

Ville Vänntilä

PARITALON NR-KATTORAKENTEEEN JÄYKISTÄMINEN

PARITALON NR-KATTORAKENTTEEN JÄYKISTÄMINEN

Ville Vänntilä
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennetekniikka

Tekijä: Ville-Matti Vänntilä
Opinnäytetyön nimi: Paritalon NR-kattorakenteen jäykistäminen
Työn ohjaaja: Pekka Kilpinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017
Sivumäärä: 48 + 11

Puurakenteiden jäykistys suunnittelu on haastava ja laaja kokonaisuus. Sitä ei useinkaan huomioida riittävästi rakennesuunnittelussa. Jäykistysperiaatteiden puutteellinen hallinta on usein syy huomiotta jättämiseen. Puurakenteiden suunnittelussa ja toiminnassa jäykistysten ymmärtäminen on tärkeää toimivan kokonaisuuden kannalta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli paritalon katon jäykistäminen ilman levyrakenteita. Työn laskenta vaiheessa saatiin pientalojen jäykisteiden suuruusluokat hahmoteltua.

Puurakenteiden jäykistys suunnitteluun perehdyttiin esimerkkikohteen laskelmien, määräysten ja ohjeiden avulla. Esimerkkikohteeseen oli suunnitteilla oleva paritalo, jota voidaan hyödyntää jatkossa.

Insinöörityön tuloksena syntyi yhden jäykistystavan ja kuormien määräytymisen selvitys. Työn pohjalta on helppo kehittää Excel-laskentapohjia kattorakenteen jäykistämiseen. Työ auttoi ymmärtämään jäykistämistä, mikä auttaa jatkossa tulevissa suunnittelukohteissa.

Asiasanat: NR-rakenteet, puurakenteet, pientalo, jäykistys, stabiiliteetti

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Construction Engineering, Structural Engineering

Author: Ville-Matti Vänntilä

Title of thesis: Stiffness of the NR roof structure

Supervisor: Pekka Kilpinen

Term and year when the thesis was submitted: spring 2017

Number of pages: 48 + 11

The stiffness structure of wooden structures is challenging and extensive. It isn't often sufficiently taken into account in structural design. Inadequate management of stiffening principles is often the cause of ignorance. Understanding stiffness in the design and use of wooden structures is important for a functioning entity.

The purpose of this thesis was to stiffen the roof of the house without board structures. The calculation of the work describes the order of magnitudes of the stiffeners of small houses.

Stiffening plans for wood structures were examined according to invoices, regulations and instructions. An example of a property is a planned semi-detached house that can be utilized in the future.

The result of the work was the clarification of one stiffening and the determination of its loads. Based on the work, it is easy to develop Excel spreadsheets to stiffen the roof structure. The work helped to grasp the stiffening that helps in the planning of the future.

Keywords: NR-structures, wooden structures, small house, stiffness, stability

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 RAKENNESUUNNITTELUN PERUSTEET	8
2.1 Rakennesuunnittelijan tehtävät	9
2.2 Suunnittelua ohjaavat määräykset ja ohjeet	11
3 KUORMAT	12
3.1 Omapaino	12
3.2 Hyötykuormat	12
3.3 Lumi	14
3.4 Tuuli	17
3.5 Lisävaakavoimat	18
3.6 Kuormitusyhdistelmät	18
3.7 Kuormien aikaluokat	18
3.8 Käyttöluokat	19
4 JÄYKISTYS	20
4.1 Katon jäykistys	22
4.1.1 Katon kuormitukset	22
4.1.2 Tuulesta aiheutuva vaakakuormitus	22

4.1.3	Rakenteen vinoudesta aiheutuva lisävaakavoima	24
4.1.4	Kattotuolien puristettujen paarteiden aiheuttama kuormitus	25
5	JÄYKISTYSSUUNNITELUN KULKU	29
5.1	Kohteen esittely	29
5.2	Kattorakenteen ulkoistenvoimien siirtäminen jäykisteseinille	31
5.3	Kattorakenteen sisäisten voimien stabiloiminen	33
5.3.1	Sisäinen jäykistyskuorma	33
5.3.2	Ensimmäisen nurjahdusmuodon stabiloiminen	34
5.3.3	Toisen nurjahdusmuodon stabiloiminen	36
5.3.4	Pystyvinoreivauksien mitoitus	36
5.3.5	Uumasauvojen nurjahdustuenta	38
5.4	Alapaarretason jäykistys	40
6	YHTEENVETO	46
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella puurakenteisen paritalon NR-kattoristikoiden jäykistys ja katon kokonaisjäykistys siten, että rakenteeseen kohdistuvat kuormat johdetaan hallitusti jäykistäville seinille ja niiden kautta perustuksille. Lisäksi yksittäisten rakenneosien, kuten yläpaarteen puristusvoimasta aiheutuva nurjahdusvoimien, stabiloiminen rakenteen sisällä suljettuna jäykistesysteeminä.

Puurunkoinen rakennus jäykistetään vaakakuormia vastaan yleensä levyjäykisteellä. Jos niiden toteuttaminen on kustannussyitä kannattamatonta, täytyy käyttää muita jäykistystapoja. Näitä tapoja pyrittiin selventämään tässä työssä.

Tavoitteena oli käytännön laskuilla selvittää, kuinka esimerkki kohteen puurakenne pientalo, etenkin kattorakenne toimii. Lisäksi työssä tehtiin useista erilähteistä kootun jäykistysuunnittelun lähtökohtien selvittäminen. Näin saatiin rakennemalli, johon vaikuttavat oikean suuruiset voimat. Pääpiirteittäinen tutustuminen rakenteen jäykistämiseen käy työn aikana selväksi.

Työn alussa käsiteltiin lähtötilanteen ja kuormien määräytymistä talon kullekin pinnalle. Sen jälkeen katon ulkoiset voimat johdettiin jäykistäville seinille ja johtavat rakenteet mitoitettiin. Sisäisten voimien aiheuttamat nurjahdusmuodot stabiloitiin kattorakenteen sisällä. Laskenta työ tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla ja työn tekstiosa keskityttiin teoriaan ja laskennan kulkuun.

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin myös yleisellä tasolla rakennesuunnittelua, sen ohjeita ja määräyksiä, vastuualueita ja pätevyysvaatimuksia.

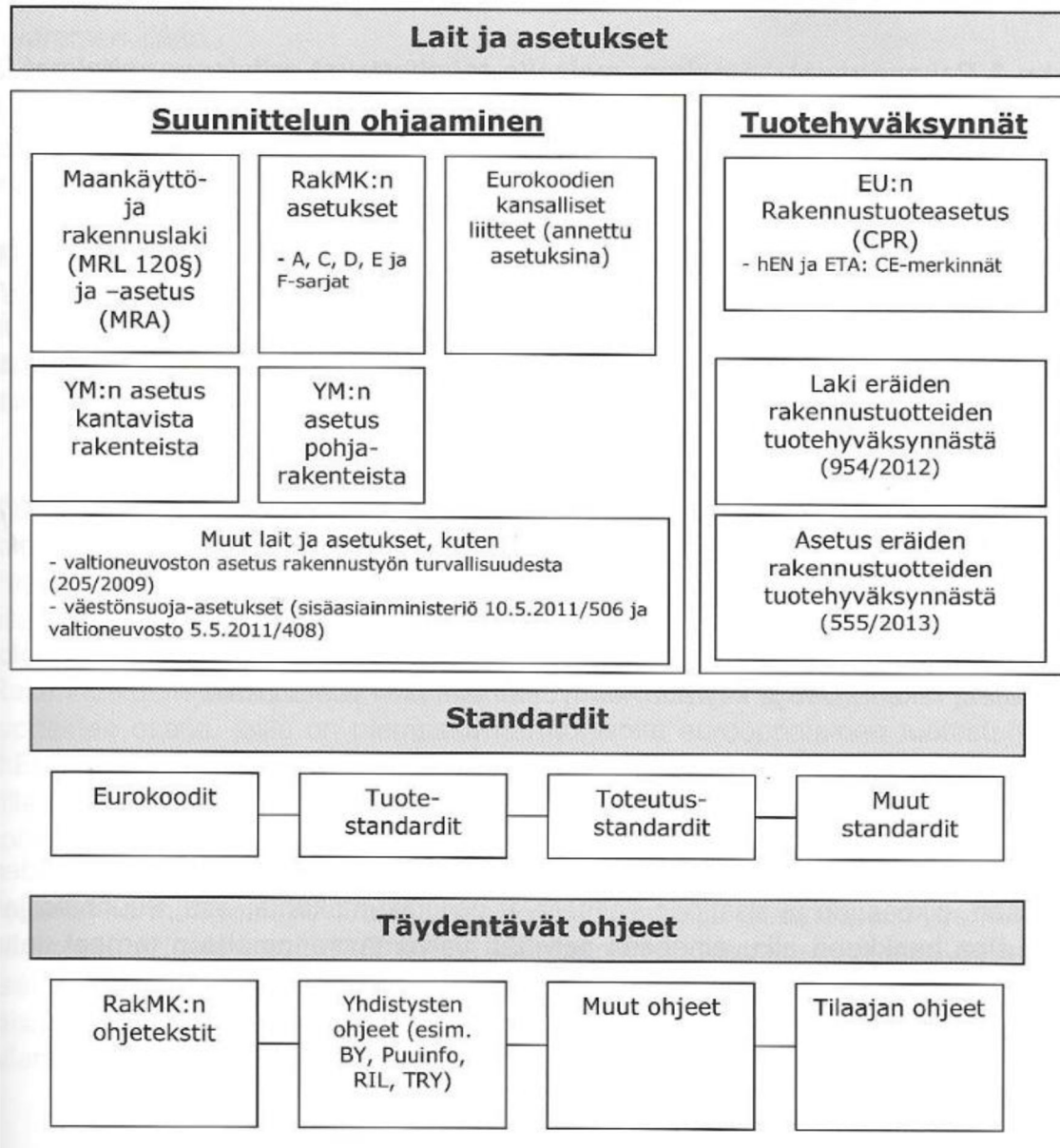
2 RAKENNESUUNNITTELUN PERUSTEET

Rakennushanke on monen eri osapuolen työpanoksen summa. Jotta hankkeessa onnistutaan, täytyy jokaisen osapuolen olla tietoinen tehtävistään, tiedon toimintavelvollisuudestaan ja vastuustaan. Hankkeessa täytyy olla selkeät säännöt ja toimintaohjeet. (9, s. 8)

Rakennesuunnittelun päätehtävä on tuottaa rakennesuunnitelmat ja muuta tarvittavaa tietoa vuorovaikutuksessa hankkeen muiden osapuolten kanssa. Rakennesuunnitelmien laatu ja ominaisuudet vastaava asetettuja tavoitteita siten, että taloudelliset, tekniset ja toiminnalliset ja esteettiset asiat toimivat koko rakennuksen elinkaaren ajan. (9, s. 9)

Rakennesuunnitelmat ovat osa rakentamista koskevia suunnitelmia, jotka ovat erityissuunnitelmia. Rakennussuunnitelmat kuuluvat rakennushankkeeseen erityissuunnitelmien lisäksi, ja niihin kuuluvat rakennuksen pääpiirustukset. Rakennesuunnitelmat ovat asiakirjakokonaisuus, johon kuuluvat laskelmat, rakennepiirustukset, luettelot ja selvitykset. Näillä asiakirjoilla voidaan toteuttaa, käyttää ja ylläpitää rakennus tai rakenne. Erityisen tärkeää hankkeissa on se, että rakennesuunnittelija huomioi riskien hallintaa ja laadunvarmistusta rakennusteknisissä asioissa. Kun ominaisuudet ja laatu vastaavat koko elinkaaren ajan asetettuja tavoitteita, niin rakennesuunnittelun lopputuote on hyvä. (9, s. 8 - 14)

Huolella laaditut suunnitelmat ovat tärkein tekijä rakennusprojektin toteutuksen kannalta. Suunnitelmat tulee olla ajan tasalla määräysten, asetusten ja lakien osalta. Selkeys, perusteellisuus ja laajuus määrittävät suunnitelmien laadun. (9, s. 14)



Kuva 1. Lait, asetukset, standardit ja täydentävät ohjeet (9, s. 9.)

2.1 Rakennesuunnittelijan tehtävät

Jo rakennuslupaa haettaessa on nimettävä vastaava rakennesuunnittelija, joka vastaa rakennuksen rakenteiden toimivasta kokonaisuudesta. Rakennesuunnittelijan tulee huolehtia oman tehtävän lisäksi siitä, että rakenneosasuunnitelmat, jotka on laadittu erillistehtävinä, muodostavat turvallisen ja toimivan kokonaisuuden ja sopivat suunniteltuun runkojärjestelmään.

NR-rakenteita käyttäessä rakennesuunnittelutehtävän vaativuusluokka on vähintään vaativa-luokka. Jos rakennuskohteen NR-jänneväli kasvaa yli 16 metrin, joudutaan tapauskohtaisesti arviomaan vaativuusluokan asettamista poikkeuksellisen vaativaan-luokkaan. Tässä luokassa puurakenteiden rakennesuunnittelussa, asennuksessa, valmistuksessa, käyttöönnotossa ja huollossa noudatetaan ohjeita, jotka on esitetty julkaisussa ”RIL 240-2006 Puurakenteiden laadunvarmistus”. (3, s. 10.)

Vastaavalle rakennesuunnittelijalle kuuluvat rakennushankkeessa seuraavat tehtävät:

- Staattisen toimintamallin ja rakennemallin valinta, jossa huomioidaan pysty- ja vaakarakenteet, kokonaisvakavuus ja perustukset.
- Jäykistävien rakenteiden mitoitus ja määrittäminen, myös asennus- ja työaikaiset jäykistys- ja tukirakenteet.
- Rakennepiirustusten, ohjeiden ja laskelmien laadinta
- Lähtötietojen toimittaminen NR-suunnittelijalle NR-rakenteiden mitoittamiseen. Näihin kuuluvat tarvittavat kuormitus-, toimintamalli-, mittatiedot, paloluokkavaatimukset ja alustava jäykistys suunnitelma.
- Rakenneosien suunnitelmien yhteensopivuuden koordinointi ja tarkastus.

Yleensä kattotuolirakenneosan suunnittelusta vastaa NR-suunnittelija jolle kuuluvat seuraavat tehtävät:

- NR-rakenteiden yksityiskohtainen mitoitus lujuus- ja taipumaehdoin ja tukien, tukipintojen ja liitosten mitoitus ja suunnittelu vastaavan rakennesuunnittelijan antamien lähtötietojen perusteella.
- Mahdollisten lähtötietojen epäselvyyksien selvittäminen vastaavalta rakennesuunnittelijalta ja mitoituksessa esiin tulevien, merkittävästi rakennejärjestelmään vaikuttavien, seikkojen sopiminen.
- NR-rakenteiden laskelmien ja suunnitelmien toimittaminen ja hyväksyttäminen vastaavalla rakennesuunnittelijalla ennen NR-rakenteiden valmistusta. (3 s.10-12)

2.2 Suunnittelua ohjaavat määräykset ja ohjeet

Kantavat puurakenteet suunnitellaan Suomen rakentamismääräyskokoelman ja eurokoodien SFS-EN 1990, SFS-EN 1991, SFS-EN 1995 ja näiden kansallisten liitteiden mukaan, niin että niiden vaatimukset täyttyvät. (10 s. 8)

Puurakenteiden osalta perusvaatimusten katsotaan täyttyvän, kun käytetään rajatilamitoitusta ja osavarmuuslukumenetelmää SFS-EN 1990 ja sen kansallisen liitteen mukaan, SFS-EN 1991 ja sen kansallisen liitteen mukaan määritetään rakenteen kuormat ja niiden yhdistelmät ja SFS-EN 1995 ja sen kansallisen liitteen mukaan mitoitetaan kestävyyksien, käyttökelpoisuuksien ja säilyvyyden vaatimukset. (10 s. 8)

Eurokoodeista ja niiden sovelluslaskelmista on tehty Suomen rakennusinsinööri liitto ry:n toimesta RIL-kirjoja, jotka ovat eurokoodien ja niiden kansallistenliitteiden tiiviimpiä ja helppolukuisempia suunnitteluohjeita. (10 s. 9)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan A2 mukaan kantavat puurakenteet jaetaan neljään vaativuusluokkaan, jotka ovat poikkeuksellisen vaativa-, vaativa-, tavanomainen- ja vähäinen -luokka. Ne korvaavat niiden edeltäjiä, joita olivat AA-, A-, B- ja C-luokat. Rakenteiden suunnittelijalla tulee olla pätevyys käytettävään vaativuusluokkaan. Suunnittelijan kelpoisuuden ja rakenteen vaativuusluokan toteaa rakennusvalvontaviranomainen rakennuslupakohtaisesti. Kun suunniteltavassa rakenteessa on useita rakennesuunnittelijoita, täytyy nimetä yksi vastaava rakennesuunnittelija, joka vastaa, että osasuunnitelmat täyttävät rakenteelliset kokonaisvaatimukset. (10 s. 9)

3 KUORMAT

Rakennukseen vaikuttavat kuormat koostuvat sisäisistä ja ulkoisista kuormista. Näiden kuormien mallintamista ja määräytymistä käsitellään kattavasti Eurokoodi 1:ssä ja sen kansallisissa liitteissä.

