tilavuus $V := 1.14 m^3$

$$K.vol := \left(\frac{V.0}{V} \right)^{0.2} = 0.388$$

Mitoitusehto

$$\delta.m.d \leq K.dis \cdot K.vol \cdot f.m.d$$

$$K.dis \cdot K.vol \cdot f.t.90.d = 0.181 \frac{N}{mm^2}$$

$$0.08 \frac{N}{mm^2} < 0.181 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 44 %

Käyttöaste Ok kestää

Yhdistetty poikittainen vetokestävyys ja leikkauskestävyys harjalla

Leikkausjännitys harjalla

$$V.p.d = 262.833 \text{ kN}$$

$$\tau.d := \left(\frac{3}{2} \right) \cdot \frac{V.p.d}{b \cdot h.ap} = 0.924 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f.v.d := K.mod \cdot \frac{f.v.k}{\gamma M} = 2.333 \frac{N}{mm^2}$$

Kp-Kerroin

$$a.ap := 3.576^\circ$$

$$K.p := 0.2 \cdot \tan(a.ap) = 0.012$$

Poikittainen vetojännitys harjalla

$$\delta.t.90.d := \frac{K.p \cdot 6 \cdot M.d}{b \cdot h.ap^2} - 0.6 \cdot \frac{P.d}{b} = 0.078 \frac{N}{mm^2}$$

Poikittainen vetolujuus

7 (22)

$$f.t.90d := \frac{f.t.90.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 0.333 \frac{N}{mm^2}$$

Kvol-Kerroin

Vertailutilavuus $V.0 := 0.01 m^3$

Harja alueen tilavuus $V := 1.14 m^3$

$$K.vol := \left(\frac{V.0}{V} \right)^{0.2} = 0.388$$

Mitoitusehto

$$\frac{\tau.d}{f.v.d} + \frac{\delta.t.90.d}{K.dis \cdot K.vol \cdot f.t.90.d} \leq 1.0$$

$$\frac{\tau.d}{f.v.d} + \frac{\delta.t.90.d}{K.dis \cdot K.vol \cdot f.t.90.d} = 0.827$$

$$0.827 < 1.0$$

Käyttöaste 85 %

Käyttöaste Ok kestää

Leikkausvoimakestävyys

Mitoittava leikkausvoima tuella

Nosturin omapainon aiheuttama leikkaus tuella

$$V.p.g.d := 1.15 kN$$

Tasainen kuorman aiheuttamaa leikkausvoimaa voidaan pienentää

$$V.red := V.p.d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h.1 + L.a}{L.0} \right) = 225.208 kN$$

$$V.d := V.red + V.p.g.d = 226.358 kN$$

Kp-Kerroin

$$K.cr := 1.0$$

$$b.ef := 260 mm$$

$$h.m := 1308 mm$$

Leikkaus jännitys tuella

$$\tau.d := \left(\frac{3}{2} \right) \cdot \frac{V.d}{b \cdot h.m} = 0.98 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f.v.d := K.mod \cdot \frac{f.v.k}{\gamma.M} = 2.333 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\tau.d \leq f.v.d$$

8 (22)

$$0.98 \frac{N}{\text{mm}^2} < 2.333 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 50 %
Käyttöaste Ok kestää

Tukipainekestävyys

Tukireaktio (nosturin tuen vieressä)

$$N.d := P.d \cdot \frac{L}{2} + V.p.g.d = 263.983 \text{ kN}$$

Puristusjäännitys palkissa

$$\delta.c.90.d := \frac{N.d}{b \cdot L.a} = 2.46 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f.c.90.d := \frac{f.c.90.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$K_{c,90}$ - kerroin

$$K_{c,90} := 1.5 \quad \text{havupuinen liimapuu}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$L.c.90.ef := L.a + 30 \text{ mm} = 435 \text{ mm}$$

Tukipaine kerroin

$$K.c := \frac{L.c.90.ef}{L.a} \cdot K_{c,90} = 1.611$$

Mitoitusehto

$$\delta.c.90.d \leq K.c \cdot f.c.90.d$$

$$K.c \cdot f.c.90.d = 3.222 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$2.5 \frac{N}{\text{mm}^2} < 3.225 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 76 %
Käyttöaste Ok kestää

Teräslevyvahvistus tuella

$n = 4$	Liimatankojen määrä/liitos
$d = 16 \text{ mm}$	Harjaterästangon halkaisija
$d.ef = 22 \text{ mm}$	puuhun poratun reiän halkaisija
$L.a = 405 \text{ mm}$	Liimatangon tartuntapituus puussa

Harjaterästankojen puristusvoimkapasiteetti

9 (22)

$$f.k := 500 \frac{N}{mm^2} \quad \text{A500HW teräs}$$

$$A.tan.ko := \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 = 201.062 \text{ mm}^2$$

$$\gamma.M := 1.1 \quad \text{Teräsrakenteet}$$

$$N.R.d.teräs := \frac{f.k}{\gamma.M} \cdot n \cdot A.tan.ko = 365.567 \text{ kN}$$

Liimasuaman tartunалуjuus

$$f.a.k := 6.5 \frac{N}{mm^2} \cdot \left(1 - \frac{L.a}{100 \cdot d}\right) = 4.855 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.a.d := \frac{f.a.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 3.531 \frac{N}{mm^2}$$

Terästankoliitoksen tartunavoimakapasiteetti

$$N.R.d.liimaus := n \cdot \pi \cdot d \cdot e.f \cdot L.a \cdot f.a.d = 395.318 \text{ kN}$$

Mitoitusehto (kokotukireaktio siirtyy liimatankojen kautta)

$$N.d \leq N.R.d.teräs$$

$$263.983 \text{ kN} \leq 365.567 \text{ kN}$$

Käyttöaste 72 %

Käyttöaste Ok kestää

Mitoitusehto (koko tukireaktio siirtyy liimatankojen kautta)

$$N.d \leq N.R.d.liimaus$$

$$263.983 \text{ kN} \leq 392.071 \text{ kN}$$

Käyttöaste 67,33 %

Käyttöaste Ok kestää

Puristusjännitys pilarissa teräslevyn alueella (140 x 140)

$$A := 140 \text{ mm} \cdot 140 \text{ mm} = (1.96 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$\delta.c.0.d := \frac{N.d}{A} = 13.468 \frac{N}{mm^2}$$

Pilarin puristuslujuus syysuunnassa

$$f.c.0.d := \frac{f.c.0.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 18.182 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

10 (22)

$$\delta.c.0.d \leq f.c.0.d$$

$$13.468 \frac{N}{mm^2} \leq 16.7 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 81 %

Käyttöaste Ok kestää

Teräslevyn taivutusmomentti tukireaktiosta

$$E := 38 \text{ mm}$$

$$M.d := \frac{\delta.c.0.d \cdot E^2}{2} \cdot b = (2.577 \cdot 10^6) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Teräslevyn taivutujännitys

$$t := 16 \text{ mm}$$

$$W := \frac{b \cdot t^2}{6} = (1.131 \cdot 10^4) \text{ mm}^3$$

$$\delta.b.d := \frac{M.d}{W} = 227.912 \frac{N}{mm^2}$$

Teräslevyn taivutuslujuus

$$f.k := 355 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.d := \frac{f.k}{\gamma.M} = 322.727 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\delta.b.d \leq f.d$$

$$227.912 \frac{N}{mm^2} \leq 322.727 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 70 %

Käyttöaste Ok kestää

Leikkausvoimakkestävyys (teräslevyn vahvistus)

11 (22)

$V.p.d = 262.833 \text{ kN}$ Tasainen kuorman aiheuttama leikkausvoima tuella

$V.p.g.d = 1.15 \text{ kN}$ Tasainen kuorman aiheuttama leikkausvoima tuella

Tasainen kuorman aiheuttama leikkausvoima voidaan pienentää

$$V.red := V.p.d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h.1 + L.a}{L.0}\right) = 225.208 \text{ kN}$$

$$V.d := V.red + V.p.g.d = 226.358 \text{ kN}$$

Kcr-Kerroin

Palkki on käsitelty 2-Kertaisella säänkestävällä lakkausella

$$K.cr := 1.0 \quad b.ef = 260 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys tuella

$$\tau.d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V.d}{b \cdot h.m} = 0.98 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f.v.d := \frac{f.v.k \cdot K.mod}{\gamma M} = 2.545 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\tau.d \leq f.v.d$$

$$0.998 \frac{N}{mm^2} < 2.545 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 50 %

Käyttöaste Ok kestää

Taipuma

Palkin jäyhyysmomentti määrittävässä poikkileikkauksessa

$$I.y := \frac{b \cdot (h.m)^3}{12} = (4.942 \cdot 10^{10}) \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$W.inst.G := \frac{5 \cdot P.K.G \cdot L.0^4}{384 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 23.471 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta

$$W.inst.Q.1 := \frac{5 \cdot P.K.Q \cdot L.0^4}{384 \cdot E.0.mean \cdot I.y}$$

Hetkellinen taipuma

12 (22)

$$W_{inst} := W_{inst.G} + W_{inst.Q.1} = 57.834 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$W_{inst} \leq \frac{L}{200}$$

$$\frac{L}{200} = 100 \text{ mm}$$

$$59.5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Käyttöaste 59.5 %

Käyttöaste Ok kestää

Kokonaistaipuma

$$K_{def} = 0.6 \quad \psi_{2.1} = 0.2 \quad \psi_{2.2} = 0.8 \quad \psi_{0.1} = 1.0 \quad \psi_{0.1} = 1.0$$

$$W_{fin.G} := (1 + K_{def}) \cdot W_{inst.G} = 37.554 \text{ mm}$$

$$W_{fin.Q.1} := (1 + K_{def}) \cdot W_{inst.Q.1} = 54.98 \text{ mm}$$

$$W_{fin} := W_{fin.G} + W_{fin.Q.1} = 92.534 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$W_{inst} \leq \frac{L}{200} \quad \text{Taipumaraja}$$

$$\frac{L}{200} = 100 \text{ mm}$$

$$94.3 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Käyttöaste 95.2 %

Käyttöaste Ok kestää

Lopputaipuma

$$W_c := 50 \text{ mm} \quad \text{Esikorotus}$$

$$W_{net.fin} := W_{fin} - W_c = 42.534 \text{ mm}$$

Kiepahduskestävyys

Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$h.m = (1.308 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

13 (22)

$$M.d := \frac{P.d \cdot L.0^2}{8} = (1.261 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\delta.m.a.d := \frac{6 \cdot M.d}{b \cdot h.m^2} = 16.694 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kiepahdustuenväli

$$a := 2500 \text{ mm} \quad \text{Kattoelementti leveys}$$

Sivusuunnassa tuen palkin tehollinen jänneväli

$$L.ef := a + 2 \cdot h.m = (5.116 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$C := 0.71 \quad \text{Liimapuulle GL30c}$$

$$\delta.m.crit := \frac{C \cdot b^2}{h.m \cdot L.ef} \cdot E.0.05 = 80.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda.rel.m := \sqrt{\frac{f.m.k}{\delta.m.crit}} = 0.611$$

Kcirt-Kerroin

$$K.crit := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda.rel.m = 1.102$$

Mitoitusehto

$$\delta.m.a.d \leq K.crit \cdot f.m.d$$

$$K.crit \cdot f.m.d = 22.041 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$16.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 21.865 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 77 %

Käyttöaste Ok kestää

Yhden harjapalkin kiepahdustuentavoima

14 (22)

Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$M.d = (1.261 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Sivusuunnassa tukemattoman palkin tehollinen jänneväli

$$L.eef = 0.9 \cdot L = 18 \text{ m}$$

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

$$L.ef := L.eef + 2 \cdot h.m = 20.616 \text{ m}$$

Sivusuunnassa tukemattoman suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$C := 0.71 \quad \text{Liimapuulle GL30c}$$

$$\delta.m.crit := \frac{C \cdot b^2}{h.m \cdot L.ef} \cdot E \cdot 0.05 = 19.969 \frac{N}{mm^2}$$

Sivusuunnassa tukemattoman palkin suhteellinen hoikkuus

$$\lambda.rel.m := \sqrt{\frac{f.m.k}{\delta.m.crit}} = 1.226$$

kcrit-kerroin

$$K.crit := \frac{1}{\lambda.rel.m^2} = 0.666$$

Puristusvoima palkin yläreunassa

$$N.d := (1 - K.crit) \cdot \frac{M.d}{h.m} = 322.466 \text{ kN}$$

k-kerroin

kcrit määritetään siten, että palkki on tuettu sivusuunnassa eli kcrit -arvona käytetään kohdassa 1.7 Kiepahduskestävyys määritettyä arvoa.

$$K := \frac{\delta.m.a.d}{K.crit \cdot f.m.d} = 1.254$$

Kiepahdustukeen kohdistuva voima

$$F.d := \frac{N.d}{80} \cdot K = 5.055 \text{ kN}$$

Kiepahdustuki sekä kiepahdustuen ja pääkannattimen välinen liitos mitoitetaan voimalle $F.d$

Kattoelementin ja harjapalkin liitoksen kestävyys (kiepahdustuenta)

15 (22)

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

Kp-kerroin

$$p.k := 390$$

$$K.p := \sqrt{\frac{p.k}{350}} = 1.056$$

Ks-kerroin

$$d := 4.0 \text{ mm} \quad \text{Ankkurinaulan pakasuus}$$

$$t.t \geq 2.0 \text{ mm} \quad \text{Kulmalevyn paksuus}$$

$$K.s := 1.5 \cdot K.p = 1.583$$

Naulan leikkauskestävyys

$$R.k := 120 \text{ N} \cdot 10.55 \cdot K.s = (2.005 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$R.d := \frac{K.mod \cdot R.k}{\gamma.M} = 1.458 \text{ kN}$$

Naulamäärä yhdessä kulmalevyn laipassa

$$n := \frac{F.d}{R.d} = 3.467$$

Laitetaan 5 naulaa/kulmalevyn laippa. Kulmalevyn kestävyys tulee tarkastaa erikseen.

Palomitoitus R30

Palotilanteen
materiaalilujuus

$$K.mod.fi := 1.0 \quad \gamma.M.fi := 1.0 \quad K.fi := 1.15$$

Taivutuslujuus

$$f.m.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.m.k \cdot K.fi}{\gamma.M.fi} = 34.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Vetolujuus

$$f.t.0.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.t.0.k \cdot K.fi}{\gamma.M.fi} = 23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f.t.90.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.t.90.k \cdot K.fi}{\gamma.M.fi} = 0.575 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuus

16 (22)

$$f.c.0.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.c.0.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 28.75 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.90.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.c.90.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 3.45 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f.v.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.v.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli

$$E.0.05.fi := K.mod.fi \cdot \frac{E.0.05 \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli

$$G.mean.fi := K.mod.fi \cdot \frac{G.mean \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 747.5 \frac{N}{mm^2}$$

Palotilanteen kuormat

$$P.d.fi := P.K.G + 0.4 \cdot P.K.Q = 12.455 \frac{kN}{m}$$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus

$$B.n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltemissävyvyys

$$d.charn := B.n \cdot t = 21 \text{ mm} \quad d.0 := 7 \text{ mm} \quad K.0 := 1.0$$

$$d.ef := d.charn + K.0 \cdot d.0 = 28 \text{ mm}$$

Harjapalkin mitat palotilanteessa (palo kolmelta sivulta)**Harjapalkin korkeus**

$$h.1.fi := h.1 - d.ef = 1.172 \text{ m}$$

$$h.2.fi := h.2 - d.ef = 1.797 \text{ m}$$

$$h.1.fi := h.1 - d.ef = 1.172 \text{ m}$$

Palkin leveys

$$b.fi := b - 2 \cdot d.ef = 209 \text{ mm}$$

Tuen pituus

$$b.l := 400 \text{ mm}$$

$$b.l.fi := b.l - 2 \cdot d.ef = 344 \text{ mm}$$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus
Mitoittava poikkileikkauksen sijainti palkin päästä

17 (22)

$$x.m.fi := \frac{L.0 \cdot h.1.fi}{2 \cdot h.2.fi} = 6.39 \text{ m}$$

Mitoittava poikkileikkauksen korkeus

$$h.m.fi := h.1.fi \cdot \left(2 - \frac{h.1.fi}{h.2.fi} \right) = 1.58 \text{ m}$$

Taivutuskestävyys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa

$$M.d.fi := \frac{P.d.fi \cdot L.0 \cdot x.m.fi}{2} \cdot \left(1 - \frac{x.m.fi}{L.0} \right) = 525.472 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa

$$\delta.m.d.fi := \frac{6 \cdot M.d.fi}{b.fi \cdot h.m.fi^2} = 6.046 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus

$$a := 2.862^\circ$$

kun viistetty reuna on puristettu

$$K.ma := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f.m.d.fi}{1.5 \cdot f.v.d.fi} \tan(a) \right)^2 + \left(\frac{f.m.d.fi}{f.c.90.d.fi} \cdot \tan(a) \right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto

$$\delta.m.d.fi \leq K.ma \cdot f.m.d.fi$$

$$K.ma \cdot f.m.d.fi = 33.163 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$6.197 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 33.163 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 19 %

Käyttöaste Ok kestää

Taivutuskestävyys harialla

$$M.d.max.fi := \frac{P.d.fi \cdot L.0^2}{8} = 597.784 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$K.l := 1 + 1.4 \cdot \tan(a) + 5.4 \cdot \tan(a)^2 = 1.083 \quad \text{Harjapalkille}$$

$$\delta.m.d.ap.fi := \frac{6 \cdot M.d.max.fi}{b.fi \cdot h.2.fi^2} = 5.314 \frac{N}{mm^2}$$

18 (22)

$$k.r := 1.0 \quad \text{Harjapalkille}$$

Mitoitusehto

$$\delta.m.d.ap.fi \leq k.r \cdot f.m.d.fi$$

$$k.r \cdot f.m.d.fi = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$5.447 \frac{N}{mm^2} < 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 16 %

Käyttöaste Ok kestää

Poikkittainen veto kestävyys harjalla

$$h.x.fi := \frac{h.2.fi}{2 \cdot 16} = 56.156 \text{ mm}$$

$$A.1.fi := \frac{h.2.fi}{2} \cdot h.x.fi = (5.046 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$A.2.fi := (h.2.fi - h.x.fi) \cdot h.2.fi = (3.128 \cdot 10^6) \text{ mm}^2$$

$$V.h.fi := (A.1.fi + A.2.fi) \cdot b.fi = 0.664 \text{ m}^3$$

$$V.b.fi := \left(L \cdot h.1.fi + \frac{L \cdot (h.2.fi - h.1.fi)}{2} \right) \cdot b.fi = 6.205 \text{ m}^3$$

$$V.fi := \min$$

$$V.fi.1 := V.h.fi = 0.664 \text{ m}^3 \quad V.fi.2 := \frac{2}{3} \cdot V.b.fi = 4.137 \text{ m}^3$$

$$V.fi := V.fi.1 = 0.664 \text{ m}^3$$

$$K.p := 0.2 \cdot \tan(\alpha) = 0.01 \quad \text{Harjapalkille}$$

$$\delta.t.90.d.fi := K.p \cdot \frac{6 \cdot M.d.max.fi}{b.fi \cdot h.2.fi^2} = 0.053 \frac{N}{mm^2}$$

$$V.0 := 0.01 \text{ m}^3 \quad \text{Vertailutilavuus}$$

$$K.vol := \left(\frac{V.0}{V.fi} \right)^{0.2} = 0.432$$

$$K.dis := 1.4 \quad \text{Harjapalkit}$$

Mitoitusehto

$$\delta.t.90.d.fi \leq K.dis \cdot K.vol \cdot f.t.90.d.fi$$

19 (22)

$$K_{dis} \cdot K_{vol} \cdot f_{t,90,d,fi} = 0.348 \frac{N}{mm^2}$$

$$0.054 \frac{N}{mm^2} < 0.349 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 16 %

Käyttöaste Ok kestää

Yhdistetty poikkittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla

$$P_{d,1,fi} := 0.4 \cdot PK.Q + PK.G = 12.455 \frac{kN}{m}$$

$$P_{d,2,fi} := \frac{0.4 \cdot PK.Q}{2} + PK.G = 10.155 \frac{kN}{m}$$

Tukireaktiot

$$A := \frac{\frac{P_{d,2,fi} \cdot L_0^2}{8} + \frac{P_{d,1,fi} \cdot 3 \cdot L_0^2}{8}}{L_0} = 116.394 \text{ kN}$$

$$B := P_{d,1,fi} \cdot \frac{L_0}{2} + P_{d,2,fi} \cdot \frac{L_0}{2} - A = 105.127 \text{ kN}$$

Leikkausvoima 0-kohta

$$x_{m,max} := A \cdot \frac{x}{B} \cdot P_{d,1,fi} \quad \text{Solve } x \rightarrow 14.6 \text{ m}$$

$$x_{m,max} := 14.6 \text{ m}$$

$$M_{d,max,fi} := A \cdot x_{m,max} - P_{d,1,fi} \cdot x_{m,max} \cdot \frac{x_{m,max}}{2} = 371.903 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$l_{ap,0} := \frac{L_0}{2} = 9.798 \text{ m}$$

$$M_{d,harja,fi} := A \cdot l_{ap,0} - P_{d,1,fi} \cdot l_{ap,0} \cdot \frac{l_{ap,0}}{2} = 542.589 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{d,harja,fi} := B - P_{d,2,fi} \cdot l_{ap,0} = 5.634 \text{ kN}$$

$$k_{cr} = 1.0$$

$$b_{eff,fi} = k_{cr} \cdot b_{fi} = 209 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys harjalla

$$\tau_{d,fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,harja,fi}}{b_{eff,fi} \cdot h_{2,fi}} = 0.022 \frac{N}{mm^2}$$

Lasketaan poikkittainen vetojännitys harjan kohdalla

$$\delta_{t,90,d,fi} := K_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d,harja,fi}}{b_{fi} \cdot h_{2,fi}^2} = 0.048 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

20 (22)

$$\frac{\tau.d.fi}{f.v.d.fi} + \frac{\delta.t.90.d.fi}{K.dis \cdot K.vol \cdot f.t.90.d.fi} \leq 1.0$$

$$\frac{\tau.d.fi}{f.v.d.fi} + \frac{\delta.t.90.d.fi}{K.dis \cdot K.vol \cdot f.t.90.d.fi} = 0.144$$

Käyttöaste 15 %

Käyttöaste Ok kestää

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla

$$\delta.m.max.fi := \frac{6 \cdot M.d.fi}{b.fi \cdot h.m.fi^2} = 6.046 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau.d.fi := \delta.m.max.fi \cdot \tan(\alpha) = 0.302 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\tau.d.fi \leq k.cr \cdot f.v.d.fi$$

$$k.cr \cdot f.v.d.fi = 4.025 \frac{N}{mm^2}$$

$$0.31 \frac{N}{mm^2} < 4.025 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 8 %

Käyttöaste Ok kestää

Leikkausjännitys tuella

$$V.d.fi := \frac{P.d.fi \cdot L.0}{2} = 122.028 \text{ kN}$$

$$V.red.fi := V.d.fi \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h.1.fi + b.l.fi}{L.0}\right) = 105.288 \text{ kN}$$

$$x.m.2.fi := \frac{b.l.fi}{20} = 17.2 \text{ mm}$$

$$h.m.2.fi := h.1.fi + x.m.2.fi = (1.189 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

$$\tau.d.fi := \frac{3}{2} \cdot \frac{V.red.fi}{b.fi \cdot h.m.2.fi} = 0.635 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\tau.d.fi \leq f.v.d.fi$$

$$0.651 \frac{N}{mm^2} < 4.025 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 17 %

Käyttöaste Ok kestää

Tukipainekestävyys

21 (22)

Palkin tukireaktio

$$V.d.fi := \frac{P.d.fi \cdot L.0}{2} = 122.028 \text{ kN}$$

Tehollinen tukipinnan pituus

$$l := b.l.fi = 344 \text{ mm}$$

$$l.c.90.ef := l + 30 \text{ mm} = 374 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$k.c.90 := 1.5 \quad \text{Liimapuu}$$

$$k.c := \frac{l.c.90.ef}{l} \cdot k.c.90 = 1.631$$

$$\delta.c.90.d.fi := \frac{V.d.fi}{b.fi \cdot l} = 1.697 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\delta.c.90.d.fi \leq k.c \cdot f.c.90.d.fi$$

$$k.c \cdot f.c.90.d.fi = 5.626 \frac{N}{mm^2}$$

$$1.697 \frac{N}{mm^2} < 5.626 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 31 %

Käyttöaste Ok kestää

Kiepahdukestävyys

Kiepahdustuentaväli

$$a := 2500 \text{ mm}$$

Tehollinen kiepahdustuentaväli

$$l.ef := a = 2.5 \text{ m}$$

$$C := 0.7 \quad \text{Liimapuu GL30c}$$

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa

$$M.d.fi := \frac{P.d.fi \cdot L.0 \cdot x.m.fi}{2} \cdot \left(1 - \frac{x.m.fi}{L.0}\right) = 525.472 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa

$$\delta.m.d.fi := \frac{6 \cdot M.d.fi}{b.fi \cdot h.m.fi^2} = 6.046 \frac{N}{mm^2}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

22 (22)

$$\delta_{m,crit,fi} := \frac{C \cdot b \cdot f_i^2}{h \cdot m \cdot f_i \cdot L \cdot E_f} \cdot E \cdot 0.05 \cdot f_i = 96.165 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\delta_{m,crit,fi}}} = 0.559$$

$$k_{crit} = 1.0 \quad \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0.75$$

Mitoitusehto

$$\delta_{m,d,fi} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d,fi}$$

$$k_{crit} \cdot f_{m,d,fi} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$6.197 \frac{N}{mm^2} < 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 18 %

Käyttöaste Ok kestää

Hallin liimapuurakenteisen pääkannattimen HP101 (harjapalkki) dimensioiksi saatiin 265 x (1200-1825-1200). Harjapalkkiin asennetaan teräslevyt 140x140x16 tuen kohdalle, koska tukipinta ei ole muutoin riittävä.