3.1 Omapaino

Pysyväksi kiinteäksi kuormaksi luokitellaan rakennuskohteen oma paino. Rakennusmateriaaleille määritellään ominaisarvot tilavuuspainoille. Tämän pohjalta lasketaan nimellismittojen avulla rakennuskohteen omapaino. Tähän kuuluvat kantavat, ei-kantavat rakennusosat, kiinteät laitteet ja maakerrosten painot. Piirustuksissa esitetyt mittoja pidetään nimellismittoina. (11, s.18-24)

3.2 Hyötykuormat

Rakennusten hyötykuormat aiheutuvat tilojen käytöstä. Hyötykuormat tulee luokitella muuttuviksi liikkuviksi kuormiksi. Hyötykuormaa tulee pitää yksittäisenä kuormana kuormitustapauksessa, kun se vaikuttaa samanaikaisesti muiden muuttuvien kuormien kanssa. Väli- ja yläpohjien alat jaetaan käyttötarkoitusten mukaisiin luokkiin hyötykuormien määrittämistä varten. Luokat A-D kuvaa asuin-, majoitus-, toimisto-, kokoontumis- ja myymälätilojen kuormituksia. (11, s.18-34)

Luokka	Käyttötarkoitus	Esimerkki
A	Asuin- ja majoitustilat	Asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien ja retkeilymajojen makuuhuoneet, keittiöt ja WC:t.
B	Toimistotilat	
C	Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua (poikkeuksena luokkiin A, B, ja D kuuluvat tilat) ¹⁾	<p>C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat.</p> <p>C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat.</p> <p>C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit.</p> <p>C4: Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt.</p> <p>C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapauhtumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit mukaan luettuina katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatielaiturit.</p>
D	Myymälätilat	<p>D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat.</p> <p>D2: Tavaratalojen tilat.</p>

¹⁾ On syytä kiinnittää huomiota kohtaan 6.3.1.1(2), erityisesti luokkien C4 ja C5 osalta. Standardissa EN 1990 esitetään, milloin dynaamiset vaikutukset on tarpeen ottaa huomioon. Luokkaa E koskevat tiedot ovat taulukossa 6.3.

HUOM. 1 Aiotusta käyttötarkoituksesta riippuen tilat, jotka todennäköisesti sijoitettaisiin luokkaan C2, C3 tai C4, voidaan tilaajan päätöksellä tai kansallisen liitteen perusteella sijoittaa luokkaan C5.

HUOM. 2 Kansallisessa liitteessä luokat A, B, C1...C5, D1 ja D2 voidaan jakaa alaluokkiin.

HUOM. 3 Varasto- ja teollisuustiloja tarkastellaan kohdassa 6.3.2.

Kuva 2. Hyötykuormien kuormaluokat (11, s. 30)

Taulukossa määritettyjen luokkien tilat mitoitetaan käyttämällä ominaisarvoja q_k tasainen kuorma ja Q_k pistekuorma, jotka saadaan SFS-EN 1991 1-1 taulukosta 6.2.

Taulukko 6.2 Rakennusten välipohjien, parvekkeiden ja portaiden hyötykuormat

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Luokka A		
— Välipohjat	1,5... <u>2,0</u>	<u>2,0</u> ...3,0
— Portaat	<u>2,0</u> ...4,0	<u>2,0</u> ...4,0
— Parvekkeet	<u>2,5</u> ...4,0	<u>2,0</u> ...3,0
Luokka B	2,0... <u>3,0</u>	1,5... <u>4,5</u>
Luokka C		
— C1	2,0... <u>3,0</u>	3,0... <u>4,0</u>
— C2	3,0... <u>4,0</u>	2,5...7,0 (<u>4,0</u>)
— C3	3,0... <u>5,0</u>	<u>4,0</u> ...7,0
— C4	4,5... <u>5,0</u>	3,5... <u>7,0</u>
— C5	<u>5,0</u> ...7,5	3,5... <u>4,5</u>
Luokka D		
— D1	<u>4,0</u> ...5,0	3,5...7,0 (<u>4,0</u>)
— D2	4,0... <u>5,0</u>	3,5... <u>7,0</u>

Kuva 3. Hyötykuormien ominaisarvot Suomessa (11, s. 30)

Yksinään vaikuttavaa pistekuormaa käytetään paikallisten vaikutusten tarkasteluun. Väli- ja yläpohjien hyötykuormat voidaan kertoa pienennyskertoimella α_A

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0 \quad \text{Kaava 1}$$

ψ_0 = standardin SFS-EN 1990 kansallisen liitteen taulukon A1.1 mukainen kerroin.

$$A_0 = 10.0 \text{ m}^2$$

A = kuormitusalue

Useasta kerroksesta pilareille tai seinille tulevaa kokonaishyötykuormaa voidaan pienentää kertoimella α_n , jos tila kuuluu luokkiin A-D.

$$\alpha_n = \frac{2+(n-2)\psi_0}{n} \quad \text{Kaava 2}$$

ψ_0 = standardin SFS-EN 1990 kansallisen liitteen taulukon A1.1 mukainen kerroin.

n = yläpuolella olevien samaan luokkaan kuuluvien kerrosten lukumäärä.

Pienennystekijää α_A voi soveltaa vain palkki- ja laattarakenteelle. Pienennystekijää ei saa kuitenkaan soveltaa rakenteille, jotka mitoitetaan yhteen suuntaan kantavina laattoina tai vaakarakenteille, jotka liittyvät pystyrakenteisiin jäykästi tai osittain jäykästi kiinnitettynä. Jatkuvilla vaakarakenteilla kuormitusalue A lasketaan kenttäkohtaisesti. Pysty- ja vaakarakenteen liitos mitoitetaan aina ilman pienennystekijää. (11, s. 32)

3.3 Lumi

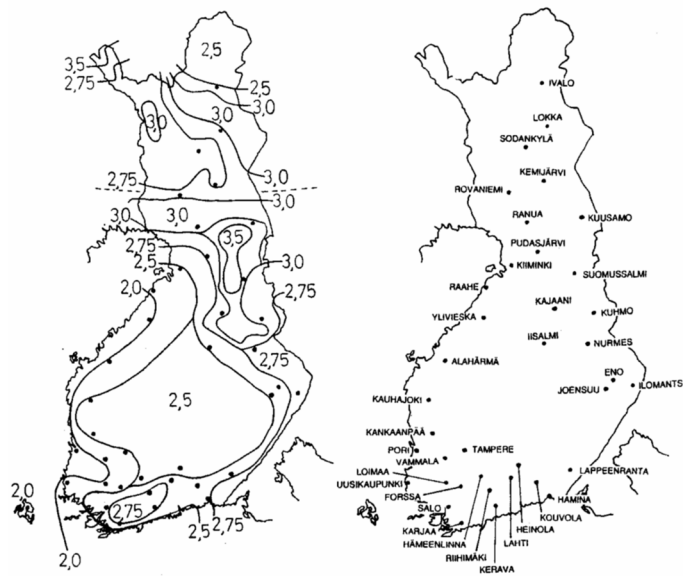
Lumikuorman ominaisarvo s_k maan pinnalla saadaan kuvasta 4. Lisäksi RIL 205-1-2007 julkaisussa on liitteessä – F On lueteltu paikkakuntakohtaiset lumikuormat maan pinnalla. Ominaislumikuorma katolla q_k saadaan kaavalla 3

$$q_k = s_k \mu_i C_e C_t \quad \text{Kaava 3}$$

μ_i = lumikuorman muotokerroin

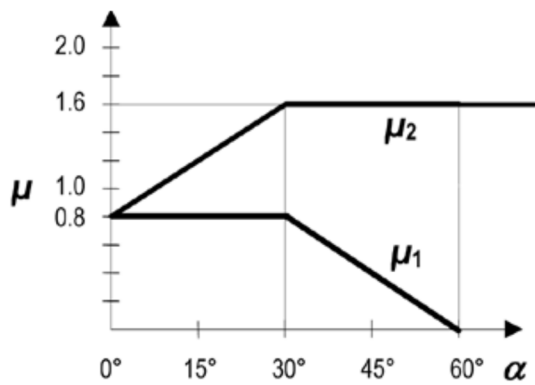
C_e = tuulensuojakerroin

C_t = lämpökerroin

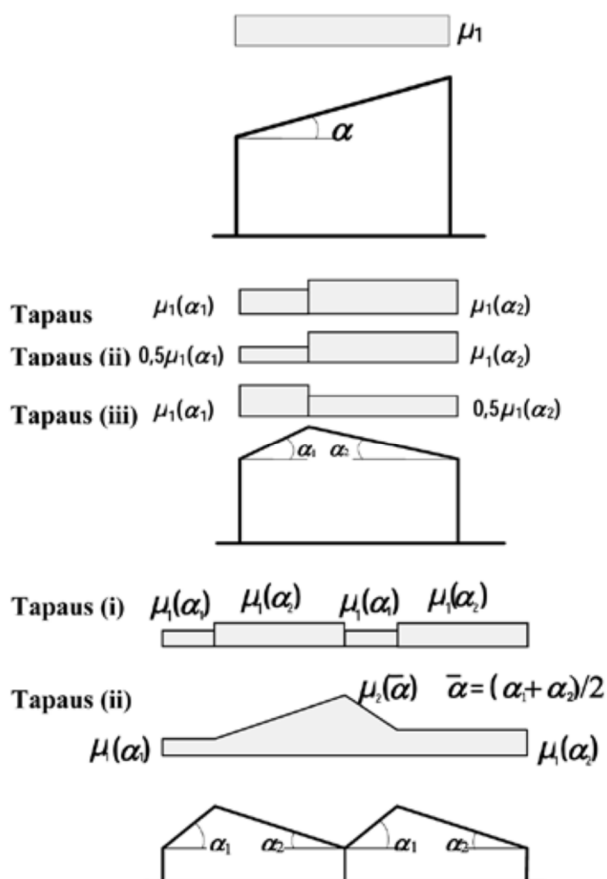


Kuva 4. Lumikuorma maassa (10, s. 11)

Lumikuorman muotokerroin huomioi lumen pysyvyyden katolla ja kinostuvan lumen. Se määritetään kuvista 5 ja 6. Tätä määrittäessä täytyy tietää katon lapekulmat.



Kuva 5. Lumen muotokerroin (10, s. 12)



Kuva 6. Lumen muotokerroin (10, s. 12)

Tuulensuojakerroin C_e määritetään kuvasta 7.

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen	0,8 (1,0, mikäli lyhyempi sivumitta > 50 m)
Normaali	1,0
Suojainen	1,2

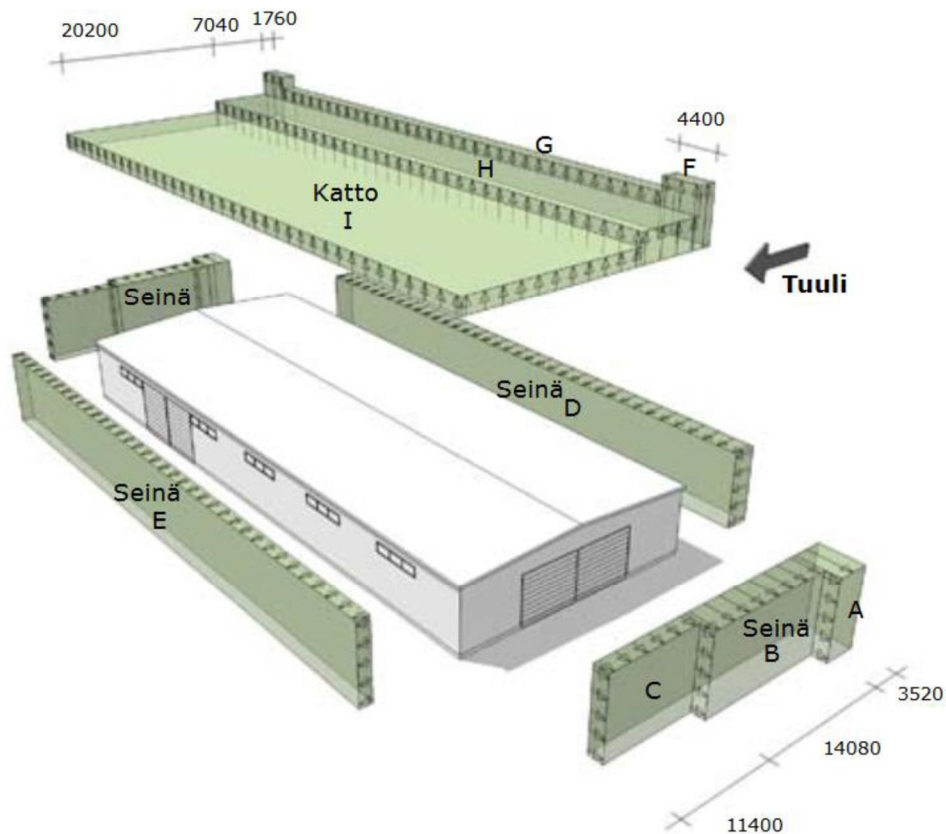
Tuulinen maasto: laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.
 Normaali maasto: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.
 Suojainen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

Kuva 7. Katon tuulensuojaisuuskertoimen arvot C_e (14, s. 17)

Lämpökerroin C_t ottaa huomioon katon lämpöhäviöiden aiheuttaman lumikuorman muutoksen sulamisen johdosta, kun lämmönläpäisevyys on suuri ($>1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Muissa tapauksissa C_t saa arvon 1,0.

3.4 Tuuli

Tuulikuorman määrittämisessä selvitetään tuulen aiheuttama paine tai imu rakenteelle neliömetriä kohden. Tätä varten tulee selvittää maastoluokka, jossa rakennus sijaitsee. Lisäksi määritetään puuskanopeuspaine $q_p(z)$, joka kertoo tuulen aiheuttaman paineen neliömetrille, rakennekerroin $c_s c_d$, joka on rakennuksen mitasuhteiden, koon ja puuskien dynaamisten vaikutukset huomioon ottava kerroin ja voimakkeroin C_f , joka on rakennuksen muodon ja hoikkuuden mukaan määriteltävä kokonaisvoimakkeroin. Rakennuksen sisä- ja ulkopuolisia painekertoimia C_{pi} ja C_{pe} , käytetään tuulikuorman laskennassa. Ne huomioivat tuulen aiheuttaman pyörteisyyden ja imun rakennuksen sisä- ja ulkopuolilla. (13, s.20-25)



Kuva 8. Hallirakennuksen painesuhteita (7, s.19)

3.5 Lisävaakavoimat

Rakenteiden mahdollisesta vinoudesta tai kuormituksen oletettua epäedullisemmasta vaikutussuunnasta aiheutuu rakenteelle lisävaakavoimaa. Rakennuksen lyhemmässä suunnassa lisävaakavoima saadaan kaavalla 4 ja pidemmässä kaavalla 5.

$$H_{Bk} = P_k / 150 \quad \text{Kaava 4}$$

$$H_{Lk} = \frac{B}{L} \frac{P_k}{150} \geq \frac{P_k}{250} \quad \text{Kaava 5}$$

H_{Bk} = Lyhemmän sivun lisävaakavoiman ominaisarvo.

H_{Lk} = Pidemmän sivun lisävaakavoiman ominaisarvo.

P_k = Lisävaakavoiman aiheuttaman pystykuorman ominaisarvo.

B = Rakennuksen leveys.

L = Rakennuksen pituus.

(15, s. 135)

3.6 Kuormitusyhdistelmät

Rakennetta tarkastellaan neljässä eri rajatilassa, joita ovat käyttö-, murto-, palo- ja onnettomuusrajatilat. Kussakin näissä käytetään kyseiselle rajatilalle epäedullisinta kuormitusyhdistelmää. Rakenteet mitoitetaan näiden yhdistelmien mukaan. Kuormien yhdistelyssä käytetään kertoimia ominaiskuormille, seuraamusluokasta aiheutuvaa kerrointa ja yhdistelykertoimia. (15, s. 34)

3.7 Kuormien aikaluokat

Kuormat jaotellaan sen tyypillisten ajallisten vaihteluiden mukaan aikaluokkiin.

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan kertymän suuruusluokka
Pysyvä	yli 10 vuotta
Pitkäaikainen	6 kuukautta – 10 vuotta
Keskipitkä	1 viikko – 6 kuukautta
Lyhytaikainen	alle yksi viikko
Hetkellinen	

Kuva 9. Kuormien aikaluokat. (17, s. 23)

Kuorman aikaluokka	Esimerkkejä kuormista
Pysyvä	oma paino
Pitkäaikainen	varastoitu tavara
Keskipitkä	välipohjan hyötykuorma, lumi
Lyhytaikainen	lumi, tuuli
Hetkellinen	tuuli, onnettomuuskuorma

Kuva 10. Esimerkkejä kuormien jaottelusta aikaluokkiin. (17, s. 23)

3.8 Käyttöluokat

Rakenteet jaotellaan käyttöluokkiin 1, 2 tai 3, sen sijainnin perusteella.

Käyttöluokassa 1 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20°C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokassa 1 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 12 %.

Käyttöluokassa 2 on tyypillistä, että materiaalien kosteus on lämpötilaa 20°C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 85 % vain muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokassa 2 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 20 %.

Käyttöluokassa 3 on tyypillistä, että ilmasto-olosuhteet johtavat suurempiin kosteusarvoihin kuin käyttöluokassa 2.

(17, s. 25)

4 JÄYKISTYS

Jäykistuksen suunnittelu on rakenteiden suunnittelun ja toiminnan kannalta tärkeä osa suunnittelua. Se sisältää seuraavia vaiheita:

- Rakennuksen vaaka- ja pystykuormien määrittely
- Vaaka- ja pystykuormia kantavien rakenteiden määrittely
- Laskennan rakennemallien määrittely
- rakenteisiin vaikuttavien voimien laskenta
- liitosten ja rakenteiden mitoitus vaikuttaville voimille
- perustusten mitoitus lasketuille voimille. (4, s. 9)

Nämä vaiheet ovat osittain päällekkäiset käytännössä. Kokonaisen rakennuksen jäykistyksessä huolehditaan vaakasuuntaistensiirtymien riittävä estämisestä ja vaakavoimien synnyttämän rasituksen hallitusta viennistä perustuksille. Yksittäisten rakenteiden jäykistyksessä huolehditaan siitä, ettei se menetä stabiiliuttaan tai pääse nurjahtamaan. (4, s. 9)

Seuraavassa alla esitetyssä tekstissä kuvataan tarkasteltavan rakennuksen kokonaisjäykistuksen kuvaus.

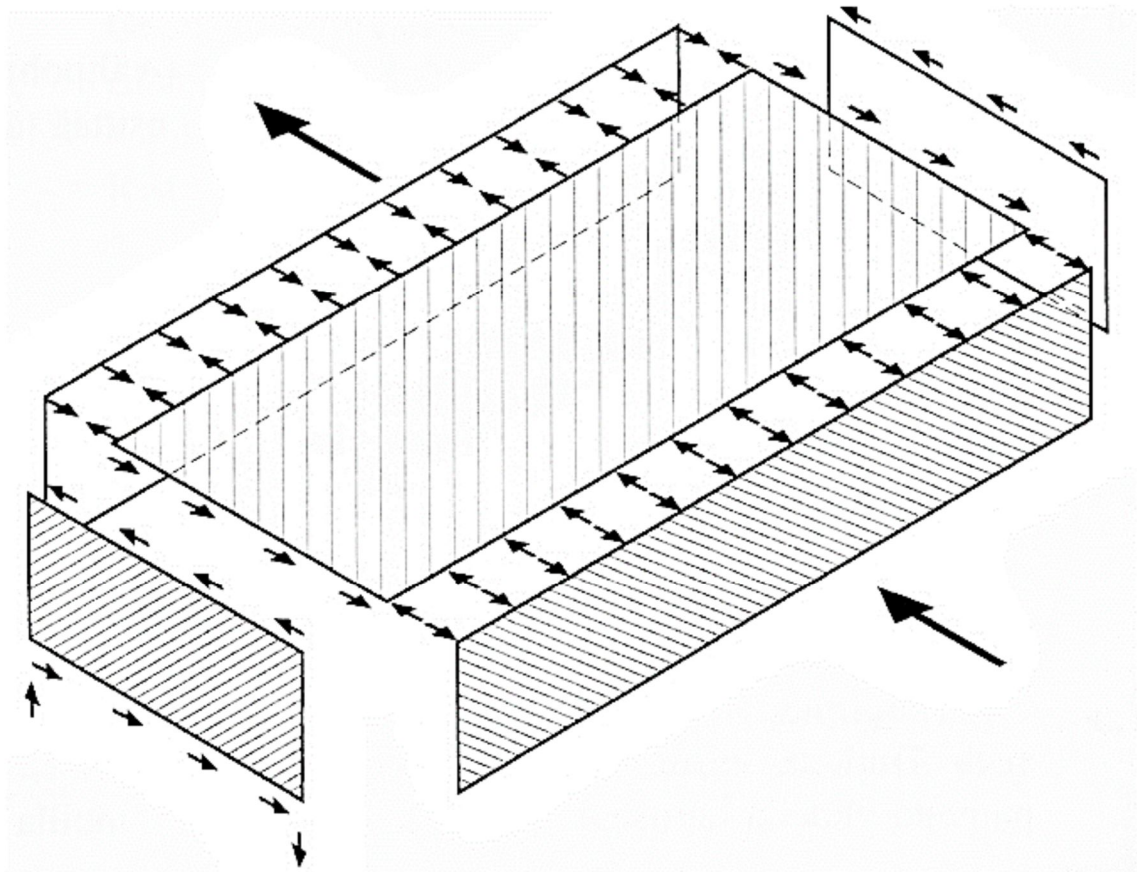
Rakenteen sivuseinälle ja kattolappeelle tuleva vaakakuorma siirretään perustuksille seuraavasti:

1. Puolet sivuseinään vaikuttavasta vaakakuormasta siirretään seinää pitkin alaspäin perustuksille.
2. Jäljelle jäävä puolikas ja koko katon vaakakuorma siirretään alapaarretasolla olevalle jäykisteelle, joka siirtää kuormat päätyseinien yläjuoksuille.
3. Päätyseinän yläjuoksulta kuorma siirtyy jäykistävän tuulensuojalevytyksen kautta perustuksille.

Rakenteen päätyseinille tulevat vaakakuormat siirretään perustuksille seuraavasti:

1. Puolet päätyseinän alapaarretason alapuolelle tulevasta vaakakuormasta siirretään seinää pitkin alaspäin perustuksille.
2. Toinen puolikas ja päätykolmioon tuleva vaakakuorma siirretään alapaarretasolla olevalle jäykisteelle, joka siirtää kuormat sivuseinin yläjuoksuille.
3. Sivuseinän yläjuoksulta kuorma siirtyy jäykistävän tuulensuojalevytyksen kautta perustuksille.

(4, s. 17)



Kuva 11. Vaakakuormien siirtyminen perustuksille (18, s. 1)

Kokonaisjäykistystyksen toiminta edellyttää jäykistävien rakenteiden liitokset on mitoitettu kestäämään niihin kohdistuvat rasitukset. Vain tällöin jäykistävät rakenteet voivat välittää jäykistyskuorman rakenteelta toiselle. (4, s. 17)

4.1 Katon jäykistys

Kattorakenteen jäykistäminen tehdään tämän opinnäytetyön kohteessa seuraavasti:

1. NR-ristikoiden kaatuminen sivusuunnassa estetään jäykistelinjoilla, jotka ovat rakenteen keskellä pystyvinoreivauksia, jotka naulataan NR-ristikoiden diagonaalisauvoihin, ja reunoilla tuulensuojalevytyt.
2. NR-ristikoiden yläpaarteen nurjahdus estetään rakennuksien päiden päätykolmioiden yläjuoksulla, joka toimii vaakajäykisteenä. Väliin jäävät NR-ristikot tuetaan jäykisteeseen ruodelaudoitusten avulla.
3. Tuulikuormat yläpaarretasolla siirretään yläpaarteen alapintaan kiinnitettävillä vinositeillä jo rakennuksen päädyssä sivuseinille.
4. Alapaarretason ulkoiset kuormat siirretään jäykistäville ulkoseinälinjoille alapaarteen vinolaudoituksen avulla.

4.1.1 Katon kuormitukset

Katon jäykistäville rakenteille tulee vaakakuormitus, joka on mahdollisten vaakasuuntaisten hyötykuormien, kattotuolien asennusvinoudesta aiheutuvan kuormituksen, yläpaarteiden ja nurjahtavien uumasauvojen puristusvoimasta aiheutuvan vaakasuuntaisen stabiloivan kuormituksen ja tuulikuormituksen yhdistelmä.

4.1.2 Tuulesta aiheutuva vaakakuormitus

Kattorakenteen yläpaarretasolle vaikuttava tuulikuorma laskettiin kaavalla 6. Kun yläpaarretason ottama tuulikuorma laskettiin pinta-alojen suhteessa voimakeroimenmenetelmällä talon kokonaistuulikuormasta, tuli tähän arvoon sisällyttää tuulen kattoon aiheuttama kitkavoima. Kitkavoima on jaettu tasan koko lappeelle voimakeroimenmenetelmässä. Lapetason jäykistäville rakenteille tuleva tuulikuorma

voitiin tällöin laskea keskimääräisenä pituusyksikkö kuormana kaavalla 6. (3, s. 21-22)

$$q_{t,k} = \frac{q_k(h)}{B} \left(c_f * A_{yp} + c_{fr} * A_{fr} \left(1 - \frac{A_{yp}}{A_{ref}} \right) \right) \quad \text{Kaava 6}$$

Rakennuksen kokonaistuulikuorma laskettiin kaavalla 7.

$$F_{w,k} = C_f * q_k(h) * A_{ref} \quad \text{Kaava 7}$$

$q_{t,k}$ = lapetason jäykistäville rakenteille tuleva tuulikuorma

$q_k(h)$ = rakennuksen korkeutta vastaava tuulen nopeuspaine

B = Rakennuksen leveys tuultavastaan kohtisuorassa suunnassa

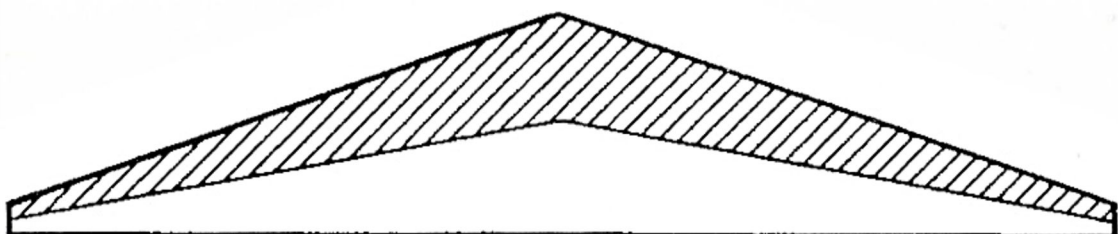
C_f = voimakerroin, käytetään tavallisesti umpinaiselle rakennukselle arvoa 1,3 tai 1,6, jos rakennus on osittain avoin ja tuulenpuolen seinän aukkojen pinta-ala on enintään 30% rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta.

A_{yp} = seinän päädyn pinta-ala, jolta tuuli kuormittaa yläpaarretasoa, kuva 15.

c_{fr} = vesikatteen kitkakerroin, jolle voidaan käyttää arvoa 0,04 peltikatteelle

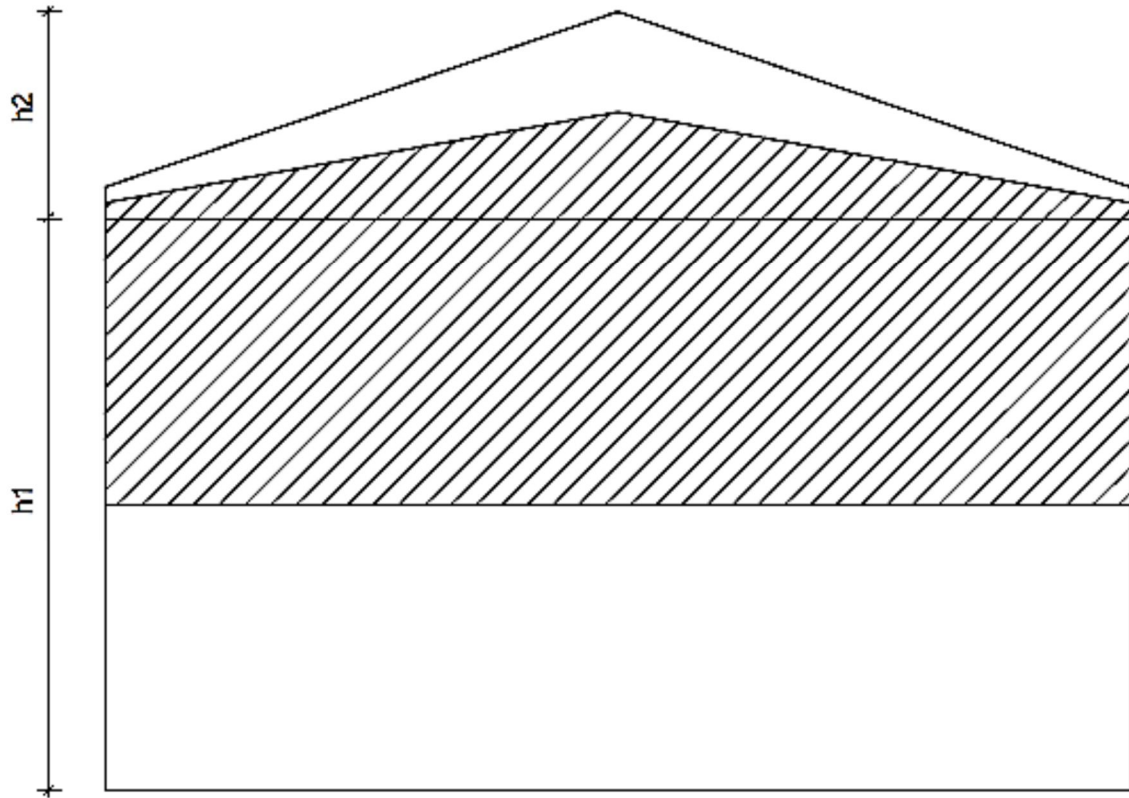
A_{fr} = katon kokonaispinta-ala

A_{ref} = rakennuksen tuulta vastaan kohtisuora pinta-ala



Kuva 12. Yläpaarretason jäykistysrakenteille siirtyvän tuulikuorman osuus (3, s. 21)

Alapaarretasoa kuormittaa kaavan 7 mukaan laskettava tuulikuorma, jonka pinta-ala on jäljelle jäävä puolikas päätykolmion pinta-alasta ja puolet päätyseinän pinta-alasta. Pinta-ala havainnoidaan kuvassa 16. (19, s. 20)



Kuva 13. Alapaarretason jäykistysrakenteille siirtyvän tuulikuorman osuus (19, s. 20)

4.1.3 Rakenteen vinoudesta aiheutuva lisävaakavoima

Rakenteiden mahdollisesta vinoudesta tai kuormituksen oletettua epäedullisemmasta vaikutussuunnasta aiheutuu rakenteelle lisävaakavoimaa. Rakennuksen lyhemmässä suunnassa lisävaakavoima saatiin kaavalla 12 ja pidemmässä kaavalla 13. (21, s. 135)

$$H_{Bk} = P_k / 150$$

Kaava 12

$$H_{Lk} = \frac{B}{L} \frac{P_k}{150} \geq \frac{P_k}{250}$$

Kaava 13

H_{BK} = Lyhemmän sivun lisävaakavoiman ominaisarvo.

H_{LK} = Pidemmän sivun lisävaakavoiman ominaisarvo.

P_k = Lisävaakavoiman aiheuttaman pystykuorman ominaisarvo.

B = Rakennuksen leveys.

L = Rakennuksen pituus.

Kattotuolien vinoudesta johtuva lisävaakavoima on yleensä niin pieni muihin kuormiin verrattuna. Täten se voidaan jättää huomioimatta. (3, s. 24)

4.1.4 Kattotuolien puristettujen paarteiden aiheuttama kuormitus

Yläpaarteiden poikittaistuennan aiheuttama jäykistysjärjestelmän kuormitus laskettiin kaavalla 8 ensimmäiselle nurjahdusmuodolle. Tässä nurjahduksessa paarteet kaartuvat yhteen suuntaan jäykistysjärjestelmän tukipisteiden välillä. Ensimmäinen nurjahdusmuoto kuvattu kuvassa 14. (3, s. 22)

$$q_d = k_l \frac{n \cdot N_d}{50l} \quad \text{Kaava 8}$$

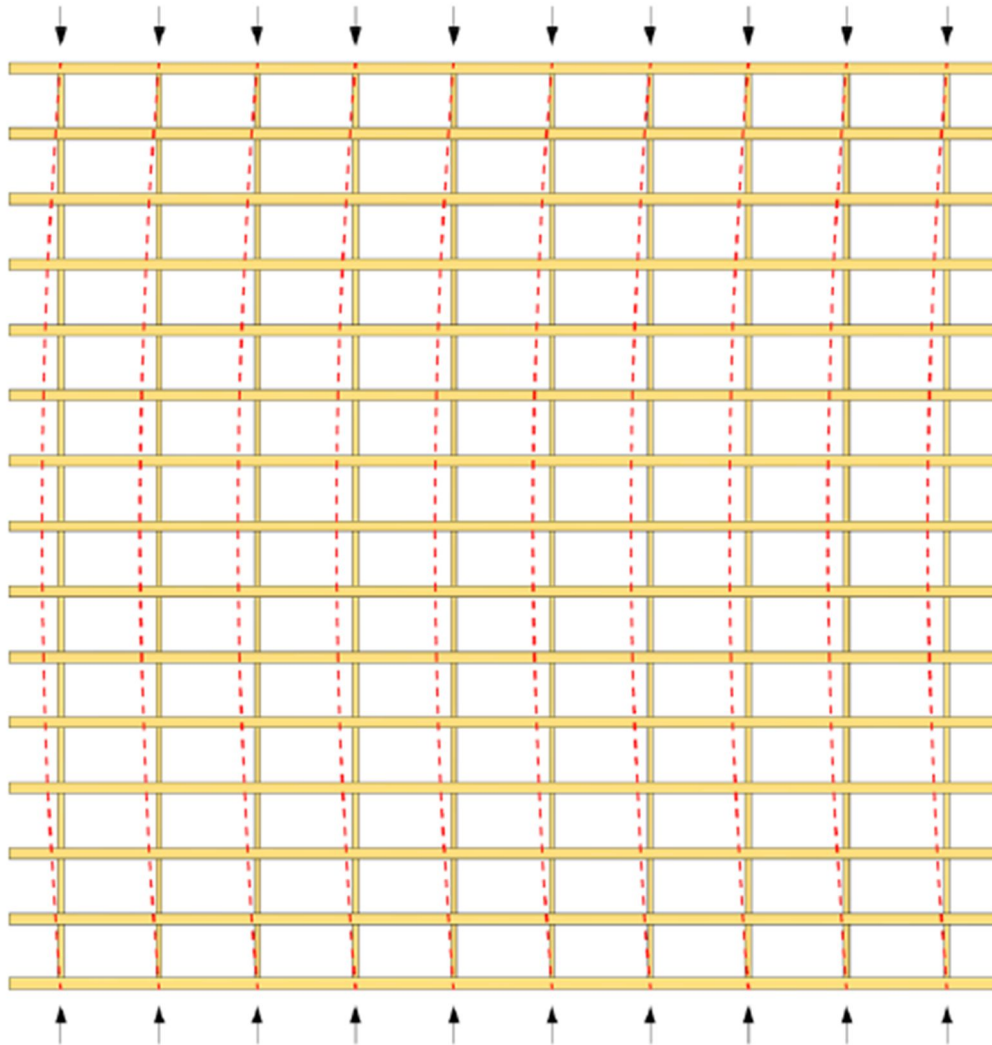
N_d = Yläpaarteen puristusvoiman mitoitusarvo

n = Jäykistekenttään sidottujen viereisten kattotuolien lukumäärä

l = yläpaarteen pituus

k_l = pienennyskerroin alkukäyryydestä, joka on yli 15 metrisillä paarteilla 1 ja lyhemmillä se lasketaan kaavalla 9

$$k_l = \sqrt{\frac{15}{l}} \quad \text{Kaava 9}$$



Kuva 14. Ensimmäinen nurjahdusmuoto (22, s. 45)