Liite 2. Mastopilarin mitoituksesta

1 (9)

liite 2

Kehän mastopilari

$K := 1.15$	2- aukkoisetn kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin
$S := 5.0 \text{ m}$	Mastopilarien k-jako
$B := 20 \text{ m}$	Rungon leveys
$H := 7.0 \text{ m}$	Rakennuksen korkeus
$L.p := 5.175 \text{ m}$	Pilarin pituus
$C.s.C.d := 1.0$	Rakennekerroin
$C.f := 1.3$	Voimakerroin sivuseinä vastaan

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q.p := 0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q.w.k := C.s.C.d \cdot C.f \cdot q.p \cdot S = 3.445 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Sienän tuulikuorma yläpohja osalta käyttörajatilassa

$$F.w.k := q.w.k \cdot (H - L.p) = 6.287 \text{ kN}$$

Nosturin jarrukuorma käyttörajatilassa

$$F.h.k = H.q.k$$

$$F.h.k := 1.0 \text{ kN}$$

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q.w.d := 1.5 \cdot K.FI \cdot C.s.C.d \cdot C.f \cdot q.p \cdot S = 5.168 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F.w.d := q.w.d \cdot (H - L.p) = 9.431 \text{ kN}$$

Nosturin jarrukuorma murtorajatilassa

$$F.h.d := 1.5 \cdot K.FI \cdot F.h.k = 1.5 \text{ kN}$$

Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$\psi.0.2 := 0.7 \quad \psi.0.3 := 1.0$$

$$N.d := (1.15 \cdot K.FI \cdot (g.k.3 + g.k.2) + 1.5 \cdot K.FI \cdot \psi.0.2 \cdot g.k.3) \cdot K \cdot S \cdot \frac{B}{2} + 1.15 \cdot K.FI \cdot g.k.1 \cdot \frac{B}{2} = 144.67 \text{ kN}$$

$$N.d = 144.67 \text{ kN}$$

Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$M.d.1 := \frac{5 \cdot q.w.d \cdot L.p^2}{16} = 43.247 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.d.2 := \frac{F.w.d \cdot L.p}{2} + \frac{F.h.d \cdot L.p}{2} = 28.283 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.d := M.d.1 + M.d.2 = 71.53 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2 (9)

Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V.d := \frac{4 \cdot q.w.d \cdot L.p}{5} + \frac{F.w.d}{2} + \frac{F.h.d}{2} = 26.859 \text{ kN}$$

Pilarin mitat

$$b := 265 \text{ mm}$$

Pilarin leveys

$$h := 405 \text{ mm}$$

Pilarin korkeus

$$A := b \cdot h = (1.073 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Pilarin
poikkileikkausala

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)

Maksimi normaalivoima

$$N.d = 144.67 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L.c.z := 2.5 \cdot L.p = 12.938 \text{ m}$$

$$I.y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (1.467 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i.y := \sqrt{\frac{I.y}{A}} = 116.913 \text{ mm}$$

$$\lambda.y := \frac{L.c.z}{i.y} = 110.659$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda.rel.y := \frac{\lambda.y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 1.695$$

Ky-Kerroin

$$B.c = 0.1 \quad \text{Alkukäyrästä riippuva kerroin liimapuulle}$$

$$K.y := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda.rel.y - 0.3) + (\lambda.rel.y)^2) = 2.006$$

Nurjahduskerroin Kc.y

$$K.c.y := \frac{1}{K.y + \sqrt{(K.y)^2 - (\lambda.rel.y)^2}} = 0.325$$

Puristusjännitys

$$\delta.c.0.d := \frac{N.d}{b \cdot h} = 1.348 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuus

3 (9)

$$K.mod := 1.1 \quad \gamma.M := 1.2$$

$$f.c.0.d := \frac{f.c.0.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 22.917 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjäännitys

$$\delta.m.y.d := \frac{6 \cdot M.d}{b \cdot h^2} = 9.874 \frac{N}{mm^2}$$

 k_h -kerroin (taivutus- ja vetolujuuden korotuskerroin)

$$K.h := \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \quad K.h := 1.04$$

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

$$f.m.y.d := \frac{f.m.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 27.5 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\delta.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} + \frac{\delta.m.y.d}{f.m.y.d} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} + \frac{\delta.m.y.d}{f.m.y.d} = 0.54$$

Käyttöaste 55 %

Käyttöaste Ok kestää

Kiepahduskestävyys**Taivutusjäännitys**

Maksimimomentti

$$\delta.m.y.d := \frac{6 \cdot M.d}{b \cdot h^2} = 9.874 \frac{N}{mm^2}$$

Kiepahdustuentaväli

$$a := 5175 \text{ mm} \quad \text{Pilarin pituus}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle

$$L.ef := 0.5 \cdot a = (2.588 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

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

$$L.ef.1 := L.ef - 0.5 \cdot h = (2.385 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

4 (9)

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli pistekuormille

$$L_{ef,2} = 0.8 \cdot a = (4.14 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Kuorma sijaitsee pilarin keskilinjalla (hankolautaliitos)

$$L_{ef,2} = (4.14 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle ja pistekuormille

$$M_{d,1} = 43.247 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tasainen kuorma aiheuttama momentti

$$M_{d,2} = 28.283 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pistekuormien aiheuttama momentti

$$L_{ef} = \frac{M_{d,1} \cdot L_{ef,1} + M_{d,2} \cdot L_{ef,2}}{M_{d,1} + M_{d,2}} = (3.079 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$$c := 0.71 \quad \text{Liimapuulle GL30c}$$

$$\delta_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef}} \cdot E \cdot 0.05 = 431.835 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\delta_{m,crit}}} = 0.264$$

K_{crit}-Kerroin

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

Leikkausvoimakestävyys

Maksimi leikkausvoima

$$V_d = 26.859 \text{ kN}$$

K_{cr}-Kerroin

$$K_{cr} = 0.67$$

$$b_{ef} := K_{cr} \cdot b = 177.55 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys tuella

$$\tau_{d,1} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d} := \frac{f_{v,k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 3.208 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

5 (9)

Mitoitusehto

$$\tau \cdot d \leq f \cdot v \cdot d$$

$$0.571 \frac{N}{mm^2} < 3.208 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 18 %

Käyttöaste Ok kestää

Mastopilarin 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 $H/300$.

Lisävaakavoima:

Rakenne

$$L := 20 \text{ m} \quad S = 5 \text{ m} \quad L.p := 5.175 \text{ m}$$

$$N.g.k1 := \frac{S \cdot K \cdot (g.k.3 + g.k.2) \cdot L + g.k.1 \cdot L}{2} = 78.55 \text{ kN}$$

$$H.g.t.k := \frac{N.g.k1}{150} = 0.524 \text{ kN}$$

$$M.g.k := H.g.t.k \cdot L.p = 2.71 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lumi

$$N.q.k1 := \frac{S \cdot K \cdot q.k \cdot L}{2} = 115 \text{ kN}$$

$$H.q.t.k := \frac{N.q.k1}{150} = 0.767 \text{ kN}$$

$$M.q.k := H.q.t.k \cdot L.p = 3.968 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuuli

$$q.k.1 := 0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q.k.2 := 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad L.ko := 1.825 \text{ m} \quad L.kv := 1.825 \text{ m}$$

$$W.1.k := S \cdot q.k.1 = 2.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Tuuli kuorma}$$

$$W.2.k := S \cdot q.k.2 = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Tuuli kuorma (imu)}$$

$$F.1.k := W.1.k \cdot L.ko = 4.836 \text{ kN} \quad \text{Katorakenteen tuulikuorma}$$

$$F.2.k := W.2.k \cdot L.kv = 2.738 \text{ kN} \quad \text{Katorakenteen tuulikuorma}$$

Tuulikuorman aiheuttama momentti

$$M.w.k := \frac{(W.1.k \cdot L.p^2 + W.2.k \cdot L.p^3)}{2} + L.p \cdot (F.1.k + F.2.k) = 94.764 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuulen aiheuttama leikkausvoima

6 (9)

$$V.w.k := \frac{L.p \cdot (W.1.k + W.2.k) + F.1.k + F.2.k}{2} = 14.525 \text{ kN}$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä

$$W.inst.G := \frac{H.g.t.k \cdot L.p^3}{3 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 1.269 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta

$$W.inst.Q := \frac{H.q.t.k \cdot L.p^3}{3 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 1.857 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta

$$W.inst.W := \frac{\left(\frac{W.1.k + W.2.k}{2}\right) \cdot L.p^4}{8 \cdot E.0.mean \cdot I.y} + \frac{\left(\frac{F.1.k + F.2.k}{2}\right) \cdot L.p^3}{3 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 18.927 \text{ mm}$$

Virumaluku liimapuu $K.def := 0.6$

Liikkuvan kuorman muttuva osuus $\psi.2.Q := 0.2$ $\psi.2.W := 0$

$$W.net.fin.G := (1 + K.def) \cdot W.inst.G = 2.03 \text{ mm}$$

$$W.net.fin.W := (1 + \psi.2.W \cdot K.def) \cdot W.inst.W = 18.927 \text{ mm}$$

$$W.net.fin.Q := (\psi.2.W + \psi.2.Q \cdot K.def) \cdot W.inst.Q = 0.223 \text{ mm}$$

$$W.net.fin := W.net.fin.G + W.net.fin.W + W.net.fin.Q = 21.18 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$W.net.fin.sall := \frac{H}{300} = 23.333 \text{ mm}$$

22 mm < 23.33 mm

Käyttöaste 94 %

Käyttöaste Ok kestää

Palotilanne

Palotilanteen
materiaalilujuus

$$K.mod.fi := 1.0 \quad \gamma.M.fi := 1.0 \quad K.fi := 1.15$$

Taivutuslujuus

$$f.m.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.m.k \cdot K.fi}{\gamma.M.fi} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

Vetolujuus

7 (9)

$$f.t.0.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.t.0.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 23 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.t.90.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.t.90.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus

$$f.c.0.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.c.0.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 28.75 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.90.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.c.90.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 3.45 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f.v.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.v.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli

$$E.0.05.fi := K.mod.fi \cdot \frac{E.0.05 \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli

$$G.mean.fi := K.mod.fi \cdot \frac{G.mean \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 747.5 \frac{N}{mm^2}$$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus

$$B.n = 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltymissyvyys

$$d.charn := B.n \cdot t = 21 \text{ mm} \quad d.0 := 7 \text{ mm} \quad K.0 := 1.0$$

$$d.ef := d.charn + K.0 \cdot d.0 = 28 \text{ mm}$$

Palo neljältä sivulta

$$h.fi := h - 2 \cdot d.ef = 349 \text{ mm}$$

$$b.fi := b - 2 \cdot d.ef = 209 \text{ mm}$$

Palotilanteen kuormat

KT5 100% op + 20% lumi + 20 % tuuli

$$\psi.2.Q := 0.2 \quad \psi.1.W := 0.2$$

$$N.d.fi := N.g.k1 + \psi.2.Q \cdot N.q.k1 = 101.55 \text{ kN}$$

$$V.d.fi := H.g.t.k + \psi.2.Q \cdot H.q.t.k + \psi.1.W \cdot V.w.k = 3.582 \text{ kN}$$

$$M.d.max.fi := M.g.k + \psi.2.Q \cdot M.q.k + \psi.1.W \cdot M.w.k = 22.456 \text{ kN} \cdot m$$

Nurjahduskestävyys
Pilarin poikkileikkausala

8 (9)

$$A.fi := b.fi \cdot h.fi = (7.294 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$L.c.z := 2.5 \cdot L.p = 12.938 \text{ m}$$

$$L.c.y := 1.0 \cdot L.p = 5.175 \text{ m}$$

$$I.y := \frac{b.fi \cdot h.fi^3}{12} = (7.404 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i.y := \sqrt{\frac{I.y}{A.fi}} = 100.748 \text{ mm}$$

$$I.z := \frac{h.fi \cdot b.fi^3}{12} = (2.655 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i.z := \sqrt{\frac{I.z}{A.fi}} = 60.333 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku

$$\lambda.y := \frac{L.c.y}{i.y} = 51.366$$

$$\lambda.z := \frac{L.c.z}{i.z} = 214.435$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda.rel.y := \frac{\lambda.y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 0.787 \quad \lambda.rel.z := \frac{\lambda.z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 3.284$$

$B.c := 1.0$ Savun alkukäyrästä riippuva kerroin, liimapuu

$$K.y := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda.rel.y - 0.3) + (\lambda.rel.y)^2) = 1.053$$

$$K.z := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda.rel.z - 0.3) + (\lambda.rel.z)^2) = 7.384$$

Nurjahduskerroin

$$K.c.y := \frac{1}{K.y + \sqrt{K.y^2 - \lambda.rel.y^2}} = 0.673$$

$$K.c.z := \frac{1}{K.z + \sqrt{K.z^2 - \lambda.rel.z^2}} = 0.251$$

Puristusjännitys

$$\delta.c.0.d.fi := \frac{N.d.fi}{A.fi} = 1.392 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Maksimi taivutusmomentti

$$\delta.m.y.d.fi := \frac{6 \cdot M.d}{b.fi \cdot h.fi^2} = 16.859 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

9 (9)

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.y \cdot f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.y \cdot f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} = 0.561$$

Käyttöaste 58 %

Käyttöaste Ok kestää

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z \cdot f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z \cdot f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} = 0.682$$

Käyttöaste 70 %

Käyttöaste Ok kestää

Kiepahduskestävyys

kiepahdustuentaväli $a := L.p = 5.175 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli

$$L.ef := 0.8 \cdot L.p = (4.14 \cdot 10^3) \text{ mm} \quad C := 0.7 \quad \text{Liimapuun GL30c}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\delta.m.crit := \frac{C \cdot b \cdot f_i^2}{h \cdot f_i \cdot L.ef} \cdot E \cdot 0.05 = 228.554 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f.m.k}{\delta.m.crit}} = 0.362$$

$$K.crit := 1.0$$

Mitoitusehto

$$\left(\frac{\delta.m.y.d.fi}{K.crit \cdot f.m.d.fi} \right)^2 + \frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z \cdot f.c.0.d.fi} \leq 1.0$$

$$\left(\frac{\delta.m.y.d.fi}{K.crit \cdot f.m.d.fi} \right)^2 + \frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z \cdot f.c.0.d.fi} = 0.432$$

Käyttöaste 45 %

Käyttöaste Ok kestää

Hallin liimapuurakenteisen kehän mastopilarin MP1 saatiin 265x405.

Liite 3. Nurkkapilarin mitoituksesta

liite 3

1 (9)

Nurkkapilari

$K := 1.15$	2- aukkoisetn kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin
$S := 5.0 \text{ m}$	Mastopilarien k-jako
$B := 20 \text{ m}$	Rungon leveys
$H := 7.0 \text{ m}$	Rakennuksen korkeus
$L.p := 5.99 \text{ m}$	Pilarin pituus
$C.s.C.d := 1.0$	Rakennekerroin
$C.f := 1.3$	Voimakerroin sivuseinä vastaan

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q.p := 0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q.w.k := C.s.C.d \cdot C.f \cdot q.p \cdot \frac{S}{2} = 1.723 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Sienän tuulikuorma yläpohja osalta käyttörajatilassa

$$F.w.k := q.w.k \cdot (H - L.p) = 1.74 \text{ kN}$$

Nosturin jarrukuorma käyttörajatilassa

$$F.h.k = H.q.k$$

$$F.h.k := 1.0 \text{ kN}$$

seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q.w.d := 1.5 \cdot K.FI \cdot C.s.C.d \cdot C.f \cdot q.p \cdot \frac{S}{2} = 2.584 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F.w.d := q.w.d \cdot (H - L.p) = 2.61 \text{ kN}$$

Nosturin jarrukuorma murtorajatilassa

$$F.h.d := 1.5 \cdot K.FI \cdot F.h.k = 1.5 \text{ kN}$$

Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$\psi.0.2 := 0.7 \quad \psi.0.3 := 1.0$$

$$N.d := (1.15 \cdot K.FI \cdot (g.k.3 + g.k.2) + 1.5 \cdot K.FI \cdot \psi.0.2 \cdot q.k) \cdot \frac{S}{2} \cdot \frac{B}{8} + 1.15 \cdot K.FI \cdot g.k.1 \cdot \frac{B}{8} = 25.43 \text{ kN}$$

$$N.d = 25.43 \text{ kN}$$

Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$M.d.1 := \frac{5 \cdot q.w.d \cdot L.p^2}{16} = 28.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.d.2 := \frac{F.w.d \cdot L.p}{2} + \frac{F.h.d \cdot L.p}{2} = 12.308 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.d := M.d.1 + M.d.2 = 41.279 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad 2 \text{ (9)}$$

Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V.d := \frac{4 \cdot q.w.d \cdot L.p}{5} + \frac{F.w.d}{2} + \frac{F.h.d}{2} = 14.436 \text{ kN}$$

Pilarin mitat

$$\begin{aligned} b &:= 240 \text{ mm} && \text{Pilarin leveys} \\ h &:= 540 \text{ mm} && \text{Pilarin korkeus} \\ A &:= b \cdot h = (1.296 \cdot 10^6) \text{ mm}^2 && \text{Pilarin poikkileikkausala} \end{aligned}$$

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)

Maksimi normaalivoima

$$N.d = 25.43 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L.e.z := 2.5 \cdot L.p = 14.975 \text{ m}$$

$$I.y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (3.149 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i.y := \sqrt{\frac{I.y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$\lambda.y := \frac{L.e.z}{i.y} = 96.065$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda.rel.y := \frac{\lambda.y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 1.471$$

Ky-Kerroin

$$B.c := 0.1 \quad \text{Alkukäyrästä riippuva kerroin liimapuulle}$$

$$K.y := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda.rel.y - 0.3) + (\lambda.rel.y)^2) = 1.641$$

Nurjahduskerroin Kc.y

$$K.c.y := \frac{1}{K.y + \sqrt{(K.y)^2 - (\lambda.rel.y)^2}} = 0.422$$

Puristusjännitys

$$\delta.c.0.d := \frac{N.d}{b \cdot h} = 0.196 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

3 (9)

Puristuslujuus

$$K_{mod} := 1.1 \quad \gamma_M := 1.2$$

$$f_{c,0,d} := \frac{f_{c,0,k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 22.917 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutusjännitys

$$\delta_{m,y,d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = 3.539 \frac{N}{mm^2}$$

k_h -kerroin (taivutus- ja vetolujuuden korotuskerroin)

$$K_h := \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \quad K_h := 1.04$$

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

Taivutuslujuus

$$f_{m,y,d} := \frac{f_{m,k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 27.5 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\delta_{c,0,d}}{K_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta_{c,0,d}}{K_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 0.149$$

Käyttöaste 16 %

Käyttöaste Ok kestää

Kiepahduskestävyys**Taivutusjännitys**

Maksimimomentti

$$\delta_{m,y,d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = 3.539 \frac{N}{mm^2}$$

Kiepahdustuentaväli

$$a := L_p = 5.99 \text{ m} \quad \text{Pilarin pituus}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle

$$L_{ef} := 0.5 \cdot a = (2.995 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

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

$$L_{ef,1} := L_{ef} - 0.5 \cdot h = (2.725 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli pistekuormille 4 (9)

$$L_{ef,2} = 0,8 \cdot a = (4,792 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Kuorma sijaitsee pilarin keskilinjalla (hankolautaliitos)

$$L_{ef} = L_{ef,2} = 4,792 \text{ m}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle ja pistekuormille

$$M_{d,1} = 28,97 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Tasainen kuorma aiheuttama momentti}$$

$$M_{d,2} = 12,308 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Pistekuormien aiheuttama momentti}$$

$$L_{ef} = \frac{M_{d,1} \cdot L_{ef,1} + M_{d,2} \cdot L_{ef,2}}{M_{d,1} + M_{d,2}} = (3,341 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$$c := 0,71 \quad \text{Liimapuulle GL30c}$$

$$\delta_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L_{ef}} \cdot E \cdot 0,05 = 244,789 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\delta_{m,crit}}} = 0,35$$

K_{crit}-Kerroin

Pilarin ei ole kipepahdusherkkä, koska k_{crit}-kertoimen arvo on 1. Näin ollen kipahduksen jännitysehtoja ei tarvitse tarkastaa

Leikkausvoimakestävyys

Maksimi leikkausvoima

$$V_{d,1} = 14,436 \text{ kN}$$

K_{cr}-Kerroin

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

$$b_{ef} = K_{cr} \cdot b = 160,8 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys tuella

$$\tau_{d,1} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,1}}{b_{ef} \cdot h} = 0,249 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d,1} = \frac{f_{v,k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 3,208 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

5 (9)

$$\tau \cdot d \leq f_{v,d}$$

$$0.301 \frac{N}{mm^2} < 3.208 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 11 %

Käyttöaste Ok kestää

Nurkkapilarin siirtymä

Nurkkapilarin siirtymä vaakakuomista tulee tarkastaa. Siirtymä voidaan määrittää esimerkiksi yksikkövoimamenetelmällä, mutta tässä esimerkissä se tehdään statiikkaohjelmalla. Kuomina käytetään esimerkin alussa määritettyjä käyttörajatilan kuomia.

Rakennuksen vaakasiirtymän enimmäisarvo on $H/300$.

Lisävaakavoima:

Rakenne

$$L := 20 \text{ m} \quad S = 5 \text{ m} \quad L.p := 5.99 \text{ m}$$

$$N.g.k1 := \frac{S \cdot K \cdot (g.k.3 + g.k.2) \cdot L + g.k.1 \cdot L}{2} = 78.55 \text{ kN}$$

$$H.g.t.k := \frac{N.g.k1}{150} = 0.524 \text{ kN}$$

$$M.g.k := H.g.t.k \cdot L.p = 3.137 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lumi

$$N.q.k1 := \frac{S \cdot K \cdot q.k \cdot L}{2} = 115 \text{ kN}$$

$$H.q.t.k := \frac{N.q.k1}{150} = 0.767 \text{ kN}$$

$$M.q.k := H.q.t.k \cdot L.p = 4.592 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuuli

$$q.k.1 := 0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q.k.2 := 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad L.ko := 1.825 \text{ m} \quad L.kv := 1.825 \text{ m}$$

$$W.1.k := S \cdot q.k.1 = 2.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Tuuli kuorma}$$

$$W.2.k := S \cdot q.k.2 = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Tuuli kuorma (imu)}$$

$$F.1.k := W.1.k \cdot L.ko = 4.836 \text{ kN} \quad \text{Katorakenteen tuulikuorma}$$

$$F.2.k := W.2.k \cdot L.kv = 2.738 \text{ kN} \quad \text{Katorakenteen tuulikuorma}$$

Tuulikuorman aiheuttama momentti

$$M.w.k := \frac{(W.1.k \cdot L.p^2 + W.2.k \cdot L.p^2)}{2} + L.p \cdot (F.1.k + F.2.k) = 119.818 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuulen aiheuttama leikkausvoima

6 (9)

$$V.w.k := \frac{L.p \cdot (W.1.k + W.2.k) + F.1.k + F.2.k}{2} = 16.216 \text{ kN}$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä

$$W.inst.G := \frac{H.g.t.k \cdot L.p^2}{3 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 0.916 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta

$$W.inst.Q := \frac{H.q.t.k \cdot L.p^2}{3 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 1.342 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta

$$W.inst.W := \frac{\left(\frac{W.1.k + W.2.k}{2}\right) \cdot L.p^4}{8 \cdot E.0.mean \cdot I.y} + \frac{\left(\frac{F.1.k + F.2.k}{2}\right) \cdot L.p^3}{3 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 14.783 \text{ mm}$$

Virumaluku liimapuu $K.def := 0.6$

Liikkuvan kuorman muttuva osuus $\psi.2.Q = 0.2$ $\psi.2.W = 0$

$$W.net.fin.G := (1 + K.def) \cdot W.inst.G = 1.466 \text{ mm}$$

$$W.net.fin.W := (1 + \psi.2.W \cdot K.def) \cdot W.inst.W = 14.783 \text{ mm}$$

$$W.net.fin.Q := (\psi.2.W + \psi.2.Q \cdot K.def) \cdot W.inst.Q = 0.161 \text{ mm}$$

$$W.net.fin := W.net.fin.G + W.net.fin.W + W.net.fin.Q = 16.41 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$W.net.fin.sall := \frac{H}{300} = 23.333 \text{ mm}$$

$$19.3 \text{ mm} < 23.33 \text{ mm}$$

Käyttöaste 83 %

Käyttöaste Ok kestää

Palotilanne

Palotilanteen
materiaalilujuus

$$K.mod.fi = 1.0 \quad \gamma.M.fi = 1.0 \quad K.fi = 1.15$$

Taivutuslujuus

$$f.m.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.m.k \cdot K.fi}{\gamma.M.fi} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

Vetolujuus

$$f.t.0.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.t.0.k \cdot K.fi}{\gamma.M.fi} = 23 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t,90,d,fi} := K_{mod,fi} \cdot \frac{f_{t,90,k} \cdot K_{fi}}{\gamma_{M,fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2} \quad 7 (9)$$

Puristuslujuus

$$f_{c,0,d,fi} := K_{mod,fi} \cdot \frac{f_{c,0,k} \cdot K_{fi}}{\gamma_{M,fi}} = 28.75 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,90,d,fi} := K_{mod,fi} \cdot \frac{f_{c,90,k} \cdot K_{fi}}{\gamma_{M,fi}} = 3.45 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d,fi} := K_{mod,fi} \cdot \frac{f_{v,k} \cdot K_{fi}}{\gamma_{M,fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli

$$E_{0,05,fi} := K_{mod,fi} \cdot \frac{E_{0,05,k} \cdot K_{fi}}{\gamma_{M,fi}} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$$

Liukuomoduuli

$$G_{mean,fi} := K_{mod,fi} \cdot \frac{G_{mean,k} \cdot K_{fi}}{\gamma_{M,fi}} = 747.5 \frac{N}{mm^2}$$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus

$$B_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

$$\text{Nimellinen hiltymissyvyys} \quad d_{charn} := B_n \cdot t = 21 \text{ mm}$$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad K_0 = 1.0$$

$$d_{ef} := d_{charn} + K_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Palo neljältä sivulta

$$h_{fi} := h - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$$

$$b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 184 \text{ mm}$$

Palotilanteen kuormat

$$KT5 \text{ 100\% op} + 20\% \text{ lumi} + 20\% \text{ tuuli} \quad \psi_{2,Q} = 0.2 \quad \psi_{1,W} = 0.2$$

$$N_{d,fi} := N_{g,k1} + \psi_{2,Q} \cdot N_{q,k1} = 101.55 \text{ kN}$$

$$V_{d,fi} := H_{g,t,k} + \psi_{2,Q} \cdot H_{q,t,k} + \psi_{1,W} \cdot V_{w,k} = 3.92 \text{ kN}$$

$$M.d.max.fi := M.g.k + \psi.2.Q \cdot M.q.k + \psi.1.W \cdot M.w.k = 28.019 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad 8 \text{ (9)}$$

Nurjahduskestävyys

Pilarin poikkileikkausala

$$A.fi := b.fi \cdot h.fi = (8.906 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$L.c.z := 2.5 \cdot L.p = 14.975 \text{ m}$$

$$L.c.y := 1.0 \cdot L.p = 5.99 \text{ m}$$

$$I.y := \frac{b.fi \cdot h.fi^3}{12} = (1.738 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i.y := \sqrt{\frac{I.y}{A.fi}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I.z := \frac{h.fi \cdot b.fi^3}{12} = (2.513 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i.z := \sqrt{\frac{I.z}{A.fi}} = 53.116 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku

$$\lambda.y := \frac{L.c.y}{i.y} = 42.872$$

$$\lambda.z := \frac{L.c.z}{i.z} = 281.929$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda.rel.y := \frac{\lambda.y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 0.657 \quad \lambda.rel.z := \frac{\lambda.z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 4.318$$

$B.c := 1.0$ Savun alkukäyrästä riippuva kerroin, liimapuu

$$K.y := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda.rel.y - 0.3) + (\lambda.rel.y)^2) = 0.894$$

$$K.z := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda.rel.z - 0.3) + (\lambda.rel.z)^2) = 11.83$$

Nurjahduskerroin

$$K.c.y := \frac{1}{K.y + \sqrt{K.y^2 - \lambda.rel.y^2}} = 0.737$$

$$K.c.z := \frac{1}{K.z + \sqrt{K.z^2 - \lambda.rel.z^2}} = 0.199$$

Puristusjännitys

$$\delta.c.0.d.fi := \frac{N.d.fi}{A.fi} = 1.14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Maksimi taivutusmomentti

$$\delta.m.y.d.fi := \frac{6 \cdot M.d}{b.fi \cdot h.fi^2} = 5.746 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

9 (9)

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.y.f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.y.f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} = 0.22$$

Käyttöaste 24 %

Käyttöaste Ok kestää

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z.f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z.f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} = 0.366$$

Käyttöaste 35 %

Käyttöaste Ok kestää

Kiepahduskestävyys

kiepahdustuentaväli $a := L.p = 5.99 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli

$$L.ef := 0.8 \cdot L.p = (4.792 \cdot 10^3) \text{ mm} \quad C := 0.7 \quad \text{Liimapuu GL30c}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\delta.m.crit := \frac{C \cdot b \cdot f_i^2}{h \cdot f_i \cdot L.ef} \cdot E \cdot 0.05 = 110.356 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f.m.k}{\delta.m.crit}} = 0.521$$

$$K.crit := 1.0$$

Mitoitusehto

$$\left(\frac{\delta.m.y.d.fi}{K.crit \cdot f.m.d.fi} \right)^2 + \frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z.f.c.0.d.fi} \leq 1.0$$

$$\left(\frac{\delta.m.y.d.fi}{K.crit \cdot f.m.d.fi} \right)^2 + \frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z.f.c.0.d.fi} = 0.227$$

Käyttöaste 21 %

Käyttöaste Ok kestää

Hallin liimapuurakenteisen kehän mastopilarin MP2 saatiin 240x540.

Liite 4. Tuulipilarin mitoituksesta

liite 4 Tuulipilari (päätypilari)

1 (12)

$K := 1.15$	2- aukkoisetn kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin
$S := 5.0 \text{ m}$	Mastopilarien k-jako
$B := 5.0 \text{ m}$	Pilarin kuormitusleveys
$H := 7.0 \text{ m}$	Rakennuksen korkeus
$L.p := 6.605 \text{ m}$	Pilarin pituus
$C.s.C.d := 1.0$	Rakennekerroin
$C.f := 1.3$	Voimakerroin sivuseinä vastaan
$B.1 := 20 \text{ m}$	Rakennuksen leveys
$L.1 := 35 \text{ m}$	Rakennuksen Pituus

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q.p := 0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q.w.k := C.s.C.d \cdot C.f \cdot q.p \cdot B = 3.445 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q.w.d := 1.5 \cdot K.FI \cdot q.w.k = 5.168 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$\psi.0.2 = 0.7 \quad \psi.0.3 = 1.0$$

$$N.d = (1.15 \cdot K.FI \cdot (g.k.3 + g.k.2) + 1.5 \cdot K.FI \cdot \psi.0.2 \cdot q.k) \cdot \frac{S}{2} \cdot B + 1.15 \cdot K.FI \cdot g.k.1 \cdot B = 50.86 \text{ kN}$$

$$N.d = 50.86 \text{ kN}$$

Pilarin taivutusmomentti tuulikuormasta murtorajatilassa pilarin juuressa

$$M.d.1 := \frac{q.w.d \cdot L.p^2}{8} = 28.18 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pilarin taivutusmomentti kuorman epäkeskisyydestä murtorajatilassa pilarin juuressa

$$e := \frac{L.p}{500} = 0.013 \text{ m}$$

$$M.d.2 := N.d \cdot e = 0.672 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V.d.1 := \frac{5 \cdot q.w.d \cdot L.p}{8} = 21.332 \text{ kN}$$

Pilarin leikkausvoima kuorma epäkeskisyydestä murtorajatilassa 2 (12)

$$V.d.2 := \frac{N.d.e + \frac{N.d.e}{2}}{L.p} = 0.153 \text{ kN}$$

Kiepahdustuentavoima

Tukemattoman palkin tehollinen jänneväli

$$L.ef = 0.9 \cdot L = 18 \text{ m}$$

$C := 0.7$ Liimapuu GL30c

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$b = 265 \text{ mm}$$

$$\sigma.m.crit := \frac{C \cdot b^2}{h.m \cdot L.ef} \cdot E \cdot 0.05 = 22.549 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda.rel.m := \sqrt{\frac{f.m.k}{\sigma.m.crit}} = 1.153$$

$$k.crit := \frac{1}{\lambda.rel.m^2} = 0.752 \quad \text{kun } 1.4 \lambda.rel.m$$

Momentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$M.g.k := \frac{PK.G \cdot L \cdot x.m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x.m}{L}\right) = 343.036 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.q.k := \frac{PK.Q \cdot L \cdot x.m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x.m}{L}\right) = 502.217 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Puristusvoima palkin yläreunassa

$$N.g.k := (1 - k.crit) \cdot \frac{M.g.k}{h.m} = 65.134 \text{ kN}$$

$$N.q.k := (1 - k.crit) \cdot \frac{M.q.k}{h.m} = 95.358 \text{ kN}$$

$$K.I := 1.0$$

Kiepahdusvoima

$$n := 4$$

Linja johon vaikuttaa

$$Q.g.k := K.I \cdot \frac{N.g.k}{50 \cdot L} = 0.065 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Omapaino

$$Q.q.k := K.I \cdot \frac{N.q.k}{50 \cdot L} = 0.095 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

LumiKuorma

Omapaino lisävaakavoima

$$P.g.k := 7.855 \text{ kN}$$

$$P.q.k := 11.5 \text{ kN}$$

$$H.g.t.k.a := \left(\frac{B.1}{L.1} \cdot \frac{P.g.k}{150}\right) = 29.924 \text{ N}$$

$$H.q.t.k.a := \left(\frac{B.1}{L.1} \cdot \frac{P.q.k}{150}\right) = 43.81 \text{ N}$$

Kiepahdustuennasta

3 (12)

$$H.g.t.k.b := S \cdot Q.g.k \cdot n = 1.303 \text{ kN}$$

$$H.q.t.k.b := S \cdot Q.q.k \cdot n = 1.907 \text{ kN}$$

$$H.g.t.k := H.g.t.k.a + H.g.t.k.b = 1.333 \text{ kN}$$

$$H.q.t.k := H.q.t.k.a + H.q.t.k.b = 1.951 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima aiheuttama momentti

$$M.g.k := H.g.t.k \cdot L.p = 8.802 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.q.k := H.q.t.k \cdot L.p = 12.886 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pilarin mitat

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

Pilarin leveys

$$h := 540 \text{ mm}$$

Pilarin korkeus

$$A := b \cdot h = (1.296 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Pilarin
poikkileikkausala**Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan)****Maksimi normaalivoima**

$$N.d = 50.86 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L.c.z := 2.5 \cdot L.p = 16.513 \text{ m}$$

$$I.y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (3.149 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i.y := \sqrt{\frac{I.y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$\lambda.y := \frac{L.c.z}{i.y} = 105.928$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda.rel.y := \frac{\lambda.y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 1.622$$

Ky-Kerroin

$$B.c := 0.1 \quad \text{Alukäyrydestä riippuva kerroin liimapuulle}$$

$$K.y := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda.rel.y - 0.3) + (\lambda.rel.y)^2) = 1.882$$

Nurjahduskerroin $K_{c,y}$

4 (12)

$$K_{c,y} := \frac{1}{K_{c,y} + \sqrt{(K_{c,y})^2 - (\lambda_{rel,y})^2}} = 0.353$$

Puristusjäännitys

$$\delta_{c,0,d} := \frac{N_{d,d}}{b \cdot h} = 0.392 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus

$$K_{mod} := 1.1 \quad \gamma_M := 1.2$$

$$f_{c,0,d} := \frac{f_{c,0,k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 22.917 \frac{N}{mm^2}$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_{d,d} := M_{d,1} + M_{d,2} = 28.852 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{tuulikuorma + Kuorma epäkeskisyys}$$

Taivutusjäännitys

$$\delta_{m,y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,d}}{b \cdot h^2} = 2.474 \frac{N}{mm^2}$$

k_h -kerroin (taivutus- ja vetolujuuden korotuskerroin)

$$K_h := \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \quad K_h = 1.04$$

Taivutuslujuus

$$f_{m,y,d} := \frac{K_h \cdot f_{m,k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 28.6 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\delta_{c,0,d}}{K_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta_{c,0,d}}{K_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\delta_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 0.135$$

Käyttöaste 14 %

Käyttöaste Ok kestää

Nurjahduskestävyys (Y-suuntaan)

$$b = 540 \text{ mm}$$

Pilarin leveys

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

Pilarin korkeus

$$A := b \cdot h = (1.296 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Pilarin poikkileikkausala

Maksimi normaalivoima

$$N.d = 50.86 \text{ kN}$$

5 (12)

Hoikkuusluku

$$L.c.z := 2.5 \cdot L.p = 16.513 \text{ m}$$

$$I.z := \frac{b \cdot h^3}{12} = (6.221 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i.z := \sqrt{\frac{I.y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$\lambda.z := \frac{L.c.z}{i.y} = 105.928$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda.z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 1.622$$

Ky-Kerroin

$$B.c = 0.1 \quad \text{Alkukäyrästä riippuva kerroin liimapuulle}$$

$$K.z := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + (\lambda_{rel.z})^2) = 1.882$$

Nurjahduskerroin $K_{c.y}$

$$K_{c.z} := \frac{1}{K.z + \sqrt{(K.z)^2 - (\lambda_{rel.z})^2}} = 0.353$$

Puristusjännitys

$$\delta.c.0.d := \frac{N.d}{b \cdot h} = 0.392 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuus

$$K.mod := 1.1 \quad \gamma.M := 1.2$$

$$f.c.0.d := \frac{f.c.0.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 22.917 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$K.m := 0.7 \quad \text{Liimapuun/suorakaidepoikkileikkaus}$$

$$\frac{\delta.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} + \frac{\delta.m.y.d}{f.m.y.d} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} + 0.7 \cdot \frac{\delta.m.y.d}{f.m.y.d} = 0.109$$

Käyttöaste 11 %
 Käyttöaste Ok kestää

6 (12)

Kiepahduskestävyys

$b = 240 \text{ mm}$ Pilarin leveys
 $h = 540 \text{ mm}$ Pilarin korkeus
 $A := b \cdot h = (1.296 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$ Pilarin poikkileikkausala

Taivutusjännitys
 Maksimimomentti

$$M.d = 28.852 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.d.1 := M.d + M.g.k + M.q.k = 50.54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\delta.m.y.d := \frac{6 \cdot M.d.1}{b \cdot h^2} = 4.333 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kiepahdustuentaväli

$$a := L.p = 6.605 \text{ m} \quad \text{Pilarin pituus}$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli

$$L.ef.1 := 1.0 \cdot a = (6.605 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Kuorma sijaitsee vedetyllä reunalla, joten tehollista jänneväliä voidaan pienentää mitan 2h verran.

$$L.ef := L.ef.1 + 2 \cdot h = (7.685 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$$c := 0.71 \quad \text{Liimapuulle GL30c}$$

$$\delta.m.crit := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot L.ef} \cdot E \cdot 0.05 = 106.431 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda.rel.m := \sqrt{\frac{f.m.k}{\delta.m.crit}} = 0.531$$

K.crit-Kerroin

Pilari ei ole kiepahdusherkkä, koska k.crit- kertoimen arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitysehtoja ei tarvitse tarkastaa.

Leikkausvoimakestävyys

7 (12)

Maksimi leikkausvoima

$$V.d := V.d.1 + V.d.2 = 21.485 \text{ kN}$$

K.cr-Kerroin

$$K.cr := 0.67$$

$$b.ef := K.cr \cdot b = 160.8 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys tuella

$$\tau.d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V.d}{b.ef \cdot h} = 0.371 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuus

$$f.v.d := \frac{f.v.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 3.208 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\tau.d \leq f.v.d$$

$$0.5 \frac{N}{\text{mm}^2} < 3.208 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 16 %

Käyttöaste Ok kestää

Taipuma

Pilarin jäyhyysmomentti

$$I.y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (3.149 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma

$$W.inst.Q := \frac{q.w.k \cdot L.p^4}{185 \cdot E.O.mean \cdot I.y} = 0.866 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$W.net.fin := W.inst.Q \quad \text{Tuulikuormalla lopputaipuma}$$

Taipumaraja

$$W.net.fin \leq \frac{L}{300} \quad \frac{L}{300} = 66.667 \text{ mm}$$

$$0.87 \text{ mm} \leq 66.667 \text{ mm}$$

Käyttöaste 2 %

Käyttöaste Ok kestää

Tuulipilarin siirtymä

Tuulipilarikehän 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 $H/300$.

Lisävaakavoima:

Rakenne

$$L := 20 \text{ m} \quad S = 5 \text{ m} \quad L.p := 6.605 \text{ m}$$

$$N.g.k1 := \frac{S \cdot K \cdot (g.k.3 + g.k.2) \cdot L + g.k.1 \cdot L}{2} = 78.55 \text{ kN}$$

$$H.g.t.k := \frac{N.g.k1}{150} = 0.524 \text{ kN}$$

$$M.g.k := H.g.t.k \cdot L.p = 3.459 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lumi

$$N.q.k1 := \frac{S \cdot K \cdot q.k \cdot L}{2} = 115 \text{ kN}$$

$$H.q.t.k := \frac{N.q.k1}{150} = 0.767 \text{ kN}$$

$$M.q.k := H.q.t.k \cdot L.p = 5.064 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuuli

$$q.k.1 := 0.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q.k.2 := 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad L.ko := 1.825 \text{ m} \quad L.kv := 1.825 \text{ m}$$

$$W.1.k := S \cdot q.k.1 = 2.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Tuuli kuorma}$$

$$W.2.k := S \cdot q.k.2 = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Tuuli kuorma (imu)}$$

$$F.1.k := W.1.k \cdot L.ko = 4.836 \text{ kN} \quad \text{Katorakenteen tuulikuorma}$$

$$F.2.k := W.2.k \cdot L.kv = 2.738 \text{ kN} \quad \text{Katorakenteen tuulikuorma}$$

Tuulikuorman aiheuttama momentti

$$M.w.k := \frac{(W.1.k \cdot L.p^2 + W.2.k \cdot L.p^2)}{2} + L.p \cdot (F.1.k + F.2.k) = 140.549 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuulen aiheuttama leikkausvoima

$$V.w.k := \frac{L.p \cdot (W.1.k + W.2.k) + F.1.k + F.2.k}{2} = 17.492 \text{ kN}$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä

$$W.inst.G := \frac{H.g.t.k \cdot L.p^3}{3 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 1.229 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta

9 (12)

$$W_{inst.Q} = \frac{H_{q.1.k} \cdot L \cdot p^3}{3 \cdot E \cdot I_y} = 1.799 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta

$$W_{inst.W} = \frac{\left(\frac{W_{1.k} + W_{2.k}}{2}\right) \cdot L \cdot p^4}{8 \cdot E \cdot I_y} + \frac{\left(\frac{F_{1.k} + F_{2.k}}{2}\right) \cdot L \cdot p^3}{3 \cdot E \cdot I_y} = 20.942 \text{ mm}$$

Virumaluku liimapuu $K_{def} = 0.6$

Liikkuvan kuorman muuttuva osuus $\psi_{2.Q} = 0.2$ $\psi_{2.W} = 0$

$$W_{net.fin.G} = (1 + K_{def}) \cdot W_{inst.G} = 1.966 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} = (1 + \psi_{2.W} \cdot K_{def}) \cdot W_{inst.W} = 20.942 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} = (\psi_{2.W} + \psi_{2.Q} \cdot K_{def}) \cdot W_{inst.Q} = 0.216 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} = W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 23.124 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$W_{net.fin.sall} = \frac{H}{300} = 23.333 \text{ mm}$$

$$23.124 \text{ mm} < 23.33 \text{ mm}$$

Käyttöaste 99 %

Käyttöaste Ok kestää

Palotilanne

10 (12)

Palotilanteen
materiaalilujuus

$$K.mod.fi := 1.0 \quad \gamma M.fi := 1.0 \quad K.fi := 1.15$$

Taivutuslujuus

$$f.m.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.m.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

Vetolujuus

$$f.t.0.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.t.0.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 23 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.t.90.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.t.90.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus

$$f.c.0.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.c.0.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 28.75 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.90.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.c.90.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 3.45 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f.v.d.fi := K.mod.fi \cdot \frac{f.v.k \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$$

Kimmomoduuli

$$E.0.05.fi := K.mod.fi \cdot \frac{E.0.05 \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$$

Liukumoduuli

$$G.mean.fi := K.mod.fi \cdot \frac{G.mean \cdot K.fi}{\gamma M.fi} = 747.5 \frac{N}{mm^2}$$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus

$$B.n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltymissyvyys $d.charn := B.n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d.0 := 7 \text{ mm} \quad K.0 := 1.0$$

$$d.ef := d.charn + K.0 \cdot d.0 = 28 \text{ mm}$$

Palo neljältä sivulta

$$h.fi := h - 2 \cdot d.ef = 484 \text{ mm}$$

$$b.fi := b - 2 \cdot d.ef = 184 \text{ mm}$$

Palotilanteen kuormat

$$\text{KT5 } 100\% \text{ op} + 20\% \text{ lumi} + 20\% \text{ tuuli} \quad \psi_{2,Q} = 0.2 \quad \psi_{1,W} = 0.2$$

11 (12)

$$N.d.fi := N.g.k1 + \psi_{2,Q} \cdot N.q.k1 = 101.55 \text{ kN}$$

$$V.d.fi := H.g.t.k + \psi_{2,Q} \cdot H.q.t.k + \psi_{1,W} \cdot V.w.k = 4.175 \text{ kN}$$

$$M.d.max.fi := M.g.k + \psi_{2,Q} \cdot M.q.k + \psi_{1,W} \cdot M.w.k = 32.581 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys

Pilarin poikkileikkausala

$$A.fi := b.fi \cdot h.fi = (8.906 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$L.c.z := 2.5 \cdot L.p = 16.513 \text{ m}$$

$$L.c.y := 1.0 \cdot L.p = 6.605 \text{ m}$$

$$I.y := \frac{b.fi \cdot h.fi^3}{12} = (1.738 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i.y := \sqrt{\frac{I.y}{A.fi}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I.z := \frac{h.fi \cdot b.fi^3}{12} = (2.513 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i.z := \sqrt{\frac{I.z}{A.fi}} = 53.116 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku

$$\lambda.y := \frac{L.c.y}{i.y} = 47.274$$

$$\lambda.z := \frac{L.c.z}{i.z} = 310.875$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda.y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 0.724$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda.z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 4.761$$

$B.c := 1.0$ Savun alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu

$$K.y := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + (\lambda_{rel.y})^2) = 0.974$$

$$K.z := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + (\lambda_{rel.z})^2) = 14.064$$

Nurjahduskerroin

$$K.c.y := \frac{1}{K.y + \sqrt{K.y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} = 0.702$$

$$K.c.z := \frac{1}{K.z + \sqrt{K.z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} = 0.183$$

Puristusjäännitys

12 (12)

$$\delta.c.0.d.fi := \frac{N.d.fi}{A.fi} = 1.14 \frac{N}{mm^2}$$

Maksimi taivutusmomentti

$$\delta.m.y.d.fi := \frac{6 \cdot M.d}{b.fi \cdot h.fi^2} = 4.016 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.y \cdot f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.y \cdot f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} = 0.173$$

Käyttöaste 18 %

Käyttöaste Ok kestää

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z \cdot f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} \leq 1.0$$

$$\frac{\delta.c.0.d.fi}{K.c.z \cdot f.c.0.d.fi} + \frac{\delta.m.y.d.fi}{f.m.d.fi} = 0.333$$

Käyttöaste 34 %

Käyttöaste Ok kestää

Hallin liimapuurakenteisen tuulipilarin TP1 saatiin 240x540.

Liite 5. Päätypalkin mitoituksesta

liite 5

1 (5)

Päätöseinän palkki

Palkin maksimi taivutusmomentti murtorajatilassa

Tukimomentti statiikkaohjelmasta

$$L := 5.0 \text{ m}$$

$$M.d.1 := 0.125 \cdot P.d \cdot L^2 = 82.135 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kenttämomentti statiikkaohjelmasta

$$M.d.2 := 0.070 \cdot P.d \cdot L^2 = 45.996 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Palkin maksimi leikkausvoima murtorajatilassa

$$V.d := 0.375 \cdot P.d \cdot L = 49.281 \text{ kN}$$

Palkin maksimi leikkausvoima murtorajatilassa

$$B.d := V.d \cdot 2 = 98.562 \text{ kN}$$

Palkin lähtötiedot

$$b := 240 \text{ mm} \quad \text{Palkin leveys}$$

$$L.p := 240 \text{ mm} \quad \text{Tuulipilarin leveys}$$

$$h := 405 \text{ mm} \quad \text{Palkin korkeus}$$

Taivutuskestävyys

Maksimi taivutusmomentti

$$M.d := M.d.1 = 82.135 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys

$$\delta.m.y.d := \frac{6 \cdot M.d}{b \cdot h^2} = 12.519 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

k_n-kerroin (taivutus- ja vetolujuuden korotuskerroin)

$$K.h := \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \quad K.h := 1.04$$

Taivutuslujuus

$$f.m.d := \frac{K.h \cdot f.m.k \cdot K.mod}{\gamma_M} = 28.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\delta.m.y.d \leq f.m.d$$

$$12.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 28.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 44 %

Käyttöaste Ok kestää

Taivutuskestävyys

2 (5)

Maksimi taivutusmomentti

$$M.d := M.d.1 = 82.135 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$h := 240 \text{ mm} \quad b := 405 \text{ mm}$$

Taivutusjännitys

$$\delta.m.z.d := \frac{6 \cdot M.d}{b \cdot h^2} = 21.125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

kh-kerroin (taivutus- ja vetolujuuden korotuskerroin)

$$K.h := \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \quad K.h = 1.04$$

Taivutuslujuus

$$f.m.d := \frac{K.h \cdot f.m.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 28.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\delta.m.z.d \leq f.m.d$$

$$21.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 28.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 76 %

Käyttöaste Ok kestää

Kiepahduskestävyys**Taivutusjännitys****Maksimi taivutusmomentti kentässä**

$$M.d := M.d.2 = 45.996 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\delta.m.y.d := \frac{6 \cdot M.d}{b \cdot h^2} = 11.83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kiepahdustuentaväli

$$a := 2500 \text{ mm} \quad \text{Kattoelementtien leveys}$$

Sivusuunnassa tuetun palkin tehollinen jänneväli

$$L.ef := a + 2 \cdot h = (2.98 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$$e := 0.71 \quad \text{Liimapuulle GL30c}$$

$$\delta.m.crit := \frac{e \cdot b^2}{h \cdot L.ef} \cdot E.0.05 = (1.759 \cdot 10^3) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus

3 (5)

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\delta_{m,crit}}} = 0.131$$

K.crit-Kerroin

$$K_{crit} := 1.0$$

Pilari ei ole kiepahdusherkkä, koska k.crit- kertoimen arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitysehtoja ei tarvitse tarkastaa.

Leikkausvoimakestävyys

Maksimi leikkausvoima

$$V.d = 49.281 \text{ kN}$$

K.cr-Kerroin

$$K_{cr} := 0.67$$

$$b_{ef} := K_{cr} \cdot b = 271.35 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys tuella

$$\tau.d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V.d}{b_{ef} \cdot h} = 1.135 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d} := \frac{f_{v,k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 3.208 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\tau.d \leq f_{v,d}$$

$$1.532 \frac{N}{mm^2} < 3.208 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 48 %

Käyttöaste Ok kestää

Tukipainekestävyys

4 (5)

Tukireaktio (nosturin tuen vieressä)

$$B.d = 98.562 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\delta.c.90.d := \frac{B.d}{b \cdot L.p} = 1.014 \frac{N}{mm^2}$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f.c.90.d := \frac{f.c.90.k \cdot K.mod}{\gamma M} = 2.75 \frac{N}{mm^2}$$

Kc,90 - kerroin

$$K.c.90 := 1.5 \quad \text{havupuinen liimapuu}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$L.c.90.ef := 30 \text{ mm} + L.p + 30 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Tukipaine kerroin

$$K.c. := \frac{L.c.90.ef}{L.p} \cdot K.c.90 = 1.875$$

Mitoitusehto

$$\delta.c.90.d \leq K.c. \cdot f.c.90.d$$

$$K.c. \cdot f.c.90.d = 4.431 \frac{N}{mm^2}$$

$$2.75 \frac{N}{mm^2} < 4.434 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 62 %

Käyttöaste Ok kestää

Taipuma

Palkin jäyhyysmomentti mioittavassa poikkileikkauksessa

$$I.y := \frac{b \cdot (h)^3}{12} = (4.666 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$L.0 := 5000 \text{ mm} \quad \text{tuen keskeltä tuen keskelle}$$

$$W.inst.G := \frac{1 \cdot P.K.G \cdot L.0^4}{192 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 4.216 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta

$$W.inst.Q := \frac{1 \cdot P.K.Q \cdot L.0^4}{194 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 6.108 \text{ mm}$$

5 (5)

Hetkellinen taipuma

$$W.inst := W.inst.G + W.inst.Q = 10.324 \text{ mm}$$

Lopputaipuma

$$K.def = 0.6 \quad \psi.2 := 0.2$$

$$W.net.fin := (1 + K.def) \cdot W.inst.G + (1 + \psi.2 \cdot K.def) \cdot W.inst.Q = 13.587 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$W.inst \leq \frac{L.0}{300}$$

$$\frac{L.0}{300} = 16.667 \text{ mm}$$

$$7 \text{ mm} < 16.667 \text{ mm}$$

Käyttöaste 42 %**Käyttöaste Ok kestää**

Liite 6. Mastopilarin liitos harjapalkin mitoituksesta

1 (7)

liite 6

Mastopilarin liitos harjapalkkin

Mastopilarin ja harjapalkin välinen liitos tehdään ns. hankolautoilla ja nautoilla.

Kuormat

Voimasuureet:

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q.w.d := 5.168 \frac{kN}{m} \quad L.p := 5.175 \text{ m}$$

$$F.w.d := \frac{3}{8} \cdot L.p \cdot q.w.d = 10.028 \text{ kN}$$

Hankolaudan leikkausvoimakestävyys

Hankolaudan lujuusluokka

C24

$b := 60 \text{ mm}$

hankolaudan leveys

$h := 200 \text{ mm}$

hankolaudan korkeus

$n := 2$

hankolautojen määrä/ liitos

$$p.k := 350 \frac{kg}{m^3}$$

hankolaudan ominaistiheys

Leikkausvoima liitoksessa

$$V.d := F.w.d = 10.028 \text{ kN}$$

K.cr -kerroin

$$K.cr := 0.67$$

$$b.ef := K.cr \cdot b = 40.2 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys

$$\tau.d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V.d}{n \cdot b.ef \cdot h} = 0.935 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$K.mod := 1.1$$

$$f.v.d := \frac{f.v.k \cdot K.mod}{\gamma_M} = 3.208 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto:

$$\tau.d \leq f.v.d$$

$$0.935 \frac{N}{mm^2} < 3.208 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 30 %

Käyttöaste Ok kestää

2 (7)

Naulauksen kestävyys

Hankolauta kiinnitetään pilariin tehtaalla liimaamalla, joten pilarin puoleinen liitos on jäykkä.