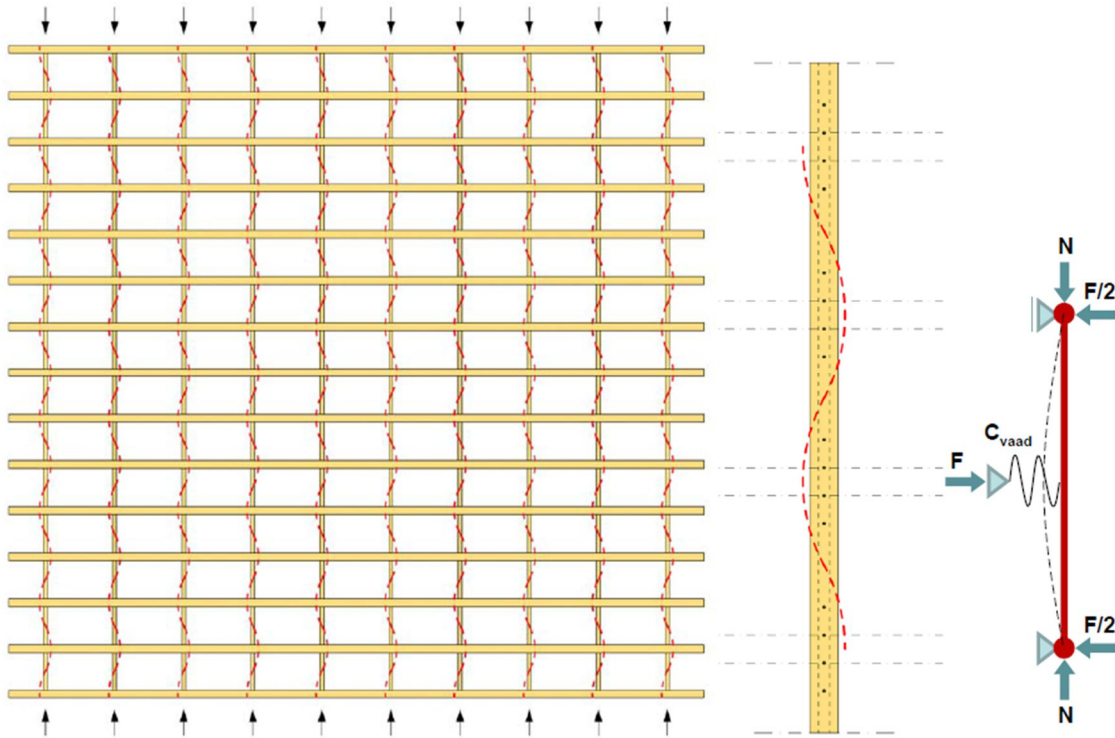
Toisen nurjahdusmuodon, niin sanotun S-nurjahdusmuodon, aiheuttama jäykistysjärjestelmän kuormitus laskettiin kaavalla 10. Kaavan mukainen kuorma kuormittaa jäykistysjärjestelmää kuvan 15 mukaisesti siten, että joka toiselle ruoteelle tulee kaavasta saatava voima q_{np} . Kun ristikoita on monta vierekkäin, saatiin näiden S-nurjahdusmuotojen aiheuttamien voimien summa yhdessä ruoteessa kaavalla 11. (3, s. 23)

$$q_{np} = \frac{F_{np}}{2a} \quad \text{Kaava 10}$$

$$q_{np,n} = \frac{n \cdot k_l \cdot F_{np}}{100 \cdot a} \quad \text{Kaava 11}$$

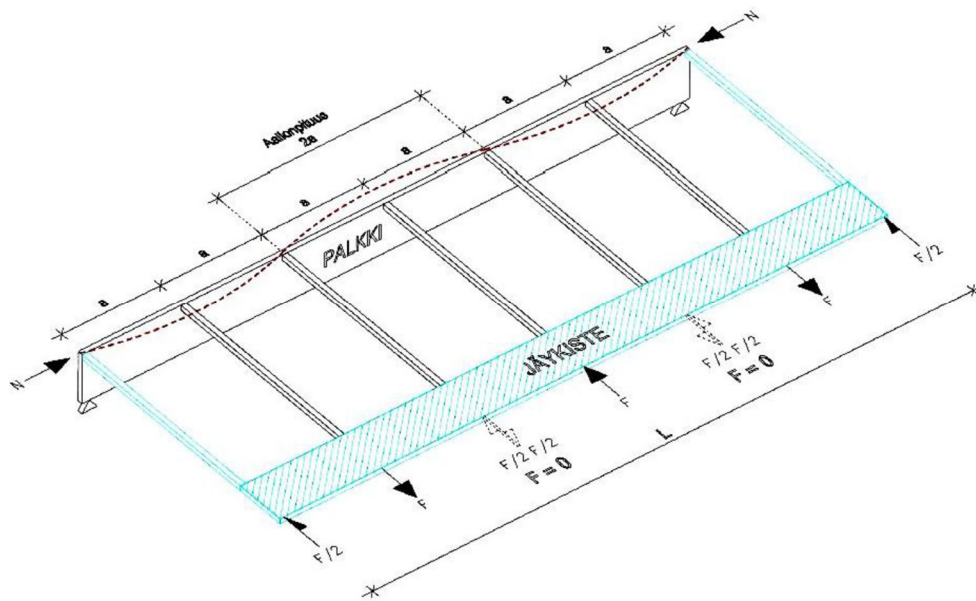
F_{np} = Yläpaarteen puristusvoiman mitoitusarvo

a = NR-suunnitelmissa käytettävä ruodejako

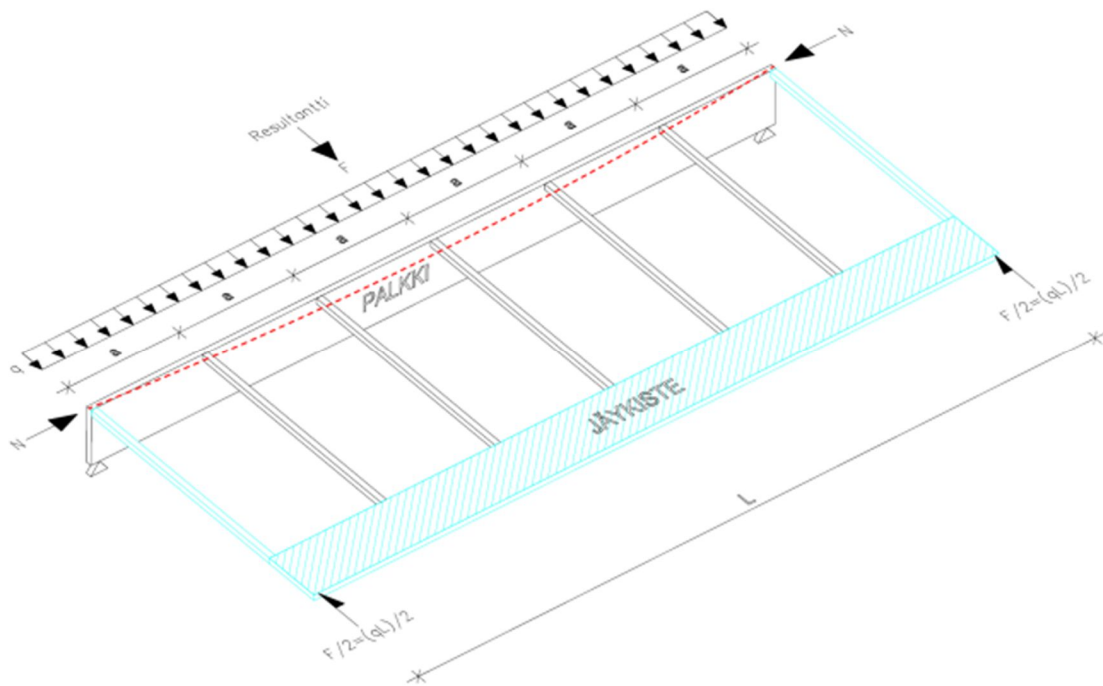


Kuva 15. Toinen nurjahdusmuoto (22, s. 44)

Jäykistyskenttään kohdistuvaksi kuormaksi otetaan suurempi ensimmäisen tai toisen nurjahdusmuodon aiheuttamista kuormista. Nämä kuormat pidetään katotason sisäisinä rasituksina, johtamalla ne tukipisteiden kautta puristussauvoilla takaisin yläpaarteille kuvan 16 ja kuvan 17 mukaan. (3, s. 23)



Kuva 16. Tuentavoimien siirtyminen suljetussa jäykistyssysteemissä, kun paarteet kaartuvat S-muotoon. (6, s. 4)

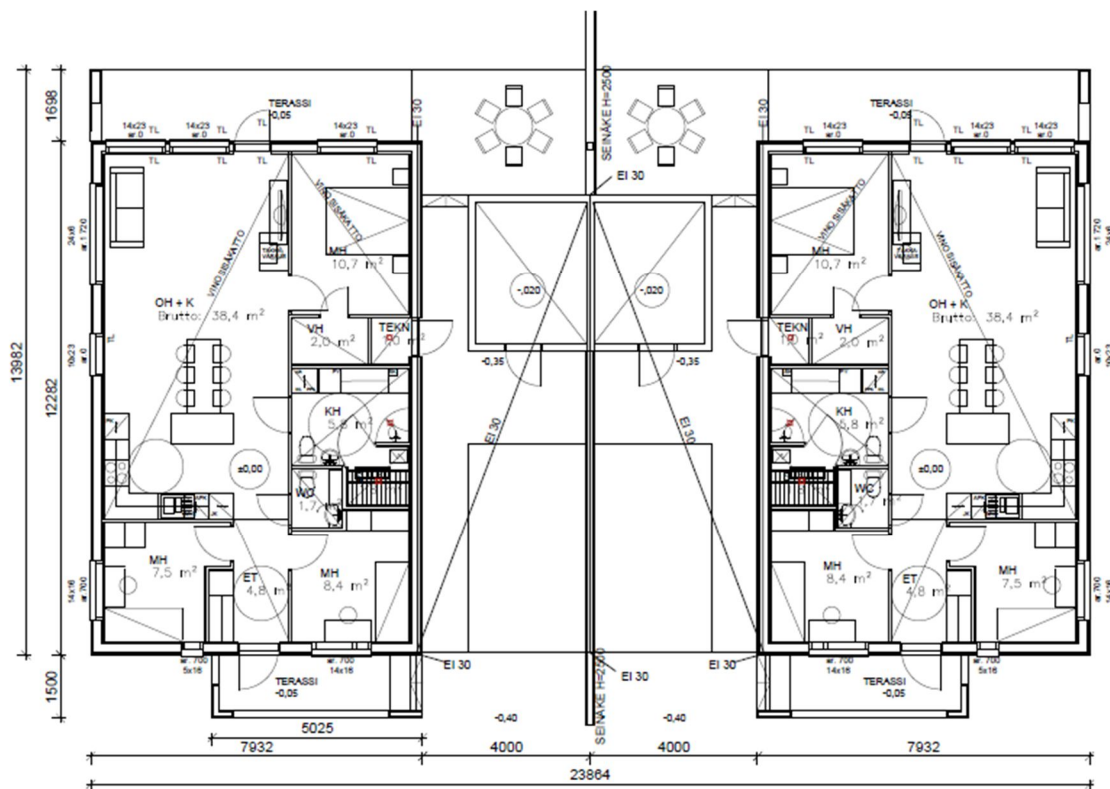


Kuva 17. Tuentavoimien siirtyminen suljetussa jäykistyssysteemissä, kun paarteet kaartuvat ensimmäiseen muotoon. (6, s. 4)

5 JÄYKISTYSSUUNNITELUN KULKU

5.1 Kohteen esittely

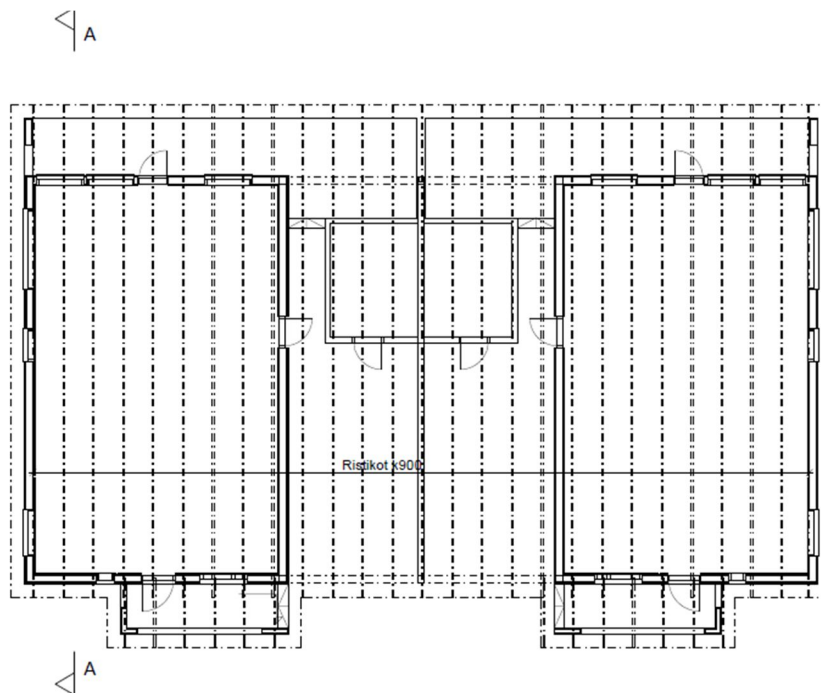
Rakennuskohde oli kuvan 18 mukainen yksikerroksinen paritalo. Siinä on keskellä autokatokset kumpaakin huoneistoon. Kumpikin huoneisto on toistensa peilikuva.



Kuva 18. Tarkasteltavan kohteen pohjapiirustus

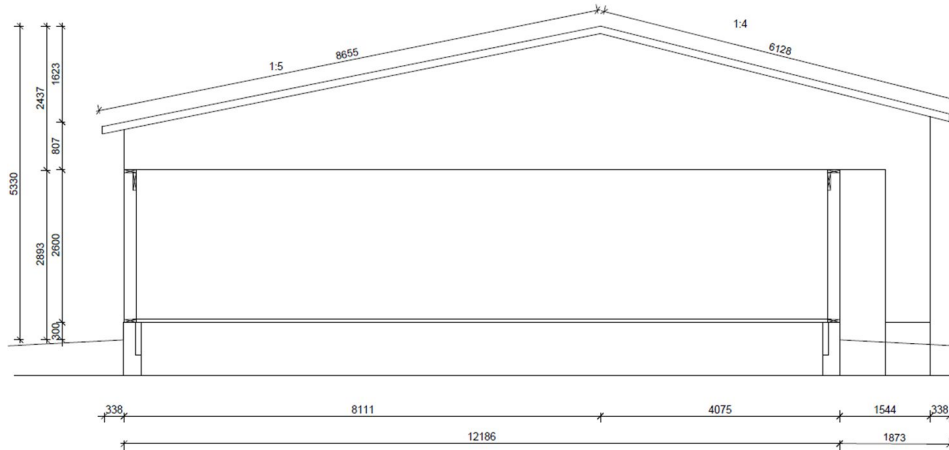
Kattoristikot sijoitellaan kuvan 19 mukaisesti kohteeseen 900 mm:n jaolla. Etuterrassin lipat ovat erillisiä muusta katosta. Olennaiset mitat ja tiedot jäykistyslaskelmia varten saatiin kuvista 18, 19 ja 20. Sisällä ei ole kantavia- tai jäykistäviä-seinälinjoja, vaan ne ovat huoneistojen ulkoseinät ja autokatoksien välinen palo-seinä.

Rakennuksen runko tehdään sahatavarasta, johon lovetaan kantaville linjoille kerto-puu kantavaksi palkiksi. Autokatoksessa kantavalle linjalle kantavaksi palkiksi asennetaan liimapuu, jolle suunnitellaan tarvittava asennustila katon sisään ristikoihin upottamalla. Terassin lipat tehdään sahatavarasta ja se tuetaan liimapuu palkeilla ja pilareilla. Tässä työssä ei tarkastella seinien, palkkien ja pilareiden mitoittamista.