$d := 6 \text{ mm}$ naulan halkaisija

$l := 160 \text{ mm}$ naulan pituus

Naulan leikkauskestävyys

$t.1 := b = 60 \text{ mm}$ $t.2 := 100 \text{ mm}$

$K.t := \max$

$$K.t.1 := 1 + 0.3 \cdot \frac{t.1 - 8 \cdot d}{8 \cdot d} = 1.075$$

$$K.t.2 := 1 + 0.3 \cdot \frac{t.2 - 12 \cdot d}{6 \cdot d} = 1.233$$

$K.t := K.t.2 = 1.233$

Neliskulmaisilla sileillä nautoilla

$$R.k := 120 \frac{N}{mm} \cdot 21.03 \text{ mm} = 2.524 \text{ kN}$$

$\gamma.M := 1.4$ Koska liitettävän puutavaran lujuusluokka on C24

$$R.d := \frac{K.mod \cdot R.k \cdot K.t}{\gamma.M} = 2.445 \text{ kN}$$

Naulojen määrä liitoksessa**Maksimi leikkausvoima**

$$V.d = 10.028 \text{ kN}$$

Naulojen määrä

$$n := \frac{F.w.d}{R.d} = 4.101 \quad n := 6 \text{ Kpl}$$

Hankolautoja on 2 Kpl/liitos, joten nautoja tulee 3 Kpl/hankolauta

Palomitoitus

R30 liitos.

Hankolaudan dimensioita kasvatetaan mitan a.fi verran.

$$B.n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad (\text{Liimapuille})$$

$k.flur := 1.5$

$t.req := 30 \text{ min}$ $t.d.fi := 15 \text{ min}$

$$a_{fi} := B \cdot n \cdot k_{flur} \cdot (t_{req} - t_{d,fi}) = 15.75 \text{ mm} \quad 3 (7)$$

Mastopilarin ja harjapalkin välinen liitos tehdään hakolaudoilla C24 60x200. Hankolaudat kiinnitetään tehtaalla pilarin yläpäähän liimalla ja työmaalla harjapalkin puoleiseen päähän asennetaan naulat 6x160 3 Kpl/hankolauta.

Tuulipilarin liitos päätypalkin

Päätyseinän tuulipilari ja palkin liitos tehdään loviliitoksella ja pultilla M16 8.8. Pystykuormat siirtyvät pilarille loviliitoksen kautta. Tuulikuorma siirtyy pultin ja aulslevyjen kautta.

Pultin vetokestävyys

Pultin lujuusluokka 8.8

$$d := 16 \text{ mm} \quad \text{Pultin halkaisija}$$

$$f_{u,k} := 640 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Pultin vetomurtolujuuden ominaisarvo}$$

Maksimi vetovoima

$$N_{t,d} := F_{w,d} = 10.028 \text{ kN}$$

Pultin tehollinen pinta-ala

$$d_{ef} := 0.82 \cdot d = 13.12 \text{ mm}$$

$$A_{ef} := \frac{\pi \cdot (d_{ef})^2}{4} = 135.194 \text{ mm}^2$$

Vetojäännitys

$$\delta_{t,d} := \frac{N_{t,d}}{A_{ef}} = 74.176 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Vetolujuus

$$\gamma_M := 1.1$$

$$f_{d} := \frac{f_{u,k}}{\gamma_M} = 581.818 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\delta_{t,d}}{f_d} \leq 1.0 \quad \frac{\delta_{t,d}}{f_d} = 0.127$$

Käyttöaste 13 %

Käyttöaste Ok kestää

Pultin aluslevyn tukipainekestävyys

Pultin aluslevyn käytetään teräslevyä 80x80x8, jonka kautta voima siirtyy pilarista palkille.

$$t := 4.0 \text{ mm} \quad \text{Teräslevyn paksuus}$$

$$d := 16 \text{ mm} \quad \text{Pultin halkaisija}$$

$$f_{c,90,k} := 3.0 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Puristus kohtisuoraan syyssuntaa vastaan}$$

Aluslevyn tehollinen pinta-ala

4 (7)

$$d_{ef.min.1} := 12 \cdot t \cdot t = 48 \text{ mm}$$

$$d_{ef.min.2} := 4 \cdot d = 64 \text{ mm}$$

$$A_{ef} := \frac{\pi \cdot (d_{ef.min.1})^2}{4} = (1.81 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

Tukireaktio

$$N_{c.d} := F_{w.d} = 10.028 \text{ kN}$$

Puristusjäännitys aluslevyn alla

$$\delta_{c.90.d} := \frac{N_{c.d}}{A_{ef}} = 5.542 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuus syysuunta vastaan

Aluslevyn alla voidaan puun leimapainelujuudelle käyttää ominaisarvoa 3.0 f.c.90.k.

$$f_{c.90.d} := \frac{3.0 \cdot f_{c.90.k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 9 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\delta_{c.90.d} \leq f_{c.90.d}$$

$$5.542 \frac{N}{\text{mm}^2} < 9.0 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 62 %

Käyttöaste Ok kestää

Perustusliitos

Liimaruuvien lujuusluokka 5.8.

Liimaruuvien keskiöetäisyydet

$$a_{hs} := 75 \text{ mm} \quad a_{bs} := 60 \text{ mm}$$

Uloimman liimaruuvien etäisyys pilarin reunasta ($a_{re} \geq 35 \text{ mm}$)

$$a_{re} := 35 \text{ mm}$$

Sisimmän liimaruuvien etäisyys tehollinen vyöhkkeen reunasta

$$a_{ke} := 50 \text{ mm}$$

Liimaruuvien halkaisija

$$d_{ruuvi} := 19 \text{ mm}$$

Liimaruuviryhmä painopisteen etäisyys pilarin reunasta

$$a := a_{hs} + a_{re} = 110 \text{ mm}$$

Puristus- ja vetoterästen painopisteen etäisyys pilarin reunasta

$$h_{pil} := 400 \text{ mm}$$

$$e := h_{pil} - (2 \cdot a) = 180 \text{ mm}$$

Mitoittava normaalivoima

$$N.d = 147 \text{ kN}$$

5 (7)

Mitoittava leikkausvoima

$$V.d = 27 \text{ kN}$$

Mitoittava momentti

$$H.d.t := 1.0 \text{ kN} \quad F.w.d = 10.028 \text{ kN}$$

$$M.d := \frac{F.w.d}{2} \cdot L.p + \frac{H.d.t}{2} \cdot L.p + q.w.d \cdot L.p \cdot \frac{L.p}{2} = 97.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pilarikengän vetovoima

$$A.d := \frac{M.d}{e} - \frac{N.d}{2} = 469.444 \text{ kN}$$

Pilarikengän puristusvoima

$$B.d := \frac{M.d}{e} + \frac{N.d}{2} = 616.444 \text{ kN}$$

Liimaruuvien normaalivoimakestävyys

Ruuvien myötökestävyyden ominaisarvo

$$R.y.k := 101 \text{ kN}$$

Ruuvien myötäämisen osavarmuusluku

$$\gamma.M.y := 1.1$$

Ruuvien uppoumasyvyys liimapuuhun

$$L.a := 490 \text{ mm}$$

Ruuvien tartuntakestävyyden ominaisarvo

Käyttöluokka 1

$$R.a.k := \left(\frac{L.a}{490 \text{ mm}} \right) \cdot 84 \text{ kN} = 84 \text{ kN}$$

Liimaruuvien normaalivoimakestävyys

$$R.a.x.d := \min \left(\frac{R.y.k}{\gamma.M.y} \right) \left(K.mod \cdot \frac{R.a.k}{\gamma.M} \right)$$

$$R.a.x.d.1 := \left(\frac{R.y.k}{\gamma.M.y} \right) = 91.818 \text{ kN}$$

$$R.a.x.d.2 := \left(K.mod \cdot \frac{R.a.k}{\gamma.M} \right) = 84 \text{ kN}$$

$$R.a.x.d := R.a.x.d.2 = 84 \text{ kN}$$

Liimaruuviryhmän lisämitoitusehto

6 (7)

$$F.t.d \leq n.t \cdot R.a.d$$

Vedetyn liimaruuviryhmän mitoituskuorma

$$F.t.d := A.d = 469.444 \text{ kN}$$

Vedettyjen liimaruuvien lukumäärä

$$n.t := 8$$

Ruuvien tartuntakestävyyden mitoitusarvo

$$K.mod := 1.0$$

$$R.a.d := K.mod \cdot \frac{R.a.k}{\gamma.M} = 76.364 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$F.t.d \leq n.t \cdot R.a.x.d$$

$$470 \text{ kN} \leq 608 \text{ kN}$$

Käyttöaste 78 %

Käyttöaste Ok kestää

Liimapuun vetokestävyys

$$F.t.d \geq N.t.d$$

Liimapuun vetolujuuden mitoitusarvo

$$f.t.d := K.mod \cdot \frac{f.t.0.k}{\gamma.M} = 18.182 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Liimapuun vetokestävyys

$$A.ef := 150 \text{ mm} \cdot 215 \text{ mm} = (3.225 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$N.t.d := f.t.d \cdot A.ef = 586.364 \text{ kN}$$

$$470 \text{ kN} < 587 \text{ kN}$$

Käyttöaste 80 %

Käyttöaste Ok kestää

Liimaruuvien leikkauskestävyys

Ruuvien keskiöetäisyys

$$a.h := 70 \text{ mm}$$

Liimaruuvien leikkauskestävyyden mitoitusehto

$$R.v.d := \frac{a.h}{a.hs} \cdot 8.3 \text{ kN} = 7.747 \text{ kN}$$

7 (7)

Mitoitusehto

$$V.d \leq R.v.d \cdot n.v \quad n.v := n.t = 8$$

$$R.v.d \cdot n.v = 61.973 \text{ kN}$$

$$27 \text{ kN} < 62 \text{ kN}$$

Käyttöaste 44 %

Käyttöaste Ok kestää

Palomitoitus

palokesto aika on mininmissään 15 min , tulee olla ruuvien halkaisijan ($3.5 \text{ mm} \leq d$)

Ruvien kierteisen osan sisähalkaisija

$$d.i := 4.8 \text{ mm}$$

Ruvien tehollinen halkaisija

$$d.ef := 1.1 \cdot d.i = 5.28 \text{ mm}$$

Ruvien pituus

$$L.r := 500 \text{ mm}$$

Levyn paksuus

$$t.t = 4 \text{ mm}$$

Ruvien tunkeumasyvyyys

$$t.2 := L.r - t.t = 496 \text{ mm}$$

$$\text{Huom! } t.2 \geq 8 \cdot d.ef$$

$$8 \cdot d.ef = 42.24 \text{ mm}$$

Palotilanteen leikkausvoima

$$V.d.fi = 4.171 \text{ kN}$$

Leikkauskestävyyden ominaisarvo

$$R.k := 1.15 \cdot 120 \text{ N} \cdot \left(\frac{d.ef}{1 \text{ mm}} \right)^{1.7} = 2.335 \text{ kN}$$

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$K.s := 1.056$$

$$R.d := \frac{K.mod}{\gamma.M} \cdot K.s \cdot R.k = 2.242 \text{ kN}$$

Tarvittava ruuvien määrä liitoksessa

$$n.lr := \text{round} \left(\frac{V.d.fi}{R.d} \right) = 2$$

Liite 7. Harjaristikon mitoituksesta

Liite 7

1(5)

MITOITETAAN HALLIN HARJARISTIKKO**Lähtötiedot**

$L := 20000 \text{ mm}$	Jänneväli
$K.r := 900 \text{ mm}$	Ristikon jakoväli
$P := 35000 \text{ mm}$	Runkon pituus
$K := 600 \text{ mm}$	Runkotolpan jakoväli
$L.r := 600 \text{ mm}$	Räystään mita
$H := 7000 \text{ mm}$	Rakennuksen korkeus

Harjaristikon korkeuden määrittäminen

Harjakorkeus saadaan $h.1 \geq \frac{L}{8} \cdot \text{kannatinjako}$
 $h.1 := \frac{L}{8 \text{ m}} \cdot K.r = 2.25 \text{ m}$

Tukikorkeus saadaan $h.2 \geq \frac{L}{30} \cdot \text{kannatinjako}$
 $h.2 := \frac{L}{30 \text{ m}} \cdot K.r = 0.6 \text{ m}$

Lämpimissä tiloissa $h.2 \geq 400 \text{ mm}$

Kuormat**Lumikuorma**

$S.k := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ Ominaislumikuorma massa

$u := 0.8$ Muotokerroin

$q.k := S.k \cdot u = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ Ominaislumikuorma katolla

$q.k := q.k \cdot K.r = 1.8 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ Lumikuorma ristikon jouksumetrille

Rakenteiden omapaino

$g.k.1 := 0.20 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Ristikon omapaino Kuorma

$g.k.2 := 0.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Yläpaarteen kuorma (pelti)

$g.k.3 := 0.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Alapaarteen kuorma (lämmöneriste, koolaus....)

Omapaino yhteensä

$g.k := g.k.1 + g.k.2 + g.k.3 = 1.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Seuraamusluokka

Seuraamusluokka on CC1.

$K.FI := 0.9$ Kuormakerroin

2(5)

Kuormitustapaukset**kuormitustapaus 1 (KT1)**

Murtotilan kuormitusyhdistelmä (MRT)

$$P.d := K.FI \cdot (1.15 \cdot g.k + 1.5 \cdot q.k) = 3.62 \frac{kN}{m}$$

kuormitustapaus 2 (KT2)

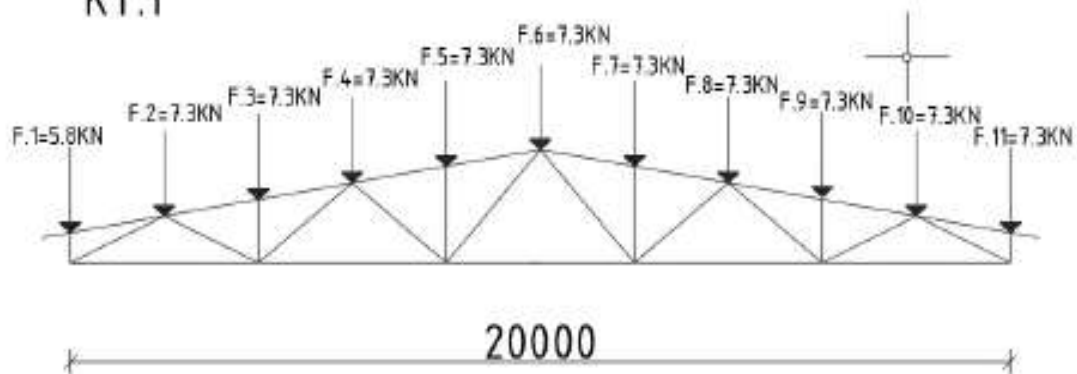
Murtotilan kuormitusyhdistelmä (MRT)

Toisella lappeella

$$P.d.1 := K.FI \cdot (1.15 \cdot g.k + 1.5 \cdot q.k) = 3.62 \frac{kN}{m}$$

Toisella lappeella

$$P.d.2 := K.FI \cdot (1.15 \cdot g.k + 1.5 \cdot 0.5 \cdot q.k) = 2.405 \frac{kN}{m}$$

Voimasuureet**KT.1****KT.1**

$$F.1 := P.d \cdot \left(L.r + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 5.792 \text{ kN}$$

$$F.2 := P.d \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F.3 := P.d \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F.4 := P.d \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F.5 := P.d \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F.6 := P.d \cdot \left(\frac{2 \cdot 2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F.7 := P.d \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F_{.8} := P.d. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN} \quad 3(5)$$

$$F_{.9} := P.d. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

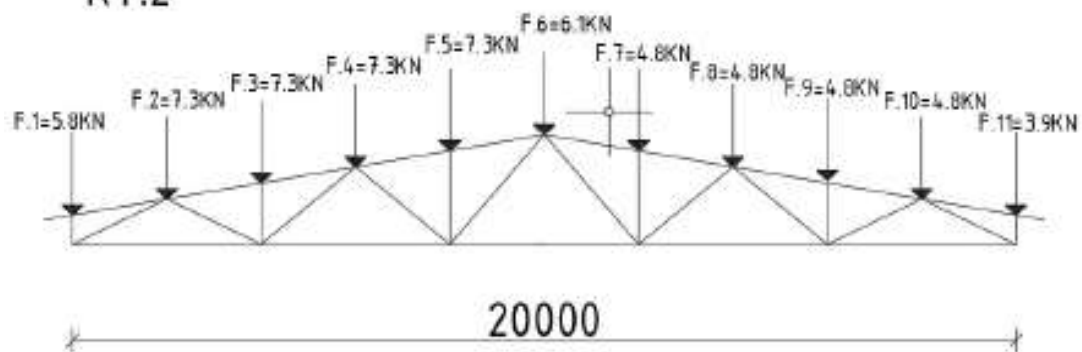
$$F_{.10} := P.d. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F_{.11} := P.d. \cdot \left(L.r + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 5.792 \text{ kN}$$

$$F := F_{.1} + F_{.2} + F_{.3} + F_{.4} + F_{.5} + F_{.6} + F_{.7} + F_{.8} + F_{.9} + F_{.10} + F_{.11} = 76.749 \text{ kN}$$

$$A := \frac{F}{2} = 38.375 \text{ kN} \quad B := A = 38.375 \text{ kN}$$

KT.2



KT.2

$$F_{.1} := P.d.1. \cdot \left(L.r + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 5.792 \text{ kN}$$

$$F_{.2} := P.d.1. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F_{.3} := P.d.1. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F_{.4} := P.d.1. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F_{.5} := P.d.1. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 7.241 \text{ kN}$$

$$F_{.6} := P.d.1. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) + P.d.2. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 6.026 \text{ kN}$$

$$F_{.7} := P.d.2. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 4.811 \text{ kN}$$

$$F_{.8} := P.d.2. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 4.811 \text{ kN}$$

$$F_{.9} := P.d.2. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 4.811 \text{ kN}$$

$$F_{.10} := P.d.2. \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2} + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 4.811 \text{ kN}$$

$$F_{.11} := P.d.2. \cdot \left(L.r + \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right) = 3.848 \text{ kN}$$

4(5)

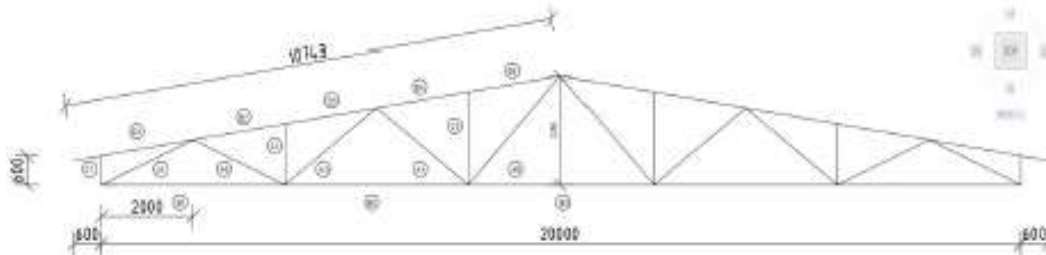
$$F := F.1 + F.2 + F.3 + F.4 + F.5 + F.6 + F.7 + F.8 + F.9 + F.10 + F.11 = 63.87 \text{ kN}$$

$$A := \frac{F.1 \cdot 20 \text{ m} + F.2 \cdot 15 \text{ m} + F.3 \cdot 15 \text{ m} + F.4 \cdot 14 \text{ m} + F.5 \cdot 12 \text{ m} + F.6 \cdot 10 \text{ m} + F.7 \cdot 8 \text{ m} + F.8 \cdot 6 \text{ m} + F.9 \cdot 4 \text{ m} + F.10 \cdot 2 \text{ m}}{L} = 35.337 \text{ kN}$$

$$A = 35.337 \text{ kN}$$

$$B := F - A = 28.533 \text{ kN}$$

Sauvavoimat



KT1	KT2	
	Vasen	Oikein
A1 = -77.3 kN	A1 = -70 kN	A1 = -58.4 kN
A2 = 24.1 kN	A2 = 20.7 kN	A2 = 19.4 kN
A3 = -4.7 kN	A3 = -2.4 kN	A3 = -5.4 kN
A4 = -6.5 kN	A4 = -6.1 kN	A4 = -2.8 kN
A5 = 15.1 kN	A5 = 16.4 kN	A5 = 8.8 kN
B1 = -12.3 kN	B1 = -5.0 kN	B1 = -15.5 kN
B2 = 13.3 kN	B2 = 15.6 kN	B2 = 6.4 kN
B3 = -2.0 kN	B3 = -1.6 kN	B3 = -1.6 kN
C1 = -5.8 kN	C1 = -5.8 kN	C1 = -3.8 kN
C2 = -7.2 kN	C2 = -7.2 kN	C2 = -4.8 kN
C3 = -7.2 kN	C3 = -7.2 kN	C3 = -4.8 kN
D1 = 0 kN	D1 = 0 kN	D1 = 0 kN
D2 = -93.2 kN	D2 = -83.3 kN	D2 = -71.6 kN
D3 = -93.2 kN	D3 = -83.3 kN	D3 = -71.6 kN
D4 = -91.7 kN	D4 = -78.8 kN	D4 = -73.7 kN
D5 = -91.7 kN	D5 = -78.8 kN	D5 = -73.7 kN

Sahatavara Lujuuluokka

$$f.m.k := 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Taivutus

$$f.t.0.k := 19 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Veto syysuuntaan

$$f.t.90.k := 0.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Veto kohtisuora syysuuntaan vastaan

$$f.c.0.k := 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristus syysuuntaan

$$f.c.90.k := 2.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristus kohtisuora syysuuntaan vastaan

$$f.v.k := 4.0 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Leikkaus} \quad 5(5)$$

$$E.mean := 12000 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Kimmomoduuli}$$

$$E.90.mean := 400 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Kimmomoduuli}$$

$$E.0.05 := 8000 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Liukumoduuli}$$

$$p.k := 380 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Ominaisuheys}$$

$$p.mean := 460 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Tiheyden keskiarvo}$$

Sahatavaran materiaalien mitoitusarvot

$$K.mod := 0.8 \quad \gamma.M := 1.4$$

$$f.m.d := K.mod \cdot \frac{f.m.k}{\gamma.M} = 17.143 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.v.d := K.mod \cdot \frac{f.v.k}{\gamma.M} = 2.286 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.0.d := K.mod \cdot \frac{f.c.0.k}{\gamma.M} = 13.714 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.90.d := K.mod \cdot \frac{f.c.90.k}{\gamma.M} = 1.543 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.t.0.d := K.mod \cdot \frac{f.t.0.k}{\gamma.M} = 10.857 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.t.90.d := K.mod \cdot \frac{f.t.90.k}{\gamma.M} = 0.229 \frac{N}{mm^2}$$

Liite 8. Sauvojen mitoituksesta

Liite 8

1(5)

SAUVOJEN MITOITUS

Aikaluokka: Keskipitkä
 Käyttöluokka: 1
 Kokeillaan : Sahatavara 30 C

Vetosauvojen mitoitus

Mitoitetaan ristikon vetorasitetut digonaalit

Vetorasitetut sauvat

$$A.2 := 24.1 \text{ kN}$$

$$A.5 := 15.1 \text{ kN}$$

Oletetaan, että kaikki vetosauvojen poikkileikkaus ja materiaali on sama
 Mitoitetaan rasitetuin sauva D.1

Kokeillaan poikkileikkausta 50x150

$$N.d := A.2 = 24.1 \text{ kN} \quad A := 25 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm} = (3.75 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

Vetojäännitys

$$\sigma.t.0.d := \frac{N.d}{A} = 6.427 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Koko vaikutuksen huomiointi vetolujuutta, koska $h = 200 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$

$$K.h := \min\left(\frac{150}{200}\right)^{0.2} = 0.944$$

$$f.t.0.d := \frac{K.h \cdot K.mod \cdot f.t.0.k}{\gamma.M} = 10.25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\sigma.t.0.d \leq f.t.0.d$$

$$6.427 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 10.25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 63 %

Käyttöaste Ok kestää

Puristussauvojen mitoitus

Mitoitetaan ristikon puristusrasitetut digonaalit ja vertikaalit

Puristusrasitetut sauvat

$$A.1 := 77.3 \text{ kN}$$

$$C.1 := 5.8 \text{ kN}$$

$$C.2 := 7.2 \text{ kN}$$

$$C.3 := 7.2 \text{ kN}$$

Kaikki sauvat ovat erilaisia ja pyrkivät nurjahtamaan, tämän takia kaikki puristussauvat mitoitetaan erikseen

C1 Vertikaali

2(5)

Niveliristikon savuojen molemmissa pääissä on kiinnitys tappaa on nivelinen

$$L.v.1 := 600 \text{ mm} \quad b := 150 \text{ mm} \quad h := 25 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus

$$L.c.1 := 1.0 \cdot L.v.1 = 0.6 \text{ m} \quad N.d := C.1 = 5.8 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin Kc

Jäyhyyssäde i ja hoikkeudet

$$I := \frac{(b \cdot h^3)}{12} = (1.953 \cdot 10^5) \text{ mm}^4 \quad A := b \cdot h = (3.75 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$i := \sqrt{\frac{I}{A}} = 7.217 \text{ mm}$$

$$\lambda := \frac{L.c.1}{i} = 83.138$$

$$\lambda_{rel} := \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 1.449$$

$B.c := 0.2$ Sahatavaralle

Nurjahduskerroin

$$K := 0.5 \cdot (1 + (B.c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3)) + \lambda_{rel}^2) = 1.665$$

$$K.c := \frac{1}{K + \sqrt{K^2 - \lambda_{rel}^2}} = 0.402$$

Puristusjännitys

$$\sigma.c.0.d := \frac{N.d}{A} = 1.547 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\sigma.c.0.d \leq f.c.0.d \cdot K.c$$

$$f.c.0.d \cdot K.c = 5.517 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$1.547 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 5.517 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 28 %

Käyttöaste Ok kestää

C2 Vertikaali

Niveliristikon savuojen molemmissa pääissä on kiinnitys tappaa on nivelinen

$$L.v.2 := 1260 \text{ mm} \quad b := 150 \text{ mm} \quad h := 25 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus

$$L.c.2 := 1.0 \cdot L.v.1 = 0.6 \text{ m} \quad N.d := C.2 = 7.2 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin Kc

3(5)

Jäyhyysäde i ja hoikkeudet

$$I := \frac{(b \cdot h^3)}{12} = (1.953 \cdot 10^5) \text{ mm}^4 \quad A := b \cdot h = (3.75 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$i := \sqrt{\frac{I}{A}} = 7.217 \text{ mm}$$

$$\lambda := \frac{L.c.2}{i} = 83.138$$

$$\lambda.rel := \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 1.449$$

 $B.c := 0.2$ Sahatavaralle**Nurjahduskerroin**

$$K := 0.5 \cdot (1 + (B.c \cdot (\lambda.rel - 0.3)) + \lambda.rel^2) = 1.665$$

$$K.c := \frac{1}{K + \sqrt{K^2 - \lambda.rel^2}} = 0.402$$

Puristusjäännitys

$$\sigma.c.0.d := \frac{N.d}{A} = 1.92 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\sigma.c.0.d \leq f.c.0.d \cdot K.c$$

$$f.c.0.d \cdot K.c = 5.517 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$1.92 \frac{N}{\text{mm}^2} < 5.517 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste 35 %