Kuva 19. Tarkasteltavan kohteen yläpohjapiirustus

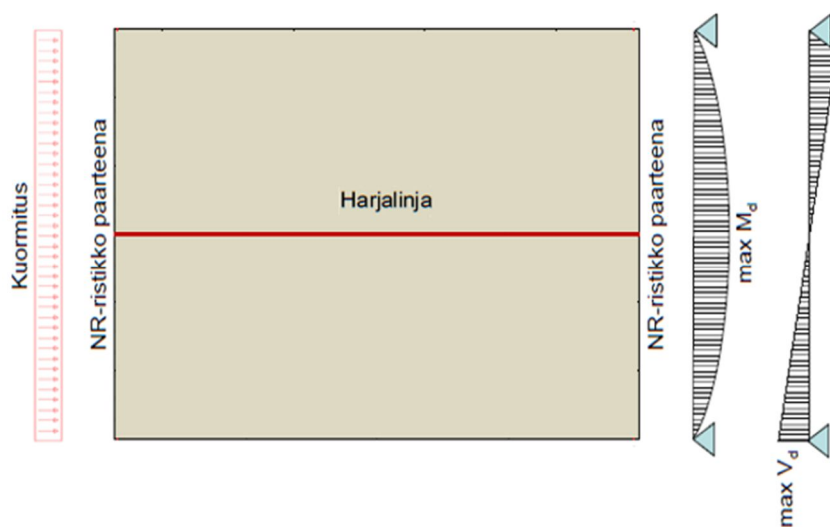
Kohteen kattorakenne toteutetaan naulalevyristikoilla. Nämä ristikot ovat kuvattu leikkauskuvassa 13. Katoksen kohdalle tulee hieman erilaiset ristikot, kun niissä on tukienkohdalla palkkivaraukset. Kattoristikoiden suunnittelusta vastaa erillinen NR-rakennesuunnittelija, joka annettujen lähtötietojen pohjalta suunnittelee ristikot.



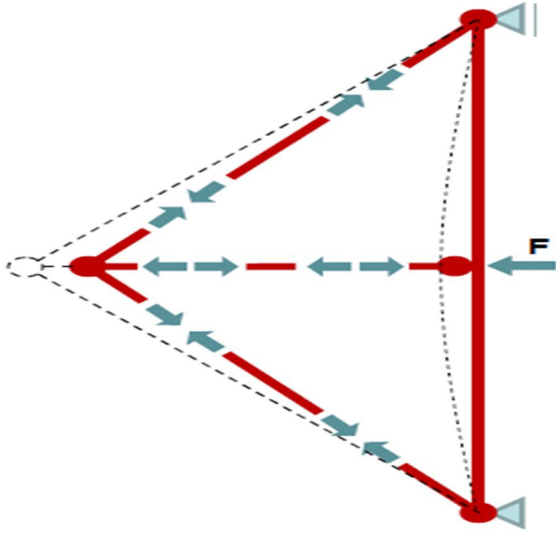
Kuva 20. Tarkasteltavan kohteen leikkauspiirustus A-A.

5.2 Kattorakenteen ulkoistenvoimien siirtäminen jäykisteseinille

Yläpaarretasoon vaikuttaa päädyssä kaavan 6 mukainen tuulikuorma. Kun pääty toimii yksiaukkoisena palkkina, jonka tukireaktiot tulevat sivuseinien kohdalle ja kuorma aiheuttaa maksimimomentin päädyn keskelle kuvan 21 mukaan. Maksimimomenttia vastaan tarvitaan tukivoima. Tämä tukivoima johdetaan puristus-sauvoilla eteenpäin, josta se viedään yläpaarteiden alapintaan 45° kulmaan naulatavilla vetolaudoilla seinälinjalle kuvan 22 mukaisesti. Seinälinjalla vetolaudan tukivoima mitoitettiin seinän jäykistyksessä.



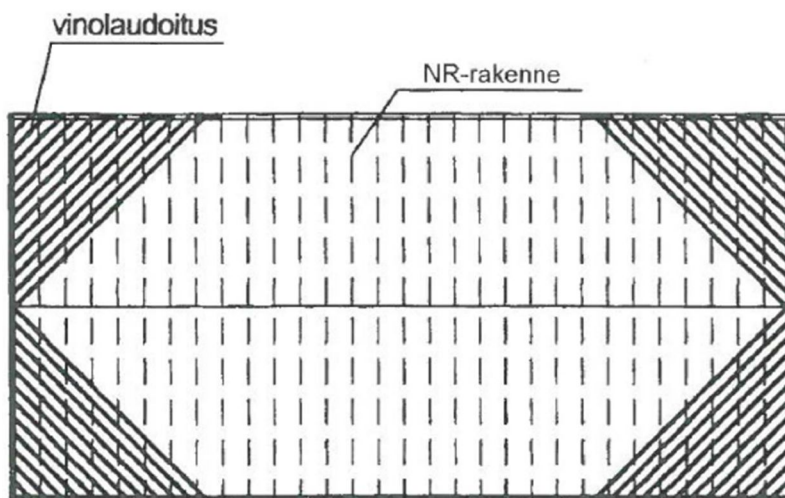
Kuva 21. Päädyn yläpaarretason ulkoistenvoimien aiheuttamat leikkaus - ja momenttikuviot (22, s. 4)



Kuva 22. Päädyn yläpaarretason ulkoistenvoimien siirtäminen seinälinjoille periaate (22, s. 19)

Toisessa tavassa, jota käytettiin tässä opinnäytetyössä, päätykolmioiden yläjuoksu ottaa yläpaarretason tuulikuorman vastaan palkkina ja siirtää kuormat tuille. Tukina tässä tapauksessa toimivat pystyvinoreivaukset, jotka siirtävät tukivoimat alapaarretason vinolaudoitukselle.

Alapaarretasoon vaikuttava kaavan 7 mukainen päädyn tuulikuorma ja pystyvinoreivauksilta tuleva yläpaarretason pistekuormat, joka johdetaan sivuseinille kuvan 23 mukaan. Puristetut laudat johtavat kuormat sivuseinien yläjuoksuille, josta ne siirretään perustuksille jäykistävän levytyksen avulla.



Kuva 23. Alapaarretason kuormien siirtäminen seinälinjoille periaate (22, s. 37)

Sivuseinän tuulikuorman ja lisävaakavoiman resultantti vaikuttaa alapaarretasossa. Tämä kuorma johdetaan kuvan 23 mukaisesti jäykistäville seinille.

Tuulesta ja lisävaakavoimasta aiheutuva kuormitus viedään näin jo rakennuksen päädyissä jäykistäville seinälinjoille ja niiden kautta perustuksille ja maaperään. Näin ulkoisia voimia ei tarvinnut huomioida mitoittaessa nurjahdustuennoista aiheutuvia sisäisiä kuormia. Lisäksi tämä jäykistystapa ei aiheuta suhteellisen suuria pystypistekuormia alapaarretasolle. (3, s. 26)

Eurokoodi 1 osan 1-7 mukaan pitää ottaa huomioon suunnitellussa, ettei onnettomuus tilanteessa yhden kannatteen murtuminen aiheuta jatkuva sortumaa, seuraamusluokassa CC2 ja CC3. Rakennuksen pääkannattimet jäykistetään vähintään kahdella jäykiste kentällä, jottei jatkuvaa sortumaa synny. (3, s. 26)

5.3 Kattorakenteen sisäisten voimien stabiloiminen

5.3.1 Sisäinen jäykistyskuorma

Määritetiin yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima NR- ristikon keskimääräisen korkeuden mukaan. Laskettiin lumikuorman - (q_k) ja omanpainon ominaiskuormilla (g_k) syntyvä maksimimomentti kaavalla 12.

$$M_{x,k} = \frac{k \cdot x_k \cdot L^2}{8} \quad \text{Kaava 12}$$

k = ristikoiden jako

x = Lumi tai tuulikuorma

L = ristikon jänneväli

Ristikon maksimimomentin ja keskimääräisen korkeuden avulla saatiin laskettua kaavalla 13 yläpaarteen puristusvoima.

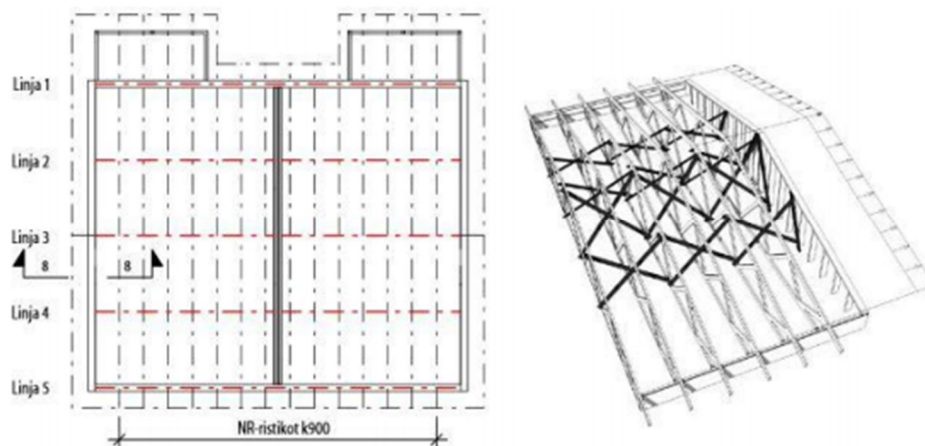
$$N_{x,k} = \frac{M_{x,k}}{H} \quad \text{Kaava 13}$$

H = Ristikon keskimääräinen korkeus

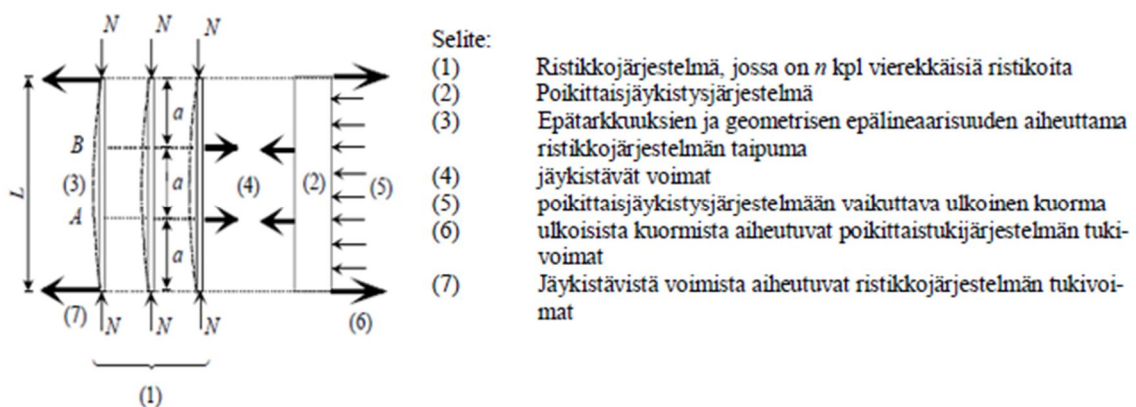
Sisäinen jäykistyskuorma ensimmäisen nurjahdusmuodon tapauksessa saatiin kaavalla 8 ja toisen nurjahdusmuodon kaavalla 11.

5.3.2 Ensimmäisen nurjahdusmuodon stabiloiminen

Yläpaarten puristusvoimasta johtuva ensimmäisen nurjahdusmuodon stabiloiva voima johdetaan ruoteilla päätykolmion yläjuoksuille, joka toimii vaakasuuntaisena jäykisteenä. Yläpaarten tukipisteinä toimivat kuvan 24 mukaiset jäykistelinjat 1-5. Jäykistelinjat 2-4 toteutetaan 22x100 mm:n laudoilla tehtävillä pystyvinoreivauksin ja jäykistelinjat 1 ja 5 tehdään ulkoseinien jäykistäväillä tuulensuojalevyillä. Nämä jäykistelinjat palauttavat asteittain tukipisteiden kuormat takaisin ristikoiden yläpaarteille. Kuvassa 25 on esitetty tällaisen jäykisteyksikön toiminta.



Kuva 24. Periaatekuva jäykistelinjoista ja niiden sijainneista (5, s. 80)



Kuva 25. Kattoristikoiden jäykisteyksiköiden toiminta (18, s. 19)

Päätykolmion yläjuoksu tulee olla jatkuva jäykistelinjojen välillä. Yläjuoksu mitoitettiin kestämaan määräävässä kuormitustapauksessa taivutusjännitys $\sigma_{m,d}$. Mitoitusehto on kuvattu kaavassa 14.

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

Kaava 14

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \text{Taivutusjännitys}$$

$$M_d = \frac{q_d \cdot l_j^2}{8} = \text{maksimimomentti jäykistekuormasta}$$

b = yläjuoksun paksuus

h = yläjuoksun korkeus

q_d = sisäinen jäykistekuorma

l_j = Jäykistelinjojen väli

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \text{Yläjuoksun taivutuslujuus}$$

$f_{m,k}$ = ominaistaivutuslujuus

k_{mod} = kuormankeston ja kosteusvaikutuksien muunnoskerroin

γ_m = materiaalin osavarmuusluku

Sisäinen jäykistyskuorma aiheuttaa vaakataipuman poikittaisjäykisteessä eli päätykolmion yläjuoksussa. Taipuma saa olla enintään $l_j/500$. Tämä vaakataipuma laskettiin murtorajatilan mitoituskuormalle kaavalla 15. (3, s. 24)

$$w_{inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_d \cdot l_j^4}{E_{0,mean} \cdot I_y}$$

Kaava 15

$E_{0,mean}$ = kimmomoduuli

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \text{Jäykistepalkin jäyhyysmomentti}$$

5.3.3 Toisen nurjahdusmuodon stabiloiminen

Toista nurjahdusmuotoa ei tarkasteltu tässä opinnäytetyössä, koska olennaisia tietoja puuttui, jotka saadaan NR-suunnitelmista, jotka laativat ristikkotehtaan NR-suunnittelija. NR-suunnittelija voi tehdä NR-suunnitelmat, kun hänelle on toimitettu lähtötiedot ja NR-ristikko kaaviot. Olennaisia puuttuvia tietoja olivat vaadittava ruodeväli, yläpaarten dimensiot ja lujuusluokka ja yläpaarten nurjahduksen käyttöaste.

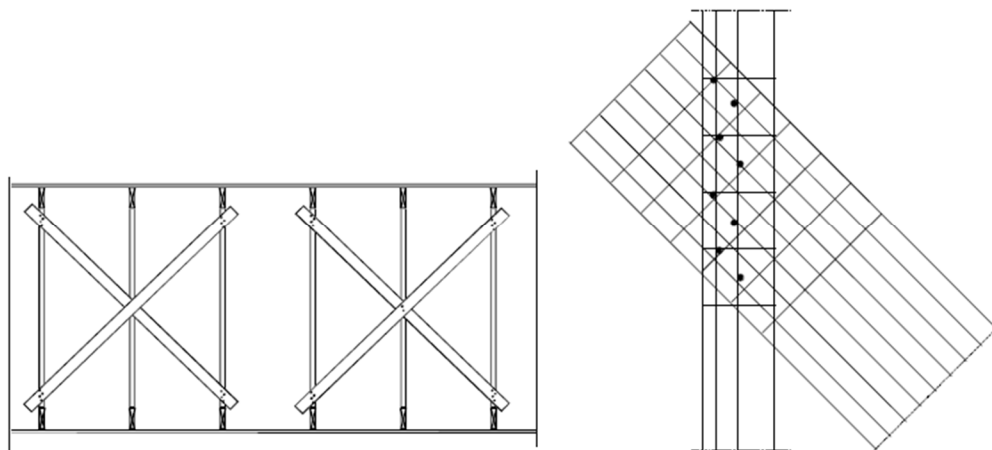
Katossa on oletettu, että profiilipeltikate pystyy estämään yläpaarten S-nurjahdusmuodon. Tämän johdosta kate kiinnitetään joka ruoteeseen kateruuvi määrällä, jonka mitoituskestävyys on suurempi kuin ruoteessa S-nurjahduksesta johtuva voima. Näin kuvan 26 mukainen S-nurjahdus ei pääse tapahtumaan. Peltikatteen tuli olla korkeaprofilista, eli esimerkiksi konesaumapellillä S-nurjahdusta ei voitu estää.



Kuva 26. S-nurjahdaneita yläpaarteita (22, s. 10)

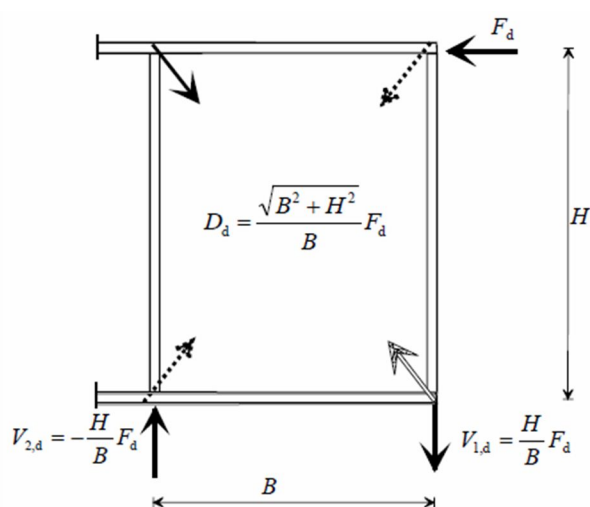
5.3.4 Pystyvinoreivauksien mitoitus

Vaakajäykisteille tulevat kuormat aiheuttavat tukivoiman, jonka pystyvinoreivaukset ottavat vastaan. Nämä niin sanotut vinoravaukset, jotka on kuvattu kuvassa 27, vievät voimat asteittain takaisin yläpaarteisiin.