Käyttöaste Ok kestää

C3 Vertikaali

Niveliristikon savuojen molemmissa päissä on kiinnitys tappaa on nivelinen

$$L.v.3 := 1920 \text{ mm} \quad b := 150 \text{ mm} \quad h := 25 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus

$$L.c.3 := 1.0 \cdot L.v.1 = 0.6 \text{ m} \quad N.d := C.1 = 5.8 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin KcJäyhyysäde i ja hoikkeudet

$$I := \frac{(b \cdot h^3)}{12} = (1.953 \cdot 10^5) \text{ mm}^4 \quad A := b \cdot h = (3.75 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$i := \sqrt{\frac{I}{A}} = 7.217 \text{ mm}$$

4(5)

$$\lambda := \frac{L.c.1}{i} = 83.138$$

$$\lambda.rel := \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 1.449$$

$$B.c := 0.2 \quad \text{Sahatavaralle}$$

Nurjahduskerroin

$$K := 0.5 \cdot (1 + (B.c \cdot (\lambda.rel - 0.3)) + \lambda.rel^2) = 1.665$$

$$K.c := \frac{1}{K + \sqrt{K^2 - \lambda.rel^2}} = 0.402$$

Puristusjännitys

$$\sigma.c.0.d := \frac{N.d}{A} = 1.547 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\sigma.c.0.d \leq f.c.0.d \cdot K.c$$

$$f.c.0.d \cdot K.c = 5.517 \frac{N}{mm^2}$$

$$1.547 \frac{N}{mm^2} < 5.517 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 28 %

Käyttöaste Ok kestää

A.1 puristusrasitetut digonaalit

$$L.a.1 := 2206 \text{ mm} \quad b := 150 \text{ mm} \quad h := 100 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus

$$L.A.1 := 1.0 \cdot L.a.1 = 2.206 \text{ m} \quad N.d := A.1 = 77.3 \text{ kN}$$

Kasvatetaan poikkileukausta 100x150 C30

Nurjahduskerroin Kc

Jäyhyyssäde i ja hoikkuudet

$$I := \frac{(b \cdot h^3)}{12} = (1.25 \cdot 10^7) \text{ mm}^4 \quad A := b \cdot h = (1.5 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$i := \sqrt{\frac{I}{A}} = 28.868 \text{ mm}$$

5(5)

$$\lambda := \frac{L.a.1}{i} = 76.418$$

$$\lambda_{rel} := \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 1.332$$

$$B.c. := 0.2 \quad \text{Sahatavaralle}$$

Nurjahduskerroin

$$K := 0.5 \cdot (1 + (B.c. \cdot (\lambda_{rel} - 0.3)) + \lambda_{rel}^2) = 1.491$$

$$K.c. := \frac{1}{K + \sqrt{K^2 - \lambda_{rel}^2}} = 0.463$$

Puristusjäännitys

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{N.d}{A} = 5.153 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c.0.d} \leq f_{c.0.d} \cdot K.c.$$

$$f_{c.0.d} \cdot K.c. = 6.35 \frac{N}{mm^2}$$

$$5.153 \frac{N}{mm^2} < 6.35 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 82 %

Käyttöaste Ok kestää

Liite 9. Alapaarteen mitoituksesta

1(1)

Liite 9

ALAPAARTEEN MITOITUS

Ristikon alapaarteen moititetaan jatkuvana sauvana.

$$U.2 := 15.6 \text{ kN}$$

Taivutusmomentti

$$M.d.1 := 0.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.d := M.d.1 + M.e$$

Oletus: alapaarteen rasitetut U2, toisen päänliitoksen epäkeskisyydestä aiheuttuu suuri taivutusmomentti (M.e)

Liitoksen epäkeskisyydet

$$e.v := 218 \text{ mm} \quad e.h := 394 \text{ mm}$$

Päärresauvan U2 vetorasitus

$$N.d := U.2 = 15.6 \text{ kN} \quad U.0 := 0 \text{ kN} \quad L.u.2 := 4000 \text{ mm}$$

$$M.e := \frac{S \cdot e.v}{2} \cdot \left(1 - \frac{e.h}{2 \cdot L.u.2}\right)$$

$$M.e := \frac{(U.2 - U.0) \cdot e.v}{2} \cdot \left(1 - \frac{e.h}{2 \cdot L.u.2}\right) = 1.617 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.d := M.d.1 + M.e = 2.217 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kokeillaan sahatavara 125x150 C30

$$b := 125 \text{ mm} \quad h := 150 \text{ mm}$$

$$A := b \cdot h = (1.875 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$W := \frac{(b \cdot h^2)}{6} = (4.688 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

$$K.mod := 0.8 \quad K.h := 1.0 \quad \gamma.M := 1.25$$

$$f.t.0.d := \frac{K.h \cdot K.mod \cdot f.t.0.k}{\gamma.M} = 12.16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f.m.d := \frac{K.h \cdot K.mod \cdot f.m.k}{\gamma.M} = 19.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma.t.0.d := \frac{N.d}{A} = 0.832 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad N.d = 15.6 \text{ kN}$$

$$\sigma.m.d := \frac{M.d}{W} = 4.729 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma.t.0.d}{f.t.0.d} + \frac{\sigma.m.d}{f.m.d} \leq 1.0$$

$$\frac{\sigma.t.0.d}{f.t.0.d} + \frac{\sigma.m.d}{f.m.d} = 0.315$$

Käyttöaste 32 %

Käyttöaste Ok kestää

Liite 10. Yläpaarteen mitoituksesta

1(2)

Liite 10

YLÄPAARTEEN MITOITUS

Ristikon alapaarteen moititetaan jatkuvana sauvana.

$$D.1 := 93.2 \text{ kN}$$

Taivutusmomentti

$$M.d.1 := 1.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.d := M.d.1 + M.e$$

Oletus: alapaarteen rasitetut U2, toisen päänliitoksen epäkeskisyydestä aiheutuu suuri taivutumomentti (M.e)

Liitoksen epäkeskisyydet

$$e.v := 276 \text{ mm} \quad e.h := 253 \text{ mm}$$

Paarresauvan U2 vetorasitus

$$N.d := D.1 = 93.2 \text{ kN} \quad D.0 := 0 \text{ kN} \quad L.d.2 := 2026 \text{ mm}$$

$$M.e := \frac{S \cdot e.v}{2} \cdot \left(1 - \frac{e.h}{2 \cdot L}\right)$$

$$M.e := \frac{(U.2 - U.0) \cdot e.v}{2} \cdot \left(1 - \frac{e.h}{2 \cdot L.u.2}\right) = 2.085 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M.d := M.d.1 + M.e = 3.485 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kokeillaan sahatavara 125x150 C30

$$b := 125 \text{ mm} \quad h := 150 \text{ mm}$$

$$A := b \cdot h = (1.875 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$W := \frac{(b \cdot h^2)}{6} = (4.688 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

$$K.mod := 0.8 \quad K.h := 1.0 \quad \gamma.M := 1.25$$

$$f.t.0.d := \frac{K.h \cdot K.mod \cdot f.t.0.k}{\gamma.M} = 12.16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f.m.d := \frac{K.h \cdot K.mod \cdot f.m.k}{\gamma.M} = 19.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma.t.0.d := \frac{N.d}{A} = 4.971 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad N.d = 93.2 \text{ kN}$$

$$\sigma.m.d := \frac{M.d}{W} = 7.434 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nurjahduskerroin Kc

Jäyhyyssäde i ja hoikkeudet

$$I := \frac{(b \cdot h^3)}{12} = (3.516 \cdot 10^7) \text{ mm}^4 \quad A := b \cdot h = (1.875 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

2(2)

$$i := \sqrt{\frac{I}{A}} = 43.301 \text{ mm}$$

$$\lambda := \frac{L.a.1}{i} = 50.945$$

$$\lambda.rel := \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 0.888$$

$$B.c := 0.2 \quad \text{Sahatavaralle}$$

Nurjähdukerroin

$$K := 0.5 \cdot (1 + (B.c \cdot (\lambda.rel - 0.3)) + \lambda.rel^2) = 0.953$$

$$K.c := \frac{1}{K + \sqrt{K^2 - \lambda.rel^2}} = 0.77$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma.t.0.d}{K.c \cdot f.t.0.d} + \frac{\sigma.m.d}{f.m.d} \leq 1.0$$

$$\frac{\sigma.t.0.d}{K.c \cdot f.t.0.d} + \frac{\sigma.m.d}{f.m.d} = 0.918$$

Käyttöaste 92 %
Käyttöaste Ok kestää

Liite 11. NR- ristikon kannatuspalkin mitoituksesta

1(6)

Liite 11

NR-RISTIKON KANNATUSPALKKI

Mitoitetaan NR-ristikoiden kannatuspalkki ovi aukon kohdalla. palkki pitää mitoittaa pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa.

Palkki materiaali

Kerto-S

$$f.m.k := 44 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Taivutus syrjällään}$$

$$f.t.o.k := 35 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Veto syrjällään}$$

$$f.m.k := 4.1 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Leikkaus syrjällään}$$

$$f.c.90.edge.k := 6.0 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Puristus poikittain syrjällään}$$

$$E.mean := 13800 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Kimmomoduuli}$$

$$\gamma_M := 1.2 \quad \text{Materiaalin osavarmuusluku}$$

Kuormat

$$g.k.1 := 1.1 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Yläpohja kuorma}$$

$$g.k.2 := 0.2 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Yläpohja räystäään}$$

$$q.k.1 := 2.0 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Lumikuorma katolla}$$

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$$L := 20 \text{ m} \quad \text{Ristikon jänneväli}$$

$$L.1 := 3.5 \text{ m} \quad \text{Ristikoiden kannatuspalkin jänneväli}$$

$$K := 600 \text{ mm} \quad \text{Räystäään}$$

$$S := 0.9 \text{ m} \quad \text{Ristikkojako}$$

$$S.1 := 847 \text{ mm} \quad \text{Pistekuorman etäisyys tuelta A}$$

$$S.2 := 1747 \text{ mm} \quad \text{Pistekuorman etäisyys tuelta A}$$

$$S.3 := 2647 \text{ mm} \quad \text{Pistekuorman etäisyys tuelta A}$$

Ristikon tukireaktio yläpohjan omapainosta

$$F.g.k := \frac{L}{2} \cdot S \cdot g.k.1 + K \cdot S \cdot g.k.2 = 10.008 \text{ kN}$$

Ristikon tukireaktio lumikuormasta

$$F.q.k := \left(\frac{L}{2} + K \right) \cdot (S) \cdot q.k.1 = 19.08 \text{ kN}$$

Palkin tukireaktiot yläpohjan omapainosta

$$B.g.k := \frac{F.g.k \cdot S.1 + F.g.k \cdot S.2 + F.g.k \cdot S.3}{L.1} = 14.986 \text{ kN}$$

$$A.g.k := 3 \cdot F.g.k - B.g.k = 15.038 \text{ kN} \quad 2(6)$$

Palkin tukireaktiot lumikuormasta

$$B.q.k := \frac{F.q.k \cdot S.1 + F.q.k \cdot S.2 + F.q.k \cdot S.3}{L.1} = 28.571 \text{ kN}$$

$$A.q.k := 3 \cdot F.q.k - B.g.k = 42.254 \text{ kN}$$

Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M.g.k := A.g.k \cdot S.2 - F.g.k \cdot S = 17.264 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimimomentti lumikuormasta

$$M.q.k := A.q.k \cdot S.2 - F.q.k \cdot S = 56.645 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimi leikkausvoima yläpohjan omapainosta

$$V.g.k := B.g.k = 14.986 \text{ kN}$$

Maksimi leikkausvoima lumikuormasta

$$V.q.k := B.q.k = 28.571 \text{ kN}$$

Palkin lähtötiedot

$$h := 400 \text{ mm}$$

Palkin korkeus

$$b := 2 \cdot 75 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Palkin leveys

Kuormitusyhdistelmät

$$K.FI := 1.0$$

KY.1:

$$1.35 \cdot G.k.j(\text{omapaino})$$

KY.2:

$$1.15 \cdot G.k.j(\text{omapaino}) + 1.5 \cdot Q.k.1(\text{lumi})$$

Taivutuskestävyys

Maksimi taivutusmomentti

$$M.d := 1.15 \cdot M.g.k + 1.5 \cdot M.q.k = 104.821 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma.m.y.d := \frac{6 \cdot M.d}{b \cdot h^2} = 26.205 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kh-kerroin

Kertopuupalkin korkeus $h < 300 \text{ mm}$ joten taivutujuluutta ei tarvitse pienentää kertoimella Kh.

Taivutuslujuus

$$K.mod := 0.8 \quad f.m.k := 44.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f.m.d := \frac{f.m.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 29.333 \frac{N}{mm^2}$$

3(6)

Mitoitusehto

$$\sigma.m.y.d \leq f.m.d$$

$$26.2 \frac{N}{mm^2} \leq 29.333 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 89 %

Käyttöaste Ok kestää

Leikkausvoimakestävyys**Maksimi leikkausvoima**

$$V.d := 1.15 \cdot V.g.k + 1.5 \cdot V.q.k = 60.091 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

$$b.ef := b = 150 \text{ mm}$$

$$\tau.d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V.d}{b.ef \cdot h} = 1.502 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$K.mod := 0.8$$

$$f.v.d := \frac{f.v.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 2.667 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\tau.d \leq f.v.d$$

$$1.502 \frac{N}{mm^2} \leq 2.667 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 56 %

Käyttöaste Ok kestää

Tukipaine kestävyys

Palkin ja ristikon välinen tukipaine

Tukireaktio

$$F.d := 1.15 \cdot F.g.k + 1.5 \cdot F.q.k = 40.129 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$l := 125 \text{ mm} \quad \text{Tukipinnan pituus}$$

$$h = 400 \text{ mm} \quad \text{Palkin korkeus}$$

$$b.l := 150 \text{ mm} \quad \text{Yläjouksun leveys}$$

$$\sigma.c.90.d := \frac{F.d}{b \cdot l} = 2.14 \frac{N}{mm^2}$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

4(6)

$$f_{c,90,d} := \frac{f_{c,90,k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 1.8 \frac{N}{mm^2}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} := 30 \text{ mm} + l + 30 \text{ mm} = 185 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,90} := 1.25$$

$$K_{c} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.85$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq K_{c} \cdot f_{c,90,d}$$

$$K_{c} \cdot f_{c,90,d} = 3.33 \frac{N}{mm^2}$$

$$2.14 \frac{N}{mm^2} \leq 3.33 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 65 %

Käyttöaste Ok kestää

Palkin ja pilarin välinen tukipanie

Tukireaktio

$$F_d := 1.15 \cdot B_{g,k} + 1.5 \cdot B_{q,k} = 60.091 \text{ kN}$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaan vastaan

$$f_{c,90,d} := \frac{f_{c,90,k} \cdot K_{mod}}{\gamma_M} = 1.8 \frac{N}{mm^2}$$

Puristusjännitys palkissa

$$K_{c,90} := 1.0$$

$$l := 125 \text{ mm} \quad \text{Tukipinnan pituus}$$

$$h := 400 \text{ mm} \quad \text{Palkin korkeus}$$

$$b := 150 \text{ mm} \quad \text{Palkin leveys}$$

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{F_d}{b \cdot l} = 3.205 \frac{N}{mm^2}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} := 30 \text{ mm} + l + 30 \text{ mm} = 185 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,90} := 1.25$$

$$K_{c} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.85$$

Mitoitusehto

5(6)

$$\sigma_{c.90.d} \leq K.c \cdot f_{c.90.d}$$

$$K.c \cdot f_{c.90.d} = 3.33 \frac{N}{mm^2}$$

$$3.205 \frac{N}{mm^2} \leq 3.33 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 96 %
Käyttöaste Ok kestää

Taipuma**Suhdeluvut**

$$\alpha := \frac{1750 \text{ mm}}{3500 \text{ mm}} = 0.5$$

$$\alpha := \frac{1750 \text{ mm}}{3500 \text{ mm}} = 0.5$$

$$\alpha := \frac{1750 \text{ mm}}{3500 \text{ mm}} = 0.5$$

$$\beta_{.1} := \frac{2653 \text{ mm}}{3500 \text{ mm}} = 0.758$$

$$\beta_{.2} := \frac{1747 \text{ mm}}{3500 \text{ mm}} = 0.499$$

$$\beta_{.3} := \frac{2647 \text{ mm}}{3500 \text{ mm}} = 0.756$$

Pistekuorma F = ristikon tukireaktio

$$F.G := F.g.k = 10.008 \text{ kN}$$

Pysyvä kuorma

$$F.Q := F.q.k = 19.08 \text{ kN}$$

Muuttuva kuorma

Virumaluku

$$k_{.def} := 0.6$$

Pysyvä kuorma

$$k_{.def} := 0.6$$

Muuttuva kuorma

Laskussa tarvittavat suureet

$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = (8 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$J := \frac{5}{6} \cdot 600 \text{ N} \cdot (280 \cdot 300) = (4.2 \cdot 10^7) \text{ N}$$

Omapainon aiheuttama hetkellinen taipuma

$$W_{.inst.G.1} := \frac{\alpha \cdot (1 - \beta_{.1}) \cdot (2 \cdot \beta_{.1} - \beta_{.1}^2 - \alpha^2)}{6} \cdot \frac{F.G \cdot L_1^3}{E_{.mean} \cdot I} + \alpha \cdot (1 - \beta_{.1}) \cdot \frac{F.G \cdot L_1}{J} = 0.643 \text{ mm}$$

$$W_{.inst.G.2} := \frac{\alpha \cdot (1 - \beta_{.2}) \cdot (2 \cdot \beta_{.2} - \beta_{.2}^2 - \alpha^2)}{6} \cdot \frac{F.G \cdot L_1^3}{E_{.mean} \cdot I} + \alpha \cdot (1 - \beta_{.2}) \cdot \frac{F.G \cdot L_1}{J} = 1.019 \text{ mm}$$

$$W_{.inst.G.3} := \frac{\alpha \cdot (1 - \beta_{.3}) \cdot (2 \cdot \beta_{.3} - \beta_{.3}^2 - \alpha^2)}{6} \cdot \frac{F.G \cdot L_1^3}{E_{.mean} \cdot I} + \alpha \cdot (1 - \beta_{.3}) \cdot \frac{F.G \cdot L_1}{J} = 0.647 \text{ mm}$$

$$W_{.inst.G} = W_{.inst.G.1} + W_{.inst.G.2} + W_{.inst.G.3} = 2.308 \text{ mm}$$

Lumikuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

6(6)

$$W_{inst.Q.1} := \frac{\alpha \cdot (1 - \beta.1) \cdot (2 \cdot \beta.1 - \beta.1^2 - \alpha^2)}{6} \cdot \frac{F.G \cdot L.1^3}{E.mean \cdot I} + \alpha \cdot (1 - \beta.1) \cdot \frac{F.Q \cdot L.1}{J} = 0.734 \text{ mm}$$

$$W_{inst.Q.2} := \frac{\alpha \cdot (1 - \beta.2) \cdot (2 \cdot \beta.2 - \beta.2^2 - \alpha^2)}{6} \cdot \frac{F.G \cdot L.1^3}{E.mean \cdot I} + \alpha \cdot (1 - \beta.2) \cdot \frac{F.Q \cdot L.1}{J} = 1.208 \text{ mm}$$

$$W_{inst.Q.3} := \frac{\alpha \cdot (1 - \beta.3) \cdot (2 \cdot \beta.3 - \beta.3^2 - \alpha^2)}{6} \cdot \frac{F.G \cdot L.1^3}{E.mean \cdot I} + \alpha \cdot (1 - \beta.3) \cdot \frac{F.Q \cdot L.1}{J} = 0.739 \text{ mm}$$

$$W_{inst.Q} := W_{inst.Q.1} + W_{inst.Q.2} + W_{inst.Q.3} = 2.681 \text{ mm}$$

Lopputaipuma

$$W_{fin} := (1 + k.def) \cdot W_{inst.G} + (1 + 0.2 \cdot k.def) \cdot W_{inst.Q} = 6.696 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

Taipumaraja

$$W_{fin} \leq \frac{L.1}{300}$$

$$\frac{L.1}{300} = 11.667 \text{ mm}$$

$$6.7 \text{ mm} < 11.667 \text{ mm}$$

Käyttöaste 58 %

Käyttöaste Ok kestää

Liite 12. Runkotolpan mitoituksista

Liite 12

1(7)

RUNKOTOLPPA**Sahatavara Lujuuluokka**

$f.m.k := 24 \frac{N}{mm^2}$	Taivutus
$f.t.0.k := 14 \frac{N}{mm^2}$	Veto syyssuuntaan
$f.t.90.k := 0.4 \frac{N}{mm^2}$	Veto kohtisuora syyssuuntaan vastaan
$f.c.0.k := 21 \frac{N}{mm^2}$	Puristus syyssuuntaan
$f.c.90.k := 2.5 \frac{N}{mm^2}$	Puristus kohtisuora syyssuuntaan vastaan
$f.v.k := 4.0 \frac{N}{mm^2}$	Leikkaus
$E.0.mean := 11000 \frac{N}{mm^2}$	Kimmomoduuli
$E.90.mean := 370 \frac{N}{mm^2}$	Kimmomoduuli
$p.k := 350 \frac{kg}{m^3}$	Ominaisuus
$p.mean := 420 \frac{kg}{m^3}$	Tiheyden keskiarvo

Sahatavaran materiaalien mitoitusarvot

$$K.mod := 0.8 \quad \gamma.M := 1.4$$

$$f.m.d := K.mod \cdot \frac{f.m.k}{\gamma.M} = 13.714 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.v.d := K.mod \cdot \frac{f.v.k}{\gamma.M} = 2.286 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.0.d := K.mod \cdot \frac{f.c.0.k}{\gamma.M} = 12 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.90.d := K.mod \cdot \frac{f.c.90.k}{\gamma.M} = 1.429 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.t.0.d := K.mod \cdot \frac{f.t.0.k}{\gamma.M} = 8 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.t.90.d := K.mod \cdot \frac{f.t.90.k}{\gamma.M} = 0.229 \frac{N}{mm^2}$$

Kuormat

$g.k.1 := 1.1 \frac{kN}{m^2}$	Yläpohja kuorma
$g.k.2 := 0.2 \frac{kN}{m^2}$	Yläpohja räystäään
$q.k.1 := 2.0 \frac{kN}{m^2}$	Lumikuorma katolla

$$q.p := 0.53 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Tuulin nopeuspaine}$$

2(7)

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$L := 20000 \text{ mm}$	Ristikon jänneväli
$L.1 := 3.5 \text{ m}$	Ristikoiden kannatuspalkin jänneväli
$L.2 := 600 \text{ mm}$	Räystään
$L.3 := 4600 \text{ mm}$	Seinätolpan pituus
$K := 2100 \text{ mm}$	Kuormitusleveys aukko
$H := 7000 \text{ mm}$	Rakennuksen korkeus

Pystykuorma tolपालle yläpohjan omapainosta

$$N.g.k := \frac{L}{2} \cdot K \cdot g.k.1 + L.2 \cdot K \cdot g.k.2 = 23.352 \text{ kN}$$

Pystykuorma tolपालle yläpohjan lumikuormasta

$$N.q.k := \frac{L}{2} \cdot K \cdot q.k.1 + L.2 \cdot K \cdot q.k.1 = 44.52 \text{ kN}$$

Tolpan taivutusmomentti tuulikuormasta

$$C.p.net := 1.5$$

$$M.w.k := \frac{(C.p.net \cdot q.p \cdot K) \cdot L.3^2}{8} = 4.416 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Mitoitetaan ensimmäisen ovi aukon pielessä. Ovi aukon pielessä käytetään kahta tolppaa vierekkäin. Tolppa tulee mitoitaa pysyvässä, keskipitkässä ja hetkellisessä aikaluokassa.

Palkin materiaali

$h := 225 \text{ mm}$	Tolpan poikkileikkauksen korkeus
$b := 125 \text{ mm}$	Tolpan poikkileikkauksen leveys
$A := b \cdot h = (2.813 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$	Tolpan poikkileikkauksala

Kuormitusyhdistelmät

$$KFI := 1.0$$

KY.1	KY.2	KY.3
$1.35 \cdot G.k.j$	$1.15 \cdot G.k.j + 1.5 \cdot Q.k.1$	$1.15 \cdot G.k.j + 1.05 \cdot Q.k.1$

KY.4	KY.5
$1.15 \cdot G.k.j + 1.5 \cdot Q.k.t + 1.05 \cdot Q.k.1$	$1.15 \cdot G.k.j + 1.5 \cdot Q.k.1 + 0.9 \cdot Q.k.t$

KY.6

$$1.15 \cdot G.k.j + 1.05 \cdot Q.k.1 + 0.9 \cdot Q.k.t$$

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY.1

Maksimi normaalivoima

$$N.d := 1.35 \cdot N.g.k = 31.525 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin

3(7)

$$L.c.z := 1.0 \cdot L.3 = 4.6 \text{ m}$$

$$i.y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 64.952 \text{ mm}$$

$$\lambda.y := \frac{L.c.z}{i.y} = 70.822$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5

$$K.c.y := 0.65$$

Puristusjännitys

$$\sigma.c.0.d := \frac{N.d}{b \cdot h} = 1.121 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus

$$K.mod := 0.6 \quad \gamma.M = 1.4 \quad f.c.0.k = 21 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.0.d := \frac{f.c.0.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 9 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} \leq 1.0$$

$$\frac{\sigma.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} = 0.192$$

Käyttöaste 20 %

Käyttöaste Ok kestää

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY.2**Maksimi normaalivoima**

$$N.d = 1.35 \cdot N.g.k + 1.5 \cdot N.q.k = 98.305 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin

$$L.c.z := 1.0 \cdot L.3 = 4.6 \text{ m}$$

$$i.y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 64.952 \text{ mm}$$

$$\lambda.y := \frac{L.c.z}{i.y} = 70.822$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5

$$K.c.y := 0.65$$

Puristusjännitys

$$\sigma.c.0.d := \frac{N.d}{b \cdot h} = 3.495 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus 4(7)

$$K.mod := 0.6 \quad \gamma M = 1.4 \quad f.c.0.k = 21 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.0.d := \frac{f.c.0.k \cdot K.mod}{\gamma M} = 9 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} \leq 1.0$$

$$\frac{\sigma.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} = 0.597$$

Käyttöaste 60 %

Käyttöaste Ok kestää

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY.4

Maksimi normaalivoima

$$N.d := 1.35 \cdot N.g.k + 1.05 \cdot N.q.k = 78.271 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin

$$L.c.z := 1.0 \cdot L.3 = 4.6 \text{ m}$$

$$i.y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 64.952 \text{ mm}$$

$$\lambda.y := \frac{L.c.z}{i.y} = 70.822$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5

$$K.c.y := 0.65$$

Puristusjännitys

$$\sigma.c.0.d := \frac{N.d}{b \cdot h} = 2.783 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus

$$K.mod := 0.6 \quad \gamma M = 1.4 \quad f.c.0.k = 21 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.0.d := \frac{f.c.0.k \cdot K.mod}{\gamma M} = 9 \frac{N}{mm^2}$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M.d := 1.5 \cdot M.w.k = 6.624 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma.m.y.d := \frac{6 \cdot M.d}{b \cdot h^2} = 6.28 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuus

5(7)

$$K.mod := 1.1$$

$$f.m.d := \frac{f.m.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 18.857 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma.m.y.d}{f.m.d} + \frac{\sigma.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} \leq 1.0$$

$$\frac{\sigma.m.y.d}{f.m.d} + \frac{\sigma.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} = 0.809$$

Käyttöaste 81 %

Käyttöaste Ok kestää

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY.5**Maksimi normaalivoima**

$$N.d := 1.35 \cdot N.g.k + 1.5 \cdot N.q.k = 98.305 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin

$$L.c.z := 1.0 \cdot L.3 = 4.6 \text{ m}$$

$$i.y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 64.952 \text{ mm}$$

$$\lambda.y := \frac{L.c.z}{i.y} = 70.822$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5

$$K.c.y := 0.65$$

Puristusjäännitys

$$\sigma.c.0.d := \frac{N.d}{b \cdot h} = 3.495 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus

$$K.mod := 0.6 \quad \gamma.M = 1.4 \quad f.c.0.k = 21 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.0.d := \frac{f.c.0.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 9 \frac{N}{mm^2}$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M.d := 0.9 \cdot M.w.k = 3.974 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjäännitys

$$\sigma.m.y.d := \frac{6 \cdot M.d}{b \cdot h^2} = 3.768 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuus

6(7)

 $K.mod := 1.1$

$$f.m.d := \frac{f.m.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 18.857 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma.m.y.d}{f.m.d} + \frac{\sigma.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} \leq 1.0$$

$$\frac{\sigma.m.y.d}{f.m.d} + \frac{\sigma.c.0.d}{K.c.y \cdot f.c.0.d} = 0.797$$

Käyttöaste 80 %

Käyttöaste Ok kestää

Tukipaine kestävyys alaohjauspuussa KY.2**Tukireaktio**

$$A.d := 1.15 \cdot N.g.k + 1.5 \cdot N.q.k = 93.635 \text{ kN}$$

Puristusjännitys alaohjauspuussa

$$l := 200 \text{ mm} \quad b := 225 \text{ mm}$$

$$\sigma.c.90.d := \frac{A.d}{b \cdot l} = 2.081 \frac{N}{mm^2}$$

Alaohjauspuun puristuslujuus syysuuntaa vastaan $K.mod := 0.8$

$$f.c.90.d := \frac{f.c.90.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 1.429 \frac{N}{mm^2}$$

K.c.90- kerroin

$$l.1 \leq 2 \cdot h$$

$$K.c.90 := 1.2 \quad (\text{Sahatavara})$$

Tehollinen kosetuspinnan pituus

$$l := 2 \cdot 110 \text{ mm}$$

$$L.c.90.ef := 30 \text{ mm} + l + 30 \text{ mm} = 280 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin

$$K.c := \frac{L.c.90.ef}{l} \cdot K.c.90 = 1.527$$

Mitoitusehto

$$\sigma.c.90.d \leq K.c \cdot f.c.90.d$$

$$K.c \cdot f.c.90.d = 2.182 \frac{N}{mm^2}$$

$$2.081 \frac{N}{mm^2} \leq 2.182 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 95 %
Käyttöaste Ok kestää

7(7)

Taipuma

Palkin jäyhyysmomentti

$$b := 200 \text{ mm} \quad h := 225 \text{ mm}$$

$$I.y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (1.898 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta

$$W.inst := \frac{5 \cdot (K \cdot C.p.net \cdot q.p) \cdot L.3^4}{384 \cdot E.0.mean \cdot I.y} = 4.661 \text{ mm}$$

Lopputaipuma

$$K.def := 0.6$$

$$W.fin := (1 + K.def) \cdot W.inst = 7.457 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$L := 5175 \text{ mm} \quad \text{Tolpan pituus}$$

Taipumaraja

$$W.fin \leq \frac{L}{300}$$

$$\frac{L}{300} = 17.25 \text{ mm}$$

$$7.5 \text{ mm} \leq 17.25 \text{ mm}$$

Käyttöaste 43 %
Käyttöaste Ok kestää

Liite 13. Seinän levyjäykistyksen mitoituksista

liite 13

1(5)

SEINÄN LEVYJÄYKISTYS**Jäykisteseinän runkomateriaali**

Ulkoseinässä jäykistyksen varten käytetään tuulensuojaleveyn (havuvaneri 9mm)

Sahatavaran materiaalien mitoitusarvot

$$K.mod := 0.8 \quad \gamma.M := 1.4$$

$$f.m.d := K.mod \cdot \frac{f.m.k}{\gamma.M} = 13.714 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.v.d := K.mod \cdot \frac{f.v.k}{\gamma.M} = 2.286 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.0.d := K.mod \cdot \frac{f.c.0.k}{\gamma.M} = 12 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.c.90.d := K.mod \cdot \frac{f.c.90.k}{\gamma.M} = 1.429 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.t.0.d := K.mod \cdot \frac{f.t.0.k}{\gamma.M} = 8 \frac{N}{mm^2}$$

$$f.t.90.d := K.mod \cdot \frac{f.t.90.k}{\gamma.M} = 0.229 \frac{N}{mm^2}$$

Kuormat

$$q.p := 0.53 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Tuulin nopeuspaine}$$

$$C.f := 1.5 \quad \text{Voimakerroin}$$

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$$L.1 := 20 \text{ m} \quad \text{Ristikon jänneväli}$$

$$H := 7000 \text{ mm} \quad \text{Rakennuksen korkeus}$$

$$L.2 := 35000 \text{ mm} \quad \text{Rakennuksen pidemmän sivun mitta}$$

$$h := 4750 \text{ mm} \quad \text{Perustuksen päältä yläpohjaan}$$

$$a := 2.250 \text{ m} \quad \text{yläpohjan korkeus}$$

Päätyseinien kuormitus

Yläpohjatasoon kohdistuva viivakuorma käyttörajatilassa

$$W.k.1 := C.f \cdot q.p \cdot \left(a + \frac{h}{2} \right) \quad W.k.1 := 3.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Päätyseinään kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa

$$F.d.pääty := 1.5 \cdot W.k.1 \cdot \left(\frac{L.1}{2} \right) \quad F.d.pääty := 54 \text{ kN}$$

Sivuseinien kuormitus

Yläpohjatasoon kohdistuva viivakuorma käyttörajatilassa

2(5)

$$W.k.1 := C.f \cdot q.p \cdot \left(a + \frac{h}{2}\right) \quad W.k.1 := 2.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Päätyseinään kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa

$$F.d.sivu := 1.5 \cdot W.k.1 \cdot \left(\frac{L.2}{2}\right) \quad F.d.sivu := 76.2 \text{ kN}$$

Jäykisteseinän lähtötiedot

Seinän ulkopinnan havuvanerit 9 mm kiinnitetään runkotolppiin pyöreillä konenauloilla 4.0 x60.

$t := 9 \text{ mm}$ Havuvaneri paksuus

$d := 4 \text{ mm}$ Naulan halkaisija

$p := 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ Naulan Tiheys

Naulan leikkauskestävyys

Korjauskertoimen $k.p$

$$k.p := \sqrt{\frac{p}{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 1$$

Korjauskertoimen $k.l$

$$k.l := \left(0.5 + \frac{t}{12 \cdot d}\right) \cdot k.p = 0.688$$

Naulan leikkauskestävyys

$K.mod := 1.1$

$T.p := 62.5 \text{ mm} - 25 \text{ mm} = 37.5 \text{ mm}$

Naulan tartuntapituus $37 \text{ mm} \geq 12 \cdot d$, joten leikkauskestävyyttä ei tarvitse pienentää

$$R.d := \frac{K.mod}{\gamma_M} \cdot k.l \cdot 120 \cdot d^{1.7} \quad R.d := 642 \text{ N}$$

Naulan leikkauskestävyys jäykistävissä levyssä

$F.f.r.d := 1.2 \cdot R.d = 770.4 \text{ N}$

JÄYKISTYS RUNKOLEIJONA TUULENSUOJALEVYLLÄ

Käytetään jäykisteenä tuulensuojalevyjä (havuvaneri 9 mm), jotka kiinnitetään runkotolppiin pyöreillä konenauloilla 4x60.

Jäykistäviksi levyiksi voidaan huomioida kaikki levyt, joiden leveys on vähintään $h/4$.

$h := 5175 \text{ mm}$ Jäykistävän levyn korkeus

$b.min := \frac{h}{4} = 1.294 \text{ m}$ Minimileveys jäykistävälle levyille

$F.f.R.k := 750 \text{ N}$ Liittimen ominaiskapasiteetti

Liittimen leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

3(5)

$$F.f.R.d := 1.0 \cdot \frac{F.f.R.k}{1.25} = 600 \text{ N}$$

Jäykistävän päätyseinän mitoitus:Pääty 1

Pääty.1 seinälohko.1

 $S := 60 \text{ mm}$

Liitinväli

 $n.1 := 15$

levyjen määrä seinälohkossa

 $b.i := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkon leveys

 $F.d.pääty = 54 \text{ kN}$

Päätyseinään kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa

Korjauskerroin

$$c.i := \frac{2 \cdot b.i}{h} = 0.464$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.1.v.R.d := \frac{F.f.R.d \cdot b.i \cdot c.i}{S} = 5.565 \text{ kN}$$

Pääty.1 seinälohko.2

 $S := 60 \text{ mm}$

Liitinväli

 $n.2 := 1$

levyjen määrä seinälohkossa

 $b.i := 500 \text{ mm}$

Seinälohkon leveys

 $F.d.pääty = 54 \text{ kN}$

Päätyseinään kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa

Korjauskerroin

$$c.i := \frac{2 \cdot b.i}{h} = 0.193$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.2.v.R.d := \frac{F.f.R.d \cdot b.i \cdot c.i}{S} = 0.966 \text{ kN}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.v.R.d := n.1 \cdot F.1.v.R.d + n.2 \cdot F.2.v.R.d = 84.444 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys

$$\frac{F.d.pääty}{F.v.R.d} = 0.639$$

0,639 < 1,0 => Mitoituksen mukaan käytetään jäykisteenä tuulensuojalevyjä (havuvaneri 9 mm riittää Pääty 1 jäykistämiseen. Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 4x60. Liitinväli reunoilla 60 mm ja keskellä 120 mm.

Pääty.2

4(5)

Pääty.2 seinälohko.1

$S := 60 \text{ mm}$

Liitinväli

$n.1 := 15$

levyjen määrä seinälohkossa

$b.i := 1200 \text{ mm}$

Seinälohkon leveys

$F.d.pääty = 54 \text{ kN}$

Päätyseinään kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa

Korjauskerroin

$$c.i := \frac{2 \cdot b.i}{h} = 0.464$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.1.v.R.d := \frac{F.f.R.d \cdot b.i \cdot c.i}{S} = 5.565 \text{ kN}$$

Pääty.2 seinälohko.2

$S := 60 \text{ mm}$

Liitinväli

$n.2 := 1$

levyjen määrä seinälohkossa

$b.i := 500 \text{ mm}$

Seinälohkon leveys

$F.d.pääty = 54 \text{ kN}$

Päätyseinään kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa

Korjauskerroin

$$c.i := \frac{2 \cdot b.i}{h} = 0.193$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.2.v.R.d := \frac{F.f.R.d \cdot b.i \cdot c.i}{S} = 0.966 \text{ kN}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.v.R.d := n.1 \cdot F.1.v.R.d + n.2 \cdot F.2.v.R.d = 84.444 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys

$$\frac{F.d.pääty}{F.v.R.d} = 0.639$$

0,639 < 1,0 => Mitoituksen mukaan käytetään jäykisteenä tuulensuojalevyjä (havuvanerit 9 mm) Pääty 2 jäykistämiseen. Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 4x60. Liitinväli reunoilla 60 mm ja keskellä 120 mm.

Sivu1

5(5)

Sivu.1 seinälohko.1

$$S := 60 \text{ mm}$$

Liitinväli

$$n.1 := 29$$

levyjen määrä seinälohkossa

$$b.i := 1200 \text{ mm}$$

Seinälohkon leveys

$$F.d.sivu = 76.2 \text{ kN}$$

Sivuseinään kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa

Korjauskerroin

$$c.i := \frac{2 \cdot b.i}{h} = 0.464$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.1.v.R.d := \frac{F.f.R.d \cdot b.i \cdot c.i}{S} = 5.565 \text{ kN}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.v.R.d := n.1 \cdot F.1.v.R.d = 161.391 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys

$$\frac{F.d.sivu}{F.v.R.d} = 0.472$$

0,472 < 1,0 => Mitoituksen mukaan käytetään jäykisteenä tuulensuojalevyjä (havuvaneri 9 mm riittää sivu 1 jäykistämiseen. Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 4x60. Liitinväli reunoilla 60 mm ja keskellä 120 mm.

Sivu.2**Sivu.2 seinälohko.1**

$$S := 60 \text{ mm}$$

Liitinväli

$$n.1 := 26$$

levyjen määrä seinälohkossa

$$b.i := 1200 \text{ mm}$$

Seinälohkon leveys

$$F.d.sivu = 76.2 \text{ kN}$$

Sivuseinään kohdistuva pistekuorma murtorajatilassa

Korjauskerroin

$$c.i := \frac{2 \cdot b.i}{h} = 0.464$$

Seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.1.v.R.d := \frac{F.f.R.d \cdot b.i \cdot c.i}{S} = 5.565 \text{ kN}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F.v.R.d := n.1 \cdot F.1.v.R.d = 144.696 \text{ kN}$$

Tarkistetaan riittääkö leikkausvoimakestävyys

$$\frac{F.d.sivu}{F.v.R.d} = 0.527$$

0,527 < 1,0 => Mitoituksen mukaan käytetään jäykisteenä tuulensuojalevyjä (havuvaneri 9 mm riittää sivu 2 jäykistämiseen. Kiinnitys pyöreillä konenauloilla 4x60. Liitinväli reunoilla 60 mm ja keskellä 120 mm.

Liite 14. NR-ristikon yläpohjan jäykistyksen mitoituksesta

liite 14

1(10)

NR-ristikkoyläpohjan jäykistys

Yläpohjan kuormat

$$g.k.1 := 1.1 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Yläpohja kuorma}$$

$$q.k.1 := 2.0 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Lumikuorma katolla}$$

Tuulikuorma

$$q.p := 0.53 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Tuulin nopeuspaine}$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1.15 \cdot K.FI \cdot G.k.j(\text{omapaino}) + 1.5 K.FI \cdot Q.k.1(\text{tuuli}) + 1.5 K.FI \cdot \psi.0.2 \cdot Q.k.2(\text{lumi})$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1.15 \cdot K.FI \cdot G.k.j(\text{omapaino}) + 1.5 K.FI \cdot Q.k.1(\text{lumi})$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1.15 \cdot K.FI \cdot G.k.j(\text{omapaino}) + 1.5 K.FI \cdot Q.k.1(\text{lumi}) + 1.5 K.FI \cdot \psi.0.2 \cdot Q.k.2(\text{tuuli})$$

Jäykisteiden kuormat

$$h.m := 1300 \text{ mm} \quad \text{Kattoristikon keskimääräinen korkeus}$$

$$C.s.C.d := 1.0$$

$$q.w.k.1 := C.s.C.d \cdot C.f \cdot q.p \cdot \frac{h.m}{2} = 0.517 \frac{kN}{m}$$

Päätyseinän tuulikuorma alapaarteen tasossa

$$h := 2250 \text{ mm}$$

$$q.w.k.2 := C.s.C.d \cdot C.f \cdot q.p \cdot h = 1.789 \frac{kN}{m}$$

Alapaarteen tason tuulikuorma

$$q.w.k.alap := q.w.k.1 + q.w.k.2 = 2.306 \frac{kN}{m}$$

Päätykolmion tuulikuorma yläpaarteen tasossa

$$q.w.k.3 := C.s.C.d \cdot C.f \cdot q.p \cdot \frac{h.m}{2} = 0.517 \frac{kN}{m}$$

Katon kitkan aiheuttama tuulikuorma yläpaarteen tasossa

$$\min[2 \cdot b; 4 \cdot h]$$

$$b := 20 \text{ m} \quad h := 7.5 \text{ m}$$

$$2 \cdot b = 40 \text{ m} \quad 4 \cdot h = 30 \text{ m}$$

$$L.fr := 35 \text{ m} - 30 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

$$C.fr := 0.04$$

Kitkakerroin profiilipeltikatteelle

$$q.fr.k := q.p \cdot C.fr \cdot L.fr = 0.106 \frac{kN}{m}$$

Yläpaarteiden tason tuulikuorma

2(10)

$$q.w.k.yläp := q.w.k.3 + q.fr.k = 0.623 \frac{kN}{m}$$

Yläpaarteiden keskimääräinen puristusvoima omapainosta

$$k = 900 \text{ mm} \quad \text{Kattoristikkojako}$$

$$p.k.omap.900 := k \cdot g.k.1 = 0.99 \frac{kN}{m}$$

$$L := 20 \text{ m}$$

$$M.k.omap.900 := \frac{p.k.omap.900 \cdot L^2}{8} = 49.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N.k.omap.900 := \frac{M.k.omap.900}{h.m} = 38.077 \text{ kN}$$

Sisäinen jäykistyskuorma yläpaarteiden tasossa omapainosta

Jäykistysjärjestelmän jänneväli L on pisin mahdollinen nurjahdusaallon pituus eli tässä tapauksessa lappeen pituus 10743 mm.

$$kl = \min\left(1; \sqrt{\frac{15}{l}}\right) \quad l := 10.743 \text{ m}$$

$$k.l := \sqrt{\frac{15 \text{ m}}{l}} = 1.182 \quad n.900 := 39 \quad \text{kattoristijoiden määrä jaon k900 alueella}$$

$$g.k.900 := k.l \cdot \frac{n.900 \cdot N.k.omap.900}{50 \cdot l} = 3.267 \frac{kN}{m}$$

$$g.k.j.omap := g.k.900 = 3.267 \frac{kN}{m}$$

Yläpaarteiden keskimääräinen puristusvoima lumikuorma

$$k = 900 \text{ mm} \quad \text{kattoristikkojako}$$

$$p.k.lumi := k \cdot q.k.1 = 1.8 \frac{kN}{m} \quad \text{kattoristikon pystykuorma normaalin lumikuorma alueella}$$

$$M.k.lumi := \frac{p.k.lumi \cdot L^2}{8} = 90 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N.k.lumi := \frac{M.k.lumi}{h.m} = 69.231 \text{ kN}$$

Sisäinen jäykistyskuorma yläpaarteiden tasossa omapainosta

Jäykistysjärjestelmän jänneväli L on pisin mahdollinen nurjahdusaallon pituus eli tässä tapauksessa lappeen pituus 10743 mm.

$$kl = \min\left(1; \sqrt{\frac{15}{l}}\right) \quad l := 10.743 \text{ m}$$

$$k.l := \sqrt{\frac{15 \text{ m}}{l}} = 1.182 \quad n.900 := 39 \quad \text{kattoristijoiden määrä jaon k900 alueella}$$

$$q.k.lumi := k.l \cdot \frac{n.900 \cdot N.k.lumi}{50 \cdot l} = 5.94 \frac{kN}{m}$$

$$q.k.j.lumi := q.k.lumi = 5.94 \frac{kN}{m}$$

Yläpaarten tasossa olevien jäykisteiden kokonaiskuorma 3(10)
yläpaarten tasoon asennetaan lappen suuntaiset NR-jäykisteristikot, joita kuormittaa.

$$g.k.j.omap = 3.267 \frac{kN}{m} \quad \text{Yläpaarteiden sisäinen jäykistyskuorma omapainosta}$$

$$q.k.j.lumi = 5.94 \frac{kN}{m} \quad \text{Yläpaarteiden sisäinen jäykistyskuorma lumikuormasta}$$

$$q.w.k.yläp = 0.623 \frac{kN}{m} \quad \text{Tuulikuorma päätykolmiolta ja katon kitkasta}$$

$$\psi.0.2 = 0.7$$

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

$$P.d.jäykiste := 1.15 \cdot K.FI \cdot g.k.j.omap + 1.5 \cdot K.FI \cdot q.w.k.yläp + 1.5 \cdot K.FI \cdot \psi.0.2 \cdot q.k.j.lumi = 10.927 \frac{kN}{m}$$

$$P.d.jäykiste = 10.927 \frac{kN}{m}$$

KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

$$P.d.jäykiste := 1.15 \cdot K.FI \cdot g.k.j.omap + 1.5 \cdot K.FI \cdot q.k.j.lumi = 12.666 \frac{kN}{m}$$

KY 13 (hetkellinen aikaluokka)

$$P.d.jäykiste := 1.15 \cdot K.FI \cdot g.k.j.omap + 1.5 \cdot K.FI \cdot q.k.j.lumi + 1.5 \cdot K.FI \cdot \psi.0.2 \cdot q.w.k.yläp = 13.32 \frac{kN}{m}$$

NR-jäykisteristikon ja NR-pukkien kuormat murtorajatilassa

Tässä esimerkissä yläpohjassa on neljä alla olevan kuvan mukaista jäykistesysteemiä peräkkäin, joten kokonaiskuorma $pd.jäykiste$ jakaantuu niille tasan. Seuraavassa käsitellään yhtä jäykistesysteemiä, jota kuormittaa $pd.jäykiste$.

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

$$1.15 \cdot K.FI \cdot \frac{g.k.j.omap}{4} = 0.939 \frac{kN}{m}$$

$$1.5 \cdot K.FI \cdot \frac{q.w.k.yläp}{4} = 0.234 \frac{kN}{m}$$

$$1.5 \cdot K.FI \cdot \frac{\psi.0.2 \cdot q.k.j.lumi}{4} = 1.559 \frac{kN}{m}$$

$$P.d.jäykiste.1 := 0.939 \frac{kN}{m} + 0.234 \frac{kN}{m} + 1.559 \frac{kN}{m} = 2.732 \frac{kN}{m}$$

KY 10 (aikaluokka)

$$1.15 \cdot K.FI \cdot \frac{g.k.j.omap}{4} = 0.939 \frac{kN}{m}$$

$$1.5 \cdot K.FI \cdot \frac{q.k.j.lumi}{4} = 2.227 \frac{kN}{m}$$

$$P.d.jäykiste.2 := 0.939 \frac{kN}{m} + 2.227 \frac{kN}{m} = 3.166 \frac{kN}{m}$$

KY 13 (hetkellinen aikaluokka)

4(10)

$$1.15 \cdot K.FI \cdot \frac{g.k.j.omap}{4} = 0.939 \frac{kN}{m}$$

$$1.5 \cdot K.FI \cdot \frac{q.k.j.lumi}{4} = 2.227 \frac{kN}{m}$$

$$1.5 \cdot K.FI \cdot \frac{\psi \cdot 0.2 \cdot q.w.k.yläp}{4} = 0.163 \frac{kN}{m}$$

$$P.d.jäykiste.3 = 0.939 \frac{kN}{m} + 2.227 \frac{kN}{m} + 0.163 \frac{kN}{m} = 3.329 \frac{kN}{m}$$

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.

KY.7

$$F.d.w.1 = 0.234 \frac{kN}{m} \cdot \frac{10.743 m}{2} = 1.257 kN \quad \text{Tuulikuomasta (hetkellinen)}$$

KY.10

$$F.d.w.2 = 0.163 \frac{kN}{m} \cdot \frac{10.743 m}{2} = 0.876 kN \quad \text{Tuulikuomasta (hetkellinen)}$$

KY.7

$$F.d.1 = \left(0.939 \frac{kN}{m} + 2.732 \frac{kN}{m} \right) \cdot \frac{10.743 m}{2} = 19.719 kN$$

KY.10

$$F.d.2 = \left(0.939 \frac{kN}{m} + 3.166 \frac{kN}{m} \right) \cdot \frac{10.743 m}{2} = 22.05 kN$$

KY.13

$$F.d.3 = \left(0.939 \frac{kN}{m} + 3.329 \frac{kN}{m} \right) \cdot \frac{10.743 m}{2} = 22.926 kN$$

Tässä tapauksessa ruoteen ja kattoristikon liitokseen mahtuu 6 kpl 2,8x75 kokoisia nauloja. Tällaisen liitoksen leikkausvoimakestävyys $R_{d,liitos} = 2,64 kN$ (keskipitkä aikaluokka). Käytetään tätä liitosta lisäruoteiden kiinnityksessä, jolloin lisäruoteiden määrä NR-pukkien kohdalla saadaan seuraavasti

Liitoksen leikkausvoimakestävyys

$$R_{d,liitos} = 2.64 kN$$

$$n_{lisäruode} = \frac{F.d.3}{R_{d,liitos}} = 8.684$$

$$n_{lisäruode} = 9 \text{ kpl}$$

Oletetaan, että NR-suunnittelija on mitoittanut kattoristikot ruodejaon k600 mukaan. Tämä on se ruodejako, jonka yläpaarre tarvitsee nurjahdustuennan takia.

Ruoteiden kiinnitys yksittäiseen kattoristikoon 5(10)

Normaalin lumikuorman alueella

KY.10 (keskipitkä aikaluokka)

$$N.d.yläp := 1.15 \cdot K.FI \cdot N.k.omap.900 + 1.5 \cdot K.FI \cdot N.k.lumi = 147.635 \text{ kN}$$

$$F.d.600 := \frac{N.d.yläp}{50} = 2.953 \text{ kN}$$

$$F.d.ruode := \frac{F.d.600}{2} = 1.476 \text{ kN}$$

Ruoteiden kiinnitys NR-jäykisteristikoon

Tarkastellaan NR-jäykisteristikon vieressä olevaa kattoristikkoa, josta jäykistyskuorma siirtyy NRjäykisteristikolle yläpaarten ja NR-jäykisteristikon välisen kontaktiitoksen välityksellä

KY.10 (keskipitkä aikaluokka)

$K := 300 \text{ mm}$ Ruodejako

$$P.d.jäykiste.2 = 3.166 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{yhden NR-jäykisteristikon kuorma})$$

$$F.d.ruode.jäykiste := P.d.jäykiste \cdot K = 3.996 \text{ kN}$$

Ruoteiden kiinnitys NR-jäykisteristikoiden vieressä oleviin kattoristikoihin mitoitetaan tässä tapauksessa voimalle $F_{d,ruode,jäykiste} = 3.996 \text{ kN}$.