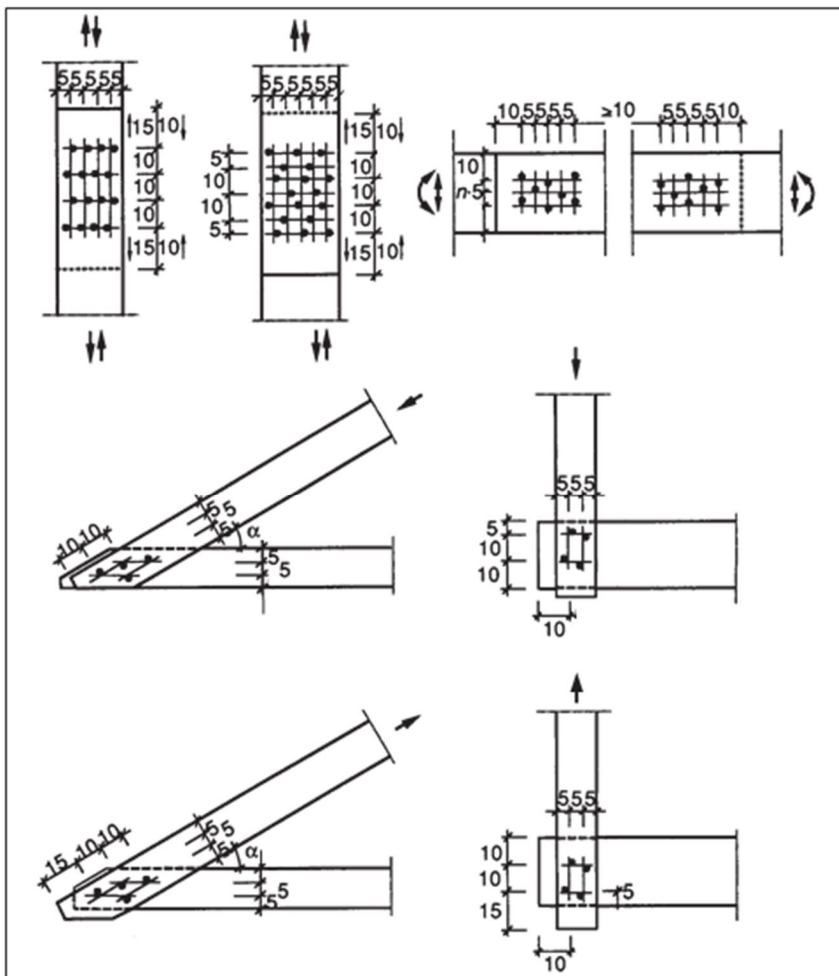
Kuva 27. Pystyvinoreivauksien periaatekuva (18, s. 29)

Vinotukien määrä ratkaistiin yhden liitoksen naulauksen kestolla. Tällä saatiin yhden vinotuen ottama kuorma. Kun tukivoima jaettiin yhden vinoreivauksen kuormalla, saatiin tukien kokonaismäärä yhdelle jäykistelinjalle. Loput vapaana olevat kattoristikot tuetaan vaakalauta linjalla, joka naulataan limitettynä diagonaalisauvan kumpaankin pätyyn limitettynä, jotta reunaetäisyys vaatimukset toteutuvat. Kun tukivoima jaettiin jäykistekentän ristikkomäärällä, saatiin yhteen liitokseen tuleva voima. Tämän voiman tuli olla pienempi kuin liitoksen naulauksen kesto. Nämä niin sanotut x-tuet aiheuttavat ristikon alapaarteeseen kuvan 28 mukaisen pistekuorman, joka täytyy ottaa huomioon NR-rakenteita tilattaessa. (18, s. 29 - 30)



Kuva 27. Pystyvinoreivauksien aiheuttamat pistekuormat (18, s. 25)

Pystyvinoreivauksen mitoittamisessa tuli ottaa huomioon naulauksen reunaetäisyyksivaatimukset, jotka on esitetty kuvassa 28. (18, s. 29 - 30)



Kuva 28. Naulojen välit ja reunaetäisyydet naulanhalkaisijan kertoimilla (2, s. 113)

5.3.5 Uumasauvojen nurjahdustuenta

Tässä opinnäytetyössä ei tarkasteltu nurjahtavien uumasauvojen tuentaa, muutoin kuin periaatetasolla. Yhdestä pisteestä tuetun sauvan nurjahdustuki sijoitetaan keskikohtaan sauvaa ja mitoitetaan vetovoimalle. Nurjahtavat uumasauvat ja niiden voimat saadaan NR-suunnitelmasta. Näiden pohjalta voidaan mitoittaa uumasauvan nurjahdustuki kaavan 16 mukaisella voimalle. Jos sidotaan vierek-

käiset uumasauvat toisiinsa kiinni, jäykistettävän vaakavoima on kaavan 17 mukainen ja vinositeen voima on kaavan 18 mukainen. Kuvassa 29 on kuvattu nurjahdustukien toiminta. (3, s. 16 - 17)

$$F_d = \frac{N_d}{50}$$

Kaava 16

$$F_{n,d} = n * F_d$$

Kaava 17

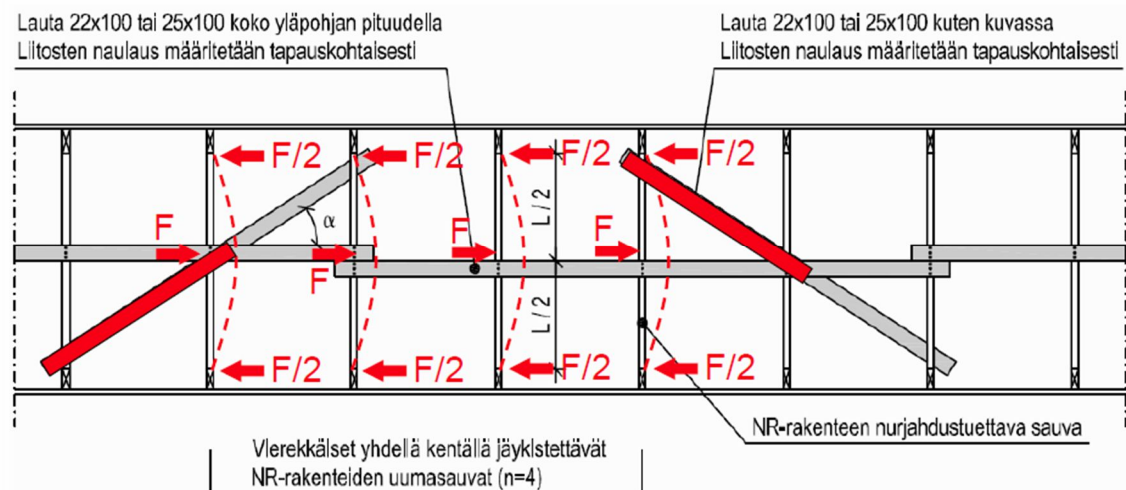
$$F_{na,d} = \frac{F_{n,d}}{\cos \alpha}$$

Kaava 18

N_d = sauvan puristusvoiman mitoitusarvo

n = vierekkäiset yhdellä vinositeellä sidottujen sauvojen määrä

α = vinositeen kulma nurjahdustukilautaan nähden



Kuva 29. Periaatekuva uumasauvojen nurjahdustuennan toteutuksesta ja voimien käyttäytymisestä (22, s. 20).

Eurokoodi 5:n Suomen kansallisen liitteen mukaan nurjahdustuella täytyy olla kaavan 19 mukainen tai suurempi jäykkyysarvo. (3, s. 17)

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

Kaava 19

m = nurjahdustuettujen kenttien lukumäärä

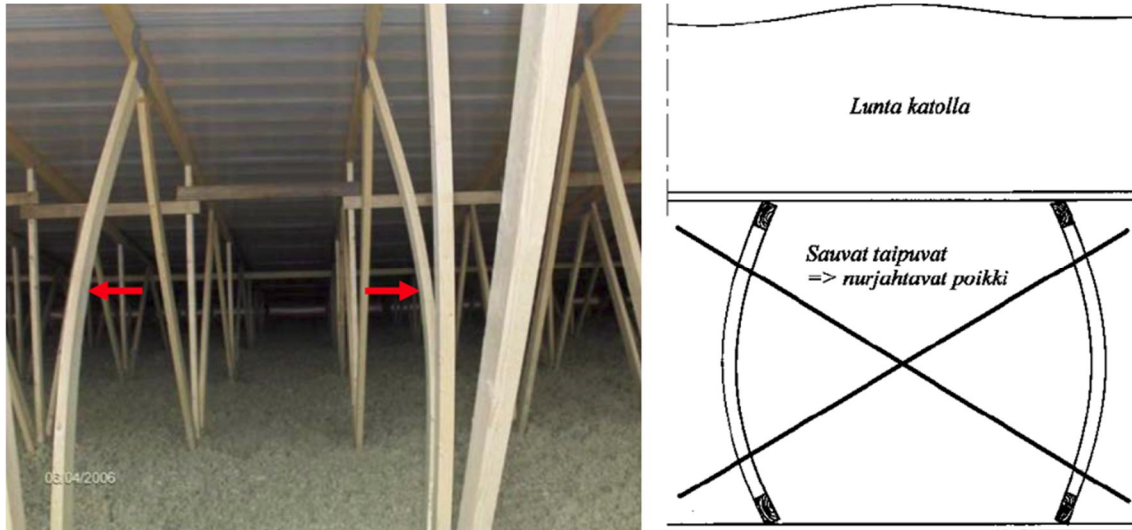
a = tukiväli

Kun nurjahdustuennan jäykkyys arvo saadaan kaavalla 20.

$$C = \frac{F_d}{\delta}$$

Kaava 20

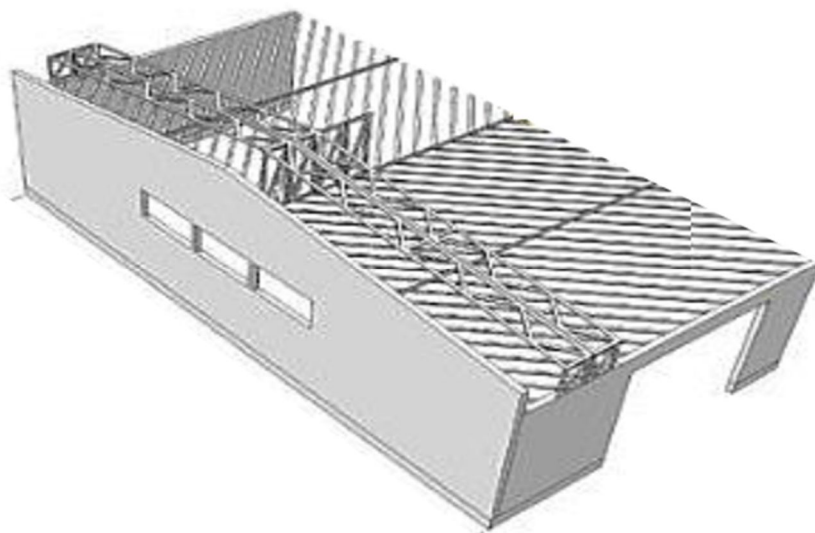
δ = liitosliukumien summa vaaka ja vinositeiden kiinnityksestä uumasauvaan



Kuva 30. Uumasauvojen nurjahdustukien laiminlyönti (22, s. 20).

5.4 Alapaarretason jäykistys

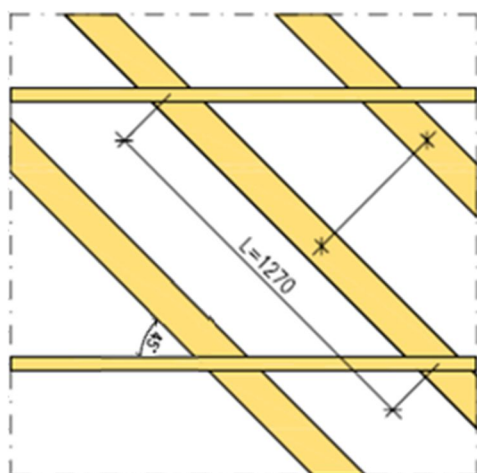
Tässä kohteessa alapaarretason jäykisteeksi asennetaan vinolaudoitus. Muita vaihtoehtoja olisi ollut sisäkaton kipsilevytys, joka olisi helpompi ja selkeämpi mitoittaa, mutta vinolaudoitus valittiin siksi, että sisäkaton materiaalin voi valita mieleiseksi. Puu- ja MDF-paneeli eivät sovi jäykistäväksi materiaaliksi.



Kuva 31. Periaatekuva alapaarteen vinolaudoituksesta (7, s. 120)

Alakattoa kuormittaa päädynsuunnassa päädyn tuulikuorma, joka laskettiin kaavalla 7. Pitkällä sivulla jäykisteelle tulee kaavan 6 tuulikuorma. Kuormitusta tarkasteltiin hetkellisessä- ja keskipitkässä -aikaluokassa. Tarkasteltuja kuormia olivat omapaino, tuuli- ja lumikuorma, kun pientalossa ei tarvitse huomioida lisävääkavoimia.

Vinolaudoituksen puristuskestävyys määritettiin laudoituksen dimensioiden, lujuusluokan, k-jaon ja asennuskulman mukaan. Vinolaudoitus naulataan alapaarteen yläpintaan, tässä tapauksessa 45° kulmaan siten, että vinolaudoitus on symmetrinen alapaarteen keskilinjan suhteen.



Kuva 32. Periaatekuva vinolaudoituksen asennuksesta ja nurjahduspituudesta (7, s. 121)

Hoikkuusluku saatiin kaavalla 21 ja sen avulla laskettiin muunnettu hoikkuusluku kaavalla 22. Alkukäyrydestä riippuva kerroin sahatavaralle on 0,2. Kaavalla 23 laskettiin laudan k_z -kerroin, jolla laskettiin, yhdessä muunnetun hoikkuusluvun kanssa, nurjahduskerroin kaavalla 24. Vielä kun laskettiin puristuslujuus kaavalla 25, voitiin ratkaistujen arvojen pohjalta laskea vinolaudan puristuskestävyys kaavalla 26.

$$\lambda_z = \frac{L_{c,y}}{i_z} \quad \text{Kaava 21}$$

$L_{c,y}$ = nurjahduspituus, normaalissa tapauksesta $1 \cdot L$, kun sauva on nivelellisesti kiinnitetty molemmista päistään

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \text{poikkileikkauksen jäyhyyssäde z-akselin suhteen}$$

A = poikkileikkausala

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \text{poikkileikkauksen jäyhyysmomentti}$$

b = laudan leveys

h = laudan paksuus

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \text{Kaava 22}$$

$f_{c,0,k}$ = puristuslujuus syysuuntaan

$E_{0,05}$ = kimmomoduuli

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3)\lambda_{rel,z}^2) \quad \text{Kaava 23}$$

$\beta_c = 0,2$ alkukäyrydestä riippuva kerroin sahatavaralle

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 + \lambda_{rel,z}^2}} \leq 1 \quad \text{Kaava 24}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} * k_{mod}}{\gamma_M} \quad \text{Kaava 25}$$

γ_M = materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

k_{mod} = muunnoskerroin, jonka avulla otettiin huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus

$$N_{R,d} = k_{c,z} * f_{c,0,d} * A$$

Kaava 26

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,4
Havusahatavara, jonka lujuusluokka \geq C35	1,25
Liimapuu, LVL	1,2
Puulevyt	1,25
Liitokset	*)
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Kuva 33. Materiaalien osavarmuusluvut (10, s. 15)

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka				
		Pysyvä	Pitkäaikainen	Keskipitkä	Lyhytaikainen	Hetkeellinen
Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Lastulevy EN 312-4 ¹⁾ ja -5, OSB/2 ¹⁾ , Kova kuitulevy	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Lastulevy EN 312-6 ¹⁾ ja -7, OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA ¹⁾ , MBH.HLS, MDF.LA ¹⁾ ja MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	2	-	-	-	0,45	0,80

Kuva 34. Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroimen k_{mod} arvot (2, s. 49)

Alapaarretason ottama tuulikuorma aiheuttaa kaavan 27 mukaisen leikkausvoiman jäykistävän seinälinjan yläpaarretasoon, jolloin yksi vinosidelauta pystyy tuomaan tästä kuormasta kaavan 28 verran leikkausvoimaa. Kun leikkausvoima kokonaisuudessaan saadaan jäykistävälle sivuseinälle, laskettiin kaavalla 29 vinoautoituksen pituus sivuseinälle.