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

$n.jäykiste.1 := 2$ vierekkäisten NR-jäykisteristikoiden määrä yhdessä jäykisteyksikössä

$$P.d.jäykiste.2 = 3.166 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{yhden NR-jäykisteristikon kuorma})$$

$$N.d.ruode := P.d.jäykiste \cdot K \cdot n.jäykiste.1 = 7.992 \text{ kN}$$

KY 10 (keskipitkä aikaluokka)

Ruodevoima yksittäisen kattoristikon S-nurjahdusmuodosta

$$N.d.ruode := F.d.ruode = 1.476 \text{ kN} \quad \text{ks. kohta Ruoteiden kiinnitys yksittäiseen kattoristikoon}$$

Ruoteiden nurjahdus- ja vetokestävyys mitoitetaan tässä tapauksessa voimalle $N_{d,ruode} = \pm 7.992 \text{ kN}$. Lisäksi mitoituksessa tulee huomioida lumikuorman aiheuttama taivutusrasitus (N + M yhteisvaikutu)

Ruoteiden jatkokset

Ruoteiden jatkokset tulee mitoittaa edellä määritetyille voimalle $N_{d,ruode} = 7.992 \text{ kN}$. Ruoteiden jatkokset voidaan tehdä seuraavilla vaihtoehdoilla ja ne vaihtoehdot ovat erillinen jatkosruode ja limitetyt ruoteet.

6(10)

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.

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

$F.d.w.1 = 1.257 \text{ kN}$ tuulikuorman aiheuttama tukireaktio NR-jäykisteristikon päässä

$$F.1.d := n.jäykiste.1 \cdot F.d.w.1 = 2.514 \text{ kN}$$

$$H := 850 \text{ mm} \quad L := 1750 \text{ mm}$$

$$A.1.d := \frac{F.1.d \cdot H}{L} = 1.221 \text{ kN} \quad B.1.d := A.1.d = 1.221 \text{ kN}$$

KY 13 (hetkellinen aikaluokka)

$F.d.w.2 = 0.876 \text{ kN}$ tuulikuorman aiheuttama tukireaktio NR-jäykisteristikon päässä

$$F.2.d := n.jäykiste.1 \cdot F.d.w.2 = 1.751 \text{ kN}$$

$$H := 850 \text{ mm} \quad L := 1750 \text{ mm}$$

$$A.1.d := \frac{F.1.d \cdot H}{L} = 1.221 \text{ kN} \quad B.1.d := A.1.d = 1.221 \text{ kN}$$

NR-pukit ovat ulkoseinän päällä, joten ulkoiset kuormat A1d ja B1d eivät tule rasittamaan kattoristikkoa. NR-pukit kiinnitetään seinän päälle voimalle F1d ja kattoristikoihin voimalle A1d (=B1d). Tässä tapauksessa NR-pukkien liitokset mitoitetaan kuormitusyhdistelmälle 7.

Alakaton vinolaudoituksen kuormat

Alapaarteen tason jäykisteeksi asennetaan vinolaudoitus, jota kuormittaa

Tuulikuorma päätykolmiolta ja päätyseinältä

Tuulikuorma harjan kohdalla olevilta NR-pukeilta

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

Tuulikuorma alapaarteen tasossa

$$P.d.tuuli.alap.1 := 1.5 \cdot K.FI \cdot q.w.k.alap = 3.458 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tuulikuorma NR-pukeilta

$$n.jäykisteyksikkö := 2 \quad \text{Jäykisteyksiköiden määrä harjan kohdalla}$$

$$F.d.alap.1 := n.jäykisteyksikkö \cdot F.1.d = 5.028 \text{ kN}$$

KY 13 (hetkellinen aikaluokka)

Tuulikuorma alapaarteen tasossa

$$P.d.tuuli.alap.2 := 1.5 \cdot K.FI \cdot \psi.0.2 \cdot q.w.k.alap = 2.421 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tuulikuorma NR-pukeilta

$$n.jäykisteyksikkö := 2 \quad \text{Jäykisteyksiköiden määrä harjan kohdalla}$$

$$F.d.alap.2 := n.jäykisteyksikkö \cdot F.2.d = 3.502 \text{ kN}$$

7(10)

Alakaton vinolaudoituksen leikkausvoima

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

$$L := 20 \text{ m}$$

$$V.d := \frac{P.d.tuuli.alap.1 \cdot L}{2} + \frac{F.d.alap.1}{2} = 37.096 \text{ kN}$$

Vinolaudoituksen puristuskestävyys

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

Alapaarteen alapintaan tehdään vinolaudoitus C14 28x125 k500. Laudat naulataan ristikoiden alapaarteen alapuolelle 45 asteen kulmaan siten, että vinolaudoitus on symmetrinen katon harjalinjan suhteen.

$$b := 125 \text{ mm}$$

Laudan leveys

$$h := 28 \text{ mm}$$

Laudan paksuus

$$A := b \cdot h = (3.5 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

Laudan poikkileikkausala

$$f.c.0.k := 16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuus syysuuntaan

$$E.0.05 := 4700 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kimmomoduuli

$$\gamma.M := 1.4$$

Materiaalin osavarmuusluku

Hoikkuusluku

$$L := 1270 \text{ mm}$$

$$L.c.y := 1.0 \cdot L = 1.27 \text{ m}$$

$$I.z := \frac{b \cdot h^3}{12} = (2.287 \cdot 10^6) \text{ mm}^4$$

$$i.z := \sqrt{\frac{I.z}{A}} = 0.008 \text{ m}$$

$$\lambda.z := \frac{L.c.y}{i.z} = 157.122$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda.rel.z := \frac{\lambda.z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f.c.0.k}{E.0.05}} = 2.918$$

K.z-kerroin

$$B.c := 0.2$$

Alkukäyryydestä riippuva kerroin sahatavaralle

$$K.z := 0.5 \cdot (1 + B.c \cdot (\lambda.rel.z - 0.3) + \lambda.rel.z^2) = 5.019$$

Nurjahduskerroin $k_{c,z}$

$$K.c.z := \frac{1}{K.z + \sqrt{K.z^2 - \lambda.rel.z^2}} = 0.11$$

Puristuslujuus

8(10)

$$K.mod := 1.1$$

$$f.c.0.d := \frac{f.c.0.k \cdot K.mod}{\gamma.M} = 12.571 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuskestävyys

$$N.R.d := K.c.z \cdot f.c.0.d \cdot A = 4.833 \text{ kN}$$

Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle Vd vinolaudoituksen nurjahduskestävyyden perusteella

$$K := 500 \text{ mm}$$

Vinolaudoituksen k-jako

$$S := 707 \text{ m}$$

Vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa

$$L := 35.0 \text{ m}$$

Ulkoseinän pituus

$$\alpha := 45^\circ$$

Vinolaudoituksen kulma ulkoseinään nähden

$$V.R.d := N.R.d \cdot \cos 45^\circ$$

$$V.R.d := 3.420 \text{ kN}$$

$$V.R.d.seinä := \frac{L}{S} \cdot V.R.d$$

$$V.R.d.seinä := 169 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$V.d \leq V.R.d$$

$$37.1 \text{ kN} \leq 169 \text{ kN}$$

Käyttöaste 22%

OK kestää

Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys

KY 7 (hetkellinen aikaluokka)

Naulan leikkauskestävyys

$$t.1 := 28 \text{ mm} \quad t.2 := 28 \text{ mm} \quad d := 3.1 \text{ mm}$$

$$k.l.1 := 1 + 0.3 \cdot \frac{t.1 - 8 \cdot d}{8 \cdot d} = 1.039$$

$$k.l.2 := 1 + 0.3 \cdot \frac{t.2 - 12 \cdot d}{6 \cdot d} = 0.852$$

$$k.l := k.l.2 = 0.852$$

Pyöreillä sileillä nautoilla $kt < 1,1 \rightarrow kt = 1,1$

$$d := 3.1 \quad K.mod := 1.1 \quad \gamma.M := 1.4$$

$$R.k := 120 \text{ N} \cdot d^{1.7} = 821.289 \text{ N}$$

$$R.d := \frac{K.mod \cdot R.k \cdot k.l}{1.4} = 549.545 \text{ N}$$

9(10)

Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle V_d vinolaudoituksen naulauksen perusteella

Vinolaudoitus kiinnitetään seiniin ja kattoristikoiden alapaarteisiin pyöreillä nauloilla 3,1x90;3 kpl / lauta.

$k := 500 \text{ mm}$	Vinolaudoituksen k-jako
$S := 707 \text{ mm}$	Vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa
$L := 35000 \text{ mm}$	Ulkoseinän pituus
$\alpha := 45^\circ$	Vinolaudoituksen kulma ulkoseinään nähden
$d := 3.1 \text{ mm}$	Naulan halkaisija
$n := 3$	Naulan määrä/vinolauta
$l := 90 \text{ mm}$	Naulan pituus

Vinolaudan naulauksen kestävyys laudan suunnassa

$$N.d := \frac{V.d \cdot S}{L \cdot (\cos \alpha)}$$

$$N.d = 1.06 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$\frac{N.d}{n \cdot R.d} \leq 1.0$$

$$\frac{N.d}{n \cdot R.d} = 0.643$$

Käyttöaste 64 %
OK kestää

Vinolaudan naulauksen kestävyys laudan suunnassa

$$V.R.d.seinä := \frac{L}{S} \cdot n \cdot R.d = 81.616 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$\frac{V.d}{V.R.d.seinä} \leq 1.0$$

$$\frac{V.d}{V.R.d.seinä} = 0.455$$

Käyttöaste 46 %
OK kestää

Yläpaarteen nurjahdustuennan jousijäykkyys

Vaatus tuen jousijäykkyydelle

$$a := 600 \text{ m} \quad \text{Ruodejako} \quad l := 10743 \text{ mm}$$

$$N.d.yläp = (1.476 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$M := \frac{l}{a} = 0.018$$

10(10)

$$C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180}{M}\right) \right) \cdot \frac{N \cdot d \cdot y_{l\ddot{a}p}}{a}$$

$$C := 984 \frac{N}{mm}$$

Jäykisteyksiköitä kaksi kappaletta, joten vaatimus $C \geq 379 \text{ N/mm}$

Siirtymäkerroin yhdelle naulalle

$$p.w := 420 \frac{kg}{m^3}$$

$$K_{ser} := \frac{p.w^{1.5} \cdot d^{0.8}}{30}$$

$$K_{ser} := \frac{8607.44 \cdot 2.28}{30} = 654.165$$

$$K_{ser} := 654.165 \frac{N}{mm}$$

Siirtymäkerroin ruodeliitokselle

$n.liitin := 4$ Naulaa

$$K_{ser.liitos} := n.liitin \cdot K_{ser} = (2.617 \cdot 10^3) \frac{N}{mm}$$

$n.liitos := 4$ kpl

$$C := \frac{K_{ser.liitos}}{n.liitos} = 654.165 \frac{N}{mm}$$

Ehto nurjahdustuen jousijäykkyydelle

$$C \geq 379 \frac{N}{mm}$$

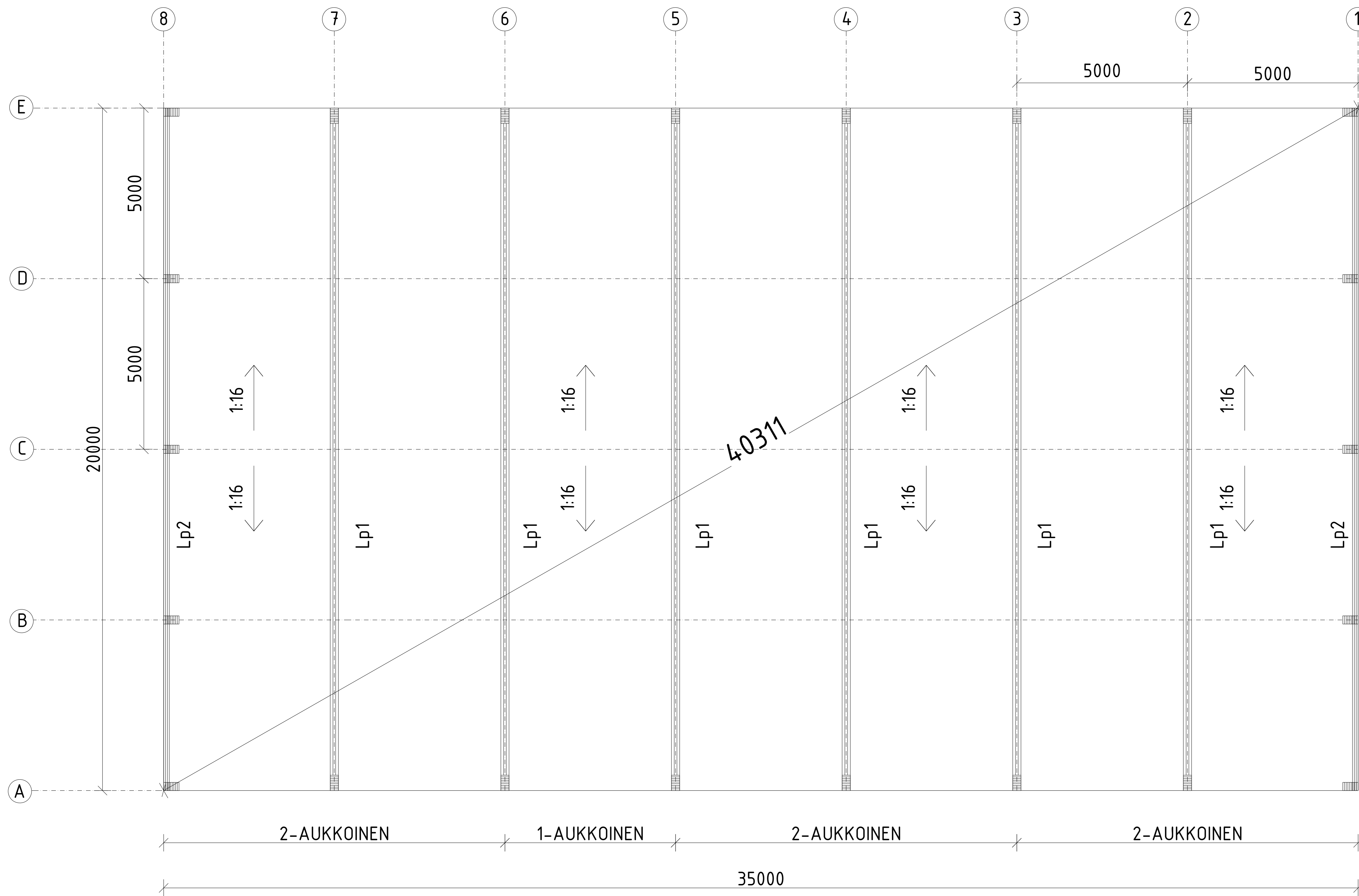
$$654.165 \frac{N}{mm} \geq 379 \frac{N}{mm}$$

Hallin molempiin päihin tehdään jäykistesysteemit lappen suuntaisilla NR-jäykisteristikoilla sekä seinien ja harjan kohdalle asennettavilla NR-pukeilla. Alapaarteen tasoon koko yläpohjan alueelle tehdään vinolaudoitus C14 28x100 k500. Vinolautojen päät kiinnitetään seiiniin ja kattoristikoiden alapaarteisiin konenauloilla 3,1x90 3 kpl / lauta.

Liite 15. Excel taulukko

Materiaalimäärät harjaristikossa			
C24	määrä	hinta/kpl	hinta/€
125x225x4750	234	25 €	5 850 €
Kertopuu S	määrä	hinta/kpl	hinta/€
150x400x3500	2	200 €	400 €
126x300x1500	2	75 €	150 €
Harjaristikko	määrä	hinta/kpl	hinta/€
	39	452 €	17 628 €
Levyjäykistys	määrä	hinta/kpl	hinta/€
havuvaneri (9 mm)	174	14,00 €	2 436,00 €
Materiaalien hinta yhteensä:			26 464,00 €

Materiaalimäärät liimapuussa			
GL30c Pilarit	määrä	hinta/kpl	hinta/€
260x405	12	270 €	3 240 €
240x540	4	330 €	1 320 €
240x540	6	330 €	1 980 €
GL30c Palkit	määrä	hinta/kpl	hinta/€
240x405	2	650 €	1 300 €
260x405	6	930	5580
Materiaalien hinta yhteensä:			13 420,00 €



MATERIAALIT

Kantava runko, Liimapuu: GL30C
 Liitosten konepajahelat: S355
 Pultit ja kierretangot: 8.8

MITOITUSPERUSTEET

Mitoitusnormi: Eurokoodi
 Käyttöluokka:
 Seuraamusluokka: CC2
 Rungon palokestovaatimus: R30

Harjapalkki keskimääräinen omapino: $g_k=1,53$ KN/m²
 Kattorakenteen paino ilman liimapuita: $g_k=0,9$ KN/m²
 Ripustuskuorma: $g_k=0,2$ KN/m²
 Lumikuorma: $2,5$ KN/m² --> Lumikuorma katolla $q_{1k}=2,0$ KN/m²
 Tuuli, maastoluokka III: nopeuspaine $q_{wk}=0,53$ KN/m²
 Katon sekundäärirakenteen moniaukkoisuudesta aiheutuva kuormien epätasainen jakautuminen on huomioitu kertoimella 1,15

STABILITEETTI

Rakennuksen jäykistys leveysuunnassa mastopilareilla, pituussuuntainen jäykistys päätyjen mastopilareilla.
 Kattoelementti leveys 2500 pituus 10000,5000

LIIMAPUUT

Palkit:
 LP1= 260x1200-1825-1200
 LP2= 190x400

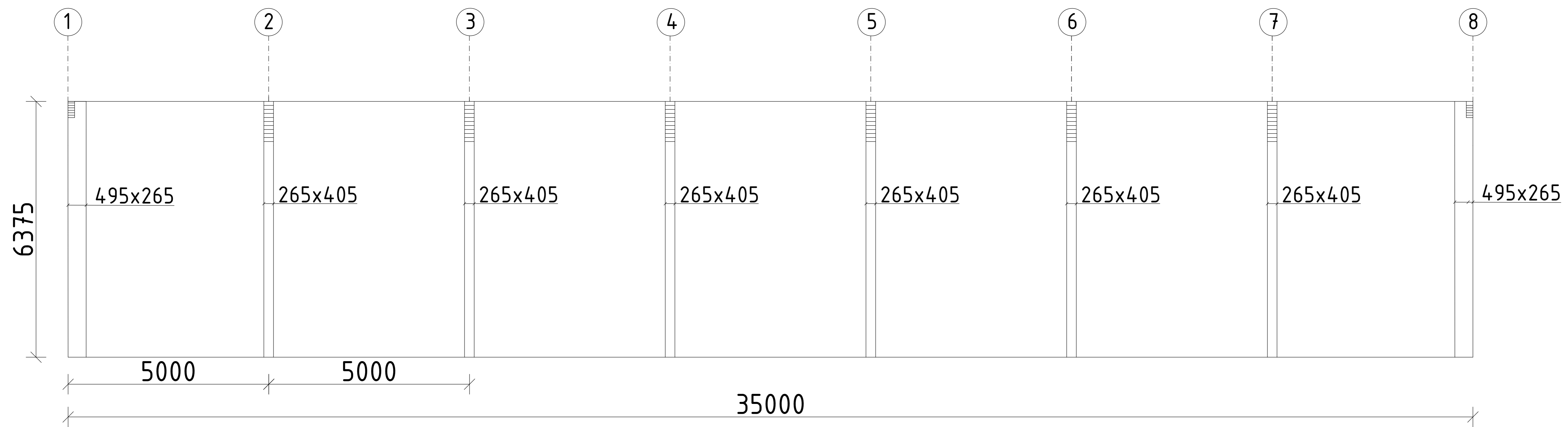
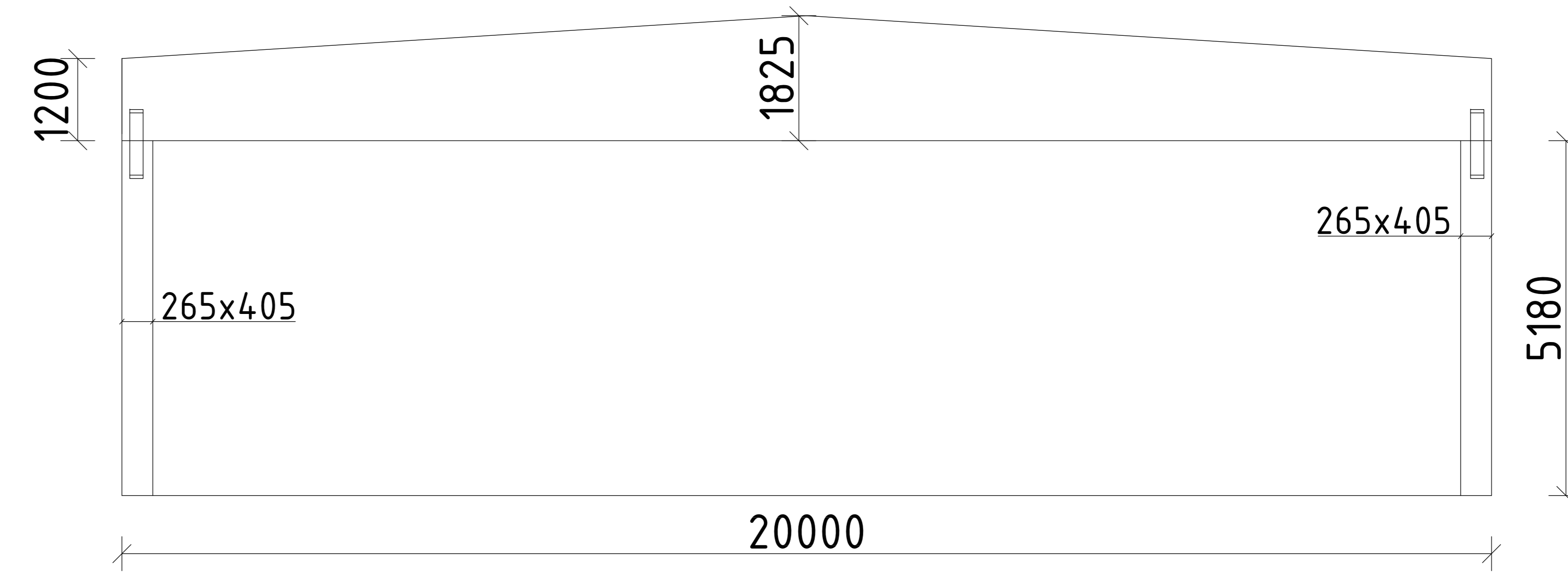
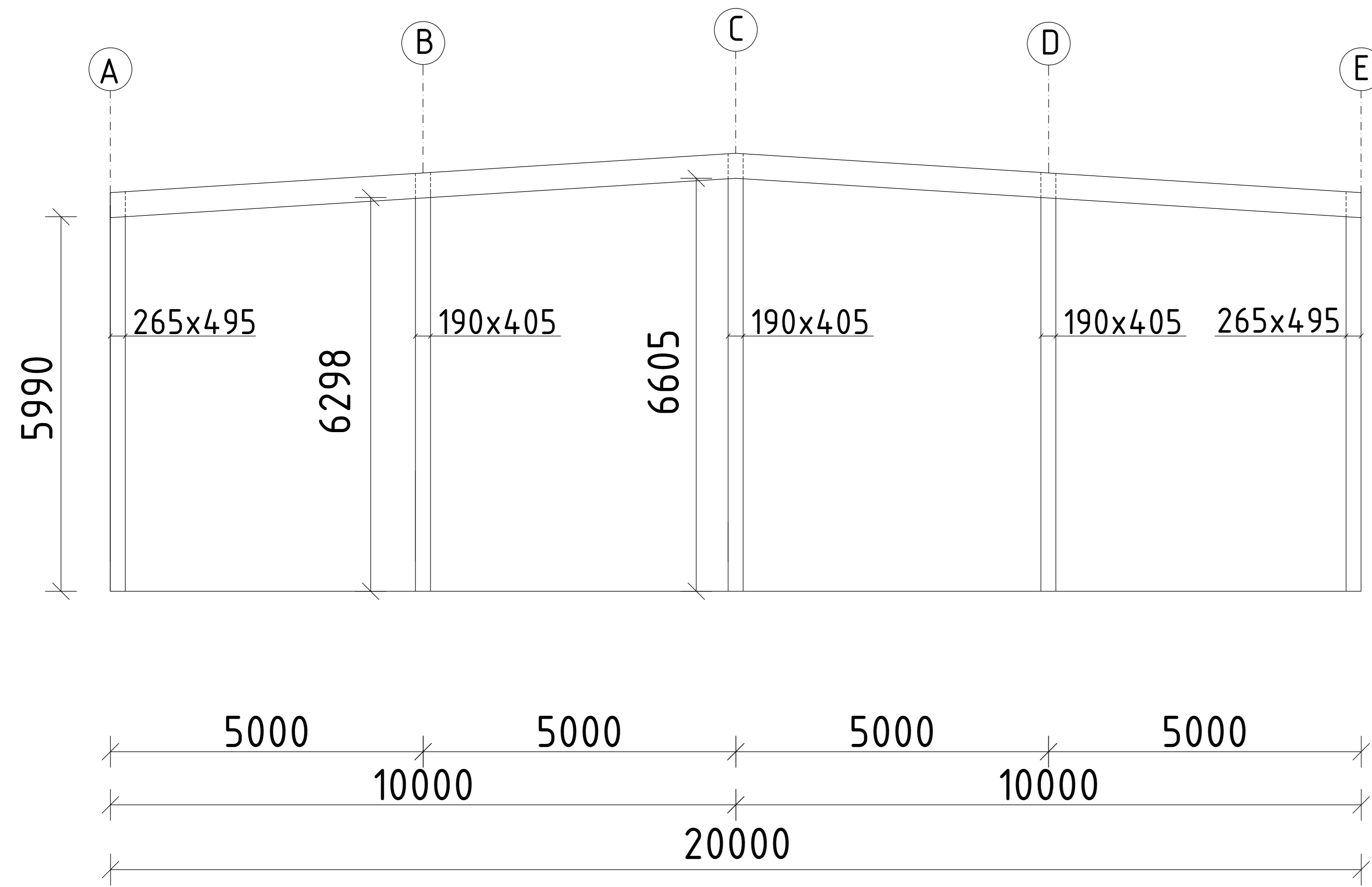
Pilarit :