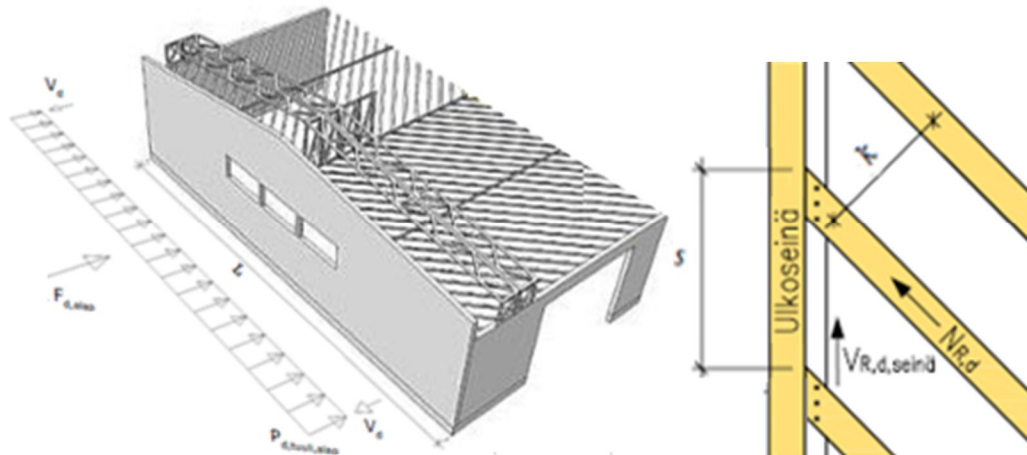
$$V_d = \frac{P_{d,tuuli,alap} * L}{2} + \frac{F_{d,alap}}{2}$$

Kaava 27

$P_{d,tuuli,alap}$ = tuulen mitoitusviivakuorma alapaarteelle

L = alapaarteen pituus

$F_{d,alap}$ = pistekuormat, jos muita kuormia otettu vinositeillä alapaarre tasoon



Kuva 35. Kuormien aiheuttama leikkausvoima seinälinjalle (7, s. 120)

$$V_{R,d} = N_{R,d} * \cos 45^\circ$$

Kaava 28

$$\frac{V_d}{V_{R,d}} * s = L_{laudat}$$

Kaava 29

s = vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa

L_{laudat} = vinolaudoituksen minimi pituus ulkoseinän suunnassa

Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys tarkasteltiin leikkausvoimaa vastaan. Vinolaudoitus on puristettua ja naulauksen reunaehdot tuli täyttyä. Valitun naulan mitoituskestävyys laskettiin kaavoilla 30-32.

$$R_d = \frac{k_{mod} * R_k * k_t}{\gamma_M}$$

Kaava 30

$$R_k = 120 * d^{1,7}$$

Kaava 31

$$k_t = \max \begin{cases} 1 + 0,3 * \frac{t_1 - 8d}{8d} \\ 1 + 0,3 * \frac{t_2 - 12d}{6d} \end{cases} \quad \text{Kaava 32}$$

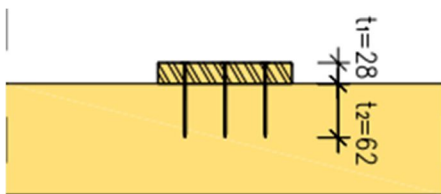
R_k = Naulan ominaisleikkauskestävyys esiporaamattomana

k_t = leikkauskestävyyden korotus kerroin jos $t_1 \geq 8d$ ja $t_2 \geq 12d$

d = naulan halkaisija

t_1 = laudan paksuus

t_2 = naulan tunkeutuma



Kuva 36. Naulan 3,1x90 tunkeuma ja kiinnitettävän laudan paksuus (7, s. 123)

Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys laudan suunnassa tuli täyttää kaavan 33 mukainen mitoitusehto. Tässä kaavassa oleva laudan normaalivoima saatiin kaavalla 34.

$$N_d \leq R_d * n \quad \text{Kaava 33}$$

n = naulojen määrä vinolaudassa

$$N_d = \frac{V_d * s}{L_{laudat} * \cos \alpha} \quad \text{Kaava 34}$$

Talon pituussuunnassa tarkistettiin, toimiiko vinolaudoitus myös siinä suunnassa vai tarvitsiko laudoituksen määrää tai nauloja lisätä.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää suunnitteilla olevan kohdetalon kattorakenteen jäykistyksen toteutus. Suunnittelun reunaehtoina toimivat talon sisäkaton ja ulkokaton materiaalit, jotka estivät vaakatasojen levyjäykistyksen kustannus syistä. Tarkoitukseen pääsemiseksi tarvittiin laaja tutustuminen jäykistämiseen ja sen eri toteutusmalleihin. Työn aiheen valintaan johti Oulun kaupungin rakennusvalvonnan sivuilla oleva teksti, jossa kehoitettiin paneutumaan rakennusten jäykistykseen.

Työn tuloksena saatiin yksityiskohtainen selvitys suunnittelunperusteista, kuormien määräytymisestä ja niiden johtamisesta jäykistäville seinille. Aiheen laajuuden vuoksi työ rajattiin koskemaan vain yhtä tapaa jäykistää kattorakenne. Työn laskenta vaiheessa tuotettiin paljon hyödyllisiä Excel-laskentapohjia, joita voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. Työn rungosta saatiin hyvä laskentarunko eri jäykistyksen vaiheille.

Työ aloitettiin jäykistystä käsittelevän aineiston kartoituksella ja siihen tutustumisella. Lisäksi perehdyttiin rakennesuunnittelun perusteisiin, ohjeisiin ja määräyksiin. Esimerkki kohteen kuormat määritettiin ja niiden pohjalta laskettiin eri jäykistysvaihtoehtoja. Kun järkevin jäykistystapa selvitettiin, sen pohjalta kirjoitettiin opinnäytetyön tekstiversio. Näin koottiin monesta eri lähteestä koottu yhden jäykistystavan laskennan kuvaus.

Työ osoittautui tarpeelliseksi ja ajankohtaiseksi, sillä rakennusvalvontakin oli puuttunut ja kiinnittänyt huomiota jäykistyksen huomiotta jättämiseen ja puutteelliseen ymmärtämiseen. Lisäksi tuulikuormien odotetaan muuttuvan voimakkaammiksi vuoden 2035 tienoilla. Kun rakennusten suunniteltukäyttöikä on 50 vuotta, tämä aiheuttaa nykyiset jäykistykset koetukselle. (1, s. 25; 132.)

LÄHTEET

1. RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
2. RIL 205-1-2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
3. RIL 248-2013. NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu ja toteuttaminen. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
4. RIL 244-2007. Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta. Suunnittelu ja valmistusohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
5. EC5 Sovelluslaskelmat - Asuinrakennus. 2010. Puuinfo Oy. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf>. Hakupäivä 21.4.2017.
6. HalliPES 1.0. Osa 11: Jäykistys. 2014. Puuinfo Oy. Saatavissa: http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/hallipes-10/hallipes_1.0_osa_11_jaykistys.pdf. Hakupäivä 21.4.2017.
7. EC 5 Sovelluslaskelmat - Hallirakennus. 2010. Puuinfo Oy. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennus/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennustoinen-painos.pdf>. Hakupäivä 21.4.2017.
8. RIL 229-1-2006. Rakennesuunnittelun asiakirjaohje. Tekstiosa. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
9. RIL 240-2006. Puurakenteiden laadunvarmistus. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
10. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje. 2010. Puuinfo Oy. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjewwwkolmaspainos10913rilinkorjauksin.pdf>. Hakupäivä 21.4.2017.

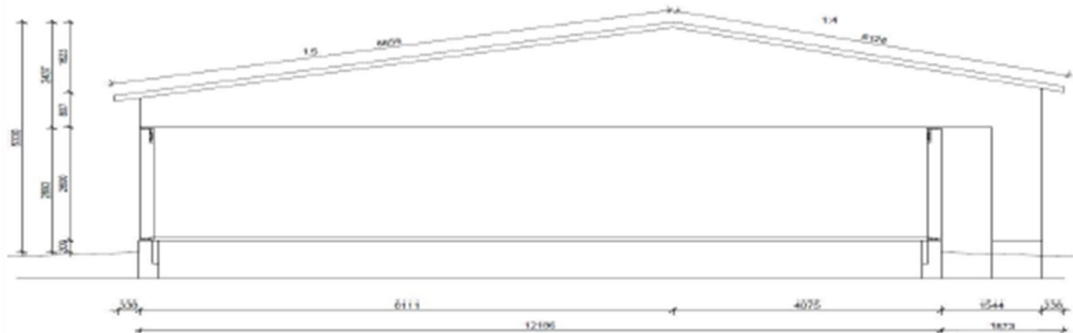
- 11.SFS-EN 1991-1-1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- 12.SFS-EN 1991-1-3: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat
- 13.SFS-EN 1991-1-4: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat
- 14.Suomen rakennusmääräyskokoelma. Kuormat, säännökset ja ohjeet, 2016. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B9A95614B-7805-4047-AA7F-596552B952FD%7D/123791>. Hakupäivä 21.4.2017.
- 15.RIL 144-2002. Rakenteiden kuormitusohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
- 16.Kerstinen, Topias. 2016. Rakennesuunnittelun lähtötiedot. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu, Tekniikka, Lappeenranta, Rakennustekniikan koulutusohjelma
- 17.SFS-EN 1995-1-1: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
- 18.Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje, VTT, 2006. Saatavissa: http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/jaykistys_2006.pdf. Hakupäivä 21.4.2017.
- 19.Pääkkö, Tuomas. 2015. Puurakenteisten asuinrakennusten jäykistysuunnittelun periaatteet. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan osasto.
- 20.RIL 144-2002.Rakenteiden kuormitusohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
- 21.RoadShow - Puukerrostalo - Stabiliateetti - NR-ristikkoyläpohjan jäykistys. 2014. Puuinfo Oy. Saatavissa: http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tiedotteet/puukerrostalorakentamisen-tekminen-roadshow-2014/7_stabiliateetti__nr-ristikkoylapohja_2.pdf . Hakupäivä 21.4.2017.
- 22.TuplaA - Stabiliateetti - NR-ristikko - Stabiliateettituenta. 2014. Puuinfo Oy. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/moduuli-4/83nr-ristikko-stabiliateettituenta.pdf>. Hakupäivä 21.4.2017.

LIITTEET

Liite 1 Kattorakenteen jäykistys, yläpaarre	50
Liite 2 Kattorakenteen jäykistys, alapaarre	57

NR- RISTIKKOYLÄPOHJAN JÄYKISTYS**Perustietoja**

- NR- ristikkoyläpohjan jäykistys toteutetaan jäykistelinjojen 1, 2, 3, 4 ja avulla.
- Jäykistelinjat 2, 3 ja 4 toteutetaan vinolaudoilla, jotka kiinnitetään päätyseinässä oleviin soiroihin sekä ristikoiden uumasauvoihin.
- Jäykistelinjat 1 ja 5 toteutetaan ulkoseinän tuulensuojalevytyksellä.
- jäykistelinjojen välissä jäykistävänä vaakarakenteena toimii päätyseinän yläohjauspuu
- Yläohjauspuun tulee olla jatkuva jäykistelinjojen välissä.

**Pysyvä kuormitus**

Kattorakenteen omapaino

 s_k

0,950 kN/m

Muuttuva kuormitus**Lumikuorma**

Yläpohjan kuormat koostuvat yläpohjan omapainosta ja lumikuormasta. Rakennus sijaitsee Oulussa, jolloin maanpinnan lumikuorman ominaisarvo on $s_k=2,5$ kN/m². Yläpohjassa ei ole taseroja, joten lumen kinostumista ei tapahdu.

Ominais Lumikuorma maassa	s_k	2,5 kN/m ²
Katon kaltevuus	α	α_i ° < 30°
Lape1	α_1	11 °
Lape 2	α_2	14 °
Muotokerroin μ	μ	Kerroin
Lape1	μ_1	0,8 Kerroin
Lape 2	μ_2	0,8 Kerroin
Ominaislumikuorma katolla	q_k	2 kN/m ²
ristikot k900		0,9 m
Lumikuorma kN/m/ris	$q_{k,ris}$	1,8 kN/m

Tuulikuorma

Rakennus sijaitsee esikaupunkialueella, joten tuulikuorman määrittämisessä käytetään maastoluokkaa III.

Rakennuksen korkeus maanpinnasta on $Z = 5,33$ m. Määritetään rakennuksen yläpaarretason

tuulikuorma $q_{t,k}$:

Rak korkeus	z	5,330 m
Nopeuspaine Käyrä	$q_k(h)$	0,350 kN/m ²
rakennuksen tuulta vastaan kohtisuora ala	A_{ref}	64,886 m ²
Voimakerroin käyrä	C_f	1,300
Vesikatteen kikakerroin pellille	C_{fr}	0,040
syvyys	B	12,200 m
levys	L	23,900 m
korkeus	$h=z$	5,330 m
suhdeluku	λ	0,874
suhdeluku	d/b	0,510
Kokonaistuulikuorma $F_{w,k} = C_f \cdot q_k(h) \cdot A_{ref}$	$F_{w,k}$	29,523 kN
päädyn ala, joka kuormittaa yläpaarre tasoa	A_{yp}	9,873 m ²
katon kokonaispinta-ala	A_{fr}	353,314 m ²
Tuulen viivakuorma yläpaarre tasolle	$q_{t,k}$	0,71 kN/m
$q_{t,k} = \frac{q_k(h)}{B} \left(C_f \cdot A_{yp} + C_{fr} \cdot A_{fr} \left(1 - \frac{A_{yp}}{A_{ref}} \right) \right)$		

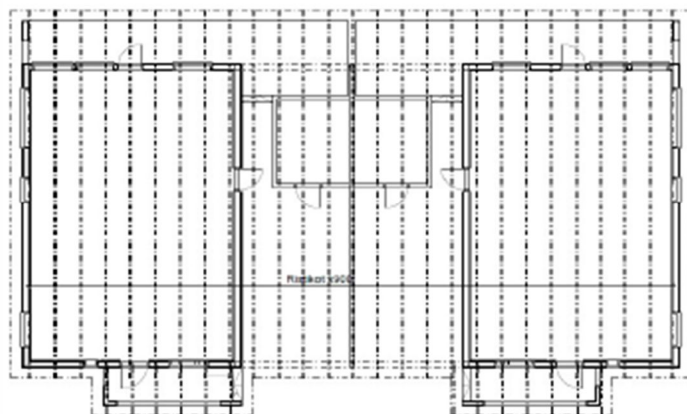
Yläpohjan tasossa vaikuttava viivakuormitus

Puolet NR- rakenteeseen kohdistuvasta vaakasuorasta tuulikuormituksesta kohdistuu yläpaarteen tasoon ja puolet alapaarteen tasoon. Sisäiset jäykistyskuormat ovat yläpaarteen tasossa.

NR-ristikoiden keskeltä keskelle jako	k	0,900	m
NR-ristikon keskimääräinen korkeus	H	1,219	m
NR-ristikon jänneväli	L	12,186	m
yläpaarteen pituus ulkoseinältä harjalle	l_1	8,655	m
	l_2	4,200	m

NR-ristikoiden lukumäärä kentässä, Päätykolmioita on 5 kpl, jotta seuraava ehto toteutuu käytetään näistä 3 kpl mitoituskuormaan.

Eurokoodi 1 osan 1-7 mukaan pitää ottaa huomioon suunnitellussa, ettei onnettomuus tilanteessa yhden kannatteen murtuminen aiheuta jatkuva sortumaa, seuraamusluokassa CC2 ja CC3. Rakennuksen pääkannattimet jäykistetään vähintään kahdella jäykiste kentällä, jottei jatkuvaa sortumaa synny.



Kummassakin huoneiston päädyssä ja autokatosten välissä on on päätykolmio jonka yläohjauspuuta voidaan käyttää jäykisteinä.

Sisäinen jäykistyskuorma rakenteen omapainosta:

Määritetään yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima NR- ristikon keskimääräisen korkeuden mukaan.

Maksimimomentti	$M_{g,k} = \frac{k * g_k * L^2}{8}$	$M_{g,k}$	15,871	kNm
Yläpaarteen puristusvoima	$N_{g,k} = \frac{M_{g,k}}{H}$	$N_{g,k}$	13,020	kN
Sisäinen jäykistyskuorma	$g_{k,j} = \frac{n * N_{g,k}}{50 * l}$	$g_{k,j,1}$	0,271	kN/m
		$g_{k,j,2}$	0,558	kN/m

Sisäinen jäykistyskuorma lumikuormasta:

Määritetään yläpaarteen keskimääräinen puristusvoima NR- ristikon keskimääräisen korkeuden mukaan.

Maksimimomentti	$M_{q,k} = \frac{k * q_{k1} * L^2}{8}$	$M_{q,k}$	33,412	kNm
	$M_{q,k}$	$M_{q,k}$	33,412	kNm
Sisäinen jäykistyskuorma	$q_{k,j} = \frac{n * N_{q,k}}{50 * l}$	$q_{k,j,1}$	0,570	kN/m
		$q_{k,j,2}$	1,175	kN/m

Kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa:

Kuormitusyhdistelmä 1, Pysyvä aikaluokka	$1,35 \cdot K_n \cdot g_k$
Kuormitusyhdistelmä 2, Keskipitkä aikaluokka	$1,15 \cdot K_n \cdot g_k + 1,5 \cdot K_n \cdot q_k$
Kuormitusyhdistelmä 3, Hetkellinen aikaluokka	$1,15 \cdot K_n \cdot g_k + 1,5 \cdot K_n \cdot q_k + 1,5 \cdot K_n \cdot \psi_{0,1} \cdot q_{wk}$
Kuormitusyhdistelmä 4, Hetkellinen aikaluokka	$1,15 \cdot K_n \cdot g_k + 1,5 \cdot K_n \cdot \psi_{0,1} \cdot q_k + 1,5 \cdot K_n \cdot q_{wk}$

Tässä tapauksessa	K,fi	1,000
Yhdistelykerroin	$\psi_{0,1}$	
Lumelle	$\psi_{0,1}$	0,700
Tuulelle	$\psi_{0,1}$	0,600

Jäykisterakenteen mitoitus:

Jäykisterakenteena käytetään päätyseinän lappeella olevaa yläohjauspuuta.