$P_{\text{kehän mastopilari}} = 265 \times 405$

$P_{\text{nurkkapilari}} = 265 \times 495$

$P_{\text{Tuutipilari}} = 190 \times 405$

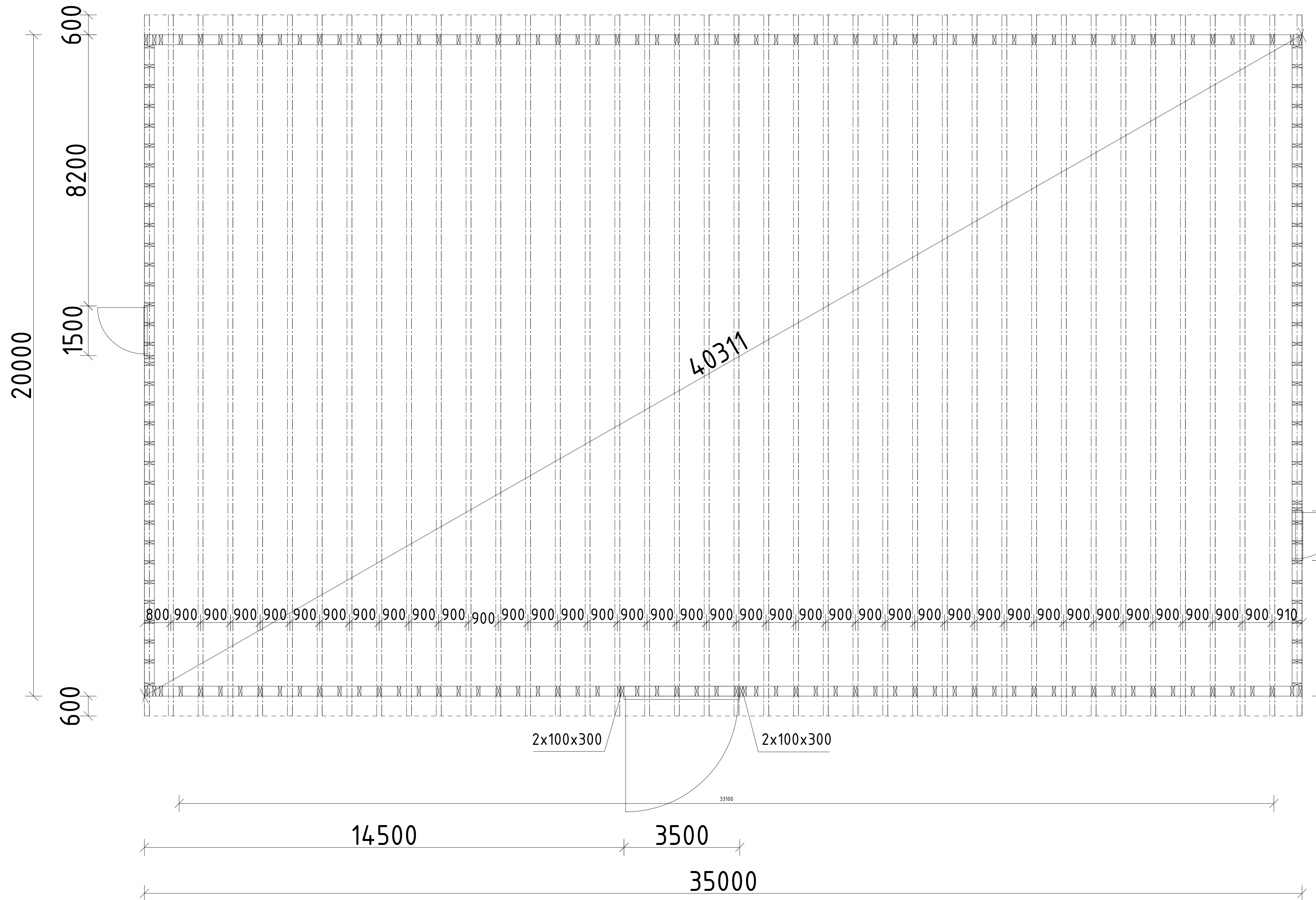
Kaupunginosa	Kortteli	Tontti	Viranomaisen merkintä
Rakennusmaa	UUDISRAKENNUS		
Rakennusmaa			
Pääty, suunnittelu, värien tekeminen ja kokuu			



Kaupunginosa	Korttelin	Talotyyppi	Varikonnan merkintä
Rakennusvaihe	UUDISRAKENNUS	Rakennusvaihe	Järjestö
Rakennusnumero		Rakennusvaihe	Mittakaava 1 : 5
		Aluepiirros	Suunnitelman, työpöytä- ja perustuksen numero
			Muoto
			Yhteystiedot

Sivuseinä 1

Päätyseinä 1



Sivuseinä 2

MATERIAALIT

- Sahatavara C24
 - Runkotolppa 125x225
 - Runko K600
 - Yläohjauspuu
 - Alaohjauspuu
- Kerto-S
 - NR-ristikoiden kannatuspalkki (150x400)
- Sahatavara C30
 - Harjaristikko
 - Sauvojen kokot 50x150 , 100x150
 - Alapaarteen 125x150
 - Yläpaarteen 125x150

MITOITUSPERUSTEET

Mitoitusnormi: Eurokoodi
 Käyttöluokka:
 Seuraamusluokka: CC2
 Rungon palkestovaatimus: R30

Harjapalkki keskimääräinen omapino:
 $g_k=1,53 \text{ KN/m}^2$
 Kattorakenteen paino ilman liimapuita:
 $g_k=0,9 \text{ KN/m}^2$
 Ripustuskuorma: $g_k=0,2 \text{ KN/m}^2$
 Lumikuorma: $2,5 \text{ KN/m}^2 \rightarrow$ Lumikuorma katolla $q_{1k}=2,0 \text{ KN/m}^2$
 Tuuli, maastoluokka III: nopeuspaine $q_{wk}=0,53 \text{ KN/m}^2$

Rakennuksen jäykistys

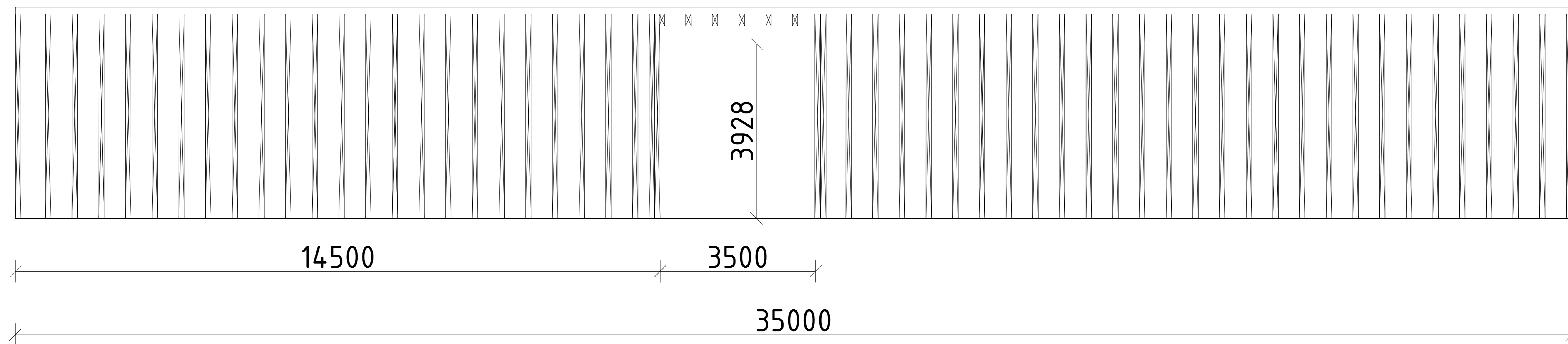
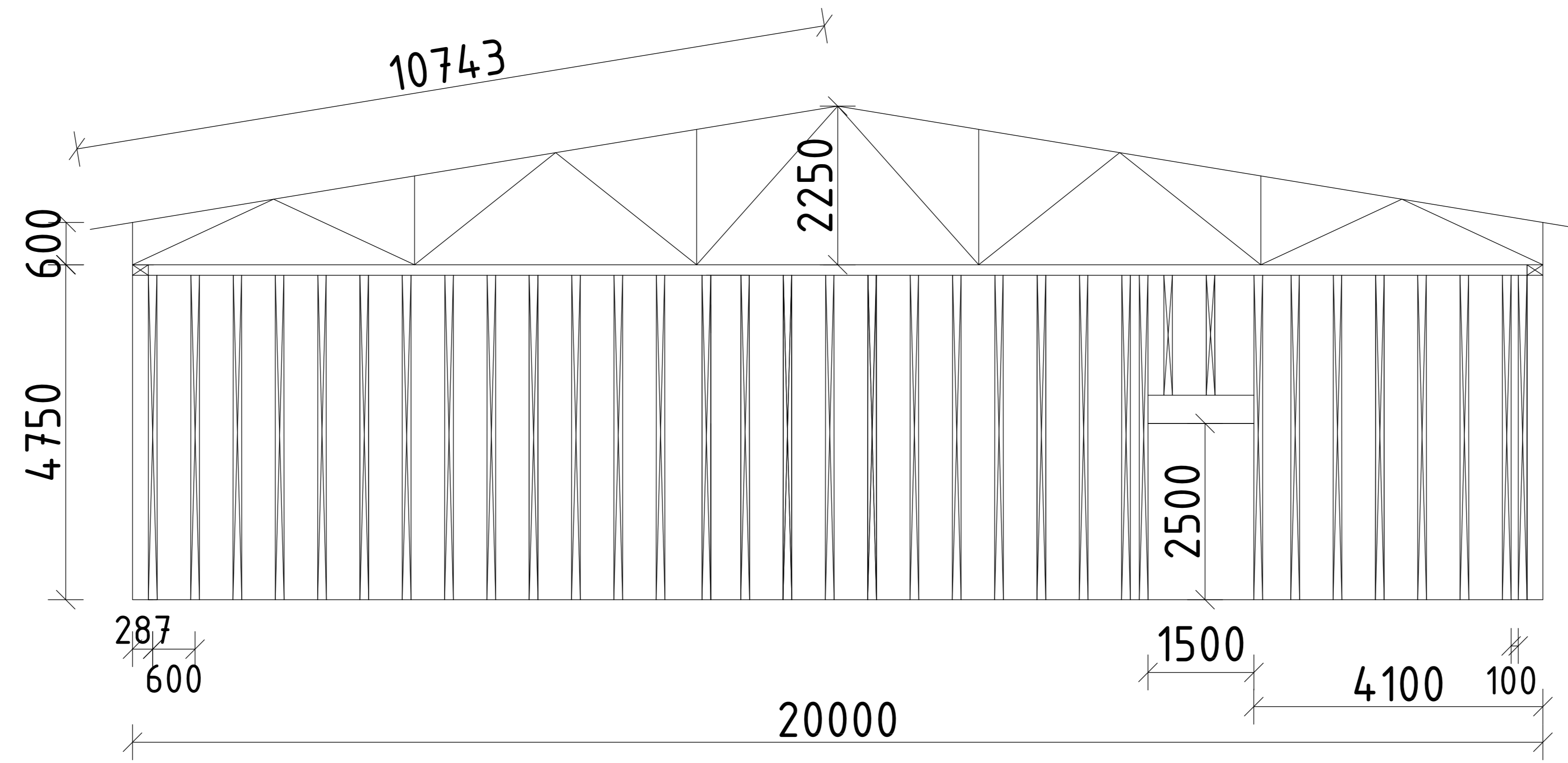
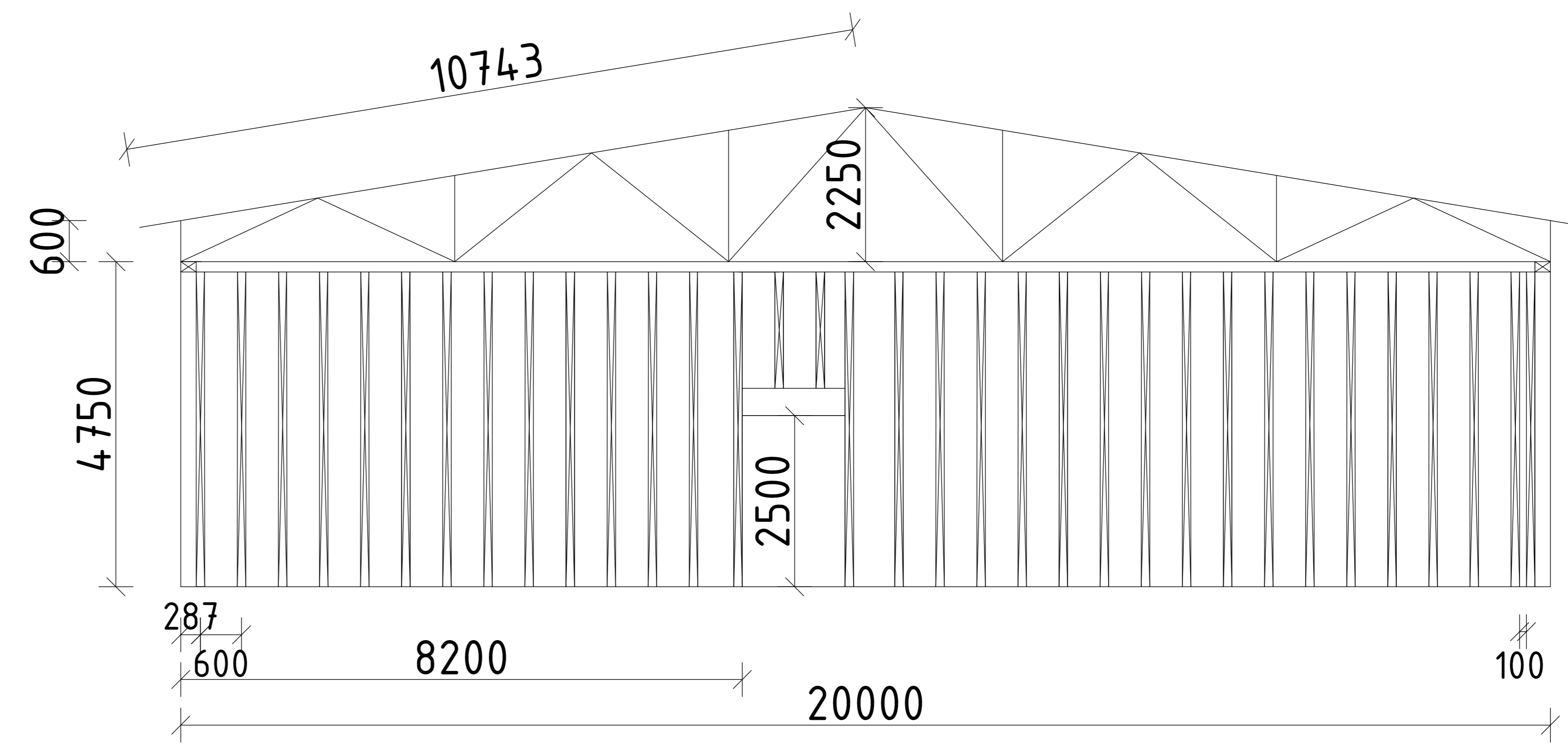
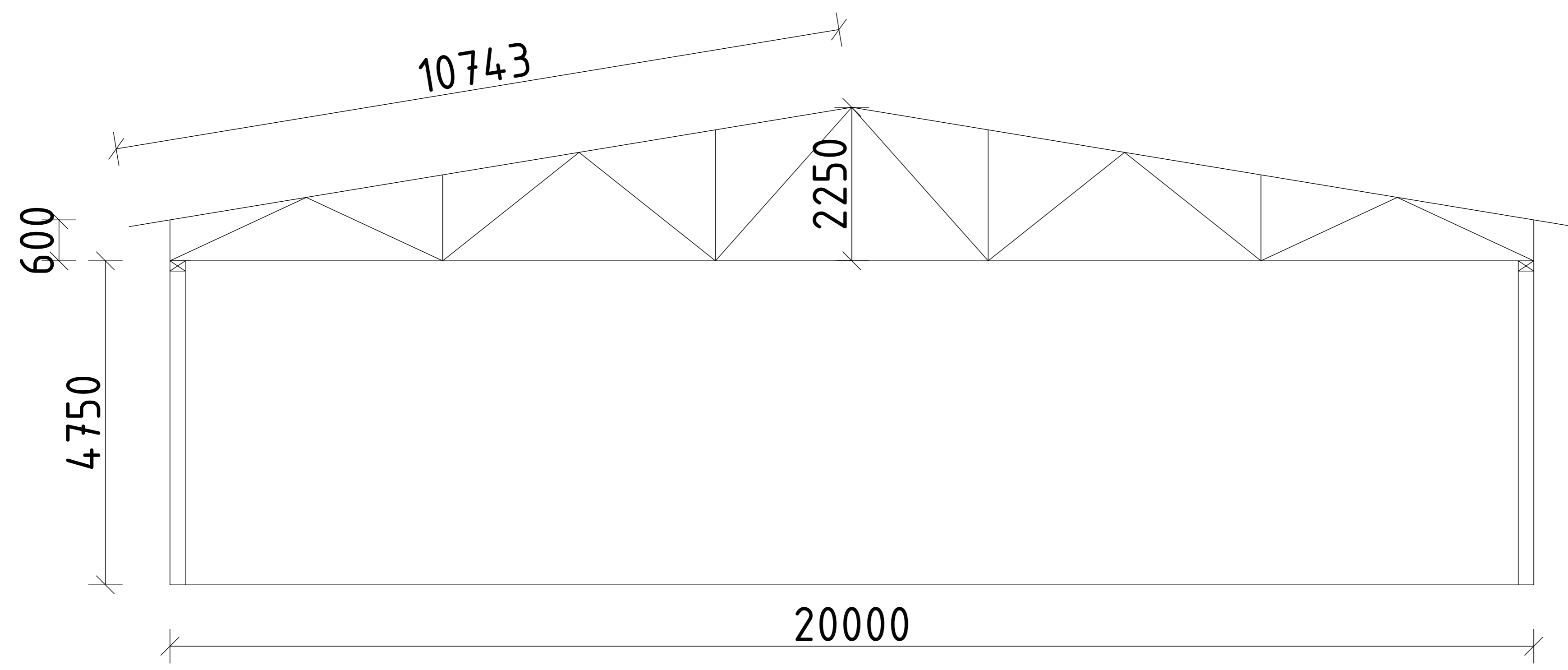
- Levy jäykistys
 Jäykistävät tuulensuojalevyt (havuvaneri 9 mm) kiinnitetään konenauloilla 4.0x30 kiinnitys tehdään kaikialta levyn reunoilta ja lisäksi levyn keskellä on runkotolppa ja sielläkin laitetaan nauloja.

- Ristikojäykistys
 Hallin molempiin päihin tehdään jäykistesysteemit lappeen suuntaisilla NR-jäykisteristikoilla sekä seinien ja harjan kohdalle asennettavilla NR-pukeilla. Alapaarteen tason koko yläpohjan alueelle tehdään vinolaudoitus C14 28x100 k500. Vinolautojen päät kiinnitetään seiiniin ja kattoristikoiden -alapaarteisiin konenauloilla 3,1x90 3 kpl / lauta.

Päätyseinä 2

1500
4100

Kaupunginosa	Kortteli	Tontti	Viranomaisen merkintä
Rakennusvaihe	UUDISRAKENNUS		
Rakennusluokka			
Alue			
Päätyseinä			

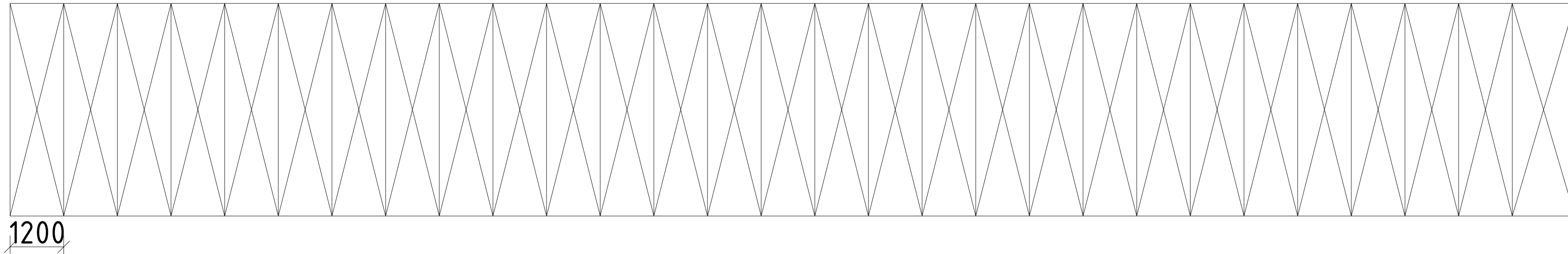


PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

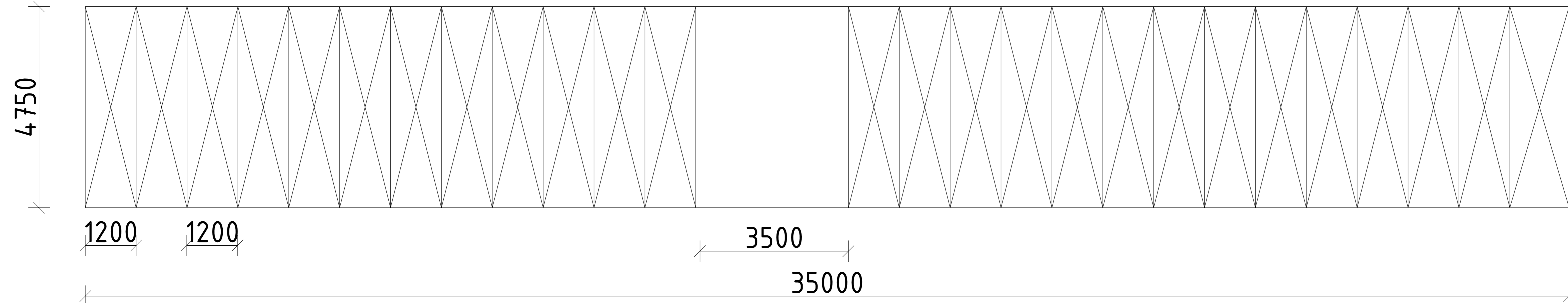
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

Kaupungissa	Korttella	Tontilla	Yleisen merkityksen
Rakennusosa	Rakennus		Joskus
UUDISRAKENNUS	Rakennus		Määrä
Rakennus	Rakennus		1:5
Alue			Määrä
Rakennus			Määrä

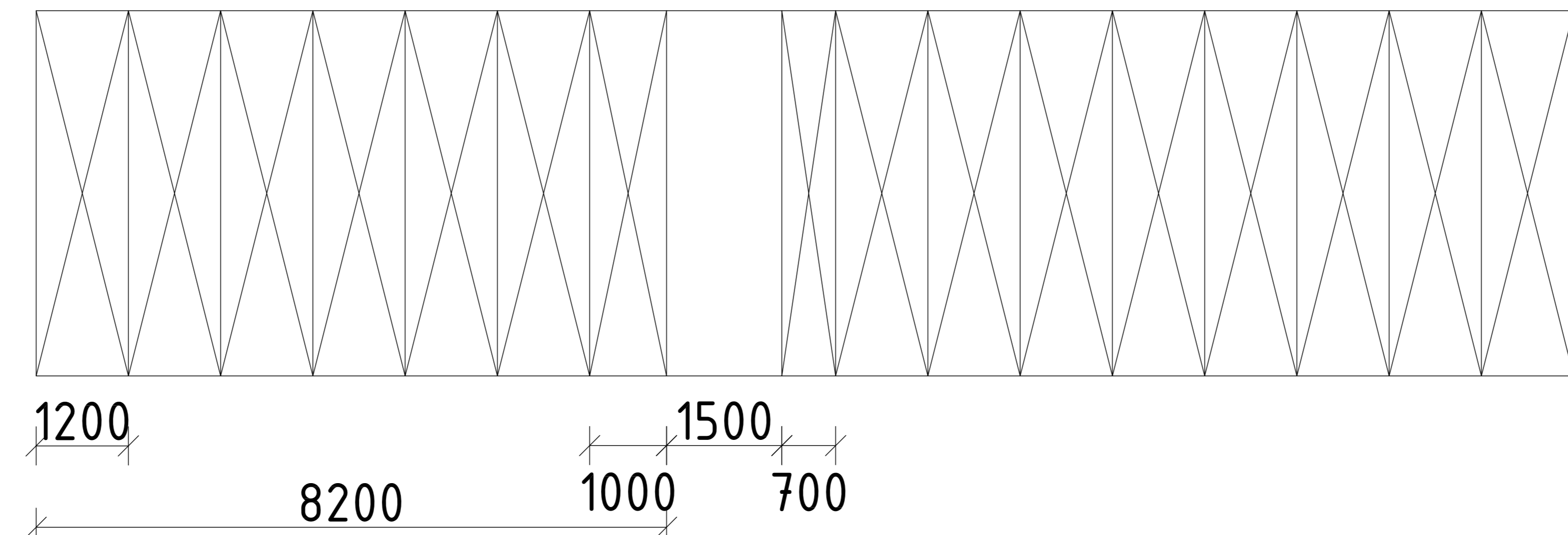
Sivuseinä 1



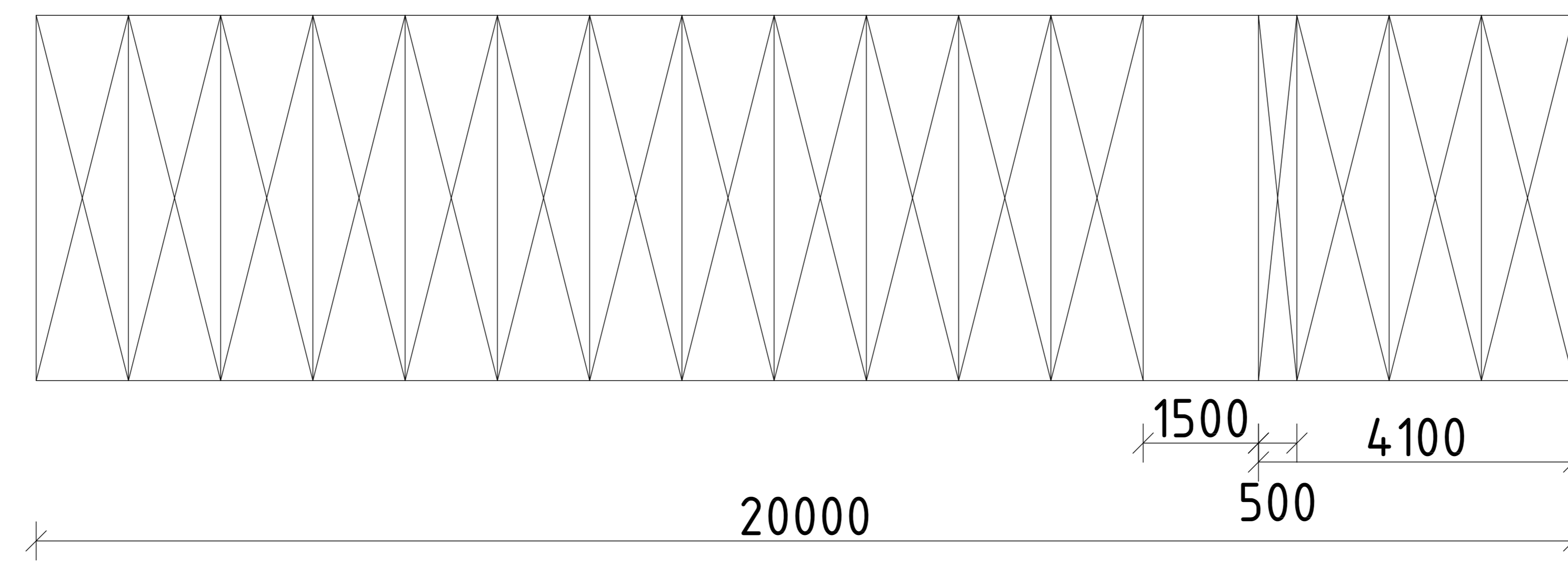
Sivuseinä 2



Päätöseinä 1



Päätöseinä 2



Kaupunginosa	Kortteli	Tontti	Yrityksen merkintä
Rakennusnumero	UUDISRAKENNUS	Rakennusvuosi	Projekti
Rakennusnimi		Rakennusala	Mittakaava 1:5
		Alue	Määrä
		Yhteyshenkilö	Tiedote