Yläjuoksun materiaaliominaisuudet:

Sahatavara		C24	(taulukko B.3.3)
Taivutus	$f_{m,k}$	24	N/mm ²
Kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	11000	N/mm ²
Materiaalin osavarmuusluku	γ_M	1,4	(taulukko B.2.7)
Leveys	b	48	mm
Korkeus	h	198	mm

Kuormitusyhdistelmä 1

Pysyvä aikaluokka	k_{mod}	0,600	(taulukko B.3.1)
-------------------	-----------	-------	------------------

Lape 1

Jäykistepalkin jänneväli

	l_j	2,885	m
Maksimimomentti	$M_d = \frac{KY1 \cdot L^2}{8}$	M_d	0,380 kNm
Taivutusjännitys	$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2}$	$\sigma_{m,d}$	1,213 N/mm ²
Taivutuslujuus	$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$	$f_{m,d}$	10,286 N/mm ²
Mitoitusehto	$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$	0,12 < 1	OK Käyttöaste 11,79 %

Lape 2

Jäykistepalkin jänneväli

	l_j	2,100	m
Maksimimomentti	$M_d = \frac{KY1 \cdot L^2}{8}$	M_d	0,415 kNm
Taivutusjännitys	$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2}$	$\sigma_{m,d}$	1,324 N/mm ²
Taivutuslujuus	$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$	$f_{m,d}$	10,286 N/mm ²
Mitoitusehto	$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$	0,13 < 1	OK Käyttöaste 12,87 %

Kuormitusyhdistelmä 2

Keskipitkä aikaluokka

 k_{mod} 0,800 (taulukko B.3.1)**Lape 1**

Jäykistepalkin jänneväli

 l_j 2,885 m

Maksimimomentti

$$M_d = \frac{KY2 \cdot L^2}{8}$$

 M_d 1,214 kNm

Taivutusjännitys

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

 $\sigma_{m,d}$ 3,869 N/mm²

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

 $f_{m,d}$ 13,714 N/mm²

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

0,28 < 1 OK Käyttöaste 28,21 %

Lape 2

Jäykistepalkin jänneväli

 l_j 2,100 m

Maksimimomentti

$$M_d = \frac{KY2 \cdot L^2}{8}$$

 M_d 1,325 kNm

Taivutusjännitys

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

 $\sigma_{m,d}$ 4,225 N/mm²

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

 $f_{m,d}$ 13,714 N/mm²

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

0,31 < 1 OK Käyttöaste 30,81 %

Kuormitusyhdistelmä 3

Hetkellinen aikaluokka

 k_{mod} 1,100 (taulukko B.3.1)**Lape 1**

Jäykistepalkin jänneväli

 l_j 2,885 m

Maksimimomentti

$$M_d = \frac{KY3 \cdot L^2}{8}$$

 M_d 1,880 kNm

Taivutusjännitys

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

 $\sigma_{m,d}$ 5,995 N/mm²

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

 $f_{m,d}$ 18,857 N/mm²

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

0,32 < 1 OK Käyttöaste 31,79 %

Lape 2

Jäykistepalkin jänneväli

 l_j 2,100 m

Maksimimomentti

$$M_d = \frac{KY3 \cdot L^2}{8}$$

 M_d 1,678 kNm

Taivutusjännitys

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

 $\sigma_{m,d}$ 5,351 N/mm²

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

 $f_{m,d}$ 18,857 N/mm²

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

0,28 < 1 OK Käyttöaste 28,38 %

Kuormitusyhdistelmä 4

Hetkellinen aikaluokka		k_{mod}	1,100	(taulukko B.3.1)	
Jäykistepalkin jänneväli		l_j	2,885	m	
Maksimimomentti	$M_d = \frac{KY4 * L^2}{8}$	M_d	2,058	kNm	
Taivutusjännitys	$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2}$	$\sigma_{m,d}$	6,561	N/mm ²	
Taivutuslujuus	$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M}$	$f_{m,d}$	18,857	N/mm ²	
Mitoitusehto	$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$	0,35 < 1	OK	Käyttöaste	34,79 %

Lape 2

Jäykistepalkin jänneväli		l_j	2,100	m	
Maksimimomentti	$M_d = \frac{KY4 * L^2}{8}$	M_d	1,622	kNm	
Taivutusjännitys	$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2}$	$\sigma_{m,d}$	5,173	N/mm ²	
Taivutuslujuus	$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M}$	$f_{m,d}$	18,857	N/mm ²	
Mitoitusehto	$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$	0,27 < 1	OK	Käyttöaste	27,43 %

Jäykistepalkin taipuma

Hetkellinen kokonaistaipuma määritetään murtorajatilan kuormalla kuormitusyhdistelmälle 4

Palki jäyhyysmomentti	$I_y = \frac{b * h^3}{12}$	I_y	31049568	N/mm ⁴	
-----------------------	----------------------------	-------	----------	-------------------	--

Lape 1

Hetkellinen taipuma		W_{inst}	4,377	mm	
$W_{inst} = \frac{5 * (1,15 * g_{k,j} + 1,5 * q_{w,y,p} + 1,05 * q_{k,j}) * l_p^4}{384 * E_{0,mean} * I_y}$					
Mitoitusehto		L	2,885	m	
Tukien väli		L/500	5,770	mm	
Taipumaraja	$W_{inst} \leq \frac{L}{500}$	4,38	<	5,770	Käyttöaste 75,87 %

Lape 2

Hetkellinen taipuma		W_{inst}	1,229	mm	
$W_{inst} = \frac{5 * (1,15 * g_{k,j} + 1,5 * q_{w,y,p} + 1,05 * q_{k,j}) * l_p^4}{384 * E_{0,mean} * I_y}$					
Mitoitusehto		L	2,100	m	
L=yläpaarteenpituus		L/500	4,200	mm	
Taipumaraja	$W_{inst} \leq \frac{L}{500}$	1,23	<	4,200	Käyttöaste 29,26 %

Mitoitustulosten tarkastelu:

Mitoitustulosten tarkastelu:

Päätyseinän yläohjauspuun dimensioksi saatiin C24 48x198. Kyseinen yläohjauspuu tehdään niin pitkistä puutavarasta, ettei siihen tarvitse tehdä jatkoksia. Päätyseinän yläohjauspuun tehtävä on välittää yläpaarteiden nurjahdustuentavoimat ja yläpaarteiden tasoon tuleva tuulikuorma jäykistelinjoille 1, 2, 3, 4 ja 5. Jäykistelinjojen 2, 3 ja 4 vinolaudat asennetaan ristikoiden asennusvaiheessa, jolloin ne toimivat myös työnaikaisina tukina. Edellä käsitelty jäykistyslaskelma koskee vain NR- rakenteiden tuentaa, joten rakennuksen kokonaisjäykistys on tarkasteltava erikseen (RIL 248-2013)

Alapaaretason mitoitusAlakaton vinolaudoituksen kuormat

Tässä mitoituksessa alaparteen tason jäykisteeksi asennetaan vinolaudoitus, jota kuormittaa: tuulikuorma päätykolmiolta ja päätyseinältä ja pistekuormat yläpaarteiden tuulikuormasta, jotka tulevat pystyvirevauksilta.

Kattorakenteen mitat

Tukikorkeus	tk	0,80 m
harjakorkeus	hk	2,44 m
alappaarre	ap	12,20 m
kaltevuus	α_1	8,00 °
	α_2	17,00 °
NR-ristikoiden keskeltä keskelle jako	k	0,900 m
NR-ristikon keskimääräinen korkeus	H	1,219 m
NR-ristikon jänneväli	L	12,186 m
yläpaarteiden pituus ulkoseinältä harjalle	\bar{h}	8,655 m
	\bar{h}	4,200 m
NR-ristikoiden lukumäärä	n	27,00 kpl
Rak korkeus	z	5,33 m
syvyys	d=B	12,19 m
levys	b=L	23,90 m

Kattorakenteen pystysuuntainen kuormitus:Pysyvä kuormitus

Kattorakenteen omapaino	\bar{g}_k	0,950 kN/m
-------------------------	-------------	------------

Muuttuva kuormitus

Ominaislumikuorma katolla	q_k	2 kN/m ²
tuulikuorma rakennuksen harjankohdalla		
Nopeuspaine Käyrä	$q_{k(h)}$	0,35 kN/m ²
Voimakerroin käyrä	C_f	1,30
tuulenpaine	$q_{w,k}$	0,46 kN/m ²
Alapaaretason tuulikuorman ala päädyssä	$A_{ap,B}$	37,35 m ²
alappaaressa tuulikuorman ala sivulla	$A_{ap,L}$	62,58 m ²

Yläpohjatasossa vaikuttava viivakuormitusRakennuksen lyhempi suunta

Lisävaakavoima kattorakenteen painosta	$\bar{g}_{HB,k}$	0,08 kN/m
--	------------------	-----------

Lisävaakavoima lumikuormasta

$$X_{HB,k} = \frac{X_k B}{150}$$

	$q_{HB,k}$	0,16 kN/m
tuulikuormitus	$q_{w,B,k} = q_{w,k} * A_{ap,B}/B$	$q_{w,B,k}$
		1,39 kN/m

Rakennuksen pidempi suunta

kattorakenteen painosta sivuseinälle	$\bar{g}_{L,k}$	5,79 kN/m		
lumikuorma sivuseinälle	$q_{L,k}$	12,19 kN/m		
Lisävaakavoima kattorakenteen painosta	$q_{HL,k}$	0,08 kN/m	≥	0,09 kN/m
Lisävaakavoima lumikuormasta	$q_{HL,k}$	0,16 kN/m	≥	0,19 kN/m

$$X_{HB,k} = \frac{X_k B}{150}$$

Kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa:

Kuormitusyhdistelmä 1, Hetkellinen aikaluokka $1,15 \cdot K_{ef} \cdot G_k + 1,5 \cdot K_{ef} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_k + 1,5 \cdot K_{ef} \cdot Q_{wk}$

Tässä tapauksessa K_{ef} 1,00

Yhdistelykerroin, lumelle $\psi_{0,1}$ 0,70

Alapaarretasossa vaikuttava vaakasuuntainen viivakuormitus

Rakennuksen lyhempisuunta $w_{g,d}$ 2,35 kN/m

Rakennuksen pidempisuunta $w_{l,d}$ 2,09 kN/m

Vesikaton jäykistyksestä aiheutuvat pistevoimat

Tuulen viivakuorma yläpaarre tasolle $q_{t,k}$ 0,71 kN/m

X-tukien pistekuormat

sivuseinän kohdalla F_{jz} 1,50 kN

lape1 x-tuilla F_{11} 2,05 kN

lape2 x-tuilla F_{12} 1,50 kN

Harjalinjalla F_h 1,77 kN

Päädyn mitoitus**Alakaton vinolaudoituksen leikkausvoima**

Leikkausvoima V_d 19,51 kN

Vinolaudoituksen puristuskestävyys

Alapaarteen alapintaan tehdään vinolaudoitusta C18 25x100 k900. Laudat naulataan ristikoiden alapartaan alapuolelle 45 asteen kulmaan siten, että vinolaudoitusta on symmetrinen katon harjalinjan suhteen.

laudan leveys	b	100,00 mm
laudan paksuus	h	25,00 mm
laudan poikkileikkausala	A	2200,00 mm ²
puristuslujuus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	18,00 N/mm ²
kimmomoduuli	$E_{0,05}$	6000,00 N/mm ²
materiaalin osavarmuusluku	γ_m	1,40 kerroin

Hoikkuusluku

Nurjahduspituus $L_{c,y} = 1,0 \cdot L_c$ L_c 1272,79 mm

Jäyhyysmomentti z-akselin suhteen $I_z = \frac{b \cdot h^3}{12}$ I_z 130208,3333 mm⁴

Jäyhyysäide z-akselin suhteen $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$ i_z 7,69 mm

Sauvan hoikkuusluku $\lambda_z = \frac{L_{c,y}}{i_z}$ λ_z 165,44

Muunneltu hoikkuus $\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$ $\lambda_{rel,z}$ 2,88

k_z -kerroin $k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$ k_z 4,92

alkukäyrästä riippuva kerroin sahatavaraalle β_c 0,20

Nurjahduskerroin $k_{c,z}$ $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \leq 1$ $k_{c,z}$ 0,11

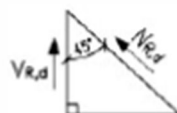
Hetkellinen aikaluokka k_{mod} 1,10

Lujuusluokka		C18 (T1)
Ominaislujuudet (N/mm ²)		
Taivutus	$f_{t,k}$	18
Veto	$f_{c,0,k}$	11
	$f_{t,90,k}$	0,4
Puristus	$f_{c,0,k}$	18
	$f_{c,90,k}$	2,2
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4
JäykkyysominaisuuDET (N/mm ²)		
Kimmomoduuli	$E_{0,05,ker}$	9000
	$E_{0,05,raudo}$	300
Liukumoduuli	G_{raudo}	560
Tiheydet (kg/m ³)		
Ominaisstiheys	ρ_k	320
Tiheyden keskiarvo	ρ_{raudo}	380

Puristuslujuus	$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{red}}{\gamma_M}$	$f_{c,0,d}$	14,14 N/mm ²
Puristuskestävyys	$N_{R,d} = k_{c,p} \cdot f_{c,0,d} \cdot A$	$N_{R,d}$	3,50 kN

Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle Vd vinolaudoituksen nurjahduskestävyyden perusteella

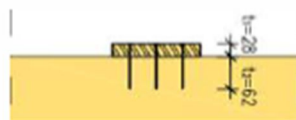
Vinolaudoituksen k-jako	k	900,00 mm		
Vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa	s	1272,79 mm		
vinolaudoituksen kulma ulkoseinään nähden	α	45,00 °		
Leikkauskestävyys	$V_{R,d} = N_{R,d} \cdot \cos 45^\circ$	$V_{R,d}$	2,47 kN	
Laudoituksen pituus seinällä	$\frac{V_d}{V_{R,d}} \cdot s = L_{laudat}$	L	10047,73 mm	10,05 m
Leikkauskestävyys kokoseinä	$V_{R,d,seinä} = \frac{L}{s} \cdot V_{R,d}$	$V_{R,d,seinä}$	19,51 kN	
Mitoitusehto	$V_d \leq V_{R,d,s}$	1,00 < 1	OK	Käyttöaste 100,00 %



Vinolaudoituksen naulauksen kestävyys

Jos $t_1 > 8d$ ja $t_2 > 12d$, naulan leikkauskestävyyttä saadaan korottaa kertoimella k_t

naula	d	3,10 mm		
Ehto	t_1	25,00 mm	>	24,8 mm
ehto	t_2	65,00 mm	>	37,2 mm
korotuskerroin	$k_t = \max \begin{cases} 1 + 0,3 \cdot \frac{t_1 - 8d}{8d} \\ 1 + 0,3 \cdot \frac{t_2 - 12d}{6d} \end{cases}$	k_t	=	1,45
Pyöreillä sileillä nautoilla $k_t < 1,1$ ->	k_t	1,10		
Naulan leikkauskestävyys	$R_k = 120 \cdot d^{1,7}$	R_k	821,29 N	
Naulan leikkauskestävyys, mitoitusarvo	$R_d = \frac{k_{mod} \cdot R_k \cdot k_t}{\gamma_M}$	R_d	709,83 N	



Vinolaudoituksen kestävyys leikkausvoimalle Vd vinolaudoituksen naulauksen perusteella

Vinolaudoitus kiinnitetään seiniin ja kattoristikoiden alapaarteisiin pyöreillä nautoilla 3,1x90;5 kpl /lauta

Vinolaudoituksen k-jako	k	900,00 mm
Vinolaudoituksen k-jako ulkoseinän suunnassa	s	1272,79 mm
Ulkoseinän pituus	L	10047,73 mm
vinolaudoituksen kulma ulkoseinään nähden	α	45,00 °
naula	d	3,10 mm
naulojen määrä / vinolauta	n	5,00 kpl
Naulan pituus	l	90,00 mm

Vinolaudan naulauksen kestävyys
suunnassa

$$N_d = \frac{V_d \cdot s}{L \cdot \cos \alpha}$$

N,d

3,50 kN

Mitoitusehto

$$\frac{N_d}{n \cdot R_d} \leq 1$$

0,98 < 1

OK

Käyttöaste

98,48 %

HUOMIO! Vinolautojen jatkokset tulee mitoittaa voimalle Nd.

Vinolaudan naulauksen kestävyys laudan suunnassa

$V_{R,d,seinä}$

19,51 kN

Mitoitusehto

$$\frac{V_d}{V_{R,d,seinä}} \leq 1$$

1,00 < 1

OK

Käyttöaste

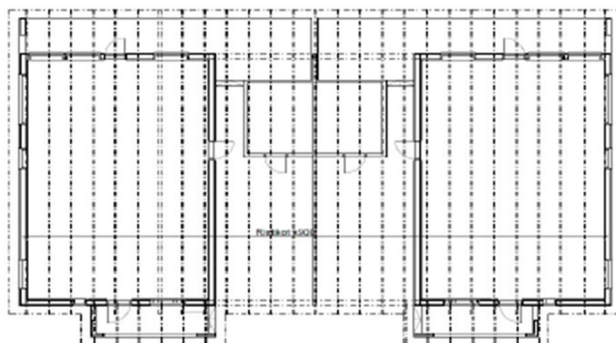
100,00 %

Mitoitustulosten tarkastelu

Alapaarteen tasoon 10,5m päätyseinästä yläpohjan alueelle tehdään vinolaudoitus C18 25x100 k900. Vinolautojen päät kiinnitetään seiniin ja kattoristikoiden alapaarteisiin konenauloilla 3,1x90 5 kpl / lauta.

Sivun mitoitus

Alakaton vinolaudoituksen leikkausvoima



Koska Sivuseinän tuulikuorma on pienempi kuin päädyn tuulikuorma niin vinolaudoitus toimii kumpaankin suuntaa ja sen katsotaan kystyvän siirtämään sivun tuulikuormat jäykistäville seinille.